

# SYM-OP-IS 2014

XLI Simpozijum o operacionim istraživanjima

# ZBORNİK RADOVA

*ELEKTRONSKO IZDANJE*



Editori:

Prof. dr Dušan Teodorović

Prof. dr Milorad Vidović

Prof. dr Katarina Vukadinović

Prof. dr Branka Dimitrijević

Doc. dr Milica Šelmić

# SYM-OP-IS 2014

Div ibare 16-19. Septembar 2014.

## XLI Simpozijum o operacionim istraživanjima **ZBORNİK RADOVA**

-ELEKTRONSKO IZDANJE-

Editori:

Prof. dr Dušan Teodorovi  
Prof. dr Milorad Vidovi  
Prof. dr Katarina Vukadinovi  
Prof. dr Branka Dimitrijevi  
Doc. dr Milica Šelmi



Univerzitet u Beogradu  
**SAOBRAĆAJNI FAKULTET**

# ZBORNİK RADOVA SYM-OP-IS 2014

*Izdava :*

**Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet**  
Vojvode Stepe 305, Beograd, tel. 011/3096-207, faks. 011/3096-704

*Dekan fakulteta*

**Prof. dr Branimir Stani**

*Za izdava a:*

**Prof. dr Dragoslav Kuzmanovi**

*Editori:*

**Prof. dr Dušan Teodorovi**  
**Prof. dr Milorad Vidovi**  
**Prof. dr Katarina Vukadinovi**  
**Prof. dr Branka Dimitrijevi**  
**Doc. dr Milica Šelmi**

*Godina:*

**2014.**

*ISBN:*

**978-86-7395-325-0**

*Publikovanje Zbornika je podržano od strane*  
**Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije**

CIP -

519.8(082)(0.034.2)

(41 ;2014 ;  
) Zbornik radova [Elektronski izvor] / XLI simpozijum o  
operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2014, Div ibare 16-19.  
Septembar 2014 ; editori Dušan Teodorovi ... [et al.]- elektronsko izd.  
- Beograd : Saobraćajni fakultet, 2014 (Beograd : Saobraćajni fakultet).  
- 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane  
dokumenta. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 150. - Bibliografija uz  
svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-7395-325-0

a)  
COBISS.SR-ID 209612556

## **ORGANIZATORI**

Saobraćajni fakultet, Beograd  
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd  
Matematički institut SANU, Beograd  
Matematički fakultet, Beograd  
Vojska Srbije  
Ministarstvo odbrane Republike Srbije  
Ekonomski fakultet, Beograd  
Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd  
Ekonomski institut, Beograd  
Univerzitet u Banjoj Luci  
Društvo operacionih istraživača  
Fakultet organizacionih nauka, Beograd  
Institut „Mihajilo Pupin“, Beograd

## **POKROVITELJ**

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije

## **DONATORI**

KPMG

Inženjerska komora Srbije

LOGIT

Skupština grada Valjeva

Lastra

MMS COMMUNICATIONS



## PROGRAMSKI ODBOR

Teodorovi Dušan, SF, Beograd, predsednik	Mladenovi Nenad, MI SANU Beograd
Andreji Marko, VS	Mu ibabi Spasoje, VS
Cvijanovi Janko, EI, Beograd	Ognjanovi Zoran, MI SANU, Beograd
irovi Goran, VGGŠ, Beograd	Pap Endre, PMF, Novi Sad
abarkapa Obrad, VS	Petrovi Slavica, EF, Kragujevac
angalovi Mirjana, FON, Beograd	Radojevi Dragan, IMP, Beograd
Dimitrijevi Branka, SF, Beograd	Savi Gordana, FON, Beograd
Dugošija or e, MTF, Beograd	Sorak Miloš, MF, Banja Luka
Ko ovi Jelena, EF, Beograd	Stani Stanko, EF, Banja Luka
Kova evi -Vuj i Vera, FON, Beograd	Stanojevi Milan, FON, Beograd
Leti Duško, TF, Zrenjanin	Stanojevi Milorad, SF, Beograd
Kova Mitar, VS	Star evi Dušan, FON, Beograd
Kutla a uro, IMP, Beograd	Suknovi Milija, FON, Beograd
Kuzmanovi Marija, FON, Beograd	Uroševi Dragan, MI SANU Beograd
Makaji -Nikoli Dragana, FON, Beograd	Vidovi Milorad, SF, Beograd
Marti Milan, FON, Beograd	Vuji Slobodan, RI, Beograd
Mesaroš Katalin, EF, Subotica	Vujoševi Mirko, FON, Beograd
Miljanovi Igor, RGF, Beograd	Vukadinovi Katarina, SF, Beograd
Mladenovi Zorica, EF, Beograd	

## PO ASNI PROGRAMSKI ODBOR

Batanovi Vladan, IMP, Beograd	Milovanovi Gradimir, SANU, Niš
Backovi Marko, EF, Beograd	Nikoli Ilija, FGM, Beograd
Borovi Siniša, FMMSP, Beograd	Opricovi Serafim, GF, Beograd
Cvetkovi Dragoš, SANU, Beograd	Petrovi Radivoj, IMP, AINS, Beograd
or evi Branislav, GF, Beograd	Raki Milan, IMP, Beograd
Guberini Slobodan, IMP, Beograd	Todorovi Jovan, AINS, Beograd
Kr evinac Slobodan, FON, Beograd	Vukadinovi Svetozar, SF, Beograd
Mateji Vlastimir, AINS, Beograd	Vuleta Jovo, EF, Beograd
Mihaljevi Miodrag MI, Beograd	Ze evi Tomislav, EF, Beograd

## ORGANIZACIONI ODBOR

Milica Šelmi , predsednik	Dragana Drenovac
Dragana Poznanovic, sekretar	Miloš Nikoli
Slobodan Mitrovi , tehni ka podrška	Dražen Popovi
Dragana Macura	Nenad Bjeli
Danijela Pjev evi	Branislava Ratkovi

## PREDGOVOR

Čast i zadovoljstvo da uzme ulogu glavnog organizatora SYM-OP-IS-a 2014. godine pripala je Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Metode operacionih istraživanja koriste se u oblasti saobraćajnog i transportnog inženjerstva preko pola veka. Operaciona istraživanja imaju dugu tradiciju i na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Prvi kursevi, koje je pripremio profesor Svetozar Vukadinović, održani su početkom sedamdesetih godina. SYM-OP-IS se ove godine održava XLI put. Operacioni istraživači iz Srbije i inostranstva, su tokom svih ovih godina, svojim naučnim rezultatima i aktivnostima doprineli da SYM-OP-IS, bez sumnje, postane jedan od najznačajnijih naučnih skupova koji se održavaju u Srbiji.

U Zborniku radova XLI Simpozijuma o operacionim istraživanjima objavljeni su kako teorijski radovi koji doprinose metodologiji Operacionih istraživanja, tako i radovi orijentisani ka primenama koji ukazuju na uspešne primere donošenja inženjerskih, planerskih i upravljačkih odluka.

Pored radova iz tradicionalnih disciplina u okviru optimizacije, primena teorije verovatnoće i stohastičkih procesa, korišćenje prirodnih resursa, upravljanje proizvodnim i logističkim procesima, javnim sektorom, transportom, saobraćajem i komunikacijama, SYM-OP-IS 2014 karakteriše i pojava radova iz oblasti umetnosti i umetnosti (fizički sistemi, veštačke neuronske mreže, evoluciono umetništvo, inteligencija grupe) i prožimanje sa drugim naučnim disciplinama.

U okviru ovogodišnjeg Simpozijuma plenarna predavanja održala su profesori Bruce Golden i Markos Papageorgiou, istaknuti svetski stručnjaci u oblasti operacionih istraživanja, saobraćajnog inženjerstva i logistike.

Na kraju, zadovoljstvo mi je što sam u prilici da se zahvalim svim autorima, učesnicima, recenzentima, članovima Programskog i Organizacionog odbora, pokrovitelju i donatorima, koji su učinili mnogo da ovogodišnji SYM-OP-IS 2014 ostvari svoj primarni cilj: doprinese razvoju i primeni metoda operacionih istraživanja u inženjerskim disciplinama, ekonomiji, planiranju, upravljanju i menadžmentu.

Predsednik Programskog odbora

Dušan Teodorović

# Sadržaj

## Ekologija

- Spasoje Mučibabić, Marija Jovanović, Ksenija Kelemenis*  
THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT INTO MILITARY OPERATIONS 2

## Ekonomski modeli i ekonometrija

- Jelena Filipović*  
KUPOVNA MOĆ I UTICAJ KRIZE NA MILENIJUMSKU GENERACIJU 9
- Nemanja Milenković, Aleksandar Đoković, Selena Totić, Milan Radojičić*  
BRUTO DRUŠTVENI PROIZVOD I BRUTO NACIONALNI DOHODAK KAO INDIKATORI EKONOMSKOG RAZVOJA 14
- Zoran Popović, Marko Backović, Mladen Stamenković*  
MATEMATIČKI MODEL OPTIMALNOG PORTFOLIA AKTIVE I PASIVE BANKE 19
- Drago Pupavac*  
EKONOMETRIJSKI MODEL ZA PROCJENU POTRAŽNJE U POMORSKOM PUTNIČKOM PROMETU 25

## Elektronsko poslovanje

- Jelena Končar*  
RAZVOJ MULTIKANALNIH STRATEGIJA MALOPRODAJE NA GLOBALNOM ELEKTRONSKOM TRŽIŠTU 27
- Sonja Kuljanski, Tomislav Unkašević*  
O EFIKASNOSTI ALGORITAMA ZA VERIFIKACIJU STATUSA SERTIFIKATA 31
- Dejan Milenković, Ivan Đorđević, Marina Jovanović Milenković*  
RAZMENA ELEKTRONSKI POTPISANIH DOKUMENATA U MINISTARSTVU ODBRANE I VOJSCI SRBIJE 37
- Mirjana Miljanović, Dragan Popović*  
UTICAJ INTERNET TEHNOLOGIJE I NJENA STRATEŠKA VAŽNOST U SAVREMENOM POSLOVANJU 41
- Nada Staletić, Aleksandar Simović*  
CROWDSOURCING U E-OBRAZOVANJU 47

## Finansije i bankarstvo

- Irena Janković, Boško Živković*  
INFLACIJOM INDEKSIRANE OBVEZNICE 54
- Jelena Kočović, Tatjana Rakonjac-Antić, Mirela Mitrašević*  
PROBLEMI OBRAČUNA ZATEZNE KAMATE 59
- Nina Milenković*  
KOREKCIJE TRŽIŠNIH MULTIPLIKATORA ZA RAZLIKE U RIZICIMA 65
- Ivana Popović Petrović, Irena Janković*  
PRILIVI FINANSIJSKIH SREDSTAVA U SRBIJU I ZEMLJE ZAPADNOG BALKANA 71
- Dejan Trifunović, Jelena Kočović, Marija Jovović*  
UTICAJ ASIMETRIČNIH INFORMACIJA NA NEGATIVNU SELEKCIJU NA TRŽIŠTU OSIGURANJA 76

## Geoinformacioni sistemi

<i>Tatjana Baroš, Maja Kalinić, Tatjana Stojanović</i> GIS IN A MONITORING OF FLOOD DISASTER	82
<i>Ljubomir Gigović, Miodrag Regodić, Darko Lukić</i> KOMBINACIJA VIŠEKRITERIJUMSKE METODE I GIS-A U VOJNOGEOGRAFSKOJ PROCENI ZAŠTITNOG POTENCIJALA PROSTORA	88
<i>Miodrag Kostić, Nikola Stamenković, Stanislava Bosiočić,</i> MESTO I ULOGA GIS U GEOPROSTORNOJ ANALIZI PODATAKA O PROSTORU	94
<i>Miodrag Regodić, Ljubomir Gigović, Boban Kuzmanović, Nikolina Mijić</i> DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U MEDICINI	100

## Građevinarstvo

<i>Goran Ćirović, Snežana Mitrović, Dragan Nikolić</i> OPTIMIZACIJA FRP/AB GREDA PRIMENOM METODE SISTEMA NAELEKTRISANJA	107
<i>Miroslav Marčeta</i> TAČNOST DIGITALNE BLISKOPREDMETNE FOTOGAMETRIJE KOD PRIMENE U INŽENJERSTVU	113
<i>Slavoljub Tomić, Miroslav Marčeta, Slobodan Pandžić, Jelena Pandžić</i> VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE PRI IZBORU DIGITALNE FOTOGRAFSKE KAMERE ZA FOTOGRAFISANJE GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA	119

## Grafovi i mreže

<i>Momčilo Bjelica</i> SUBSEQUENCE OF SCORES WITH PRESCRIBED POSITIONS FOR STRONG TOURNAMENTS	126
--	-----

## Informacioni sistemi

<i>Zoran Ćirić, Nemanja Lukić</i> ERP SISTEMI U INSTITUCIJAMA VISOKOG OBRAZOVANJA: KRITIČNI ASPEKTI IMPLEMENTACIJE	131
<i>Tatjana Davidov, Saša Bošnjak</i> ITERACIJA KAO BRZO SOFTVERSKO REŠENJE AGILNIH METODOLOGIJA	137
<i>Ivan Milenković, Uroš Šošević, Miroslav Minović</i> RAZVOJNI OKVIR ZA POREĐENJE BIOMETRIJSKIH ALGORITAMA	143
<i>Miodrag Peranović, Ivana Ćirić, Nenad Mirkov</i> PREDNOSTI PRIMJENE ELEKTRONSKOG UČENJA U PROCESU IMPLEMENTACIJE ERP SISTEMA	149
<i>Lazar Raković, Marton Sakal, Predrag Matković, Pere Tumbas, Veselin Pavličević</i> MOTIVI, KORISTI I FAKTORI POVEĆANJA BROJA KORISNIČKI RAZVIJENIH POSLOVNIH APLIKACIJA	155
<i>Tomislav Unkašević, Sonja Kuljanski</i> UTICAJ PREZENTACIJE BROJEVA NA ALGORITME ZA MULTIPRECIZNU ARITMETIKU	160
<i>Jasmina Vesić Vasović, Zoran Nešić, Miroslav Radojičić</i> ONE APPROACH TO REDUCING THE TIME DURATION OF PRODUCTION CYCLE BY CHOOSING THE OPTIMAL FLOW OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS SEQUENCE	166
<i>Aleksandra Zečević</i> MODELIRANJE VIŠEDIMENZIONALNIH BAZA PODATAKA	171

<i>Dragan Zoranović, Snežana Mladenović, Ana Uzelac, Slađana Janković</i> KONCEPT PRIMENE KOGNITIVNOG PROLASKA NA PRILAGODLJIVI WEB DIZAJN	175
---	-----

## Istraživanje i razvoj

<i>Aleksander Aristovnik</i> ICT AND EDUCATION EFFICIENCY ACROSS EU REGIONS: A DEA APPROACH	182
<i>Nebojša Nikolić</i> SAGLEDAVANJE PRIORITETA U PUBLIKOVANJU NAUČNIH MONOGRAFIJA U VOJNOJ OBLASTI	188
<i>Dušica Semenčenko, Sanja Popović-Pantić</i> SYSTEMSKI PRISTUP ORGANIZOVANJU OBUKA ZA PREDUZETNICE	192
<i>Biljana Stojković, Snežana Novović</i> SELEKCIJA I UPOTREBA INDIKATORA ZA RODNU ANALIZU U SEKTORU BEZBEDNOSTI REPUBLIKE SRBIJE	198
<i>Dijana Štrbac, Đuro Kutlača, Lazar Živković</i> OCENA KVALITETA NAUČNIH PUBLIKACIJA PRIMENOM H-INDEKSA	203
<i>Nena Vasojević, Đuro Kutlača</i> NOSTRIFIKACIJA, ISTORIJAT I PRIMENA U VISOKOOBRAZOVNOM SISTEMU SRBIJE	208
<i>Lazar Živković, Đuro Kutlača, Dijana Štrbac</i> MEĐUNARODNA NAUČNA SARADNJA SRPSKIH ISTRAŽIVAČA	214

## Istraživanje podataka-Data mining

<i>Olivera Grljević, Zita Bošnjak</i> DRUŠTVENI MEDIJI U OBRAZOVANJU	221
<i>Višnja Istrat, Srđan Lalić, Milko Palibrk</i> PRIMENA ASOCIJATIVNIH PRAVILA U SAVREMENOM ODLUČIVANJU	227
<i>Olivera Janković</i> MAŠINSKO UČENJE: EVALUACIJA PERFORMANSI KLASIFIKATORA U KONTEKSTU OGRANIČENE RASPOLOŽIVOSTI PODACIMA	232
<i>Petar Marković, Pavlos Delias, Boris Delibašić</i> SKIING CLUSTERSMOVEMENT DISCOVERY IN SKIING REGIONS USING PROCESS MINING	238

## Kombinatorna optimizacija

<i>Slobodan Antić, Lena Dorđević, Mirjana Čangalović, Danica Lečić-Cvetković</i> METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA EKONOMIČNE KOLIČINE NARUČIVANJA ZALIHA ZA VIŠE PROIZVODA SA OGRANIČENIM PROSTOROM SKLADIŠTENJA	245
<i>Jack Brimberg, Stefana Janićijević, Nenad Mladenović, Dragan Urošević</i> SOLVING THE CLIQUE PARTITIONING PROBLEM AS A MAXIMALLY DIVERSE GROUPING PROBLEM	251
<i>Dragana Drenovac, Ranko Nedeljković</i> PROBLEM ORIJENTACIJE: PRISTUP OPTIMIZACIJOM KOLONIJOM PČELA	257
<i>Željko Sokolović, Mirjana Čangalović, Bisera Andrić-Gušavac</i> ISPITIVANJE EFIKASNOSTI METODE PROMENLJIVIH OKOLINA ZA REŠAVANJE PROBLEMA NEPREKIDNE GLOBALNE OPTIMIZACIJE	263

## Logistika

<i>Milan Andrejić, Milorad Kilibarda</i> IZBOR DISTRIBUTIVNIH KANALA PRIMENOM PCA-DEA PRISTUPA	269
<i>Nenad Bjelić, Dražen Popović</i> DVOFAZNI ALGORITAM ZA REŠAVANJE PROBLEMA HETEROGENIH PUTUJUĆIH SERVISERA SA VREMENSKIM PROZORIMA	275
<i>Milan Dobrota, Mirko Vujošević</i> FORECASTING AND INVENTORY PERFORMANCE IN DIRECT-STORE DELIVERY SUPPLY CHAIN: CASE OF RETAILER IN SERBIA	281
<i>Dejan Mirčetić, Svetlana Nikoličić, Marinko Maslarić</i> RAZVOJ MODELA ZA PODRŠKU PRI ODLUČIVANJU U SKLADIŠTU	287
<i>Biljana Panić, Ivana Kovačević, Mirko Vujošević</i> UTICAJ KOOPERATIVNOSTI NA EFEKAT BIČA U LANCU SNABDEVANJA	293
<i>Petar Pavlović, Mirko Vujošević, Dragana Makajić-Nikolić</i> PRIMENA PETRIJEVIH MREŽA U MODELIRANJU I ANALIZI LANACA SNABDEVANJA	299
<i>Danijela Pjevčević, Katarina Vukadinović, Branka Dimitrijević, Ivana Vukićević</i> UNAKRSNA EFIKASNOST U POSTUPKU IZBORA TEHNOLOGIJE OBRADE RASUTOG TERETA NA REČNOM PRISTANIŠTU	305
<i>Snežana Tadić, Slobodan Zečević, Mladen Krstić</i> KOMBINOVANI FAZI AHP-TOPSIS MODEL ZA VREDNOVANJE KONCEPCIJA REGIONALNE LOGISTIKE	311
<i>Milorad Vidović, Branislava Ratković</i> PRISTUP MODELIRANJU SIMULTANOG RASPOREDJIVANJA BATERIJA I VOZILA U SISTEMIMA RUKOVANJA MATERIJALOM	317
<i>Slobodan Zečević, Snežana Tadić, Mladen Krstić</i> RANGIRANJE SCENARIJA LOGISTIČKOG SISTEMA PRIMENOM KOMBINOVANOG FAZI AHP- VIKOR MODELA	323

## Masovno opsluživanje

<i>Aleksandra Marcikić, Boris Radovanov</i> ODREĐIVANJE STAFING NIVOVA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA PRIMENOM ERLANG B MODELA	330
<i>Nebojša Nikolić, Radomir Janković, Momčilo Milinović, Olivera Jeremić, Mirko Jezdimirović</i> ANALIZA RADA VISOKOOPTEREĆENOG VIŠEKANALNOG SISTEMA OPSLUŽIVANJA U TAKTICI ROJENJA	335

## Matematičko programiranje

<i>Tatjana Jakšić Krüger, Tatjana Davidović</i> ANALIZA KONVERGENCIJE PO MODELU KONSTRUKTIVNE VERZIJE ALGORITMA OPTIMIZACIJE KOLONIJOM PČELA	340
<i>Rade Lazović</i> DEA MODEL SA RESTRIKTIVNIM REGIONOM SIGURNOSTI ZA GENERISANJE TEŽINA U AHP METODI	346
<i>Adnan Rovčanin, Adna Mataradžija-Smailagić, Amra Mataradžija</i> PRIMJENA LINEARNOG PROGRAMIRANJA U OPTIMIZACIJI DEPOZITNIH ULAGANJA	351
<i>Danijela Stefanov, Milica Kostić-Stanković, Dragana Makajić-Nikolić</i> RASPOREĐIVANJE OPERATERA U SLUŽBI PODRŠKE KONTAKT CENTRA KOMERCIJALNE BANKE AD BEOGRAD	355

## Meko računarstvo – Soft Computing

<i>Tarik Dedić, Ramo Šendelj</i> OBEZBJEĐENJE KVALITETA U RAZVOJU WEB APLIKACIJE ZA UPRAVLJANJE ZNANJEM	362
<i>Dragan Pamučar, Darko Božanić</i> PRIKAZ NOVE METODE ZA IZRADU BAZE PRAVILA FUZZY LOGIČKOG SISTEMA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU - METODA AGREGACIJE TEŽINA PREMISA PRAVILA	368
<i>Dragan Radojević</i> GRAFIČKA INTERPRETACIJA KOMPLEMENTARNOSTI U BULOVSKI KONZISTENTNOJ TEORIJI FAZI SKUPOVA	374

## Menadžment

<i>Katarina Arizanović Milošević</i> POSLOVNA ETIKA U OGLAŠAVANJU NA TRŽIŠTU GAZIRANIH BEZALKOHOLNIH PIĆA	381
<i>Zoran Ćirić, Otilija Sedlak, Ivana Ćirić, Stojan Ivanišević</i> INOVAČIONA ZAJEDNICA U USVAJANJU, UVOĐENJU I KORIŠĆENJU IT INOVACIJA	387
<i>Dorđe Kaličanin, Vladan Knežević</i> ULOGA OBRAČUNA TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA I BUDŽETIRANJA PO AKTIVNOSTIMA U PRIMENI POSLOVNE STRATEGIJE	392
<i>Milan Kankaraš, Srđan Dimić, Vlada Mitić</i> OCENJIVANJE PERFORMANSI SISTEMA ODBRANE	398
<i>Milena Vukić, Marija Kuzmanović, Milan Martić</i> PRISTUP POZICIONIRANJU U TURIZMU BAZIRAN NA PREFERENCIJAMA POTROŠAČA: KONCEPTUALNI OKVIR	403
<i>Jelena Žarković Rakić, Saša Ranđelović</i> EFIKASNOST INSTRUMENTATA PODSTICANJA PONUDE RADA: PRIMER SRBIJE I MAKEDONIJE	404
<i>Mirjana Miljanović</i> PRIVREDA I EKONOMIJA KAO SEGMENT OKOSNICE BRENDIRANJA GRADA	410
<i>Marija Vulović, Dragana Mutavdžić, Aleksandra Vukmirović</i> UPRAVLJANJE ODNOSIMA SA KLIJENTIMA U AVIO KOMPANIJAMA	411

## Poslovna inteligencija i odlučivanje

<i>Sonja Iščjamović, Srđan Lalić</i> PREDIKCIJA DUŽINE STUDIRANJA NA OSNOVU OCENA SA PRVE GODINE OSNOVNIH AKADEMSKIH STUDIJA	417
<i>Stefana Janičijević, Dragan Urošević, Nenad Mladenović</i> KOMPARATIVNA ANALIZA KLASTEROVANJA NA OSNOVU SAS/STAT PROCEDURA I METODE PROMENLJIVIH OKOLINA NAD PODACIMA IZ BAZE TELEKOM SRBIJA	423
<i>Milan Malić, Milija Suknović, Boris Delibašić</i> PRIMENA POSLOVNE INTELIGENCIJE ZA NENAPLATIVA POTRAŽIVANJA KOD UPRAVLJANJA ODNOSIMA SA KLIJENTIMA	427
<i>Gordana Radivojević, Bratislav Lazić, Gorana Šormaz</i> EFEKTI PRIMENE POSLOVNE INTELIGENCIJE U SISTEMU NAPLATE PUTARINE	433
<i>Vesna Tornjanski, Nikolaos Koulompouros, Nenad Lalić</i> THE SELECTION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR ACHIEVING OPERATIONAL EXCELLENCE IN BANKING USING ANP METHODOLOGY	439

## Primene operacionih istraživanja u odbrani

<i>Srdan Dimić, Milan Kankaraš, Dragan Kostadinović</i> UTVRĐIVANJE MEĐUSOBNOG ODNOSA PERSPEKTIVA SISTEMA ODBRANE PRIMENOM DEMATEL METODE	446
<i>Samed Karović, Ranko Lojić, Vladimir Ristić</i> UTVRĐIVANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA VATRENE OSPOSOBLJENOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA ZA PODRŠKU PRIMENOM FAKTORSKE ANALIZE	451
<i>Mladen Kostić</i> OPTIMIZACIJA SNAGA LOVACKE AVIJACIJE ZA RATIŠTE REPUBLIKE SRBIJE	457
<i>Mitar Kovač, Dalibor Petrović, Brankica Potkonjak-Lukić</i> PRIMENA LANČESTEROVIH JEDNAČINA U ISTRAŽIVANJU POJAVA, PROCESA I SUKOBA U ORUŽANOJ BORBI	463
<i>Aleksandar Milić, Samed Karović, Rade Slavković</i> OCENA MODELA ZA IZRADU MINSKIH POLJA PRIMENOM ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA	469
<i>Spasoje Mučibabić, Dragan Ćirković, Ksenija Kelemenis, Ignjat Jurišić</i> PROJEKTNI MENADŽMENT I MANEVARSKI ELEMENTI VOJNIH OPERACIJA	473
<i>Ivan Petrović, Vesko Lukovac, Miroslav Terzić</i> PRIMENA FAZI LOGIKE U PROCENI MOGUĆNOSTI SISTEMA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE	479
<i>Dalibor Petrović, Momčilo Milinović, Olivera Jeremić, Nenad Kapor</i> DEGRADACIJA KARAKTERISTIKE TEKUĆE VATRENE MOĆI VAZDUHOPLOVNE PLATFORME TOKOM DEJSTVA VBR-OM	485
<i>Aca Randelović, Tugomir Kokelj, Olgica Lazarević</i> SNABDEVANJE MINOBACAČKIH JEDINICA MUNICIJOM	491
<i>Branko Tešanović, Saša Jović, Slaviša Arsić</i> PRIMENA BENC MARKING ANALIZE U EKONOMIJI ISHRANE VOJSKE SRBIJE	497
<i>Kosta Velimirović, Nemanja Velimirović</i> ODREĐIVANJE MAKSIMALNOG TAKTIČKOG RADIJUSA NAORUŽANG TURBO-ELISNOG AVIONA, PROGRAM "KOBACPERF"	503

## Rudarstvo i geologija

<i>Zoran Bartulović, Milinko Radosavljević, Igor Miljanović, Nenad Radosavljević</i> ODLUČIVANJE U USLOVIMA SEGMENTNOSTI PROCESA U RUDARSTVU	510
<i>Branka Jovanović, Željko Praštalo, Simeun Marijanac</i> RIZICI EKSPLOATACIJE I IZBOR METODA OTKOPAVANJA KREČNJAKA NA POVRŠINSKOM KOPU MUTALJ	514
<i>Snežana Kirin, Igor Miljanović, Aleksandar Milutinović</i> GENERALNI PRISTUP UPRAVLJANJU RIZIKOM U VANREDNIM SITUACIJAMA U RUDARSTVU	518
<i>Aleksandar Milutinović, Snežana Kirin, Grozdana Gajić, Vladimir Čebašek</i> REAGOVANJE NA VANREDNE SITUACIJE U RUDARSTVU	522
<i>Željko Praštalo, Dragan Milošević</i> RIZICI POMERANJA TLA NA POVRŠINSKOM KOPU ĆIRIKOVAC	526
<i>Zoran Štirbanović, Zoran Marković, Igor Miljanović</i> IZBOR FLOTACIJSKOG KOLEKTORA PRIMENOM TEORIJE GRUBIH SKUPOVA	530



## Saobraćaj, transport i komunikacije

<i>Danica Babić, Slavica Dožić</i> PRICE DISPERSION IN DEREGULATED MARKET – CASE STUDY: WARSAW AIRPORT	536
<i>Ivan Belošević, Miloš Ivić, Milan Marković, Aleksandar Marković</i> MATEMATIČKI MODEL SIMULTANOG FORMIRANJA VIŠEGRUPNIH VOZOVA	542
<i>Nenad Bojović, Dragana Macura, Nebojša Bojović, Dragutin Kostić</i> ODREĐIVANJE ZNAČAJA VIDOVA SAOBRAĆAJA ZA BEOGRAD PRIMENOM HIBRIDNE METODE	548
<i>Mara Čujić, Milica Jovanović, Gordana Savić, Maja LeviJakšić</i> MERENJE EFIKASNOSTI SISTEMA USLUGA U VAZDUŠNOJ PLOVIDBI KORIŠĆENJEM DEA METODE	553
<i>Branko Davidović, Duško Letić, Aleksandar Jovanović</i> NEURO-FAZI ALGORITAM ZA UPRAVLJANJE RAMP METERINGOM	558
<i>Branko Davidović, Miroslav Božović, Aleksandar Jovanović</i> INTELIGENTNO MODELOVANJE ZAVISNOSTI BRZINE I GUSTINE SAOBRAĆAJNOG TOKA	564
<i>Nikola Ivanov, Feđa Netjasov</i> REVIEW OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AIR TRANSPORT SYSTEM	570
<i>Milana Kosijer, Miloš Ivić, Ivan Belošević</i> PRIMENA METODE VIKOR U PLANIRANJU REKONSTRUKCIJE ŽELEZNIČKE PRUGE	575
<i>Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Vesna Radonjić, Mirjana Stojanović, Branka Mikavica</i> MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS OF INTERCONNECTED TELECOMMUNICATION NETWORKS PERFORMANCES	581
<i>Jovana Kuljanin, Mira Paskota, Milica Kalić</i> PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AS A TOOL IN UNDERSTANDING THE AIRLINE CHOICE	587
<i>Dragana Macura, Milica Šelmić, Milorad Miletić, Branka Dimitrijević</i> MODEL ZA PREDIKCIJU BROJA SPAVAČIH KOLA U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU PRIMENOM NEURONSKIH MREŽA	593
<i>Bojana Mirković, Vojin Tošić</i> RUNWAY-APRON FUNCTIONAL RELATIONSHIP	598
<i>Feđa Netjasov, Vojin Tošić</i> VALIDATION OF MODEL OF SAFETY CRITICAL AIR TRAFFIC OPERATIONS CASE STUDY: AIRBORNE COLLISION AVOIDANCE SYSTEM	604
<i>Miloš Nikolić, Milica Šelmić, Dušan Teodorović</i> REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA SA VREMENSKIM INTERVALIMA PRIMENOM OPTIMIZACIJE KOLONIJOM PČELA	610
<i>Miloš Nikolić, Dušan Teodorović</i> UBLAŽAVANJE POSLEDICA POVEĆANE POTRAŽNJE NA UNAPRED PROJEKTOVANE RUTE VOZILA U DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA	616
<i>Aleksandar Trifunović, Branimir Đurić, Danijel Stevanović, Svetlana Čičević</i> MERENJE SADRŽAJA IZDUVNIH GASOVA OTO MOTORA NA TERITORIJI GRADA KRAGUJEVCA	622
<i>Vladan Tubić, Branimir Stanić, Marijo Vidas, Ana Trpković</i> ULOGA KORISNIKA I VIŠEKRITERIJUMSKO VREDNOVANJE REŠENJA DENIVELACIJE NA GRADSKOJ MREŽI	628

## Simulacija

- Marko Dogatović, Milorad Stanojević*  
SIMULACIJA SISTEMA MASOVNOG OPSLUŽIVAMJA KORIŠĆENJEM KLASIČNE DEVS  
SPECIFIKACIJE 635
- Dragan Lazarević, Milorad Stanojević, Marko Dogatović*  
SIMULACIJA PREVOZA POŠTANSKIH POŠILJAKA NA PODRUČJU GRADA BEOGRADA 639

## Statistički modeli

- Marija Borčić*  
CARNAP-POPPER-LEBLANC-OV TIP SEMANTIKE ZA VEROVATNOSNO ZAKLJUČIVANJE 644
- Vladimir Bozin, Valentina Lekić, Bojana Milošević, Marko Obradović*  
TESTIRANJE KONZISTENTNOSTI VREMENSKI HOMOGENIH MARKOVLJEVSKIH MODELA ZA  
CENE AKCIJA SA KONKRETNIM PODACIMA 648
- Marina Dobrota, Milica Bulajić, Veljko Jeremić*  
STATISTICAL ANALYSIS OF EUROPEAN HEALTHCARE SYSTEMS: COMPARISON OVER TIME 653
- Ivana Ivković, Vesna Rajić*  
N-DIMENZIONALNE TABELE KONTINGENCIJE 659
- Milorad Paunović, Milorad Eskić*  
UTICAJ PRISUSTVA INFEKCIJE NA NASTANAK DEHISCENCIJE LAPAROTOMIJE 664
- Milena Popović, Jelica Milisavljević, Marija Kuzmanović*  
OBLIKOVANJE TRŽIŠNE PONUDE ZA ULAZAK KOMPANIJE STARBUCKS NA TRŽIŠTE  
SRBIJE: EMPIRIJSKA STUDIJA 669
- Boris Radovanov, Marija Matijević, Aleksandra Marcikić*  
UTVRĐIVANJE NAMERA POTENCIJALNIH KORISNIKA ELEKTRONSKOG BANKARSTVA 675
- Vesna Rajić, Dragan Lončar*  
INTERVALI POVERENJA ZA RAZLIKU PROPORCIJA NA OSNOVU ZAVISNIH UZORAKA SA  
PRIMENOM U ISTRAŽIVANJU TRŽIŠTA 680
- Žarko Rosić, Olivera Mihić*  
ANALIZA EFIKASNOSTI PROIZVODNJE ŽITARICA U SRBIJI 684
- Jelena Stanojević*  
NEPARAMETARSKI INTERVALI POVERENJA ZA RAZLIKU SREDINA DVA UZORKA 689

## Upravljanje rizikom

- Branko Babić*  
UPRAVLJANJE RIZICIMA OD ELEMENTARNIH NEPOGODA U LOKALNOJ SAMOUPRAVI 694
- Zoran Bajić, Jovica Bogdanov, Radun Jeremić, Radenko Dimitrijević*  
UN SERIES 6 HAZARD CLASSIFICATION TEST: MODIFICATION OF TESTS 6(A) AND 6(B) 700
- Ivana Čavka, Vladimir Gajović, Olja Čokorilo*  
UPRAVLJANJE BEZBEDNOSNIM RIZICIMA U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU 705
- Vladimir Gajović, Gordana Radivojević*  
OCENA RIZIČNOSTI PREUZIMANJA RIZIKA U OSIGURANJU PRIMENOM METODE FAHP 711
- Dejan Inđić, Mladen Vuruna*  
MODEL UPOTREBE JEDINICA ABH SLUŽBE U INTEGRISANOM ODGOVORU NA HEMIJSKI  
UDES 717
- Biljana Stojković*  
PROCENA I UPRAVLJANJE IZAZOVIMA, RIZICIMA I PRETNJAMA BEZBEDNOSTI 723

## Višekriterijumska analiza i optimizacija

<i>Marko Backović, Mladen Stamenković, Zoran Popović</i> VIŠE-ETAPNI BENČMARKING MODEL KAO PODRŠKA MENADŽERSKOM ODLUČIVANJU	730
<i>Zvonimir Božilović, Nenad Nikolić</i> OPTIMALNI IZBOR VIŠE IZVOĐAČA GRAĐEVINSKOG PROJEKTA RAZMATRANJEM PRIORITETA I KAPACITETA POTENCIJALNIH IZVOĐAČA	735
<i>Aleksandar Čupić</i> VIŠEKRITERIJUMSKI PRISTUP PROJEKTOVANJU MREŽE ZA PRENOS EKSPRES POŠILJAKA PRIMENOM GENETSKIH ALGORITAMA	741
<i>Draženko Glavić, Vladan Tubić</i> MCA - METOD ILI PROCEDURA PRIMENE?	747
<i>Marija Milojević-Jevrić, Tatjana Davidović</i> PRIMENA METAHEURISTIKA NA OPTIMIZACIJU DINAMIČKE IZDRŽLJIVOSTI I RADNOG VEKA KOD KUGLIČNIH LEŽAJA	753
<b>INDEKS AUTORA</b>	<b>760</b>

EKOLOGIJA



## THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT INTO MILITARY OPERATIONS

SPASOJE MU IBABI<sup>1</sup>, MARIJA JOVANOVI<sup>2</sup>, KSENIJA KELEMENIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Military Academy, mucibabicspasoje@yahoo.com

<sup>2</sup> University of Belgrade, Faculty of Economics, marija4u@gmail.com

<sup>3</sup> National Bank of Greece, kelemenis.ksenija@nbg.gr

---

**Abstract:** *This paper examines the assumptions, meaning and major focuses of mainstream sustainable development theory, primarily within military operations. Having in mind that environmental considerations may impact on, or are affected by, the military operations, they should be integrated into the conduct of operations at all levels of command. Environmental stewardship must be an integral part of the project planning as well as current activities, since it enhances the military organizations' ability to sustain their operations in an environmentally sound manner. This paper also examines present / possible consequences of certain national and regional environmental problems and the role that the military (as an important element of national security) plays in their solving. It is emphasized the importance of decision-making and negotiating to achieve efficiency in the functioning of these systems in regional cooperation.*

**Keywords:** *military operations, natural environment, environmental impacts, military environmental protection, Environmental Impact Assessment (EIA), decision-making, sustainable development.*

### 1. INTRODUCTION

The relationship between the military and the natural environment is very tight and interrelated. The military forces occupy a space needed to successfully accomplish their operations, missions and tasks. They exploit natural resources of the occupied territory. In order to maintain readiness capabilities and protect valuable national assets, the military must preserve habitat and make efforts to limit incompatible development. Regardless, the military has over time become a major polluter of the environment.

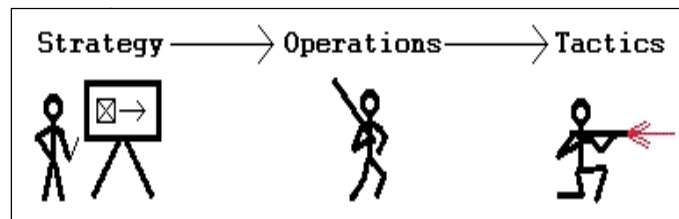
Throughout human history the physical environment has been used as a weapon in both, passive and active way. Passive use of the environment represents an ancient military tactic, such as waiting for suitable weather (i.e. fog, rain, snow, wind) or moon phase (i.e. water levels), channeling the enemy into unfavorable terrain etc. On the other side, active use of the environment refers to provoking environmental impacts deliberately and massively (i.e. the deliberate spread of disease amongst humans, contamination of water sources) in order to weaken the enemy forces. However, negative environmental impacts caused by military activities and facilities can be significantly mitigated. In addition, there are many potential uses of military-related resources (know-how, technology, infrastructure and production) for protection of the environment at home and abroad. There are three different approaches to environmental assessments: *reactive approach* – working with assessments of past events, *active approach* – doing assessments for ongoing activities and *proactive approach* – foreseeing and planning ahead of crises and incidents. The mode of conducting environmental assessments within military operations should switch from reactive (dealing with issues once they have appeared) to proactive (trying to foresee potential environmental issues in advance). Military installations should have a significant role in contributing economic participants in their communities.

### 2. MILITARY OPERATIONS, MISSIONS AND TASKS

Military operations are the coordinated military actions in response to a developing situation. These actions are designed as a military plan to resolve the existing situation in the state's favour. Operations may be of combat or non-combat types, and are referred to by a code name for security reasons. Military operations are often known by their code name rather than by their actual operational objectives.

Military operations are commonly classified by the scale and scope of force employment, and their impact on the wider conflict. As shown in the figure below, there are the following three types of military operations:

- *Strategic operations* – they are led at a strategic level to achieve strategic national objectives. They include large-scale operations and are often accompanied by instruments of national power (diplomatic, economic and informational).
- *Operational operations* – they are led at an operational level and they connect military strategy and tactics by channeling actions at the tactical level towards achieving the objectives set at the strategic level. Therefore, an operational level represents a level at which are planned and conducted large-scale operations in order to achieve strategic objectives on the battlefield or within the area of operations.
- *Tactical operations* – they are planned and led in order to achieve military objectives assigned to tactical military levels. Successful achievement of military objectives at tactical levels contributes to the achievement of objectives at an operational, and in certain circumstances, at a strategic level. Thus, it is necessary to take into account that the effects achieved in tactical operations must always support the achievement of the objectives of major operations.



**Figure 1:** The type of military operations

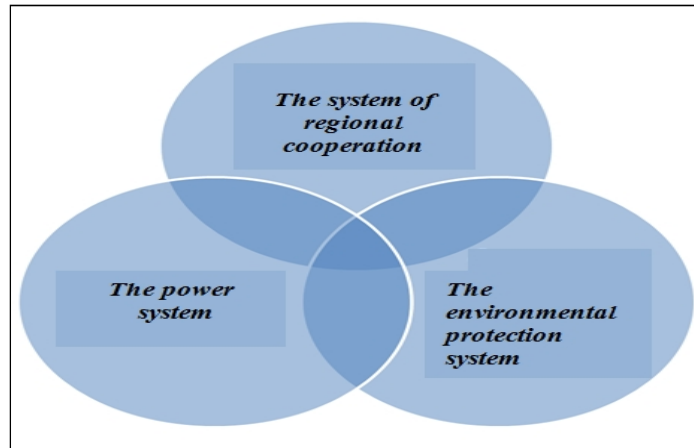
The mission represents a clear, concise statement wherein it is stated who will perform the operation, what should be done, where it will take place, when it will be carried out and why it will be performed. The task is a set of activities which is assigned to the subordinates by superiors. Tasks are the activities of subordinates that must be realized in order to achieve the superiors' mission. Higher levels of command examine and understand their tasks as part of the operational planning process, defining the mission and issuing the tasks to subordinates. Subordinate commanders examine and understand their tasks, defining its mission and issuing tasks to their subordinates. Plans and orders form the basis by which commanders synchronize and coordinate military operations. They provide the “what” and “why” of a mission, while leaving the “how” of the mission up to subordinates.

### 3. ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS AND MILITARY DECISION-MAKING

From ancient time environmental destruction has been an established method of warfare, both defensive and offensive. During war and even in peacetime the natural and cultural environment is affected by various military operations, such as the production and testing of weapons, training and military exercises, the establishment of military bases and installations, the maintenance of a state of alert and combat readiness, and accidents of various kinds. The scrapping and destruction of weapons and other military equipment also create environmental problems. Military accidents occur frequently and under different circumstances. Most of them are environmentally unimportant, while some (i.e. oil spills) may affect the environment, but are similar in nature to those associated with civilian activities. From an environmental perspective, military accidents receiving widespread attention are, for example, those involving nuclear weapons or nuclear reactors on ships, submarines or even trains.

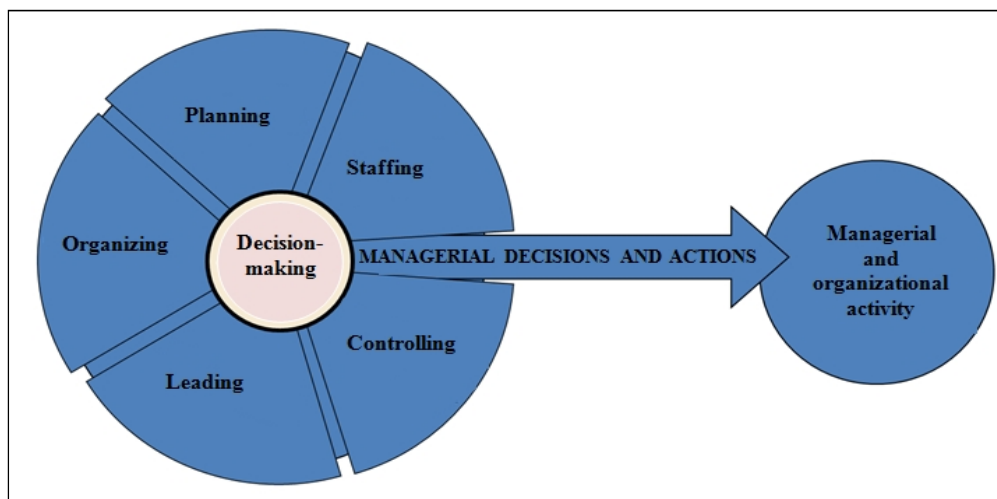
There is one study *"Precision bombing, widespread harm - two case studies of the bombings of industrial facilities at Pancevo and Kragujevac during operation allied force, Yugoslavia 1999"*, which examines some of the environmental effects of the bombings during the 1999 NATO-Yugoslavia War. Its findings have shown that the NATO bombings resulted in the release of significant amounts of toxic substances. It is difficult to conclude definitively what the major risks were and how many of these risks exist today due to the bombings. Although the study refers to the industrial plants in Pancevo and Kragujevac, its results are more general and can be applied to the whole region, which is, directly or indirectly, exposed to the consequences of pollution generated during the previous conflicts (NATO bombings and other conflicts in the former Yugoslavia). There are two aspects of the engagement on the issue: 1) taking joint actions aimed to eliminate the consequences of environmental degradation caused by the military operations in recent history; 2) creating conditions for the prevention of violations of the Fourth Geneva Convention as well as its Additional Protocol I. In both cases are very important the decision-making processes and negotiations in the military management. While the decision-making process needs to ensure compliance with the limitations imposed by the Convention, the negotiation process should ensure taking the mentioned joint actions both

regionally and globally, as well as signing and complying with the Convention by a greater possible number (if possible all) of the countries in the world. It is hoped this study will help future efforts to assess the environmental impacts of war. The problem is that the data required for a thorough analysis are often not available. The next figure shows the connection of the systems at the regional level.



**Figure 2:** The systems' connection at the regional level

In the military management decision-making represents the first and central function, as shown below.



**Figure 3:** The functions of military management

The formalization of a decision-making problem by an appropriate model is one of the first steps in structuring the decision-making process. More than others are used mathematical models which are one of the determinants of operational research as a scientific basis for rational decision-making. In that sense, the modern approach formalizes the decision-making by a quintet  $(A, S, X, Y, Z)$ . Decision-making is a process whose result is a decision (*Odluka*), that is  $O = f(A, S, X, Y, Z)$ , where:

$A = \{ i \}$  – a set of alternatives from which one is selected,  $i = 1, \dots, m$ .

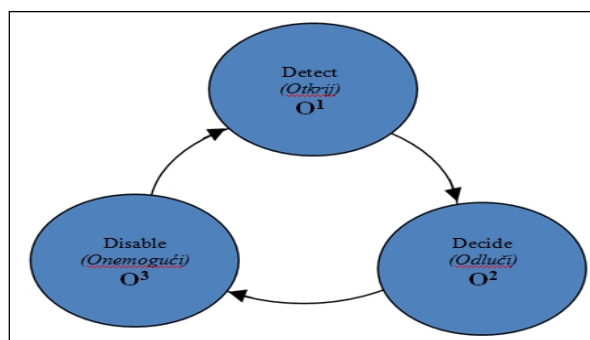
$S = \{ sj \}$  – a set of possible (uncertain) conditions of the environment (nature) and their description, in short - uncertainty,  $j = 1, \dots, n$ .

– mapping decisions in the outcome :  $S \rightarrow O$ .

$O = \{ i \mid i = ( sj) \}$  – an outcome of a decision or payment.

– a preference relation which implicitly includes the utility function TO.

It is said that the outcome  $x$  is better than the outcome  $y$  if and only if the utility  $u(x)$  is greater than  $u(y)$ . The content according to the  $O^3$  methodology is given below.



**Figure 4:** O<sup>3</sup> methodology

Legal rules permit the military to disregard environmental laws when they conflict with the national defense strategy, but that doesn't mean that the military always stands opposed to environmental protection. The failure of the military to implement adequate environmental controls may cause numerous negative impacts (military personnel and civilian health problems, operational delay, violation of environmental laws, excessive financial costs etc.). Environmental considerations should be applied to the conduct of military operations at all levels of command and their relative significance will vary based on the type of operation. It is very important that commanders make balance between environmental protection and mission requirements. Military environmental protection refers to the application and integration of all aspects of natural environmental considerations within military operations (environmental compliance, pollution prevention, conservation, protection of flora and fauna, protection of historical and cultural sites etc).

An *Environmental Impact assessment* (EIA) is a study to determine if significant environmental impacts are expected from a proposed action. Its core purpose is to integrate environmental considerations early in the decision-making process with the aim to identify and mitigate potential adverse effects of proposed actions. This is critical to ensuring that adequate mitigation measures are implemented during the planning phases of operations, activities and projects, and not after decisions are made and actions have been initiated. In some countries EIAs can be legally required or they can be manifested in national policy documents. Information collected during the EIA process provides valuable input to the military organization. It can be used to identify the potential impacts and compliance requirements, as well as to enhance mission success. Commanders should be aware of the environmental consequences of their operations and try to offset or avoid adverse effects. A complete EIA package which includes all of the relevant data, information and recommendations must be provided for the ultimate decision-maker. Mitigation measures identified as part of the EIA process must be implemented and continuously monitored to ensure their effectiveness. Environmental impacts must be carefully considered and recorded as their influence may vary in scope and magnitude. Not all impacts on the environment should be considered significant. Determining the significance of the impacts is much easier if they are quantifiable. The significance of the potential impact should be determined by evaluating each identified impact in the proper context on the factors considered (the actual impact's extent, duration, intensity, probability and frequency of occurrence) and providing a weighted value to each impact. This will lead to a "significance ranking" of the environmental impacts associated with the proposed action. The most significant impacts should be given higher priority for mitigation. Negligible impacts should be addressed commensurate with their scope and character and within available resources. The impacts with a lower ranking score cannot be ignored, but incorporated in the mitigating measures as appropriate. Mitigation measures represent a crucial step in the EIA process to minimize significant adverse impacts (or maximize significant beneficial impacts) of the proposed action or alternatives on the environment. These are: avoidance, preservation, minimization, rehabilitation, restoration, replacement, improvement, augmentation, development and diversification. Each proposed mitigation measure should be evaluated for all its potential impacts on the social and physical components and dynamics of the environment.

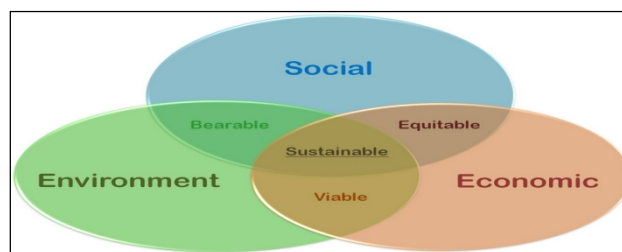
The emergence of military environmentalism is revealed and the world of today is very different from the time when environmental issues were first introduced internationally. There are now completely new environmental challenges and requirements for military organizations worldwide. While the military-related resources are inherently national, environmental challenges are essentially global. Advanced technologies have opened up new possibilities for understanding and meeting these challenges. However, the military must be able to plan, initiate and conduct its actions and programs in a manner that minimizes adverse effects on the environment without impairing military mission readiness, especially having in mind this new



military-environmental complex. The fact is that there are so many ways to make the military-related resources serve non-military purposes.

#### 4. THE IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The term *sustainability* was created within ecology, indicating the ability of the ecosystem to sustain a certain population over time, and later on, by adding the *development* context and forming the syntagm *sustainable development*, focus of analysis transferred from the environment on the society. Today we can say that the main focus of sustainable development is the society and its need for the inclusion of environmental awareness. In fact, the concept of sustainable development is commonly associated with environmental protection, social development planning, economic, political and environmental issues. The concept has become one of the most attractive, contested and omnipresent concepts of today's world. It is a catch phrase without a common meaning or understanding. Primarily, it has been defined by the mainstream tradition of economic analysis, which tends to marginalize the issue of ecological sustainability itself. The critical perspective here instead leads to the conception of sustainable development within military operations. Some people describe sustainable development as an *oxymoron* – fundamentally contradictory and irreconcilable. Bearing in mind its numerous meanings, as well as a number of alternative definitions created and promoted in theory and practice, the term *sustainable development* becomes meaningless in practice, because everybody adapts it to its needs or, even worse, it can be used to disguise socially or environmentally destructive activities. Although often ambiguous, the term sustainable development was popularized and became generally accepted with the report "*Our Common Future*" (WCED, 1987), which offers the following definition: "*Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.*" Below is given a graphical representation of sustainable development, whose integral parts are mutually interdependent: the socio-political sustainability, environmental sustainability and economic sustainability.



**Figure 5:** Sustainable development as the intersection of three components

None of these components of sustainable development cannot function independently. If one of them is neglected, sustainable development will seem to have lost its meaning. Therefore, a multi-dimensional approach to the concept of sustainable development implies not only an equal importance of these components, but also their embeddedness in the necessary flexible national and global institutional framework. Although it is not easy for the military to conduct its activities in accordance with the principles of sustainable development, this concept should be implemented into military operations. That's why a military-wide understanding and acceptance of sustainable development is very important. Sustainable development should be applied to all levels of planning. High-level planners and commanders who create and execute long-term plans must understand the political environment. In a fast-changing international climate, the environmental preservation might be the next arena for new initiatives on multilateralism. Given that future operations will include stability operations, the implementation of the concept of sustainable development into military planning and operations is required in order to ensure an accurate time forecast is provided. Regionally aligned units provide an opportunity for military leaders at the brigade-level and below to conduct proactive stability operations through military-to-military contact and interactions with local populations. The global nature of the environmental challenges makes it imperative that international actions concord with national actions. It is always good reviewing and evaluating the performance of development organization throughout the world in order to get insight into the successful implementation of sustainable development, as well as incorporate the lessons learnt into military doctrine.

The concept of sustainable development as a military tool allows strategic planners to better forecast the time requirements for future operations while giving tactical commanders an opportunity to evaluate the status of their current and planned operations. Military leaders are required to understand the impacts of their decisions and integrate the corresponding actions taken into the long-term and strategic objectives.

Sustainability of development and environmental integrity are issues of supreme importance. Giving due consideration to sustainable development will better create conditions for the military to succeed in modern conflicts. By implementing sustainable development into training, mission planning and execution of operations, commanders at all levels will improve their ability to accomplish their mission while supporting the development objectives.

## 5. CONCLUDING REMARKS

All military activities during war and in peacetime have certain environmental implications. Military operations are major industrial activities that use massive amounts of fuel and materials that significantly contribute to climate change, waste production and environmental degradation. Global environmental awakening that is happening is proportional to advanced understanding of the human-nature connection (and consequently the evolving relationship between the military and the environment) and the fact that the natural resources are scarce and environmental capacity limited. Big efforts are needed to improve military operations at all levels of command through the concept of sustainable development. The military has a new appreciation for the interdependence between military missions, the global community and the natural environment. Environmental considerations can be integrated within the same activities used in the conduct of the military operations, there is no need for a new process or system.

Environmental stewardship is a shared value and a common interest among many nations. It forms a solid foundation for furthering broader relationships among countries, including those within the military structures. The military should center its attention to environmental issues, because by defending nature, the military in a certain manner defends a nation. When it comes to decision-making in military operations, it is of great significance to fulfill all five elements of the decision:  $O = f(A, S, X, \dots)$  as well as to define each of them in complete. Also it is very important for the decision-making process to adhere to the  $O^3$  methodology:  $O^1$  - *Otkrij (Detect)*,  $O^2$  - *Odlu i (Decide)*,  $O^3$  - *Onemogu i (Disable)*. Optimal decisions of regional importance can be reached only through a negotiation process. Over the competent authorities should be initiated that every project also includes the part related to the procedure in case of crisis, wherein the military might play a significant role. Under normal conditions should be provided the training of envisaged forces for solving the crisis situation.

## REFERENCES

- [1] Adams, W.M. (2006). The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century, Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting (29-31 January).
- [2] Environmental Security Working Group, United States – South Africa Defense Committee. (2004, May). Guidebook on Environmental Impact Assessment in the Military, Publication ESWG/005.
- [3] Gopal, S. & Deller, N. (2002, November). Precision Bombing, Widespread Harm - Two Case Studies of the Bombings of Industrial Facilities at Pancevo and Kragujevac During Operation Allied Force, Yugoslavia 1999, Institute for Energy and Environmental Research.
- [4] Headquarters, Department of the Army (2010, February). Environmental Considerations, Field Manual No. 3-34.5/MCRP 4-11B (3-100.4), Washington DC
- [5] Jovanovic, M.V. (2013). Monetary evaluation of investment projects' impacts on the environment, master's thesis, Faculty of Economics, University of Belgrade, Belgrade (in Serbian).
- [6] Mucibabic, S., Zivkovic, K., Kelemenis, K., Zivkovic, M. & Obradovic, Z. (2013). Price of military operations as a significant factor of success operations, SYM-OP-IS 2013, Zlatibor, 8-12.9.2013., 749-754.
- [7] United Nations, Office for Disarmament Affairs (1993). Potential uses of military-related resources for protection of the environment, Report of the Secretary-General, Publication A/46/364, New York.
- [8] World Commission on Environment and Development (1987). Our Common Future, Oxford University Press, New York. Retrieved from <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

# EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA



## **KUPOVNA MOĆ I UTICAJ KRIZE NA MILENIJUMSKU GENERACIJU**

### **PURCHASE POWER AND INFLUENCE OF THE CRISIS ON THE MILLENNIAL GENERATION**

JELENA FILIPOVI

Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, jfilipovic@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Milenijumska generacija predstavlja segment potrošača koji na globalnom nivou raspolaže veći im diskrecionim dohotkom od svih ostalih generacijskih kohorti. Iako je uticaj krize na ovu grupu izražen, oni kroz alternativne načine prevazilaze problem i uspevaju da oduvaju visok nivo potrošnje. Njihova specifičnost u odnosu na ostale potrošače proizlazi i iz činjenice da su odrasli uz Internet i otkrili elektronsku komunikaciju i uslugu u svim domenima i kontinuirano. Zbog visoke stope nezaposlenosti nivo potrošnje milenijumske generacije u Srbiji zaostaje za istom kategorijom njihovih globalnih vršnjaka. U budućnosti je neophodno sprovesti i programe finansijskog opismenjavanja pripadnika ove grupe, kako bi efikasnije mogli da odgovore na finansijske izazove.

**Ključne reči:** Milenijumska generacija, kupovna moć, kriza

**Abstract:** Millennial generation on the global level has more discretionary income at its disposal than any other generational cohort. Even though they have been heavily influenced by the crisis, they manage to find ways in order to maintain their consumption at the high level. The peculiarity of this consumer group stems from the fact that they have grown up with the Internet and therefore they expect continuous electronic communication with companies, as well as electronic services provided in all areas of business. Given the high level of youth unemployment in Serbia, they lag behind their global counterparts in terms of consumption. In the future it is necessary to conduct the programmes of financial literacy in order to enable them to respond effectively to financial challenges.

**Keywords:** Millennial generation, purchase power, crisis

#### **1. UVOD**

Pripadnost određenoj generaciji determinisana je sa najmanje dva faktora, a to su: godina rođenja i zajednička iskustva. Zapravo, osobenost svakog generacijskog iskustva jeste različito kolektivno pamćenje koje se postiže, a osnova generacijskog samoopisa nalazi se u realnom životu. Generacije se formiraju uvek u istim istorijskim okolnostima u kojima se formira i nova slika sveta (Kuljić 2009). Podela na generacije, kao sociološke grupe koje dele ista sećanja i odnos prema životu, u SAD-u počinje još početkom 20. veka.

Milenijumsku generaciju u literaturi srećemo pod raznim nazivima, kao što su: generacija Y – ukazuje se na to da slede generaciju X, echo bumeri – smatra se da dele iste vrednosti kao bejbi bum generacija, umrežena generacija – veliki broj njenih pripadnika koristi Internet, gen.com – isto kao i u prethodnom slučaju, net generacija (Gorman et al. 2004) i sl.

Pored različitosti u nazivima ove generacije, postoje neslaganja i pri starosnom određivanju iste. U zavisnosti od autora, mogu se sresti shvatanja da milenijumska generacija obuhvata sve rođene između 1977. i 1995. godine, zatim one između 1980. i 1999., ili rođene od 1982. do 2003. S obzirom na to da se može primetiti da svi autori smatraju da su deca rođena u 80-im i 90-im godinama 20. veka članovi ove generacije, a takođe, imaju u vidu činjenicu da uobičajeno osobe rođene na prelazu sa jedne na drugu generaciju dele karakteristike obe grupe, smatramo da je odgovarajuće pripadnicima milenijumske generacije smatrati sve rođene od 1980. do 2000. godine.

Generacija Y je svuda u svetu rasla u doba razvoja i blagostanja, a veliki broj društava odlikovao je i materijalistički sistem vrednosti. Samim tim, pripadnici ove generacije razvili su snažan pozitivan odnos prema kupovini i stvarima i brendovima. Prema jednoj anketi (Yarrow and O'Donnell 2009), čak trećina ispitanika zaokružila je najveću ocenu na skali „Ja volim da kupujem“, dok je čak 65% ispitanika zaokružilo

jednu od tri najveće ponuđene ocene (7, 8 ili 9). Pored pozitivnog stava koji pripadnici generacije Y imaju prema kupovini, oni su zanimljivi preduzećima kao tržišni segment i zato što imaju veliku kupovnu moć.

Cilj ovog rada je da razmotri kupovnu moć milenijumske generacije na globalnom nivou i da ukaže na stepen uticaja krize na ovu posebnu starosnu grupu.

## 2. KUPOVNA MOĆ

Procene kupovne moći američkih srednjoškolaca kreću se od 150 do 200 milijardi dolara, dok se za celokupnu milenijumsku generaciju u ovoj zemlji smatra da godišnje troše oko 600 milijardi dolara (Kennedy 2001). U ostalim razvijenim zemljama, situacija je slična. Podaci pokazuju da studenti u Velikoj Britaniji troše oko 20 milijardi funti godišnje (Euromonitor (a)), dok u Francuskoj deca uzrasta 9-13 godina dobijaju oko 200 evra mesečno (Euromonitor (b)). U zemljama u regionu još uvek nije utvrđeno kolika je kupovna moć tržišnog segmenta starosti 10-30 godina, dok u Srbiji određena istraživanja pokazuju da deca uzrasta 9-13 godina uglavnom dobijaju oko 30-40 evra mesečno (Filipovi 2010). Za ostale segmente potrošača na srpskom tržištu još uvek ne postoje relevantni podaci.

Karakteristično je za sve zemlje (razvijene i u razvoju) da pripadnici generacije Y raspolažu velikim diskrecionim dohotkom. Oni mogu više od bilo kog drugog segmenta stanovništva da troše na sebe, jer im egzistencijalne potrebe uglavnom podmiruju roditelji. Oni, za razliku od prethodnih generacija, nastavljaju da žive sa roditeljima i posle završene srednje škole, a u mnogim slučajevima, i posle završenog fakulteta i prvog posla. Na primer, u Italiji i Španiji sa roditeljima živi čak 83%, odnosno 63% nevenanih osoba starosti 18-26 godina. U Nemačkoj, usled visoke stope nezaposlenosti, ali i smanjenja u socijalnim davanjima od strane države, mnogi mladi se odlučuju da žive sa roditeljima i dobijaju pomoć od države u maksimalnoj visini od 276 evra mesečno. Slična situacija je i u Velikoj Britaniji, gde zbog visokih stanarina i velikih studentskih kredita mladi do 30-ih ne mogu da otpočnu samostalan život (Euromonitor (a)). U Australiji, generacija Y predstavlja oko 25% ukupnog australijskog stanovništva, ali na njih se odnosi više od 50% diskrecionog dohotka kojim stanovništvo raspolaže (Euromonitor (c)).

Međutim, bilo bi pogrešno shvatiti da mladi ostaju da žive sa svojim roditeljima samo zato što nemaju drugog izbora. Oni zapravo vole da žive sa njima i svesni su praktičnosti takvog života (npr., roditelji umesto njih obavljaju kućne poslove, plaćaju račune i sl.). Npr., 21% muškaraca i 33% žena starosti 18-26 godina u Italiji priznaje da živi sa roditeljima jer im je tako lakše, odnosno uvek imaju opranu odeću i spremljenu hranu (Euromonitor (c)). Diskrecioni dohodak kojim raspolažu uglavnom troše za zadovoljavanje svojih hedonističkih potreba, kao što su: kupovina odeće, putovanja, kupovina novih tehnologija (mobilni telefoni, apod., kompjuterska oprema i sl.), odlazak na koncerte, poseta bioskopima, itd.

Međutim, u Srbiji je nešto izmenjena situacija. Zapravo, kao glavni razlog zašto žive sa roditeljima mladi navode lošu finansijsku situaciju. Istraživanje sprovedeno na ovu temu pokazuje da čak 53% osoba starosti 18-27 godina živi sa roditeljima. Pored toga, čak trećina njih smatra da su generacije koje odrastaju u Srbiji manje samostalne od svojih vršnjaka u zapadnim zemljama (gde se pod samostalnošću podrazumeva finansijska nezavisnost, bez obzira sa kim se živi) (Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni).

Do istih rezultata dolazi se i ako se posmatra starija kohorta generacije Y. U našoj zemlji sa roditeljima živi čak 92% stanovništva uzrasta 18-24 godina, odnosno 57% stanovništva starosti 25-34 godine (Živanović-Popović 2009). Razlozi za to, pored nepovoljne finansijske situacije, mogu se nalaziti i u naletu vaspitavanja i psihološkim karakteristikama pripadnika generacije Y. Iz prethodno iznetih podataka, moglo se uočiti da je ostajanje sa roditeljima i u zreloj dobi karakteristično za Italiju i Španiju, tj. za mediteranske zemlje, koje su po svojoj kulturi slične Srbiji. Podrazumevaju patrijarhalno vaspitanje i zaštitnički stav prema deci, u kom se „deca ne puštaju da odrastu“. Pored toga, u vremenu neizvesnosti, koje odlikuju nestašice, društvene krize i opšta neizvesnost, razumljivo je da mladi imaju potrebu da ostanu što duže zaštićeni u roditeljskom domu.

Dalje, može se konstatovati da milenijumska generacija ne samo da raspolaže visokim realnim i diskrecionim dohotkom, već takođe ima i veliku vrednost imovine. Prema nekim podacima (CU360 Newsletter 2008), neto vrednost imovine američke milenijumske generacije procenjuje se na 2 biliona, što bi moglo da govori o velikoj budućoj potrošnji ovog segmenta. Međutim, može se konstatovati da je ova generacija mnogo sklonija da troši unapred (tj. da kupuje na kredit) nego da štedi. Jedini izuzetak predstavljaju najmlađi pripadnici ove starosne grupe – deca. Deca uobičajeno štede oko 25% svojih prihoda i pokazuju značajno više interesovanja za dugoročne investicije nego što su to činili njihovi roditelji kad su bili njihovih godina.

Ipak, oni značajno manje doprinose kućnom budžetu nego što je to ranije bio slučaj, odnosno, sve manje su spremni da obavljaju poslove posle škole. Oni imaju povećane prihode u odnosu na prethodne generacije

na osnovu rasta džeparca, poklona od rodbine za praznike i plaćeni kućni poslovi (Howe and Strauss 2000). Lako je zapaziti da zbog brzog tempa života i produženog radnog vremena, deo poslova koji su tradicionalno smatrani poslovima odraslih u kući, sada obavljaju deca (kuvanje, išćenje, uvanje dece i sl.) i za to su odgovarajuće plaćeni.

Većina po etničkih radnih mesta podrazumevaju platu od 25 do 50 000 dolara godišnje, što je nedovoljno da bi pripadnici generacije Y sačuvali kvalitet života na koji su navikli (Yarrow and O'Donnell 2009). Uobičajeno, da bi nadoknadili taj nedostatak sredstava, oni podižu kredite u bankama, tako da većina završenih studenata već ima velike kredite koje mora da otplaćuje. Procenjuje se da se u Kanadi svaki student zaduži sa 5 631 američkih dolara godišnje (George 2008), dok je u Americi, u 2007. godini, 60% diplomaca bilo zaduženo, a prosečna visina „školskog kredita“ iznosila je 22 700 dolara. Pored toga, 66% njih imalo je i kreditne kartice, sa prosečnom visinom dugovanja od 2 632 dolara (Advertising Age 2008), a prosečna visina dugovanja na kreditnoj kartici osobe uzrasta 18-34 godine iznosi 8 200 dolara (The impact of today's financial crisis on Generation Y). S jedne strane to je dobro, jer osobe sa fakultetom lakše nalaze poslove i ti poslovi su bolje plaćeni nego radna mesta koja ne zahtevaju visoko obrazovanje, ali sa druge strane, oni u potrošnju ne mogu da nađu u visoko-plaćene poslove, što znači i da roditelji moraju da im pomognu u povraćaju kredita.

Broj potrošača sa dugovanjima od preko 100 000 dolara konstantno raste, pa se tako u Velikoj Britaniji taj broj udvostručio u 2005. godini u odnosu na 2004. Istovremeno, broj mladih ljudi koji imaju problem sa otplatom kredita značajno je porastao. Slična situacija je zabeležena i u Australiji, gde 73% pripadnika generacije Y ima neku vrstu kredita. Zatim, u Kanadi prosečna neto vrednost (računata kao vrednost imovine umanjena za visinu duga) stanovnika ispod 25 godina starosti pala je čak za 95% od 1984. do 1999. godine, dok se od tog trenutka vrednost pozajmica stalno povećavala (Euromonitor (a)). Može se zaključiti da je u razvijenim zemljama ovo prva generacija, istorijski posmatrano, koja je mogla lako da dođe do kredita, jer ih je bilo u velikoj ponudi i sa raznim namenama.

Ipak, pogrešno bi bilo pretpostaviti da pripadnici generacije Y misle da ne treba da štede i da nisu zabrinuti za svoju buduću potrošnju. 66% Amerikanaca ove dobi ima otvorene štedne račune (Bryant, 2005), dok više od polovine stanovnika SAD-a, starosti 16-22 godina redovno štedi (Kennedy 2001). 37% očekuje da će po etički sa štednjom za penziju pre nego što napuni 25 godina (preciznije, po etički sa štednjom za penziju u svojoj 23. godini života (Scarborough 2007)), dok 49% njih smatra uslove penzionog osiguranja koje poslodavac nudi vrlo važnim faktorom pri zapošljavanju (Yan 2006). Međutim, činjenica je da su oni nedovoljno finansijski obavešteni i da budućnosti pristupaju optimistično, ne vode računa o tome da li će moći da vrate kredit i kakva će biti buduća ekonomska situacija.

### 3. ODNOS PREMA KRIZI

Oni su, kao i u svim sferama života, u pogledu finansijske situacije i njihove budućnosti vrlo optimistični. Kada su pitani u januaru 2009. godine (tokom Svetske ekonomske krize) da procene kolika je verovatnoća da će američka privreda značajno ojačati tokom prvih 6 meseci iste godine, 33% ispitanika starosti 18-24 godine i 32% ispitanika starosti 25-29 godina bilo je vrlo optimistično u tom pogledu, dok je samo 23% ispitanika starijih od 30 godina delilo to mišljenje. Isto istraživanje je pokazalo da su osobe starosti 18-29 godina bile značajno manje spremne da smanje svoje izdatke na odeću i elektronske uređaje, bez obzira na negativne prognoze za američku privredu, nego ispitanici stariji od 30 godina. Najmlađi ispitivani segment, starosti 18-24 godine, još manje je bio spreman na ovako smanjenje troškova (Tapscott 2009).

S druge strane, samo u novembru 2008. godine, oko 19 000 Kanadana mlađih od 24 godine je izgubilo svoje poslove (George 2008). Takođe, 22,7% svih bankrotstava u SAD-u u 2008. godini, činila su bankrotstva osoba starosti 24-35 godina (iako oni u ukupnom broju stanovnika učestvuju samo sa 14% (The impact of today's financial crisis on Generation Y)). Iz ovoga je evidentno da mladi ljudi nisu navikli da štede za krizna vremena (i nemaju finansijske rezerve), kao i da ne umeju da se snađu u periodu kada ostanu bez stalnih priliva. Razumno bi bilo pretpostaviti da se većina pripadnika generacije Y u kriznim periodima oslanja na roditelje, koji zbog toga odlažu odlazak u penziju, kako im se nivo dohotka ne bi smanjio, a samim tim onemogućavaju prijem novih mladih radnika, što dugoročno posmatrano može biti problem za društvo u celini.

Ovakva situacija u pogledu kredita nije karakteristična za Srbiju. Istraživanje (Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni) pokazuje da su mladi u zemlji vrlo nepoverljivi prema finansijskim institucijama, odnosno, oni su „rezervisani“ prema svim vrstama pozajmica, uključujući i studentske kredite. Ovo delimično može biti posledica traumatičnih iskustava iz 90-ih godina, ali i opšte situacije u zemlji. Samo 25% ispitanika uzrasta 18-27 godina do sada je koristilo neki oblik kredita. Preostalih 75% kao razloge nekorišćenja istog navode visoke kamate (42%) i nepoverenje u finansijske institucije (29%). Kreditni

zahtevi kod 18% ispitanih su odbijeni, a 11% njih nema jasnu predstavu kako do i do kredita. Većina ispitanika koji su koristili kredite nije umela da navede podatke o kamati ili periodu otplate (Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni). Kada je reč o mlađem segmentu generacije Y – srednjoškolcima, vidimo da više od petine njih smatra da imaju dovoljno sredstava, dok ostalima nedostaje za putovanja, odeću, obuću i izlaske. Analiza (Vidi 2008) pokazuje da su srednjoškolci iz trogodišnjih škola ugroženiji od onih iz četvorogodišnjih; što su deca starija, to su ugroženija; i mladi sa juga Srbije nešto su manje ugroženi od mladih iz ostalih regiona.

#### 4. FINANSIJSKA PISMENOST I OBRAZOVANJE

Nerealna tržišna i finansijska otkrivaju usko su povezana sa nedostatkom sposobnosti i znanja za upravljanje ličnim (sopstvenim) finansijama (npr. određivanje realne visine dozvoljenog minusa za tekućih ulaganja ili kupovina na rokove u skladu sa mogućnostima). Međutim, pripadnici milenijumske generacije spremni su da učine, samo im treba ponuditi odgovarajuće obrazovne programe u ovoj sferi, što bi trebalo da bude u domenu rada banaka i ostalih finansijskih institucija koje su zainteresovane za sredstva ove generacije.

Jedan od pokušaja da se privuče više potrošača iz ove starosne kohorte predstavlja i primer Kanadske rojal banke (engl. Royal Bank of Canada). Oni su angažovali blogere, starosti do 30 godina, koji su zaduženi da na sajtu banke mladima daju odgovore na pitanja koja se tiču otvaranja računa, dobijanja kreditnih kartica, uslova kreditiranja i slično i za to dobijaju platu od 20 dolara po satu, što na godišnjem nivou iznosi 15600 dolara, što je dosta više nego što se dobija za ostale studentske poslove (O'Sullivan 2007). Ovakvi napori banke u skladu su sa naletom informisanja ove generacije, s obzirom na to da 86% mladih korisnika bankarskih usluga koristi blogove kao mesto za traženje relevantnih informacija (Bank Technology News, 2008).

Mladi u Srbiji su svesni da nisu dovoljno finansijski obrazovani ni informisani i smatraju da bi državne institucije trebalo da pokrenu projekte sa ciljem unapređenja opšte finansijske pismenosti (Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni). Zanimljivo je primetiti da u razvijenim zemljama mladi prevashodno vide banke kao glavne nosioce finansijskog opismenjavanja, dok u našoj zemlji u toj ulozi se vidi država. Jedno od objašnjenja za to može se pronaći u činjenici da su piramidalne banke iz 90-ih, kao i veliki broj drugih banaka koje su bankrotirale na srpskom tržištu, ostavile jak osećaj nepoverenja među građanima prema bankama uopšte i da se one i dalje gledaju u negativnom svetlu.

Za razliku od nepoverenja u štednju i nedovoljnu upoznatost sa ostalim bankarskim proizvodima, platne kartice su vrlo široko rasprostranjene. Istraživanje (Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni) pokazuje da debitne kartice u Srbiji koristi 44%, a samo 5% njih nema platnu karticu. Dalje, više od polovine ispitanika nema kreditnu karticu, ali 25% njih planira da se u najkraćem roku obrati svojoj banci sa zahtevom za izdavanje kreditne kartice. Kreditne kartice koriste samo za vanredne kupovine – 10% ispitanika, dok 20% ispitanika iste gotovo nikad ne koristi. Ovo je u skladu sa zapadnim trendovima, gde većina pripadnika generacije Y uopšte ne nosi gotovinu sa sobom (Scarborough 2007), već sve plaća platnim karticama.

Pored kreditnih kartica, pripadnici generacije Y žele da isprobaju i druge finansijske proizvode. Jedno istraživanje (Wolburg and Pokrywczynski 2001), sprovedeno u SAD-u pokazuje da većina bruća ima sastavljen petogodišnji plan (plan raspolaganja sopstvenim finansijama u narednih pet godina) do svoje 18. godine. Te finansije esto uključuju i akcije, obveznice, polise osiguranja – životnog i penzionog, pored štednje i tekućih primanja. Određeni podaci pokazuju da 20% pripadnika generacije Y ulaže u investicione fondove i životno osiguranje, što predstavlja udvostručenje u odnosu na situaciju od pre četiri godine, kada se ovom vrstom ulaganja bavilo samo 10% njih (Papini 2007). Dalje, 18% njih poseduje akcije i obveznice, dok 36% ispitanika tvrdi da će u budućnosti koristiti ova portfolia da bi ispunili svoje ciljeve (Bryant, 2005). U Srbiji dosta finansijskih proizvoda još nije postalo popularno, tako da ne postoje relevantna istraživanja koja bi se bavila rasprostranjenošću u upotrebe tih proizvoda među mladim ljudima.

#### 5. ZAKLJUČAK

Tržište milenijumske generacije predstavlja tržište sa velikim ekonomskim potencijalom, koje se po svojim karakteristikama razlikuje od tržišta drugih starosnih segmenata. Potrošači iz ovog segmenta pokazuju natprosječnu sklonost ka potrošnji, pri čemu raspolažu velikim diskrecionim dohotkom. Na globalnom nivou predstavljaju jednu od najlukrativnijih grupa, što su mnoge kompanije danas prepoznale. Neophodno je da preduzeća pronađu u najefikasnije načine da pristupe ovom specifičnom starosnom segmentu, prevashodno kroz veće oslanjanje i uključivanje Internet komunikacije i razvoja elektronskih usluga.

Uzimaju i u obzir visoke prihode kojima najstariji deo milenijumske generacije raspolaže, kao i sklonost ka štednji, može se očekivati da i ova starosna grupa i u budućnosti raspolagati značajnim sredstvima. Bez obzira što predstavljaju jednu od grupa najviše pogođenih svetskom krizom, pripadnici ove generacije pronalaze alternativne načine (pre svega kroz zajedničku potrošnju u okviru domaćinstva) za održavanje visokog nivoa kupovne moći. Određene specifičnosti se ipak uočavaju na nivou Srbije, gde mladi predstavljaju jednu od najranjivijih grupa u društvu (dominantno vezano za visoku stopu nezaposlenosti). Pored ustanovljavanja odgovarajućih programa namenjenih zapošljavanju mladih, neophodno je kreirati i sprovesti strategiju njihovog boljeg finansijskog opismenjavanja u bliskoj budućnosti.

## LITERATURA

- [1] Advertising Age (2008). Mac owners are just like, well, the Mac Guy [http://adage.com/article?article\\_id=123350](http://adage.com/article?article_id=123350). [Pristup: 28.11.2013.]
- [2] Bank Technology News (2008). Customer acquisition: Generation N(Y)xt. Bank Technology News.14
- [3] Bennett, G. & Lachowetz. T. (2004). Marketing to Lifestyles: Action Sports and Generation Y". Sport Marketing Quarterly. 13, 239-243
- [4] Bryant. L. (2005). Only on the web. Chico State Inside. 35, 411-422
- [5] CU360 Newsletter (2008). Connect to generations X and Y. CU360 Newsletter. February 2, 7-8
- [6] Euromonitor (a). Generation Y: Marketing to the Young Ones. [www.euromonitor.com](http://www.euromonitor.com). [Pristup: 29.4.2010.]
- [7] Euromonitor (b). Consumer Lifestyles in France. [www.euromonitor.com](http://www.euromonitor.com). [Pristup: 29.4.2010.]
- [8] Euromonitor (c). Generation Y – the connected generation. [www.euromonitor.com](http://www.euromonitor.com). [Pristup: 25.8.2010.]
- [9] Filipovi . J. (2010) Mali kupci, veliko tržište. Beograd: Zavod za udžbenike.
- [10] George, L. (2008). Dude. where's my job?. Maclean's. 122, 48-49
- [11] Gorman, P., Nelson, T. & Glassman, T. (2004). The Millennial generation: a strategic opportunity. Organizational Analysis. Vol. 12. No. 3. str. 255-270
- [12] Howe, N. & Strauss, W. (2000). Millennials rising: The next great generation. New York: Vintage.
- [13] Kennedy, L. (2001). The up & coming generation". Retail Merchandiser. 41, 66
- [14] Kulji , T. (2009). Sociologija generacije. Beograd: Igoja štampa.
- [15] O'Sullivan, O. (2007). Getting real with Gen Wired. ABA Banking Journal. 99, 48-50
- [16] Papini, J. (2007). Millennials: The fund industry's next great hope. Money Management Executive. July 30, 8
- [17] Scarborough, M. (2007). Making customers of generations X and Y. Community Banker. 16, 5
- [18] Tapscott, D. (2009). Grown up digital: how the net generation is changing your world. McGraw Hill International
- [19] The impact of today's financial crisis on Generation Y. <http://www.mlinc.com/geny/impact.cfm?cid=gib03>. [Pristup: 12.12.2013.]
- [20] Vidi , M. (2008). Mobilni telefoni, kafi i i Veliki brat. Vreme. 903-904, 18-22. Prema istraživanju za potrebe izrade Nacionalne strategije za mlade Ministarstva za omladinu i sport
- [21] Visa istražuje: da li su mladi u Srbiji dovoljno samostalni. (2009). <http://www.citymagazine.rs/page.php?id=1109>. [Pristup: 13.12.2013.]
- [22] Wolburg, J. & Pokrywczynski, J. (2001). A Psychographic analysis of generation Y college students. Journal of Advertising Research. 41, 33-52
- [23] Yan, S. (2006). Understanding generation Y. The Oberlin Review. [http://www.oberlin.edu/stupub/ocreview/2006/12/08/features/Understanding\\_Generation\\_Y.html](http://www.oberlin.edu/stupub/ocreview/2006/12/08/features/Understanding_Generation_Y.html) [Pristup: 13.12.2013.]
- [24] Yarrow, K. & O'Donnell, J. (2009). Gen BuY – How tweens, teens, and twenty-somethings are revolutionizing retail. San Francisco: Jossey-Bass.
- [25] Živanovi -Popovi , N. (5.10.2009.). Mladi su lenji za samostalan život. Blic, 15





## BRUTO DRUŠTVENI PROIZVOD I BRUTO NACIONALNI DOHODAK KAO INDIKATORI EKONOMSKOG RAZVOJA

### GROSS DOMESTIC PRODUCT AND GROSS NATIONAL INCOME AS INDICATORS OF ECONOMIC DEVELOPMENT

NEMANJA MILENKOVI<sup>1</sup>, ALEKSANDAR OKOVI<sup>1</sup>, SELENA TOTI<sup>1</sup>, MILAN RADOJIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultet Organizacionih Nauka, Univerzitet u Beogradu

<sup>2</sup> Vojvođanska banka, Novi Sad

**Rezime:** *Merenje ekonomskog razvoja zemlje je izuzetno kompleksan problem. Analiza blagostanja jedne zemlje ne može se izmeriti korišćenjem samo jednog indikatora, kao što je npr. Bruto Doma i Proizvod. Cilj ovog rada je da pokaže razlike između Bruto Doma i Proizvoda (BDP) i Bruto Nacionalnog Dohotka (BND), kako bi se utvrdilo koji od njih je bolji pokazatelj ekonomskog razvoja i životnog standarda. Pored ova dva pokazatelja, postoji još indikatora koji bi trebalo da budu uključeni u proces merenja ekonomskog razvoja zemalja. U tom cilju, korišćen je metod statističke analize, I-odstojanje, koji je detaljno objašnjen i primenjen na 28 zemalja Evropske Unije (EU).*

**Ključne reči:** *BDP, BND, I-odstojanje, indikatori ekonomskog razvoja, zemlje EU, rangiranje.*

**Abstract:** *The measurement of countries' economic development is a complex and much discussed topic. The analysis of a country's well-being cannot be limited to only one indicator such as GDP. The aim of this paper is to show differences between Gross Domestic Product (GDP) and Gross National Income (GNI) in order to determine which is a better indicator of economic development and living standard. In addition to these two indicators more should be included in a process of measuring economic development of countries. To this end the statistical I-distance method is thoroughly explained and applied to 28 European Union (EU) countries.*

**Keywords:** *GDP, GNI, I-distance method, economic development indicators, EU countries, ranking*

#### 1. UVOD

Ekonomski razvoj zemalja je jedan od najvažnijih problema ekonomskog istraživanja. Brojni naučni radovi koriste različite pristupe sa ciljem da izmere ekonomsku razvijenost, a skoro svi se slažu u jednoj stvari: ekonomski razvoj je višedimenzionalni koncept. Različiti istraživači primenjuju različite indikatore koji su uglavnom proizvoljno odabrani. Među ostalim indikatorima, većina njih koristi Bruto Doma i Proizvod (BDP) kao jedan od najvažnijih i najreprezentativnijih pokazatelja ekonomskog razvoja. BDP po glavi stanovnika se uglavnom koristi u komparativnim studijama o ekonomskoj snazi zemalja (Vinkler 2008). Međutim, prethodna istraživanja (Cracolici et al. 2010) pokazala su da BDP nije u stanju da izmeri nejednakosti između zemalja i da u najboljem slučaju može biti samo parcijalna mera ekonomskog razvoja. Kao takav, BDP se ne može smatrati presudnim indikatorom razvijenosti jedne zemlje, jer ne pokazuje blagostanje svog stanovništva (Davidson 2000).

Potencijalno poboljšanje u merenju razvoja zemalja je Indeks Ljudskog Razvoja (Human Development Index - HDI) razvijen od strane Svetske Banke. Ovaj indeks je kompozitni indikator, prvobitno zasnovan na tri indikatora: BDP po glavi stanovnika, očekivani životni vek i stopa pismenosti odraslih. Zbog malog broja indikatora i visoke korelacije među njima, HDI je mnogo kritikovan (McGillivray 1991; Srinivasan 1994). U 2010. godini, Izveštaj o ljudskom razvoju (Human Development Report – HDR), uveo je nekoliko promena u HDI. Očekivani životni vek je ostao indikator koji se koristi za merenje zdravstvenog sistema, dok srednji broj godina školovanja i broj očekivanih godina školovanja predstavljaju indikatore koji se koriste za merenje kvaliteta obrazovanja. Najvažnija promena je uvođenje Bruto Nacionalnog Dohotka (BND) kao zamena za BDP, koji se do tada koristio za merenje životnog standarda. Glavni razlog za ovu promenu leži u tome što su u globalizovanom svetu razlike između prihoda stanovnika jedne zemlje i njene domaće proizvodnje esto velike (UNDP 2010).

Izveštaj o merenju ekonomskog u inka i društvenog napretka (Stiglic et al. 2009) prepoznaje granice BDP-a kao pokazatelja ekonomske razvijenosti, ukljujujući i probleme sa njegovim merenjem. BDP uglavnom meri tržišnu proizvodnju izraženu u novim jedinicama, koji je kao takav koristan. Međutim, esto se bez dobrih argumenata tretira i kao mera ekonomskog razvoja. Ovaj Izveštaj pokazuje da postoji sve veći jaz između informacija koje su sadržane u ukupnom BDP-u i onoga što je zaista važno za blagostanje ljudi. esto se akcent stavlja na BDP, iako BND ili stvarni prihod doma instva može biti adekvatniji indikator s obzirom na činjenicu da zbirni podaci sadržani u BDP-u ne predstavljaju ono što je zaista važno za blagostanje ljudi.

U skladu sa tim, merenje ekonomskog razvoja jedne zemlje treba da sadrži brojne indikatore, kao i istovremeno ispitivanje značaja svakog od tih indikatora. U ovom radu se, koristeći brojne indikatore, bitno sprovedena metoda Ivanovičevog odstojanja. Nekoliko indikatora se bitno sintetizovano u jednu vrednost koja se predstavlja rang jedne zemlje. Razlike između stepena ekonomskog razvoja zemalja se bitno prikazane, a zatim i objašnjena značajnost korišćenih indikatora.

## 2. METODOLOGIJA I-ODSTOJANJA

I-odstojanje je metrika u  $n$ -dimenzionom prostoru. Ivanović (1973) je ovu metodologiju osmislio za rangiranje zemalja na osnovu njihovog nivoa socio-ekonomskog razvoja, izmerenog korišćenjem nekoliko indikatora. U cilju stvaranja sintetizovanog indikatora razvoja, odabrani indikatori su sublimirani u jednu vrednost, koja se nakon toga predstavlja rang zemlje.

Brojne analize sprovedene su korišćenjem metode I-odstojanja. I-odstojanje je korišćeno u cilju rangiranja univerziteta (Jeremić et al. 2011; Jovanović et al. 2012), za merenje zdravstvenih sistema evropskih zemalja (Jeremić et al. 2012), održivog razvoja i javnog zdravlja (Seke et al. 2013), IKT razvijenosti (Dobrota et al. 2012), kao i socio-ekonomskog razvoja MENA (Middle East and North Africa) zemalja (Milenković et al. 2014).

Za određeni vektor varijabli  $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  izabranih da reprezentuju entitete (zemlje koje se rangiraju), I-odstojanje između dva entiteta  $e_r = (x_{1r}, x_{2r}, \dots, x_{kr})$  i  $e_s = (x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{ks})$  se definiše kao:

$$D(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, s)|}{\dagger_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ji.12\dots j-1}) \quad (1)$$

gde je  $d_i(r, s)$  odstojanje između vrednosti varijabli  $X_i$  entiteta  $e_r$  i  $e_s$ , tj. diskriminacioni efekat,

$$d_i(r, s) = x_{ir} - x_{is}, \quad i \in (1, \dots, k)$$

$\dagger_i$  standardna devijacija od  $X_i$ ,  $r_{ji.12\dots j-1}$  je parcijalni koeficijent korelacije između  $X_i$  i  $X_j$ , ( $j < i$ ). ( $j < i$ ) (Ivanović, 1977).

Rangiranje vrednosti I-odstojanja je iterativno i vrši se kroz nekoliko etapa:

- Izračunava se vrednost diskriminacionog efekta za indikator  $X_1$  (najvažniji indikator, onaj koji pruža najveću količinu informacija o posmatranoj pojavi);
- Dodaje se vrednost diskriminacionog efekta indikatora  $X_2$  koji nije pokriven indikatorom  $X_1$ ;
- Dodaje se vrednost diskriminacionog efekta indikatora  $X_3$  koji nije pokriven sa indikatorima  $X_1$  i  $X_2$ ;
- Procedura se ponavlja za sve indikatore.

Entitet sa minimalnim (ili maksimalnim ili prosečnim) vrednostima za svaki indikator se postavlja kao referentni entitet. Rangiranje entiteta u skupu se bazira na izračunavanju odstojanja svakog entiteta od onog koji je postavljen za referentni entitet. Koristeći izračunavanje I-odstojanja, može se posmatrati intenzitet posmatrane pojave i rang entiteta. Kada se izračunava koeficijent korelacije svakog indikatora sa I-odstojanjem, značaj posmatranih indikatora dolazi do izražaja. Kako raste vrednost koeficijenta korelacije između I-odstojanja i posmatranog indikatora, tako raste i značaj posmatranog indikatora, tj. količina informacija koje indikator pruža o posmatranoj pojavi. Kada  $p < 0,05$ , indikator je značajan.

### 3. REZULTATI

U cilju merenja ekonomskog razvoja zemalja i značajna odabranih indikatora, istraživanje je sprovedeno na skupu od 28 zemalja Evropske Unije. Korišteni su najnoviji podaci sa zvaničnog sajta Svetske Banke i osam indikatora je odabrano: 1. Domaći krediti u privatnom sektoru (% BDP-a); 2. Izvoz roba i usluga (% BDP-a); 3. Strane direktne investicije, neto odliv (% BDP-a); 4. Rast BDP-a (godišnji %); 5. BDP po glavi stanovnika (trenutni međunarodni \$); 6. BND po glavi stanovnika (trenutni međunarodni \$); 7. Inflacija, potrošačke cene (godišnji %); 8. Nezaposlenost (% od ukupnog radno sposobnog stanovništva). Ovi indikatori su zvanično predloženi indikatori ekonomskog razvoja Svetske banke. Rezultati dobijeni korišćenjem metode I-odstojanja prikazani su u Tabeli 1.

**Tabela 1:** Rezultati I-odstojanja, vrednosti I-odstojanja i rangovi

Zemlja	I-odstojanje	Rang
Švedska	13.73	1
Luksemburg	12.22	2
Holandija	10.35	3
Irska	10.16	4
Danska	9.99	5
Kipar	9.56	6
Austrija	9.38	7
Nemačka	9.13	8
Ujedinjeno Kraljevstvo	8.36	9
Francuska	7.84	10
Malta	7.67	11
Španija	7.37	12
Belgija	7.33	13
Finska	6.83	14
Letonija	6.23	15
Portugal	5.94	16
Italija	5.81	17
Grčka	5.78	18
Estonija	5.43	19
Slovenija	5.32	20
Litvanija	5.18	21
Češka	4.57	22
Slovačka	4.43	23
Rumunija	4.36	24
Poljska	4.17	25
Bugarska	4.04	26
Hrvatska	3.15	27
Mađarska	2.81	28

Rezultati su otkriveni i u skladu su sa trenutnom ekonomskom situacijom u zemljama Evropske Unije. Međutim, težište rada je u ispitivanju značajnosti posmatranih ekonomskih indikatora. Koeficijenti korelacije u Tabeli 2. izmeđ u I-odstojanja i odabranih indikatora pokazuju važnost svakog indikatora u analizi ekonomskog razvoja jedne zemlje.

**Tabela 2:** Korelacija izme u I-odstojanja i indikatora ekonomskog razvoja

Indikator	<i>r</i>
BND po glavi stanovnika (trenutni me unarodni \$)	0.863**
BDP po glavi stanovnika (trenutni me unarodni \$)	0.786**
Doma i krediti u privatnom sektoru (% BDP-a)	0.681**
Inflacija, potroša ke cene (godišnji %)	0.668**
Nezaposlenost (% od ukupnog radno sposobnog stanovništva)	0.480**
Strane direktne investicije, neto odliv (% BDP-a)	0.377*
Izvoz roba i usluga (% BDP-a)	0.199
Rast BDP-a (godišnji %)	0.001

\*\*  $p < 0.01$ ; \* $p < 0.05$

Kao što se može videti iz prethodne tabele, BND po glavi stanovnika se pokazao kao najvažniji indikator ekonomskog razvoja ( $r = 0,863$ ,  $p < 0,01$ ) me u koriš enim indikatorima. BDP po glavi stanovnika je na drugom mestu po zna ajnosti. Koš što je i pokazano u ranijim istraživa kim radovima, BDP se ne može smatrati najvažnijim indikatorom ekonomskog razvoja i životnog standarda. Me utim, ovaj rad je pokazao da je BDP veoma zna ajan indikator ( $r = 0,768$ ,  $p < 0,01$ ).

#### 4. ZAKLJU AK

Neadekvatnost BDP kao indikatora ekonomskog razvoja jedne zemlje je pitanje o kojem se esto vode diskusije. Ekonomska kriza koja je po ela 2008. godine je postavila ograni enja BDP-a kao indikatora blagostanja i kao indikatora za predvi anje ekonomske razvijenosti (Fasolo et al. 2013). To zna i da je neophodno identifikovati nove indikatore koji bi bili u stanju da preciznije mere ekonomski razvoj zemalja. Me utim, BDP je i dalje veoma važan indikator, ali ne i najzna ajniji.

U ovom istraživa kom radu primenjena je metoda I-odstojanja u cilju ispitivanja važnosti izmerenih indikatora ekonomskog razvoja, kao i merenja nivoa ekonomskog razvoja zemalja EU. Pristup koji je predložen u ovom radu, kao i odabrani indikatori, mogu se koristiti i u budu im istraživanjima. Metoda I-odstojanja je u stanju da sintetizuje veliki broj indikatora u jednu numeriku vrednost koja predstavlja intenzitet posmatrane pojave, u ovom slu aju nivo ekonomskog razvoja zemalja. Ovaj pristup omogu ava bolje istraživanje razlika izme u posmatranim zemalja. Pored toga, ova metoda može da identifikuje klju ne indikatore za merenje ekonomskog razvoja zemalja.

#### LITERATURA

- [1] Cracolici, M.F., Cuffaro, M. & Nijkamp, P. (2010). The Measurement of Economic, Social and Environmental Performance of Countries: A Novel Approach. *Social Indicators Research*, 95, 339–356.
- [2] Davidson, E.A. (2000). *You can't eat GNP: Economics as if ecology mattered*. Cambridge, MA: Perseus.
- [3] Dobrota, M., Jeremic, V. & Markovic, A. (2012). A new perspective on the ICT Development Index. *Information Development*, 28, 271–280.
- [4] Fasolo, L., Galetto, M. & Turina, E. (2013). A pragmatic approach to evaluate alternative indicators to GDP. *Quality & Quantity*, 43, 633–657.
- [5] Ivanovic, B. (1973). *A method of establishing a list of development indicators*. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- [6] Ivanovic, B. (1977). *Classification Theory*. Belgrade, Institute for Industrial Economic.
- [7] Jeremic, V., Bulajic, M. & Martic, M. (2011). A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics* 87, 587–596.
- [8] Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D. & Radojicic, Z. (2012). An Evaluation of European Countries Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16, 170–174.
- [9] Jovanovic, M., Jeremic, V., Savic, G., Bulajic, M. & Martic, M. (2012). How does the normalization of data affects the ARWU ranking?. *Scientometrics*, 93, 319–327.

- [10] McGillivray, M. (1991). The human development index: yet another redundant composite development indicator? *World Development*, 19, 1461–1468.
- [11] Milenkovic, N., Vukmirovic, J., Bulajic, M. & Radojicic, Z. (2014). A multivariate approach in measuring socio-economic development in MENA countries. *Economic Modelling*, 38, 604–608.
- [12] Seke, K., Petrovic, N., Jeremic, V., Vukmirovic, J., Kilibarda, B. & Martic, M. (2013). Sustainable development and public health: rating European countries. *BMC Public Health* 13, Article number: 77.
- [13] Srinivasan, T. N. (1994). Human development: a new paradigm or a reinvention of the wheel? *American Economic Review*, 84, 238–243.
- [14] Stiglitz, J.E., Sen, A. & Fitoussi, J. (2009). Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. [http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/documents/rapport\\_anglais.pdf](http://www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/documents/rapport_anglais.pdf) last accessed: 1.6.2014.
- [15] UNDP. (2010). Human Development Report. New York: Oxford University Press.
- [16] Vinkler, P. (2008). Correlation between the structure of scientific research, scientometric indicators and GDP in EU and non-EU countries. *Scientometrics*, 74, 237–254.

**MATEMATIČKI MODEL OPTIMALNOG PORTFOLIA AKTIVE I PASIVE BANKE****THE MATHEMATICAL MODEL OF THE OPTIMAL PORTFOLIO OF ASSETS AND LIABILITIES OF BANK**ZORAN POPOVI<sup>1</sup>, MARKO BACKOVI<sup>1</sup>, MLADEN STAMENKOVI<sup>1</sup><sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {zpop, backovic, mladen}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Ovaj rad bavi se dizajniranjem matematičkog modela u cilju optimalnog upravljanja aktivom i pasivom poslovne banke. Kvantitativni model za upravljanje aktivom i pasivom banke koji je u radu predložen bazira se na primeni metoda višekriterijumske optimizacije.

**Ključne reči:** Upravljanje aktivom i pasivom, optimalni portfolio, metod višekriterijumske optimizacije.

**Abstract:** This paper deals with design of a mathematical model for optimal asset and liability management by commercial banks. A quantitative model for asset and liability management, which is proposed in the paper is based on the application of methods multi-criteria optimization.

**Keywords:** Asset and liability management, optimal portfolio, Method of multi-criteria optimization.

**1. ANALIZA STRUKTURE PORTFOLIA AKTIVE I PASIVE BANKE**

Finansijska stabilnost bankarskog sistema osnova je ekonomskog razvoja svake zemlje. Poslovne banke u ovako modeliranom ekonomskom sistemu, predstavljaju finansijske institucije koje se bave formiranjem kratkoročnog i dugoročnog depozitnog potencijala i njegovom transformacijom kreditira, nebankarske finansijske institucije na kratak, srednji i dugi vremenski period. Usklađenost priliva i odliva sredstava definiše osnovni princip bankarskog poslovanja, a to je princip likvidnosti. Pored principa likvidnosti, izdiferencirani su i princip solventnosti, sigurnosti, efikasnosti i princip rentabilnosti (profitabilnosti). Dakle, banka mora imati takvu poslovnu politiku koja će sprovođeno i redovno osiguravati priliva i odliva sredstava. Pored sredstava neophodnih da po redovnosti ispunjava svoje obaveze, neophodno je da banka ima izdvojena sredstva za rezerve likvidnosti i propisane obavezne rezerve. Neispunjavanje nekog od prethodno navedenih uslova, banka se smatra nelikvidnom. Na osnovu izloženog likvidnost banke može se definisati, kao:

- Primarna likvidnost koja obuhvata gotovinu i depozite kod centralne banke,
- Sekundarna likvidnost obuhvata primarnu likvidnost koja je uvedena za najlikvidniji deo aktive,
- Tercijalna likvidnost.

Realno posmatrano svaki oblik sredstava se sa nekom verovatnošću može konvertovati u gotovinu u određenom trenutku i bez gubitka. Zato je neophodno svakom obliku sredstava pripisati stepen likvidnosti, pri čemu se stepeni likvidnosti kreću od nule za potpuno nelikvidna sredstva do jedan za primarnu likvidnost sredstava. U realnom poslovanju banke, vrlo često postoji odstupanje u manjem ili većem iznosu poklapanja priliva i odliva sredstava. Ako je dospele aktive kraće u odnosu na dospele pasive tada je banka likvidna, a u suprotnom slučaju banka je nelikvidna. Kako stanje preterane likvidnosti, tako i stanje nelikvidnosti nisu povoljni po poslovanje banke. U slučaju preterane likvidnosti (primarna likvidnost) banka raspolaže velikim iznosom nekamatonske gotovine čime smanjuje svoju profitabilnost. Nelikvidnost banke može da nastane usled lošeg roka i nekvalitetne aktive što se ogleda u kvalitetu plasmana i odobrenih kredita banke, ili na strani pasive što se ogleda u redovnosti, visini i kvalitetu depozita. Menadžmen banke tada preduzima odgovarajuće akcije koje dovode do pada prihoda od kamata i rasta rashoda po osnovu kamata, a to dalje ima za rezultat smanjenje profitabilnosti.

Princip solventnosti predstavlja sposobnost banke da svojom aktivom pokrije ukupne obaveze (pasivu) uvedene za sopstveni kapital. Dakle, solventnost se sagledava vrednovanjem realne vrednosti aktive i ukupnog iznosa pasive. Bilansna ravnoteža banke zadaje se izrazom  $a = l + K$ , gde je  $a$  -aktiva (sredstva),  $l$  - pasiva (izvori sredstava) i  $K$  - kapital. Uslov da bi banka bila solventna predstavlja odnos između realne vrednosti aktive i izvora sredstava, i zadaje se izrazom  $a > l$ .

Princip sigurnosti predstavlja sposobnost banke da u predviđenim rokovima i na ugovoreni način izvrši sve svoje obaveze i da naplati dospela potraživanja. Princip efikasnosti postavlja zahtev da se svaki plasman obezbediti optimalne rezultate.

Princip rentabilnosti postavlja zahtev pred menadžment banke, da banka svojim poslovanjem ostvari maksimalan poslovni rezultat. Maksimizacija profita banke može se smatrati osnovnim podsticajem poslovanja banke, međutim princip rentabilnosti neophodno je usaglasiti sa principom likvidnosti banke. Da bi postavljeni principi bili zadovoljeni, sredstva i izvore sredstava treba posmatrati i analizirati istovremeno pošto postoji uzročno-posledična veza, što zahteva simultano upravljanje ovim pozicijama. Razvoj novog pristupa upravljanju sredstvima i izvorima sredstava banke naziva se Asset and Liability Management (ALM) u čijoj se osnovi nalazi upravljanje ukupnom strukturom sredstava i izvora sredstava. Mnogi radovi bave se analizom koncepta ALM i problemima optimizacije sredstava (Leibowitz and Henriksson 1988, Waring 2004a,b, Fong and Guin 2007, Ziemba 2003, Chowdary and Slomp 2002, Taha 2003, Romero and Rehman 2003, Korhonen 2001).

Menadžment banke mora stvarati takav portfolio sredstava da uspostavi optimalnu kombinaciju sopstvenih sredstava i pozajmljenih sredstava, sa ciljem minimiziranja rizika nelikvidnosti i maksimiziranja poslovnog rezultata. Izražene suprotnosti često prerastaju u konflikt interesa koji je sadržan u dva osnovna principa, a to su princip rentabilnosti (profitabilnosti) i princip likvidnosti.

## 2. MATEMATIČKI MODEL OPTIMALNOG PORTFOLIA AKTIVE I PASIVE

### 2.1 VKO-Metod težinskih koeficijenata

Metodi koji od samog početka formiranja matematičkog modela za određeni realni problem, istovremeno vode računa o više ciljeva (kriterijuma), razvijaju se u oblasti višekriterijumske optimizacije (VKO). Dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a pri tome kriterijumi u realnim problemima odlučivanja su najčešće u konfliktu koji može biti delimičan ili potpun.

Problem višekriterijumske optimizacije matematički definišemo izrazom

$$\begin{aligned} \max & \{f_1(x), \dots, f_p(x)\} \\ & g_i(x) \{ \leq, =, \geq \} 0, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ & p \geq 2 \end{aligned} \tag{1}$$

gde su za svaki  $k = 1, \dots, p$ ,  $f_k(x), :R^n \rightarrow R$  realne funkcije kriterijuma od  $n$  promenljivih, a funkcije  $g_i(x)$  predstavljaju funkcije sistema ograničenja. Neophodno je proširenje koncepta Pareto optimalnosti sa jednokriterijumske optimizacije na višekriterijumsku optimizaciju. Moguće rešenje  $x^*$  predstavlja Pareto optimalno rešenje problema VKO ako ne postoji neko drugo moguće rešenje  $x$  takvo da važi:  $f_k(x) \geq f_k(x^*)$ , za svaki  $k = 1, \dots, p$ , pri čemu bar jedna od nejednakosti ima strogu nejednakost  $f(x) > f(x^*)$ . Metod težinskih koeficijenata je najčešće korišćeni a priori metod VKO. Ovaj metod koristi funkciju korisnosti donosioca odluka da bi omogućio svodjenje problema VKO na problem jednokriterijumske optimizacije. Donosilac odluka zadaje nenegativne težinske koeficijente  $w_k$  za svaku od funkcija kriterijuma  $f_k(x), k = 1, \dots, p$ , odnosno polazi se od početnog modela VKO zadatog izrazom (1) i formira novi jednokriterijumski model

$$\begin{aligned} \max & f^{MTK}(x) = \sum_{k=1}^p w_k f_k^o(x) \\ & g_i(x) \{ \leq, =, \geq \} 0, \quad i = 1, \dots, m, \\ & x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\ & p \geq 2 \end{aligned} \tag{2}$$

gde su za svaki  $k = 1, \dots, p$ ,  $w_k \geq 0$  težinski koeficijent  $k$ -te funkcije kriterijuma, a  $f_k^o(x)$  - normalizovana  $k$ -ta funkcija kriterijuma.

## 2.2 Primena metoda težinskih koeficijenata za određivanje optimalnog portfolia aktive i pasive

### 2.2.1 Kriterijumi matematičkog modela optimalnog portfolia

Pošto smo se opredelili za matematički model za određivanje optimalnog portfolia aktive i pasive primenom metoda težinskih koeficijenata, promenljive u modelu delimo u dve grupe, i to na promenljive koje predstavljaju elemente aktive  $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  i promenljive koje predstavljaju elemente pasive  $l = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ . Definišemo dva osnovna kriterijuma matematičkog modela, i to kriterijum maksimizacije profita i kriterijum minimizacije rizika likvidnosti.

Kriterijum maksimizacije profita zadajemo izrazom

$$\max f_1(a, l) = \sum_{i=1}^m p_i \cdot a_i - \sum_{j=1}^m e_j \cdot l_j \quad (3)$$

gde je:  $p_i$  - prinos od aktive tipa  $i$ ,  $e_j$  - rashod od pasive tipa  $j$ .

Kriterijum minimizacije rizika likvidnosti zadajemo izrazom

$$\min f_2(a, l) = \sum_{i \in I_s} u_i \cdot a_i - \sum_{j \in J_s} r_j \cdot l_j \quad (4)$$

gde je:  $u_i$  - stepen likvidnosti aktive,  $r_j$  - stepen rizika prevremenog povlačenja depozita i  $s$  - ročnost aktive i pasive.

Funkciju kriterijuma rizika likvidnosti zadatu izrazom (4) razlažemo na dve funkcije kriterijuma, i to funkciju kriterijuma rizika primarne likvidnosti koju zadajemo izrazom

$$\min f_{2P}(a, l) = \sum_{i \in I_{s-prim}} u_i \cdot a_i - \sum_{j \in J_{s-prim}} r_j \cdot l_j, \quad (4a)$$

gde,  $I_{s-prim}$  - predstavlja skup aktive koja formira primarno likvidna sredstva,  $J_{s-prim}$  - predstavlja skup planiranih i moguće prevremeno povučenih depozita u okviru primarne likvidnosti, i funkciju kriterijuma rizika sekundarne likvidnosti koju zadajemo izrazom

$$\min f_{2S}(a, l) = \sum_{i \in I_{s-sek}} u_i \cdot a_i - \sum_{j \in J_{s-sek}} r_j \cdot l_j, \quad (4b)$$

gde,  $I_{s-sek}$  - predstavlja skup aktive koja formira sekundarno likvidna sredstva,  $J_{s-sek}$  - predstavlja skup planiranih i moguće prevremeno povučenih depozita u okviru sekundarne likvidnosti.

Kriterijumu maksimizacije profita  $f_1(a, l)$  zadaje se nenegativan težinski koeficijent  $w_1$ , a kriterijum minimizacije rizika likvidnosti  $f_2(a, l)$  zadaje se nenegativan težinski koeficijent  $w_2$ . Kriterijumu minimizacije rizika primarne likvidnosti pridružuje se nenegativan težinski koeficijent  $w_{2P}$ , a kriterijumu minimizacije rizika sekundarne likvidnosti pridružuje se nenegativan težinski koeficijent  $w_{2S}$ . Pošto je izvršeno razlaganje funkcije kriterijuma minimizacije rizika likvidnosti  $f_2(a, l)$  na dve potfunkcije, tada zbir težinskih koeficijenata potfunkcija je  $w_{2P} + w_{2S} = 1$ . Neka su normalizovane funkcije maksimizacije profita, minimizacije rizika primarne i sekundarne likvidnosti respektivno date  $f_1^N(a, l)$ ,  $f_{2P}^N(a, l)$  i  $f_{2S}^N(a, l)$ . Matematički model VKO transformiše se u jednokriterijumski model, pri čemu je funkcija kriterijuma jednokriterijumskog modela zadata izrazom

$$\max \left\{ w_1 \cdot f_1^N(a, l) + w_2 \cdot \left[ w_{2P} \cdot f_{2P}^N(a, l) + w_{2S} \cdot f_{2S}^N(a, l) \right] \right\} \quad (5)$$



## 2.2.2 Ograničenja u matematičkom modelu optimalnog portfolija

Ograničenja matematičkom modelu optimizacije portfolija aktive i pasive banke definišemo na osnovu zahteva za postojanjem bilansne ravnoteže, ispunjenja principa solventnosti, i pokazatelja o poslovanju banaka koja su regulisana propisima, i to Zakonom o bankama, Odlukom o upravljanju rizicima banke i Odlukom o adekvatnosti kapitala banke.

Bilansnu ravnotežu banke zadajemo izrazom

$$\sum_{i=1}^m a_i \leq \sum_{j=1}^n l_j + K, \quad (6)$$

gde je  $K$  kapital banke,  $l_j$  je iznos i kvalitet propisan Zakonom o bankama.

Solventnost banke sagledava se vrednovanjem realne vrednosti aktive i ukupnog iznosa pasive što zadajemo izrazom

$$\sum_{i=1}^m k_i \cdot a_i \geq \sum_{j=1}^n l_j, \quad (7)$$

gde je  $k_i$  koeficijent kvaliteta aktive  $i$  u intervalu je  $0 \leq k_i \leq 1$ .

Vrednost kapitala banke dajemo izrazom

$$K \geq 10.000.000 \text{€} \cdot (\text{zvani ni srednji kurs}). \quad (8)$$

Adekvatnost kapitala dajemo izrazom

$$0,12 \cdot \sum_{i=1}^m r_i \cdot a_i \leq K. \quad (9)$$

Odlukom o upravljanju rizicima definisani su od strane Narodne banke Srbije limiti izloženosti koje dajemo sistemom ograničenja, i to :

$$\sum_{i \in I_{GPL}} a_i \leq 0,25 \cdot K, \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I_{JPL}} a_i \leq 0,05 \cdot K, \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I_{UPL}} a_i \leq 0,20 \cdot K, \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I_{VPL}} a_i \leq 4 \cdot K, \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I_{JNFL}} a_i \leq 0,10 \cdot K, \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I_{UNFL}} a_i \leq 0,60 \cdot K, \quad (15)$$

gde  $I_{GPL}$  predstavlja skup grupe povezanih lica,  $I_{JPL}$  predstavlja povezano lice sa bankom,  $I_{UPL}$  predstavlja skup ukupne izloženosti povezanih lica sa bankom,  $I_{VPL}$  predstavlja skup velikih izloženosti banke,  $I_{JNFL}$  predstavlja skup indeksa lica koja nisu u finansijskom sektoru i  $I_{UNFL}$  predstavlja skup ukupnih ulaganja lica koja nisu u finansijskom sektoru.

Odlukom o upravljanju rizicima definisani su od strane Narodne banke Srbije pokazatelj likvidnosti i uži pokazatelj likvidnosti banke.

Pokazatelj likvidnosti na bazi Odluke o upravljanju rizicima dajemo narednim sistemom ograničenja, i to:

$$\sum_{i \in I_{MES-1,2}} a_i \geq \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I_{3-dan-1,2}} a_i \geq 0,9 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (17)$$

$$\sum_{i \in I_{1-dan-1,2}} a_i \geq 0,8 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (18)$$

a uži pokazatelj likvidnosti dajemo narednim sistemom ograničenja, i to:

$$\sum_{i \in I_{MES-1}} a_i \geq 0,7 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (19)$$

$$\sum_{i \in I_{3-dan-1}} a_i \geq 0,6 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (20)$$

$$\sum_{i \in I_{1-dan-1}} a_i \geq 0,5 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (21)$$

gde  $I_{MES-1,2}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog i drugog reda,  $J_{MES}$  predstavlja skup indeksa obaveza po višenjenu i obaveza sa ugovorenim rokom dospeća do mesec dana,  $I_{3-dan-1,2}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog i drugog reda za tri uzastopna dana,  $I_{1-dan-1,2}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog i drugog reda za jedan radni dan,  $I_{MES-1}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog reda,  $I_{3-dan-1}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog reda za tri uzastopna dana, i  $I_{1-dan-1}$  predstavlja skup indeksa likvidnih potraživanja prvog reda za jedan radni dan.

Narednim sistemom ograničenja dajemo strukturu obaveza banke po višenjenu ili bez ugovorenog roka dospeća koja je definisana Odlukom o upravljanju rizicima, i to:

$$\sum_{j \in J_{MES-BAN}} l_j \leq 0,4 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J_{MES-OD}} l_j \leq 0,2 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (23)$$

$$\sum_{j \in J_{MES-SU}} l_j \leq 0,1 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (24)$$

$$\sum_{j \in J_{MES-GJ}} l_j \leq 0,05 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (25)$$

$$\sum_{j \in J_{MES-NKL}} l_j \leq 0,2 \cdot \sum_{j \in J_{MES}} l_j, \quad (26)$$

gde  $J_{MES-BAN}$  predstavlja skup indeksa depozita po višenjenu i sa ugovorenim rokom dospeća a banaka,  $J_{MES-OD}$  predstavlja skup indeksa depozita po višenjenu i sa ugovorenim rokom dospeća a ostalih deponenata,  $J_{MES-SU}$  predstavlja skup indeksa štednih uloga,  $J_{MES-GJ}$  predstavlja skup indeksa garancija i jemstva,  $J_{MES-NKL}$  predstavlja skup indeksa neopozivih kreditnih linija.

### 3. ZAKLJUČAK

Menadžment banke neophodno je da primeni takvu strategiju upravljanja sredstvima koja treba da omogući formiranje optimalnog portfolia aktive i pasive kako bi osigurao ostvarivanje principa profitabilnosti i likvidnosti, a time se rešio konflikt interesa u poslovnom procesu banke. Dakle, menadžment banke treba da definiše težinske koeficijente za kriterijum profita i kriterijum likvidnosti i time bi se prevazišao konflikt interesa. Zbog konfliktnosti principa profitabilnosti i likvidnosti, osnovni problem jeste definisanje težinskih koeficijenata koji može biti rešen dijalogom koji se okončati konsenzusom kao kompromisnim rešenjem. Primenom definisanog matematičkog modela može se sprovesti postupak simulacije na osnovu definisanih različitih vrednosti težinskih koeficijenata. Dobijene simulirane vrednosti portfolia aktive i pasive pružaju mogućnost menadžmentu banke izbor jedne od alternativa i preduzimanje odgovarajućih akcija. Izbor alternative u svakom slučaju zavisi od preferencija menadžmenta banke i akcionara. Ukoliko menadžment i

akcionari preferiraju ve i profit, tada optimalni portfolio vodi ka ve em riziku nelikvidnosti banke, i obrnuto ve a preferiranost likvidnosti banke vodi manjoj profitabilnosti.

## LITERATURA

- [1] Bojkovi , N., Ani , I. & Pej i -Tarle S. (2010). One solution for cross-country transport sustainability evaluation using a modified ELECTRE method, *Ecological Economics*, 69(5), 1176–1186.
- [2] Chowdary, B.V. & Slomp, J. (2002). Production planning under dynamic product environment: A multi-objective Goal Programming Approach. *Management and Organization*, 1–12.
- [3] Fong, H.G., and L.D. Guin. (2007). “Fixed-Income Portfolio Management.” In *Managing Investment Portfolios*. J.L. Maginn, D.L. Tuttle, D.W. McLeavey, and J.E. Pinto, eds. New Jersey: Wiley & Sons, Inc.
- [4] Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. (2001). *Introduction to Operations Research* (Seventh ed.). McGraw-Hill, New York, 7, 331-340.
- [5] Korhonen, A. (2001). Strategic financial management in a multinational financial conglomerate: A multiple goal stochastic programming approach. *European Journal of Operational Research*, 128, 418-434.
- [6] Leibowitz, M.L. & R.D. Henriksson. (1988). “Portfolio Optimization within a Surplus Framework.” *Financial Analyst Journal*, Vol. 44, No. 2, pp. 43-51.
- [7] Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A. & Giovannini, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide* (No. 2005/3). OECD publishing.
- [8] Petrovi , M., Bojkovi , N., Ani , I. & Petrovi D. (2012). Benchmarking the digital divide using a multi-level outranking framework: Evidence from EBRD countries of operation, *Government Information Quarterly*, 29(4), 597-607.
- [9] Petrovi , M., Bojkovi , N., Ani , I., Stamenkovi , M. & Tarle, S. P. (2014). An ELECTRE-based decision aid tool for stepwise benchmarking: An application over EU Digital Agenda targets. *Decision Support Systems*, 59: 230-241.
- [10] Romero, C. & Rehman, T. (2003). *Multiple Criteria Analysis for Agricultural Decisions* (Second ed.). Development in Agricultural Economics, 5. Elsevier Science Publishers B.V.
- [11] Taha, H. A. (2003). *Operation Research: An Introduction* (Seventh ed.). Prentice-Hill delhi, India, 8, 347-360.
- [12] Turskis, Z. & Zavadskas, E. K. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, (2), 397-427.
- [13] Waring, M.B. (2004). “Liability-Relative Investing.” *The Journal of Portfolio Management*, Vol. 30, No. 4 (2004a), pp. 8-20.
- [14] Waring, M.B. (2004). “Liability-Relative Investing II.” *The Journal of Portfolio Management*, Vol. 31, No. 1 (2004b), pp. 40-53.
- [15] Ziemba, W. (2003). *The Stochastic Programming Approach to Asset, Liability, and Wealth Management*. Charlottesville, VA: The Research Foundation of CFA Institute.
- [16] [http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/latinica/20/zakoni/kpb\\_banke.pdf](http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/latinica/20/zakoni/kpb_banke.pdf)
- [17] [http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/english/20/kpb/adekvatnost\\_kapitala\\_i.pdf](http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/english/20/kpb/adekvatnost_kapitala_i.pdf)
- [18] [http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/latinica/20/kpb/upravljanje\\_rizicima.pdf](http://www.nbs.rs/export/sites/default/internet/latinica/20/kpb/upravljanje_rizicima.pdf)



## **EKONOMETRIJSKI MODEL ZA PROCJENU POTRAŽNJE U POMORSKOM PUTNI KOM PROMETU**

### **ECONOMETRIC MODEL FOR FORECASTING MARITIME PASSENGER DEMAND**

DRAGO PUPAVAC

Veleu ilište u Rijeci, Rijeka, drago.pupavac@veleri.hr

---

**Rezime:** *Temeljni cilj ove znanstvene rasprave jest razviti ekonometrijski model za procjenu pomorskog i obalnog prijevoza putnika u Republici Hrvatskoj mjereno brojem prevezenih putnika. Polazna pretpostavka ovoga rada je da broj prevezenih putnika u pomorskom putni kom prometu (BP) u Republici Hrvatskoj ovisi o broju dolazaka turista (DT) i bruto doma em proizvodu (BDP). Rezultati istraživanja temelje se na statističkim metodama regresijske i korelacijske analize. Statističkom analizom obuhvaćeno je razdoblje od 1995. do 2013. godine. Dobivene spoznaje mogu biti od pomoći brodovima i brodarima u pomorskom putni kom prometu, odnosno menadžerima svih razina u pomorskom gospodarstvu.*

**Ključne riječi:** *ekonometrija, model, pomorski putni kom promet, potražnja*

**Abstract:** *The basic objective of this research is to develop an econometric model to estimate maritime passenger demand in Croatia, measured by the number of passengers carried. The initial assumption of this study is that the number of passengers carried in Croatian maritime transport (NP) depends on the number of tourist arrivals (TA) and the gross domestic product (GDP). The results are based on statistical methods of regression and correlation analysis. The analysis period spans over the years 1995 – 2013. The obtained insights could help help shippers in maritime passenger transport, and managers at all levels in maritime industry.*

**Keywords:** *econometrics, model, maritime passenger transport, demand*

# ELEKTRONSKO POSLOVANJE



## **RAZVOJ MULTIKANALNIH STRATEGIJA MALOPRODAJE NA GLOBALNOM ELEKTRONSKOM TRŽIŠTU**

### **DEVELOPMENT OF MULTICHANNEL RETAIL STRATEGIES ON GLOBAL ELECTRONIC MARKET**

JELENA KONAR

Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, jkoncar@ef.uns.ac.rs

**Rezime:** *Razvoj savremenih multikanalnih strategija na globalnom elektronskom tržištu dovodi do internacionalizacije maloprodaje. Internacionalizacija i globalizacija, pak, dovode do visokog stepena koncentracije i ubrzane meunarodne ekspanzije multikanalnih strategija maloprodaje. Multimedijalnom prezentacijom stvara se veće i interaktivno komunikaciono dejstvo. Zahvaljujući strategijama novih interaktivnih tehnologija Interneta menja se oblik i struktura meunarodna sa kupcima. Web je sredstvo sa kojim maloprodavac uspostavlja interaktivnu komunikaciju sa kupcima na globalnom elektronskom tržištu.*

**Ključne reči:** *globalizacija, elektronsko tržište, multikanalne strategije, internacionalizacija maloprodaje, Internet*

**Abstract:** *The development of modern multi-channel strategies in the global electronic market leads to the internationalization of retailing. Internationalization and globalization lead to high concentration and rapid international expansion of multi-channel retail strategy. Multimedia presentation creates a larger interactive communication effect. Thanks to the strategies of new interactive technologies of the Internet, the shape and structure of interrelationships with customers are changing. Web makes it a tool with which the retailer is able to use various Internet tools in interaction with customers where they are represented multi-channel strategy.*

**Keywords:** *globalization, electronic market, multi-channel strategy, internationalization strategy, Internet*

#### **1. UVOD**

Razvoj multikanalnih strategija maloprodaje na globalnom elektronskom tržištu uslovljen je novim tehnološkim dostignućima. Ponašanje potrošača i njihova sposobnost prilagođavanja tehnološkim inovacijama su veoma bitni za dalji razvoj multikanalne maloprodaje. Globalizacija tržišta zahteva posebno dizajniranje sajta za multikanalnu maloprodaju. U tom cilju, neophodno je dati odgovore na sledeća pitanja:

- U čemu je značaj razvoja globalne koncentracije multikanalnih maloprodavaca?
- Koje su osnove uspešne interakcije multikanalne strategije maloprodaje?
- Kako razrešiti moguća pitanja, šta i kako raditi u interaktivnosti sa kupcima na globalnom elektronskom tržištu?
- Šta kupcima omogućuju kupovine na Web-u?

Odgovori na postavljena pitanja treba da pruže mogućnosti vođenja fleksibilne poslovne politike, kako bi se obezbedila što veća tržišna efikasnost kroz tehnologije masovnog prilagođavanja kupcu sa personalizovanim uslugama.

#### **2. RAZVOJ GLOBALNE KONCENTRACIJE MULTIKANALNIH MALOPRODAVACA**

Procesi globalizacije i intenziviranja konkurencije imaju multikanalne maloprodavce na globalnom tržištu. Razvoj novih tehnologija i stvaranje globalne koncentracije u multikanalnoj maloprodaji imaju bitnu komponentu efikasnosti poslovanja i razvoja novih multikanalnih strategija. U kontekstu multikanalne strategije, sinergija znači upotrebu jednog kanala za poboljšanje efikasnosti i efektivnosti drugih kanala u miksu (Rosenbloom 2013).

Koriste i on-line kanale pre kupovine u konvencionalnim-tradicionalnim kanalima marketinga sa fiksnom lokacijom, kupci predstavljaju opšti primer multikanalne sinergije Kao rezultat ovog razvoja multikanalnih strategija dolazi do globalne koncentracije u trgovini na malo, što se može sagledati kroz u eš e vode ih evropskih maloprodavaca.

**Tabela 1:** Vode i evropski maloprodavci prema prihodu od prodaje i poslovanju van mati ne zemlje u 2012. godini (Deloitte 2014).

Rang prema prihodu	Maloprodajne kompanije – evropski maloprodavci	Zemlja porekala	Prihod od prodaje u milionima US\$	Dominantan maloprodajni format	Broj zemalja u kojima posluju van mati ne zemlje
2	<b>Tesco</b>	Velika Britanija	101,269	Hipermarket/ supercentar/ superstor	13
4	<b>Carrefour</b>	Francuska	98,757	Hipermarket/ supercentar/ superstor	31
6	<b>Schwarz</b>	Nema ka	87,236	Diskontna ku a	26
7	<b>Metro</b>	Nema ka	85,832	Cash & Carry /veleprodajni klub	32
9	<b>Aldi</b>	Nema ka	73,035	Diskontna ku a	17
14	<b>Auchan</b>	Francuska	59,041	Hipermarket/ supercentar/ superstor	13
18	<b>Edeka</b>	Nema ka	55,944	Supermarket	1
22	<b>Rewe</b>	Nema ka	48,984	Supermarket	11
26	<b>Koninklijke Ahold</b>	Holandija	42,236	Supermarket	12
28	<b>J Sainsbury</b>	Velika Britanija	36,840	Supermarket	1
29	<b>ITM</b>	Francuska	35,753	Supermarket	8
30	<b>The IKEA</b>	Holandija	35,290	Specijalizovan	41

Navedeni tabelarni prikaz ukazuje da u prvih trideset maloprodajnih kompanija na globalnom nivou, njih dvanaest su evropski maloprodavci koji imaju internacionalizovano poslovanje, što se vidi prema broju zemalja u kojima ostvaruju promet van mati ne zemlje. Tako, na primer, najve i evropski maloprodavci (dvanaest najve ih) obavlja svoje poslovne aktivnosti prose no u sedamnaest zemalja izvan nacionalnog tržišta. Internacionalizacija evropskih maloprodavaca nastaje kao posledica uticaja globalizacije na maloprodaju, kao i injenica da sve manje ima maloprodavaca koji zasnivaju svoje poslovanje u domicilnoj zemlji. O ekivani tokovi integracije svetske privrede, ve e granske i teritorijalne mobilnosti kapitala na svetskom tržištu, kroz ve e povezivanje razli itih nacionalnih kultura, doprinosi e svojevrstnoj globalizaciji svetskog tržišta (Lovreta, et al. 2013). Evropski trgovci, kao region, preferiraju najbliže evropsko tržište, pri emju su supermarketi, hipermarketi, supercentri, superstor prodavnice i veleprodajni klubovi dominantni maloprodajni formati. Pod uticajem internacionalizacije maloprodaje kao posledice globalne koncentracije multikanalnih maloprodavaca, potpuno se menja struktura tržišta i trgovine. Tako, najve i promet u maloprodaji Evropske unije ostvaruju Velika Britanija, Nema ka, Francuska i Holandija, gde je ujedno i visok stepen koncentracije maloprodaje.

### 3. OSNOVE USPEŠNE INTERAKCIJE MULTIKANALNIH STRATEGIJA MALOPRODAJE

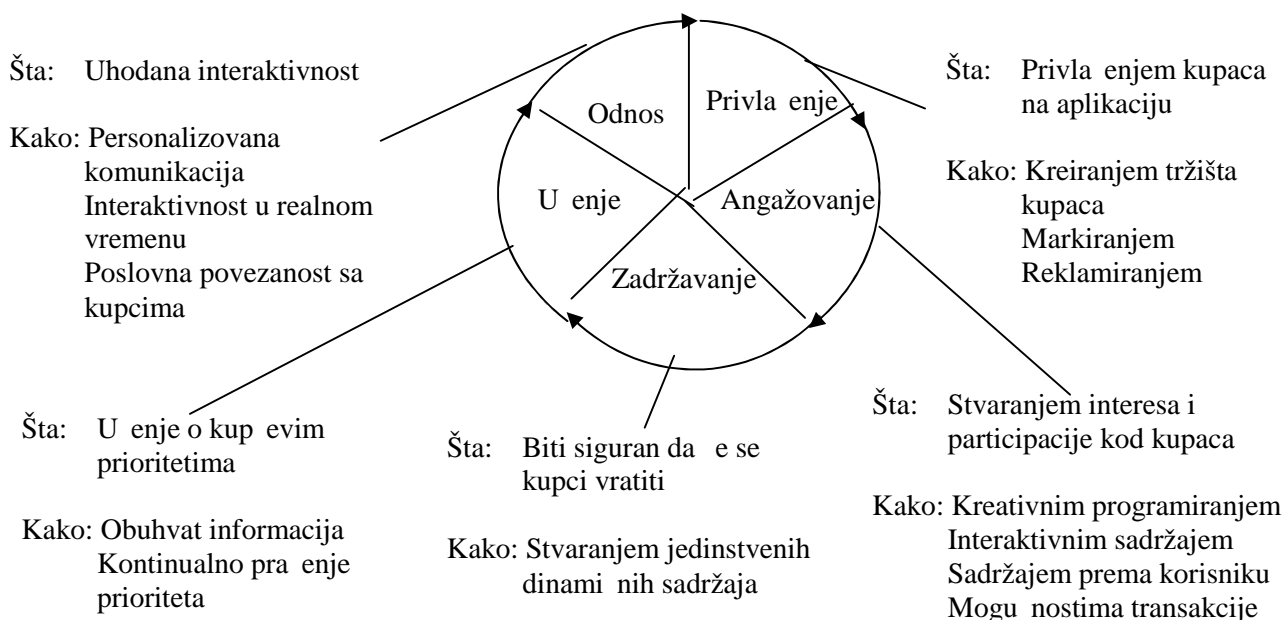
Razvoj strategije kanala, a posebno multikanalnih strategija maloprodaje, predstavlja sredstvo za ostvarenje održive konkurentske prednosti na globalnom tržištu. Strategija kanala marketinga ini zna ajnu komponentu razvoja multikanalnih ciljeva maloprodavaca. Razvijanjem optimalnih multikanalnih strategija maloprodavci teže zadovoljenju ciljnog tržišta i marketing miksa konkretne organizacije. Me uodnos

zadovoljenja ciljnog tržišta i marketing miksa organizacije može se predstaviti slede om formulom (Rosenbloom, 2013):

$$T_s = f(P_1, P_2, P_3, P_4) \quad (1)$$

Gde je:  $T_s$  = Stepen zadovoljenja ciljnog tržišta  
 $P_1$  = Strategija proizvoda  
 $P_2$  = Strategija cena  
 $P_3$  = Strategija promocije  
 $P_4$  = Strategija mesta (kanala marketinga).

Multikanalni maloprodavci teže pravoj kombinaciji sve četiri varijable, kako bi se obezbedio i održao željeni nivo zadovoljenja ciljnog tržišta u uslovima globalizacije. Na postavljeno pitanje nema nekog opšteg odgovora, jer su uslovi na globalnom elektronskog tržištu u potpunosti različiti, što zahteva naglašavanje multikanalnih strategija, pri čemu kanali marketinga ključnu varijablu za satisfakciju tražnje ciljnog tržišta. Na tržištu Evropske unije svakim danom se javljaju novi konkurenti, sa novim strategijama tržišnog pozicioniranja i diferenciranja od konkurencije (Lovreta, et al. 2013). Elektronski kanali marketinga kreiraju sinergije, što u suštini čini osnovne elemente uspešne interakcije u uslovima globalizacije. Osnovni elementi uspešne interakcije mogu se videti na slici broj 1. Web sajtevi imaju potencijal za kreiranje konkurentskih prednosti kroz privlačenje, angažovanje, zadržavanje, učenje i odnose koji čine osnovne elemente uspešne interakcije, kako bi se privukli brojni potencijalni kupci (Konar 2008).



**Slika 1:** Osnovni elementi uspešne interakcije

Osnovni elementi (angažovanje, privlačenje, odnos, učenje i zadržavanje) uspešne interakcije maloprodavaca sa svojim potencijalnim kupcima zahtevaju odgovore po svim elementima na pitanja šta i kako? Odgovorima na navedena pitanja kreiraju se nova interaktivna elektronska tržišta sa personalizovanim komunikacijama privlačenja i zadržavanja i težnjom za sigurnošću da će se kupci ponovo vratiti.

#### 4. WEB ZASNOVANE KUPOVINE

Budućnost multikanalnih strategija maloprodaje je u tehnologijama masovnog prilagođavanja kupcu sa personalizovanim uslugama. Kroz razvoj Web-a, interaktivnost dovodi do novih pravila komuniciranja putem kodesnog usaglašavanja sadržaja, obrade, prenošenja i korišćenja informacija u kanalima marketinga. Web zasnovane kupovine nude raznovrsne mogućnosti i prednosti predmetnog, prostornog i vremenskog približavanja kupcu. Sve to ukazuje na to da je osnovni cilj Web sajteva uticaj na postojeće i perspektivne kupce ka uspešnom aktu kupovine. Ova vrsta toka i mogućnosti tržišnog udela Web marke može se predstaviti na sledeći način (Salai and Konar 2007):

$$W_m = S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (2)$$

Gde je:  $W_m$  = Tržišni udeo Web marke



$S_1$  = Proporcija svesnosti

$S_2$  = Proporcija novih svesnih kupaca

$S_3$  = Odnos ponovljenih kupovina date svesnosti i proba

Tržišni udeo Web marke beleži prednost zahvaljujući Internetu, koji ima mnogo veći stepen interaktivnosti u odnosu na druge komunikacione medije. Internet, kao nova strategija maloprodaje u uslovima globalne koncentracije, dovodi do prelaska sa maloprodaje koja ima fiksnu lokaciju na maloprodaju koja nema prostornog i vremenskog ograničenja. Procenat doma instava koja poseduju Internet priključak prema teritorijalnoj celini u Republici Srbiji u 2013 godini iznosi 49%, pri čemu je najveća zastupljenost u Beogradu od 65,8% i Vojvodini od 58,3% (www.stat.gov.rs, 22. 05. 2014.). Multikanalne strategije, u uslovima globalne koncentracije, imaju za cilj postizanje novih konkurentskih pozicija u poslovanju maloprodavaca. Procenat potrošača koji su naručivali proizvode putem Interneta za poslednjih pet godina u Evropskoj uniji od 2009. do 2011. godine je iznosio oko 40%. Zemlje sa najvećim udelom potrošača sa naručivanjem proizvoda putem Interneta od oko 70% su Velika Britanija, zatim Švedska, Danska, Norveška, Holandija, Luksemburg, a znatno manje u delu zabeleženo je u Španiji, Grčkoj, Italiji, dok je u zemljama okruženja, odnosno Hrvatskoj, Makedoniji i Srbiji u delu manje od 5% (EuroStat, 2012). Navedeni podaci ukazuju na sve veći značaj Web kupovine u zemljama Evropske unije. Zahvaljujući novoj snazi interaktivnosti Web zasnovane kupovine stvaraju osnove za bolje diferenciranje proizvoda i usluga usled ubrzanog protoka informacija.

## 5. ZAKLJUČAK

Razvoj multikanalnih strategija na globalnom elektronskom tržištu ide ka sve većoj ekspanziji i jačanju pozicije maloprodavaca. Osnovne karakteristike evropskih maloprodavaca vezuju se za orijentisanost ka sve većoj internacionalizaciji poslovanja u uslovima globalizacije tržišta. Primena Web zasnovane kupovine kao inovativnog koncepta strategije maloprodaje dovodi do prelaska maloprodavaca koji imaju fiksnu lokaciju na nove globalne maloprodavce koji nemaju vremenska, niti prostorna ograničenja. Web zasnovana kupovina postaje nova strategija daljeg razvoja internacionalizacije i nju u velikom stepenu koriste vodeći globalni maloprodavci.

## LITERATURA

- [1] Rosenbloom, B. (2013). Marketing Channels, A Management View (8<sup>th</sup> edition). South-Western. Cengage Learning, 8.
- [2] Deloitte (2014.). Global Powers of Retailing 2014. Deloitte. London.
- [3] Lovreta, S., Konar, J. & Petković, G. (2013). Kanali marketinga, Trgovina i ostali kanali, Univerzitet u Beogradu Ekonomski fakultet i Ekonomski fakultet Subotica, 570, 616.
- [4] Konar, J. (2008). Elektronska trgovina. Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, 229-230.
- [5] Salai, S. & Konar, J. (2007). Direktni marketing. Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, 232.
- [6] www.stat.gov.rs 22. 05. 2014. godine.
- [7] EuroStat (2012.). Business and trade statistics. European Commission. Luxemburg.



## O EFIKASNOSTI ALGORITAMA ZA VERIFIKACIJU STATUSA SERTIFIKATA

## EFFICIECNY OF ALGORITHMS FOR CERTIFICATE STATUS VERIFICATION

SONJA KULJANSKI<sup>1</sup>, TOMISLAV UNKAŠEVI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, sonjakuljanski@gmail.com

<sup>2</sup> Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, tunkasevic@sbb.rs

**Rezime:** U ovom radu je razmotren koncept infrastrukture sa javnim ključem (PKI). Opisani su načini za proveru sertifikata, lista opozvanih sertifikata (CRL), statusni protokol online sertifikata (OCSP) i distribuirani statusni protokol online sertifikata. Navedene su njihove prednosti i njihovi nedostaci. Na kraju su dati rezultati testiranja i analize rešenja koje je ponudila CoreStreet kompanija. Pokazano je da to rešenje daje dobre rezultate u test okruženju.

**Ključne reči:** PKI, CRL, OCSP, kriptografija sa javnim ključem.

**Abstract:** In this paper is considered Public Key Infrastructure (PKI) concept. The paper discusses ways of certification verification, Certification Revocation List (CRL), Online Certificate Status Protocol (OCSP) and Distributed Online Certificate Status Protocol. For each of this ways advantages and disadvantages are listed. At the end of the paper are presented testing results and CoreStreet solution analysis. It is shown that this solution leads to satisfactory results.

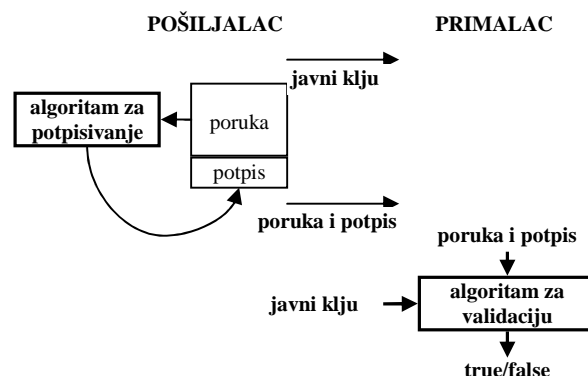
**Keywords:** PKI, CRL, OCSP, public key cryptography.

### 1. UVOD

Zaštita podataka u informacionom svetu danas, uglavnom počinje na metodu elektronskog potpisa i elektronskih sertifikata. Osnovu ovog metoda čine asimetrični kriptografski algoritmi. Za svaki javni ključ je neophodno da, na poverljiv način koji se može proveriti, bude povezan sa entitetom koji poseduje odgovarajuće tajni ključ. Za slanje poverljive poruke, šifrovane javnim ključem, pošiljalac mora biti siguran da javni ključ koji poseduje zaista pripada primaocu. Takođe, za utvrđivanje porekla poruke korišćenjem digitalnog potpisa verifikator mora biti siguran da javni ključ za verifikaciju potpisa zaista pripada onome ko tvrdi da je potpisao poruku. U aplikacijama, u realnom svetu, je potreban mehanizam koji omogućava verifikaciju povezanosti javnog ključa i identiteta onoga ko poseduje tajni ključ. U radu je navedena teorijska osnova za razvijanje infrastrukture sa javnim ključem (PKI-a) i načini za validaciju digitalnog potpisa. Na kraju je navedeno rešenje kompanije CoreStreet i prikazani su rezultati testova izvedenih na CoreStreet-ovom okruženju.

### 2. ISTRAŽIVANJA VEZANA ZA VALIDACIJU DIGITALNOG POTPISA

Motivacija za analizu infrastrukture sa javnim ključem je bila potreba za što bržom validacijom statusa sertifikata.



Slika 1: Princip digitalnog potpisa koji uključuje potpisivanje i verifikaciju.

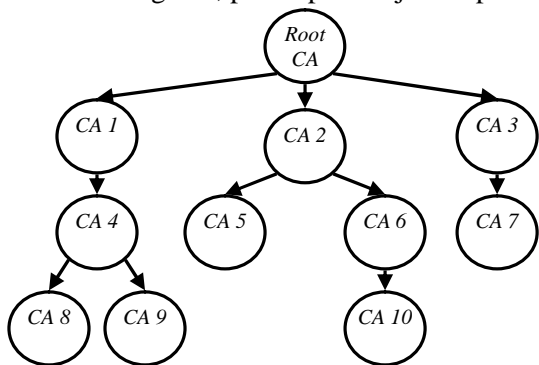
Digitalni potpisi imaju širok spektar primene: koriste se za elektronsku trgovinu, legalno potpisivanje dokumenata, kao i siguran update software-a. Zajedno sa razmenom ključa preko nesigurnog kanala, digitalni potpisi predstavljaju jednu od najvažnijih primena kriptografije sa javnim ključem. Na osnovu ovog posmatranja lako se može konstruisati protokol digitalnog potpisa, (Paar and Pelzl 2010), **Slika 1**.

Sertifikati, (Menezes, van Oorschot and Vanstone 1996), su digitalna dokumenta koja se koriste za povezivanje javnog ključa sa određenim entitetom. Oni sprečavaju korišćenje javnog ključa za lažno predstavljanje. U nekim slučajevima je potrebno kreirati lanac sertifikata, u kome svaki sertifikuje prethodni, dok se ne dođe do korenskog sertifikata. U velikim sistemima je potrebno obezbediti sigurnost, skladištni prostor i mehanizam razmene ključeva za veliki broj saradnika, poslovnih partnera i drugih ljudi koji žele da komuniciraju sigurno. Ovo omogućava repozitorijum koji se naziva infrastruktura sa javnim ključem (en. Public Key Infrastructure - PKI).

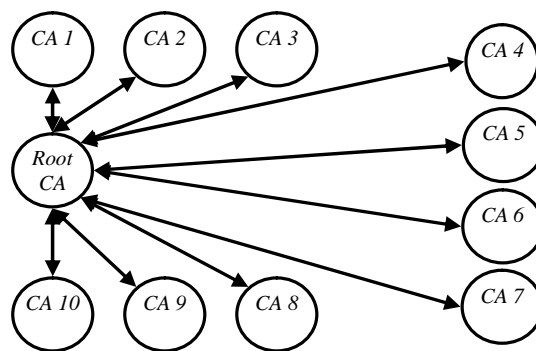
PKI omogućava korisnicima nesigurne javne mreže, kao što je Internet, da sigurno razmenjuju podatke. To podrazumeva korišćenje kriptografije sa javnim ključem, što je najčešći i metod za autentikaciju pošiljaoca poruke ili šifrovanje poruke na Internetu. U kriptografiji sa javnim ključem javni i tajni ključ se kreiraju istovremeno korišćenjem istog algoritma, što radi sertifikaciono telo (en. Certification Authority - CA). Tajni ključ se daje samo jednom entitetu, a javni ključ se postavlja na svima dostupno mesto.

Lista opozvanih sertifikata (en. Certification Revocation List - CRL) je jedan od dva metoda koja se najčešće koriste za proveru statusa sertifikata. Ellison i Schneier, u (Ellison and Schneier 2000), tvrde da se u mnogim konkretnim implementacijama izbegava korišćenje CRL-ova jer mogu biti previše veliki. Drugi, noviji metod, koji prevazilazi neke nedostatke Slika 1: Princip digitalnog potpisa koji uključuje potpisivanje i verifikaciju CRL metoda je statusni protokol online sertifikata (en. Online Certificate Status Protocol - OCSP). Za postizanje boljih performansi i većeg nivoa pouzdanosti moguće je koristiti distribuirane OCSP sisteme.

Kada se uspostavi dobra infrastruktura sa javnim ključem komunikacija preko Interneta postaje brza, jeftina i sigurna. U praksi postoje dve PKI arhitekture: hijerarhijska (en. chierarchical) i centralna (en. bridge) arhitektura, (Živković, Stanojević and Radenković 2005). Njihove tehnologije se zasnivaju na potencijalnom broju PKI korisnika (od 10000 do nekoliko stotina hiljada) i geografskoj rasprostranjenosti korisnika. Hijerarhijska arhitektura se sastoji od korenskog (en. root) sertifikacionog tela i nekoliko sertifikacionih tela koja zauzimaju niža mesta u hijerarhiji. Korensko sertifikaciono telo objavljuje sertifikate svojim "potinjenim" sertifikacionim telima, a ta tela objavljuju sertifikate krajnjim korisnicima i svojim "potinjenim" sertifikacionim telima. Poverenje izmeđ u korenskog sertifikacionog tela i drugih sertifikacionih tela je jednosmerno. Na osnovu toga, poverenje u hijerarhiji uvek počinje od korenskog sertifikacionog tela, pa ide preko njemu "potinjenih" sertifikacionih tela sve do krajnjeg korisnika.



**Slika 2:** Hijerarhijska PKI arhitektura



**Slika 3:** Centralna PKI arhitektura

Druga PKI arhitektura je centralna arhitektura. Ona se dobija kada jedno sertifikaciono telo proglasi sebe centralnim autoritetom i sva druga sertifikaciona tela su povezana preko njega. Poverenje izmeđ u centralnog sertifikacionog tela i drugih sertifikacionih tela je dvosmerno. Centralno sertifikaciono telo predstavlja "most poverenja" izmeđ u drugih sertifikacionih tela.

Svaki sertifikat ima svoj rok trajanja. CRL je lista sertifikata koji su opozvani pre isteka roka trajanja. Postoji nekoliko razloga zbog kojih sertifikat može biti opozvan i stavljen na CRL. Na primer, sertifikat može biti kompromitovan ili korisnik, koji je naveden u sertifikatu, može izgubiti pravo da koristi svoj tajni ključ.

Kada neko hoće da verifikuje potpis, pretražuje trenutni CRL da bi proverio da li je potpisani sertifikat opozvan. CA održava aktuelno stanje CRL-a i obezbeđuje informacije o opozvanim sertifikatima koji su ranije objavljeni. CRL sadrži samo listu trenutnih sertifikata, dok se sertifikati kojima je prošao rok trajanja uklanjaju sa liste.

Dobra praksa zahteva da se proveriti status sertifikata pre svakog korišćenja, u suprotnom bi opozvani sertifikat mogao biti prihvaćen kao validan. Ovo znači da bi PKI efikasno radio trenutni CRL mora biti uvek dostupan. Neophodnost konsultovanja CRL-a pre prihvatanja sertifikata povećava mogućnost potencijalnog napada uskraćenog opsluživanja (en. denial-of-service attack) na PKI. Ako prihvatanje sertifikata ne uspe zato što nije dostupan trenutni CRL, tada u protokolu ne postoje definisane operacije koje treba da se izvrše, jer se ne zna da li je sertifikat validan ili nije.

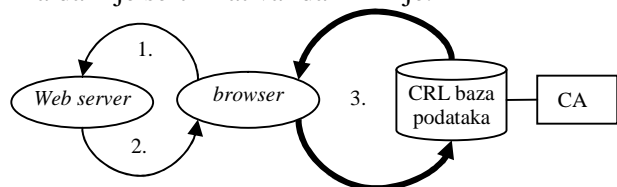
CRL sadrži serijske brojeve svih opozvanih sertifikata koje je objavio CA. Da bi se proverio status jednog sertifikata kompletan CRL treba da bude preuzet i proveren. U velikim dinamičkim PKI-ovima CRL-ovi su veliki i sadrže mnogo podataka, pa preuzimanje CRL-a i validacija predstavljaju zahtevnu operaciju i memorijski i vremenski. Ako se CRL-ovi objavljuju ređe, onda klijent treba da se osloni na manje pouzdane informacije.

Postojali su brojni pokušaji da se reši problem veličine CRL-a:

- podela CRL-a na delove,
- kreiranje delta CRL-ova, kao i
- pravljenje indirektnih CRL-ova.

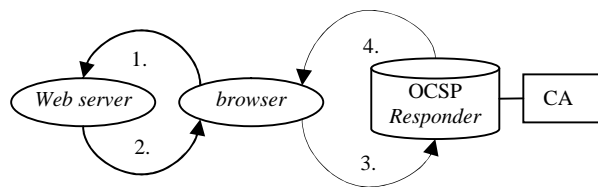
Svi ovi pristupi su povećali kompleksnost i cenu sistema ne dovodeći do konkretnog rešenja. Na primer, za DoD sistem CRL ima preko 20Mbyte i potrebno je 15 ili više minuta za preuzimanje ukoliko se koristi dial-up ili neka druga spora mrežna veza.

Neophodnost konsultovanja CRL-a pre prihvatanja sertifikata povećava mogućnost potencijalnog napada uskraćenog opsluživanja (en. denial-of-service attack) na PKI. Ako prihvatanje sertifikata ne uspe zato što nije dostupan trenutni CRL, tada u protokolu ne postoje definisane operacije koje treba da se izvrše, jer se ne zna da li je sertifikat validan ili nije.



1. Browser šalje Web server-u zahtev za SSL konekciju
2. Web server šalje browser-u svoj sertifikat
3. Browser pretražuje CRL da bi odredio status sertifikata
4. Ako serijski broj sertifikata nije pronađen u CRL-u sertifikat se prihvata i uspostavlja se sigurna komunikacija između browser-a i Web server-a.

**Slika 4:** Primer validacije sertifikata korišćenjem CRL baze podataka



1. Browser šalje Web server-u zahtev za SSL konekciju
2. Web server šalje browser-u svoj sertifikat
3. Browser šalje upit o statusu sertifikata OCSP Responder-u
4. OCSP Responder vraća odgovor o stanju sertifikata
5. Ako je sertifikat validan prihvaća se i uspostavlja se sigurna komunikacija između browser-a i Web server-a.

**Slika 5:** Primer validacija sertifikata korišćenjem OCSP servera

CRL sadrži serijske brojeve svih opozvanih sertifikata koje je objavio CA. Da bi se proverio status jednog sertifikata kompletan CRL treba da bude preuzet i proveren. U velikim dinamičkim PKI-ovima CRL-ovi su veliki i sadrže mnogo podataka, pa preuzimanje CRL-a i validacija predstavljaju zahtevnu operaciju i memorijski i vremenski. Ako se CRL-ovi objavljuju ređe, onda klijent treba da se osloni na manje pouzdane informacije.

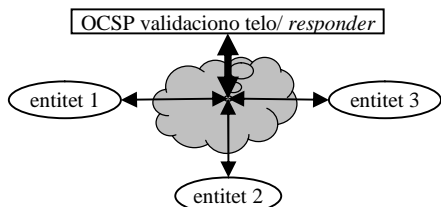
Postojali su brojni pokušaji da se reši problem veličine CRL-a:

- podela CRL-a na delove,
- kreiranje delta CRL-ova, kao i
- pravljenje indirektnih CRL-ova.

Svi ovi pristupi su povećali kompleksnost i cenu sistema ne dovodeći do konkretnog rešenja. Na primer, za DoD sistem CRL ima preko 20Mbyte i potrebno je 15 ili više minuta za preuzimanje ukoliko se koristi dial-up ili neka druga spora mrežna veza.

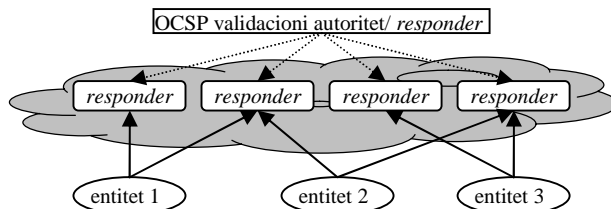
Online Responder je uređaj na kome je pokrenut Online Responder Service. Računar, koji je domaćin za CA, može biti konfigurisan i kao Online Responder, ali je preporučljivo da se CA i Online Responder drže na različitim računarima. Jedan Online Responder može pribavljati informacije o statusima za sertifikate koje je izdao samo jedan CA ili za sertifikate koje su publikovali više CA-ova. CA informacije o opozivanju sertifikata mogu biti distribuirane korišćenjem jednog ili više Online Respondera.

Kao što je gore navedeno, trenutno se koriste dva pristupa za proveru statusa sertifikata: CRL i OCSP. Već smo uočili problem korišćenja CRL pristupa kada ima mnogo korisnika i kada CRL naraste do nekoliko Mbyte-a. OCSP rešava ovaj problem tako što u upitu šalje samo informacije o statusu jednog sertifikata. Međutim, OCSP pristup dramatično povećava mrežni saobraćaj za podatke koji su važni za svaku transakciju, pa je rezultat degradacija performansi celog sistema i smanjenje dostupnosti validacionog odgovora.



U tradicionalnoj OCSP validaciji postoji jedan 'autoritet' koji komunicira direktno sa svim korisnikim aplikacijama šalju i im validacione dokaze. Ovaj centralizovani pristup može rezultirati lošim performansama, slabom sigurnoš u i jednom ta kom greške.

**Slika 6:** Centralizovana OCSP arhitektura



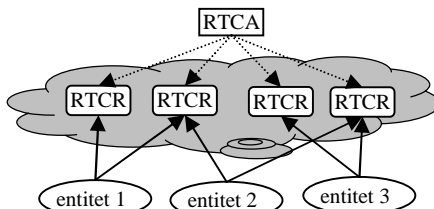
U distribuiranoj validaciji postoji jedan autoritet koji kontroliše kreiranje validacionih dokaza i više (neograni eno mnogo) "tajnih" respondera koji dostavljaju dokaze do korisni kih aplikacija

**Slika 7:** Distribuirana validaciona arhitektura

Postizanje visokih performansi i dostupnosti u okruženju u kom postoje milioni korisnika, gde svi uzimaju informacije sa jednog izvora ili ograni enog broja izvora, je ve prou eno i rešeno u komercijalnom svetu. Odgovor je distribuirana arhitektura (CoreStreet 2004). U pristupu distribuirane validacije ne postoje ograni enja u broju Responder-a i ne postoje posebni zahtevi za okruženje u kome je smešten Responder. Ovo se postiže pomo u unapred izra unatih statusa (dokaza en. proof) za svaki pojedina ni sertifikat i zaštite integriteta ovih statusa tako da mogu biti slobodno distribuirani.

Arhitektura distribuirane validacije se ostvaruje tako da više validacionih Responder-a bude smešteno u blizini krajnje korisni ke aplikacija bez bilo kakvog zahteva za specijalnim sigurnosnim uslovima. Dizajnerski pristup sigurne distribuirane validacije je razdvajanje sigurnosno osetljivih podataka i poverljivih operacija od procesa dostavljanja statusa sertifikata korisni koj aplikaciji. U distribuiranom OCSP pristupu validaciono telo uva sve osetljive podatke i izvodi sve poverljive operacije. Validaciono telo periodi no izra unava vremenski ograni ene "dokaze" statusa za svaki pojedina ni sertifikat. Integritet ovih dokaza može biti zašti en ili njihovim digitalnim potpisivanjem, kao što se radi u tradicionalnom OCSP-u, ili koriš enjem validacionih tokena (en. V.Tokens) generisanih pomo u hash tehnika koje obezbe uju svoj integritet samo-validacijom. Ovi dokazi zatim mogu biti slobodno distribuirani kroz mrežu jer ne zahtevaju sigurnosne kanale za prenos i ne zahtevaju sigurno skladištenje.

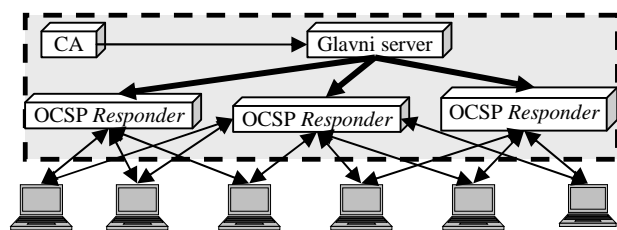
CoreStreet-ovo rešenje kredencijala u realnom vremenu (en. Real Time Credentials - RTC) nudi distribuirani proizvod za validaciju sertifikata, koji može podržati više od 100 miliona korisnika, sa velikom dostupnoš u, visokim performansama, poboljšanom sigurnoš u i nižom cenom. RTC se zasniva na distribuiranoj validacionoj arhitekturi i podržava i digitalno potpisane validacione dokaze i samo-validiraju e V.Token dokaze.



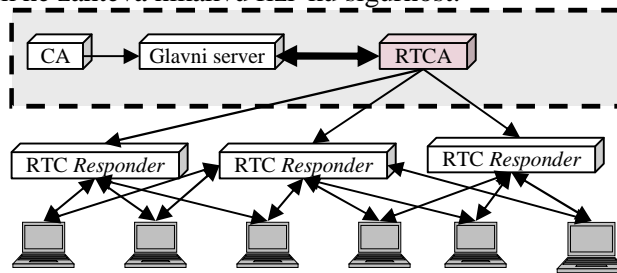
**Slika 8:** CoreStreet-ova Real Time Credentials distribuirana validaciona arhitektura

Kod tradicionalnog OCSP-a svaki Responder ima svoj privatni klju kojim potpisuje odgovore, pa se mora voditi ra una o sigurnosti klju eva koriš enih u potpisivanju.

RTC Authority (RTCA) periodi no generiše validacione dokaze za sve mogu e OCSP odgovore i distribuira ih, kao digitalno potpisane fajlove, do RTC Responder-a (RTCR) preko mreže. RTC Responder se dalje ponaša kao OCSP Responder. Prednost RTC Responder-a je to što samo prosle uje dokaze koje je dobio. On nema svoj klju za potpisivanje, pa samim tim ne zahteva nikakvu fizi ku sigurnost.



**Slika 9:** Validacija sertifikata koriš enjem tradicionalnog OCSP Responder-a



**Slika 10:** Validacija sertifikata koriš enjem RTCA i RTC Responder-a

Ameri ki Department of Defence je uradio pilot-test CoreStreet-ove tehnologije da bi je uporedio sa tradicionalnom PKI tehnologijom za projekat Common Access Card. Došli su do zaključka da je za validaciju potrebno oko 80 milisekundi korišćenjem CoreStreet tehnologije, što je neuporedivo manje od više minuta potrebnih za validaciju korišćenjem tradicionalnog PKI-a i preuzimanjem CRL-ova. U ovom testu dokazi za milione Common Access Card korisnika su postavljeni na Akamai servere, odakle su drugi PKI-ovi omogući ili vladinim aplikacijama da ih koriste.

### 3. REZULTATI TESTIRANJA VALIDACIONOG AUTORITETA I RESPONDER-A

Navedene prednosti distribuiranog OCSP-a su bile motiv za testiranje jednog takvog sistema. Prilikom testiranja je korišćena hijerarhijska arhitektura PKI sistema.

Testiranje je izvršeno na tri laptop-a sa sledećim karakteristikama:

Windows edition: Windows 7 Ultimate

Processor: Intel(R)Core(TM)i7-2630QM CPU@ 2.00GHz

Installed memory: 6.00GHz

System type: 64-bit Operating System

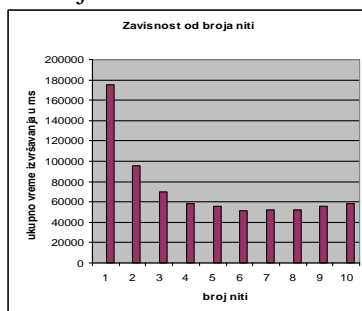
Ova tri laptop-a su povezana u lokalnu mrežu. Pošto CoreStreet-ov validacioni autoritet 5.1.5v (hotfix 20080808-1) ne podržava operativni sistem Windows 7 na svakom od laptop-ova je instalirana virtualna mašina sa operativnim sistemom Windows XP i Service Pack-om 3. Testiranje je izvedeno tako što su na jednom laptop-u (tj. virtualnoj mašini na njemu) pokrenuti servisi validacionog autoriteta i responder-a i učitani validni sertifikati i liste opozvanih sertifikata, a druga dva laptop-a (tj. virtualne mašine na njima) su korišćeni kao klijenti koji su slali zahteve pomoću CoreStreet-ovog alata za testiranje, LoadTestTool. Prilikom testiranja korišćeno je 6 sertifikata (3 validna, neopozvana sertifikata i 3 opozvana sertifikata) čija je arhitektura hijerarhijska.

U prvom delu testiranja je mereno vreme potrebno za izvršavanje 100.000 upita u odnosu na broj pokrenutih niti (en. thread).

**Tabela 1:** Tabela prikaz ponašanja Responder-a u zavisnosti od broja niti

broj niti	vreme izvršavanja (u ms)	srednje vreme izvršavanja jednog upita
1	175015	2
2	96000	2
3	70000	2
4	58016	2
5	56016	3
6	51016	3
7	52047	4
8	52109	4
9	56141	5
10	58093	6

Test podaci su pokazali da je srednje vreme izvršenja jednog upita oko 2ms ukoliko se koristi 1, 2, 3 ili 4 niti. Sa povećanjem broja niti, smanjuje se ukupno vreme obrade upita. U jednom trenutku vreme obrade upita po niti da se poveća sa povećanjem broja niti koje se izvršavaju. Na osnovu dobijenih rezultata možemo uočiti da je "kritična tačka" 6 niti. Višenitno programiranje dolazi do izražaja kod procesora sa više jezgara (npr. DualCore). Interesantno je da iako se ukupno vreme obrade zahteva smanjuje vreme obrade jednog zahteva se poveća sa povećanjem broja niti.



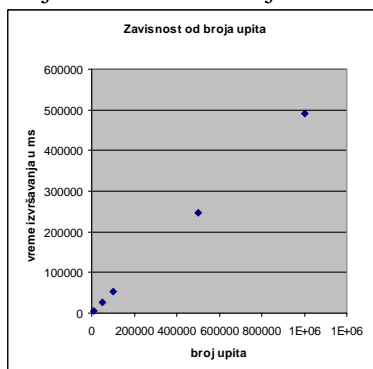
**Grafik 1:** Grafički prikaz ponašanja Responder-a u zavisnosti od broja niti

Shodno dobijenim rezultatima u prvom delu testiranja u nastavku je korišćeno 6 niti. U drugom delu testiranja je posmatrana količina vremena u zavisnosti od broja zahteva.

**Tabela 2:** Tabelarni prikaz ponašanja Responder-a u zavisnosti od broja zahteva

broj zahteva	vreme izvršavanja (u ms)
10.000	6000
50.000	26016
100.000	53125
500.000	247188
1.000.000	491187

Prosečno vreme obrade jednog zahteva je 3 ms, tako da se ukupno vreme obrade svih poslanih zahteva može aproksimirati linearnom funkcijom koja zavisi od broja zahteva.



**Grafik 2:** Grafički prikaz ponašanja Responder-a u zavisnosti od broja zahteva

#### 4. ZAKLJUČAK

Iako koncept globalnog PKI-a ima nekih značajnih problema koji su navedeni u Gutman-ovom vodiču za X.509 (Gutmann 2006) i u Schneier-ovim rizicima korišćenja PKI-a (Ellison and Schneier 2000) PKI ima i svoje pristalice, pa su Perez (Perez 2000) i Laurie (Laurie 2000) pokušali da objasne kako se mogu prevazići problemi ove infrastrukture. Zaključak rasprava je da je za sada PKI jedini alat koji bar donekle rešava problem sigurne komunikacije preko nesigurnih mreža. On se još uvek smatra veoma sigurnom tehnologijom za autentikaciju i elektronski potpis.

Kompanija CoreStreet nudi neka praktična rešenja problema sa kojima se susreće PKI. Ova rešenja je prihvatila Američka vlada, kao i Department of Defence. Mi smo na test okruženju pustili u rad validacioni autoritet i responder i posmatrali njihov rad u zavisnosti od broja korisnika i broja korišćenih niti. Sistem se dobro pokazao u test okruženju, ali se postavlja pitanje njegovog rada u realnom okruženju gde se pojavljuju faktori koje mi nismo bili u mogućnosti da testiramo.

#### LITERATURA

- [1] CoreStreet. (2004) Distributed Certificate Validation. Tehnical documentation.
- [2] Ellison, C. & Schneier, B. (2000) Ten Risks of PKI: What You're not Being Told about Public Key Infrastructure. Computer Security Journal, Volume XVI, Number 1.
- [3] Gutmann, P. (2006) Everything you Never Wanted to Know about PKI but were Forced to Find Out. Retrieved, from <https://www.cs.auckland.ac.nz/~pgut001/>
- [4] Laurie, B. (2000) Seven and a Half Non-risks of PKI. Retrieved, from <http://www.apache-ssl.org/7.5things.txt>
- [5] Menezes, A., van Oorschot, P. & Vanstone, S. (1996) Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, USA
- [6] Paar, C. & Pelzl, J. (2010) Understanding Cryptography. Springer-Verlag Berlin
- [7] Perez A. (2000), Response to Ten Risks. Retrieved, from <https://sites.google.com/site/aramperez/home/10-risks-of-pki>
- [8] Živković, Z., Stanojević, M. & Radenković, B. (2005) The Analysis of the Validation Certificate Status Time in the Public Key Complex Infrastructures. The 7th Balkan Conference on Operational Research "BACOR 05", Constanta





## RAZMENA ELEKTRONSKI POTPISANIH DOKUMENATA U MINISTARSTVU ODBRANE I VOJSCI SRBIJE

## EXCHANGE OF ELECTRONICALLY SIGNED DOCUMENTS IN MINISTRY OF DEFENSE AND SERBIA ARMED FORCES

DEJAN S. MILENKOVI<sup>1</sup>, IVAN ĐORĐEVIĆ<sup>2</sup>, MARINA JOVANOVIĆ MILENKOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Generalštab Vojske Srbije, Uprava za telekomunikacije i informatiku, dejan.milenkovic@vs.rs

<sup>2</sup> Generalštab Vojske Srbije, Uprava za telekomunikacije i informatiku, ivan.djordjevic@vs.rs

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marinaj@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu su opisani rezultati primene servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata implementiranog u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, kao i uslovi za njegovo uspostavljanje i problemi sa kojima se suojava. Ovaj servis predstavlja uvodni korak ka dostizanju konačnog cilja u unapređivanju kancelarijskog poslovanja u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, a to je uspostavljanje sistema za upravljanje elektronskim dokumentima (EDMS). Servis je uspostavljen angažovanjem postojećih resursa Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, bez trošenja dodatnih finansijskih sredstava.

**Ključne riječi:** Elektronski potpis, Elektronski dokument, Razmena elektronski potpisanih dokumenata, Ministarstvo odbrane, Vojska Srbije.

**Abstract:** This paper describes the results of implementation services for the exchange of electronically signed documents implemented in Ministry of Defense and Serbian Armed Forces, and the conditions for its establishment and the problems it faces. This service is a preliminary step towards achieving the ultimate goal of improving the business office at Ministry of Defense and Serbian Armed Forces which is an electronic documents management system (EDMS). The service is established by engaging existing resources of the Ministry of Defense and Serbian Armed Forces, without spending additional funds.

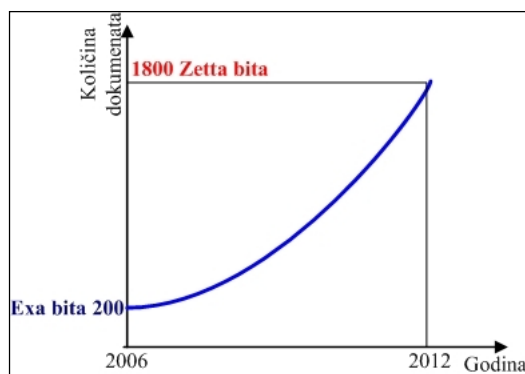
**Keywords:** Electronic signature, Electronic document, Exchange of electronically signed documents, Military of defense, Serbian Armed Forces.

### 1. UVOD

O opravdanosti i mogućnosti primene sistema za upravljanje elektronskim dokumentima (u daljem tekstu: EDMS) poslednjih desetak godina napisan je veliki broj stručnih i naučnih radova, (Milenković 2006). Uštede primenom ovakvih sistema su brojne: od činjenice da je potreban znatno manji fizički prostor za smeštanje arhivske dokumentacije i da se znatno smanjuje potreba za trošenjem raznog kancelarijskog potrošnog materijala, pa do toga da se najveće uštede postižu u brzom, pouzdanom i pravovremenom prenošenju informacija sadržanih u elektronskim dokumentima i smanjivanju mogućnosti gubljenja istih.

Trend rasta obima dokumentacije u svetu (Milenković 2013) u poslednjih nekoliko godina (Slika 1) i uporedni prikaz trošenja resursa kod distribucije papirne i elektronske dokumentacije (Tabela 1), nedvosmisleno ukazuju na to da implementacija sistema za upravljanje elektronskim dokumentima u okviru svih organizacija, naročito onih sa velikim brojem zaposlenih, velikim brojem dislociranih jedinica i velikom količinom poslovne dokumentacije, treba da bude prioritet.





Slika 1: Rast količine dokumenata u svetu

Tabela 1 : Usporedni prikaz utroška resursa

Resurs	Trošenje resursa kod distribucije	
	papirnog dokumenta	elektronskog dokumenta
Papir	Troši se	Ne troši se
Oprema za umnožavanje		
Vreme i kadar za uništavanje dokumentacije		
Potrošni kancelarijski materijal		
Vreme potrebno za dostavljanje i arhiviranje dokumentacije		

S druge strane, ovakva softverska rešenja su vrlo kompleksa, a njihova implementacija vrlo skupa. Postavlja se pitanje, kako u uslovima smanjene finansijske moći i postiže se što bolje rezultate i znatne uštede primenom savremenih informacionih tehnologija i principa elektronskog poslovanja.

Zbog nedostatka finansijskih sredstava za realizaciju kompletnog projekta EDMS u okviru Ministarstva odbrane i Vojske Srbije (u daljem tekstu: MO i VS), otpočinje se sa primenom elektronske razmene dokumenata. Elektronska razmena dokumenata je usmerena ka uspostavljanju *servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata*, koji u osnovi predstavlja preteču sistema za upravljanje elektronskim dokumentima.

## 2. DEFINICIJA OSNOVNIH POJMOVA

**Servis za razmenu elektronski potpisanih dokumenata (Servis)** predstavlja način razmene dokumenata u okviru kancelarijskog poslovanja MO i VS. Ovaj servis je zasnovan na sledećim tehničkim elementima:

- elektronski identifikacioni dokument,
- elektronski sertifikati,
- servis za elektronsko potpisivanje i
- servis elektronske pošte.

**Elektronski identifikacioni dokument (eID)** u MO i VS je identifikacioni dokument kojim zaposleno lice dokazuje svoj identitet.

**Elektronski sertifikat** je elektronski dokument koji izdaje sertifikaciono telo i kojim se potvrđuje veza između podataka za proveru elektronskog potpisa i identiteta potpisnika. Za izdavanje i upravljanje elektronskim sertifikatima, MO i VS poseduje sopstveno sertifikaciono telo, a elektronski sertifikat svakog zaposlenog se upisuje na eID.

**Servis za elektronsko potpisivanje** predstavlja postupak primene elektronskog potpisa na elektronsku poruku ili dokument korišćenjem aplikacije za elektronsko potpisivanje. Elektronski potpis predstavlja tehnologiju kojom se primenom u razmeni elektronski potpisanih dokumenata omogućava provera autentičnosti potpisnika, zaštita integriteta elektronske poruke ili dokumenta i neporecivost elektronskog potpisivanja lica potpisnika.

**Servis elektronske pošte** je servis koji omogućava razmenu elektronskih poruka i dokumenata između zaposlenih lica posredstvom Interneta unarske mreže MO i VS.

## 3. POTREBNI USLOVI ZA PRIMENU SERVISA U MO I VS

Postojanje i primena savremenih tehnoloških procesa jeste potreban, ali ne i dovoljan uslov za korišćenje elektronskih servisa, kao što je servis za razmenu elektronski potpisanih dokumenata. Svaka organizacija

koja ima tendenciju primene novih tehnologija i želi da u okviru svojih poslovnih procesa primeni elektronski potpis i vrši razmenu elektronski potpisanih dokumenata mora da ispuni najmanje sledeće uslove (Milenković 2011):

- Edukacija ljudskih resursa. Sva lica koja u estvuju u razmeni ili u bilo kom segmentu procesa rada sa elektronski potpisanim dokumentima treba da budu adekvatno obučeni. To podrazumeva poznavanje rada na računaru, poznavanje rada sa odgovarajućim programskim aplikacijama i poznavanje primene tehnologije elektronskog potpisivanja.
- Obezbeđivanje računarskih resursa. Pored pristupa globalnoj računarskoj mreži, to podrazumeva i uspostavljanje računarske mrežne infrastrukture između u svojim organizacionim celinama (instalirana odgovarajuća hardverska oprema - računari, tableti i elektronskih kartica i elektronske identifikacione kartice, i instalirani odgovarajući softver), kako bi se obezbedilo povezivanje svih učesnika u razmeni elektronski potpisanih dokumenata.
- Propisane i izrađene procedure rada. Na svim nivoima upotrebe servisa za elektronsko potpisivanje i razmenu dokumenata, moraju biti izrađene precizne procedure rada: bezbednosne procedure, procedure administracije i kontrole, korisničke procedure.

U MO i VS su u poslednjih nekoliko godina uspešno realizovane sledeće aktivnosti na uspostavljanju servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata :

- u skladu sa važećim zakonskim propisima i podzakonskim aktima
  - doneta su odgovarajuća dokumenta za uspostavljanje sertifikacionog tela MO i VS i primenu eID u MO i VS i
  - izrađena je potrebna regulativa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata (postupanje sa elektronskim aktima u službenoj prepisci koja se obavlja unutar MO i VS, elektronsko potpisivanje, elektronsko arhiviranje),
- uspostavljeno je sertifikaciono telo MO i VS (CA MO i VS) i sistem za personalizaciju eID u MO i VS
- za sva lica zaposlena u MO i VS izrađena su eID,
- uspostavljena je interna računarska mreža MO i VS do nivoa samostalne organizacione jedinice/bataljona,
- izrađena je programska aplikacija za evidentiranje dokumenata koja se razmenjuju u okviru kancelarijskog poslovanja, prilagođena servisu za razmenu elektronski potpisanih dokumenata,
- sprovedena je obuka korisnika na svim nivoima upotrebe servisa, kao i obuka stručnih lica za uspostavljanje uslova za funkcionisanje i korišćenje elektronskih servisa (servisa elektronskog potpisivanja i servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata).

### 3. DINAMIKA UVOĐENJA, EFEKTI I PROBLEMI U PRIMENI SERVISIA

#### 3.1. Dinamika uvođenja Servisa i efekti primene

Imaju li u vidu broj i rasprostranjenost organizacionih jedinica MO i VS, uvođenje servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata je sprovedeno postepeno, po principu „od vrha ka dnu“. Dinamika uvođenja servisa sa efektima primene po godinama prikazana je u tabeli 2<sup>1</sup>.

**Tabela 2:** Dinamika uvođenja servisa sa efektima primene

	jul 2011.	decembar 2011.	decembar 2012.	decembar 2013.
Organizacione jedinice MO i VS (%)	3%	16%	40%	68%
Elektronska dokumenta (%)	< 1%	< 1%	5,7%	15%

Među najvažnijim rezultatima koji su postignuti uvođenjem Servisa su sledeći:

- elektronski potpisana dokumenta se između u organizacionih jedinica MO i VS razmenjuju u skoro realnom vremenu;
- znatno je smanjeno vreme potrebno za pripremu dokumenata, njihovu distribuciju i obradu nakon prijema;
- u obavljanju poslova kancelarijskog poslovanja (rada pisarnice i arhive) smanjeni su troškovi kancelarijskog materijala i ostvarena je velika ušteda i u vremenskim, odnosno kadrovskim resursima,

<sup>1</sup> Zbog poverljivosti podataka, prikazane su samo procentualne vrednosti.

jer je potreba za ljudskim resursima za rad sa arhivom (kada se radi o elektronskoj dokumentaciji) svedena na minimum;

- racionalizacijom šeme poštanskog saobraćaja, ostvarena je ušteda na transportu u iznosu od 60.000 / godišnje.
- arhiviranje elektronskih dokumenata se automatski vrši, a pristup arhivi je sveden na jedan klik mišem.

### 3.2. Problemi u primeni Servisa

Sam po sebi etak primene elektronskog potpisa i servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata u MO i VS bio je pravi problem. Dva se od tih problema izdvajaju kao najvažniji:

- prilagođavanje zaposlenih na novu radu sa elektronskim dokumentima i
- nepoverljivost prema tehnologiji elektronskog potpisa i servisu elektronskog potpisivanja.

Postojanje ovog problema je bilo otkriveno. To je inicijalno dovelo do smanjenja poslovne efikasnosti zaposlenih, međutim zahvaljujući i kvalitetnoj i intenzivnoj obuci u primeni novih procedura rada, ovaj problem je brzo prevaziđen.

Drugi problem se može nazvati „priroda organizacije posla“. Ovaj problem se može lako uočiti iz tabele broj 2, gde se vidi da procenat organizacionih jedinica MO i VS koje uzimaju u obzir i u primeni Servisa brzo raste, ali da se količina elektronski potpisanih dokumenata ne povećava srazmerno. Odgovor na ovakvu nelogičnost je delokrug primene elektronskog potpisa i samog Servisa, odnosno postojanje internih propisa kojima se je izričito regulisana primena dokumenata u tvrdoj kopiji („*hard copy*“). Naime, Servisi elektronski potpis se još uvek ne primenjuju na dokumenta materijalne prirode (materijalna i knjigovodstvena dokumenta, reversi, liste izdavanja materijala i opreme i slično), a količina takvih dokumenata je značajna. Takođe, postoji veliki broj dokumenata koji se, zbog prirode tajnosti (*vojna tajna* i *službena tajna*) i visokog stepena poverljivosti (*strogo poverljivo* i *državna tajna*), koriste u papirnoj formi. Slična je situacija i sa dokumentima koja se šalju subjektima izvan MO i VS, količina takvih dokumenata negativno utiče na ukupnu količinu elektronski potpisanih dokumenata u razmeni unutar MO i VS.

### 4. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da su primenom servisa za razmenu elektronski potpisanih dokumenata u MO i VS postignuti

- apsolutno pozitivni efekti, sa aspekta edukacije, odnosno „opismenjavanja“ zaposlenih kada su u pitanju savremene informaciono-komunikacione tehnologije i principi elektronskog poslovanja, i
- značajni efekti, sa aspekta postignutih ušteda, imajući u vidu da je ovaj servis realizovan postojecim sopstvenim kadrovskim i tehničkim potencijalima, bez trošenja dodatnih finansijskih sredstava.

U narednom periodu treba se pozitivni efekti primene Servisa sigurno povećavati, a njegov životni vek je uslovljen dinamikom razvoja i uspostavljanja sveobuhvatnog sistema za upravljanje elektronskim dokumentima koji treba eliminisati i sve probleme za koje rešavanje ovaj Servis nema mandat.

### LITERATURA

- [1] Milenković, D. (2006). Oправданost i mogućnosti primene sistema upravljanja elektronskom dokumentacijom. Magistarska teza. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- [2] Milenković, D. (2011). Razmena elektronski potpisanih dokumenata u elektronskom poslovanju. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011), Zlatibor, 109-112.
- [3] Milenković, D. (2013). Cost-benefit analiza implementacije sistema za upravljanje dokumentima u Vojsci Srbije. Konferencija o ratarskim naukama i informatičkim tehnologijama (YuINFO 2013), Kopaonik, 315-318.



## UTICAJ INTERNET TEHNOLOGIJE I NJENA STRATEŠKA VAŽNOST U SAVREMENOM POSLOVANJU

### INTERNET TECHNOLOGY IMPACT AND ITS IMPORTANCE IN CONTEMPORARY STRATEGIC BUSINESS

MIRJANA MILJANOVI<sup>1</sup>, DRAGAN POPOVI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment, mirjana@teol.net

<sup>2</sup> Jahorina osiguranje VIG A.D, Pale, dpopovic@jahorinaosiguranje.com

**Rezime:** *Povećanje ulaganja u internet tehnologiju kompanijama može donijeti velika unapređenja procesa, u rasponu od operativnih do strateških. Osnovni je cilj ovoga rada je unapređenje prodajnog kanala na primjeru metaloprerađivačkog preduzeća putem uvođenja internet tehnologije. Rezultati pokazuju da uspostavljanje elektronskog prodajnog kanala pozitivno utiče na smanjenje troškova poslovanja, brzo prilagođavanje tržišnim uslovima, ubrzanje prodaje proizvoda, stvaraju i tako i veći vrijednost za potrošača, a što je pretpostavka pridobivanja njihove lojalnosti na osnovu povećane konkurentnosti.*

**Cljučne riječi:** *Internet tehnologija, Proces prodaje, Unapređenje procesa prodaje*

**Abstract:** *Increasing investment in Internet technology, can lead companies to significant improvements in processes, ranging from operational to the strategic. The main goal of this paper is the improvement of sales channels in the example of a metal processing company through the introduction of Internet technology. The results show that the creation of electronic sales channel has a positive impact on their reduction of business costs, fast adaptation to market conditions, the acceleration of sales of products creating more value for consumers, which is a prerequisite for the gaining loyalty on the basis of increased competitiveness.*

**Keywords:** *Internet technology, Sales process, Sales improvement*

#### 1. UVOD

Današnje poslovno okruženje je prilično nepredvidivo, ekonomija doživljava značajne promjene. Napuštamo industrijsko doba i svijet u kom su jedini resursi poslovanja bili fizički i opipljivi, a promjene relativno predvidljive i rijetke. Naime, informaciona era afirmira potpuno drugačiji pristup poslovanju i stvara nove poslovne prioritete. Poslovni procesi se mijenjaju i prilagođavaju tržišnim prilikama, poslovanje se globalizuje i ubrza, konkurencija postaje intenzivnija, a glavni resursi novog ekonomskog svijeta postaju informacija, znanje i intelektualni kapital kompanije. Informaciona tehnologija se danas javlja kao predvodnik novog poslovnog pristupa i kao pokretač modernih organizacija. Iako informacione tehnologije danas, predstavljaju strateški resurs kojim kompanije mogu ostvariti konkurentsku prednost na tržištu, ipak se one većinom koriste u razmjerno uskom, operativnom, odnosno tehničkom smislu. Evidentan je jaz između izme u perspektiva i mogući nosi informacione tehnologije i njene stvarne primjene u poslovanju (Laudon and Traver 2001). Upravo je cilj ovog rada ukazati na mogući nosi upotrebe informacione tehnologije pri unapređenju procesa prodaje. Na primjeru metaloprerađivačkog preduzeća pokazano je da je uticaj tehnologije elektronskog poslovanja najveći i na operativnim poslovima vezanim za prodaju, tj. na samu prodaju proizvoda, primanje i praćenje narudžbi.

#### 2. UNAPREĐENJE KANALA

U kontekstu B2C (eng. Business to Consumer) segmenta, tj. prodaji roba i usluga krajnjem kupcu/potrošaču, kanal predstavlja vezu između prodavaca i kupca. Za razliku od tog segmenta, za B2B (eng. Business to Business) segment, koji označava kupovinu i prodaju između privrednih subjekata, osim prodajnog kanala bitan je i kanal nabavke, tj. veza između preduzeća i njegovih dobavljača. Elektronsko poslovanje omogućava preduzeću da u puno većoj mjeri kontroliše i upravlja procesima kupovine dobara i usluga, kao i zaposlenih koji se time bave. Elektronsko poslovanje omogućava preduzeću da unaprijedi procese u

kanalima nabavke i prodaje. To ne zahtijeva bitne promjene organizacione strukture preduze a, osim u odjeljenjima nabavke, prodaje i marketinga. Unapre enje prodaje i nabavke ostvaruje se uvo enjem elektronskog prodajnog kanala baziranog na internet tehnologiji i pove anjem sposobnosti preduze a da se u nabavki ponaša kao jedan kupac primjenom iste tehnologije (Laudon and Traver 2001).

Unapre enje kanala je korak kojim se obi no zapo inje uvo enje elektronskog poslovanja u preduze ima. Prodavci pokušavaju plasirati što više robe putem novog kanala, dok kupci žele zadržati kontrolu i informacije o tome što sve ulazi u preduze e putem kanala nabavke. Unapre enje kanala u stvari ozna va promjene unutar procesa kupovine i prodaje. Te promjene su takti ke, a ne strateške prirode i preduze a mogu dodati elektronske kanale bez suštinske izmjene svojih poslovnih modela. Ipak, ukoliko preduze e želi bitnije unaprijediti lojalnost kupaca, službu za korisnike i obim prodaje mora e razviti nove procese za upravljanje tim novim kanalom. Elektronsko poslovanje unapre uje kanale zato što omogu ava prikupljanje i upravljanje znanjem o partnerima s obje strane kanala. Prodavci to znanje koriste kako bi prilagodili svoje proizvode i usluge u ponude prilago ene pojedinom kupcu, dok kupci upotrebom tog znanja postižu povoljnije uslove nabavke. Jedna i druga strana pri tome snižava troškove vezane uz procese nabavke i prodaje i na taj na in ostvaruje korist.

### 3. PRODAJA

Unapre enje prodajnog kanala preduze u donosi niz prednosti: stvara se jedan novi (elektronski) prodajni kanal, umanjuju se troškovi vezani uz prodaju te iniciraju promjene u organizacionoj strukturi i korporativnoj kulturi bitne za primjenu elektronskog poslovanja u širem opsegu. Tradicionalno poslovanje podrazumijeva trgovinu putem tri kanala: li nim kontaktima, poštom ili telefonski. Elektronsko poslovanje uvodi Internet kao novi, etvrti kanal. Preduze a su suo ena s dvoumljenjem potpunog orijentisanja na poslovanje putem interneta i napuštanje prije korištenih prodajnih kanala ili zadržavanje poslovnih kontakata ostvarivanih tradicionalnim kanalima, uz korištenje elektronskog poslovanja za ostvarivanje novih poslovnih veza. Takva odluka predstavlja suštinu konflikta kanala.

Ukoliko poduze e pokrene elektronski prodajni kanal na na in da se jednostavno primaju narudžbe putem internet stranica, a zatim ru no unose u informativni sistem preduze a, moraju se održavati paralelni procesi za podršku naru ivanja i alocirati resursi za takav posao. Takvo se rješenje esto susre e, jer je jednostavno za implementaciju i ne zahtijeva dugotrajnu i skupu integraciju s ostalim informacionim sistemima. U trenutku kada se volumen prodaje preko elektronskog kanala pove a na 10% ukupnog volumena, integracija postaje neophodna jer održavanje paralelnih procesa postaje preskupo i neefikasno umanjuju i time stvorenu vrijednost, a problem integracije postaje još ve i, tj. skuplji i dugotrajniji (Turban *et al.* 2003).

Strategija unapre enja prodajnog kanala može i i u pravcu stvaranja novog, internet kanala ili u pravcu unapre enja distributivne mreže. Obje strategije pružaju potencijal za uve anje prihoda jer omogu avaju relativno jednostavan prodor na nova tržišta. Internet i elektronsko poslovanje stvaraju globalna tržišta i brojna su preduze a koja tim putem pokre u prodaju u regijama u kojima nemaju fizi ke prisutnosti, a troškovi upošljavanja ljudi su u tim regijama previsoki ili ih obim posla ne opravdava. Da bi kupci prihvatili neku elektronsku trgovinu, ona im mora pružiti odre enu vrijednost (Tapscott 1999). Kako e se ta vrijednost pružiti, zavisi naravno od tipa kupaca, prodavaca i proizvoda, ali postoji odre en broj informacija i funkcionalnosti koje mora pružiti svaka elektronska trgovina. To su: katalog, promocije, konfigurator, korpa, izra unavanje poreza, modaliteti opreme/transporta i na ini pla anja. Sam proces elektronske prodaje možemo podijeliti u dvije faze: elektronsko pregledavanje i elektronsku kupovinu. Nakon te dvije faze dolazi se do podrške kupcu nakon prodaje što je u domenu kanala službe za korisnike.

### 4. PRIMJER UNAPRE ENJA POSLOVNOG PROCESA PRODAJE

Upravljanje lancem prodaje (eng. Selling Chain Management) ozna va automatizaciju prodajnih aktivnosti kako bi se ubrzala i pojednostavila trgovina kako za samo preduze e tako i za krajnjeg kupca. Fokus lanca prodaje nije na marketinškim aktivnostima ve na zaprimanju, obradi i ispunjenju narudžbi. Ideja je da se aktivnosti koje se izvode kad se zaprimi nova narudžba automatizuju koriste i prednosti specijalizovanih softverskih aplikacija. Tipi an proces obrade narudžbe po novim modelu sastoji se od sljede ih faza:

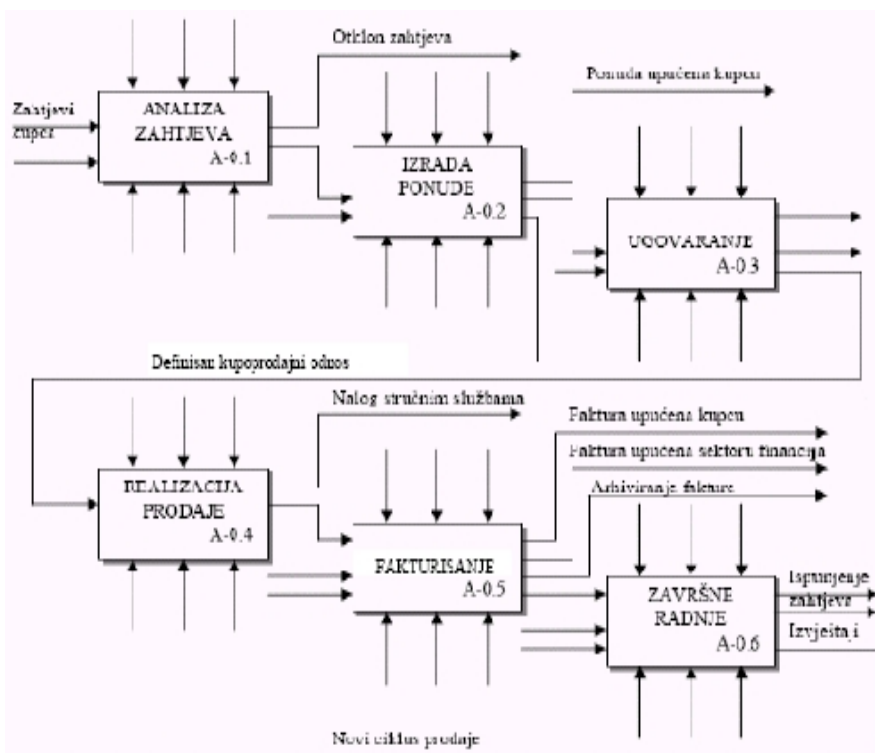
1. **Zaprimanje narudžbe:** Sakupljaju se narudžbe od kupaca kao i potrebni dokumenti za opis narudžbe (tehni ke specifikacije, finansijski izvještaji o solventnosti kupca itd.). U novije vrijeme Internet postaje sve prisutniji na in zaprimanja narudžbi.
2. **Verifikacija narudžbe:** Provjerava se integritet narudžbe, analiziraju se zahtjevi i podaci o kupcu te se odre uje se da li e narudžba biti prihva ena i dalje obra ena.

3. **Tehni ka provjera:** Analizira se može li preduze e zadovoljiti tehni ke specifikacije tražene robe. To uklju uje nove zahtjeve kao što su neuobi ajene dimenzije, karakteristike, razli ite dodatne funkcije i sl.
4. **Razmatranje finansijskih uslova:** Zavisno o kom partneru se radi, preduze e može ponuditi odgo eno pla anja, pla anje na rate, kao i razli ite instrumente pla anja.
5. **Provjera mogu nosti dostave:** Razmatra se u kom se roku i u kojim koli inama može dostaviti tražena roba.

Nakon obrade narudžbe pokre u se druge aktivnosti lanca vrijednosti kako bi se ispunili zahtjevi kupaca.

Treba naglasiti da softverske aplikacije koje prate proces narudžbe pored automatizacije samog procesa ve inom vrše i analize obrade narudžbi kao i izradu raznih statisti kih izvještaja. Ina e, uvo enje lanca prodaje je više od same automatizacije ve postoje ih aktivnosti jer zahtijeva novi pristup iji su strateški ciljevi:

- **Olakšati proces naru ivanja krajnjem kupcu:** Postupak naru ivanja treba pojednostavniti, ubrzati i uiniti razumljivijim krajnjem kupcu. Tako, recimo, na web stranici preduze a kupac može vidjeti katalog svih proizvoda, sve potrebne detalje o odre enom proizvodu i naru iti željenu robu, sve to u vremenski vrlo kratkom roku.
- **Dodati vrijednost krajnjem proizvodu:** Uklju ivanjem klijenta u proces obrade narudžbi i obavještavanje o trenutnom statusu narudžbe rezultuje pove anim zadovoljstvom kupaca. Tako e treba uzeti u obzir specifi ne želje kupaca i analizirati mogu nosti plasiranja novih proizvoda ili usluga.
- **Pove ati u inkovitost prodaje:** Skra enje roka obrade narudžbe, pove ati broj obra enih narudžbi po uklju enom zaposlenom i smanjenje ukupnih troškova po obradi prodajne transakcije su željeni efekti novog pristupa.
- **Poboljšati koordinaciju izme u razli itih prodajnih timova:** Uvidom u zajedni ke podatke o kupcima postiže se bolja uskla enost angažovanih trgovaca.



**Slika 1:** Dijagram dekompozicije procesa prodaje

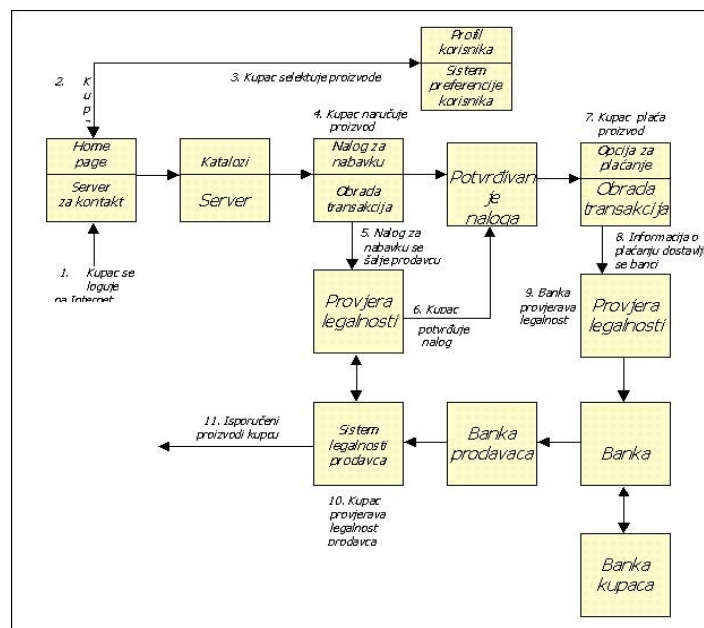
Procesni koraci u procesu prodaje metalnog kompleksa identifikovani su kao što je prikazano na (slici 1.) (Drlja a 2005): A-0.1 Analiza zahtjeva kupca/korisnika; A-0.2 Izrada ponude; A-0.3 Ugovaranje; A-0.4 Realizacija prodaje (prodaja); A-0.5 Fakturisanje; A-0.6 Završne radnje.

Iz dinami kog modela prikaza procesa prodaje (slika 2.) može se vidjeti da je odgovornost za izvršenje potrebnih aktivnosti u svih šest procesnih koraka u službi prodaje.

Organizacijske jedinice											
		Direktor	Menadžer kvalitete	Sektor upravljanja ljudskim potencijalima	Sektor razvoja	Sektor proizvodnje	Služba nabave	Služba prodaje	Sektor upravljanja financijama	Kupci	Partneri
Procesni koraci											
Analiza zahtjeva	A-0.1										
Izrada ponude	A-0.2										
Ugovaranje	A-0.3										
Realizacija prodaje	A-0.4										
Fakturiranje	A-0.5										
Završne radnje	A-0.6										

Slika 2: Dinami ki model procesa prodaje

Me utim, u svakom procesnom koraku angažovan je ve i ili manji broj drugih u esnika (sektora, službi i sl.) unutar organizacione strukture preduze a, ali i u esnika procesa prodaje koji su izvan organizacione strukture preduze a (kupci, partneri i ostali).



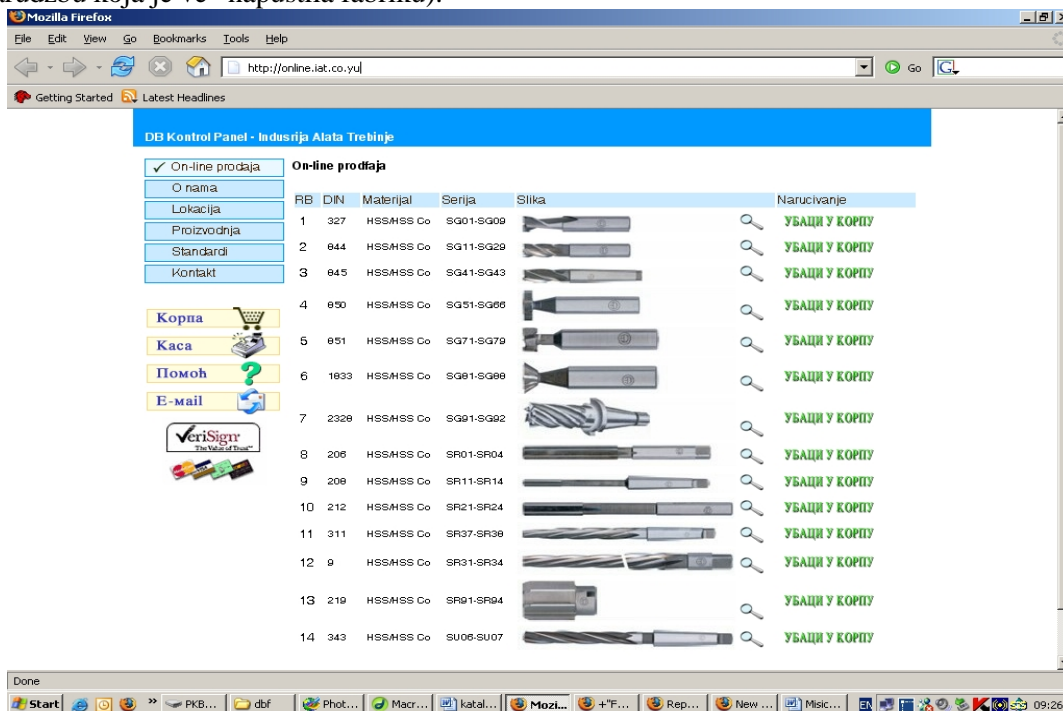
Slika 3: Proces prodaje preko Interneta

Proces prodaje sprovodi se u službama/odjeljenjima: komercijale, operativno planske pripreme, fabrikama, kvalitetu, finansijama, opštim poslovima, skladištu finalnih proizvoda. Trinaest zaposlenih radi na poslovima koji su vezani za proces prodaje. Preduze e nije posjedovalo integrisani informativni sistem, tako da je svako odjeljenje posjedovalo svoju vlastitu aplikaciju. Sva odjeljenja su i prije koristili IT u provo enju svojih zadataka, ali aplikacije su korištene za svako odjeljenje zasebno i nije postojala razmjena podataka izme u razli itih aplikacija. Razmjena informacija izme u odjeljenja i vanjskih kupaca odvijala se u papirnom obliku, a isti podaci su unošeni nekoliko puta u razli ite aplikacije. Objedinjavanjem razli itih koncepata i tehnologija potencijalni kupci e biti u mogu nosti da preko Interneta imaju uvid u proizvodni asortiman preduze a, da poslovnu komunikaciju ostvaruju na standardizovan na in, pri emu imaju mogu nost da dobiju djelimi an ili potpun uvid i u mnoge druge tehni ke podatke.

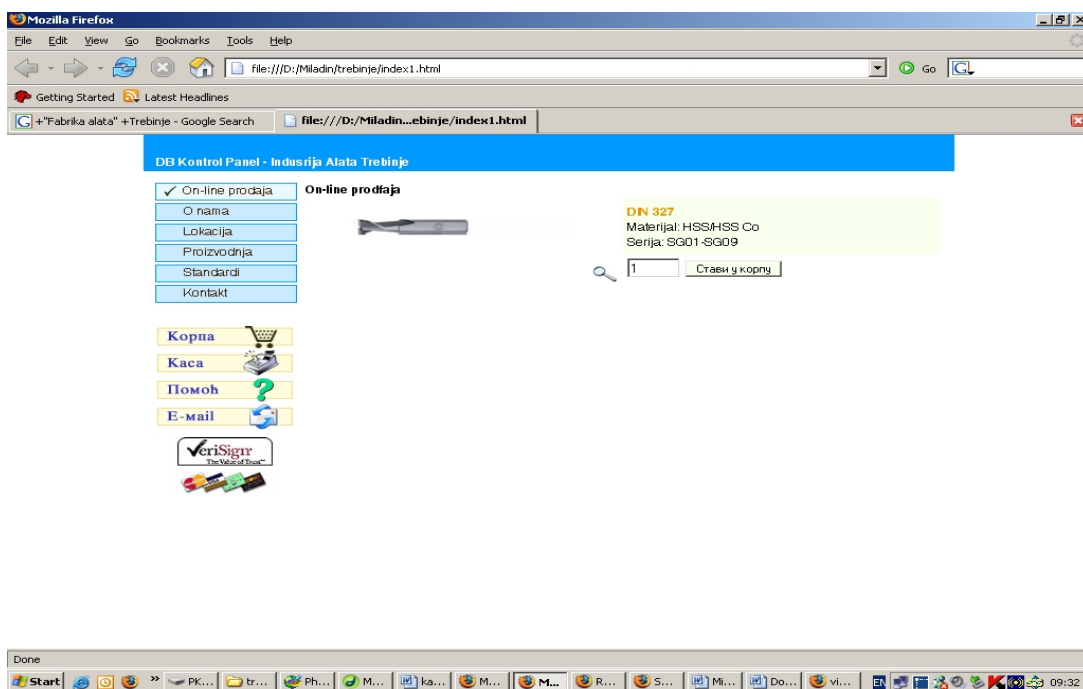
On-line kupovina postaje sve prisutniji standard poslovanja (slika 3.). EDI (eng. Electronic Data Interchange-elektronska razmjena podataka) omogu ava kupcu da naru uje proizvode direktnim pristupom kompjuterskom sistemu snabdjeva a. On-line na in naru ivanja automatizuje proces, snižava troškove i



procesu dodaje vrijednost (Tapscott 1999). Na ovaj način se štedi vrijeme i štiti od mogućih grešaka prilikom narudžbe. Tako omogućava kupcu da ispravlja narudžbu i da se u nekim slučajevima raspita o raspoloživosti zaliha. Ovakav sistem može funkcionisati samo u onim preduzećima koja prepoznaju svog kupca ili snabdjevača kao partnera pri čemu se moraju poštovati određene konvencije (npr. nije prihvatljivo otkazati narudžbu koja je već napustila fabriku).



Slika 4: Elektronski katalog proizvoda



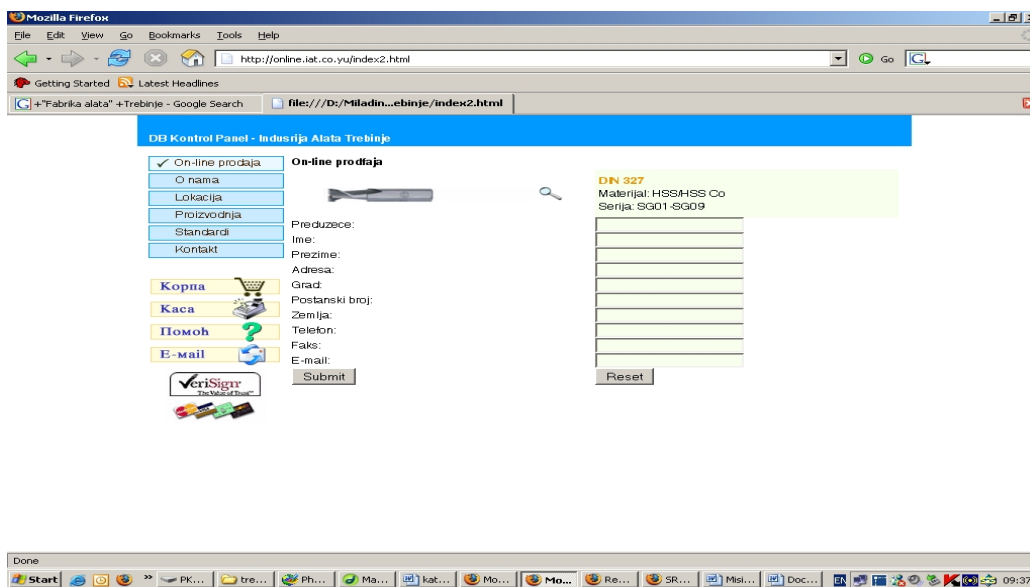
Slika 5: Pregled sadržaja korpe

Elektronski katalogi pružaju više informacija o proizvodima u odnosu na papirne, npr. vezu sa slikama, video zapisima, tehničkim specifikacijama, rezultatima testiranja, itd. Slika 4. ilustruje šta bi sve sadržao elektronski katalog preduzeća. Promocijski i različiti programi za povećanje lojalnosti kupaca uobičajeni su u elektronskim trgovinama. Modaliteti otpreme/transporta i troškovi vezani uz njih zavise od načina i brzine tražene dostave, količine, težine i vrste robe, itd. Elektronska trgovina omogućava kupcima da vide iznose tih troškova u stvarnom vremenu te da odaberu najpovoljniji način dostave. Osim toga, često se omogućava praćenje procesa dostave i kupcu se daju informacije o tome u kojoj se fazi dostave nalazi kupljeni proizvod.



Korpa predstavlja ekvivalent korpe koju kupci koriste u trgova kim centrima za odabir proizvoda koje kupuju. Na slici 5. prikazana je elektronska korpa, koja bi uključivala informacije o proizvodima i količinama. U svakom trenutku proizvodi se mogu dodati ili izbaciti iz korpe. One mogu biti izvedene i tako da pamte sadržaj čak i kada kupac napusti elektronsku trgovinu, te da ga kod sljedeće prijave dočekuju u istom stanju.

Sam proces elektronske prodaje možemo podijeliti na dvije faze: elektronsko pregledavanje i elektronsku kupovinu. Nakon te dvije faze dolazi se do podrške kupca nakon prodaje što je u domenu kanala službe za korisnike. Elektronsko pregledavanje se može odvijati na internet stranicama preduzeća (gdje su sadržane opšte informacije o preduzeću), elektronskim katalogima ili internet stranicama posrednika (elektronska tržišta i portali). Elektronska kupovina dešava se u trenutku kada kupac unese narudžbu na stranicama elektronske trgovine preduzeća. Da bi to bilo moguće, prodavac mora imati mogućnost obrade elektronskih transakcija, (slika 6.) Praćenje statusa izrade i isporuke isto tako ulazi u fazu elektronske kupovine.



Slika 6: Alat za naručivanje i plaćanje ukoliko kupac do sada nije prijavljen

## 5. ZAKLJUČAK

Oblikovanje uinkovitiye organizacije danas je moguće dizajniranjem i unapređenjem poslovnih procesa. Na taj način omogućava se detaljno strukturiranje i analiza procesa s obzirom na vrijeme potrebno za njihovu provedbu, troškove, ljudske i ostale resurse potrebne za njihovo uspješno odvijanje.

Možemo zaključiti da se unapređenjem kanala prodaje posmatranog preduzeća, putem uvođenja internet tehnologije, kao osnovne prednosti kataloške prodaje proizvoda, odnose na: smanjenje (ili eliminisanje) fizičkog kontaktiranja, ubrzanje prodaje proizvoda, dobivanje svih aplikacija na jednom mjestu (portal preduzeća), dostupnost informacija o obavljenim (neobavljenim) transakcijama putem e-maila ili aplikacijama upita. Očekivane koristi za preduzeće ogledaju se u: uštedi vremena na unosu obrazaca i ispravljanju grešaka, uštedi vremena na manipulisanju dokumentacijom, uštedi vremena zbog smanjenja telefonskih kontakata (sve potrebne informacije biće dostupne kupcu putem aplikacija upita na Internetu).

## LITERATURA

- [1] Drljača, M. (2005). Prodaja kao proces. časopis PRO.PRO (Profesionalna prodaja), Broj 22. Suvremena poslovna znanja, Zagreb.
- [2] Laudon, K. & Traver, C. (2001). E – commerce: business, technology, society. Adison Wesley, Boston.
- [3] Tapscott, D. (1999). Creating value in the network economy. Harvard Business Review Book, Boston.
- [4] Turban, E., Mclean, E. & Wetherbe, J. (2003). Informaciona tehnologija za menadžment, transformisanje poslovanja u digitalnu ekonomiju. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.



## CROWDSOURCING U E-OBRAZOVANJU

### CROWDSOURCING IN E-LEARNING

NADA STALETI<sup>1</sup>, ALEKSANDAR SIMOVI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Visoka škola elektrotehnike i raunarstva strukovnih studija, Beograd, nada.staletic@gmail.com

<sup>2</sup>Visoka škola elektrotehnike i raunarstva strukovnih studija, Beograd, asimovich@gmail.com

**Rezime:** U radu je izložen koncept crowdsourcing, nastao sa sve većom poslovnom primenom Interneta. Izloženi su najvažniji poslovni modeli i Internet platforme za implementaciju. Razmatrana je primena crowdsourcing-a u e-obrazovanju i, šire, u klasičnom obrazovanju. Izložen je primer primene koncepta kroz studiju slučaja.

**Ključne reči:** crowdsourcing, e-obrazovanje, kolaborativno učenje, Moodle, društvene mreže.

**Abstract:** The paper presents the concept of crowdsourcing, emerged with increasing business use of the Internet. Exposed to the most important business models and Internet platforms for deployment. The use of crowdsourcing in e-education and, more broadly, in the classical education is considered. An example of the concept application is stated through a case study.

**Keywords:** crowdsourcing, e-learning, collaborative learning, Moodle, social networks.

#### 1. UVOD

Permanentni razvoj Internet servisa, po etkom trećeg milenijuma ušao je u novu fazu, poznatu pod nazivom Web 2.0. Za razliku od rane faze, kada su web sadržaji više podsećali na elektronske kataloge, bez mogućnosti da se ostvari značajnija interaktivnost sa korisnicima, web 2.0 zasniva se na ideji o visokom stepenu kolaboracije korisnika, koji imaju mogućnost da postavljaju sadržaje, oblikuju korisnički interfejs i pokreću različite inicijative globalnog karaktera. Web 2.0 uveliko je Internet najdemokratskijim medijem, jer je za pokretanje inicijative potrebna dobra ideja, a resursi su vrlo često dostupni u besplatnoj formi, videti Jones (2008).

Iako je termin web 2.0 upotrebljen prvi put na razmeđu vekova (1999), smatra se da je bliže određen 2004. godine, na međunarodnoj konferenciji o webu 2.0, u organizaciji izdavačke kuće O'Rely. Servisi nastali na bazi weba 2.0 (wiki; blog; socialnetwork; multimedija; sharing; microbloging; crowdsourcing) danas se koriste u vrlo praktične svrhe: da se globalnom auditorijumu izloži ideja i dobiju sugestije i pomoć; da se realizuju marketing istraživanja u cilju segmentacije tržišta; da se pokrenu ili istraži javno mnjenje; da se sakupi novac za finansiranje projekata od javnog značaja; donacije ili za pokretanje start up kompanija; da se pokrenu projekti u oblasti elektronskog obrazovanja, i dr. Za razliku od tradicionalnog načina proizvodnje raznih sadržaja, relativno mali broj ljudi i organizacija proizvodi sadržaje a većina ljudi ih konzumira. Sa pojavom Interneta i lakoće sa kojom se mogu prenositi sadržaji na Internetu, dat je obrnut obrazac, što je dovelo do situacije u kojoj milioni stvaraju sadržaj za jednu organizaciju. Ovaj model elektronskog poslovanja poznat je pod nazivom crowdsourcing (Man-Ching, Irwin and Kwong-Sak 2011).

Web 2.0 predstavlja idejnu okosnicu za pojavu koncepta crowdsourcing-a, koji je osmišljen pre nekoliko godina i koji ima sve veću primenu u različitim oblastima savremenog života. Najveći crowdsourcing projekat na Internetu je on line enciklopedija – Wikipedia, pokrenuta u okviru wiki koncepta 2001. godine. Većina ljudi na Wikipediji, uključujući i autore članaka i urednike, su volonteri.

#### 2. OSNOVNI KONCEPTI I DEFINICIJE

Termin *crowdsourcing* novijeg je datuma i nastao je spajanjem engleskih reči: „crowd“, što u slobodnom prevodu znači „gomila“; ili „pristalice“ (backers), okupljene oko zajedničke stvari (u esnici projekta) i reči: „sourcing“, koja je u širokoj upotrebi u informacionim tehnologijama i znači: „izvor“. U slobodnom prevodu crowdsourcing podrazumeva projekat na kojem su preko Interneta okupljeni ljudi različitih znanja i veština, rodne različitosti, pripadnici različitih kultura i obrazovanja, spremni da učestvuju u stvaranju novih

vrednosti. Problem kompenzacije ili nadoknade je relativan. Jedanput se radi o li noj afirmaciji i izazovu; pove anju on line reputacije; drugi put o sticanju materijalne koristi koja je po pravilu mala, što pojedinci mogu prihvatiti delimi no i iz razloga što na ovom projektu mogu da rade u periodu van radnog vremena.

Termin *crowdsourcing* smislio je Jeff Howe. On je 14. juna 2006. godine u magazinu *Wired* objavio lanak pod naslovom: *The Rise of Crowdsourcing*, videti Howe (2006). Pomenuti autor definisao je crowdsourcing kao akt preduze a ili ustanove koji funkciju zaposlenih i outsourcinga prebacuju na nedefinisanu (i generalno veliku) mrežu ljudi, povezanih preko Interneta, u formi otvorenog poziva. Klju ni preduslov je upotreba formata otvorenog poziva i velika mreža potencijalnih radnika. Februara 2008. godine, Daren C Brabham definisao je crowdsourcing kao "online distribuirano rešavanje problema i model biznis proizvodnje" (Brabham 2008).

Crowdsourcing je originalan na in pokretanja posla putem Interneta, sa velikim brojem dobrovoljnih u esnika, angažovanih na projektu, sa jasno definisanim ulogama i zadacima, kao što je prikupljanje podataka iz udaljenih svetskih regiona koje profesionalni istraživa i ne mogu da pose uju, da se dobije savet stru njaka koji je daleko izvan iskustva crowdsourcer-a (kao pokreta a projekta). Kad pokreta projekta radi na istom zadatku sa u esnicima, on ne radi sâm. U esnici uklju eni u projekat predstavljaju intelektualni kapital ili finansijski izvor. U esnici imaju veliki uticaj (interaktivnost). Mogu promeniti na in na koji pokreta projekta radi, na in na koji planira, pa ak i na in na koji crowdsourcer misli. Crowdsourcing daje šansu stru njacima koji svoja znanja i veštine ne mogu da primene u mestu gde žive, kao što su na primer grafi ki dizajneri koji žive daleko od gradova gde je razvijena industrija i drugi oblici biznisa i gde se takvi profili stru njaka traže. Jedna od prednosti crowdsourcinga uklju uje mogu nost da okupi veliki broj rešenja i informacija sa relativno malim troškovima. Pojedinao, uklju en u crowdsourcing projekat na poslu izvršavanja zadataka, naziva se crowdworker (u esnik).

*Pod crowdsourcingom, u širem smislu, podrazumeva se kreiranje i pokretanje projekata na interaktivnim internet platformama, radi realizacije planiranih ciljeva, uz aktivno u eš e poedinaca (u esnika) razli itih profesionalnih profila, motivisanih za odre enom kompenzacijom* (Howe 2006).

Crowdsourcing podrazumeva postojanje etiri bitna elementa:

- lice, obi no se naziva crowdsourcer, koje osmišljava, pokre e i upravlja projektom (menadžer);
- grupa ljudi, pristalice, koji rade na projektu (crowdworkeri);
- tržište, obi no se naziva crowdmarket, mesto gde se sre u menadžer i pristalice angažovani na projektu. Tržište može biti virtuelno (bez definisane geografske lokacije), a koristi se da pomogne ostvarenju cilja projekta;
- sajtovi (internet platforme) preko kojih se odvija proces (crowdsites).

Problem motivacije publike, u esnika na projektu, može biti od klju nog zna aja za odluku pojedinca da uzme u eš e u projektu. To može biti li na satisfakcija, preispitivanje ste enog znanja i veština, priznanja i nagrade u obliku odgovaraju ih sertifikata i javnog priznanja ili promocije na Internetu. Tako e, nov ana nadoknada može biti motiv za pojedince, ali su u ovim poslovima nov ane nagrade obi no male i odre ene su složenoš u posla i naporima koje pojedinci ulože na projektu. Pokreta projekta u pismenom pozivu precizno i jasno isti e forme satisfakcije za u esnike, gradiraju i nagrade prema kriterijumima koji su u javnom pozivu jasno i nedvosmisleno odre eni.

## 2.1. Platforme za pokretanje crowdsourcinga

Crowdsourcing može se pokrenuti sa razli itih Internet platformi: web sajt; specijalizovana web platforma; društvene mreže; blog; mikroblog, a zna ajnu ulogu u realizaciji projekta mogu imati lokacije za deljenje multimedije. Dinami ki web sajt odgovara standardima web 2.0 u pogledu interaktivnosti sa publikom. Mogu a je upotreba CMS platforme. Bitan uslov je kvalitetna SEO optimizacija. Sadržaji na engleskom jeziku, osim kada je projekat usmeren prema lokalnoj publici, koristiti jezik sa kojim su potencijalni crowdworkeri familijarni, videti Grier (2013).

Društvene mreže (Facebook; LinkedIn; Twitter; Pinterest) jednostavno se mogu optimizovati u platofrme za relaizaciju crowdsourcing projekata. U odre enim situacijama potrebno je nabaviti odgovaraju i plug in za proširenje funkcionalnosti društvenog medija koji je izabran. Prednost društvenih medija je u tome što su daleko poznatiji, popularniji od web crowdsourcing platformi. Masovno su u upotrebi. Imaju veliku publiku. Omogu avaju pristup velikoj grupi ljudi koji su prijatelji pokreta a projekta. Potencijalni crowdvorkeri ve poseduju odre eni stepen prisnosti sa pokreta em projekta, što je zna ajno. Lako se mogu razmeniti fotografije i drugi multimedijalni i digitalni materijali, koji su u funkciji marketinga projekta. Slabe strane društvenih medija kao crowd platformi ogledaju se u nemogu nosti optimizacije projekta za složenije poslove, kao što su makrotasking projekti, koji se aktiviraju sa specijalizovanih web platformi, dizajniranih u ove svrhe.

Internet servisi za deljenje multimedije (YouTube; Flickr; Pinterest; Picasa) ne mogu poslužiti kao platforma za pokretanje projekta. Me tim, postavljanje multimedijalnih sadržaja na globalne servise za razmenu multimedije u obliku promotivnog kanala, video uputstva, infografike, primera i sl, zna ajno pove avaju izgleda za uspeh projekta, zbog visoke popularnosti ovih servisa i zato što slikovno izražavanje razume skoro svaka vrsta publike.

Internet predstavlja dobro mesto za crowdsourcing zato što pojedinci imaju tendenciju da budu više otvoreni u web zasnovanim projektima gde se ne ocenjuju fizi ki ili pod lupom (pod budnim okom pretpostavljenih), i na taj na in se ose aju udobnije da dele informacije. Osim toga, svi crowdsourcing modeli se oslanjaju na pojam kolektivne inteligencije. Pjer Levi zamišlja kolektivnu inteligenciju kao "oblik univerzalno distribuirane inteligencije, stalno unapre ivane, koordinirane u realnom vremenu, koja dovodi do efektivne mobilizacije veština". Internet je tehnologija sposobna za ovaj stepen koordinacije intelekta, i s obzirom da mogu nosti Interneta rastu, rastu i mogu nosti za uskla ivanje ovog intelekta (Howe 2006).

## 2.2. Poslovni modeli crowdsourcinga

Jeff Howe je definisao taksonomiju crowdsourcinga koja je dovela do mogu nosti definisanja etiri osnovna poslovna modela (Howe 2006).

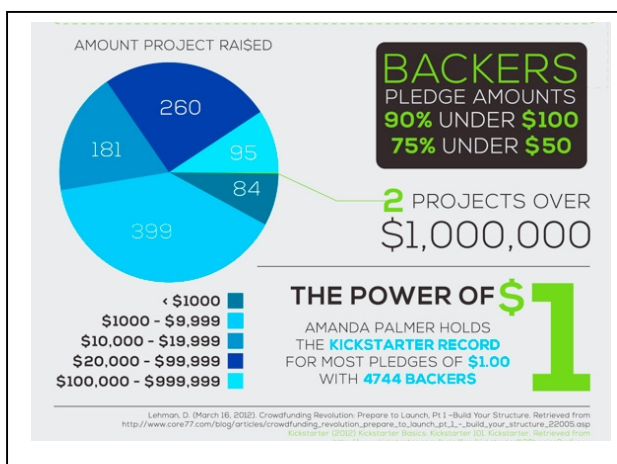
Masovno finansiranje (eng. Crowdfunding) predstavlja poseban model crowdsourcinga. Za razliku od poslovnih modela koji podrazumevaju da ljudi svojim radom ili uslugama pomažu neki autorski projekat, crowdfunding se isklju ivo odnosi na finansijski doprinos u esnika. Masovno finansiranje ili kolaboracija, proizilazi iz upotrebe novih medija, odnosno razvoja tehnologija koje omogu avaju potpuno novi koncept poslovanja. Naime, finansiranjem projekta putem Interneta zaobilaze se banke, korporacije, državni budžeti, pri emu zajednica, (u esnici) dobija ulogu partnera.

Na crowdfunding platformama autor postavlja svoj projekat, obrazlaže finansijski cilj a potom promoviše ideju kroz video zapis ili druge multimedijalne sadržaje, dok se krug potencijalnih donatora proširuje putem crowdsourcing platformi i društvenih mreža. Posetioci crowdsourcing platforme podržavaju projekat donacijama koje ispla uju karticama za on-line kupovinu, a ukoliko autor prikupi planirani iznos, crowdfunding platforma uzima oko 5 posto na ime provizije. Internet platforme za masovno finansiranje se uglavnom razlikuju po tome da li zastupaju princip "sve ili ništa" ili "koliko god sakupiš". U prvom slu aju, novac se skida sa ra una donatora samo ukoliko je ostvaren finansijski cilj, a u drugom slu aju autoru projekta se dodeljuje suma bez obzira na ispunjenje planiranog iznosa. Neretko se dešava i da sakupljena svota premaši prvobitno definisani cilj. Jedan od klju nih principa crowdfundinga je "nagra ivanje" donatora, odnosno kompenzacija za finansijsku podršku, koja naj eš e podrazumeva da, po realizaciji autorskog projekta, donatori mogu da preuzmu film, album, video-spot ili neki drugi proizvod koji je bio predmet finansiranja. Crowdfunding je veoma zastupljen u muzi koj, filmskoj industriji, industriji video-igara, kod finansiranja projekata budu nosti, kao što su projekti obnovljivih izvora energije i sl.

Postoje specijalizovane web platforme gde pojedinci mogu bezbedno da investiraju novac. Vode i sajtovi ove vrste su: Kickstarter, IndieGoGo, RocketHub, i dr. Na Slici 1. i Slici 2. izložen je statisti ki prikaz projekata pokrenutih u periodu od 2009. do 2011. godine na specijalizovanoj web platformi Kickstarter.



Slika 1: Projekti po uspešnosti i oblastima



Slika 2: Projekti prema veli ini pojedina nih uloga

U posmatranom periodu na Kickstarteru pokrenuto je 79.000 crowdfunding projekata. Procenat uspešnosti iznosi: 43,76%, što se može oceniti zadovoljavaju im, obzirom da se radi o potpuno novom

poslovnom modelu elektronskog poslovanja. Posmatrano po oblastima, po popularnosti prednja e projekti u oblasti igara, kolektivnih umetnosti, hrane, multimedija, dizajna, izdavaštva i mode. Najve i broj u esnika izabrao je projekte gde je pojedina na uplata odredena na iznos od 1 – 25 dolara. Na Slici 2, infografika se odnosi na isti sajt i isti vremenski opseg. Pojedina ne uplate u esnika kod 90% projekata manje su od 100 dolara. Tri četvrtine u esnika podržalo je projekte na kojima je pojedina na uplata u iznosu od 50 ili manje američkih dolara. Samo dva projekta imaju pojedina ne u esnike sa ulogom većim od milion dolara.

Kolektivna inteligencija ili mudri u esnici (eng. Collective intelligence, crowd wisdom) predstavlja jedan od poslovnih modela crowdsourcinga, gde se na projektu okupljaju u esnici da bi delili ili unapređivali svoja znanja i veštine. Ideja kolektivne inteligencije je posebno efikasana na Internetu, jer ljudi različitog porekla doprinose istovremeno istom projektu. James Surowiecki u knjizi "The Wisdom of Crowds" navodi da su pod pravim okolnostima, u esnici izuzetno inteligentni, a često su zajedno pametniji od najpametnijih ljudi u njima. Objasnjava da, iako niko od u esnika nije sposoban za velika dostignuća, može se koristiti mehanizam zajedničkih odluka, i na taj način se postižu zavidni rezultati (Surowiecki 2005).

Kreativni rad u esnika (eng. Crowd creation work) je otvoren poziv Internet zajednici za novim i korisnim rešenjima. Primenjuje se kada postoji nedostatak stručnjaka u određenoj oblasti i kada je potrebno više različitih ideja. Može biti izvor za kreiranje projekata, kao što su grafički dizajn, arhitektura, dizajn proizvoda, pisanje, ilustracija. Kreativni rad u esnika se najčešće primenjuje u slučajevima kada se kompanija okreće svojim korisnicima i daje im mogućnost da zapravo kreiraju ili daju doprinos u kreiranju proizvoda ili usluga.

Masovno glasanje (eng. Crowd voting) je poslovni model crowdsourcing-a koji se koristi kada postoji potreba da se prikupe mišljenja o određenoj temi, uz pomoć velikih grupa. Glasanje se može koristiti kao sredstvo za procenu ispravnosti i kao odgovor publike. Masovno glasanje se takođe sve češće koristi kod predviđanja varijacija na tržištu. Specijalizovane web platforme odlikuje fleksibilnost i otvorene su za pokretanje projekata koje pokrivaju sve poslovne modele crowdsourcinga.

U našem regionu crowdsourcing je nerazvijen, pre svega zbog slabog donatorstva, ali i ograničenog broja crowdfunding sajtova na kojima doma i autori mogu da predstavljaju svoje ideje. U Hrvatskoj je krajem 2012. godine pokrenuta web platforma Doniralica (<http://www.doniralica.hr>), namenjena organizacijama civilnog društva i drugim inicijativama neprofitnog sektora, koja je kreirana po ugledu na svetske platforme. Slogan sajta „Ti biraš - Ti doniraš“ sažima upravo suštinu crowdfundinga. Platforma funkcioniše po principu kolektivne saradnje ljudi koji se umrežavaju i zajednički ulažu novac kako bi podržali inicijative u kojima prepoznaju određene vrednosti i kvalitet. Dodatno, ovakav model aktivno uključuje u esnike a finansiranje je transparentnim, javnim i otvorenim. U Srbiji je zabeleženo nekoliko sporadičnih pokušaja alternativnog finansiranja umetničke i kulturne produkcije, kao npr. projekat Norveška šuma, projekat produciranja filma "Ozon" Mirka Miloševića, projekat produciranja kompakt diska izdanja beogradskog muzičkog benda "Consecration".

### 3. CROWDSOURCING U E-OBRAZOVANJU

Uspon informacionih i komunikacionih tehnologija doveo je do velikih promena u obrazovanju. Računari i Internet kao komunikaciona i informaciona tehnologija imaju sve zapaženije mesto kako u obrazovnim sistemima tako i u ukupnom procesu obrazovanja oveka. Tradicionalni obrazovni sistemi baziraju se na konceptu škole koju je definisao Jan Amos Komenski (1592-1670). Novi oblik obrazovanja, koji nastaje pod uticajem upliva informacionih tehnologija i Interneta, javlja se pod nazivom e-obrazovanje i obrazovanje na daljinu (distance learning). Termini e-obrazovanje i obrazovanje nisu sinonimi. Kod e-obrazovanja naglasak je na upotrebi informacionih tehnologija i Interneta. U slučaju obrazovanja na daljinu naglasak je na prostornoj distanci koja postoji između u esnika i nastavnika. Komunikacija između u esnika u obrazovnom procesu obavlja se kao interaktivnost koja se uspostavlja upotrebom informaciono-komunikacionih tehnologija (Richey 2011).

Sa aspekta e-obrazovanja, crowdsourcing možemo definisati na sledeći način:

- Grupa ljudi (studenata, nastavnika, administratora) koji služe kao izvor informacija, umesto da se oslanjaju na samo jednu osobu kao autoritet;
- Timski rad fokusiran na sve u esnike koji doprinose svojim znanjem na projektu;
- Alat koji služi za upravljanje idejama u kojima ideje mogu doći od bilo kog u esnika; svi rade na rešavanju problema.

Analiza crowdsourcing projekata po oblastima, pokrenutih na web platformi Kickstarter, u periodu od 2009-2011. godine pokazuje da je broj projekata iz oblasti obrazovanja mali. Kad su u pitanju neoficijalni oblici obrazovanja (različite vrste neakreditovanih kurseva), crowdsourcing nalazi primenu. Kod tradicionalnih obrazovnih sistema, utemeljenih od strane države ili privatnog sektora, crowdsourcing nema

veliku primenu. U tradicionalnom ili klasi nom sistemu obrazovanja postoje pravila i konvencije, koja podrazumevaju izbornost kadra koji u estvuje u obrazovnom procesu, na osnovu odgovaraju ih stru nih referenci. Kod dizajniranja studijskog programa ili silabusa iz pojedinih predmeta, tako e važi na elo da se ovaj posao ne može prepustiti u esnicima na projektu od kojih se ne traži kompetetnost, koja je važna u ovoj stvari. Primena poslovnih modela crowdsourcinga u obrazovanju mogu a je kod sakupljanja podataka za potrebe istraživanja, kao i u drugim situacijama, gde se crowdsourcing koristi kao pomo no sredstvo u procesu e–obrazovanja.

Crowdfunding, kao vode i poslovni model crowdsourcing-a, ima perspektivu u oblasti tradicionalnog ili klasi nog obrazovanja, naro ito tamo gde se kao vlasnik obrazovne ustanove javlja država. Država je nastala kao socijalna ustanova i tu svoju funkciju ima i danas, izme u ostalog kroz vlasništvo nad obrazovnim organizacijama razli itog nivoa – od osnovnog do univerzitetskog obrazovanja. Po etkom druge decenije tre eg milenijuma svet je zahvatila kriza javnog duga, tj. kriza javnih prihoda države, koji su sa globalisti kim procesima sve manji, za razliku od potreba službi i organizacija koje se finansiraju iz budžeta, koje su sve ve e. U modernom dobu da bi društvo ostalo u duhu s vremenom, neophodna su stalna ulaganja u obrazovanje. Brabham, D. (2008). Obrazovne ustanove moraju pratiti promene u nauci i stalno preispitivati i uskla ivati svoje obrazovne programe i nastavnu bazu sa duhom vremena. Budžetska sredstva u budu nosti e, evidentno, biti sve manja, tako da se obrazovne organizacije moraju okrenuti i drugim, alternativnim izvorima finansiranja, kao što su donacije odre enih projekata, koje pokre u državne obrazovne ustanove, sponzorstva i dr, u okviru poslovnog modela crowdfunding.

Crowdsourcnig ne može u potpunosti zameniti tradicionalno u enje, ali može poboljšati procese u e–obrazovanju i smanjiti vreme potrebno za realizaciju procesa i u initi ih transparentnim. Tako e, doprinosi podsticanju inovacija kao i evoluciju ideja od strane studenata (Floryan 2013).

#### **4. PREDLOG ZA REALIZACIJU CROWDSOURCING PROJEKTA NA SP ELEKTRONSKO POSLOVANJE – VIŠER, BEOGRAD**

Definisanje cilja: Studijski program Elektronsko poslovanje na Visokoj školi elektrotehnike i ra unarstva strukovnih studija u Beogradu nema svoj vizuelni identitet. Vizuelni identitet izražava se logotipom, kompanijskom bojom i kompanijskim fontom. Logotip treba da asocira na predmet studija SP, da se lako pamti i implementira u boji i crno-belou tehnici. Traži se idejno rešenje. Povedni ko idejno rešenje implementira se u knjizi grafi kih standarda: Vizuelni identitet SP Elektronsko poslovanje, VISER, Beograd. Povednik na takmi enju za najbolje idejno rešenje u knjizi grafi kih standarda vodi se kao autor rešenja.

U esnici (crowdworkeri): studenti SP Elektronsko poslovanje. Poseduju potrebna znanja o predmetu studija, kao i veštine koriš enja alata CorelDraw za vektorsku grafiku i PhotoShop za bitmapiranu grafiku, ste ena iz predmeta Aplikativni softver i Web dizajn. Projektom rukovodi dipl. ing. Nada Staletić. U procesu glasanja za jedno od ponu enih rešenja glasaju svi posetioci Facebook stranice.

Internet platforme: Moodle VLE (Virtual Learning Environment) platforma za pristup preko lokalne mreže i preko Interneta. Facebook stranica SP Elektronsko poslovanje.

Crowdsourcing poslovni modeli: crowd creation work i crowd vote. Prvi model aplicira se na Moodle platformi. Drugi model aplicira se na Facebook stranici SP.

Trajanje ciklusa: prva faza: Od 1 – 31. marta postavljanje idejnih rešenja na Moodle platformu u .jpg formatu (rezolucija 72 pixel-a). U esnici postavljaju na platformu prijavu na srpskom jeziku u .pdf formatu, u kojoj se nalaze podaci o autoru, ime i prezime, dosije, godina studija i studijski program. Tako e, rad se dostavlja pod odre enim nazivom. Po isteku roka za slanje prijave i idejnog rešenja, druga faza obuhvata slede e aktivnosti: logotipi sa pozitivnim ocenama, po ocenjivanju crowdsourcera projekta, postavljaju se na Facebook stranicu SP radi izjašnjavanja publike putem elektronskog glasanja. Publika može da lajkuje neki od logoa koji su postavljeni i na taj na in da glasa za svoj favorit. Tako e, publika ima mogu nost da ostavlja komentare ime e kritikovati ili pohvaliti odre eni logotip. Glasanje na Facebook-u traje od 10. do 30. aprila 2014. godine.

Proglašenje povedni kog idejnog rešenja i nagrada (tre a faza). Petog maja na po etnoj strani web lokacije SP elektronsko poslovanje ([www.eposlovanje.org](http://www.eposlovanje.org)) proglašava se povedni ko idejno rešenje sa najviše glasova u esnika u projektu (informacija vidljiva od 5 – 15. maja). Vizuelni identitet implementira se u redizajn sajta. Ime povednika, sa osnovnim podacima iz prijave i portret fotografija publikuju se na po etnoj Facebook stranici u periodu od 5-15. maja.

Studenti smera Elektronsko poslovanje, Visoke škole elektrotehnike i ra unarstva strukovnih studija u Beogradu, u ostavljenom roku poslali su osam predloga rešenja vizuelnog identiteta smera koje su profesori i saradnici ocenjivali ocenama od 1 do 5. Pet logoa je ocenjeno pozitivno, gde je minimalna ocena bila 3. Predlozi rešenja vizuelnog identiteta prikazani su na Slici 3.



				
Predlog broj 1.	Predlog broj 2.	Predlog broj 3.	Predlog broj 4.	Predlog broj 5.

**Slika 3:** Predlozi logotipa koji su pozitivno ocenjeni

Izloženost logotip idejnih rešenja na Facebook stranici Sp Elektronsko poslovanje u definisanom periodu naišla je na veliki odziv publike. Ukupno je glasalo (lajkovalo) 347 u esnika. Najviše lajkova (187) dobio je predlog broj 5 idejnog rešenja Miodraga Milovanovi a, SP: EPO; druga godina studija. Pobedni ko idejno rešenje je tipografski logotip u formi ligature. Idejno rešenje je 30. maja aplicirano kroz redizajn grafi kog interfejsa web lokacije SP Elektronsko poslovanje ([www.eposlovanje.org](http://www.eposlovanje.org)).

## 5. ZAKLJU AK

Crowdsourcing je model elektronskog poslovanja nastao kao posledica sve ve e primene Interneta. Zbog korisnosti i širokog kruga primene, beleži intenzivan rast na globalnom nivou poslednjih nekoliko godina.

Analiza dosadašnje primene pokazuje da su najuspešnji projekti pokrenuti u oblasti kolektivnih umetnosti, dizajna i biznisa. Kod crowdfunding projekata dominiraju oni sa ulozima ispod 50 dolara, što se može tuma iti kao alternativno rešenje za sakupljanje donacija.

U oblasti e-obrazovanja crowdsourcing nema široku primenu. Obrazovanje se temelji na konvencijama i strogim zahtevima u pogledu kvalifikovanosti i kompetentnosti u esnika u kreiranju studijskih programa, silabusa, nastavne baze i drugih sadržaja zna ajnih za proces, što crowdsourcing ne podrazumeva. Obzirom da je u Srbiji 80% studenata na visokoškolskim ustanovama u državnom vlasništvu i da države u modernom dobu prati sve ve i problem javnog duga, o ekuje se da poslovni model crowdfunding kod nas bude uspešno primenjen u najpopularnijim državnim visokoškolskim ustanovama, kao dopunski izvor finansiranja.

## LITERATURA

- [1] Brabham, D. (2008). Crowdsourcing as a Model for Problem Solving. *The International Journal of Research into New Media Technologies*, 14, 75-90.
- [2] Floryan, M. (2013). *Evolving Expert Knowledge Bases: Applications of Crowdsourcing and Serious Gaming to Advance Knowledge Development for Intelligent Tutoring Systems*. Dissertations. University of Massachusetts - Amherst. 741.
- [3] Grier, D.A. (2013). *Crowdsourcing For Dummies*. (1 st ed.). John Wiley&Sons, Ltd.
- [4] Howe, J. (2006). *The Rise of Crowdsourcing*. *Wired Magazine*, 14.06.
- [5] Jones, B. (2008). *Web 2.0 Heroes, Interviewswith 20 Web 2.0 Influencers*. (5 st ed.). Wiley Publishing.
- [6] Man-Ching, Y., Irwin, K., & Kwong-Sak, L. (2011). *A Survey of CrowdsourcingSystems*. *IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust, and IEEE International Conference on Social Computing*, 8, 766-773.
- [7] Richey, C. R. (2013). *Encyclopedia of Terminology for Educational Communicationsand Tehnology* Springer Science (32 st ed.). Business Media New York.
- [8] Surowiecki, J. (2005). *The Wisdom of Crowds*. (3 st ed.). Anchor Books Publications.

# **FINANSIJE I BANKARSTVO**





## INFLACIJOM INDEKSIRANE OBVEZNICE

### INFLATION INDEXED BONDS

IRENA JANKOVIĆ<sup>1</sup>, BOŠKO ŽIVKOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, irenaj@ekof.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, boskoz@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Rad se bavi pitanjem indeksacije obveznica u uslovima rezistentne inflacije i osobinama tako kreiranih instrumenata. Primarni cilj ovog razmatranja jeste kreiranje ovih instrumenata u trenutku emisije i način njihovog funkcionisanja tokom životnog veka. Posebna pažnja se posvećuje i odabiru relevantnog indeksa. Sledi identifikacija mogućih tehnika indeksiranja kao i prikaz relacije cena-prinos kod obveznice sa indeksiranom glavnicom. S obzirom na to da indeksirani instrumenti mogu da kreiraju složenije profile novčanih tokova, analiza se redukuje na pregled glavnih prednosti i nedostataka inflacijom indeksiranog duga, kako za investitore tako i za emitente.

**Ključne reči:** Indeksiranje, Inflacijom indeksirane obveznice, Prinos i cena obveznice sa indeksiranom glavnicom.

**Abstract:** This paper addresses the issue of bonds' indexation in circumstances of persistent inflation and characteristics of inflation indexed instruments. An aspect that is primarily considered is the creation of these instruments in the moment of issuance and the way of their functioning until maturity. Attention is also paid to the selection of the relevant index, followed by the identification of the possible indexing techniques and representation of price-yield relationship for capital indexed bonds. Given that indexed instruments can create complex profiles of cash flows the analysis is reduced to the overview of the advantages and disadvantages of inflation indexed debt for investors and issuers.

**Keywords:** Indexing, Inflation indexed bonds, Yield and price of capital indexed bond.

## 1. UVOD

Potreba za zaštitom potraživanja i dugovanja od inflacije postoji od kako postoji inflacija. Promena vrednosti glavnice ili kamate se registruje nekoliko vekova unazad. Početkom 18. veka, sa razvojem papirnog novca, centralnog bankarstva i ubrzavanjem inflacije indeksacija se efektuirala kroz ugovore čija je svrha bila da zaštite zajmodavce od porasta cena dobara i usluga.

Kreiranje savremenijih inflacijom indeksiranih dugovnih instrumenata jeste nastavak i unapređenje osnovne, Fišerove ideje o indeksaciji. Koncept indeksacije je teorijski jasan, gotovo trivijalan: suficitarne (štedne) jedinice na tržištu zanima realna kupovna snaga njihove štednje i realna stopa prinosa. U praksi je problem mnogo komplikovaniji. Relevantna pitanja oko kojih ne postoji saglasnost prakse jesu: šta se indeksira - glavnica duga ili kamatna stopa, kada se indeksira i kako se konstruiše indeks, ...?

Tokom 20. veka, sa ubrzavanjem inflacije u njegovoj drugoj polovini, vlade širom sveta počinju da eksperimentišu sa indeksacijom dugovnih instrumenata kako bi, prevashodno, povratile poljuljano poverenje u instrumente javnog duga. Masovnija upotreba indeksiranih državnih hartija (engl. *Gilts*) od strane vlade Velike Britanije 1981. godine predstavlja jedan od prvih pokušaja emisije ovakvih instrumenata u fazi oporavka zemlje od perioda visoke inflacije. Do sredine 1990-tih su i Australija (1985), Kanada (1991) i Švedska (1994) emitovale inflacijom indeksirane obveznice. Praktična pitanja dizajna instrumenata, implementacije koncepta i informisanosti investitora su činila ovaj segment tržišta prilično ograničenim sve do kraja 1990-tih kada američka (1997. godine) i francuska vlada (1998. godine) započinju realizaciju programa emisije indeksiranih obveznica. Tokom 2000. godine američko tržište državnih inflacijom indeksiranih instrumenata (engl. *Treasury Inflation-Indexed Securities*, TIIS) preuzima primat kao najveće tržište ovoga tipa prema tržišnoj kapitalizaciji. U narednoj 2001. godini francuska vlada počinje emisiju OAT*€i* obveznica vezanih za harmonizovani indeks potrošačkih cena Evrozone (isključujući cenu duvana).

Od početka 1998. godine, tržište indeksiranih instrumenata dostiže razmere od više milijardi dolara. Slične instrumente uvode i Grčka i Italija 2003. godine (Deacon *et al.* 2004).

## 2. INFLACIJOM INDEKSIRANE OBVEZNICE

Nominalna vrednost i prinos indeksirane hartije od vrednosti mogu biti vezane za raznovrsne indekse: korpu valuta, kombinaciju kamatnih stopa, stopu rasta GDP i sl. Posebna vrsta indeksiranih hartija od vrednosti jesu *inflacijom* indeksirane hartije. One su kreirane sa ciljem da zaštite emitente i investitore od promene opšteg nivoa cena u privredi, održavajući na taj način određeni stepen kupovne snage za investitora i realnu, za inflaciju prilagođenu, visinu troškova finansiranja za dužnika. Razvoj tržišta indeksiranih instrumenata danas nudi raznovrsne podtipove ovih hartija, u osnovi sa istim opštim ciljem (Campbell *et al.* 2009).

Vrednost sadržana u indeksiranoj obveznici se grubo može podeliti na dva bitna dela: realnu stopu prinosa i deo koji predstavlja kompenzaciju za opadanje kupovne snage usled dejstva inflacije. U trenutku kupovine realna stopa prinosa do dospeća je izvesna u meri u kojoj cenovni indeks verno odražava promene cena u privredi, dok je nominalna stopa prinosa neizvesna jer zavisi od budućeg kretanja indeksa. Kod klasične obveznice, situacija je obrnuta, nominalna stopa prinosa do dospeća je u momentu kupovine izvesna veličina, dok je realna stopa prinosa neizvesna i zavisi od visine inflacije i njenog uticaja na nominalno fiksne novčane tokove koje obveznica periodično odbacuje. Naravno, kod kuponskih obveznica se u obzir mora uzeti i rizik reinvestiranja koji je povezan sa promenama nivoa kamatnih stopa po kojima je moguće reinvestiranje.

Dakle, osnovna prednost koju indeksirana obveznica nudi, ako se drži do dospeća, jeste izvesnost realnog prinosa za investitora, odnosno realna visina duga za emitenta. U praksi se, ipak, ne može govoriti o potpunoj izvesnosti jer bilo koji indeks koji se u postupku indeksacije koristi jeste uvek samo aproksimacija strukture realne potrošačke korpe investitora. Odabir cenovnog indeksa zato predstavlja jednu od ključnih odluka za kreatora indeksiranih instrumenata. Pored toga što je vrsta indeksa bitna, važan momenat u analizi jeste i činjenica da se indeksi ne objavljuju kontinuirano i potpuno ažurno. Uvek postoji vremenski raspon između perioda za koji se indeks računa i momenta objavljivanja njegove vrednosti. To vreme protekne u prikupljanju, obradi, proveru i objavljivanju podataka. Dužina ovog vremenskog kašnjenja je manje bitna za indeksirane obveznice emitovane u zemljama sa stabilnom inflacijom, ali je od posebnog značaja za one obveznice kod kojih je cenovni indeks u osnovi volatiln. U praksi, vremenski jaz može da se kreće u rasponu od par dana do preko godinu dana.

Potpuna izvesnost realnog prinosa nije moguća, ne samo zbog tehničkih osobenosti indeksa u osnovi, već i zbog poreskog tretmana ovih instrumenata. Kada i ne bi bilo vremenskog kašnjenja kod indeksacije, različiti poreski režimi koji su u primeni rezultuju neizvesnošću realnog prinosa nakon oporezivanja, iako bi prinos pre oporezivanja bio izvestan. Dovoljno je da postoji neizvesnost da li će određena poreska pravila ostati na snazi do roka dospeća obveznice, pa da izostane potpuna izvesnost njenog realnog prinosa.

## 3. IZBOR INDEKSA I METODE INDEKSACIJE

Prema indeksu u osnovi, u praksi se najčešće sreću hartije indeksirane domaćim indeksom potrošačkih cena (engl. *Consumer Price Index*, CPI), ali indeksacija se može vršiti i indeksom cena na veliko, izvoznim cenama, prosečnom zaradom, BDP deflatorom, itd. U praksi, u upotrebi je bila i cena zlata, tržišna vrednost akcija, nivo industrijske proizvodnje i različiti devizni kursevi. Osnovni faktori koji determinišu izbor indeksa jesu: stepen njegove usklađenosti sa potrošačkom korpom investitora ili strukturom aktive ili obaveza emitenta, njegova pouzdanost i integritet, prisustvo sezonskih faktora i ažurnost u izračunavanju i publikovanju podataka.

Indeksirane obveznice se strukturiraju na način koji sprečava eroziju vrednosti glavnice i kamate koja se isplaćuje investitorima. Konkretnih formi obveznica ima mnogo, a sve su usmerene na ovaj osnovni cilj. Dva najčešće primenjena tipa indeksiranih obveznica jesu obveznica sa indeksiranom glavnicom (engl. *Capital Indexed Bond*, CIB) i obveznica sa indeksiranim kuponima (engl. *Interest Indexed Bond*, IIB). Pored ovih, u praksi se mogu sresti i obvezice sa tekućom isplatom, obveznice sa indeksiranim anuitetima i indeksirane beskuponske obveznice.

## 4. PRINOS I CENA OBVEZNICE SA INDEKSIRANOM GLAVNICOM

Tržišna cena klasične obveznice  $P_N$  koja plaća periodične nominalne kupone  $C_N$  i nominalnu vrednost o roku dospeća  $FV_N$  je predstavljena sledećom jednakošću:

$$P_N = \sum_{j=1}^n \frac{C_N}{(1+y_j)^j} + \frac{FV_N}{(1+y_n)^n} \quad (1)$$

gde  $y_j$  predstavlja spot kamatnu stopu na zajam sa dospećem u periodu  $j$ .

Cena indeksirane obveznice  $P_R$  koja plaća realan kupon  $C_R$  i glavnice  $FV_R$  o dospeću je definisana sledećom jednakošću:

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R \prod_{i=1}^j (1+\pi_i)}{(1+r_j)^j \prod_{i=1}^j (1+\pi_i)} + \frac{FV_R \prod_{i=1}^n (1+\pi_i)}{(1+r_n)^n \prod_{i=1}^n (1+\pi_i)} \quad (2)$$

gde je  $\pi_i$  stopa inflacije između perioda  $i-1$  i  $i$ .

U slučaju kada bi indeksirana obveznica bila perfektno indeksirana (bez kašnjenja u indeksaciji) faktori indeksacije u brojiocu i imeniocu bi se međusobno poništili rezultujući sledećim iskazom:

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R}{(1+r_j)^j} + \frac{FV_R}{(1+r_n)^n} \quad (3)$$

Međutim, u realnosti obveznice nisu nikada savršeno indeksirane. Odabrani indeks ne mora u potpunosti održavati stvarnu inflaciju za konkretne novčane tokove koji se indeksiraju. Dodatno, inflacija se ne prati redovno već se u najboljem slučaju indeksi objavljuju jednom mesečno, ako ne i ređe, i to sa zakašnjenjem u odnosu na sam kraj obračunskog perioda. Ukratko: kašnjenje u indeksaciji komplikuje precizno merenje realnog prinosa indeksirane obveznice.

Kao što se prinos do dospeća kod klasične obveznice računa kao njena interna stopa prinosa, realni prinos do dospeća za savršeno indeksiranu obveznicu bi bio, analogno, njena realna interna stopa prinosa. Realni prinos do dopeća se izvodi iz jednačine (3) zamenom  $r_1 = r_2 = \dots = r_n = \bar{r}$  i rešavanjem iterativnim putem po  $\bar{r}$ .

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R}{(1+\bar{r})^j} + \frac{FV_R}{(1+\bar{r})^n} \quad (4)$$

U praksi se ovaj iskaz nikada ne može primeniti direktno, jer obveznice nisu savršeno indeksirane.

U uslovima kašnjenja indeksacije ovako definisani realni prinosi obveznica zavise od pretpostavke o budućem kretanju inflacije. Ako se pretpostavi da je kašnjenje u indeksaciji jednako jednom kuponskom periodu, jednačina cene indeksirane obveznice bi bila slična kao jednačina (2), ali bi indeksacija novčanih tokova počela jedan period ranije.

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R \prod_{i=0}^{j-1} (1+\pi_i)}{(1+r_j)^j \prod_{i=1}^j (1+\pi_i)} + \frac{FV_R \prod_{i=0}^{n-1} (1+\pi_i)}{(1+r_n)^n \prod_{i=1}^n (1+\pi_i)} \quad (5)$$

U ovom slučaju, faktori indeksacije u brojiocu i imeniocu se ne poništavaju međusobno u potpunosti:

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R (1+\pi_0)}{(1+r_j)^j (1+\pi_j)} + \frac{FV_R (1+\pi_0)}{(1+r_n)^n (1+\pi_n)} \quad (6)$$

Realni prinos do dospeća  $\bar{r}$  se nakon uvođenja jednakosti  $r_1 = r_2 = \dots = r_n = \bar{r}$  i  $\pi_1 = \pi_2 = \dots = \pi_n = \bar{\pi} = 3\%$ <sup>1</sup> računa iterativnim putem:

<sup>1</sup> Kod indeksiranja obveznica u Velikoj Britaniji uobičajeno se pretpostavlja konstantna buduća stopa inflacije od 3%.

$$P_R = \sum_{j=1}^n \frac{C_R(1+\pi_0)}{(1+r)^j(1+\pi)} + \frac{FV_R(1+\pi_0)}{(1+r)^n(1+\pi)} \quad (7)$$

Što je duži period kašnjenja u indeksaciji i kraća preostala ročnost indeksirane obveznice to je veći uticaj uključene pretpostavke o budućem kretanju inflacije na realan prinos do dospeća obveznice.

S obzirom na to da se na najvećem broju tržišta indeksirane obveznice plasiraju na osnovu visine realnog prinosa, emitenti su u obavezi da tokom procedure emitovanja objave i jednačinu za relaciju cena-prinos za svrhe poravnanja. Radi pojednostavljenja u ovim zvaničnim formulama se pretpostavlja da se izrazi za očekivanu inflaciju u potpunosti poništavaju što rezultuje sledećom relacijom:

$$P_R = (1+\pi_0) \left[ \sum_{j=1}^n \frac{C_R}{(1+r)^j} + \frac{FV_R}{(1+r)^n} \right] \quad (8)$$

Iako je reč o aproksimaciji, ovo pojednostavljenje čini formulu jednostavnijom za primenu. Što je duži period kašnjenja kod indeksacije, to ova relacija predstavlja veći stepen aproksimacije. Praktičan problem koji prati primenu ove formule kod poravnanja transakcije jeste da se svi koji formulu koriste moraju složiti oko pretpostavke o kretanju inflacije koju će uneti u obračun. Iako na raznim tržištima postoje slične pojednostavljene formule za vezu cena-prinos kod indeksiranih hartija, sofisticiraniji tržišni učesnici će svakako uvek izvesti sopstvene izraze na bazi jednačine (1.6.) kojima će realne probleme kod indeksiranja uzeti u obzir.

## 5. PREDNOSTI I NEDOSTACI INDEKSIRANOG DUGA ZA INVESTITORE I EMITENTE

Najzastupljenija forma dugovnih hartija od vrednosti na razvijenim tržištima jesu klasične obveznice. Tokom vremena se razvila ideja o indeksiranim instrumentima i dodatnom vidu zaštite investitora od porasta cena roba i usluga, valuta ili hartija od vrednosti. Za indeksiranim hartijama postoji najveća tražnja upravo u periodima najveće cenovne nestabilnosti i nepredvidivosti. Na prvi pogled se čini da su indeksirani instrumenti dominantni u odnosu na klasične čak i na tržištima koja se odlikuju cenovnom stabilnošću jer pružaju zaštitu kupovne moći investitorima koji zauzvrat zahtevaju nižu kuponsku stopu. Uprkos tome, dominantna forma obveznica na finansijskim tržištima jesu klasične obveznice. Kao podgrupa, najlikvidnije i najsigurnije obveznice koje emituju države su dominantno klasični neindeksirani instrumenti. Troškovi emisije indeksiranog duga se čine posebno niskim upravo za državu kao emitenta, s obzirom na to da kroz poreze može relativno lako da prikupi sredstva za izmirenje obaveza po ovom osnovu. Ipak, države češće emituju klasične obveznice denominovane u stranim valutama nego indeksirane instrumente u lokalnoj valuti kada god postoji nedovoljno poverenje javnosti u stabilnost domaće valute. Posmatrano iz ugla rizika dve alternative, rizik obveznica sa denominacijom u inostranoj valuti bi trebalo da bude viši zbog postojanja određene mogućnosti difolta, dok kod emisije indeksiranih hartija u lokalnoj valuti postoji mogućnost izmirenja obaveza kroz povećanje poreza ili u krajnjoj instanci štampanje novca. To bi trebalo da umanjí premiju za rizik difolta. Ipak, države koje se opredeljuju za prvu opciju smatraju riziko premiju za slučaj difolta nižom od premije za inflaciju kod emisije instrumenata u lokalnoj valuti, uključujući tu i indeksirane instrumente. To je posebno slučaj u situaciji nedovoljnog poverenja javnosti u stabilnost lokalne valute.

Indeksirane obveznice deluju kao veoma interesantni instrumenti za zemlje u razvoju koje rade na razvoju lokalnog tržišta kapitala. Uprkos tome, malo zemalja ih efektivno koristi. Posledice indeksiranja na makronivou zavise suštinski od strategija monetarne i fiskalne politike u konkretnoj zemlji (Fisher 1983). Emisijom indeksiranih obveznica država se može finansirati uz niže troškove preuzimajući na sebe obavezu da kompenzira investitore u obveznice za smanjenje njihove kupovne snage. Međutim, ako monetarne vlasti konkretne države nisu posvećene smanjenju inflacije, ili ako vode proinflatornu monetarnu politiku kako bi finansirale svoju potrošnju i izmirile svoje fiksne obaveze kroz njihovo obezvređivanje, mogu zaključiti da su troškovi indeksiranih instrumenata za njih viši od koristi. Čak i vlade koje su usmerene na uravnotežen državni budžet mogu proceniti da su im indeksirani instrumenti preskupi. Riziko premija za indeksirane instrumente ne mora biti mnogo niža od ukupne riziko premije klasičnih obveznica ako investitori sumnjaju u vladinu sposobnost da snizi inflaciju ili veruju da vladina politika vodi opterećenju budžeta i posledično višim realnim kuponskim stopama.

U zemljama sklonim visokim i, što je još značajnije, varijabilnim stopama inflacije, indeksirane obveznice često dostižu značajan udeo u njihovom državnom dugu (BIS 2007). Dostignuti udeo indeksiranog duga u ukupnom zavisi i od momenta kada su indeksirani instrumenti emitovani i dužine vremenskog perioda tokom kojeg su prisutni na tržištu. Dok su neke zemlje započele emisiju ovih

instrumenata u periodu visoke inflacije (Brazil, Izrael, Velika Britanija) druge to čine u periodu niske i stabilne inflacije (Kanada, Švedska, SAD).

Ako se posmatra veza između volatilnosti stopa inflacije i udela indeksiranog duga u ukupnom javnom dugu, u skoro svim zemljama koje emituju indeksirane instrumente stopa volatilnosti inflacije je bila viša od OECD proseka (Kopcke and Kimball 1999). I što je još važnije, zemlje sa najvarijabilnijim stopama inflacije su se najviše i oslanjale na indeksirani dug (Izrael, Turska, Brazil).

## **6. ZAKLJUČAK**

Uprkos potencijalnim tehničkim poteškoćama koje prate njihovo dizajniranje i uvođenje na tržište, indeksirane obveznice jesu atraktivna alternativa za investitore, jer nude visok stepen zaštite od neočekivane inflacije. Ako inflacija prevaziđe očekivanu, investitori u dugoročne obveznice realno ostvaruju niži prinos. U periodima visoke i volatilne inflacije ovo može imati izrazito loše posledice. Međutim, i u periodima relativno stabilnih cena i niske dugoročne inflacije, ona i dalje ima uticaj na realan prinos dugoročnih investicija. Zato indeksirani instrumenti ostaju interesantni investitorima sa preferencijama prema stabilnom i predvidivom realnom dohotku.

## **LITERATURA**

- [1] BIS. (2007). Financial stability and local currency bond markets. Committee on the Global Financial System Papers No. 28
- [2] Campbell, J. Y., Shiller, R. J., & Viceira, L. M. (2009). Understanding Inflation-Indexed Bond Markets. NBER Working Paper 15014. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research
- [3] Deacon, M., Derry, A. & Mirfendereski, D. (2004). Inflation indexed securities - Bonds, Swaps and other derivatives. UK: John Wiley & Sons Ltd.
- [4] Fisher, S. (1983). Indexing and Inflation. *Journal of Monetary Economics*, 12, 519-541.
- [5] Kopcke, R. W., & Kimball, R. C. (1999). Inflation-Indexed Bonds: The Dog that Didn't Bark. *New England Economic Review*, Jan/Feb, 3-24.



## PROBLEMI OBRAČUNA ZATEZNE KAMATE

### PROBLEMS OF LATE PAYMENT INTEREST CALCULATION

JELENA KOČOVIĆ<sup>1</sup>, TATJANA RAKONJAC-ANTIĆ<sup>2</sup>, MIRELA MITRAŠEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, kocovic@ekof.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, rakonjac@ekof.bg.ac.rs

<sup>3</sup> Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, mirela.mitrasevic@fpe.unssa.rs.ba

**Rezime:** Predmet istraživanja u ovom radu su različiti modeli obračuna zatezne kamate i njihova uporedna analiza. Cilj istraživanja je da se ukaže na prednosti i nedostatke pojedinih modela kako bi se sagledale posledice njihove primene. U radu je data analiza modela obračuna zatezne kamate u Evropskoj uniji i u Srbiji. Posebna pažnja je posvećena uporednoj analizi primene konformnog i proporcionalnog metoda pri obračunu zatezne kamate. Na primeru se dokazuju prednosti primene proporcionalnog metoda.

**Ključne reči:** zatezna kamata, konformni metod, proporcionalni metod, referentna kamatna stopa.

**Abstract:** The subject of the research presented in this paper are different models of calculating interest on late payments and their comparative analysis. The aim of the research is to point out the advantages and disadvantages of particular models in order to comprehend the consequences of their application. An analysis of the models of late payment interest calculation in the European Union and in Serbia is given in the paper. Special attention is devoted to a comparative analysis of the application of conformal and the proportional method when calculating interest in late payments. Advantages of the proportional method implementation are illustrated on the example.

**Keywords:** late payment interest, conformal method, proportional method, reference interest rate.

#### 1. UVOD

Problem obračuna zatezne kamate, kao i njenog pravičnog iznosa, dugi niz godina je predmet rasprave velikog broja naučnika i stručnjaka, a pre svega ekonomista i pravnika. U Srbiji je posebno istaknut problem dugogodišnje primene konformne metode prilikom obračuna zatezne kamate, imajući u vidu da je posledica takvog načina obračuna bio njen neopravdano visok iznos što je, između ostalog, u uslovima izraženo visoke nelikvidnosti privrednih subjekata doprinelo siromašenju srpske privrede. Na taj način je omogućeno poveriocu pribavljanje nesrazmerne imovinske koristi na račun teške finansijske situacije dužnika, koja mu je onemogućila da na vreme izmiruje svoje obaveze. Prema Odluci Ustavnog suda RS ("Službeni glasnik RS" br. 73/2012), koja je stupila na snagu 27.07.2012. godine, konformni metod obračuna zatezne kamate nije u skladu sa Ustavom RS, i zamenjen je proporcionalnim metodom. Za razliku od ostalih ekonomskih subjekata, poslovne banke su u prethodnom periodu za obračunavanje zatezne kamate na svoje obaveze prema NBS primenjivale proporcionalni metod, a na svoja potraživanja prema dužnicima konformni metod, čime su neopravdano bile stavljene u povlašćeni položaj. Nova regulativa je usklađena sa odgovarajućom Direktivom EU (2011/7/EU) i reguliše obavezu primene proporcionalnog metoda prilikom obračuna zatezne kamate. Primena različitih metoda obračuna zatezne kamate daje različite rezultate, što je predmet analize u radu.

#### 2. DEFINISANJE ZATEZNE KAMATE

Zatezna kamata je iznos koji je dužnik u obavezi da plati poveriocu na iznos duga koji nije izmirio o roku predviđenom ugovorom. U slučaju kašnjenja sa izmirenjem novčane obaveze, dužnik, pored glavnice, duuguje i zateznu kamatu. Zatezna kamata predstavlja najvažniji pravni instrument kojim se štite interesi poverilaca u poslovnim transakcijama (Mäntysaari 2009). Njome se promovise finansijska disciplina u dužničko-poverilačkim odnosima i omogućuje neometano odvijanje tokova robne razmene. Značaj zatezne kamate naročito dolazi do izražaja u uslovima ekonomske krize, kada kašnjenja u plaćanju ozbiljno ugrožavaju likvidnost poslovnih subjekata, uzrokujući „domino efekat“ koji se odražava na otežano

funkcionisanje celokupne nacionalne ekonomije. Stoga se odgovarajućom zakonskom regulativom ustanovljava institut zatezne kamate i definišu metodologija i parametri njenog obračuna. Zbog svoje zasnovanosti na zakonskoj normi kojom se dužniku nameće obaveza povraćaja glavnice uvećane kamatom, zatezna kamata predstavlja oblik zakonske, statutarne kamate.

Zatezna kamata se obračunava od datuma kada je dužnik trebalo da izmiri obavezu do dana isplate obaveze, s tim što se prvi dan ne uzima u obzir, a poslednji dan se računa. Postavlja se pitanje kolika bi trebalo da bude naknada za kašnjenje u izmirenju obaveze, odnosno koji je to pravičan iznos te naknade. Dužnik svakako mora biti kažnjen, odnosno mora nadoknaditi štetu usled neblagovremenog plaćanja obaveze, budući da na taj način dovodi poverioca u lošiju finansijsku poziciju. U kontinentalnom pravu se smatra da je funkcija zatezne kamate da kazni dužnika zbog kašnjenja u izvršavanju novčanih obaveza, da bi se time preventivno delovalo na sve subjekte koji se javljaju u ulozi dužnika. Stoga se zatezna kamata, kao vid sankcije, primenjuje nezavisno od objektivnih ili subjektivnih okolnosti kojima je uzrokovana docnja u izmirenju duga. U anglosaksonskom pravu preovlađuje shvatanje da zatezna kamata predstavlja oblik naknade štete zbog kašnjenja u izvršavanju obaveza. Postoji i takvo stanovište prema kome je primarna svrha zatezne kamate kreiranje podsticaja za blagovremeno ispunjenje novčanih obaveza (Mäntysaari 2009). Postavlja se pitanje koja stopa bi mogla da bude reper pri određivanju stope zatezne kamate. Da li je to eskontna, odnosno referentna stopa centralne banke, stopa rasta cena na malo, rasta troškova života, ili ugovorena kamatna stopa u konkretnom dužničko-poverilačkom odnosu koje, uvećane za odgovarajuću marginu, daju stopu koja se koristi prilikom obračunavanja iznosa zatezne kamate u odnosu na glavnice. Izbor reperne kamatne stope bi trebalo da uvaži ekonomske okolnosti u kojima se odvijaju poslovne transakcije. Referentna kamatna stopa, kao stopa koju centralna banka primenjuje u sprovođenju glavnih operacija na otvorenom tržištu (poput transakcija repo ili trajne kupovine i prodaje hartija od vrednosti) sa ciljem regulisanja likvidnosti bankarskog sektora i uticaja na kretanje kratkoročnih kamatnih stopa se javlja kao jedan od najčešće korišćenih parametara obračuna zatezne kamatne stope. Zahvaljujući transmisionom mehanizmu monetarne politike, na referentnoj stopi zasnovana stopa zatezne kamate može imati kontraklično dejstvo, olakšavajući otplatu duga i kamate od strane dužnika u uslovima recesije.

U skladu sa domaćim Zakonom o obligacionim odnosima, ukoliko je stopa ugovorene kamate veća od stope zatezne kamate, ona nastavlja da teče i nakon nastupanja dužnikove docnje. Međutim, zatezna kamata se ne obračunava na dospelu a neisplaćenu zateznu kamatu, tj. zakonodavac zabranjuje kamatu na kamatu u slučaju kašnjenja u izmirenju novčanih obaveza. Istovremeno, ako je šteta koju je poverilac pretrpeo zbog dužnikove docnje veća od iznosa zatezne kamate, poverilac ima pravo da zahteva razliku do pune naknade štete (Zakon o obligacionim odnosima, čl. 278).

### **3. OBRAČUN ZATEZNE KAMATE U EVROPSKOJ UNIJI**

Prepoznajući kašnjenja u plaćanju obaveza kao jedan od ključnih rizika sa kojim se suočavaju poslovni subjekti, na nivou Evropske unije je, 2000. godine, usvojena prva direktiva kojom se reguliše obračun i plaćanje zatezne kamate. Data direktiva se odnosila na komercijalne transakcije kako između poslovnih subjekata, tako i između poslovnih subjekata i organa javne uprave. Zatezna kamata je obračunavana primenom prostog interesnog računa, po kamatnoj stopi jednakoj referentnoj kamatnoj stopi uvećanoj za najmanje 7 procentnih poena (2000/35/EC, čl. 3). Za referentnu kamatnu stopu uzima se kamatna stopa na operacije refinansiranja Evropske centralne banke (za obaveze iskazane u evrima), odnosno ekvivalentna kamatna stopa relevantne nacionalne centralne banke (za obaveze iskazane u drugoj valuti).

Uprkos nesumnjivom doprinosu slobodi kretanja dobara i usluga unutar jedinstvenog evropskog tržišta, tokom 2008. godine je ispoljena inicijativa za zaoštavanje postojeće regulative i jačanje zaštite prava poverilaca. Naime, uočeno je da kašnjenja u plaćanju i dalje ugrožavaju likvidnost malih i srednjih preduzeća, kao i da, u datom pogledu, prednjače organi javne uprave u ulozi dužnika, dajući ostalim subjektima loš primer ponašanja u poslovnim transakcijama (Cowan *et al.* 2013).

Sa ciljem promovisanja kulture blagovremenog izmirenja obaveza na celokupnoj teritoriji EU, 16.02.2011. godine je usvojena druga direktiva (2011/7/EU) koja se odnosi na obračun zatezne kamate. Izmenama dotadašnjeg regulatornog režima postignuta je harmonizacija i ograničenje rokova plaćanja obaveza, povećana je stopa i uveden minimalni apsolutni iznos zatezne kamate. Pravo potraživanja zatezne kamate se stiče ukoliko novčana obaveza ne bude izmirena u roku od 30 kalendarskih dana (od strane organa javne uprave), odnosno u roku od 60 dana (od strane poslovnog subjekta) od dana ispostavljanja fakture za isporučena dobra ili pružene usluge.

Zatezna kamata se obračunava po stopi koja je jednaka referentnoj kamatnoj stopi Evropske centralne banke (ECB) na glavne operacije (stopa refinansiranja), odnosno nacionalne centralne banke izvan Evrozone, uvećanoj za najmanje 8 procentnih poena. Dodatna stopa ne može iznositi manje od 8%, a

pojedine zemlje mogu primenjivati i više stope. Objavljene referentne stope na dane 1. januara i 1. jula su relevantne za sve transakcije tokom narednih šest meseci odnosno godine (2011/7/EU, čl. 2-4). Za obračun zatezne kamate za obaveze denominirane u evrima tokom 2014. godine, na primer, primenjuje se stopa 0,25%+8 p.p. za kašnjenja tokom prve polovine godine, odnosno 0,15%+8 p.p. tokom druge polovine godine ([www.ecb.europa.eu](http://www.ecb.europa.eu)).

U nekim državama članicama Evropske unije, zatezna kamata za kašnjenje s plaćanjem ne može se obračunati ukoliko je poslovni partner u stečajnom postupku.

Članice EU su imale obavezu (koja je istekla 16.03.2013. godine) da u svoja nacionalna zakonodavstva ugrade isti, ili čak i strožiji, princip određivanja zatezne kamatne stope, koji bi u većoj meri išao u prilog kreditorima/poveriocima, a organi javne uprave nemaju pravo da ugovaraju nižu zateznu kamatu od one iz Direktive. Zemlje EU, koje nisu članice zone eura, mogu odrediti zateznu kamatnu stopu u odnosu na referentnu kamatnu stopu svoje centralne banke (engl. *national base rate*), kao što je to učinila Velika Britanija (<https://www.gov.uk/late-commercial-payments-interest-debt-recovery/charging-interest-commercial-debt>).

Obračun zatezne kamate se vrši primenom proporcionalnog metoda koji je zasnovan na prostom interesnom računu. Zatezna kamata se sve vreme računa na iznos glavnice za broj dana računat od datuma kada je trebalo da se reguliše dug do dana njegovog regulisanja, s tim da se prvi dan ne uzima u obzir a poslednji uzima. Kada se menja stopa zatezne kamate ne vrši se pripis zatezne kamate glavnici, obračunate do datuma promene stope, već se ona i od tog datuma obračunava na glavicu. Za računanje dana koristi se tzv. engleski sistem (k,365), odnosno dani se računaju po kalendaru, a računa se da godina ima 365 ili 366 dana. Zatezna kamata se obračunava primenom sledećeg obrasca (Department of Business, Innovations and Skills 2013):

$$\text{zatezna kamata} = \text{dug} \times \text{kamatna stopa} \times \frac{\text{broj dana kašnjenja}}{365} \quad (1)$$

U skladu sa novom direktivom, poverilac stiče pravo na fiksni iznos od najmanje 40 EUR zatezne kamate, u vidu kompenzacije za administrativne i finansijske troškove uzrokovane kašnjenjem u naplati potraživanja (2011/7/EU, čl. 6). Nacionalnim zakonodavstvima zemalja članica EU može biti predviđen veći iznos stope, odnosno minimalnog apsolutnog novčanog iznosa zatezne kamate<sup>1</sup>.

Na sledećem primeru daćemo obračun zatezne kamate u Evropskoj uniji. Na dan 30.6. 2014. godine kompanija B nije platila dug u iznosu od 1000 EUR, koji je dospelo 20. juna 2014. godine. Ukoliko je stopa zatezne kamate 8,25% iznos zatezne kamate iznosi:

$$\text{zatezna kamata} = 1000 \times 0,0825 \times \frac{10}{365} = 22,60$$

U slučaju da rok plaćanja nije definisan ugovorom, zatezne kamate postaju automatski naplative nakon 30 dana od prijema računa ili zahteva za plaćanje.

Propisi imaju za cilj stvaranje okruženja u kome je plaćanje na vreme standardna norma, ali nikada ne mogu biti zamena za efikasne veze sa poslovnim partnerima. Poslovna praksa ukazuje da za obezbeđenje blagovremene isplate fokus mora biti na upravljanju odnosima sa klijentima i upravljanju novčanim tokovima.

#### 4. OBRAČUN ZATEZNE KAMATE U SRBIJI

Obračun zatezne kamate u Srbiji je do 3. marta 2001. godine bio regulisan Zakonom o visini stope zatezne kamate ("Sl. list SRJ", br. 32/93, 24/94, 28/96). Prema ovom Zakonu, obračun zatezne kamate se vršio primenom konformne metode. Stopa zatezne kamate se sastojala od stope rasta cena na malo i fiksne stope od 1,2% mesečno, koja je ujedno predstavljala i najnižu stopu zatezne kamate. Za mesec za koji nije bila poznata, primenjivala se poslednja objavljena stopa rasta cena na malo. Na potraživanja domaćih i stranih fizičkih i pravnih lica koja glase na plaćanje u stranoj valuti, zatezna kamata se plaćala po stopi od 6% godišnje.

Počev od 3. marta 2001. godine je stupio na snagu Zakon o visini stope zatezne kamate ("Službeni list SRJ", br. 9/2001). U odnosu na prethodni zakon samo je smanjena fiksna stopa sa 1,2% na 0,5% mesečno,

<sup>1</sup> Na primer, prema relevantnim zakonskim propisima Velike Britanije, minimalni novčani iznos zatezne kamate varira u rasponu od 40 do 100 GBP u zavisnosti od iznosa duga (Cowan *et al.* 2013).



dok je i dalje propisana stopa zatezne kamate obuhvatala mesečnu stopu rasta cena na malo i fiksnu stopu. Kao i u prethodnom Zakonu, definisano je da se zatezna kamata utvrđuje primenom konformnog metoda. Za obračun stope zatezne kamate korišćena je sledeća jednačina:

$$K = 100 \cdot \left[ \left( 1 + \frac{Kp}{100} \right) \left( 1 + \frac{0,5}{100} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

gde je:

K - stopa zatezne kamate;

Kp - stopa rasta potrošačkih cena u RS (Indeks potrošačkih cena – 100) i

0,5 - fiksna stopa.

Obračun duga uvećanog za zateznu kamatu se vršio primenom konformne metode. Stopa zatezne kamate za period za koji se utvrđuje kamata prema konformnom metodu se utvrđuje na bazi sledeće jednačine (Zakon o visini stope zatezne kamate (Objavljen u "Sl. listu SRJ", br. 32/93, 24/94, 28/96)):

$$K' = (1 + K)^{n/m} - 1 \quad (3)$$

gde je:

K' - stopa zatezne kamate za period za koji se utvrđuje kamata;

K - mesečna stopa zatezne kamate;

m - broj dana u mesecu za koji je utvrđena stopa zatezne kamate;

n - broj dana za koji se utvrđuje zatezna kamatna stopa.

U narednom primeru biće analizirane razlike u visini zatezne kamate dobijene primenom konformnog i proporcionalnog metoda. U periodu na koji se odnosi primer najbolje se može sagledati nepovoljnost obračuna zatezne kamate konformnom metodom u poređenju sa primenom proporcionalne metode. Napominjemo da je u tom perioda zakonska obaveza bila primena konformne metode.

Umesto 5.1.1998. godine, dužnik je izmirio svoj dug od 1.000 dinara 15.12.1998 godine. Potrebno je izračunati zateznu kamatu za dati period docnje primenom konformnog i proporcionalnog metoda.

**Tabela 1:** Rezultati obračuna zatezne kamate primenom konformnog i proporcionalnog metoda

datum	broj dana	Mesečna stopa	Konformni metod			Proporcionalni metod		
			Osnovica (din)	Kamata (din)	Ukupno (din)	Osnovica (din)	Kamata (din)	Ukupno (din)
5.1.1998	26	3,33	1.000,00	27,81	1.027,81	1.000,00	27,89	1027,89
1.2.1998	28	4,54	1.027,81	46,66	1.074,47	1.000,00	45,40	1073,28
1.3.1998	31	2,82	1.074,47	30,29	1.104,77	1.000,00	28,19	1101,48
1.4.1998	30	6,56	1.104,77	72,51	1.177,28	1.000,00	65,64	1167,11
1.5.1998	31	5,65	1.177,28	66,55	1.243,83	1.000,00	56,53	1223,64
1.6.1998	30	3,63	1.243,83	45,14	1.288,96	1.000,00	36,29	1259,93
1.7.1998	31	3,43	1.288,96	44,17	1.333,13	1.000,00	34,26	1294,19
1.8.1998	31	5,15	1.333,13	68,61	1.401,74	1.000,00	51,47	1345,66
1.9.1998	30	4,84	1.401,74	67,89	1.469,63	1.000,00	48,43	1394,09
1.10.1998	31	6,16	1.469,63	90,51	1.560,14	1.000,00	61,59	1455,68
1.11.1998	30	2,92	1.560,14	45,56	1.605,70	1.000,00	29,20	1484,88
15.12.1998	15	3,33	1.605,70	25,62	<b>1.631,32</b>	1.000,00	16,09	<b>1500,97</b>

Za dati period kašnjenja u izmirenju obaveza kamata obračunata po konformnom metodu je za 26,02% veća od kamate obračunate proporcionalnim, prostim interesnim metodom (Tabela 1). Što je period kašnjenja u izmirenju duga veći, to je razlika između interesa dobijenog primenom konformne i proporcionalne metode veća. Razlika u iznosu zatezne kamate je rezultat pripisa kamate glavnici, odnosno promene baze obračuna u svakom obračunskom periodu pri primeni konformne metode, za razliku od proporcionalne metode čijom primenom se u svakom obračunskom periodu zatezna kamata obračunava na glavicu.

Prema Odluci Ustavnog suda RS ("Službeni glasnik RS" br. 73/2012), koja je stupila na snagu 27.07.2012. godine, konformni metod obračuna zatezne kamate nije u skladu sa Ustavom RS, a takođe suprotan je zabrani anatocizma propisanoj Zakonom o obligacionim odnosima i zamenjen je proporcionalnim metodom.

Nakon analize rešenja iz uporednog prava Evropske unije, novim zakonom je propisano da se na iznos duga koji glasi na evre stopa zatezne kamate utvrđuje na godišnjem nivou u visini referentne kamatne stope

Evropske centralne banke na glavne operacije za refinansiranje uvećane za osam procentnih poena, dok se na iznos duga koji glasi na drugu stranu valutu, utvrđuje na godišnjem nivou u visini referentne kamatne stope koju propisuje i/ili primenjuje prilikom sprovođenja glavnih operacija centralna banka zemlje domicilne valute uvećane za osam procentnih poena.

Nova regulativa je usklađena sa odgovarajućom Direktivom EU (2011/7/EU).

Prema Zakonu o zateznoj kamati ("Službeni glasnik RS", br. 119/2012) zatezna kamata se obračunava za kalendarski broj dana perioda docnje u izmirivanju obaveza u odnosu na kalendarski broj dana u godini (365,366), primenom prostog interesnog računa od 100, i dekurzivnog načina obračuna, bez pripisa obračunate zatezne kamate glavnici istekom obračunskog perioda, prema sledećoj formuli:

$$K = \frac{G \cdot p \cdot d}{100 \cdot G_d} \quad (4)$$

gde je:

$k$  - iznos zatezne kamate,

$G$  - iznos duga,

$p$  - propisana godišnja stopa zatezne kamate,

$d$  - kalendarski broj dana docnje u obračunskom periodu,

$G_d$  – kalendarski broj dana u godini (365 - prosta godina, odnosno 366 dana - prestupna godina).

Pod obračunskim periodom podrazumeva se period od prvog dana docnje, odnosno promene iznosa duga i/ili promene stope zatezne kamate u periodu docnje za koji se vrši obračun, zaključno sa danom konačnog izmirenja glavnice, odnosno duga.

Dakle, dan dospeća duga se ne uzima u obzir, već se zatezna kamata obračunava za broj dana počev od prvog dana kašnjenja, zaključno sa danom povraćaja duga, iako to u samoj regulativi nije sasvim jasno iskazano. Zatezna kamata je jednaka referentnoj kamatnoj stopi uvećanoj za 8 p.p. Navedena proporcionalna metoda se koristi od donošenja Zakona o zateznoj kamati, tj. od 25.12.2012. godine.

#### **Primer.**

Dužnik nije platio svoj dug od 20.000 dinara o roku dospeća, tj. 04.01.2013. godine, već 16.01.2013. godine. Izračunati zateznu kamatu i ukupan iznos koji je dužnik platio.

$K=20000$ ,  $d(04.01.-16.01.)=12$ ,  $p=19,25\%$

$Iz=20000*12*19,25/(365*100)=126,57$  dinara

$K+Iz=20000+126,57=20126,57$  dinara

Promenom referentne kamatne stope menja se stopa zatezne kamate, ali se ona u svakom obračunskom periodu uvek obračunava na glavnici, odnosno zatezna kamata se ne pripisuje glavnici.

## **5. ZAKLJUČAK**

Iznos zatezne kamate, koja se obračunava kao kazna za kašnjenje u regulisanju obaveza ili kao naknada štete koja je učinjena poveriocu, zavisi od metoda koji se koristi prilikom njenog obračuna. U Evropskoj uniji se koristi proporcionalni metod, koji omogućuje da se ne vrši pripis kamate glavnici pri računanju zatezne kamate, odnosno ona se za sve vreme kašnjenja obračunava na glavnici. Time se postiže da njen iznos ne bude neopravdano visok. Međutim, u Srbiji je dugi niz godina korišćen konformni metod obračuna zatezne kamate, koji je baziran na pripisu kamate glavnici i daljem obračunu kamate na uvećanu glavnici što je imalo za rezultat neopravdano visoke zatezne kamate. Ustavni sud je, iz navedenih razloga, primenu konformne metode za obračun zatezne kamate proglasio neustavnom. U skladu sa time donet je novi zakon o računanju zatezne kamate, koji je usaglašen sa regulativom Evropske unije i koji uvodi obavezu primene proporcionalne metode pri njenom obračunu. Time se rešava problem pravednosti obračuna zatezne kamate obezbeđenjem da ona bude na prihvatljivom nivou zahvaljujući primeni proporcionalne metode, koja daje značajno manje iznose zatezne kamate u odnosu na konformni metod.

## **LITERATURA**

- [1] Cowan, P., Lavers, A. & Shorter, R. (2013). *New Changes to the Late Payment of Commercial Debts (Interest) Act*. White & Case Insight, London.
- [2] Department of Business, Innovations and Skills (2013). *A Users Guide to the recast Late Payment Directive*. Department of Business, Innovations and Skills, London.

- [3] EC (2000). „Directive 2000/35/EC of the European Parliament and of the Council of 29 June 2000 on combating late payment in commercial transactions“, *Official Journal of the European Communities*, 2000/35/EC.
- [4] EU (2011). „Directive 2011/7/EU of The European Parliament and of the Council of 16 February 2011 on combating late payment in commercial transactions“, *Official Journal of the European Union*, 2011/7/EU.
- [5] Mäntysaari, P. (2009). *The Law of Corporate Finance: General Principles and EU Law: Volume II: Contracts in General*. Springer – Verlag, Berlin.
- [6] Odluka Ustavnog suda “Službeni glasnik RS” br. 73/2012.
- [7] Zakon o obligacionim odnosima, „Sl. list SFRJ“, br. 29/78, 39/85, 45/89 i 57/89 i Sl. list SRJ, br. 31/93.
- [8] Zakon o visini stope zatezne kamate, "Sl. list SRJ", br. 32/93, 24/94, 28/96.
- [9] Zakon o visini stope zatezne kamate, “Službeni list SRJ”, br. 9/2001.
- [10] Zakon o zateznoj kamati, „Službeni glasnik RS”, br. 119/2012.
- [11] [www.ecb.europa.eu](http://www.ecb.europa.eu)
- [12] [www.gov.uk/late-commercial-payments-interest-debt-recovery/charging-interest-commercial-debt](http://www.gov.uk/late-commercial-payments-interest-debt-recovery/charging-interest-commercial-debt)



## **KOREKCIJE TRŽIŠNIH MULTIPLIKATORA ZA RAZLIKE U RIZICIMA**

### **MARKET MULTIPLES ADJUSTMENTS FOR DIFFERENCES IN RISK PROFILE**

NINA MILENKOVIĆ

KPMG d.o.o. Beograd, nmilenkovic@kpmg.com

**Rezime:** Baze podataka najčešće sadrže podatke o kompanijama kotiranim na berzama koje ipak nisu dovoljno uporedive sa kompanijom koja je predmet procene da bi izvedeni tržišni multiplikatori mogli da budu direktno upotrebljeni (tj. da njihova direktna upotreba rezultira dovoljno pouzdanom procenom). Ključne razlike najčešće su u veličini, ali i u drugim pokazateljima (finansijske performanse, teritorija i način poslovanja, očekivani rast...), što sve zajedno utiče na specifične rizike. U radu je prikazano kako je moguće korigovati multiplikatore za razlike u rizicima, tako da se uporedivost, a time i rezultat procene, dovede do zadovoljavajućeg nivoa pouzdanosti.

**Ključne reči:** Procena vrednosti kapitala, tržišni multiplikatori, stopa kapitalizacije, WACC, specifični rizici.

**Abstract:** Companies whose data can be found in databases usually are not comparable enough to valuation subject to assure direct utilization of their multiples (i.e. to assure reliability of valuation resulting from direct application of their multiples). Key differences usually relate to size, but also other characteristics (financial performance, territory, business profile, expected growth...), all having impact on specific risks. This paper shows how to adjust multiples for risk profile differences to achieve satisfactory level of comparability and consequent reliability of valuation.

**Keywords:** Valuation, market multiples, capitalization rate, WACC, specific risks.

#### **1. UVOD**

Jedan od tradicionalnih pristupa u proceni vrednosti kapitala je tržišni pristup. On se bazira na principu supstitucije, odnosno na premisi da racionalan investitor neće za neko sredstvo/firmu platiti više od iznosa za koji bi mogao na tržištu da nabavi sredstvo/firmu sličnih karakteristika. U skladu s tim, primena tržišnog pristupa podrazumeva korišćenje tržišnih multiplikatora, izračunatih za uporedive kompanije koje se kotiraju na aktivnim tržištima akcija ili su nedavno bile predmet kupoprodajnih transakcija. Multiplikatori se izvode iz podataka o tržišnoj vrednosti kapitala i dugova i podataka iz finansijskih izveštaja izabranih uporedivih kompanija. Izvor podataka o uporedivim kompanijama obično su specijalizovane baze (Bloomberg, Capital IQ, Amadeus, Infincials, Damodaran itd). Ove baze sadrže sveobuhvatne podatke o velikom broju kompanija, ali samo za one kompanije koje prelaze granične vrednosti u pogledu veličine (granice su različite, ali uglavnom se radi najmanje o prometu od preko 50 miliona USD godišnje).

Kada je predmet procene velika kompanija, multinacionalna ili sa razvijenog tržišta, multiplikatori su najčešće direktno primenljivi. Međutim, kada su u pitanju nerazvijena ili tržišta u razvoju (emerging markets), gde su uslovi poslovanja znatno drugačiji, a firme koje su predmet procene često i po više stotina puta manje, direktno korišćenje tržišnih multiplikatora dovelo bi do distorzije rezultata, uglavnom do značajnog precenjivanja njihove vrednosti. Stoga je potrebno tržišne multiplikatore korigovati faktorom ili faktorima koji će obuhvatiti ključne razlike između odabranog uzorka i predmeta procene.

Ovi faktori veoma često se određuju subjektivno, na osnovu kvalitativne analize profila rizika i iskustva procenjivača. Međutim, upravo subjektivnost ovakvog načina predstavlja njegovu najveću manu jer je rezultat direktno zavisao od stepena korekcije, pa samim tim i podložan greškama, a i manipulaciji. Stoga je mnogo bolje ukoliko se korektivni faktor odredi nekim kvantitativnim metodom. Poželjno je, takođe, da faktori koji se uzimaju u obzir pri korekciji budu konzistentni sa faktorima koji su korišćeni pri određivanju diskontne stope u primeni prinosnog pristupa.

U radu su navedeni najčešći kvantitativni metodi i tehnike za korekciju multiplikatora. Posebna pažnja posvećena je metodima koji podrazumevaju pojedinačno ili kombinovano obuhvatanje faktora rizika konzistentno ili direktno povezano sa diskontnom stopom.

## 2. KOREKCIJE ZA RAZLIKE U TRŽIŠTIMA

Najčešći razlog koji procenjivači ističu za korigovanje multiplikatora jesu razlike u tržištima, odnosno činjenica da je poslovanje na tržištima u razvoju uglavnom znatno rizičnije od poslovanja na razvijenim tržištima. Izolovano korigovanje multiplikatora za razlike u tržišnim rizicima može se izvesti na više načina:

- preko prinosa na državne obveznice,
- preko relativnog odnosa multiplikatora,
- regresionom analizom.

**Korekcija preko prinosa na državne obveznice** zemalja iz kojih su uporedive kompanije i zemlje u kojoj posluje predmet procene faktički predstavlja jednostavnu modifikaciju rizika zemlje ulaganja koji se koristi u određivanju diskontne stope i određuje se na sledeći način:

$$M_{kor} = \frac{YTM_B}{YTM_Z} \cdot M_{or} \quad (1)$$

gde je:

$M_{kor}$  – korigovani multiplikator,

$M_{or}$  – originalni multiplikator,

$YTM_B$  – prinos do dospeća (yield to maturity) na državne obveznice zemlje koja je osnov za poređenje (benchmark),

$YTM_Z$  – prinos do dospeća na državne obveznice zemlje u kojoj je predmet procene.

Preduslov za primenu ovog metoda je da poređene obveznice imaju potpuno isto dospeće (mereno u danima). Ukoliko to nije slučaj, potrebno je izvršiti preračunavanje prinosa tako da se valute i dospeća izjednače (Ivashkovskaya, Kuznetsov, 2007 vrše preračunavanje dospeća pomoću regresije).

Takođe, treba obratiti pažnju na valute u kojima su obveznice denominovane: nije neophodno da valute budu iste, ali je potrebno to imati u vidu kod tumačenja rezultata (da li korekcija sadrži i devizni rizik ili ne).

Prednost ovog metoda je što je relativno jednostavan i može da se izvede na bilo kom tipu multiplikatora, nezavisno da li za osnovu imaju finansijski rezultat ili imovinu (više o tipovima i definicijama multiplikatora videti u Dodatku 1). Osnovni nedostatak je što potpuno zanemaruje ostale specifične rizike kompanija na tržištima u razvoju.

**Relativni odnos multiplikatora** za ideju ima direktno poređenje prosečnih multiplikatora za celu privredu dveju zemalja u određenom vremenskom trenutku. Potom se ovaj opšti odnos primenjuje na konkretne multiplikatore izračunate iz uzorka uporedivih kompanija.

$$M_{kor} = \frac{\text{medijana } M_Z}{\text{medijana } M_B} \cdot M_{or} \quad (2)$$

gde simboli imaju isto značenje kao u (1).

Ovaj metod je nešto bolji od prethodnog, jer prosečan multiplikator za celu zemlju obuhvata i druge rizike osim osnovnog rizika zemlje. Takođe se može primeniti na sve tipove multiplikatora. Međutim, da bi bio primenljiv potrebno je da u zemlji u kojoj posluje subjekt procene postoji aktivno tržište akcija, da su računovodstveni standardi uporedivi i da je obuhvaćen dovoljno veliki broj kompanija da bi se multiplikator smatrao reprezentativnim. Upravo iz ovog razloga ovaj metod ne bi dao dovoljno pouzdan rezultat za kompanije iz Srbije.

**Korekcije pomoću regresione analize** baziraju se na ideji da vrednost multiplikatora zavisi od fundamentalne veličine koja mu je u osnovi i veštačke promenljive koja predstavlja zemlju/tržište poslovanja. Preduslovi za primenu ovog metoda slični su kao kod relativnog odnosa multiplikatora. U zavisnosti od raspoloživosti podataka ovaj metod često daje odlične rezultate. Takođe, moguće ga je proširiti dodavanjem promenljivih (stvarnih ili veštačkih) koje se odnose na druge faktore rizika kao što su delatnost, veličina, rast i sl. (za više detalja videti Ivashkovskaya, Kuznetsov, 2007, Welc 2011, Acosta 2011).

## 3. KOREKCIJE ZA RAZLIKE U DRUGIM FAKTORIMA RIZIKA

Kao što je već pomenuto, razlike u tržišnim uslovima poslovanja najčešće nisu jedine značajne razlike između kompanija čiji se podaci nalaze u bazama i publikacijama i kompanije koja je predmet procene. Stoga je nezaobilazan korak u primeni tržišnih multiplikatora detaljna analiza pojedinačnih faktora rizika kompanija iz uzorka i kompanije koja je predmet procene, na osnovu koje se zaključuje da li neki faktor ima dominantnu ulogu ili su pak razlike ravnomerno raspoređene (ponekad se odnose i na faktore koje nije moguće direktno kvantifikovati). U zavisnosti od rezultata analize, primenjuju se metodi korekcije za pojedinačne faktore ili za profil rizika u celini.

### 3.1. Korekcije za pojedinačne faktore rizika

Najčešće identifikovani pojedinačni faktori rizika koji su dominantno neuporedivi jesu očekivani rast dobiti i veličina kompanije. Naime, uobičajeno je da veće kompanije i kompanije sa bržim očekivanim rastom imaju više vrednosti multiplikatora od onih manjih i sa nižim očekivanjima u budućnosti.

Na osnovu odnosa između najopštijeg multiplikatora P/E, stope rizika i stope dugoročnog rasta (za detalje videti Dodatak 2) i činjenice da su oba faktora aditivna u imeniocu relacije (10), izvedena je formula za korekciju multiplikatora za pojedinačne faktore rizika, koja u opštem slučaju glasi:

$$M_{kor} = \frac{1}{\frac{1}{M_{or}} + \text{korektivni faktor}} \quad (3)$$

gde simboli imaju isto značenje kao u (1).

Korektivni faktor u ovom metodu obično je razlika u izabranoj meri faktora rizika između benčmarka i kompanije koja je predmet procene (kada je faktor istosmeran sa veličinom multiplikatora).

Formula za korekciju multiplikatora za **razlike u očekivanom rastu dobiti** glasi:

$$M_{kor} = \frac{1}{\frac{1}{M_{or}} + (g_B - g_s)} \quad (4)$$

gde se oznaka  $g$  odnosi na kombinovanu (blended) dugoročnu stopu rasta, indeks  $s$  na konkretnu kompaniju koja je predmet procene, a ostali simboli i indeksi imaju ista značenja kao ranije.

Da bi ovaj metod bio primenljiv, potrebno je izračunati kombinovanu dugoročnu stopu rasta. Naime, stopa rasta implicitno sadržana u diskontnoj stopi predstavlja ravnomernu stopu rasta u neograničenoj budućnosti, koja za većinu delatnosti i kompanija u dovoljno dugom roku konvergira ka dugoročnoj stopi rasta BDP. Razlike u rastu se, dakle, odnose na period od narednih 3-5 godina, koji je najčešće predmet ocena i projekcija od strane menadžmenta kompanije i finansijskih analitičara. Kombinovana (blended) stopa računa se tako što se najpre, na osnovu početne vrednosti dobiti i projektovanih stopa rasta za različite periode, izračuna projekcija nivoa dobiti, a zatim se ta buduća dobit odgovarajućom diskontnom stopom svede na sadašnju vrednost. Stavljanjem u odnos ove vrednosti i početnog nivoa dobiti dobija se indirektno podrazumevana stopa kapitalizacije, iz koje se (pomoću korišćene diskontne stope) dobija kombinovana stopa rasta (detaljnije izvođenje dato je u Hitchner 2003, a jedan od načina izračunavanja u Tallis 2012).

Da bi rezultat korekcije bio validan, mora se voditi računa o konzistentnosti između imenioca multiplikatora i stope rasta, te brojioca i diskontne stope. Takođe, ova korekcija ima smisla samo za multiplikatore koji se baziraju na finansijskim rezultatima, ne i za one bazirane na imovini.

Kod korekcije multiplikatora za **razlike u veličini kompanije**, formula glasi:

$$M_{kor} = \frac{1}{\frac{1}{M_{or}} + (SRP_s - SRP_B)} \quad (5)$$

gde se oznaka SRP odnosi na premiju rizika za veličinu kompanije, a ostali simboli i indeksi imaju ista značenja kao ranije.

Uticaj premije rizika na multiplikator je obrnutog smera od same veličine kompanije, pa su benčmark i procenjivana kompanija u korektivnom faktoru zamenile mesta.

Premiju rizika za veličinu kompanije većina procenjivača preuzima iz statističkih publikacija koje izdaje Ibbotson Associates. Nažalost, ovi podaci odnose se na američke kompanije i često su i one koje su u desetom decilu dramatično veće od srpskih kompanija, tj. ispod nivoa desetog decila premije rizika za veličinu nisu dovoljno izdiferencirane. Moguće rešenje najavljeno je u Dragon (2010), kineska statistika o malim kompanijama čijim se akcijama redovno trguje na berzama.

Korekcija opisana u relaciji (5) odnosi se na P/E multiplikator. Da bi bila primenljiva i na druge multiplikatore, potrebno je izvršiti određena prilagođavanja, koja se u opštem slučaju mogu predstaviti kao:

$$M_{kor} = \frac{1}{\frac{1}{M_{or}} + \alpha \cdot \epsilon \cdot \text{korektivni faktor}} \quad (6)$$

gde je:

$\alpha$  – koeficijent za prilagođavanje korektivnog faktora promeni imenioca multiplikatora,

$\epsilon$  – koeficijent za prilagođavanje korektivnog faktora promeni brojioca multiplikatora.

Ekvivalent P/E multiplikatoru primenljiv za investirani kapital je MVIC/EBIAT (dobit posle poreza uvećana za troškove kamate). Kako je premija rizika za veličinu deo cene sopstvenog kapitala, ona će na WACC uticati samo u onoj meri u kojoj sopstveni kapital učestvuje u ukupnom (videti Dodatak 3). Stoga je,

da bi se relacija (5) mogla primeniti na MVIC multiplikator, potrebno korektivni faktor pomnožiti koeficijentom  $\epsilon$ , koji predstavlja učešće sopstvenog u investiranom kapitalu.

Takođe, ukoliko se želi primena multiplikatora koji u osnovi ima neki drugi nivo rezultata (prihod, EBITDA, EBIT), potrebno je primeniti koeficijent  $\alpha$  koji predstavlja odnos ta dva nivoa rezultata.

Najzad, može se primetiti da se kao korektivni faktor može koristiti i mera rizika zemlje ulaganja.

Sve navedene korekcije mogu se kombinovati, ali bi bilo nepotrebno komplikovano izvođenje jedinstvene formule – jednostavnije je sprovesti više uzastopnih koraka. Rizik ovakvog postupka je drastično smanjenje multiplikatora.

### 3.2. Korekcije za objedinjene faktore rizika preko diskontne stope

Kada analiza ne pokazuje dominantan uticaj nekog od faktora rizika ili postoji više značajnih faktora a uzastopne korekcije svode multiplikator na nelogično nisku vrednost ili pak postoje značajni specifični rizici koji nisu tipični za kompanije sa razvijenih tržišta, najbolje je sve faktore objединiti kroz diskontnu stopu, na sledeći način:

$$M_{kor} = \frac{DR_B}{DR_s} \cdot M_{or} \quad (7)$$

gde je DR diskontna stopa, a ostali simboli i indeksi imaju isto značenje kao ranije.

Obračunska diskontna stopa za uporedive kompanije računa se na uobičajeni način (videti Dodatak 3). Pri tome se za stopu bez rizika i premiju rizika za veličinu uzimaju konkretni podaci za zemlju i kompaniju, dok se za ostale komponente koristi srednja vrednost (najbolje medijana) celog uzorka uporedivih kompanija.

Pošto je odnos stopa relativan (neimenovan) broj, ovaj metod može da se primeni na bilo koji multiplikator, uz jedno logičko ograničenje: brojilac multiplikatora i korišćene diskontne stope moraju da budu konzistentni. Drugim rečima, nema smisla korigovati multiplikatore koji daju za rezultat sopstveni kapital odnosom dva WACC-a.

Alternativno, diskontne stope kompanije koja je predmet procene i uporedive kompanije mogu da se uvrste u jednačinu (5) umesto SRP, pri čemu, kao i kod prethodnog metoda, treba voditi računa o konzistentnosti multiplikatora i diskontne stope. Naravno, obavezno je i uvođenje koeficijenta  $\alpha$  koji će predstavljati odnos neto dobiti i novčanog toka.

Osim objedinjenog obuhvatanja rizika, prednost ovog metoda leži u jednostavnosti (podaci su već prikupljeni za potrebe određivanja diskontne stope za prinosni metod), kao i u direktnoj vezi sa prinosnim metodom. Na ovaj način teško se može desiti da se rezultati razlikuju do te mere da tržišni pristup bude neprimenljiv. Ukoliko se to ipak desi, potrebno je preispitati izbor kompanija, pretpostavke i obračune u prinosnom pristupu, a u slučaju izrazite razlike u očekivanom rastu ponekad je potrebno dodatno primeniti i korekciju za očekivani rast.

## 4. ZAKLJUČAK

Nedovoljna uporedivost između malih kompanija sa tržišta u razvoju i onih za koje se podaci mogu naći u specijalizovanim bazama i publikacijama često dovode do nepouzdanosti rezultata procene dobijenih tržišnim pristupom i njegovog korišćenja samo u ilustrativno-kontrolne svrhe.

U radu su prikazani najčešći izvori razlika i najčešće korišćeni metodi za korekciju tržišnih multiplikatora. U izboru metoda i faktora rizika za korekciju od velike koristi je detaljna analiza profila rizika, ali konačan izbor ostaje na procenjivaču.

Po mišljenju autora ovog rada, čak i u slučaju kad je jedan faktor rizika dominantan izvor razlika, korekcija pomoću diskontne stope je najbolji izbor, pošto obuhvata i one rizike koje nije moguće direktno kvantifikovati (ključni čovek, nedostatak korporativnog upravljanja, organizaciona struktura i sl), a često postoje u malim kompanijama na srpskom i sličnim tržištima.

## LITERATURA

- [1] Acosta C. C. (2011): REVAAM Model Applied to Multiple Valuation Comparison Among Different World Regions, Business Intelligence Journal - July, 2011 Vol.4 No.2 (273-292)
- [2] Dragon, R.J. (2010): Adjusting Valuation Multiples and the China Price (Part 1), blog "RJ on BV" on AccountingWEB, <http://www.accountingweb.com/blogs/dragon4/rj-bv/adjusting-valuation-multiples-and-china-price-part-1>
- [3] Fernandez, P. (2013): Valuation and Common Sense, 2nd edition, IESE Business School, University of Navarra (Book available at <http://ssrn.com/abstract=2209089>)

- [4] Hitchner, J.R., ed. (2003): Financial Valuation - Application and Models, John Wiley & Sons (223-231)
- [5] Ivashkovskaya, I. & Kuznetsov, I. (2007): An Empirical Study of Country Risk Adjustments to Market Multiples Valuation in Emerging Markets: the Case for Russia, *Электронный журнал Корпоративные Финансы*, No. 3 (26-52)
- [6] Mercer, Z.C. et al. (2013): Fundamental Adjustments To Market Capitalization Rates, reprinted from Mercer Capital's Value Matters™ 2004-11 on <http://mercercapital.com>
- [7] Tallis, H. (2012): Adjust valuation multiple for growth, blog "Quantitative Corporate Finance", <http://www.quantcorpfin.com/cookbook/quantitative-analysis/adjust-valuation-multiple-for-growth/>
- [8] Welc, J. (2011): Do fundamentally-adjusted valuation multiples improve valuation accuracy? The case of Polish stock market, *Accounting & Taxation*, Vol.3 No.1 (57-70)

## DODATAK 1: NAJČEŠĆI TRŽIŠNI MULTIPLIKATORI

Tržišni multiplikatori koji se koriste u proceni vrednosti kapitala predstavljaju odnos (količnik) između izabranog nivoa vrednosti (sopstveni kapital, investirani kapital, druge varijacije) i odgovarajućeg nivoa finansijskog rezultata (prihod, različiti nivoi dobiti, novčani tok) ili imovine (knjigovodstvena vrednost imovine ili neto imovine, vrednost stalnih sredstava i sl). U specifičnim delatnostima, multiplikator se može izraziti i kao odnos vrednosti i nekog fizičkog pokazatelja (kapacitet u GWh kod elektrana, broj soba ili kreveta kod hotela i sl).

Kod definisanja multiplikatora mora se voditi računa o logičnosti i konzistentnosti i stavljati u odnos one veličine koje imaju konzistentnu osnovu (primera radi, nema smisla stavljati u odnos investirani kapital sa neto dobiti zbog nekonzistentnosti u tretmanu dugova).

Najčešće korišćeni multiplikatori koji za osnovu i rezultat imaju sopstveni kapital:

- P/E (Price to Earnings) – Tržišna kapitalizacija u odnosu na neto dobit,
- P/S (Price to Sales) - Tržišna kapitalizacija u odnosu na prihod,
- P/BV (Price to Book Value) - Tržišna kapitalizacija u odnosu na knjigovodstvenu vrednost.

Najčešće korišćeni multiplikatori koji za osnovu i rezultat imaju investirani kapital (sopstveni kapital plus kamatonosne obaveze, još se naziva i „firm value“):

- MVIC/EBIT (Market Value of Invested Capital to EBIT) – Tržišna vrednost investiranog kapitala (tržišna kapitalizacija plus tržišna vrednost kamatonosnih obaveza) u odnosu na dobit pre kamata i poreza,
- MVIC/EBITDA (Market Value of Invested Capital to EBITDA) – Tržišna vrednost investiranog kapitala u odnosu na dobit pre amortizacije, kamata i poreza,
- MVIC/S (Market Value of Invested Capital to Sales) – Tržišna vrednost investiranog kapitala u odnosu na prihod.

Takođe, veoma često umesto MVIC koristi se EV (Enterprise Value), koja predstavlja MVIC umanjeno za gotovinu i gotovinske ekvivalente.

Tržišni multiplikatori mogu se odnositi na različite vremenske periode: poslednja fiskalna godina, poslednjih 12 meseci, projektovanih 12 meseci i sl. Preciznosti radi, periodi se odnose na imenilac, dok bi brojilac trebalo da se odnosi na stanje poslednjeg dana tog perioda.

Primena multiplikatora je jednostavna – multiplikator izračunat na osnovu tržišnih podataka množi se sa iznosom odgovarajućeg nivoa rezultata ili imovine subjekta procene koji se odnosi na isti period kao i multiplikator. Svaka nekonzistentnost dovodi do značajne distorzije rezultata.

## DODATAK 2: VEZA IZMEĐU MULTIPLIKATORA, STOPE KAPITALIZACIJE I DISKONTNE STOPE

Ukoliko se očekuje da će neki finansijski tok (rezultat) rasti po dugoročnoj stabilnoj stopi u neograničenom periodu u budućnosti, njegov godišnji iznos može se transformisati u vrednost generatora tog toka pomoću odgovarajuće stope kapitalizacije. Ukoliko je taj finansijski tok neto dobit kompanije, njenom kapitalizacijom dobila bi se tržišna vrednost sopstvenog kapitala.

$$V_s = \frac{E_s}{CR_E} \quad (8)$$

gde je:



$V_s$  – vrednost kompanije koja je predmet procene,  
 $E_s$  – neto dobit te kompanije,  
 $CR_E$  – stopa kapitalizacije neto dobiti.

S druge strane, vrednost kompanije može se izračunati i primenom tržišnog multiplikatora P/E, njegovim množenjem sa iznosom neto dobiti:

$$V_s = \frac{P}{E} \cdot E_s \quad (9)$$

Iz prethodnog sledi da multiplikator P/E predstavlja recipročnu vrednost stope kapitalizacije primenljive na neto dobit. Kako je stopa kapitalizacije zapravo diskontna stopa umanjena za stopu dugoročnog rasta, važe sledeći identiteti:

$$\frac{P}{E} = \frac{1}{CR_E} = \frac{1}{DR_E - g_E} \quad (10)$$

gde je:

$DR_E$  – diskontna stopa primenljiva na neto dobit,

$g_E$  – dugoročna stopa rasta neto dobiti u neograničenom periodu (rezidualna stopa rasta).

Na sličan način moguće je, preko fundamentalne analize, izdvojiti i druge faktore. Za više detalja videti Fernandez (2013).

### DODATAK 3: DEFINICIJA I STRUKTURA DISKONTNE STOPE

Diskontna stopa je veličina pomoću koje se prinosi, tj. novčani tokovi kompanije konvertuju u vrednost njenog kapitala. U zavisnosti od izvora generisanja novčanih tokova, diskontna stopa može se odnositi na sopstveni ili investirani kapital (ili njegovu varijaciju, tzv. enterprise value). U opštijem slučaju, kada su u pitanju novčani tokovi pre servisiranja dugova, kao diskontna stopa koristi se prosečna ponderisana cena kapitala (Weighted Average Cost of Capital – WACC) i uobičajeno se određuje na sledeći način:

$$WACC = r_E \cdot \frac{E}{V} + r_D \cdot (1 - t) \cdot \frac{D}{V} = (r_f + \beta \cdot ERP + CRP + SCR) \cdot \frac{E}{V} + r_D \cdot (1 - t) \cdot \frac{D}{V} \quad (11)$$

gde je:

$r_E$  – cena sopstvenog kapitala, tj. zahtevani prinos na ulaganje u preduzeće,

$r_f$  – stopa prinosa na nerizična ulaganja, tzv. stopa bez rizika (risk-free rate),

$\beta$  – 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,

SCR – specifični rizik kompanije,

$r_D$  – 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.

Kao što je već rečeno, diskontna stopa uobičajeno se odnosi na novčane tokove. Ukoliko je potrebno diskontovati neki drugi finansijski rezultat (kao u Dodatku 2), potrebno je izvršiti odgovarajuće korekcije.

## **PRILIVI FINANSIJSKIH SREDSTAVA U SRBIJU I ZEMLJE ZAPADNOG BALKANA**

### **FINANCIAL FUNDS INFLOWS IN SERBIA AND WESTERN BALKAN COUNTRIES**

IVANA POPOVIĆ PETROVIĆ<sup>1</sup>, IRENA JANKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, {ivanapp, irenaj}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Cilj ovog rada je da ukaže na promene do kojih je došlo tokom poslednje decenije kada su u pitanju zemlje porekla stranih direktnih investicija, kao i zemlje prema kojima su one usmerene. Promenjena je i uloga Zemalja u razvoju, koje u savremenom periodu sve izraženije postaju zemlje koje investiraju u svetu. Nakon privredne krize pokazalo se da su doznake daleko stabilniji izvor priliva sredstava u ove zemlje u odnosu na strane direktne investicije. To se potvrdilo na globalnom planu, ali i u slučaju Srbije i ostalih zemalja regiona Zapadnog Balkana.

**Ključne reči:** Strane direktne investicije, Doznake, Zemlje u razvoju, Zapadni Balkan.

**Abstract:** The aim of this paper is to highlight the changes that have occurred over the last decade in terms of countries of origin of foreign direct investments, as well as the countries to which they are directed. The role of developing countries has changed, which in the modern period have become increasingly prominent countries that invest in the world. After the economic crisis remittance inflows to these countries proved to be far more stable source of foreign funds inflows in relation to foreign direct investments. This was confirmed at the global level, but also in the case of Serbia and other countries of the Western Balkans region.

**Keywords:** Foreign Direct Investments, Remittances, Developing Countries, Western Balkan.

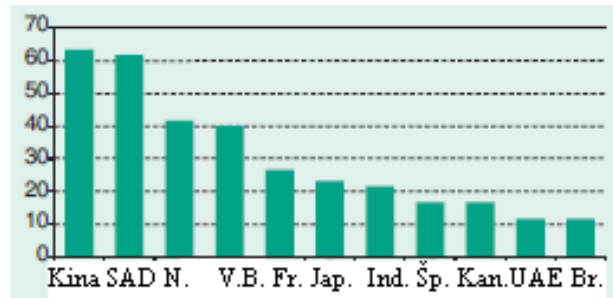
#### **1. UVOD**

Poslednjih decenija, kada su strane direktne investicije u pitanju, došlo je do promena u strukturi zemalja investitora. Od nekada izražene uloge Razvijenih zemalja, sve češće se kao matične zemlje pojavljuju Zemlje u razvoju, ili Zemlje u tranziciji. S obzirom na to da je nivo stranih direktnih investicija u regionu Zapadnog Balkana niži od očekivanog, treba ukazati i na ove promene kao izvor novih mogućnosti za zemlje regiona. Pored toga, smanjenje priliva stranih direktnih investicija nakon krize, kao i kontinuirani porast doznaka iz inostranstva, pruža bitno drugačiju sliku o prilivima inostranih finansijskih sredstava u ove zemlje.

#### **2. STRANE DIREKTNE INVESTICIJE U SVETU — ULOGA I PERSPEKTIVE RAZVIJENIH ZEMALJA I ZEMALJA U RAZVOJU**

Strane direktne investicije, odnosno, njihova usmerenost ka određenim zemljama, ili regionima, određeni su i namerama da se investira od strane matičnih zemalja. U iščekivanju investicija, zemlje domaćini, radi stvaranja realnije slike o iznosu budućih ulaganja, mogu se osloniti i na neka od predviđanja Konferencije Ujedinjenih nacija o trgovini i razvoju (*United Nations Conference on Trade and Development — UNCTAD*). Predviđanja se pripremaju kao kratkoročni izveštaji Agencije za promociju investiranja — API (*Investment Promotion Agency*), ali i kao srednjoročni i dugoročni. Kada su u pitanju Razvijene zemlje — RZ (*Developed Countries*), kao i Zemlje u razvoju — ZUR (*Developing Countries*) i Zemlje u tranziciji — ZUT (*Transition Economies*), predviđanja se razlikuju u zavisnosti od stepena razvoja. Naime, u ZUR, kao i ZUT, gotovo četvrtina ispitanika očekuje pad investiranja u 2013. i 2014. godini, a u slučaju RZ pad očekuje samo jedan od deset ispitanika. To je i logično, s obzirom na činjenicu da ZUR i ZUT nisu značajnije smanjivale svoje investicije tokom krize iz 2008. godine, a RZ jesu, pa se očekuje njihov oporavak. Dugoročno, očekuje se porast udela investicija iz ZUR i ZUT (UNCTAD 2012, 20-22).

Kada je u pitanju i oporavak investiranja iz RZ, u narednim godinama upravo se i očekuje porast aktivnosti transnacionalnih kompanija pretežno iz RZ, što pokazuju podaci narednog grafikona koji ističu budući značaj investicija iz SAD, Nemačke i Velike Britanije. Uočava se da se uglavnom radi o kapitalu koji će poreklom biti iz RZ, dok se od ZUR ističu Kina, Indija i Brazil.



Skraćenice: N.- Nemačka, V.B.-Velika Britanija, Fr.- Francuska, Jap.- Japan, Ind.-Indija, Šp.- Španija, Kan.-Kanada, UAE-Ujedinjeni Arapski Emirati, Br.-Brazil;

Izvor: (UNCTAD 2012, p. 21).

**Grafikon 1:** Odabir API matičnih zemalja za SDI u periodu 2012-2014

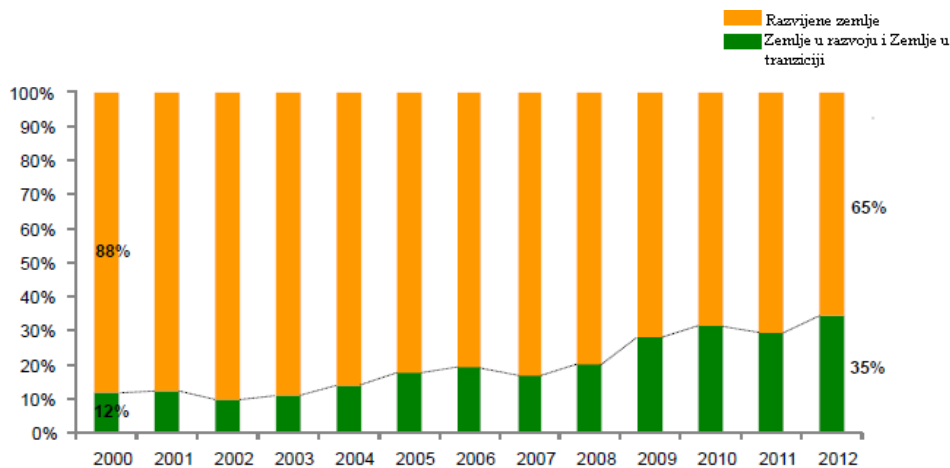
Podaci za 2012. godinu ukazuju na ukupno smanjenje SDI u svetu, do kog je došlo zbog smanjenja SDI u Razvijenim zemljama, iako je bilo očekivano da će nakon smanjenja SDI zbog privredne krize, doći do povećanja upravo SDI u RZ. Zemlje u razvoju, kao i Zemlje u tranziciji beleže rast priliva SDI u 2011. godini, kao i blagi pad u 2012. godini.

**Tabela 1:** Priliv SDI prema regionima 2010-2012. godine, u milijardama USD

Region	Priliv SDI		
	2010	2011	2012
Razvijene zemlje	696	820	561
Zemlje u razvoju	637	735	703
Zemlje u tranziciji	75	96	87
UKUPNO	1409	1652	1351

Izvor: (UNCTAD 2013, <http://www.imf.org/external/pubs/ft/bop/2013/13-25.pdf>, p. 8. (10.06.2014.))

Matične zemlje mnogih transnacionalnih kompanija u svetu jesu RZ, ali poslednjih decenija sve značajniji udeo ostvaruju i one iz ZUR. Prema podacima narednog grafikona, iz ZUR i ZUT potiče čak trećina ukupnih SDI u svetu. Poslednjih godina, počev od 2009. godine, upravo nakon velike krize 2008. godine, povećava se udeo ZUR kao zemalja koje investiraju u svetu.



Izvor: (UNCTAD 2013, <http://www.imf.org/external/pubs/ft/bop/2013/13-25.pdf>, p. 6. (10.06.2014.))

**Grafikon 2:** Udeo matičnih zemalja u ukupnim SDI prema grupama zemalja u periodu 2000-2012. godine, u procentima

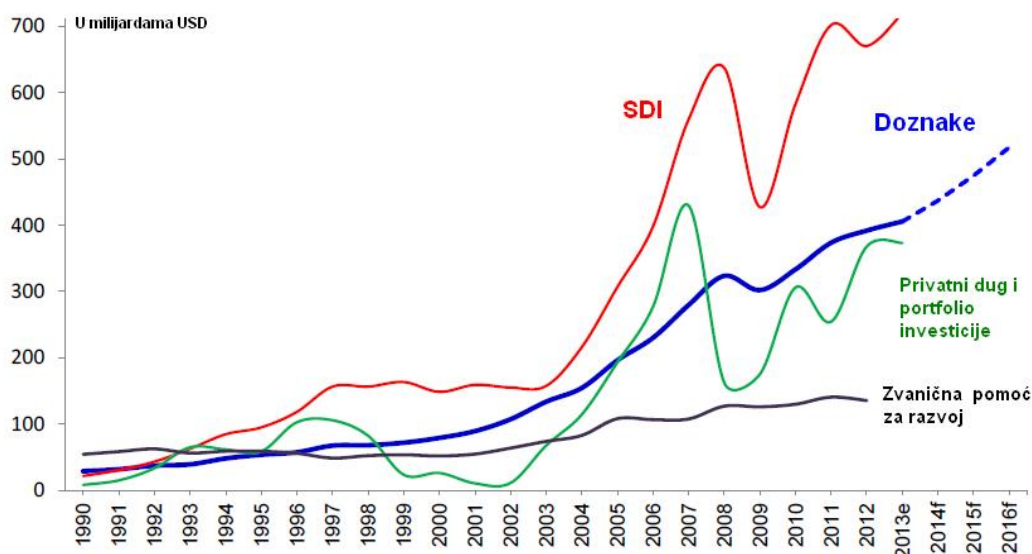
Kada su u pitanju zemlje domaćini budućih SDI, očekuje se da će transnacionalnim kompanijama, najprivlačniji biti regioni Jugoistočne i Južne Azije, kao i Severne Amerike i EU. Od zemalja koje se nalaze na listi pet najprivlačnijih, upravo se nalaze sledeće ZUR: Kina, Indija, Indonezija, Brazil (UNCTAD 2012,

22). Region Zapadnog Balkana (kao i Srbija) se ne nalazi u najužoj grupi zemalja prema kojima će biti usmerene investicije iz inostranstva.

### 3. PRILIVI DOZNAKA KAO MAKROEKONOMSKI STABILIZATOR

Prilivi doznaka u zemlje u razvoju su procenjeni na nivou od 404 milijarde USD u 2013. godini što čini porast od 3,5% u poređenju sa 2012. godinom. U narednom periodu se očekuje dalji rast ovih priliva u proseku po stopi od 8,4% u naredne tri godine što bi trebalo da rezultuje procenjenom visinom priliva od 436 milijardi USD u 2014. godini i preko 516 milijardi USD u 2015. godini (World Bank 2014, 2).

Pored SDI doznake ostaju jednim od najvažnijih eksternih izvora finansijskih sredstava za zemlje u razvoju koje u apsolutnom iznosu prevazilaze zvaničnu pomoć, a od momenta nastanka svetske finansijske krize i prilive po osnovu privatnog duga i portfolio investicija.



Izvor: (World Bank 2014, p. 3).

**Grafikon 3:** Prilivi finansijskih sredstava u zemlje u razvoju

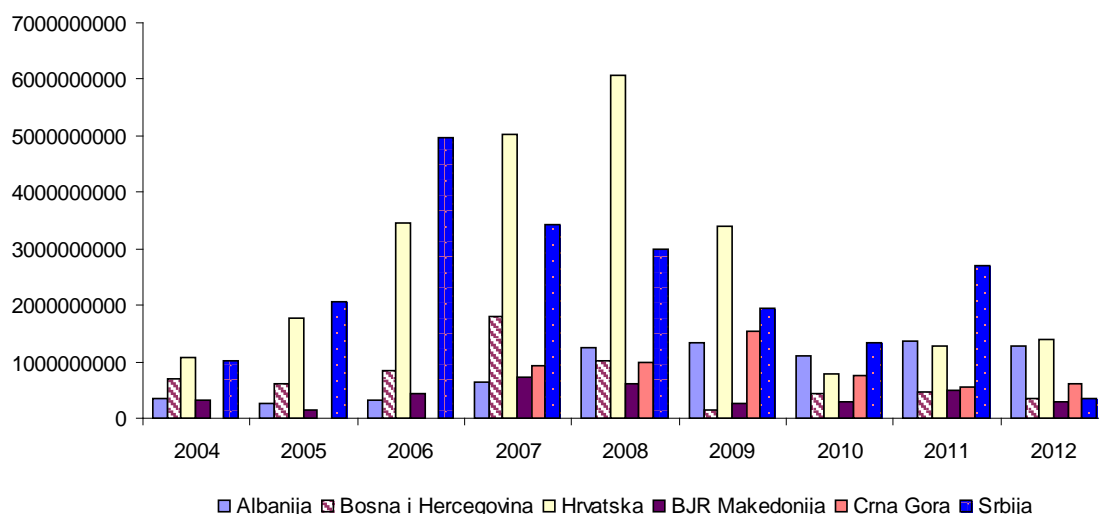
Iako je 2011. godine došlo do porasta SDI u ZUR, prve godine nakon krize, dakle 2009. godine može se uočiti da je došlo do značajnog pada SDI upravo u ZUR. Kao mnogo postojaniji izvor sredstava za ZUR u toj godini pokazale su se doznake iz inostranstva, koje za razliku od SDI, nisu uopšte zabeležile pad, već kontinuiran rast.

Od posebnog značaja jeste upravo činjenica da je reč o stabilnim prilivima finansijskih sredstava kroz vreme koji za manje razvijene zemlje predstavljaju jedan od ključnih makroekonomskih stabilizatora, posebno u okolnostima ekonomske i političke nestabilnosti i kriza. Kada dođe do povlačenja inostranog kapitala i smanjenja priliva po osnovu SDI i ostalih formi finansijskih priliva iz privatnih i javnih izvora, sredstva od doznaka stabilizuju potrošnju i dohodak stanovništva smanjujući ujedno i nivo siromaštva u ugroženim zemljama.

### 4. STRANE DIREKTNE INVESTICIJE I PRILIVI DOZNAKA U SRBIJI I ZEMLJAMA ZAPADNOG BALKANA

Grupa Svetske banke je pripremila Indikatore za procenu mogućnosti investiranja u različitim regionima sveta, odnosno Indikatore prekograničnog investiranja (*Investing Across Borders Indicators — IAB*). Ovi indikatori pružaju sliku poslovnog okruženja neophodnog za privlačenje SDI, koja se stiče uvidom u četiri oblasti: investiranje po sektorima (*investing across sectors*), otpočinjanje međunarodnog poslovanja (*starting a foreign business*), pristup industrijskom zemljištu (*accessing industrial land*), vođenje trgovinskih sporova (*arbitrating commercial disputes*). Kada je u pitanju Srbija, ova četiri indikatora ne pokazuju odstupanja u odnosu na druge zemlje regiona Zapadni Balkan, što Srbiju čini zanimljivom za strane investitore (World Bank 2010, 148). Pored toga, indikatori pokazuju i iznadprosečni nivo koji Srbija ostvaruje, naročito kada se uporedi sa prosekom za 87 zemalja za koje je analiza i urađena.

Proteklih godina Srbija je pored Hrvatske najveći primalac SDI. Od 2006-2010. godine nivo SDI u Srbiju je kontinuirano opadao, da bi u 2011. godini došlo do povećanja, a potom ponovo pada priliva po ovom osnovu.

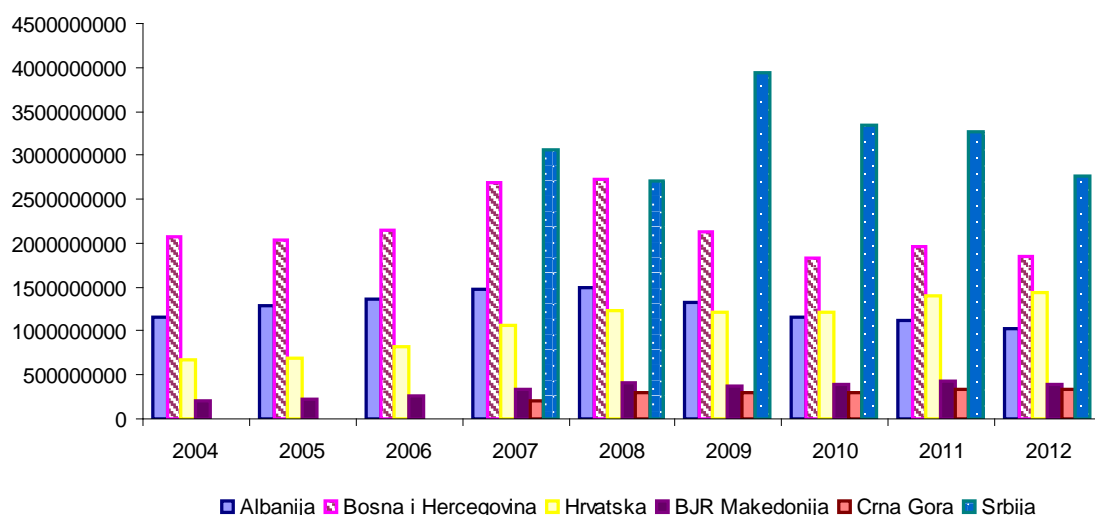


Izvor: Prikaz autora na bazi podataka Svetske banke-World Development Indicators

**Grafikon 4.** Neto prilivi SDI u zemlje Zapadnog Balkana u periodu 2004-2012. godina, u USD

Ipak, nivo SDI u celokupnom regionu ne nalazi se na očekivanom, znatno višem nivou. Jedan od razloga tome jesu i posledice privredne krize koja je posebno pogodila zemlje EU iz kojih je i bio usmeren najveći deo investicija. S obzirom na to, kao i na činjenicu da Srbija deli iskustvo ZUR kada je u pitanju kontinuiran priliv doznaka u zemlju, i to bez obzira na privrednu krizu, treba ukazati na značaj tog izvora inostranih sredstava.

Prilivi od doznaka ostaju stabilnim u regionu Evrope i centralne Azije i, uže posmatrano, u regionu Zapadnog Balkana gde je Srbija već godinama lider prema apsolutnoj veličini priliva po ovom osnovu. Prema podacima Svetske Banke prilivi od doznaka u Srbiji se kreću u rasponu između 2,7 i 3,9 milijardi USD godišnje u periodu od 2007-2012. godine, dostigavši učešće u BDP-u od 7% u 2012. godini.



Izvor: Prikaz autora na bazi podataka Svetske banke-World Development Indicators

**Grafikon 5.** Prilivi doznaka u zemlje Zapadnog Balkana u periodu 2004-2012. godina, u USD

U istom posmatranom periodu može se uočiti, prvo, ubrzan rast SDI u posmatranom regionu i Srbiji u predkriznom periodu, a potom, njihov nagli pad nakon 2008. godine. Stabilnost priliva doznaka u posmatranom regionu u prethodnoj deceniji ukazuje na njihovu implicitnu ulogu kao makroekonomskog stabilizatora potrošnje i nivoa bogatstva lokalnog stanovništva. To ima poseban značaj u kriznim

okolnostima kada se ostali oblici finansijskih priliva osetno smanjuju sa svim negativnim reperkusijama na privredni rast i razvoj ovih zemalja.

## 5. ZAKLJUČAK

Poput ostalih zemalja regiona Zapadni Balkan i Srbija veliku pažnju poklanja stranim direktnim investicijama kao važnom izvoru inostranih finansijskih sredstava. Značajan deo SDI ka Srbiji pristiže iz Razvijenih zemalja, ali svakako treba obratiti pažnju i na Zemlje u razvoju kao matične, s obzirom na promenu njihove uloge kao zemalja porekla SDI. Privredna kriza je pokazala da su SDI bile veoma osetljive i da se reagovalo njihovim smanjenjem odmah nakon pojave krize. U istom periodu istakle su se doznake iz inostranstva kao pouzdan izvor priliva inostranih sredstava koje imaju potencijal da stabilizuju potrošnju i smanje siromaštvo u periodima značajnih eksternih, ali i internih šokova. Zato na kreatorima ekonomske politike ostaje da ova značajna finansijska sredstva formalnim kanalima u većoj meri usmere ka štednji i investicijama što bi moglo imati pozitivne efekte i na privredni rast posmatranih zemalja.

\*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 izvodi za Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

\*2 Ovaj rad predstavlja rezultat rada na projektu "Rizici finansijskih institucija i tržišta u Srbiji – mikroekonomski i makroekonomski pristup" (broj 179005) koji Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu izvodi za Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

## LITERATURA

- [1] UNCTAD. 2012. World Investment Report 2012. New York and Geneva.
- [2] UNCTAD. 2013. Masataka F. Division on Investment and Enterprise, World Investment Report 2013. Twenty-Sixth Meeting of the IMF Committee on Balance of Payments Statistics, Muscat, Oman, October 28-30, 2013. New York and Geneva. Internet, Sajt MMF-a, <http://www.imf.org/external/pubs/ft/bop/2013/13-25.pdf> (10.06.2014.).
- [3] World Bank. 2010. Investing Across Borders 2010. Washington: World Bank Group.
- [4] World Bank. 2014. Migration and Remittances Team, Development Prospects Group. Migration and Development Brief 22.





## UTICAJ ASIMETRIČNIH INFORMACIJA NA NEGATIVNU SELEKCIJU NA TRŽIŠTU OSIGURANJA

### THE IMPACT OF ASYMMETRIC INFORMATION ON ADVERSE SELECTION ON THE INSURANCE MARKET

DEJAN TRIFUNOVIĆ<sup>1</sup>, JELENA KOČOVIĆ<sup>1</sup>, MARIJA JOVOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, {dejan, kocovic, marijajovovic}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Predmet istraživanja ovog rada je uticaj asimetričnih informacija na negativnu selekciju na tržištu osiguranja, a posledično i na rezultate poslovanja osiguravajućih kompanija, kao i očekivanu korisnost, odnosno dohodak osiguranika. Do takvih situacija može doći kada osiguravač nema informaciju o nivou rizika kome je izložen konkretni osiguranik. Nepoznavanje veličine rizika koji individualno nose osiguranici, pripadnici homogene klase rizika, može dovesti do potcenjenosti premija osiguranja, što bi se negativno odrazilo na rezultate poslovanja osiguravajuće kompanije. Sa druge strane, problem asimetričnih informacija u vezi osiguranja konkretnih rizika pojedinačnih osiguranika dovodi do negativne selekcije, odnosno pogrešnog odabira ugovora o osiguranju od strane osiguravača, koji može imati za posledicu pogoršanje materijalnog položaja pojedinih osiguranika prilikom realizacije osiguranog slučaja, što se dokazuje primenom teorije korisnosti.

**Ključne reči:** rizik, asimetrične informacije, negativna selekcija, premija osiguranja, profit, gubitak.

**Abstract:** The subject of this paper is the effect of asymmetric information on the adverse selection on the insurance market, and consequently on the results of insurance companies' business, as well as on the expected utility or income of the insured person. Such situations can occur when the insurer has no information on the level of risk a concrete policyholder is exposed to. Ignorance of the magnitude of risk that policyholders, as members of a homogeneous risk class, individually bear can lead to undervaluation of insurance premiums, which would adversely affect the operating results of the insurance company. On the other hand, the problem of asymmetric information regarding insurance of the specific risks of the individual policyholders leads to negative, i.e. adverse selection of an insurance contract by the insurer, which may result in deterioration of the material position of particular policyholder when the insured case occurs, as evidenced by the application of utility theory.

**Keywords:** risk, asymmetric information, adverse selection, insurance premium, profit, loss.

#### 1. UVOD

Matematičko statističke osnove utvrđivanja premije osiguranja bazirane su na prosečnoj verovatnoći realizacije rizika posmatrane grupe osiguranika koji pripadaju istoj klasi rizika, odnosno homogenoj grupaciji rizika. Međutim, realne verovatnoće realizacije rizika kod individualno posmatranih pripadnika te razmatrane, homogene grupe osiguranika veoma često odstupaju od te očekivane, odnosno prosečne verovatnoće realizacije rizika. Realna verovatnoća realizacije rizika, dakle, kod svakog pripadnika posmatrane homogene grupe rizika može se naći iznad ili ispod prosečne verovatnoće realizacije rizika grupe. Do toga dolazi najčešće usled asimetričnih informacija, odnosno usled nepoznavanja veličine rizika pojedinih osiguranika od strane osiguravača, pri čemu su te informacije poznate osiguranicima. To može dovesti do negativne selekcije, odnosno lošeg odabira ugovora o osiguranju od strane osiguravača, koji ne uzimaju u obzir individualne rizike svakog pojedinačnog osiguranika, pa samim tim i premija osiguranja može biti potcenjena ili precenjena u konkretnim slučajevima. Problem nediferenciranosti premije osiguranja prema veličini rizika koji nosi pojedinačno svaki pripadnik homogene klase rizika može imati negativne posledice na rezultate poslovanja osiguravajuće kompanije. U radu će biti objašnjena negativna selekcija, odnosno loš odabir ugovora o osiguranju usled asimetričnih informacija, koji može imati za posledicu obračun neadekvatne premije osiguranja, a samim tim može negativno uticati i na rezultate poslovanja osiguravajućih kompanija. Negativna selekcija na tržištu osiguranja odnosno pogrešan odabir ugovora o

osiguranju usled asimetričnih informacija može dovesti pojedine osiguranike u lošiji materijalni položaj ukoliko dođe do nastupanja osiguranog slučaja.

## 2. DIFERENCIJACIJA PREMIJE OSIGURANJA

U uslovima nelojalne tržišne konkurencije, koja je prisutna na tržištu osiguranja, veoma je važno da premija osiguranja u pojedinim, homogenim grupacijama rizika bude diferencirana u zavisnosti od veličine rizika koji individualno nose osiguranici, odnosno pripadnici te homogene grupacije rizika. U slučaju uniformno definisane premije, koja se određuje na osnovu prosečne verovatnoće realizacije rizika u homogenoj klasi rizika, rizičniji osiguranici će plaćati potcenjenu premiju, a manje rizični precenjenu, odnosno manje rizični osiguranici će, pored svog, delimično snositi i rizik rizičnijih pripadnika te klase rizika. Takvo određivanje premije osiguranja, koje ne uvažava diferencijaciju prema veličini rizika, imalo bi za posledicu da manje rizični osiguranici napuštaju osiguravača i odlaze kod onih osiguravajućih kompanija, koje isti kvalitet usluge osiguranja nude po nižoj ceni, zahvaljujući uvažavanju principa diferencijacije pri obračunu premija osiguranja. Otuda se, teorijski posmatrano, razlikuju dve isključive mogućnosti: ili tržište osiguranja prestaje da funkcioniše, ili svaki osiguranik ugovara osiguravajuće pokriće srazmerno riziku koji je predmet osiguranja (Donnelly *et al.* 2014).

U osnovi diferencijacije premije osiguranja nalaze se simetrične informacije, odnosno raspolaganje relevantnim informacijama o svakom osiguraniku od strane osiguravača. Međutim, osiguranici se razvrstavaju u homogene grupe rizika prema nekim zajedničkim karakteristikama rizika koji prete njihovoj imovini i njima samima. Pri tome, kriterijumi razvrstavanja moraju zadovoljavati odgovarajuće zahteve u pogledu objektivnosti, merljivosti i zakonske dopuštenosti<sup>1</sup> (Englund 2010). Sa druge strane, veoma je značajna i individualizacija rizika svakog pripadnika homogene grupe rizika da bi, u zavisnosti od odstupanja njihove verovatnoće realizacije rizika od prosečne verovatnoće realizacije rizika grupe, diferencirali njihovu premiju. Do izostanka diferencijacije premije osiguranja od strane osiguravača prema individualnom riziku pojedinaca, pripadnika homogene klase rizika, najčešće dolazi usled asimetričnih informacija, odnosno usled neposedovanja informacija o veličini rizika koje nose osiguranici. U nastavku rada biće objašnjeno kako asimetrične informacije utiču na negativnu selekciju, odnosno loš odabir ugovora o osiguranju od strane osiguravajućih kompanija, a posledično i na njihove rezultate poslovanja.

## 3. UTICAJ ASIMETRIČNE INFORMISANOSTI NA NEGATIVNU SELEKCIJU NA TRŽIŠTU OSIGURANJA

Asimetrična informisanost je, u velikoj meri, prisutna na tržištu osiguranja, gde identifikujemo dve vrste problema: negativna selekcija i moralni hazard. Predmet našeg razmatranja u ovom radu je negativna selekcija na tržištu osiguranja. Prvi model u kome se analizira uticaj negativne selekcije na tržište osiguranja je model Rošilda i Stiglic (1976). U ovom modelu, jedan deo osiguranika izložen je visokom, a drugi deo niskom riziku, tj.  $\pi_H > \pi_L$ , gde je  $\pi$  verovatnoća realizacije osiguranog slučaja. Osiguravač nema informaciju o nivou rizika kome je izložen osiguranik, dok je ova informacija poznata osiguraniku. Na tržištu osiguranja postoji udeo  $\lambda$  osiguranika koji su izloženi visokom riziku, tako da je prosečna verovatnoća realizacije osiguranog slučaja:

$$\bar{\pi} = \lambda \pi_H + (1 - \lambda) \pi_L \quad (1)$$

Rošild i Stiglic (1976) razmatraju dve vrste ravnoteže na ovom tržištu. U grupnoj ravnoteži, obe grupe osiguranika zaključuju isti ugovor, dok u razdvajajućoj ravnoteži dve grupe osiguranika imaju različit ugovor, u zavisnosti od rizika kome su izloženi. Na tržištu osiguranja ne postoji grupna ravnoteža, dok razdvajajuća ravnoteža postoji ako je udeo osiguranika koji su izloženi visokom riziku dovoljno veliki. Naime, u razdvajajućoj ravnoteži, osiguranici koji su izloženi visokom riziku dobijaju ugovor sa potpunim osiguravajućim pokrićem uz višu premiju, dok osiguranici izloženi niskom riziku dobijaju ugovor sa delimičnim osiguravajućim pokrićem uz nižu premiju. U uslovima simetrične informisanosti, obe grupe osiguranika bi dobile ugovor o punom osiguranju uz odgovarajuću premiju koja zavisi od rizika. Osiguravajuća kompanija ostvaruje nulti profit i u uslovima simetrične i asimetrične informisanosti. Dakle, osiguravajuća kompanija i osiguranici izloženi visokom riziku su u istom položaju u situaciji simetrične i asimetrične informisanosti, dok su osiguranici izloženi niskom riziku u lošijoj situaciji pri asimetričnim

<sup>1</sup> U datom kontekstu relevantan je primer legislative Evropske unije kojom se isključuje mogućnost primene pola kao jednog od kriterijuma razvrstavanja osiguranika i diferencijacije premije osiguranja nakon odluke Suda pravde EU, od decembra 2012. godine, prema kojoj različite premije osiguranja od autoodgovornosti za žene i muškarce predstavljaju kršenje rodne ravnopravnosti.



informacijama. Na osnovu ovoga vidimo da je situacija koju karakterišu asimetrične informacije neoptimalna u Paretovom smislu u poređenju sa situacijom u kojoj imamo simetrične informacije. Postavlja se pitanje da li postoji grupna ravnoteža koja bi mogla da naruši ovu razdvajajuću ravnotežu? Osiguranici koji su izloženi niskom riziku bi želeli da povećaju iznos osiguravajućeg pokrića, budući da su delimično osigurani. Ukoliko postoji mali broj osiguranika koji su izloženi visokom riziku, premija za ugovor u grupnoj ravnoteži koji bi nudio puno osiguranje i koji bi mogle da zaključe obe grupe osiguranika bi bila dovoljno niska, pa bi ovaj ugovor bio atraktivniji za osiguranike izložene niskom riziku od ugovora o delimičnom osiguranju koji oni imaju u razdvajajućoj ravnoteži. Međutim, već smo konstatovali da grupna ravnoteža na tržištu osiguranja ne postoji, pa u slučaju kad je udeo osiguranika izloženih visokom riziku mali, ravnoteža ne postoji, a ako je udeo osiguranika izloženih visokom riziku veliki, postoji razdvajajuća ravnoteža.

Da bi prevazišao problem nepostojanja Nešove ravnoteže, Vilson (1977) koristi koncept anticipativne ravnoteže, u kome osiguravajuća kompanija predviđa da će sa tržišta biti povučeni ugovori koji postanu neprofitabilni nakon uvođenja novog ugovora na tržište, što nije slučaj sa konceptom Nešove ravnoteže. U ovom slučaju, ravnoteža uvek postoji, i to razdvajajuća (ako je udeo osiguranika izloženih visokom riziku dovoljno veliki), odnosno grupna ravnoteža (u suprotnom slučaju).

Dinamičku generalizaciju modela Rotšilda i Stiglicca su izvršili Kuper i Hejs (1987). U ovom modelu, osiguravajuća kompanija primenjuje bonus-malus sistem, tako što povećava premiju za osiguranike koji su u prethodnom periodu imali štetu i smanjuje iznos naknade štete, a umanjuje premiju za osiguranike koji nisu imali štetu. Sa protekom vremena osiguravajuća kompanija smanjuje informacionu prednost osiguranika, jer na osnovu poređenja broja realizovanih i očekivanih šteta može, sa određenim stepenom pouzdanosti, da utvrdi kojoj rizičnoj grupi osiguranik pripada.

#### 4. MOGUĆNOSTI PREVAZILAŽENJA PROBLEMA NEGATIVNE SELEKCIJE U ZDRAVSTVENOM OSIGURANJU

Analiziraćemo situaciju u kojoj postoje tri grupe osiguranika: grupa koja je izložena visokom riziku H, grupa koja je izložena niskom riziku L i neinformisani osiguranici U, koji ne znaju kolikom riziku su izloženi. Na primer, u slučaju zdravstvenog osiguranja, osiguranici ne znaju kolikom riziku su izloženi dok ne izvrše genetsko testiranje. Model sa ovom pretpostavkom razmatraju Doerti i Tistl (1996)<sup>2</sup>.

Verovatnoća realizacije osiguranog slučaja za pojedinca koji je izložen visokom riziku je  $\pi_H$ , a za pojedinca izloženog niskom riziku  $\pi_L$ . Pretpostavimo da je u grupi neinformisanih osiguranika udeo osiguranika koji su izloženi visokom riziku  $\theta_H$ , a udeo osiguranika izloženih niskom riziku  $(1 - \theta_H)$ , tako da je rizik za neinformisanog osiguranika:

$$\pi_U = \theta_H \pi_H + (1 - \theta_H) \pi_L \quad (2)$$

Najpre ćemo razmotriti situaciju u kojoj osiguravač ima informaciju o tome da li je osiguranik izvršio testiranje kao i da su mu poznati rezultati testiranja. Osiguravač će ponuditi tri različite vrste polisa sa punim osiguravajućim pokrićem, koje će imati različit nivo premije u zavisnosti od veličine rizika, gde je iznos potencijalnog gubitka L. Ako neinformisani pojedinac ne izvrši testiranje, njegova korisnost će biti:

$$u(w - \pi_U L) \quad (3)$$

a ako izvrši testiranje suočava se sa situacijom koja uključuje neizvesnost i u kojoj ima sledeću očekivanu korisnost:

$$\theta_H u(w - \pi_H L) + (1 - \theta_H) u(w - \pi_L L) \quad (4)$$

Siguran dohodak ovog pojedinca  $w - \pi_U L$  je jednak očekivanoj vrednosti sledećeg izraza:

$$\theta_H (w - \pi_H L) + (1 - \theta_H)(w - \pi_L L) \quad (5)$$

što proizilazi iz načina na koji je definisana verovatnoća  $\pi_U$ . Prema Jensenovoj nejednakosti, pojedinac koji ima averziju prema riziku preferira siguran dohodak u odnosu na situaciju koja uključuje neizvesnost i koja ima isti očekivani dohodak.

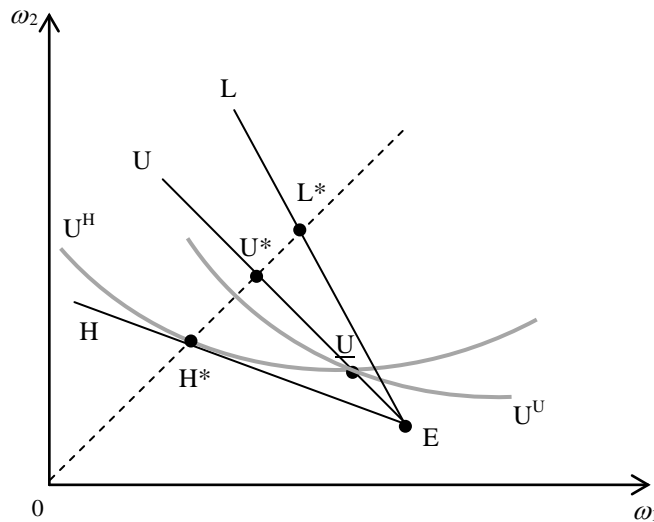
$$u(w - \pi_U L) > \theta_H (w - \pi_H L) + (1 - \theta_H)(w - \pi_L L) \quad (6)$$

<sup>2</sup> Interpretacija ovog modela je data prema Ris i Vambah, (2008).

Na osnovu ovoga zaključujemo da, u uslovima simetrične informisanosti, neinformisani pojedinac neće učestvovati u testiranju.

Ukoliko osiguravač može da utvrdi da osiguranik pripada grupi U, ali ne i kolikom riziku je izložen, on će ponuditi osiguranicima koji su izloženi visokom riziku i neinformisanim osiguranicima ugovor sa punim osiguravajućim pokrićem, dok će osiguranicima izloženim niskom riziku ponuditi ugovor sa učešćem u šteti uz nižu premiju. Međutim, sada neinformisani pojedinac ima još manji podsticaj da pristupi testiranju, jer u uslovima neizvesnosti po osnovu testiranja može da dobije ugovor o delimičnom osiguranju (ako se ispostavi da je izložen niskom riziku), koji mu daje manju korisnost od ugovora o punom osiguranju.

Razmotrimo sada slučaj potpune informacione asimetrije kada osiguravač ne zna kojoj grupi pojedinac pripada, tj. da li pripada grupi H, L ili U. Ova situacija je prikazana na slici 1.



Slika 1: Asimetrična informisanost i podsticaj za testiranje

Dohodak osiguranika u slučaju realizacije osiguranog slučaja je  $\omega_2$ , dok je njegov dohodak kada nije realizovan osigurani slučaj  $\omega_1$ . Ukoliko je dohodak pojedinca pre zaključenja ugovora o osiguranju predstavljen tačkom E, očigledno je da je taj dohodak veći kad nije realizovan osigurani slučaj. Isprekidana linija sa nagibom  $45^\circ$  prikazuje ujednačen dohodak u dva ishoda, što znači da je pojedinac u potpunosti osiguran ako se nalazi na ovoj liniji. Linija EH prikazuje nulti očekivani profit za osiguravajuću kompaniju kad zaključi ugovor sa osiguranicima izloženim visokom riziku. Slična interpretacija se odnosi na linije EU i EL. Kriva indiferentnosti za pojedinca izloženog visokom riziku je  $U^H$ , a za neinformisanog pojedinca je  $U^U$ .

Ugovori sa potpunim osiguranjem za sve tri grupe osiguranika su prikazani tačkama  $H^*$ ,  $L^*$  i  $U^*$ . Pojedinac koji je izložen visokom riziku preferira ugovor  $U^*$  u odnosu na ugovor  $H^*$ , jer ga dovodi na višu krivu indiferentnosti. Zbog toga će osiguravajuća kompanija ponuditi ugovor  $\underline{U}$  umesto ugovora  $U^*$ , jer će tada svaki osiguranik izabrati ugovor koji je njemu namenjen. Pojedinac koji su izloženi niskom riziku će pristupiti testiranju i dobiti ugovor  $L^*$ . Pojedinac iz grupe U sada ima podsticaj da se testira, jer može da dobije ugovor  $H^*$  sa verovatnoćom  $\theta_H$  i ugovor  $L^*$  sa verovatnoćom  $(1 - \theta_H)$ . U oba slučaja, dati pojedinac će biti u potpunosti osiguran. Ako ne pristupi testiranju, on će dobiti ugovor sa delimičnim osiguranjem  $\underline{U}$ . Očekivana korisnost za ovog pojedinca je:

$$u(\underline{U}) = (1 - \pi_U)u(\underline{w}_1) + \pi_U u(\underline{w}_2) \quad (7)$$

gde  $\underline{w}_1$  i  $\underline{w}_2$  predstavljaju nivoe dohotka u dva ishoda kada pojedinac zaključi ugovor  $\underline{U}$ . Korist koju testiranje donosi pojedincu je:

$$\theta_H u(H^*) + (1 - \theta_H)u(L^*) - u(\underline{U}) \quad (8)$$

Imajući u vidu da se ugovori  $H^*$  i  $\underline{U}$  nalaze na krivoj indiferentnosti za pojedinca izloženog visokom riziku, mora važiti:

$$u(H^*) = (1 - \pi_H)u(\underline{w}_1) + \pi_H u(\underline{w}_2) \quad (9)$$

Zamenjujući izraze (9) i (7) u izraz (8) i uvažavajući relaciju  $\pi_U = \theta_H \pi_H + (1 - \theta_H) \pi_L$ , dobijamo da je korisnost testiranja za neinformisanog pojedinca:

$$\theta_H[(1-\pi_H)u(\underline{w}_1) + \pi_H u(\underline{w}_2)] + (1-\theta_H)u(L^*) - [(1-\theta_H\pi_H - (1-\theta_H)\pi_L)u(\underline{w}_1) + (\theta_H\pi_H + (1-\theta_H)\pi_L)u(\underline{w}_2)] \quad (10)$$

$$(1-\theta_H)\{u(L^*) - [(1-\pi_L)u(\underline{w}_1) + \pi_L u(\underline{w}_2)]\} > 0 \quad (11)$$

gde nejednakost proizilazi iz činjenice da je nivo dohotka za ugovor  $L^*$  veći u oba ishoda nego za ugovor  $\underline{U}$ . Dakle, u ovoj situaciji neinformisani pojedinac ima podsticaj da se testira, pa će na ovom tržištu postojati razdvajajuća ravnoteža u kojoj pojedinci izloženi visokom riziku zaključuju ugovor  $H^*$ , a pojedinci izloženi niskom riziku ugovor  $L^*$ .

#### 4. ZAKLJUČAK

U idealnoj situaciji, premija osiguranja bi bila određena pojedinačno za svakog osiguranika, precizno odražavajući rizik kome je taj osiguranik izložen. Osiguranik bi plaćao očekivani iznos štete koji bi mogao pretrpeti u slučaju realizacije rizika, dok bi stvarni iznos štete bio nadoknađen od strane osiguravača. Međutim, u praksi poslovanja osiguravajućih kompanija, osiguranici se razvrstavaju u homogene grupacije rizika prema ograničenom broju kriterijuma koji zadovoljavaju odgovarajuće zahteve. Ipak, moguće je pretpostaviti da osiguranici poseduju dodatne informacije koje odražavaju njihov latentni, individualni rizični profil. U uslovima asimetričnih informacija, informisani visoko rizični osiguranici će izabrati ugovor sa obimnijim osiguravajućim pokrićem u odnosu na informisane niskorizične osiguranike unutar naizgled homogene klase rizika. Dakle, uticaj asimetričnih informacija na negativnu selekciju na tržištu osiguranja se ispoljava kroz pozitivnu korelisanost obima osiguravajućeg pokrića i isplata naknada/osiguranih suma osiguranicima koji su svrstani u istu klasu rizika. U okvirima teorije korisnosti, u radu je obrazložen teorijski model postizanja razdvajajuće ravnoteže u uslovima asimetrične informisanosti na primeru tržišta zdravstvenog osiguranja.

Loš odabir ugovora o osiguranju od strane osiguravajućih kompanija usled nedovoljnog poznavanja rizičnih karakteristika osiguranika i, samim tim, nedovoljno precizne diferencijacije premije osiguranja, može ugroziti rezultate njihovog poslovanja sa jedne strane, ali i materijalni položaj pojedinih osiguranika pri nastupanju osiguranog slučaja sa druge strane. U cilju određivanja adekvatnog nivoa premije i obezbeđenja efikasnog funkcionisanja tržišta osiguranja, prikupljanje i sistematizacija što većeg broja pouzdanih podataka o osiguranim rizicima pre i nakon njihove realizacije, koji će biti korišćeni u okviru korektnih aktuarskih i matematičko-statističkih modela, predstavljaju imperativ za osiguravače kako bi problem negativne selekcije bio ublažen.

#### LITERATURA

- [1] Cooper, R. & Hayes, B. (1987). Multi-Period Insurance Contracts. *International Journal of Industrial Organization*, 5, 211-231.
- [2] Doherty, N. & Thistle, P. (1996). Adverse Selection with Endogenous Information in Insurance Markets. *Journal of Public Economics*, 63, 83-102.
- [3] Donnelly, C., Englund, M., Nielsen, J.P. & Tanggaard, C. (2014). Asymmetric Information, Self-selection and Pricing of Insurance Contracts: The Simple No-Claims Case. *Journal of Risk and Insurance*, E-pub ahead of print, DOI: 10.1111/j.1539-6975.2013.01520.x.
- [4] Englund, M. (2010). *Pricing of General Insurance and the Impact of Asymmetric Information*. Aarhus School of Business, Department of Business Studies.
- [5] Rees, R. & Wambach, A. (2008). *The Microeconomics of Insurance*. Now Publishers, Boston.
- [6] Rothschild, M. & Stiglitz, J. (1976). Equilibrium in Competitive Insurance Markets: an Essay on the Economics of Imperfect Information. *Quarterly Journal of Economics*, 90, 629-649.
- [7] Wilson, C. (1977). A Model of Insurance Markets with Incomplete Information. *Journal of Economic Theory*, 16, 167-207.

# **GEOINFORMAZIONI SISTEMI**



## GIS IN A MONITORING OF FLOOD DISASTER

TATJANA BAROŠ<sup>1</sup>, MAJA KALINIĆ<sup>2</sup>, TATJANA STOJANOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Republic Administration for Geodetic and Property Affairs, Banja Luka, barostaca@gmail.com

<sup>2</sup> Republic Administration for Geodetic and Property Affairs, maja.kalinic@live.com, tatjana\_ronaldo@msn.com

**Abstract:** Nowadays, many things can be predicted and also prevented if we trust modern technology, and if we use it in appropriate way. The usage of GIS tools is one of the easiest and cheapest way to have all necessary data, updated and on time. This paper work show us example of disaster that happened soonago here in Republic of Srpska, flood disaster, and also an approach to solution in situation like this. All the data were gathered from republic sources and proposed acts were analyzed by monitoring available resources.

**Keywords:** Geographical Information System, floods, mapping, monitoring

### 1. INTRODUCTION

Republic of Srpska and its people were faced with terrible national disaster which happened on May 2014, and last for few days. Almost every river located in this country flooded so the panic among people spread very fast, which on the other hand, enhanced some areas to prepare for what is coming, so they passed without bigger consequences. Here, in this paper work, our job was to show you some basic statistical facts of our country, some things that were expected in situation like this was, and some which could be predicted and prevented. The main accent is on Geographical Information System (GIS) and its roll in natural and other situations. GIS systems are dynamic and permit rapid updating, analysis, and display. They use data from many diverse sources such as satellite imagery, aerial photos, maps, ground surveys, and global positioning systems (GPS). Accurate and current floodplain maps can be the most valuable tools for avoiding severe social and economic losses from floods. Accurately updated floodplain maps also improve public safety. Early identification of flood-prone properties during emergencies allows public safety organizations to establish warning and evacuation priorities. Armed with definitive information, government agencies can initiate corrective and remedial efforts before disaster strikes.

### 2. REPUBLIC OF SRPSKA – HYDROMETEROLOGICAL FACTS

The territory of Republic Srpska (further RS) is situated between 42°33' N and 45°17' N and 16°12' E and 19°38' . The surface area of RS, excluding Brčko District is 24 641 km<sup>2</sup>. Republic of Srpska belongs to the group of continental areas - it has no access to the sea. RS is located at the meeting point of two large natural geographic and socio-economic regional units- Pannonian and Mediterranean. It is linked between the Panonian Basin and Adriatic Basin.

The geomorphology of the territory of RS abounds in different forms. In the northern, Peri-Pannonian part, the hilly terrain composed of Cenozoic deposits gradually descends to the flat land with alluvial plateaus and fluvial terraces, which is also the most fertile area in RS.

The longest rivers in RS are Drina (305 km), Sava (202 km) and Vrbas (117 km) and these belong to the Black Sea drainage basin. All smaller rivers in RS, excluding those in eastern Herzegovina, belong to the Drina river basin and Sava river basin. All waters south of the mountain pass Čemerno, in eastern Herzegovina, belong to the Adriatic drainage basin (Trebišnjica and Neretva). In addition to Drina and Sava, big rivers in Republic of Srpska are also Vrbas, Bosna and Trebišnjica.<sup>1</sup>

Various climatic influences, in force on the territory of RS are the result of natural factors and the rules of general circulation of air masses in the region. Thus there are three climate types:

- Northern Peri-Pannonian region, with its moderate continental climate,
- Alpine and Pannonian climate and
- Modified Mediterranean-Adriatic climate.

<sup>1</sup> <http://www.rhmrzs.com/>

Network of hydrological stations at the end of 2011, consisted of 17 stations. The number of stations for water quality is 8. In Table 1 and Table 2 are shown all rivers in RS, their length (total length and length through RS), also information about flooded rivers, and in addition quotes about regular and emergency flood protection.<sup>2</sup>

**Table 1:** Rivers in Republic of Srpska

Rivers	Length (km)	
	Total	RS
Sava	945	202
Drina	341	305
Vrbas	249,9	117
Vrbanja	95,4	95,4
Sana	157,7	85
Una	212,5	82
Ukrina	80,9	80,9
Bosna	279,4	79
Gomjenica	68,5	68,5
Drinjača	91,37	61
Trebišnjica	96,5	56
Lim	234	44
Prača	62,6	42
Mušnica	41,8	41,8
Neretva	225	39
Ćetina	92,6	36,6
Sutjeska	35,34	35,14
Rzav	54,3	28,63
Pliva	31,45	20
Usora	25,99	6,54

**Table 2:** Quotes of regular and emergency flood protection

No.	Municipality	River	Normally (cm)	Extremely (cm)
1	Delibašino S.	Vrbas	250	320
2	Novi Grad	Una	360	400
3	Kozarska D.	Una	380	430
4	Prijedor	Sana	420	460
5	Gradiška	Sava	700	730
6	Srbac	Sava	860	940
7	Brod	Sava	730	800
8	Rača	Sava	650	750
9	Doboj	Bosna	300	450
10	Modriča	Bosna	300	400
11	Foča	Drina	300	350

### 3. FLOOD CONSEQUENCES

Floods can have devastating consequences and can have effects on the environment, economy and people. Global statistic show that floods are the most frequently recorded destructive events, accounting for about 30% of the world's disasters each year. The frequency of floods is increasing faster than in any other type of disaster. Much of this rise in incidence can be attributed to uncontrolled urbanization, deforestation, etc. Floods may also accompany other natural disasters, such as sea surges during hurricanes and tsunamis following earthquakes.

- **Environment**  
Chemical and other hazardous substances end up in the water and eventually contaminate the water bodies that floods end up in.
- **Economic**  
During floods, roads, bridges, farms, houses and automobiles are destroyed. People become homeless. Additionally, the government deploys fireman, police and other emergency apparatuses to help the affected. All these come at a heavy cost to people and the government. It usually takes years for affected communities to be re - built and business to come back to normal.
- **People**  
Many people are killed in flash floods. Many more are injured and others made homeless. Water supply and electricity are disrupted and people struggle and suffer as a result. In addition to this,

<sup>2</sup> <http://www.rhmzrs.com/assets/images/meteorologija....pdf>

flooding brings a lot of diseases and infections including fever, pneumonic plague, dermatopathy and dysentery. Sometimes insects and snakes make their ways to the area and cause a lot of havoc.

Flooding usually does not affect the urban environment, because of the infrastructure, embankments and quays, but in villages huge body of water has led to large scale destruction. Arable land and agricultural land are destroyed, which allow many people to survive.

At the same time, despite all the care, emerged another problem. Mine from the war waged on the territory of BIH during the 90's of the last century, could drive the molten river. Landmine in this area continues to have extremely large quantities (tens of thousands). Citizens have already started to apply such ammunition in places where none existed. This means the markers, which were marked minefields, no longer correspond to the real situation. In other words, they would all have to be careful when moving the streets in the affected areas. Mine from the last war, due to the catastrophic floods, are becoming a problem and neighboring countries. Even when they are in the water and eventually mechanisms become sodden and disturbed, they can endanger the lives of people. No less dangerous it would be, and if some of these mines due to hydropower. In that case, at the very least could cause enormous damage to the turbines.

After flooding, landslides, which were launched in several locations, demolish buildings and roads are overwhelmed. Whole villages and resorts have been wiped off the face of the earth - mostly in landslides that have moved after the disaster.<sup>3</sup>

### The most critical areas

**Dams** are high barriers that go over the entire bed of the watercourse. Construction of a dam, the water level rises upstream and creates an artificial lake. The purpose of the construction of dams may vary, but the most common is the construction of hydropower plants, flood protection and utilization of water for irrigation and supplying settlements. During the flood, the dams in BIH were stable, there was no cracking, otherwise the consequences could be catastrophic. Several smaller dams overflowed, but without major damage.

**Embankments:** The traditional method of preventing flooding has long been to construct embankments adjacent to the river. If well-constructed, riverside embankments can be relatively effective in stopping water spilling over onto adjacent land, but in so doing, the natural floodplain is isolated from the river, flood storage capacity for the catchment is reduced, and valuable wildlife habitat is lost. More often than not, embankments are crudely made from spoil excavated from the river and its banks. Such spoil is often unstable and washed away at the first major flood. Any break in the embankments can lead to severe flash floods. Embankments immediately adjacent to watercourses should therefore be avoided if at all possible.

Many embankments, during flooding in Bosnia, are relented, so people are made and reinforced embankments with bags of gravel.

**Table 3:** Flooded areas on May 2014<sup>4</sup>

Rivers that flooded	Flooded areas
Sava	Gradiška, Srbac, Brod, Rača, Derventa, Šamac
Bosna	<b>Doboj*</b> , Modriča
Vrba	Banja Luka
Una	Novi Grad
Sana	Prijedor
Drina	Foča, Bratunac
Ukrina	Brod, Novo Selo
Spreča	<b>Doboj*</b>
Gnjica	Lopare
Jadar	Srebrenica
Tavna	Ugljevik
Drinjača	<b>Zvornik*</b>
Sapna	<b>Zvornik*</b>

\*Areas that was flooded by more than one river.

<sup>3</sup> <http://eschooltoday.com/natural-disasters/floods/effects-of-flooding.html>

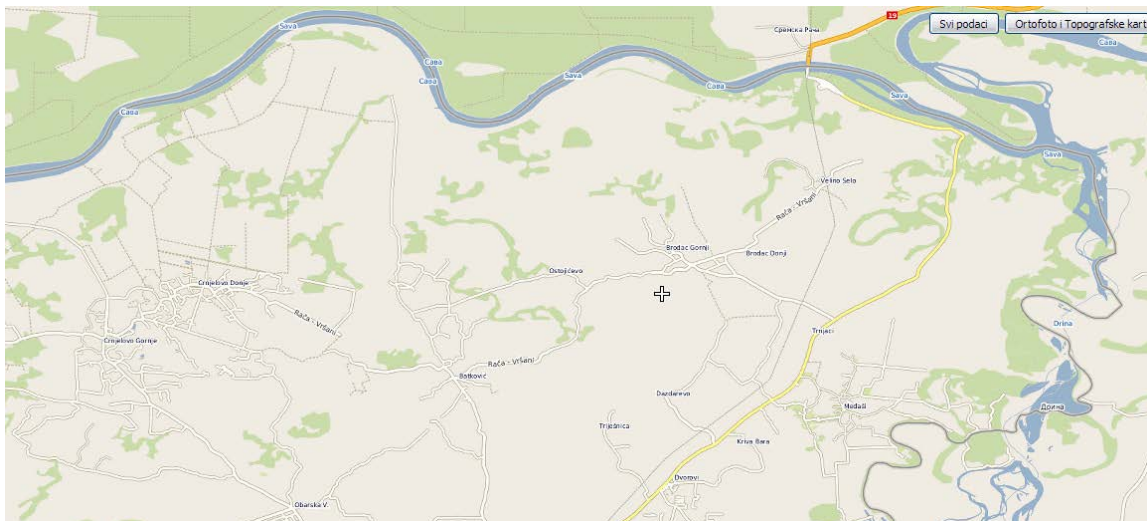
<sup>4</sup> <http://www.rhmzrs.com/assets/images/meteorologija....pdf>

## 4. ABOUT GIS

Geographical Information Systems (GIS) are computer-based systems that enable users to collect, store, process, analyze and present spatial data. It provides an electronic representation of information, called spatial data, about the Earth's natural and man-made features. A GIS references these real-world spatial data elements to a coordinate system. These features can be separated into different layers. A GIS system stores each category of information in a separate "layer" for ease of maintenance, analysis, and visualization. For example, layers can represent terrain characteristics, census data, demographics information, environmental and ecological data, roads, land use, river drainage and flood plains, and rare wildlife habitats. Different applications create and use different layers. GIS lets users search the attribute data and relate it to the spatial data. Therefore, a GIS can combine geographic and other types of data to generate maps and reports, enabling users to collect, manage, and interpret location-based information in a planned and systematic way. In short, a GIS can be defined as a computer system capable of assembling, storing, manipulating, and displaying geographically referenced information.<sup>5</sup>

### Endangered areas

There were many areas which fought with this terrible disaster, some maybe more than others, but here, we would like to show one of the most endangered areas in RS, Bijeljina Town. Bijeljina is a town and municipality in the northeastern part of RS. It takes 734 km<sup>2</sup> of territory. Through Bijeljina flows Sava and Drina river. Almost all that area was covered with water during the flood disaster. On the picture below (Figure 1) can be seen the geographical position of this town and Sava and Drina riverbed.



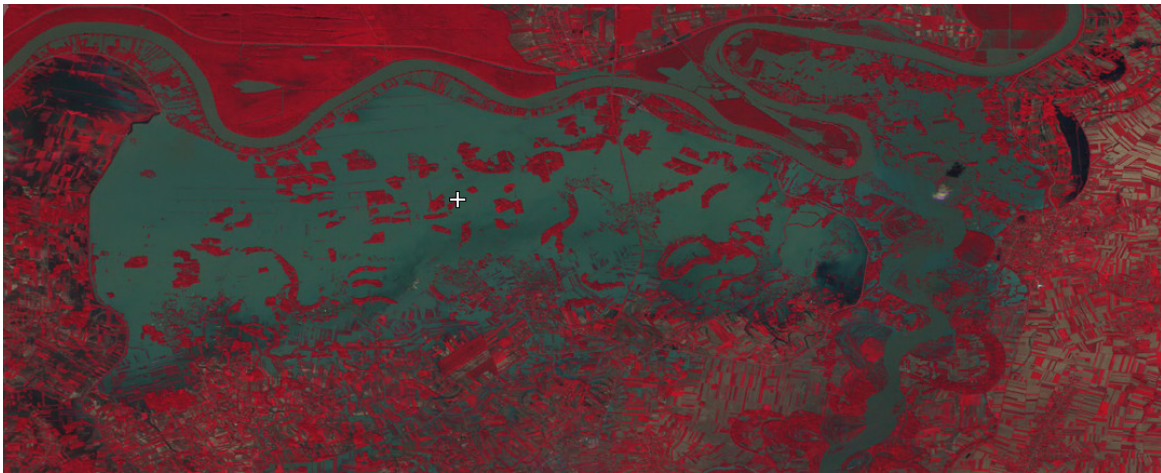
**Figure 1:** Geographical position of Bijeljina, with its rivers Sava and Drina<sup>6</sup>

The next picture (Figure 2) is satellite image which shows the same area as in Figure 1 but during the floods. It was taken on May 19, 2014 which was the second day of the floods. This green color is representation of field territory covered with water. For the next two days, almost every part of this town was under water, or endangered with underground water.

<sup>5</sup> <http://www.esri.com/what-is-gis>

<sup>6</sup> <http://www.geoportal.rgurs.org/>





**Figure 2:** Bijeljina under water, green color presents floods caused with Sava River<sup>7</sup>

People fought with this terrible disaster the way they could. It was hard, not just for ordinary people but for prepared and skilled civil protection workers. It was almost impossible to predict and prevent this, mostly because the lack of modern equipment which could warn us to the something like this.

### GIS application in Flood studies

For years, floodplain studies have been expensive and unwieldy, with much of the analysis performed “by hand” using paper maps. Today, new technologies, such as GIS, GPS, and remote sensing are helping the floodplain managers to create accurate and current floodplain maps with improved efficiency and speed at a reasonable cost. Accurate floodplain maps are the key to better floodplain management.

GIS is ideally suited for various floodplain management activities such as, base mapping, topographic mapping, and post-disaster verification of mapped floodplain extents and depths. Typical floodplain analysis involves three major steps (Dodson and Li 1999):

- Data collection and preparation
- Model development and execution
- Floodplain mapping

GIS can help in all of these steps. For example, let’s check just some of them. First step or data collection and preparation can be obtained from a variety of sources, such as Digital Elevation Data, Digital Terrain Data or Remote Sensing data.

Model development and execution as a second step can be solved using three different methods of GIS Linkage, so the users can devote more time to understanding flooding problems and less time to the mechanical tasks of preparing input data and interpreting the output. Those are:

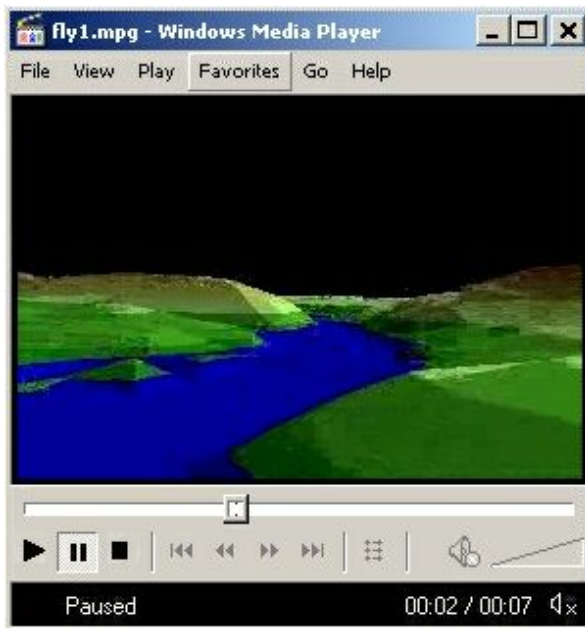
- Interchange method
- Interface method
- Integration method

Finally, the third step can be realized using the latest GIS technology which allows users to drape the modeled floodplain boundaries for various design storms on a base map. The modeled inundated areas can be shown as 3D flythrough animations as shown in Figure 3 or in an Internet compatible format for Web browsers as shown in Figure 4.<sup>89</sup>

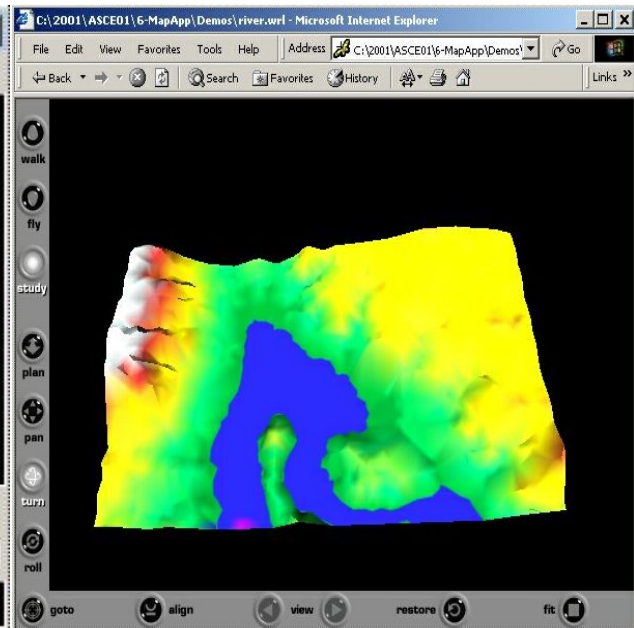
<sup>7</sup> <http://www.geoportal.rgurs.org/>

<sup>8</sup> <http://idrc-gisworkshop.pbworks.com/f/Use+of+GIS+in+flood+risk+Mapping.pdf>

<sup>9</sup> <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap0490/p0490.htm>



**Figure 3:** 3D flythrough animation



**Figure 4:** Internet compatible format

Here are some floodplain mapping and modeling software examples:

- DHI MIKE Products
- HEC - GeoRAS
- ArcGIS Hydro Data Model
- GIS Stream Pro
- RiverCAD

(Note that all data and pictures shown in last title were taken from the ESRI Official Website and have nothing to real condition in our country. This is just example how we could handle the situation and prepare ourselves for further situation.)

## 6. CONCLUSION

Many countries nowadays use available Information Technologies to develop "Watershed Information Systems." It is our duty and concern to do the same for our country, of course, in way we are able to. There are many technologies, and terrain options not just for mapping the flooded areas, but for preventing and lowering the consequences. The most important thing is that those technologies are not so expansive and far away from us, as we all think. We should consider those things in future, because something like this, again, and our country, our people and their spirit would not survive. We all need to educate ourselves, to learn more about available stuff, such as GIS software, Digital Terrain Model, Remote Sensing, LIDAR and many other technologies and techniques that are used in modern society, not just in this field but in almost every part of human daily routine and activity.

## 7. LITERATURE

- [1] Begović, A. (1990). Inženjerska geodezija 2, second edition, Beograd: Građevinski fakultet, (105-143)



## KOMBINACIJA VIŠEKRITERIJUMSKE METODE I GIS-A U VOJNOGEOGRAFSKOJ PROCENI ZAŠTITNOG POTENCIJALA PROSTORA

### COMBINATION MULTICRITERIA METHODS AND GIS IN THE MILITARY-GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF PROTECTIVE POTENTIAL SPACE

LJUBOMIR GIGOVIĆ<sup>1</sup>, MIODRAG REGODIĆ<sup>1</sup>, DARKO LUKIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, {gigoviclj, mregodic62} @gmail.com

**Rezime:** U radu je prikazan koncept kombinovanja GIS-a i višekriterijumske tehnike za podršku u odlučivanju u cilju određivanja vojnogeografske procene zaštitnog potencijala prostora na konkretnom primeru. Procena podrazumeva rešavanje višekriterijumskog optimizacionog problema. Izabrani kriterijumi mogu se reprezentovati diskretnim vrednostima mrežnih ćelija raslojenim prema odabranim kriterijima, za koje se određuju težinski koeficijenti. Množenjem težinskog koeficijenta kriterijuma i odgovarajuće karte pogodnosti za taj kriterijum dobija se na rasterskom nivou "karta pogodnosti" za svaki kriterijum, da bi se na kraju objedinjavanjem svih karata došlo do konačne karte procene zaštitnog potencijala razmatranog zemljišta.

**Ključne reči:** GIS, višekriterijumska analiza, DMT, zaštitni potencijal

**Abstract:** This paper presents the concept of combining GIS and multiple-criteria techniques in support to determine the military geographic assess the protective potential of space. Defining the optimal potential of space involves solving multi-criteria optimization problems. Selected criteria, may be represented by discrete values of a network of cells stratified by selected criteria for which weight coefficients are calculated, through implementation of the analytic hierarchy process in GIS. Multiplying the weighted criteria coefficient and the appropriate "suitability map" for that criteria produces a modeled surface (raster) "suitability map" for each criterion; subsequent merging of all maps produces a final suitability map.

**Keywords:** multi-criteria analysis, DMT, the protective potential

## 1. UVOD

Danas su GIS metode vojnih analiza terena zasnovane prvenstveno na prostornim bazama podataka i obuhvataju čitav niz algoritama automatizovane analize terena. One se, pre svega, sprovode u cilju prikupljanju podataka iz oblasti obaveštajnog obezbeđenja ratišta (Grindle et al. 2004). Vojnogeografska procena zaštitnog potencijala reljefa, podrazumeva analizu uticaja reljefa, kako na kretanje, manevar, preglednost, tako i na mogućnost zaštite i maskiranja.

U cilju što realnije vizuelizacije analiziranog terena, najčešće se koristi metoda višekriterijumskih analiza (Malczewski 2006), pri čemu se izdvajaju pojedini morfometrijski parametri terena, klasifikuju se s obzirom na uticaj na posmatranu pojavu i završnom sintezom prikazuju u vidu tematskih karata. Jedan od najčešće korišćenih metoda višekriterijumske analize je analitički hijerarhijski proces (AHP). Autor ideje i matematičke postavke AHP-a je Thomas Saaty (Saaty 1980). Metodologija kombinovanja GIS-a i AHP-a (Marinoni 2004) iskorišćena je u ovom radu za određivanje zaštitnog potencijala zemljišta na konkretnom test primeru poligona „Pasuljanske livade“.

## 2. ANALITIČKO HIRARHIJSKI PROCES (AHP) I GIS

Višekriterijumska analiza, u vidu analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), integrisana u GIS može da obezbedi odgovarajuću manipulaciju i prezentaciju podataka sa konzistentnom evaluacijom, baziranom na velikom broju faktora koji mogu imati uticaja na analizu određenog problema. Postupak kombinovanja AHP-a i GIS-a u cilju definisanja pogodnosti zemljišta za jednu ili više namena sastoji se iz sledećih koraka (Saaty 1980):

- Definisanje problema. Definisanje zainteresovanih korisnika i kriterijuma za ocenu pogodnosti zemljišta.

- Prikupljanje i priprema podataka (digitalizacija, statistička analiza, definisanje koncepcije baze podataka itd.).
- Formiranje rastera podataka za svaki kriterijum.
- Klasifikacija skupova podataka i formiranje mapa pogodnosti za svaki kriterijum.
- Formiranje matrice odlučivanja i evaluacija kriterijuma.
- Izračunavanje težinskih koeficijenata kriterijuma.
- Otežavanje mapa pogodnosti i sumiranje otežanih mapa u konačnu mapu pogodnosti.

Evaluacija kriterijuma bazira se na primeni metoda bonitacije. Na osnovu metoda bonitacije uspostavlja se skala bonitetnih vrednosti svakog kriterijuma. Podaci u rasterisanoj mapi koji se odnose na kriterijum dele se u klase pogodnosti, a zatim se svakoj klasi dodeljuje ocena (rang), tako da svaka ćelija u rasteru na mapi, za dati kriterijum bude svrstana u odgovarajuću klasu, čime joj se dodeljuje i odgovarajući ocena (rang) (Saaty and Vargas 1991).

Sledeći korak predstavlja formiranje matrice  $A$  odlučivanja i poređenje kriterijuma. Za usvojene kriterijume, formira se matrica odlučivanja. Elementi matrice su rezultat poređenja kriterijuma u parovima korišćenjem Satijeve skale. Posmatrajući definisani cilj, za svaki par kriterijuma treba uneti vrednost značaja jednog kriterijuma u odnosu na drugi prema aksiomu recipročnosti.

Normalizovanje sume redova vrši se tako što se suma svakog reda deli sa brojem redova. Rezultat ovih izračunavanja je vektor prioriteta koji predstavlja vektor sopstvenih vrednosti matrice. U standardnom AHP-u se za određivanje težina kriterijuma koristi metod sopstvenih vrednosti (EV - eigenvector method), drugim rečima, određuje se glavni desni vektor sopstvenih vrednosti matrice  $A$ . Ovaj vektor se dobija rešavanjem linearnog sistema:

$$Aw = \lambda w, \quad (1)$$

gde je  $\lambda$  najveća sopstvena vrednost matrice  $A$ , a  $w$  traženi vektor težina kriterijuma. Na osnovu rezultata prethodnog koraka svaki kriterijum dobija odgovarajući težinski koeficijent, kojim se definiše njegova relativna vrednost u odnosu na cilj. Konačna mapa pogodnosti dobija se izračunavanjem ukupne pogodnosti svake ćelije rastera primenom sledećeg izraza:

$$r_{ix,iy} = \sum_{i=1}^M w_i v_{i,ix,iy} \quad ix = 1, \dots, nx; \quad iy = 1, \dots, ny \quad (2)$$

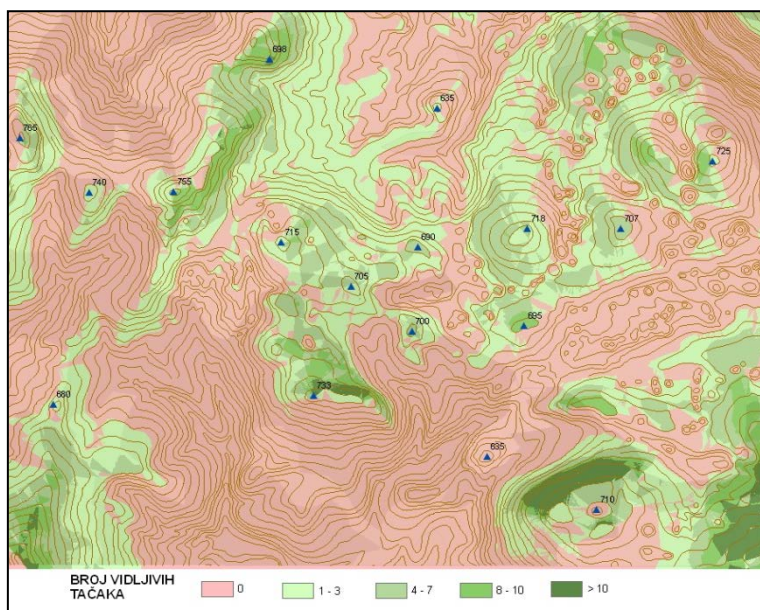
gde je  $r_{ix,iy}$  vrednost ćelije  $ix, iy$  na konačnoj mapi pogodnosti,  $w_i$  težinski koeficijent kriterijuma  $i$ , ocena (rang) date ćelije za kriterijum  $i$ , a  $nx$  i  $ny$  su broj ćelija na rasteru u  $x$  i  $y$  pravcu.

### 3. FAKTORI ZAŠITNOG POTENCIJALA TERENA I METODE NJIHOVOG PREDSTAVLJANJA

Nakon definisanja problema pristupa se definisanju osnovnih faktora (kriterijuma). Na procenu zaštitnog potencijala terena, odnosno na mogućnost zaštite i prikrivanja jedinica utiče čitav niz faktora, od reljefnih obeležja, u vidu orografije, ekspozicije padina, rasporeda i pružanja pojedinih konkavnih elemenata reljefa, preko naseljenih zona, prostornog rasporeda, šumske vegetacije, pa do klimatskih uslova. Sve te faktore, s obzirom na njihovu nepromenljivost, po prostornoj ili vremenskoj komponenti, možemo grupisati na stalne i promenljive. Zbog najvećeg uticaja karakteristika reljefa na mogućnost zaštite i prikrivanja jedinica i stalnost tih parametara kao osnovni faktori zaštitnog potencijala reljefa mogu se izdvojiti orografija, ekspoziciju padina i prostorni raspored pojedinih konkavnih reljefnih oblika (Pahernik and Kereša 2007).

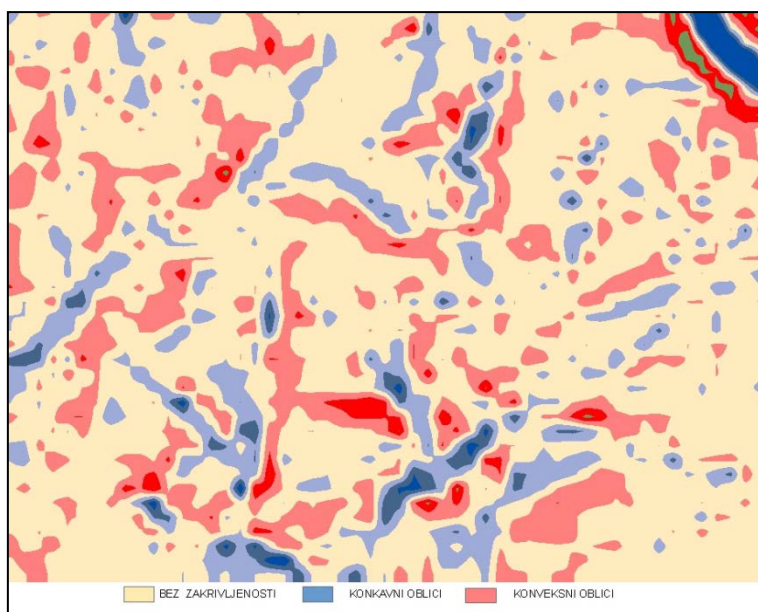
Primarni kriterijum u proceni zaštitnog potencijala reljefa je orografska analiza. Ona se izražava kroz analizu vidljivosti prostora sa dominantnih tačka (osmatračnica). Sa strane mogućnosti zaštite i maskiranja bonitete kategorije reljefa definisane su vrednostima ukupnog broja potencijalnih osmatračnica vidljivih iz pojedine tačke prostora. Tako da će se iz dna uvale videti manji broj, a sa prostrane zaravni više potencijalnih osmatračnica (Gigović 2010). U istraživanom prostoru definisano je 16 dominantnih vrhova sa kojih je izvedena analiza optičke vidljivosti okolnog prostora. Izračunat je novi rasterski GRID sloj čija vrednost pojedine ćelije definiše broj vrhova sa kojih je ta tačka (ćelija) vidljiva. Analiza vidljivosti i izračunate bonitetne vrednosti prikazana je na Slici 1.





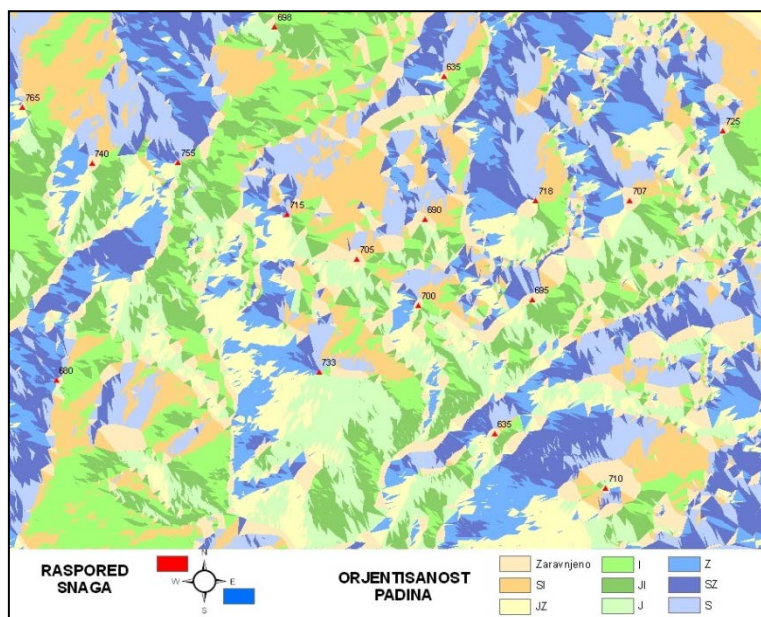
**Slika 1:** Vrednosti analize vidljivosti sa dominantnih vrhova (osmatračnica)

Za analizu mogućnosti zaštite i prikrivenosti od velikog značaja su prostorni raspored i morfometrijska obeležja konkavnih oblika reljefa, pod kojima se podrazumevaju sva udubljena bez obzira na morfogenetski tip. Definisane konveksnih reljefnih oblika pomoću digitalnog modela reljefa određena je metodom računanja standardne devijacije visina unutar kvadrata definisane površine. Vrednosti većeg negativnog predznaka označavaju izrazito konkavne reljefne oblike, dok pozitivne vrednosti definišu izrazito konveksne oblike. Na Slici 2 prikazane su vrednosti pomenute analize.



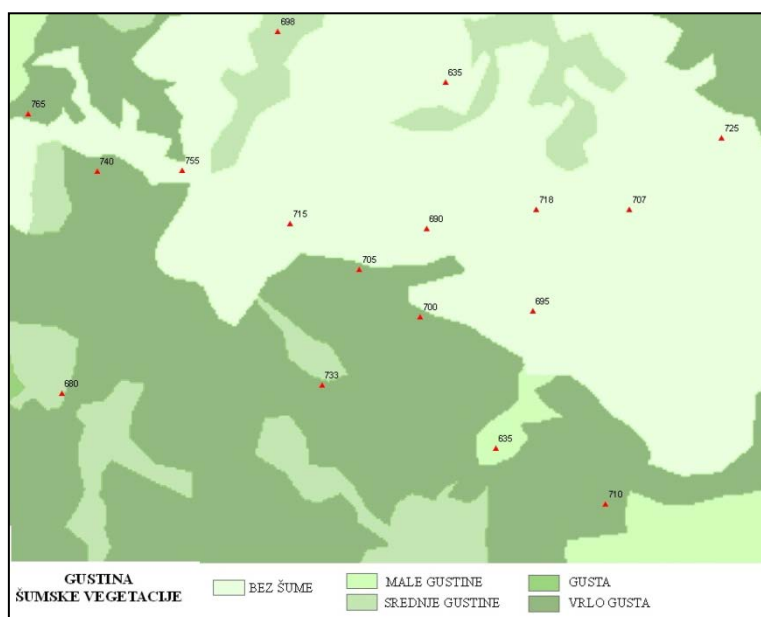
**Slika 2:** Analiza zakrivljenost reljefa

Kriterijum orjentisanosti padina u odnosu na strane sveta, prilikom analiza zaštite i prikrivenosti, značajan je u slučaju poznate taktičke orijentacije. Na osnovu digitalnog modela reljefa unutar ArcGIS programskog paketa određene su vrednosti ekspozicija padina istraživanog područja prema rasponu azimuta glavnih i pomoćnih strana sveta. Kako bi se mogla odrediti bonitetna vrednost ekspozicija padina, na severozapadu je aproksimovan raspored protivničkih snaga, a vlastitih na jugoistoku područja. Na Slici 3 prikazani su rezultati ove analize.



**Slika 3:** Ekspozicije padina

Gustina i prostorni raspored šumske vegetacije je kriterijum od velikog značaja u oceni mogućnosti zaštite i prikrivenosti. Šumska vegetacija je prezentovana georeferenciranjem rasterskog modela TK25, dok su bonitetne vrednosti određene metodom računanja broja georeferenciranih stabala unutar kvadrata definisane površine. Na Slici 4 prikazane su bonitetne vrednosti gustine šumske vegetacije u rasponu od, prostora bez šuma, pa do prostora sa vrlo gustom šumskom vegetacijom.



**Slika 4:** Gustinski raspored šumske vegetacije

#### 4. EVALUACIJA POLIGONA U FUNKCIJI OCENE ZAŠTITNOG POTENCIJALA TERENA

U ovom poglavlju sprovedena je vojnogeografska procena zaštitnog potencijala terena na konkretnom primeru poligonskog prostora „Pasuljanske livade”. Nakon definisanja vrednosti zaštitnih parametra reljefa prema utvrđenim kriterijumima i njihovog prikaza u rasterskom formatu, izvršena je reklasifikacija rastera zaštitnog potencijala u u reklasifikovani raster za svaki kriterijum i definisanim klasama dodeljeni su skorovi (ocene) *vk*. Reklasiranje rasterskih mapa vršeno je se softverskim alatom *Reclass* u okviru ArcGIS-a aplikacije, gde su se rasterske ćelije klasifikovale i grupisale prema unapred zadatim vrednostima klase iz Tabele 1. Dobijene reklasifikovane mape na ovaj način su pretvorene u operativnu rastersku podlogu za primenu AHP-a.

**Tabela 1:** Parametri vojnogeografske procene zaštitnog potencijala prostora

Kriterijum		Klase	Klasifikacija	Bonitet
C <sub>1</sub>	Vidljivost	> 12 tačaka vidljivo	Izrazito otvoren prostor	1
		8-11 tačaka vidljivo	Otvoren prostor	2
		4-7 tačaka vidljivo	Zaštićen prostor	3
		1-3 tačaka vidljivo	Dobro zaštićen prostor	4
		nevidljivo	Izrazito zaštićen prostor	5
C <sub>2</sub>	Zakrivljenost padina	< -2 StDev	Izrazito konveksni oblici	1
		-1 StDev	Konveksni oblici	2
		0 StDev	Zaravni	3
		1 StDev	Konkavni oblici	4
		> 2 StDev	Izrazito konkavni oblici	5
C <sub>3</sub>	Ekspozicije terena	Severozapad	Padine direktno okrenute protivniku	1
		Zapad, Sever,	Padine bočno okrenute protivniku	2
		Jugozapad, Jug Istok,	Bočno okrenute padine	3
		Severoistok	Padine bočno okrenute vlastitim snagama	4
		Jugoistok	Padine okrenute vlastitim snagama	5
C <sub>4</sub>	Gustina šumskog pokrivača	< 100 st/km <sup>2</sup>	Neznatna gustina	1
		100-500 st/km <sup>2</sup>	Mala gustina	2
		500-1000 st/km <sup>2</sup>	Srednja gustina	3
		1000-5000 st/km <sup>2</sup>	Velika gustina	4
		> 5000 st/km <sup>2</sup>	Vrlo velika gustina	5

Formiranje matrice odlučivanja i evaluacija kriterijuma izvršena je implementacijom makro extahp.dll (AHP) u softverski paket Arc GIS 9.3. Pokretanje AHP modula formira se matrica poređenja kriterijuma. Ova matrica se popunjava na osnovu definisanja inteziteta i međusobnog poređenja kriterijuma u parovima u AHP smislu, korišćenjem Satijeve skale. Vrednovanje kriterijuma se vrši na osnovu iskustva i objektivnih uslova analize. Matrice poređenja i težinske vrednosti elemenata korišćene u datom primeru prikazane su u Tabeli 2.

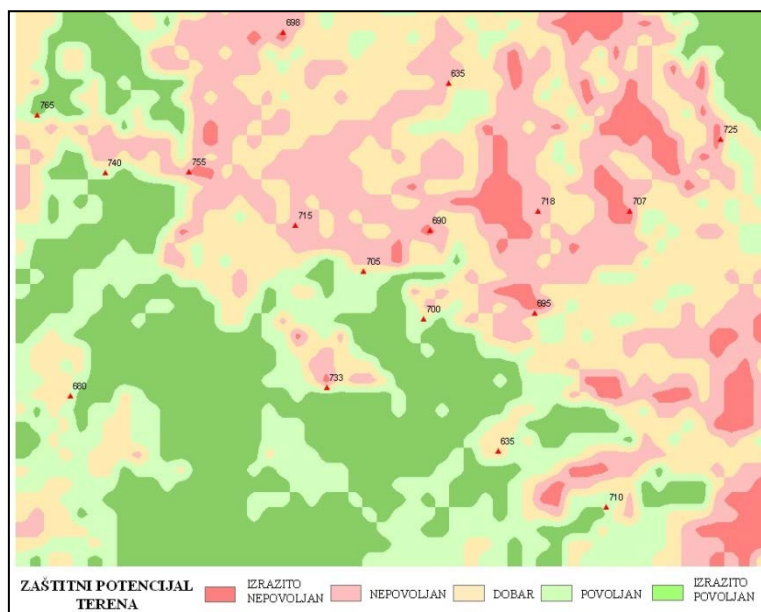
**Tabela 2:** Poređenje kriterijuma (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>) u odnosu na cilj

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	w
1	1	3	2	1.5	0.3 961
2	0.3 333	1	0.5	0.5	0.1 234
3	0.5	2	1	0.6 667	0.2 078
4	0.6 667	2	1.5	1	0.2 727

Posle unošenja vrednosti iz Satijeve skale u matricu poređenja, izračunavaju se težinske vrednosti kriterijuma. Modul izračunava i konzistentnost. Ovde je CR=0,0061, što znači da je konzistentnost zadovoljena (preporučeno CR<0,1). U realizaciji konačne etape modul množi težine kriterijuma sa skorom svake ćelije rastera mape pogodnosti svakog kriterijuma i formira konačnu mapu pogodnosti.

Na bazi usvojenih kriterijuma (vidljivost, zakrivljenost reljefa, ekspozicija terena i šumski pokrivač), dobijena je konačna mapa koja je dalje reklasifikovana u 5 klasa (Slika 5). Zelenom bojom obeleženo je prostor koji je najpovoljniji sa stanovišta zaštitnog potencijala, a crvenom, onaj koji je najmanje zaštićen. Boje između zelene i crvene predstavljaju delove čija je pogodnost između najzaštićenije i najnezaštićenije. Iz analize konačne mape zaštitnog potencijala terena, jasno se uočava da je prostor na jugozapadnom delu poligona „Pasuljanske livade” najbezbedniji sa stanovišta osmatranja, maskiranja i kretanja jedinica .





**Slika 5:** Konačna mapa zaštitnog potencijala reljefa

## 5. ZAKLJUČAK

U cilju određivanja zaštitnog potencijala terena primenjena je kombinacija višekriterijumskog metoda AHP i softvera za upravljanje prostornim podacima ArcGIS 9.3. Veza ova dva alata omogućena je preko makroa extahp.dll, napisanog u Visual Basic-u. Primena kombinacije GIS-a i AHP-a, izvedena na realnom primeru određivanja zaštitnog potencijala poligona „Pasuljanske livade” poligona, pokazala se uspešnom i opravdanom, jer je, na bazi četiri kriterijuma: vidljivost, zakrivljenost reljefa, ekspozicije terena, i šumski pokrivač, geografski definisala delove prostora koji su najbezbedniji za manevar, mogućnost zaštite i maskiranje jedinica. Kao rezultat istraživanja, proizveden kombinovanjem reklasifikovane AHP+GIS mape pogodnosti, dobijena je finalna mapa pogodnosti.

Autori rada smatraju da je prikazana metodologija, neophodna, ali ne i potpuna da bi doneta odluka o konačnoj proceni zaštitnog potencijala terena bila primenljiva u realnim uslovima. Konačna odluka zahteva sagledavanje i dodatnih, pre svega, geografskih faktora. Stoga u cilju konačnog opredeljenja donosioca odluka, neophodno je analizirati i sekundarne faktore (u pozitivnom ili negativnom smislu), utvrditi saobraćajnice, klimatske uticaje, naselja, itd. Svi ovi faktori, imaće dodatnu ulogu u izboru najboljeg rešenja.

## LITERATURA

- [1] Gigović, L.J. (2010). Digital models of heights and military application for terrain analysis, Military Technical Courier, Volume 2, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade, 165-177.
- [2] Grindle, C., Lewis, M., Ginton, R., Giampapa, J., Owens, S. & Sycara, Katia (2004). Automating Terrain Analysis: Algorithms for Intelligence Preparation of the Battlefield, Proceeding of the Human Factors and Ergonomics Society, 533 – 537.
- [3] Malczewski, J. T. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, International Journal of Geographical Information Science, Volume 20 (7), 703-726.
- [4] Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS, Computers and Geosciences, Volume 30 (6), 637-646.
- [5] Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 287.
- [6] Saaty, T. & Vargas, L.G. (1991). Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251.
- [7] Pahernik, M. & Kereša, D. (2007). Primjena geomorfoloških istraživanja u vojnoj analizi terena – indeks zaštitnog potencijala reljefa. Hrvatski geografski glasnik, 69(1), 39–53.





## MESTO I ULOGA GIS U GEOPROSTORNOJ ANALIZI PODATAKA O PROSTORU

### PLACE AND ROLE OF GIS IN GEOSPATIAL DATA ANALYSIS OF SPACE

MIODRAG KOSTIĆ<sup>1</sup>, NIKOLA STAMENKOVIĆ<sup>2</sup>, STANISLAVA BOSIOČIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vojska Srbije, Beograd, kmiodrag@ikomline.net

<sup>2</sup> Ministarstvo odbrane, Beograd, stnikola2@yahoo.com

<sup>3</sup> Srednja geodetska tehnička škola, Beograd, stanislava98@gmail.com

**Rezime:** Geoprostorna analiza digitalno modelovanih podataka prostora za potrebe planiranja, organizovanja i izvođenja borbenih i neborbenih dejstava obuhvata izbor i organizaciju optimalne količine raspoloživih geoprostornih podataka, kao i primenu odgovarajuće metodologije i GIS softverskih aplikacija za njihovo modelovanje, analizu i prezentaciju. Osnovna namena geografskog informacionog sistema je da obezbedi brzu i efikasnu grafičku i numeričku analizu objekata i fizičko-geografskih karakteristika prostora, kao i vizuelizaciju operativnog okruženja kroz jedinstvenu operativnu sliku bojišta u cilju podrške planiranja, organizovanja i izvođenja borbenih dejstava i angažovanja Vojske Srbije u pružanja podrške civilnim strukturama vlasti u otklanjanju posledica elementarnih nepogoda i hemijskih akcidenata. Prikupljanje podataka o prostoru i formiranje jedinstvene baze podataka usled sve češćih elementarnih nepogoda i hemijskih akcidenata nije samo od interesa za ciniocce sistema odbrane već je i od značaja i za ostale subjekte Republike Srbije, kao što je Sektor za vanredne situacije i dr.

**Gljučne reči:** GIS, Geoprostorna analiza, digitalni podaci o prostoru, digitalno modelovanje prostora.

**Abstract:** Geospatial analysis of digital data space modelling for the needs of planning, organising and carrying out of combat and non-combat operations includes the choice and organization of optimal quantity of available geospatial data as well as the application of the adequate methodology and GIS software applications for their own modelling, analysis and presentation. The main purpose of geographic information system is to provide a quick and efficient graphical and numerical analysis of objects and physical-geographic characteristics of space as well as the visualization of operative environment through the common operational picture of battleground aiming to support planning, organising and carrying out of combat operations and engagement of Serbian Armed Forces in order to give support to civilian authority structures and eliminate natural disaster and chemical accident effects. Space data collection and formation of the unique data base due to the increasing number of natural disasters and chemical accidents is not only of interest for defense system factors but it is also of importance for the other subjects of the Republic of Serbia such as the Sector for Emergency Management, and the others.

**Keywords:** GIS, geospatial analysis, digital space data, digital space modeling.

## 1. UVOD

Istoriju čovečanstva obeležili su brojni oružani sukobi manjeg ili većeg inteziteta, koji su bili lokalnog, regionalnog ili svetskog karaktera. Lekcije naučene iz vojne istorije menjale su vremenom načine vođenja oružane borbe. Brojnost oružanih snaga sve manje je bio presudan faktor za ostvarivanje pobeđe na bojnopolju. Tehnička opremljenost u pogledu vojne opreme i naoružanja, telekomunikacija, informacionih sistema kao što su komandno-informacioni sistemi i geografski informacioni sistemi vremenom su dobijali na značaju i postali jedan od najznačajnijih faktora za ishod oružanog sukoba. Informacioni sistemi dobili su na značaju kada se shvatilo, da se vreme za reagovanje na pretnju ili pojavu može višestruko smanjiti tako što se prikupljeni podaci<sup>1</sup> o neprijatelju, prostoru ili pojavi mogu analizirati i obraditi u što kraćem vremenskom roku uz pomoć informacionih sistema.

Pored promena u načinima vođenja oružane borbe, oružane snage vremenom dobijale su i nove misije i zadatke. Tako Vojska Srbije pored odbrane Republike Srbije od oružanog ugrožavanja spolja, učešća u

<sup>1</sup> Podaci (*data*) su znakovni prikaz činjenica i pojmova koji opisuju svojstva objekta i njihove odnose u prostoru i vremenu (Bolić 2011).

izgradnji i očuvanju mira u regionu i svetu, ima i misiju - Podrška civilnim vlastima u suprotstavljanju pretnjama, koja obuhvata između ostalog i pomoć civilnim vlastima u slučaju prirodnih nepogoda, tehničko-tehnoških i drugih nesreća.

Ono što je tema ovoga rada, a od značaja je za uspešnu realizaciju sve tri misije koje ima Vojska Srbije je: geoprostorna analiza podataka o prostoru u digitalnom obliku (rasterskom i vektorskom), a za potrebe planiranja, organizovanja i izvođenja borbenih i neborbenih dejstava. Geoprostorna analiza digitalno modelovanih podataka prostora za potrebe planiranja, organizovanja i izvođenja borbenih i neborbenih dejstava obuhvata izbor i organizaciju optimalne količine raspoloživih geoprostornih podataka, kao i primenu odgovarajuće metodologije i GIS softverskih aplikacija za njihovo modelovanje, analizu i prezentaciju, a sprovodi se kroz proces koji se u vojnoj terminologiji naziva obaveštajna priprema bojišta (OPB<sup>2</sup>).

## 2. OBAVEŠTAJNA PRIPREMA BOJIŠTA

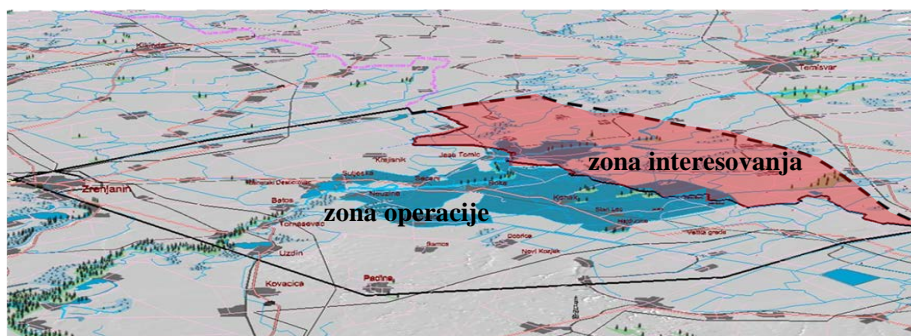
Obaveštajna priprema bojišta je sistematičan i neprekidan proces uporednih analiza neprijatelja (pretnji) i okruženja u određenoj geografskoj zoni (Snell 2006). Ona predstavlja analitičko-grafičku metodologiju (Miladinović 2007) obaveštajne procene neprijatelja i borbenog prostora i stvaranje obaveštajnih proizvoda koji pomažu komandantu da vizuelizuje borbeni prostor i donese racionalnu odluku gde i kada da upotrebi raspoložive snage i sredstva u operaciji, kako bi odgovorio na nastalu pretnju (elementarnu nepogodu) ili na namere neprijatelja radi njegovog poraza ili prisile da odustane od svojih ciljeva. Sastavni je deo operativnog planiranja komandi i potčinjenih sastava i sprovodi se na svim nivoima planiranja od strategijskog do taktičkog i predstavlja najznačajniji deo procesa donošenja odluke.

Obaveštajna priprema bojišta realizuje se kroz četiri faze (JP 2-01.3, 2000)<sup>3</sup>:

- definisanje borbenog okruženja;
- opis efekta bojišta;
- procena neprijatelja (pretnje) i
- izrada protivničke varijante dejstva.

Prve dve faze OPB obuhvataju prikupljanje, eksploataciju i analizu geoprostornih podataka sa ciljem obaveštajne procene i vizuelizacije fizičkih karakteristika geografskog prostora (ATTP 3-34.80, 2010)<sup>4</sup>. U okviru prve faze vrši se identifikovanje osnovnih fizičko-geografskih karakteristika prostora u kojem se izvode operacije:

- definisanje zone operacije<sup>5</sup>(ZO) i zone interesovanja<sup>6</sup>(ZI) (slika 1);
- identifikovanje nedostataka u bazi podataka, koji se odnose na fizičko-geografske karakteristike;
- prikupljanje geoprostornih podataka neophodnih za analizu u toku OPB.



Slika 1: Prikaz zone operacije i zone interesovanja

U procesu analize zemljišta neophodno je sagledati i uticaj vremena kao meteorološke pojave. Analiza zemljišta vrši se u kontekstu efekta vremena u onoj meri u kolikoj promena vremenskih uslova utiču na izvođenje dejstava. Meteorološki elementi i pojave u kombinaciji sa karakteristikama objekata i fizičko-geografskih karakteristika zemljišta imaju veliki uticaj na izvođenje neborbenih i borbenih dejstava, posebno

<sup>2</sup> ЕНГЛ. *IPB-Intelligence Preparation of the Battlefield*-obaveštajna priprema bojišta.

<sup>3</sup> ЕНГЛ. *JP-Joint Publication*.

<sup>4</sup> ЕНГЛ. *ATTP-Army Tactics, Techniques and Procedures*.

<sup>5</sup> Zona operacije (ZO) je geografski prostor u kojem je komandantu dodeljena odgovornost (ovlašćenje) da planira, organizuje i izvodi vojne operacije.

<sup>6</sup> Zona interesovanja (ZI) je širi prostor od ZO i predstavlja geografski prostor koji je neophodno poznavati sa ciljem planiranja, organizovanja i uspešnog izvođenja vojnih operacija.

u uslovima potencijalne upotrebe nuklearnog, hemijskog i biološkog oružja. Praćenje i analiza vremenskih uslova (meteoroloških elemenata i pojava) često je od presudnog značaja za izvođenje neborbenih dejstava, kao što je to slučaj kada se jedinice i kapaciteti Vojske Srbije angažuju na pružanju podrške civilnim strukturama vlasti u otklanjanju posledica elementarnih nepogoda kao što su to na primer: poplave i hemijski akcidenti. Meteorološke elemente koje je neophodno pratiti su dužina trajanja sunčevog sjaja, horizontalna vidljivost, temperatura vazduha, vazdušni pritisak, oblačnost, visina i količina padavina, pravac i brzina vetra, a od pojava maglu, oblačnost, padavine (kiša, sneg) i pojavu poledice.

Analiza prostora za potrebe obaveštajne pripreme bojišta je proces koji pripada obaveštajnoj aktivnosti, ali je i sastavni deo geoprostornih disciplina kao što su daljinska detekcija, kartografija, geodezija i dr.

Kada govorimo o analizi prostora za potrebe obaveštajne pripreme bojišta, u stranoj literaturi često se sreće izraz GEOINT (engl. Geospatial intelligence) - eksploatacija i analiza snimaka i geoprostornih podataka koji opisuju i vizuelizuju fizičko-geografske karakteristike i aktivnosti koje su lokacijski vezane za određeni položaj na zemlji (Geospatial Intelligence Basic Doctrin 2004). Analizirani geoprostor može se podeliti na dva sloja, osnovni sloj i obaveštajni sloj. Osnovni sloj obuhvata geografske i topografske elemente zemljišta, fiksne prirodne i veštačke objekte i terenske konture koje se retko ili sporo menjaju u prostoru, a koji utiču ili mogu imati uticaj na izvođenje borbenih i neborbenih dejstava. Ove elemente zemljišta možemo uslovno podeliti na četiri osnovne kategorije:

- reljef,
- hidrografiju,
- vegetaciju i
- veštačke objekte.

Obaveštajni sloj obuhvata široku lepezu različitih elemenata i faktora, kao što je vreme, raspored i aktivnosti jedinica na terenu i dr.

Danas, u modernim armijama sveta, analiza prostora u okviru OPB se načelno bazira na geostatističkoj analizi digitalnih modela terena u okviru konvencionalnih ili namenskih GIS aplikacija. Prednosti takvog načina analize geoprostornih podataka iskazani su u tabeli 1.

**Tabela 1:** Prednosti i nedostaci geoprostorne analize digitalno modelovanog prostora

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ preciznost i detaljnost;</li> <li>▪ objedinjuje podatke različitih formata;</li> <li>▪ otvorenost za podatke iz različitih senzora za prikupljanje podataka i različitih epoha;</li> <li>▪ globalni pristup podacima;</li> <li>▪ mogućnost analize velikog broja podataka u kratkom vremenskom roku;</li> <li>▪ jednostavna manipulacija, ažuriranje podataka i mogućnost konvertovanja podataka iz jednog formata u drugi;</li> <li>▪ fleksibilnost u izboru razmere;</li> <li>▪ prikaz podataka po slojevima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ neophodnost visokoobučenog kadra;</li> <li>▪ velika početna ulaganja;</li> <li>▪ osetljivost na elektronska ometanja i informatička dejstva;</li> <li>▪ dug vremenski period izgradnje sistema.</li> </ul>

### 3. GEOGRAFSKI INFORMACIONI SISTEM VS

Racionalno organizovani skupovi računarskog hardvera, softvera, geoprostornih podataka i korisnika koji su projektovani tako da omogućavaju efikasno prikupljanje, čuvanje, sređivanje, manipulisane, analizu i prostorno prikazivanje geografskih i drugih informacija koji su od interesa za korisnika, predstavljaju samo jednu od mnogih definicija geografskog informacionog sistema (Maguire 1991).

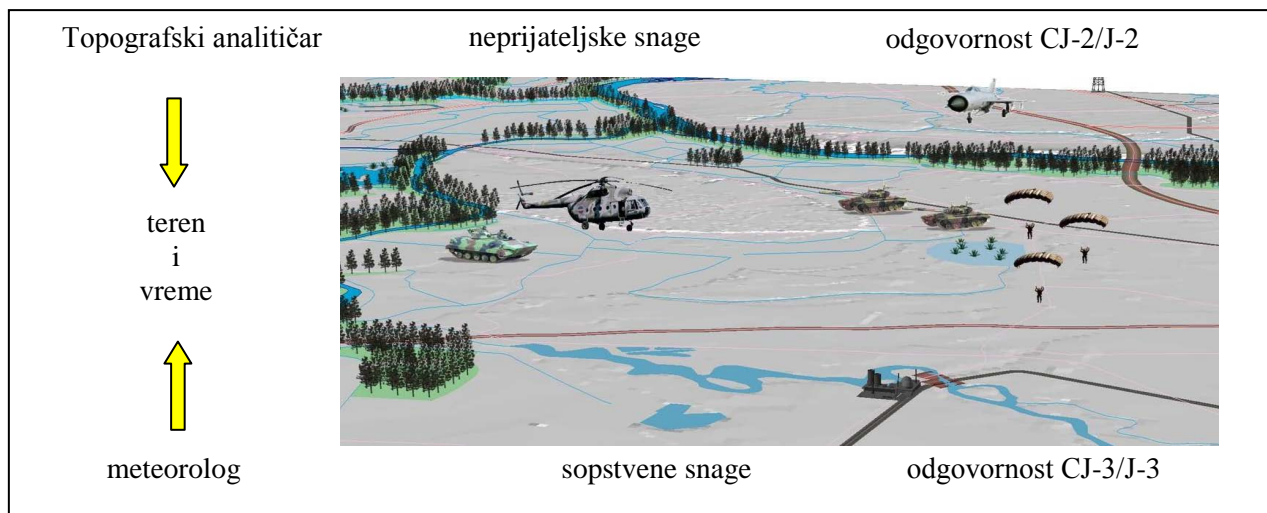
Sam proces analize podataka u digitalnom obliku sa odgovarajućom bazom podataka<sup>7</sup> obuhvata primenu niza matematički definisanih algoritama i postupaka čijom primenom se dobiju kvalitetni grafički, numerički i vektorski proizvodi koji su u najvećoj mogućoj meri oslobođeni subjektivnog uticaja analitičara na kvalitet ocene morfometrijskih karakteristika terena.

Osnovna namena Geografskog informacionog sistema Vojske Srbije (GIS VS) je da obezbedi brzu i efikasnu grafičku i numeričku analizu objekata i fizičko-geografskih karakteristika prostora, kao i vizuelizaciju operativnog okruženja kroz jedinstvenu operativnu sliku bojišta u cilju podrške planiranju,

<sup>7</sup> Baza podataka - logički skup povezanih podataka kojima se upravlja kao jednom jedinicom.

organizovanju i izvođenju borbenih i neborbenih dejstava i angažovanja Vojske Srbije u pružanja podrške civilnim strukturama vlasti u otlanjanju posledica elementarnih nepogoda i hemijskih akcidenata.

Vizuelizacija borbenog prostora je proces, pomoću kojeg komandant formira jasnu sliku trenutnog stanja sopstvenih snaga<sup>8</sup>, neprijateljskih snaga<sup>9</sup>, uticaja terena<sup>10</sup> i vremena<sup>11</sup> (slika 2) u datom prostornom okruženju, bez obzira na njegovu veličinu i kompleksnost. Ona omogućava da se mnogo jednostavnije sagledaju kompleksne relacije, koje postoje između prostornih elemenata. Vizuelizacijom se formira jedinstvena operativna slika, koja olakšava komunikaciju između obaveštajnih organa i korisnika obaveštajnih informacija. Zato se može reći da vizuelizacija ima značajnu ulogu u procesu operativnog planiranja i tokom komandovanja.



Slika 2: Vizuelizacija bojišta (FM<sup>12</sup> 3-34.230, 2000)

Vizuelizacija borbenog prostora nije samo proizvod savremene tehnologije i nauke, jer sama tehnologija ne može obezbediti komandantu u potpunosti vizuelizaciju borbenog prostora. Vizuelizacija je proizvod tehnologije u kombinaciji sa ljudskom komponentom, njegovim rasuđivanjem, iskustvom i intuicijom.

#### 4. PODACI O PROSTORU

Podaci o prostoru, dati na klasičan način u obliku karata koje predstavljaju svojevrsan vid prostornih baza podataka na papiru, nisu zanemarljive vrednosti i pružaju efektanu grafičku prezentaciju fizičko-geografskih i društveno-geografskih karakteristika terena. Visinska predstava data je pomoću izohipsi iscertanih sa propisanom ekvidistancijom uz dodatak odgovarajućeg broja iska

rtiranih tačaka sa ispisanim visinama (kote i trigonometrijske tačke) i specijalnim topografskim znacima koji predstavljaju karakteristične oblike, strukturne i prelomne linije terena. Ovako konvencionalno organizovane prostorne baze podataka imaju značajna ograničenja, pogotovo kada se radi o primeni savremenih metoda geoprostornih analiza<sup>13</sup>. Pretraga nad podacima je otežana i spora, a rezultati analiza prevashodno zavise od iskustva i znanja izvršioca.

Iako geografska karta predstavlja grafičku prezentaciju realnog sveta, realni svet je mnogo kompleksniji i detaljniji nego što se na karti može prikazati, pa se može reći da je karta samo jedna vrsta generalizovanog prikaza realnog sveta.

Primena savremenih tehnologija za prikupljanje, obradu, analizu i prezentaciju podataka o terenu, vodi nas iz dvodimenzionalnog sveta karata u trodimenzionalni svet digitalno modelovanih podataka koji omogućavaju modelovanje procesa i njihovu evaluaciju. Trodimenzionalni prikazi terena u vidu digitalnih

<sup>8</sup> Odgovornost za sagledavanje stanja sopstvenih snaga je na operativnim organima - SJ-3/J-3.

<sup>9</sup> Odgovornost za sagledavanje stanja neprijateljskih snaga je na obaveštajno-izviđačkim organima - SJ-2/J-3.

<sup>10</sup> Analizu terena obavlja topografski analitičar.

<sup>11</sup> Analizu vremena (meteo-uslova) obavlja meteorolog. Uloga meteorologa je da prati meteorološke elemente i pojave, izrađuje kratkoročne i dugoročne vremenske prognoze, prati vodostaje u ZO i ZI i daje hidrološke prognoze.

<sup>12</sup> ЕНГЛ. FM- Field Manual

<sup>13</sup> Geoprostorna analiza – skup analitičkih metoda koji zahtevaju pristup kako atributima proučavanog objekta, tako i njegovim lokacionim informacijama radi donošenja odgovarajućih zaključaka i informacija (Kukrika 2000).



modela, koji predstavljaju matematičku prezentaciju površi sa zahtevanom tačnošću su složeni sistemi koji se sastoje od velikog broja objekata, atributa objekata i nije ih lako vizuelizovati i analizirati.

Metodološki pristup koji se primenjuje u rešavanju ovako složenih sistema gde realni svet prikazujemo njegovim modelom je apstrakcija. Apstrakcija podataka je postupak pažljivog uključivanja i isključivanja detalja, prema potrebi konkretnog prikaza. Koristeći se različitim nivoima apstrakcije neki sistem se može jasno i detaljno opisati. Tako, na najvišem nivou apstrakcije opisivanje je lakše i jasnije, jer se uključuje mali broj ključnih detalja. Na nižim nivoima apstrakcije opisivanje je detaljnije, čime se uključuje sve veći broj detalja, kako bi se dobila kompletna slika.

Podatke o prostoru za potrebe analize objekata i fizičko–geografskih karakteristika prostora Republike Srbije, korisnici unutar sistema odbrane dobijaju od Vojnogeografskog instituta. Obaveza Vojnogeografskog instituta je da prikuplja podatke o objektima i fizičko–geografskim karakteristika prostora, brine o ažurnosti postojećih podataka i dostavlja podatke u vektorskom i rasterskom formatu korisnicima unutar sistema odbrane. Međutim, skorašnja dešavanja vezana za obilne poplave na teritoriji R. Srbije pokazala su da postoji potreba za preciznijim podacima o objektima i fizičko–geografskim karakteristikama prostora nego što su to potrebe vojske za većinu analiza koje se sprovode za potrebe planiranja i izvođenja borbenih dejstava i da ove podatke Vojnogeografski institut ne može da prikupi sam. S obzirom da se pokazalo da je potreba za preciznim podacima o objektima i fizičko–geografskim karakteristika prostora od šireg društvenog značaja treba razmisliti u budućnosti da se na prikupljanju ovih podataka uključe i drugi subjekti iz civilnih struktura društva i realizuju pojedini zajednički projekti na prikupljanju ovih podataka. Od velikog značaja bi bilo kada bi se za plavna područja, korita i obale vodenih tokova prikupili precizni podaci (položajni i visinski) i formirao digitalni model terena visoke rezolucije, na kojem bi se vršile analize ugroženosti od poplavnih talasa.

## 5. ZAKLJUČAK

Geoprostorni podaci objekata i fizičko–geografskih karakteristika prostora Republike Srbije u digitalnom obliku sa pratećom bazom podataka, uz primenu GIS alata, omogućavaju neograničeni broj kombinovanja različitih vrednosti objekata i fizičko–geografskih karakteristika zemljišta sa ciljem sagledavanja njihovog uticaja na izvođenje borbenih i neborbenih dejstava, pri čemu se dobijaju precizni podaci u kratkom vremenskom roku. Dobijeni podaci mogu se prezentovati u numeričkom, vektorskom i grafičkom obliku i mogu se lako kombinovati sa drugim vektorskim i rasterskim podacima, kao što su različite tematske karte, hidrometeorološki podaci i dr.

Podaci o prostoru koje Vojnogeografski institut obezbeđuje za potrebe korisnika sistema odbrane zadovoljavaju potrebe planiranja i izvođenja borbenih dejstava, ali ne i u potpunosti potrebe analize objekata i fizičko–geografskih karakteristika prostora prilikom angažovanja svojih kapaciteta u pružanju podrške civilnim strukturama vlasti u otklanjanju posledica elementarnih nepogoda i hemijskih akcidenata. Za obezbeđivanje preciznih geoprostornih podataka neophodno je angažovanje svih relevantnih institucija u zemlji koji poseduju ili se bave prikupljanjem geoprostornih podataka, pri čemu je neophodno da se uspostave standardni formati ovih podataka kako bi oni bili primenjivi.

## LITERATURA

- [1] Bolić, D. (2011). Menadžment obaveštajnih informacija i podataka, Novi glasnik, broj 1, Beograd.
- [2] Headquarters, Department of Army (2000). Joint Tactics, Techniques, and Procedures for Joint Intelligence Preparation of the Battlespace, Joint Publication 2-01.3., Washington DC.
- [3] Headquarters, Department of Army (2010). No. 3-34.80 Army Tactics, Techniques and Procedures, Washington, DC.
- [4] Headquarters, Department of Army (2000). Field Manual No 3-34.230 Terrain Analysis, Washington, DC.
- [5] Kukrika, M. (2000). Prostorni informacioni sistemi. Skripta. Geografski fakultet, Beograd.
- [6] Miladinović, B. (2007). Rad obaveštajnog organa u procesu donošenja odluke Združene operativne komande. Radovi slušalaca 50. klase ŠNO, Vojno delo br. 4, str. 199-223, Beograd.
- [7] Maguire, D.J., Goodchild, M.F. & Rhind, D.W. (1991). Geographical information systems: principles and applications. Longman Scientific & Technical.
- [8] National Geospatial – Intelligence Agency. (2004). Geospatial Intelligence Basic Doctrin, Geoint Publication 1, Washington, DC, June.

- [9] Snell, S. (2006). Dissemination and fusion of geographical data to provide distributed decision making in a Network-Centric environment. 9th International Command and Control Research and Technology Symposium.



## DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U MEDICINI

### REMOTE SENSING IN MEDICINE

MIODRAG REGODIĆ<sup>1</sup>, LJUBOMIR GIGOVIĆ<sup>1</sup>, BOBAN KUZMANOVIĆ<sup>2</sup>, NIKOLINA MIJIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, {mregodic62, gigoviclj}@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet

**Rezime:** Oduvek postoji realna potreba za neposrednim opažanjem i proučavanjem pojava čije dimenzije prelaze gornju granicu ljudskih mogućnosti. Iz potrebe da se dobiju novi podaci, da osmatranja i izučavanja budu objektivnija od dosadašnjih sinteza, prihvaćen je novi istraživački metod – daljinska detekcija. U radu su predstavljeni principi i elementi daljinske detekcije, kao i osnovni aspekti primene daljinskih istraživanja u analizi i interpretaciji rentgenskih snimaka u medicini. Primena postupaka daljinske detekcije moguća je u svim fazama obrade i analize rentgenskih snimaka u medicini. Pri tim istraživanjima se koriste snimci različitih osobina, a analiza i interpretacija se sprovodi vizuelnim i računarski podržanim postupcima.

**Ključne reči:** daljinska detekcija, medicina, rentgenski snimak, senzor.

**Abstract:** It has always been a real need to perceive (survey) directly and study the events whose extent is beyond upper limitations of people's possibilities. In order to get new data, to make observations and studying much more objective in comparison with so far syntheses - a new method of examination - called remote sensing - has been adopted. The paper deals with the principles and elements of remote sensing, as well as basic aspects of using remote researches in the analysis and interpretation of X-rays in medicine. Usage of remote sensing methods is possible in all phases of processing and analysis of X-rays in medicine. In these researches are used images of different characteristics, and the analysis and interpretation is carried out by viewing and computer added procedures.

**Keywords:** remote sensing, medicine, X-rays, sensor.

## 1. UVOD

Daljinska detekcija u užem smislu obuhvata analizu i interpretaciju različitih snimaka delova Zemljine površine, načinjenih sa površine terena, iz vazduha, ili iz kosmosa.

Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija putem sistema koji nisu u direktnom, fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom.

Kod realizacije postupaka daljinske detekcije jasno se može definisati i izdvojiti nekoliko direktno povezanih elemenata. U geonaukama, među koje spada i geodezija, objekat je fizička površina Zemlje. Objekat zrači elektromagnetnu energiju, koja nosi informacije o njegovim osobinama. Energija može biti sopstvena i reflektovana, koja je saopštena objektu iz prirodnog ili iz nekog veštačkog izvora. Energiju registruje senzor, koji se u najvećem broju slučajeva nalazi na pokretnoj platformi (zemljinom satelitu). Na osnovu složenog elektronskog sklopa senzora registrovani signal se prevodi u oblik pogodan za obradu, odnosno nastaje odgovarajući snimak u digitalnom ili analognom obliku. Zatim, sledi analiza snimljenog područja, interpretacija rezultata i na kraju upotrebljiva informacija (podatak) o snimljenom sadržaju. Ta informacija najčešće obuhvata saznanje o vrsti, granicama prostiranja i intenzitetu registrovanog fenomena (Pavlović, Čupković and Marković 2001).

## 2. PRINCIP DALJINSKE DETEKCIJE

Daljinska detekcija u užem smislu obuhvata analizu i interpretaciju različitih snimaka delova Zemljine površine, načinjenih sa površine terena, iz vazduha, ili iz kosmosa.

Kod realizacije postupaka daljinske detekcije jasno se može definisati i izdvojiti nekoliko direktno povezanih elemenata. U geonaukama, među koje spada i geodezija, objekat je fizička površina Zemlje.

Objekat zrači elektromagnetnu energiju, koja nosi informacije o njegovim osobinama. Energija može biti sopstvena i reflektovana, koja je saopštena objektu iz prirodnog ili iz nekog veštačkog izvora. Energiju registruje senzor, koji se u najvećem broju slučajeva nalazi na pokretnoj platformi (zemljinom satelitu). Na osnovu složenog elektronskog sklopa senzora registrovani signal se prevodi u oblik pogodan za obradu, odnosno nastaje odgovarajući snimak u digitalnom ili analognom obliku. Zatim, sledi analiza snimljenog područja, interpretacija rezultata i na kraju upotrebljiva informacija (podatak) o snimljenom sadržaju. Ta informacija najčešće obuhvata saznanje o vrsti, granicama prostiranja i intenzitetu registrovanog fenomena (Pavlović, Čupković and Marković 2001).

### **3. PRIMENA DALJINSKE DETEKCIJE U MEDICINI**

Među značajnije zadatke daljinske detekcije spadaju obrada i analiza snimaka. Pod snimkom se podrazumeva svaki zapis zračenja elektromagnetne energije, bez obzira na sredstvo i način prikaza. Pošto su principi nastanka snimaka u geodeziji i rendenografiji bazirani na emitovanju i apsorpciji delova spektra elektromagnetnih zračenja otuda vidimo povezanost snimka i mogućnosti obrade rendgenskih snimaka poboljšanjem njihovog kvaliteta primenom metoda daljinske detekcije. Pošto se u radu govori o rendgenskoj stereofotogrametrijskoj analizi (RSA), kao najpreciznijoj rendgenskoj tehnici koja za rezultat daje stereopar rendgenskih snimaka koji se kasnije koriste u postupku otkrivanja mikropokreta endoproteze kuka ili kolena korišćenjem odgovarajućih softvera, moguće je prethodnim objašnjenjem govoriti o povezanosti oblasti medicine i geodezije, i time primeniti daljinsku detekciju u medicini putem obrade rendgenskih snimaka, odnosno u ovom slučaju poboljšanju kvaliteta rendgenskog snimka koji nastaje kao proizvod snimanja rendgenom. Tako nastao snimak kasnije ima upotrebu u analizi mikropokreta ugrađenih proteza u konvencionalnoj analizi, dok je rendgenska stereofotogrametrijska analiza (RSA) jedan od načina analize pomeranja nastao kao rezultat rada medicinskih stručnjaka.

#### **Roentgen Stereophotogrammetric Analysis**

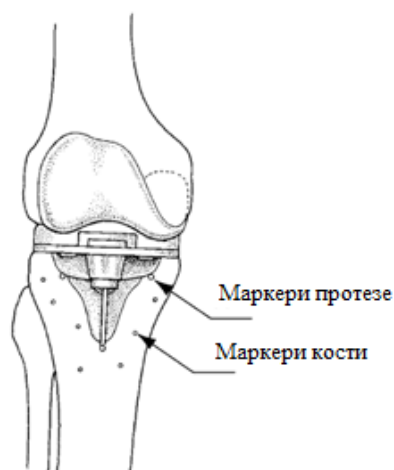
Roentgen Stereophotogrammetric Analysis (RSA) je najpreciznija rentgenska tehnika za 3D analizu mikropokreta ortopedskih implantata. Publikovana preciznost RSA je između 0.05 i 0.5 mm za translacije i između 0.15" i 1.15" za rotacije. Zbog visoke preciznosti RSA, male grupe pacijenata su dovoljne za studiju efekta na prostetične fiksacije zbog promena u dizajnu implanta, dodatka (coatings - preslojeva ili premaza), ili nove koštane materije. Analizom mikropokreta u protezi tokom kratkog vremena (npr. dve godine) RSA studije, može da se proceni šansa za dugotrajno (npr. deset godina) popuštanje proteze. Znači, RSA je bitan alat za merenje novih promena u protezama, i da prevenira da se velike grupe pacijenata izlažu potencijalno inferiornim vrstama. U ovom radu su objašnjene osnove RSA tehnike, a značaj kliničkih RSA studija je ilustrovan sa dva primera kliničkih RSA studija u kojima je RSA prikazala jako bitne informacije. Zbog toga su prikazana dva nova postupka RSA, koja se koriste u Medicinskom centru Univerziteta Lajden: digitalna automatska merenja u RSA radiografima i modelski-zasnovana RSA.

RSA je najpreciznija rentgenska tehnika kod praćenja mikropokreta ortopedskih proteza. Da bi se dostigla ta preciznost, nekoliko koraka mora da se preduzme koji čine ovu tehniku jako komplikovanom u kliničkim uslovima.

#### ***Markeri kosti i proteze***

Za precizno merenje migracija u RSA radiografima, obeležja kosti nisu jasna. Da bi dobili jasno definisane tačke merenja, tantalum perle se ugrađuju u kost posebnim instrumentom za inserciju. Ove perle imaju dijametar 0.5, 0.8 ili 1mm. Zbog njihove male veličine i sfernog oblika, na njihovu projekciju neće uticati promene u poziciji pacijenta ili pozicija fokusa rentgena. Zbog toga, pozicija ovih markera može da se meri sa visokom preciznošću. Zato što veličina proteza nema obeležja koja se mogu meriti na zadovoljavajući način, moraju da budu obeležene sa najmanje tri nekolinearna markera.

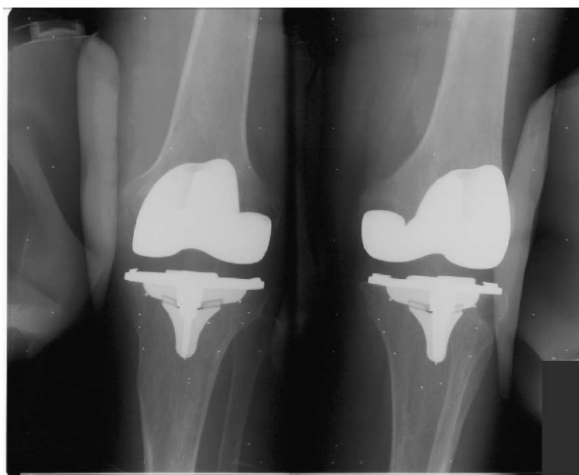




**Slika 1.** Markeri kosti i proteze

### ***Merenje 2D projekcija markera***

Kada se izvrši RSA radiografija (Figura 4.), koordinate kosti i prostetski marker moraju da se precizno izmere. U konvencionalnim RSA istraživanjima, ovo se radilo pomoću stola za merenje, manuelnim upravljanjem i sa preciznošću od 0.02 mm. Manuelna digitalizacija pozicije markera je prilično naporan posao i traje i do 45 minuta po filmu. Zbog toga je razvijen softver koji automatizuje ovaj zadatak, i drastično smanjuje vreme potrebno za analizu.



**Slika 2.** Rentgenski snimak potpune proteze kolena

Na slici 2 prikazan je rentgenski snimak potpune proteze kolena sa dva sinhronizovana rendgenska snopa. Na snimku se vide markeri na kalibracionoj kutiji kao i markeri proteze i markeri kosti.

### ***Transformacija iz radiografskih koordinata u slikovne koordinate***

Da bi odredili 3D poziciju markera i obeležja u protezi, izmerene koordinate moraju biti transformisane na niži nivo transformacione skale (skale snimka). To se ostvaruje pomoću ove dve jednačine:

$$x_{fid,i} = \frac{l_1 x_{rad,i} + l_2 y_{rad,i} + l_3}{l_7 x_{rad,i} + l_8 y_{rad,i} + l} \quad i = 1, \dots, n; \quad (1)$$

$$y_{fid,i} = \frac{l_4 x_{rad,i} + l_5 y_{rad,i} + l_6}{l_7 x_{rad,i} + l_8 y_{rad,i} + l} \quad i = 1, \dots, n; \quad (2)$$

gdje je  $(x_{fid,i} \ y_{fid,i})$  dvodimenzionalni vektor slikovnih koordinata tačaka,  $(x_{rad,i} \ y_{rad,i})$  2D vektor radiografskih koordinata tačaka, i n je broj tačaka.

l-parametri se određuju korišćenjem poznatih pozicija mernih markera snimka na kalibracionoj skali i njihovih izmerenih vrednosti na radiografu. Najmanje četiri nelinearna merna markera snimka i njihove

projekcije su potrebne da bi se preračunali 1 parametri. Parametri se prvo određuju linearno. Zbog toga, jednačine 1 i 2 su prepisani, tako da su linearni 1 parametrima:

$$x_{fid} = l_1 x_{rad,i} + l_2 y_{rad,i} + l_3 - l_7 x_{rad,i} + l_8 y_{rad,i} \quad (3)$$

$$y_{fid,i} = l_4 x_{rad,i} + l_5 y_{rad,i} + l_6 - l_7 x_{rad,i} + l_8 y_{rad,i} \quad (4)$$

Rešenje ovog problema nalazi se izvršenjem QR-dekompozicije (Gloub and Van Loan 1989). Ova linearna procena se koristi kao početna tačka za ne-linearni Njuton-Gaus algoritam. Funkcija koja se koristi je:

$$J = e^t e \quad (5)$$

Vektor greške  $e$  i jakobijan funkcija  $J$  su funkcije 1 parametara. Da bi se odredili smerove pretrage za optimizaciju, Jacobean mora da se odredi:

$$jac = \frac{\partial J}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial l} \quad (6)$$

Izraz za Newton-Gauss-u optimizaciju je:

$$l_{new} = l_{old} - (Jac^t Jac)^{-1} (Jac^t e) \quad (7)$$

Gdje  $l_{new}$  sadrži 1 parameter koji su rezultat sadašnjeg koraka optimizacije i  $l_{old}$  je rezultat prethodnog koraka optimizacije. Kada se odrede 1 parametri, tačke koje su merene na rendgenskim snimcima se transformišu u koordinati sistem snimka kao u jednačinama 1 i 2.

Kvalitet ove transformacije se izražava kao daljina između markera na snimku i njihove transformisane projekcije.

### ***Izračunavanje pozicije fokusa***

Sledeći korak u kalibraciji je određivanje položaja oba rentgenska fokusa. Za ovo određivanje se koriste markeri na gornjoj ravni kalibracione kutije, kontrolni markeri. Pomoću ovih markera  $c_i$  i njihove transformisane projekcije  $c'_i$  određuju se projekcione linije:

$$r_i(\alpha_i) = c_i - \alpha_i(c_i - c'_i) \quad (8)$$

$$-\infty < \alpha_i < \infty \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

Gde  $n$  predstavlja broj markera koji se koriste. U idealnim uslovima, ove linije se u određenom trenutku seku. Ipak, greške u merenju se dešavaju i pozicija fokusa  $f$  mora da se odredi rešavanjem metodom "the least squares problem":

$$\min_{f, \alpha_i} \left\| \begin{bmatrix} (c'_1 - c_1) & 0 & \dots & 0 & l_3 \\ 0 & (c'_2 - c_2) & & \vdots & l_3 \\ \vdots & & \ddots & 0 & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & (c'_n - c_n) & l_3 \end{bmatrix} \right\| \quad (10)$$

$$x \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \\ f \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (11)$$

Pozicija fokusa  $f$  se određuje QR-dekompozicijom.

### ***Izračunavanje 3D pozicija markera***

Određivanje 3D pozicije tantalum markera je slično određivanju pozicije fokusa. Projekcije markera u dve slike su označene kao  $t_1$  i  $t_2$ . Pozicije dva rentgenska fokusa su označene kao  $f_1$  i  $f_2$ . Jednačine projekcionih linija koje povezuju transformisane projekcije i odgovarajuće fokuse su:

$$l_1(\alpha) = f_1 + \alpha(f_1 - t_1) \quad -\infty < \alpha < \infty, \quad (12)$$

$$l_2(\beta) = f_2 + \beta(f_2 - t_2) \quad -\infty < \beta < \infty, \quad (13)$$

3D pozicija markera je pozicija u kojoj se ove dve linije seku. Ipak, zbog greške u merenju, ove linije se neće seći nego će da se podudare u kratkoj dužini. Pretpostavlja se da je 3 D pozicija markera  $r$  u sredini

najkraće linije koja povezuje dve projekcione linije. Dužina ove najkraće linije se označava kao “crossing linear error” (podudarajuća linearna greška). 3D pozicija od p je rešenje od “least squares problem”:

$$\min_{p,\alpha,\beta} \left\| \begin{bmatrix} (t_1 - f_1) & 0 & l_3 \\ 0 & (t_1 - f_1) & l_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ p \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} \right\| \quad (14)$$

i određuje se QR-dekompozicijom.

### **Kretanje krutih tela**

Kada se odrede 3 D pozicije markera, kretanje kosti u odnosu na protezu može da se izračuna. Markeri kosti funkcionišu kao referenca krutog tela pomoću koje se mogu izračunati pokreti drugog krutog tela – proteze. Pošto se pacijenti ne mogu staviti u identičnu poziciju i orijentaciju tokom kontrola, pozicija i orijentacija ovog referentnog krutog tela se menja. Da bi dobili istu poziciju i orijentaciju kosti, koštani markeri u prvom i svakom sledećem radiografu se nameštaju (na način da se apsolutno podudaraju). I posle toga, relativno kretanje proteze u odnosu na kost može da se izračuna. Rezultati merenja ovih pokreta mogu biti rotaciona matrica i translacioni vektor.

### **Izračunavanje rotacione matrice i translacijskog vektora**

Neka je n broj tačaka na krutom telu, neka  $a_1 \dots a_n$  budu pozicije ovih tačaka u slučaju 1 i neka  $b_1 \dots b_n$  budu pozicije u slučaju 2. Za određivanje rotacione matrice M i translacionog vektora  $d$  potrebno je rešiti sledeću jednačinu:

$$\min_{M,d} \sum_{i=1}^n \|Ma_i + d - b_i\|^2 \quad (15)$$

tako da je M ortogonalana matrica.

Ovaj problem se može rešiti na nekoliko načina (Spoor and Veldpaus 1980, Veldpalus et al. 1988), ali najbolji način rešavanja je predstavio Soderkvist (1990). Ovaj metod, zasnovan na “singular value decomposition” predstavljen je u ovom radu. Jednačina za d je po Soderkvistu:

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (b_i - Ma_i) = b - Ma \quad (16)$$

M je ortogonalana rotaciona matrica i d je translacioni vektor.

Kada se ovaj izraz uvede u jednačinu (13), jedina nepoznata ostaje M:

$$\min_M \sum_{i=1}^n \|M(a_i - \bar{a}) - (b_i - \bar{b})\|^2 \quad (17)$$

Definisanjem  $A = [a_1 - \bar{a}, \dots, a_n - \bar{a}]$  i  $B = [b_1 - \bar{b}, \dots, b_n - \bar{b}]$  nastaje zapis:

$$\min_M \|MA - B\| \quad (18)$$

u kojem je M ortogonalna matrica. Rešenje rotacione matrice je:

$$M = UV^t \quad (19)$$

u kojoj je

$$BA^t = U \Sigma V^t \quad (20)$$

zapravo “singular value decomposition”. Rešenje za d se nalazi kada se M uvede u jednačinu 2.

### **Relativno kretanje**

U kliničkim RSA studijama je obično potrebno znati kretanje proteze u odnosu na okolnu kost. To znači da nas interesuje relativno kretanje između dva rigidna (kruta) tela. Kada se ova tela označe sa A i V, te kada se izračuna relativno kretanje između vremena  $t_0$  i  $t_1$ , samo kretanje se može izračunati kao:

$$A_{t_1} \approx M_A A_{t_0} + d_A u^t \quad B_{t_1} \approx M_B B_{t_0} + d_B u^t \quad (21)$$

gdje je  $u^t = [1, \dots, 1]$ .

Relativna rotacija može da se izrazi:

$$M_{rel} = M_A^t M_B \quad (22)$$

Kada se originalni vektor o pozicionira u geometrijski centar od  $A_{t_0}$  dobija se:

$$o = \frac{1}{n_A} \sum_{i=1}^{n_A} A_{t_0,i} \quad (23)$$

Relativna translacija može biti:

$$d_{rel} = M_A^t (d_b - d_A) + (M_{rel} - I_3) o \quad (24)$$

gdje je  $I_3$  matrica ujedinenja. Translacioni vektor  $d$  koji je izračunat jednačinom 22 može da bude nejasan kliničarima. Zbog toga, razlike u poziciji geometrijskog centra krutog tela u dva momenta u vremenu se obično prezentuju umesto  $d_{rel}$ .

## 5. ZAKLJUČAK

Danas se ne može zamisliti razvoj ni jedne oblasti ljudskog delovanja bez uključivanja informacija koje se dobijaju postupcima daljinske detekcije.

Daljinska detekcija je našla veliku primenu u mnogim oblastima, pa tako i u oblasti medicine u obradi rentgenskih snimaka.

Obrada rendgenskih snimka se vrši prvenstveno za konvencionalnu upotrebu analize i praćenja zdravstvenog stanja pacijenta od strane stručnog lica, dok se i dalje vrše usavršavanja na postupcima obrade snimaka i primenama u zahtevnijim modelima sa aspekta preciznosti. Tu spada i rendgenska stereofotogrametrijska analiza koja je visoko precizna, ali prilično komplikovana tehnika merenja za otkrivanje, praćenje i analizu mikropokreta proteza. Zato što su mikropokreti bitan indikator neadekvatne fiksacije proteze, ekstenzivni i kratkotrajni mikropokreti mogu indikovati totalnu reviziju proteze. Sa konvencionalnim rentgen tehnikama, otkrivanje pomeranja proteze može biti realizovano samo u dužem evaluacionom periodu. Nejasnoća prikaza rendgenskog snimka, mrlje, zacrnjenje ili slični nedostaci u velikoj meri otežavaju ocenu stanja proteze, uzrokuju gubitak vremena i povećanje troškova usled ponovnog snimanjem koje ne garantuje poboljšanje prethodno snimljenog rendgenskog snimka. Stoga je prikazani način obrade snimka od velikog značaja i pomaže u svim navedenim aspektima.

## LITERATURA

- [1] Oluić, M. (2001). Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat, Zagreb.
- [2] Pavlović, R., Čupković, T. & Marković, M. (2001). Daljinska detekcija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [3] Regodić, M., Sekulović, D. & Živković, L. (2010). Primena daljinske detekcije pri istraživanjima meteoroloških parametara, Međunarodno savetovanje – ENERGETIKA 2010., Zlatibor, list ENERGIJA.
- [4] Regodić, M. & Sekulović, D. (2010). Primena satelitskih snimanja pri praćenju atmosferskih pojava, SYM-OP-IS 2010., Tara, Zbornik radova.
- [5] Regodić, M., Sekulović, D., Ćirović, G., Tadić, V. & Drobnjak, S. (2013). Comparative analysis of pixel-based and object-oriented classification b using multi-spectral Spot 5 images, TTEM,
- [6] <http://gf-sa.com/clanci/Seminarski-rad-TERMALNA-DALJINSKA-ISTRA%C5%BDIVANJA-Haris-Ruznic.pdf>
- [7] <http://static.astronomija.co.rs/astronautika/NASA/shuttle/shuttle/brzina.htm>

**GRAĐEVINARSTVO**

## OPTIMIZACIJA FRP/AB GREDA PRIMENOM METODE SISTEMA NAELEKTRISANJA

### DESIGN OPTIMIZATION OF FRP/RC BEAM USING CHARGED SYSTEM SEARCH

GORAN ČIROVIĆ<sup>1</sup>, SNEŽANA MITROVIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN NIKOLIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, {cirovic, mitrozs}@sezampro.rs, dotrun.bgd@gmail.com

**Rezime:** Kao alternativa konvencionalnim matematičkim pristupima pojavile su se meta-heurističke optimizacione tehnike za pronalaženje optimalnog ili njemu bliskog rešenja. Ovakve metode su približne, zasnivaju se na pravilima verovatnoće. Cilj ovog rada je prezentovanje novog optimizacionog algoritma koji se bazira na principima fizike i mehanike, koji se zove metoda sistema naelektrisanja – Charged System Search (CSS). Zasniva se na Kulonovom zakonu iz fizike i Njutnovim zakonima iz mehanike. Razmatran je problem optimalnog dimenzionisanja i ojačanja grednog nosača sa FRP materijalima opterećenog na savijanje.

**Ključne reči:** Metoda sistema naelektrisanja, frp materijali, AB greda, optimizacija

**Abstract:** As an alternative to the conventional mathematical approaches meta-heuristic optimization techniques have emerged for finding optimal or close to optimal solutions. These methods are approximate, based on the rules of probability. The aim of this paper is presenting a new optimization algorithm, based on the principles of physics and mechanics, which is called Charged System Search (CSS). It is based on Coulomb's law of physics and Newton's laws of mechanics. The problem of optimal RC beam design and flexural strengthening with FRP materials were considered.

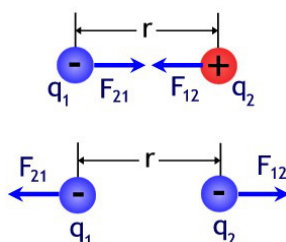
**Keywords:** Charged System Search, frp reinforcement, RC beam, optimization

#### 1. UVOD

Mudrost i znanje iskazani kroz ponašanje živog sveta privlače pažnju velikog broja naučnika, koji pomoću matematičkih algoritama, više od pola veka rešavaju probleme optimizacije. Ova poslednja dekada se vezuje za istraživanja fizičkih procesa, elektriciteta, magnetizma, gravitacije, vodenih tokova u prirodi, zvuka ili ritma.

Kao alternativa konvencionalnim matematičkim pristupima pojavile su se meta-heurističke optimizacione tehnike za pronalaženje optimalnog ili njemu bliskog rešenja. Sa obzirom da su ovakve metode približne, zasnivaju se na pravilima verovatnoće. Cilj ovog rada je prezentovanje novog optimizacionog algoritma koji se bazira na principima fizike i mehanike, koji se zove metoda sistema naelektrisanja – Charged System Search (CSS). Zasniva se na Kulonovom zakonu iz fizike i Njutnovim zakonima iz mehanike.

Još u antičkoj Grčkoj, oko 500 godina pre nove ere, je bilo poznato da ćilibar, kada se protrlja, privlači komadiće slame. Današnja reč za elektricitet je izvedena upravo iz grčke reči za ćilibar (elektron). Između naelektrisanih čestica koje miruju javljaju se elektrostatičke sile. Šarl-Ogisten de Kulon (fr. *Charles-Augustin de Coulomb*; 1806 - 1736) je bio francuski fizičar. Najpoznatiji je po otkrivanju zakonitosti u elektrotehnici, koja je nazvana Kulonov zakon a kojim je definisana elektrostatička sila privlačenja i odbijanja, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1: Interakcija dve naelektrisane čestice

Elektrostatička (Kulonova) sila zavisi od količina naelektrisanja čestica i rastojanja u određenoj sredini. Sila kojom se privlače ili odbijaju dva tačkasta naelektrisanja upravo je proporcionalna njihovim količinama elektriciteta, a obrnuto proporcionalna kvadratu međusobnog rastojanja. Tačkasto naelektrisanje je naelektrisanje koje ima određenu količinu električnog opterećenja i nema dimenzije. U praksi se za tačkasta naelektrisanja smatraju pozitivno i negativno naelektrisane čestice i sva naelektrisana tela čije su dimenzije zanemarljive u odnosu na rastojanje između njih.

$$F_{12} = F_{21} = F \quad (1)$$

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (2)$$

gde je  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ , a dielektrična konstanta vakuuma  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ .

Prema shvatanjima savremene fizike, svako uzajamno delovanje (osim mehaničkog) prenosi se posredstvom fizičkog polja. Fizička polja se prostiru brzinom svetlosti. Polje u okolini naelektrisanog tela koje miruje naziva se elektrostatičko polje  $E$ . Ako se u neku tačku polja, na rastojanju  $r$  od naelektrisanja  $q$ , koje je pobudilo to polje, unese neko probno naelektrisanje  $q_p$  (naelektrisanje koje je tako malo da njegovo polje zanemarljivo deluje na promenu polja izazvanog od naelektrisanja  $q$ ), tada će, na to uneto naelektrisanje, saglasno Kulonovom zakonu, delovati sila  $F$ . Odnos sile kojom polje deluje na  $q_p$  i vrednosti  $q_p$  je  $E = F/q_p$ . Smer polja je od pozitivno naelektrisanog tela i ka negativno naelektrisanom telu.

Posmatra se izolovana puna sfera radijusa  $a$ , sa ravnomernim pozitivnim naelektrisanjem po zapreminskoj masi  $qi$ . Električno polje  $E_{ij}$  u tački izvan sfere se definiše kao

$$E_{ij} = k_e \frac{q_i}{r_{ij}^2} \quad (3)$$

Dejstvo grupe tačkastih naelektrisanja se dobija prostim sumiranjem iznosa električnih polja svake pojedinačne tačke. Elektrostatički fluks je skalarna veličina uvedena radi jednostavnijeg izražavanja kvantitativnih pokazatelja elektrostatičkog polja nego što je to moguće preko vektora jačine polja (rad sa skalarima je jednostavniji nego sa vektorima). Prema Gausovoj teoremi, u svakom električnom polju fluks vektora elektrostatičkog polja kroz zatvorenu površinu jednak je algebarskom zbiru svih količina elektriciteta koje su obuhvaćene tom površinom. Gausova teorema se izražava jednačinom:

$$\psi = \iint_s \vec{D} \cdot d\vec{S} = \sum_s q \quad (4)$$

Ako se provodno nanaelektrisano telo unese u električno polje, sile polja će djelovati na njegova elementarna naelektrisanja. Pozitivna elementarna naelektrisanja (protoni) su vezani za jezgra atoma i nemaju mogućnost pomeranja, dok će se slobodni elektroni kretati kroz provodno telo u smeru suprotnom od smera električnog polja.

## 2. CHARGE SYSTEM SEARCH

U CSS, naelektrisane čestice (CPs) ili kandidati za optimalna rešenja  $\mathbf{X}_i$  se tretiraju kao naelektrisane sfere radijusa  $a$ , koja izazvati međusobne električne sile u skladu sa Kulonovim zakonom i Gausovim zakonima elektrostatičke. Rezultanta deluje na svaku česticu stvarajući ubrzanje prema Njutnovom II zakonu, tako da se može odrediti pozicija svake pojedinačne čestice. Magnituda za čestice koje se nalaze unutar sfere je proporcionalna udaljenosti između čestica, a za čestice koje se nalaze izvan sfere je obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja između naelektrisanih čestica. Bolja rešenja su ona koja imaju veću količinu naelektrisanja,  $fit(i)$ . Sa tim u vezi, navode se sledeća pravila (Kaveh and Talatahari 2010):

- Svaka čestica poseduje intenzitet naelektrisanja ( $q_i$ ) i to rezultuje električno polje oko njene površine. Intenzitet elektriciteta se definiše u zavisnosti od kvaliteta rešenja, kako sledi

$$q_i = \frac{fit(i) - fit_{worst}}{fit_{best} - fit_{worst}}, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Rastojanje između čestica  $r_{ij}$  je

$$r_{ij} = \frac{\|X_i - X_j\|}{\|(X_i - X_j) / 2 - X_{best}\| + \epsilon} \quad (6)$$

gde su  $X_i$  i  $X_j$  pozicije  $i$ -te i  $j$ -te čestice, a  $\epsilon$  je mali pozitivni broj da bi se izbegao singularitet.

- Inicijalna pozicija naelektrisane čestice se određuje po principu slučajnosti u prostoru istraživanja.

$$x_{i,j}^{(0)} = x_{i,\min} + rand \cdot (x_{i,\max} - x_{i,\min}), i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

gde  $x_{i,j}^{(0)}$  određuje inicijalnu vrednost  $i$ -te promenljive za  $j$ -tu naelektrisanu česticu,  $x_{i,\min}$  i  $x_{i,\max}$  su minimalne i maksimalne dozvoljene vrednosti za  $i$ -tu promenljivu,  $rand$  je slučajan broj iz intervala  $[0,1]$ , a  $n$  je broj promenljivih.

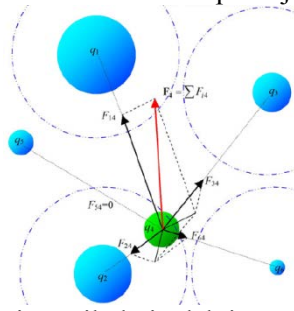
- Razmatraju se tri uslova vezana za vrstu međusobnih delovanja:
  - bilo koja čestica može da deluje na okolne čestice, pa čak i one loše
  - jedna naelektrisanu čestica može da privuče drugu ako je intenzitet njenog naelektrisanja veći

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ fit}(j) > \text{fit}(i) \\ 0 \text{ else} \end{cases} \quad (8)$$

- sve dobro naelektrisane čestice privlače loše, a samo neke loše privlače dobre, prema verovatnoći

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 \frac{\text{fit}(i) - \text{fit}_{best}}{\text{fit}(j) - \text{fit}(i)} > rand \vee \text{fit}(j) > \text{fit}(i) \\ 0 \text{ else} \end{cases} \quad (9)$$

Tokom razvijanja algoritma, dobro naelektrisane čestice unapređuju svoje karakteristike.



**Slika 2:** Određivanje rezultujuće električne sile koja deluje na nael. čestice (Kaveh and Talatahari 2010)

- Vrednost rezultante, slika 2, se određuje prema formuli:

$$F_j = q_j \sum_{i, i \neq j} \left( \frac{q_i}{a^3} r_{ij} \cdot i_1 + \frac{q_i}{r_{ij}^2} \cdot i_2 \right) p_{ij} (X_i - X_j), \begin{cases} j = 1, 2, \dots, N \\ i_1 = 1, i_2 = 0 \Leftrightarrow r_{ij} < a \\ i_1 = 0, i_2 = 1 \Leftrightarrow r_{ij} \geq a \end{cases} \quad (10)$$

Prema ovom pravilu, u prvoj iteraciji gde su čestice međusobno daleke, intenzitet rezultante koja deluje na česticu je obrnuto proporcionalan kvadratu rastojanja između njih. Nakon više iteracija, rastojanja među česticama se smanjuju, a rezultujuća sila postaje proporcionalna međusobnom rastojanju.

- Nova pozicija i intenzitet naelektrisanja svake čestice se određuju prema formuli:

$$X_{j,new} = rand_{j1} \cdot k_a \frac{F_j}{m_j} \Delta t^2 + rand_{j2} \cdot k_v \cdot V_{j,old} \cdot \Delta t + X_{j,old} \quad (11)$$

$$V_{j,new} = \frac{X_{j,new} - X_{j,old}}{\Delta t} \quad (12)$$

gde je  $k_a$  koeficijen ubrzanja,  $k_v$  je koeficijent intenziteta da bi se kontrolisao uticaj prethodnih intenziteta,  $m_j$  je masa  $j$ -te čestice koja je jednaka sa  $q_j$ , a  $\Delta t$  je ujednačeni vremenski interval.

- Utvrđuje se mehanizam pamćenja – Charged Memory (CM) da bi se sačuvala dobra rešenja.
- Utvrđuju se granične vrednosti intenziteta naelektrisanja, kako bi se izbeglo ulaženje u lokalne ekstremume.
- Definiše se max. broj iteracija, ili se proces prekida kada se jedno rešenje ponavlja više puta.

### 3. PRIMENA FRP KOMPOZITA

Polimer-kompozitni materijali ojačani vlaknima (fiber reinforced polymer - FRP) predstavljaju grupu materijala koji se sastoje od polimera ojačanih različitim tipovima kontinualnih vlakana. Primarnu primenu našla su u avionskoj, vojnoj i svemirskoj industriji. U poslednjoj deceniji sve više se upotrebljava i u



građevinarstvu, pre svega pri sanaciji i ojačanju armirano- betonskih (AB), zidanih i drvenih konstrukcija. Polimerna matrica se najčešće sastoji od epoksidnih smola ojačanih karbonskim ili staklenim vlaknima.

Tokom eksploatacionog veka, AB konstrukcije su izložene raznim nepovoljnim uticajima koji dovode do različitih oblika degradacije betona i armature. Glavni faktori koji doprinose promenama eksploatacionih karakteristika objekata odnose se na nanošenje prekomernog opterećenja, prenamenu objekta, primenu novih standarda i preporuka pri projektovanju, kao i incidentna opterećenja koja potiču od zemljotresa i požara.

### 3.1 Proračun FRP/AB greda prema graničnom stanju nosivosti

Granično stanje loma AB greda ojačanih spoljašnjim lepljenjem FRP armature uzrokuje znatno više mehanizama loma nego kod armirano-betonskih i prednapregnutih greda.

Mehanizmi loma FRP/AB greda opterećenih na savijanje mogu biti uzrokovani lomom koji nastaje bez gubitka veze betona i FRP elementa ili lomom koji nastaje prethodnim gubitkom veze betonskog i FRP elementa. Model loma kada dolazi do dostizanja granice razvlačenja čelika, praćen lomom u betonu, dok FRP element ostaje neoštećen je najavljena i poželjna vrsta loma kojem se teži u smernicama navedenim u preporukama fib-a (Folić and Glavardanov 2009, The International Federation for Structural Concrete 2001). Lom po betonu, pre dostizanja granice razvlačenja čelične armature, pri čemu FRP element ostaje neoštećen nije dozvoljen.

Na početku, pre ojačanja poprečnog preseka potrebno je razmotriti uticaj inicijalnog opterećenja. Raspodelu dilatacija duž poprečnog preseka grede, tokom njenog ojačanja na mestu maksimalnih uticaja, moguće je proceniti na osnovu teorije elastičnosti i vrednosti momenta  $M_o$  za granično stanje upotrebljivosti (bez množenja sa faktorima sigurnosti).

Za presek sa prslineom pre ojačanja, položaj neutralne ose se može odrediti na osnovu:

$$\frac{1}{2}bx_0^2 + (\alpha_s - 1)A_{s2}(x_0 - d_2) = \alpha_s A_{s1}(d - x_0) \quad (13)$$

gde je  $\alpha_s = \frac{E_s}{E_c}$ ,  $E_s$  – modul elastičnosti čelika i  $E_c$  – modul elastičnosti betona. Dilatacija pritisnute ivice betona data je izrazom:

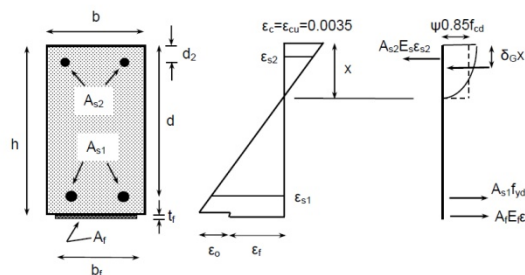
$$\varepsilon_{co} = \frac{M_o x_0}{E_c I_{o2}} \quad (14)$$

gde je:

$$I_{o2} = \frac{bx_0^3}{3} + (\alpha_s - 1)A_{s2}(x_0 - d_2)^2 + \alpha_s A_{s1}(d - x_0)^2 \quad (15)$$

Dilatacija zategnute ivice betona, čiju vrednost je potrebno izračunati da bi se mogla odrediti dilatacija FRP armature data je izrazom:

$$\varepsilon_o = \varepsilon_{co} \frac{h - x_0}{x_0} \quad (16)$$



**Slika 3:** Dimenzije, raspodela dilatacija i napona duž poprečnog preseka nakon ojačanja (The International Federation for Structural Concrete 2001)

Položaj neutralne ose nakon ojačanja moguće je odrediti na osnovu ravnoteže unutrašnjih sila:

$$0.85\psi f_{cd}bx + A_{s2}E_s\varepsilon_{s2} - A_{s1}f_{yd} = A_f E_{fu}\varepsilon_f \quad (17)$$

dok su dilatacije u zategnutoj armaturi i FRP armaturi respektivno date izrazima:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \frac{d - x}{x} \quad (18)$$

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \frac{h-x}{x} - \varepsilon_0 \quad (19)$$

Granični moment savijanja jednak je:

$$M_{Rd} = A_{s1} f_{yd} (d - \delta_G x) + A_{s2} E_s \varepsilon_{s2} (\delta_G x - d_2) + A_f E_{fu} \varepsilon_f (f - \delta_G x) \quad (20)$$

#### 4. OPTIMIZACIJA FRP/AB GREDA PRIMENOM METODE SISTEMA NAELEKTRISANJA

Problem optimizacije FRP/AB greda je analiziran je za granično stanje nosivosti pravougaonog poprečnog preseka prema kriterijumu minimalne cene. Za CSS algoritme prikazane u literaturi (Kaveh and Talatahari 2010, 2011, Talatahari et al. 2012) napisana je MATLAB funkcija kojom je analiziran problem optimalnog dimenzionisanja pravougaonog poprečnog preseka grede opterećene na čisto savijanje za inicijalno stanje prema EN 1992-1-2 (EC2), a potom i neophodno ojačanje FRP armaturom. Problem ojačanja grede tretiran je kroz povećanje eksploatacionog i graničnog momenta savijanja u iznosu od 15%.

Ciljna funkcija data u izrazu (21) predstavlja cenu materijala (betona, armature i FRP materijala) m' grednog nosača. Nisu uzeti u obzir troškovi oplata, ugradnje i nege betona, armiračkih radova, jer zavise od raspoložive mehanizacije preduzeća i za svako preduzeće predstavljaju manje-više konstantnu vrednost.

Problem optimizacije analiziran je za 5 nezavisnih promenljivih parametara (Ćirović et al. 2012):

- klasa čvrstoće betona C
- visina poprečnog preseka d
- površina zategnute čelične armature A<sub>a</sub>
- udaljenost neutralne ose od pritisnute ivice preseka x
- površina zategnute FRP armature A<sub>f</sub>

$$f_{\min} = c_b A_b + c_a A_a + c_{frp} A_{frp} \quad (21)$$

gde je:

- cena betona za jediničnu dužinu grede  $c_b = 57 + (f_{ck} - 25) \cdot 1,2 \text{ €/m}^2$

- površina betonskog poprečnog preseka A<sub>b</sub> [m<sup>2</sup>]

- cena armature za jediničnu dužinu grede  $c_a = 0,56 \text{ €/cm}^2$

- površina armature A<sub>a</sub> [cm<sup>2</sup>]

- cena FRP armature za jediničnu dužinu grede  $c_{FRP} = 0,36 \text{ €/mm}^2$

Uslovi ograničenja dobijeni su na osnovu izvedenih uslove ravnoteže presečnih sila analizirane grede za inicijalno stanje. Usvojeni su i dodatni uslovi ograničenja iz konstruktivnih razloga:

- konstantna širina poprečnog preseka  $b = 25 \text{ cm}$

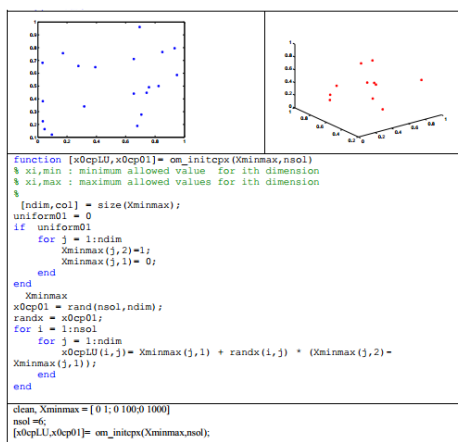
- visina poprečnog preseka treba da bude u intervalu od 25-50cm

- zategnute armature se može smestiti u dva reda, dozvoljena vrednost površine armature u jednom redu ne sme premašiti vrednost od  $15,2 \text{ cm}^2$  (4RØ22).

Za devet graničnih vrednosti momenta savijanje u intervalu od 80-180KNm izvršena je optimizacija za inicijalno stanje prema kriterijumu minimalne cene (I-b - uslov loma po betonu; I-a - uslov loma po armaturi).

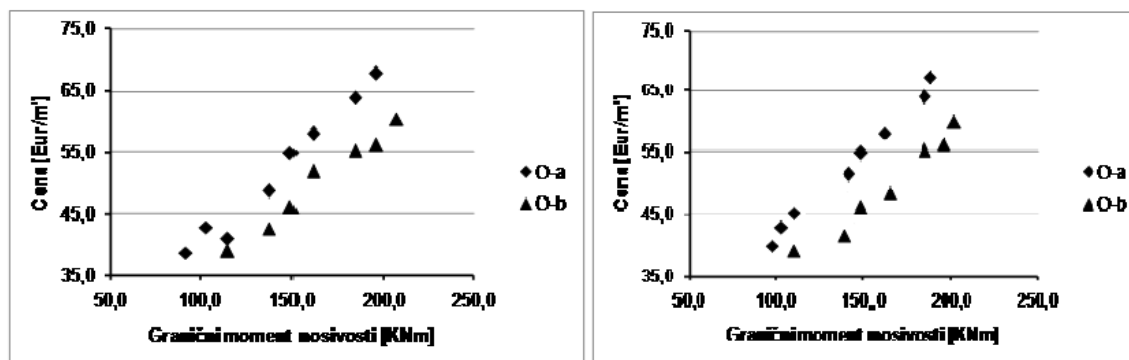
Parametri koji su korišćeni pri modeliranju su:

- Broj naelektrisanih čestica je 20
- Broj iteracija je 100



Slika 4: MATLAB kod početne iteracije

Na slici 5 je dato poređenje rezultata dobijenih primenom Kuku pretrage i Metodom naelektrisanih sistema. Dobijeni rezultati su u priličnoj meri istovetni sa odstupanjima manjim od 5 % u korist jedne ili druge metode čime se potvrđuje opravdanost primene ovog istraživanja.



Slika 5: Zavisnost jedinične cene i i graničnog momenta nosivosti grede nakon primene ojačanja primenom Kuku pretrage i Metode naelektrisanih sistema

## 5. ZAKLJUČAK

U istraživanjima su urađena komparativna istraživanja za navedeni problem optimizacije. Dobijeni rezultati su u priličnoj meri istovetni sa odstupanjima manjim od 5 % u korist jedne ili druge metode čime se potvrđuje opravdanost primene ovog istraživanja.

Primena CSS algoritma pri analizi problema optimizacije FRP/AB greda opterećenih na savijanje pokazala se kao efikasan alat sa pouzdanom tačnošću (za dobijene vrednosti parametara pretrage izvršena je manuelna provera granične nosivosti preseka).

Novija istraživanja u oblasti primene metode naelektrisanih sistema pokazala su da se tačniji rezultati optimizacije dobijaju uvođenjem teorije haosa u algoritam umesto slučajnih procesa. Eksperimentalne studije pokazuju prednosti korišćenja haotičnih signala umesto slučajnih, međutim, ovo još nije matematički dokazano. Na primer, u evolucionim algoritmima, haotične sekvence povećavaju vrednost indeksa pojedinih izmerenih algoritamskih performansi u odnosu na slučajane sekvence.

## ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije u okviru projekta TR 36017.

## LITERATURA

- [1] Ćirović, G., Mitrović, S. & Nikolić, D. (2012). Optimizacija FRP/AB greda primenom Kuku pretrage. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2012), Tara.
- [2] Folić, R. & Glavardanov, D. (2009). Mehanizmi oštećenja, modeli održavanja i sanacija betonskih konstrukcija pojačanih FRP elementima. Građevinski materijali i konstrukcije, 52,1, 63-73.
- [3] Kaveh, A. & Talatahari, S. (2010). A novel heuristic optimization method: charged system search. Acta Mech., 213(3-4), 267-89.
- [4] Kaveh, A. & Talatahari, S. (2011). An enhanced charged system search for configuration optimization using the concept of fields of forces. Struct. Multidiscip. Optim., 43(3), 339-51.
- [5] Talatahari, S., Sheikholeslami, R., Shadfaran, M. & Porbaba, M., (2012). Charged system search algorithm for optimum design of gravity retaining walls subject to seismic loading. Mathematical Problems in Engineering, vol. 2012, Article ID 301628.
- [6] The International Federation for Structural Concrete (fib) (2001). Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, Bulletin 14.

## TAČNOST DIGITALNE BLISKOPREDMETNE FOTOGRAMetriJE KOD PRIMENE U INŽENJERSTVU

### ACCURACY OF DIGITAL CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY APPLIED IN ENGINEERING

MIROSLAV MARČETA

Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, gmarceta@sezampro.rs

**Rezime:** Geodetska merenja imaju važnu ulogu pri rešavanju različitih inženjerskih problema. Razvojem digitalne tehnologije, bliskopredmetna digitalna fotogrametrija, kao savremena geodetska metoda merenja, dobila je na značaju. Tačnost podataka koja se postiže merenjem digitalnih snimaka je važno pitanje kod različitih inženjerskih projekata, te se u radu ona obrazlaže i analizira sa teoretskog i empirijskog aspekta. Naglasak se stavlja na korišćenje amaterskih digitalnih kamera za navedene potrebe i tačnost koja se njima može postići.

**Ključne reči:** Bliskopredmetna digitalna fotogrametrija, tačnost, preciznost.

**Abstract:** Geodetic measurements play an important role in solving various engineering problems. With the development of digital technology, digital close range photogrammetry as a modern geodetic measuring method has gained in importance. Accuracy of the data accomplished by measuring digital images is an important issue in a variety of engineering projects, and in this paper it is explained and analyzed from theoretical and empirical aspects. Emphasis is placed on the use of amateur digital cameras for these purposes and on the accuracy that can be achieved by them.

**Keywords:** Close range digital photogrammetry, accuracy, precision.

#### 1. UVOD

Razvojem digitalne tehnologije, bliskopredmetna fotogrametrija dobila je na značaju za rešavanje različitih inženjerskih zadataka, kao što su određivanje položaja građevinskih objekata, geodetska merenja kod montaže mašinskih konstrukcija, merenja deformacija na objektima, terenu i konstrukcijama, izrada 3D-modela objekata i mašinskih proizvoda, itd.

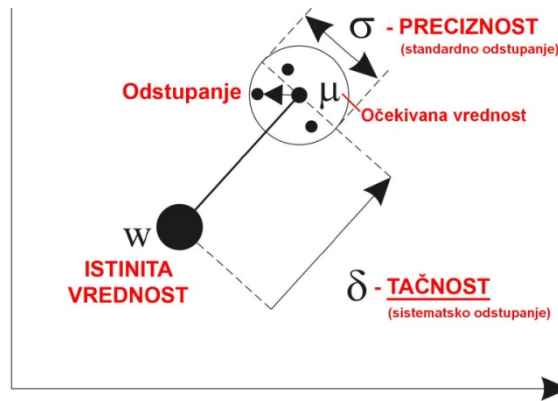
Za snimanja kod primene bliskopredmetne fotogrametrije koriste se specijalno konstruisane „merne“ digitalne kamere ali se takođe danas za najveći deo zadataka mogu koristiti i amaterske digitalne kamere.

Jedno od najznačajnijih pitanja kod pomenute primene u inženjerstvu je tačnost koja se ovom metodom može postići, a najčešće se pritom misli na tačnost 3D-koordinata tačaka čije se slikovne koordinate mere na digitalnim snimcima nekog inženjerskog objekta ili postrojenja.

#### 2. POJMOVI TAČNOSTI I PRECIZNOSTI

Vrlo često se u praksi, pre svega kod različitih inženjerskih grana, mešaju (pa čak i poistovećuju) pojmovi tačnosti i preciznosti. Stoga je potrebno definisati ove pojmove:

- **tačnost** je bliskost slaganja rezultata merenja i istinite vrednosti merene veličine (Sl.1);
- **preciznost** je bliskost slaganja između rezultata merenja iste veličine, izvršenih pri definisanim uslovima (Sl.1). Preciznost zavisi samo od raspodele slučajnih grešaka i ne odnosi se na istinitu vrednost merene veličine. Dakle, potrebna je velika preciznost da bi se dobila velika tačnost, mada veoma precizna merenja ne moraju uvek biti tačna.

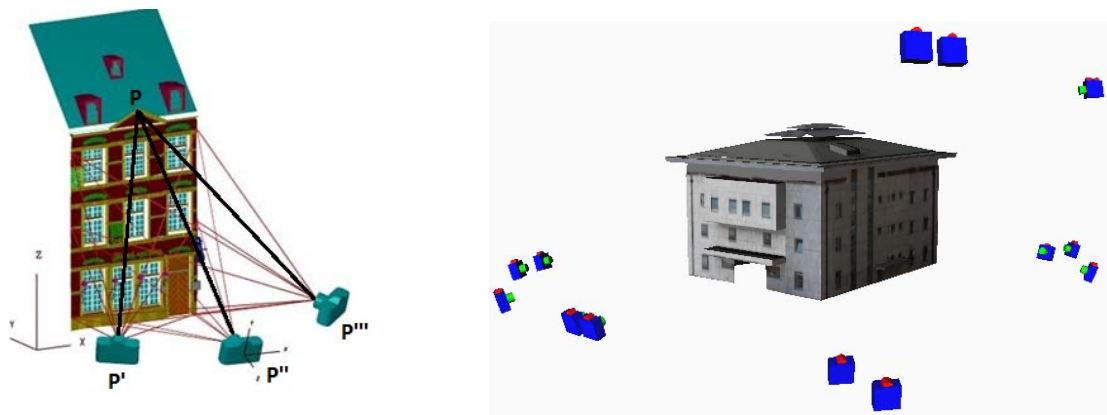


Slika 1: Razlika između tačnosti i preciznosti

### 3. PRINCIP ODREĐIVANJA 3D-KOORDINATA SNIMLJENOG OBJEKTA NA OSNOVU MERENJA DIGITALNIH SNIMAKA

#### 3.1 Metod izravnjanja snopova zraka

Svaka tačka objekta čije se 3D-koordinate određuju snima se najmanje sa 2 snimka (Sl. 2). Mere se slikovne koordinate ove tačke ( $x'_i, y'_i$ ) na svakom od snimaka, formiraju jednačine kolinearnog preslikavanja (1) i pristupa izravnjanju ovako formiranog snopa zrakova.



Slika 2: Prikupljanje snimaka objekta

$x'_i, y'_i$  – merene slikovne koordinate tačaka čije se 3D-koordinate određuju

$$x' = x'_0 - c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$y' = y'_0 - c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

Izravnjanje ovog snopa zraka odvija se po metodi „posrednih merenja“, čiji su rezultati (X,Y,Z)-koordinate svih tačaka, orijentacija snimaka, ali i pokazatelji preciznosti određivanja svih dobijenih koordinata tačaka.

#### 3.2 Stereoskopski način određivanja 3D-koordinata tačaka

Kod stereoskopskog načina određivanja 3D-koordinata tačaka objekat se snima sa dva snimka koji se nalaze na krajevima jedne baze (Sl. 3). Kako se baza ( $b$ ) meri na terenu, a žižna daljina kamere kojom je snimano ( $c$ ) je poznata, X, Y i Z koordinate se računaju po formulama (2):

$$Y_a \equiv \frac{b \cdot c}{x' - x''} = \frac{b \cdot c}{p_x}, \quad X_a \equiv \frac{Y_a}{c} x' = m_b \cdot x', \quad Z_a \equiv \frac{Y_a}{c} z' = m_b \cdot z', \quad (2)$$

gde su:

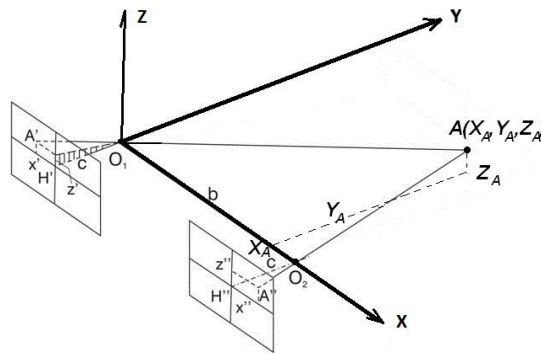
$x', z', x'', z''$  – merene slikovne koordinate na oba snimka,

$b$  – merena baza snimanja,

$c$  – poznata žižna daljina kamere za snimanje (iz kalibracije kamere),

$p_x = x' - x''$  – horizontalna paralaksa,

$m_b$  – imenilac razmere snimanja.



**Slika 3:** Stereoskopski način određivanja 3D-koordinata tačkaka

S obzirom da je najčešće, zapravo, od interesa „tačnost“ 3D-koordinata snimljenog objekta, teoretski se ona definiše kao [1]:

$$S_{X,Y,Z} = q \cdot m_b \cdot S_{x',y'(z')}, \quad (3)$$

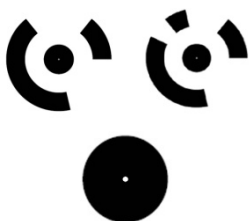
gde je:

$q$  – dizajn-faktor mreže zrakova preslikavanja tačkaka (zavisi od broja snimaka na kojima se meri ista tačka objekta čije se X, Y, Z koordinate određuju, odnosno od pravilnog rasporeda snimaka oko tačke, tj. povoljnog preseka zraka; tako npr. ako postoji 4-6 snimaka koji su pravilno raspoređeni oko odnosne tačke  $q$  ima vrednost od 0.4 do 0.8; ako postoji mali broj snimaka, npr. 2 (Sl. 3) i veoma oštri uglovi, tada je  $q=2$ ),

$S_{x',y'}$  – tačnost merenja slikovnih koordinata na snimcima.

#### 4. MERENJE SLIKOVNIH KOORDINATA

Tačnost određivanja 3D-koordinata tačkaka snimljenog objekta značajno zavisi i od tačnosti merenja slikovnih koordinata ovih tačkaka na digitalnim snimcima [3]. S tim u vezi trebalo bi naglasiti da na pomenutu tačnost merenja slikovnih koordinata na snimcima najviše utiče način definisanja tačkaka na njima. Naime, tačke na objektu, čije su 3D-koordinate od interesa, mogu biti definisane posebnim signalima (najčešće kodiranim (Sl. 4)) ili se može desiti da sam detalj snimka nedvosmisleno definiše tačku (nesignalisane tačke (Sl. 5)).



**Slika 4:** Kodirani signali



**Slika 5:** Objekat i karakteristična nesignalisana tačka



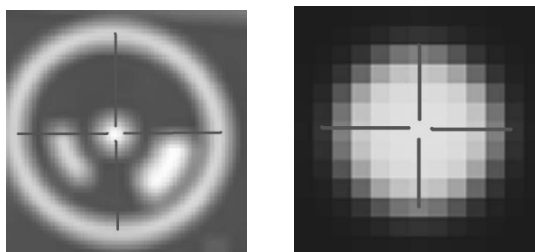
Svakako se može očekivati veća tačnost 3D-koordinata tačaka koje su posebno signalisane od tačaka čiji položaj na objektu nije posebno markiran (Sl. 5). Najčešći oblik signala je kružni kod koga se meri njegov centar. Takođe, signali mogu, zbog bolje uočljivosti, biti bojeni reflektujućom bojom.

#### 4.1 Merenje nesignalisanih tačaka objekta

Tačnost merenja nesignalisanih tačaka snimanog objekta najviše zavisi od nedvosmislene identifikacije tačaka na objektu prilikom merenja slikovnih koordinata (Sl. 5). Manuelnim merenjem nesignalisanih tačaka na snimljenom objektu može se postići tačnost merenja od 1 piksela do  $\frac{1}{4}$  piksela, što zavisi od rezolucije digitalne slike. Automatsko merenje nesignalisanih tačaka objekta odvija se tako što se sukcesivno upoređuje određeni, unapred definisan, karakteristični detalj digitalne slike sa celokupnom digitalnom slikom („korelacioni proces“). Tačnost merenja koja se u ovom slučaju postiže kreće se u rasponu od  $\frac{1}{2}$  piksela do  $\frac{1}{4}$  piksela.

#### 4.2 Merenje signalisanih tačaka

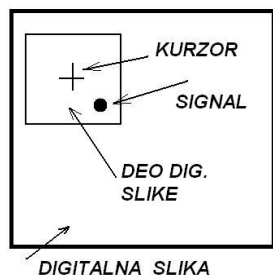
Merenje signalisanih tačaka na snimljenom objektu može se takođe izvesti manuelno i automatski. Manuelnim merenjem signalisanih tačaka objekta (Sl. 6) postiže se tačnost od cca  $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{8}$  piksela. Što se tiče automatskog merenja signalisanih tačaka, ono može biti poluautomatsko ili potpuno automatsko.



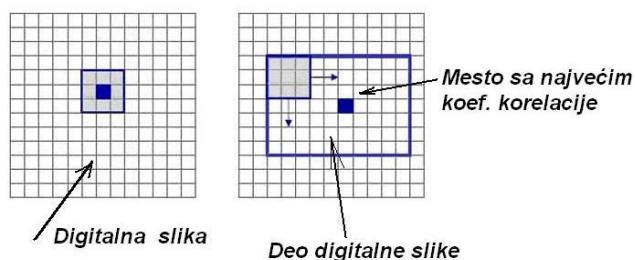
Slika 6: Manuelno merenje signalisanih tačaka objekta

#### Poluautomatsko merenje signalisanih tačaka

Restitutor vizuelno interpretira digitalnu sliku, pronalazi signalisanu tačku i manuelno navodi kursor u njenu blizinu (Sl. 7). Tada računar preuzima proces merenja i pristupa „finom viziranju“ sredine signala (Sl. 8).



Slika 7: Manuelno navođenje kursora u blizinu tačke



Slika 8: „Fino viziranje“ i poentiranje sredine signala na osnovu koeficijenta korelacije

Fino viziranje i poentiranje sredine signala izvodi se na osnovu poređenja unapred zadate mustre signala sa grupama piksela dela digitalne slike (prozora) u kome se nalazi kursor (traži se najveći koeficijent korelacije) (Sl. 8).

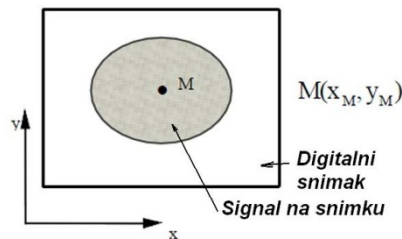
#### Automatsko merenje signalisanih tačaka

Kod automatskog merenja signalisanih tačaka snimljenog objekta pronalaženje i merenje signala digitalne slike odvija se automatski za celokupan digitalni snimak, a ne samo za deo slike u koji je manuelno doveden merni kursor. Proces automatskog merenja teče veoma brzo i tačno, ali se ipak nekada javljaju problemi sa interpretacijom snimaka, tj. tačaka koje se mere.

### 4.3 Određivanje centra signala

#### Određivanje centra signala kod poluautomatskog i automatskog merenja

Pronađeni signal pri poluautomatskom i automatskom merenju sastoji se od skupa piksela istih sivih nijansi (Sl. 9) koji obrazuju elipsu.



**Slika 9:** Određivanje centra signala kod poluautomatskog i automatskog merenja

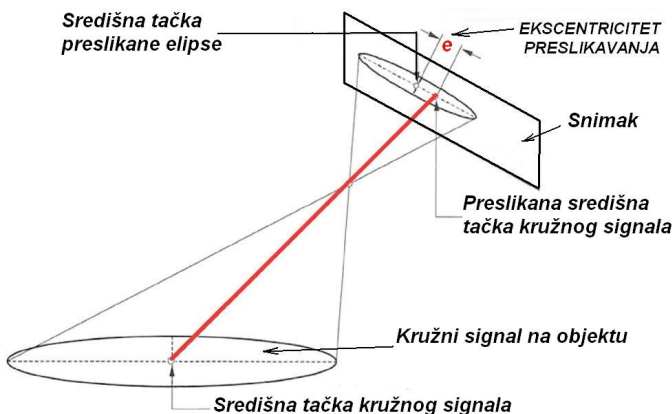
Nalaženje središnje tačke ove figure izvodi se automatski na taj način što se središnja tačka signala (Sl. 9) računa kao aritmetička sredina (4):

$$x'_M = \frac{\sum [x \cdot g(x, y)]}{\sum g(x, y)}, \quad y'_M = \frac{\sum [y \cdot g(x, y)]}{\sum g(x, y)}, \quad (4)$$

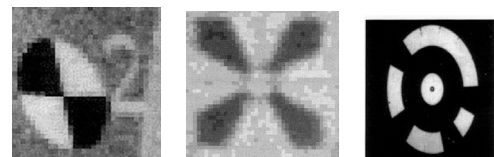
gde je  $g(x, y)$  intenzitet sive nijanse piksela digitalne slike.

#### Određivanje centra signala kod manuelnog merenja

Pri manuelnom merenju kružnog signala pojavljuje se problem gubitka na tačnosti merenja zbog pozicioniranja njegovog centra. Naime, najčešće se kružni signal, zbog centralnog projektovanja pri snimanju, preslikava na snimku u elipsu (Sl. 10). Merenje centralne tačke ove elipse prouzrokuje grešku ( $e$ ). Zato je najbolje da kružni signal na sebi već ima definisanu centralnu tačku (Sl. 11) koja će se jasno uočavati i na slici signala na snimku, pa će se ona i meriti.



**Slika 10:** Preslikavanje kružnog signala na snimku



**Slika 11:** Kružni signali sa definisanom centralnom tačkom

## 5. EMPIRIJSKO ISPITIVANJE TAČNOSTI ODREĐIVANJA 3D-KOORDINATA TAČKA

U cilju ispitivanja tačnosti i preciznosti određivanja 3D-koordinata pri bliskopredmetnom fotogrametrijskom snimanju kod inženjerske primene pošlo se od nekoliko pretpostavki:

1. bliskopredmetno snimanje građevinskog objekta obavljeno je digitalnom kamerom sa više snimališta, pa je tako svaka tačka objekta, čije se 3D-koordinate određuju, preslikana na više snimaka;
2. određivanje 3D-koordinata tačaka objekta izvedeno je automatski po metodi „izravnjanja snopova zraka“;



3. za snimanje objekta korišćena je amaterska (a ne merna) digitalna kamera Canon 550D, koja je pre snimanja kalibrisana automatskim postupkom uz pomoć test-polja;
4. za određivanje tačnosti 3D-koordinata tačaka objekta koje su dobijene bliskopredmetnom digitalnom fotogrametrijom izvršeno je upoređenje sa tzv. „tačnim“ 3D-koordinatama istih tačaka, koje su određene visokotačnim konvencionalnim geodetskim merenjem.

Pomenuti građevinski objekat je snimljen sa 12 snimaka. 90 tačaka na objektu signalisano je posebnim kodiranim signalima i ravnomerno raspoređeno po čitavoj površini dela objekta koji je sniman.

Merenje signala na snimcima obavljeno je softverom koji omogućava automatsko merenje kodiranih signala.

Preciznost određivanja tačaka objekta, koja je dobijena posle automatski izvedenog posrednog izravnjanja „metodom snopova zraka“, iznosila je:

$$m_{x_i} = \pm(0.239 - 0.351) \text{ mm}, \quad m_{y_i} = \pm(0.141 - 0.264) \text{ mm}, \quad m_{z_i} = \pm(0.112 - 0.219) \text{ mm}.$$

Međutim, glavni cilj ovog ispitivanja bila je tačnost određivanja 3D-koordinata tačaka objekta koji je snimljen sa rastojanja od cca 15 m. Tačnost je dobijena na osnovu pomenutog upoređenja 90 prostornih koordinata objekta dobijenih bliskopredmetnom fotogrametrijom sa geodetskim merenjima visokotačnom totalnom stanicom Leica TS30 i iznosila je:

$$\sigma_x = \pm 1.06 \text{ mm}, \quad \sigma_y = \pm 0.91 \text{ mm}, \quad \sigma_z = \pm 1.09 \text{ mm}.$$

## 6. ZAKLJUČAK

Tačnost određivanja 3D-koordinata kod inženjerske primene bliskopredmetne digitalne fotogrametrije zavisi od više faktora.

Kada se želi postići najviša tačnost onda se mora poći od visokih mehaničkih, optičkih, geometrijskih i digitalnih karakteristika kamera za snimanje. Međutim, rezultati istraživanja prikazani u ovom radu potvrđuju da se i današnje amaterske digitalne kamere mogu koristiti za dobijanje visokotačnih 3D-koordinata kod inženjerskih projekata različite vrste.

Do visoke tačnosti, koja je dovoljna u najvećem broju slučajeva u inženjerstvu, generalno se može doći bez obzira da li se za snimanje koriste specijalizovane digitalne kamere za bliskopredmetno snimanje ili amaterske digitalne kamere, pod uslovom:

- da su kamere pažljivo kalibrisane, tj. da im je veoma tačno određena žižna daljina, distorzija objektivna i položaj centralne tačke digitalnog snimka,
- da su snimci dobro prostorno orijentisani, što se postiže većim brojem tačaka za orijentaciju optimalno raspoređenim po snimku,
- da se slikovne koordinate tačaka na snimcima mere metodama koje omogućavaju najvišu moguću tačnost merenja.

## LITERATURA

- [1] Luhmann, T. (2001). Photogrammetrische Verfahren in der industriellen Messtechnik. Publikationen der DGPF, Band 9.
- [2] ETH Zurich (2009). Photogrammetrie GZ, Grundlagen der Digitalen Photogrammetrie.
- [3] Dencheva, V. (2005). Genauigkeit der digitalen Photogrammetrie, Dissertation. Technische Universität Wien, Fakultät für Mathematik und Geoinformation.
- [4] HS BO – Lab. für Photogrammetrie, Visoka škola Bohum (2010).
- [5] Diplomski radovi VGGŠ, Beograd: Jeličić, M. (2011), Petković, D. (2012).



## **VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE PRI IZBORU DIGITALNE FOTOGRAFSKE KAMERE ZA FOTOGRAFISANJE GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA**

### **MULTICRITERIA DECISION MAKING IN SELECTING A DIGITAL CAMERA FOR CAPTURING CIVIL ENGINEERING STRUCTURES**

SLAVOLJUB TOMIĆ<sup>1</sup>, MIROSLAV MARČETA<sup>1</sup>, SLOBODAN PANDŽIĆ<sup>1</sup>, JELENA PANDŽIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, {tomicslavoljub, marcetamiroslav, slobodanpandzic} @vggs.rs

<sup>2</sup>Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, jpandzic@grf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Fotografske kamere se uglavnom koriste za fotografisanje (evidentiranje) nekog događaja u određenom trenutku. Međutim, današnji nivo kvaliteta digitalnih fotografskih kamera daje mogućnost njihovog veoma uspešnog korišćenja razne primene u inženjersko-tehničkim oblastima, pa tako i za snimanje građevinskih i arhitektonskih konstrukcija u svim fazama njihove izgradnje i eksploatacije. Na taj način je moguće dopuniti i osavremeniti ustaljene konvencionalne sadržaje tehničke dokumentacije. S obzirom da na tržištu digitalne fototehnike postoji čitava lepeza digitalnih fotografskih kamera sa različitim karakteristikama i cenama, u radu se primenom višekriterijumskog odlučivanja po Modelu bodovanja razmatra izbor optimalnog rešenja pri nabavci upotrebi te opreme.*

**Ključne reči:** *Digitalna fotografska kamera, građevinske konstrukcije, Model bodovanja.*

**Abstract:** *Cameras are mainly used for capturing some event at a particular time. However, the current level of quality of digital cameras enables their versatile utilization in engineering and technical fields, and thus for capturing civil engineering and architectural structures in all phases of their construction and exploitation. Therefore, it is possible to amend and modernize a conventional content of technical documentation. Bearing in mind that there is a wide range of digital cameras differing in their characteristics and price available on the market, the paper discusses the application of multicriteria decision making by Scoring Model in selecting the optimal solution for the procurement and usage of such equipment.*

**Keywords:** *Digital camera, civil engineering structures, Scoring Model.*

#### **1. UVOD**

Za izgradnju građevinskih objekata neophodna je odgovarajuća projektno-tehnička dokumentacija, a za njihovo održavanje i eksploataciju veoma je važno da se formira kvalitetna tehnička dokumentacija izvedenog objekta. Zakonom o planiranju i izgradnji („Službeni glasnik RS“ br. 47/2003) propisan je sadržaj projekta izvedenog objekta, međutim današnji nivo merne i druge digitalne tehnike omogućava znatno kvalitetnije i potpunije snimanje izvedenog stanja od Zakonom predviđenog. Tome doprinosi mogućnost primene digitalnih fotografskih kamera kojima je moguće zabeležiti znatno više informacija o konstruktivnim delovima objekta nego na klasičan način. Fotografija, kao nosilac informacija, daje znatno potpuniju sliku o stanju objekta (vizuelne i geometrijske informacije) u poređenju sa standardnim projektom izvedenog objekta.

S obzirom da na tržištu digitalnih fotografskih kamera postoji čitava lepeza proizvoda koji se odlikuju različitim kvalitetom i cenom, nameće se potreba za pažljivim izborom optimalne digitalne kamere za snimanje konkretnog objekta. Kvalitet digitalne kamere se mora posmatrati sa aspekta dobijanja kvalitetnih fotografija koje će poslužiti za ekstrakciju opisnih ili geometrijskih podataka, pri čemu se mora uzeti u obzir i cena kamere. U radu se razmatra kvalitet kamerasa aspekta mogućnosti njihovog korišćenja za izradu tehničke dokumentacije. Izbor je vršen iz skupa kamerasrednje klase približnih tehničkih karakteristika i cena u rasponu od 800 € do 1200 €. Pri izboru optimalne kamere primenjen je Model bodovanja, kao metoda najpristupačnija širokom krugu potencijalnih korisnika.

## 2. PRIMENA FOTOGRAMETRIJSKIH SNIMAKA

Fotografski snimci, kao nosioci informacija, mogu se uspešno koristiti u svim inženjersko-tehničkim oblastima i oni ostaju kao trajni materijalni dokaz o stanju snimljenog objekta u datom momentu. Tako je pri izgradnji novih objekata moguće fotografski zabeležiti pojedine faze izgradnje objekta (postavljanje oplata i armature, izvođenje montažnih radova, položaj instalacija, itd.). Kod projektovanja fasada (naročito onih od stakla, alukobond panela i sl.) na novim objektima, fotografski snimci se mogu uspešno koristiti za snimanje izvedene betonske ili čelične konstrukcije objekta. Takođe, kod temeljenja novih objekata u zoni gde već postoje drugi objekti, treba detaljno fotografisati sve postojeće objekte kako bi se dokumentovalo njihovo stanje pre početka iskopa temelja za novi objekat. To će poslužiti kao materijal za konstatovanje promena na postojećim objektima koje mogu nastati iskopom novog temelja.

Kod nadogradnje postojećih građevinskih objekata, pre početka građevinskih radova treba ceo objekat detaljno fotografisati, a naročito konstruktivne elemente koji mogu biti ugroženi nadogradnjom objekta. Na osnovu toga se kasnije može zaključiti da li je dogradnjom došlo do nekih deformacija (pucanja temelja, fasade i sl.) postojećeg objekta.

## 3. KARAKTERISTIKE DIGITALNIH FOTOGRAFSKIH KAMERA

Da bi se digitalne fotografije mogle koristiti za navedene namene, one moraju da zadovolje određene zahteve u pogledu kvaliteta. To znači da pre svega treba da budu jasne, dovoljno oštre, intenzivnih boja, da su geometrijski korektna i da imaju pogodan format digitalnog zapisa. Zahtevani kvalitet digitalnih fotografija se obezbeđuje izborom adekvatne digitalne fotografske kamere. Imajući u vidu da pri istim vremenskim i terenskim uslovima različite kamere ne daju isti kvalitet fotografije, neophodno je razmotriti koje su bitne karakteristike pri njihovom izboru za snimanje konstruktivnih delova građevinskih objekata. U radu su razmatrane samo digitalne fotografske kamere tipa SLR (*engl. Single Lens Reflex*) jer jedino one mogu ispuniti većinu postavljenih zahteva. Digitalne fotografske kamere se međusobno znatno razlikuju po svojim tehničkim karakteristikama i pri izboru najpogodnije treba imati u vidu one karakteristike koje su u korelaciji sa kvalitetom fotografije i posebnim zahtevima snimanja građevinskih konstrukcija. Međutim karakteristikama posebno su značajne:

- rezolucija (broj piksela koje aparat registruje na senzoru – funkcija veličine senzora i piksela),
- žižna daljina objektiva (konstanta objektiva),
- način fokusiranja (zum),
- brzina snimanja (broj snimaka u sekundi),
- ekspozicija,
- format zapisa,
- tip memorije i memorijski prostor, itd.

Navedene karakteristike digitalnih fotografskih kamera su ukratko prikazane sa aspekta snimanja građevinskih konstrukcija, bez detaljnijeg razmatranja stručno-tehničkih pojmova kojima se bave eksperti iz oblasti fotogrametrije.

### 3.1. Osnovni pojmovi u vezi sa karakteristikama digitalnih SLR fotografskih kamera

Piksel (*engl. Picture Element*) je najmanji element digitalne fotografije i istovremeno senzora digitalnih fotografskih kamera. On registruje intenzitet svetlosti koja na njega pada i to konvertuje u brojnu vrednost u rasponu od 0 do 255, istovremeno u tri kolor kanala (crveni, zeleni i plavi – RGB), što je osnova za dobijanje digitalne fotografije. Veličina piksela uslovljava veličinu najsitnijeg detalja iz prirode koji se može prikazati na fotografiji (prostorna rezolucija). Ono što je kod klasičnih fotografskih kamera film, to je kod digitalnih CCD (odnosno CMOS) čip ili senzor. Broj piksela u senzoru definiše rezoluciju senzora i izražava se u milionima piksela (megapiksela – MP). Za potrebe snimanja građevinskih konstrukcija najbolje je koristiti digitalne SLR kamere sa rezolucijom 16 MP ili boljom. Time se obezbeđuju mogućnost prikaza najfinijih detalja građevinskih konstrukcija i dobre geometrijske karakteristike fotografije.

**Žižna daljina objektiva** predstavlja razdaljinu od optičkog centra objektiva do ravni senzora koja se izražava u milimetrima. Ona direktno utiče na širinu vidnog polja, kao i na perspektivu. Na senzoru punog formata, žižna daljina od oko 50 mm omogućava zahvatni ugao blizak zahvatnom uglu ljudskog oka. Žižne daljine manje od 50 mm povećavaju širinu vidnog polja, pa u tom slučaju kadar obuhvata veći prostor scene koja se fotografiše. Žižne daljine veće od 50 mm smanjuju širinu vidnog polja, pa samim tim kadar obuhvata manji deo scene koja se fotografiše i na taj način se mogu zumirati predmeti koji su na većoj udaljenosti. Objektiv digitalnih fotografskih kamera najčešće imaju promenljivu žižnu daljinu u rasponu

od 18mm do 55mm. Ovo je veoma bitno kod snimanja građevinskih konstrukcija jer omogućava da se izborom žižne daljine kreira odgovarajući kadar.

Fokusiranje ili zumiranje se kod digitalnih fotografskih kamera može izvesti pomoću optičkog zuma (*engl. optical zoom*) ili digitalnog zuma (*engl. digital zoom*). Kamere sa optičkim zumom imaju promenljivu žižnu daljinu jer se optičko zumiranje zasniva na aksijalnim pomeranjima sistema sočiva u objektivu, čime se menja njegova žižna daljina i na taj način se može povećati ili smanjiti obuhvat fotografije. Optičko zumiranje se izvodi po stepenima koji odgovaraju rasponu žižnih daljina i može biti od 3x do 12x (izuzetno i više). Digitalno zumiranje se izvodi softverski, tako što se povećava sredina fotografije, ali kao i kod zumiranja fotografija na kompjuteru, povećavaju se greške neoštine i sami pikseli od kojih je fotografija sačinjena. Digitalne fotografske kamere imaju i mogućnost automatskog fokusiranja, opciju AF (*engl. Auto Focus*), kojom se izoštrava fotografija i precizno određuje rastojanje do objekta koji se fotografiše.

Ekspozicija je količina i dužina trajanja osvetljavanja (eksponiranja) svetlosnog senzora digitalne fotografske kamere, a određuje se veličinom otvora blende i brzinom zatvarača. Trajanje ekspozicije zavisi od osvetljenosti objekta koji se snima, relativne vrednosti otvora objektiva, karakteristika snimane površi i osetljivosti senzora, a kreću se u rasponu od 1/15 sekunde do 1/8000 sekunde. Većina kamera ima opciju AE (*engl. Auto Exposure*) za automatsko precizno određivanje trajanja i količine svetlosti kojom se ekspozira senzor.

Kod fotografisanja statičnih konstrukcija, konstrukcija u pokretu ili deformacija prilikom opterećenja, kada se želi u kratkom vremenskom intervalu snimiti promena položaja ili stanje konstrukcije, veoma je važna brzina snimanja, tj. broj snimaka u sekundi (*engl. Frames Per Second–FPS*). Prava brzina snimanja se definiše prema broju snimaka u maksimalnoj rezoluciji u jednoj sekundi.

Format zapisa digitalnog sadržaja fotografije može biti različit, a najčešće se nude formati JPEG (*engl. Joint Photographic Experts Group*) ili RAW (samo digitalne SLR fotografske kamere). RAW format je izvorni, nekomprimovani zapis načinjenog snimka i svaki proizvođač kamera ima neki svoj standard za zapisivanje u tom formatu. Format zapisa snimka je veoma bitan za dalju obradu fotografija.

Važna karakteristika digitalnih fotografskih kamera je i tip memorije i veličina memorijskog prostora na memorijskoj kartici jer formati kao što su RAW su znatno zahtevniji od JPEG formata. Adekvatnim tipom memorije i memorijskim prostorom na memorijskoj kartici se obezbeđuje nesmetano fotografisanje na terenu i sigurno smeštanje svih digitalnih fotografija do njihovog transfera na računar.

## 4. VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE

Višekriterijumsko odlučivanje se primenjuje kada postoji više alternativnih rešenja nekog problema. Za izbor optimalnog rešenja moraju se postaviti određeni ciljevi (Pandžić and Pandžić 2012) i definisati kriterijumi kojima će se pridružiti odgovarajuće težine. Težine treba da odražavaju značaj učešća pojedinih kriterijuma pri donošenju odluke o izboru najpovoljnijeg alternativnog rešenja problema, pa se izbor kriterijuma i dodeljivanje težina, kao najdelikatiji zadatak, poverava ekspertima u određenoj oblasti. Pri izboru optimalnog rešenja moguća je primena više različitih modela višekriterijumskog odlučivanja. U konkretnom slučaju primenjen je Model bodovanja (*engl. Scoring Model*).

### 4.1. Izbor najpovoljnijeg modela digitalne fotografske kamere za snimanje građevinskih konstrukcija

Imajući u vidu da je Model bodovanja relativno brz, jednostavan i najšire dostupan način za prepoznavanje najbolje alternativne odluke kod višekriterijumskog odlučivanja, u radu je primenjen ovaj model za izbor optimalnog rešenja pri izboru digitalne fotografske kamere za snimanje građevinskih konstrukcija, a realizovan je kroz sledećih pet faza:

- *I faza* – definisanje liste kriterijuma koji treba da budu razmatrani pri odlučivanju;
- *II faza* – dodeljivanje adekvatnih težina za svaki pojedinačni kriterijum kojim se iskazuje njihov relativni značaj ( $w_i$  = težina kriterijuma  $i$ );
- *III faza* – određivanje mere (*engl. rating*) svakog pojedinačnog kriterijuma koji treba da izražava nivo kvaliteta sa kojim razmatrana alternativna zadovoljava konkretan kriterijum ( $r_{ij}$  = mera za kriterijum  $i$  alternativno rešenje  $j$ );
- *IV faza* – računanje konkretne vrednosti (*engl. score*) za svako alternativno rešenje ( $S_j$  = vrednost za alternativno rešenje  $j$ ) prema formuli  $S_j = \sum w_i \cdot r_{ij}$ ;

- *V faza* – rangiranje razmatranih alternativnih rešenja po Modelu bodovanja od najveće do najmanje vrednosti, čime se utvrđuje njihov hijerarhijski redosled; kao zaključak se, prema rezultatima rangiranja, za primenu preporučuje alternativno rešenje sa najvećom vrednošću.

## 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

S obzirom da na tržištu digitalnih fotografskih kamera postoji mnoštvo proizvođača i različitih modela kamera, teško je bilo postaviti određena ograničenja za izbor optimalnog rešenja pri njihovoj nabavci. Većina digitalnih fotografskih kamera ispunjava minimalne zahteve za potrebe fotografisanja građevinskih konstrukcija, ali su razmatrane samo one u opsegu cena od 800 € do 1200 € jer su približno istih opštih tehničkih karakteristika i nalaze se na prelazu između amaterskih i profesionalnih kamera. Uzete su u obzir kamere koje su u poslednje tri godine bile najprodavanije. Pri definisanju liste kriterijuma tretirane su samo najbitnije karakteristike kamera. Kao alternativna rešenja odabrane su odgovarajuće digitalne fotografske kamere najznačajnijih svetskih proizvođača: Canon, Nikon, Fuji, Olympus, Pentax i Sony.

Definisano je sedam alternativnih rešenja:

- A1 – Canon EOS 70D,
- A2 – Nikon D7000,
- A3 – Fuji X-E2,
- A4 – Olympus OM-D E-M5,
- A5 – Pentax K-5 II,
- A6 – Sony SLT-A65 VY.

**Tabela 1:** Alternativna rešenja sa osnovnim karakteristikama (www.fotodiskont.rs)

Kriterijum	Alternativno rešenje					
	Canon (EOS 70D)	Nikon (D7000)	Fuji (X-E2)	Olympus (OM-D E-M5)	Pentax (K-5 II)	Sony (SLT-A65 VY)
Rezolucija	20.2MP	16.2MP	16.3MP	16.1MP	16.3MP	24.3MP
Žižna daljina	18-55 mm	16-85 mm	18-55 mm	12-50 mm	18-135 mm	18-55 mm
Način fokusiranja	AF, optički i digitalni	AF, optički i digitalni	AF, optički i digitalni	AF, optički i digitalni	AF, optički i digitalni	AF, optički i digitalni
Brzina snimanja	7 FPS	6 FPS	7 FPS	9 FPS	7 FPS	10 FPS
Ekspozicija	30-1/8000s	30-1/8000s	30-1/4000s	60-1/4000s	30-1/8000s	30-1/4000s
Format zapisa	JPEG/RAW	JPEG/RAW	JPEG/RAW	JPEG/RAW	JPEG/RAW	JPEG/MPEG/RAW
Tip memorije	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC	SD, SDHC, SDXC
Cena nabavke	1110€	1210€	1229€	1000€	1250€	920€

Izbor optimalnog rešenja se odvija kroz pet faza.

**I faza:** Predložena lista kriterijuma:

- rezolucija,
- žižna daljina objektiva,
- način fokusiranja (zum),
- brzina snimanja,
- ekspozicija,
- format zapisa,
- tip memorije,
- cena nabavke.

**II faza:** Težine se određuju primenom petostepene skale, u zavisnosti od važnosti kriterijuma (Tabela 2).

**Tabela 2:** Težine kriterijuma

Vажnost kriterijuma	Težina $w_i$
Veoma važan	5
Doneklebo važan	4
Srednje važan	3
Doneklebo važan	2
Potpuno nevažan	1

Na taj način su za listu kriterijuma predloženu u I fazi dobijene težine date u Tabeli 3.

**Tabela3:** Važnost kriterijuma

Kriterijum	Važnost	Težina
Rezolucija	Veomavažan	5
Žižnadaljinaobjektiva	Veomavažan	5
Načinfokusiranja	Doneklevevažan	2
Brzina snimanja	Doneklevevažan	4
Ekspozicija	Veomavažan	5
Format zapisa	Srednjevažan	3
Tip memorije	Potpunonevažan	1
Cena nabavke	Srednjevažan	3

Težine kriterijuma koje su date u Tabeli 3 su vrednosti koje su subjektivno dodeljene na osnovu iskustava u snimanju digitalnim fotografskim kamerama, što ostavlja mogućnost da bi drugi donosioci odluke dodelili druge vrednosti težina navedenim kriterijumima. Model bodovanja pri dodeljivanju težina kriterijumima u prvi plan stavlja ekspertska znanja donosioca odluke, a svojom jednostavnošću olakšava primenu višekriterijumskog odlučivanja.

**III faza:** Za svako alternativno rešenje se procenjuje zadovoljenjedefinisanih kriterijuma, a predviđeni nivoi zadovoljenja su dati u Tabeli 4.

**Tabela 4:** Mere zadovoljenja kriterijuma

Nivozadovoljenja	Mera ( $r_{ij}$ )
Izuzetnovisoka	9
Veomavisoka	8
Visoka	7
Delimičnovisoka	6
Srednja	5
Delimičnoniska	4
Niska	3
Veomaniska	2
Izuzetnoniska	1

Za svaku kombinaciju alternativnog rešenja i pojedinog kriterijumadobija se odgovarajuća mera zadovoljenja. U eksperimentu sprovedenom za potrebe ovog rada razmatrano je osam kriterijuma i šest alternativnih rešenja, što ukupno daje 48 mera zadovoljenja svakog kriterijuma za pojedino alternativno rešenje (Tabela 5).

**Tabela 5:** Mere zadovoljenja kriterijuma za alternativna rešenja

Kriterijum	Alternativnorešenje					
	Canon (EOS70D)	Nikon (D7000)	Fuji (X-E2)	Olympus (OM-D E-M5)	Pentax (K-5 II)	Sony (SLT-A65 VY)
Rezolucija	8	6	6	6	6	9
Žižnadaljina	6	7	6	8	8	6
Načinfokusiranja	7	7	7	7	7	7
Brzina snimanja	7	6	7	8	7	9
Ekspozicija	8	8	7	7	8	7
Format zapisa	8	8	8	8	8	9
Tip memorije	9	9	9	9	9	9
Cena nabavke	7	6	5	8	4	9

**IV faza:** Uzimajući u obzir dodeljene težine, proračunavaju se bodovne vrednosti svakog alternativnog rešenja. U konkretnom slučaju dobijene su bodovne vrednosti alternativnih rešenja date u Tabeli 6.

**Tabela 6:** Bodovne vrednosti alternativnih rešenja

Kriterijum	$w_i$	Canon (EOS70D)		Nikon (D7000)		Fuji (X-E2)		Olympus (OM-D E-M5)		Pentax (K-5 II)		Sony (SLT-A65 VY)	
		$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$	$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$	$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$	$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$	$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$	$r_{ij}$	$w_i \cdot r_{ij}$
Rezolucija	5	8	40	6	30	6	30	6	30	6	30	9	45
Žižnadaljina	5	6	30	7	35	6	30	8	40	8	40	6	30
Način fokusa ranja	2	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14	7	14
Brzina snimanja	4	7	28	6	24	7	28	8	32	7	28	9	36
Ekspozicija	5	8	40	8	40	7	35	7	35	8	40	7	35
Format zapisa	3	8	24	8	24	8	24	8	24	8	24	9	27
Tip memorije	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Cena nabavke	3	7	21	6	18	5	15	8	24	4	12	9	27
Ukupnavred nost			206		194		185		198		197		223

$w_i$  = težina kriterijuma  $i$

$r_{ij}$  = mera za kriterijum  $i$  alternativno rešenje  $j$

**V faza:** Na osnovu rezultata iz Tabele 6 uočljivo je da alternativno rešenje  $A_6$  (digitalna fotografska kamera Sony SLT-A65 VY) ima najviše bodova, pa se samim tim može smatrati optimalnim izborom u odnosu na ostala predložena rešenja:

1. Sony SLT-A65 VY = 223,
2. Canon EOS70D = 206,
3. Olympus OM-D E-M5 = 198.

## 6. ZAKLJUČAK

Za fotografsko snimanje građevinskih konstrukcija digitalnim SLR fotografskim kamerama, Model bodovanja je dao prednost digitalnoj fotografskoj kameri Sony SLT-A65 VY. Ova kamera ima malu prednost u odnosu na kameru Canon EOS70D i ta prednost iznosi oko 8%.

Istraživanje je obavljeno na osnovu raspoloživih podataka o karakteristikama i cenama najčešće korišćenih digitalnih SLR fotografskih kamera, a koje su dostupne i na tržištu u našoj zemlji. Dobijeni rezultati višekriterijumskog odlučivanja su relevantni za trenutno stanje tehnološkog razvoja i tržišta u oblasti fototehnike, pa se može očekivati da se u budućnosti pojave novi proizvodi koji će boljim zadovoljavanjem postavljenih kriterijuma promeniti dobijeni redosled. Uvođenjem dodatnih kriterijuma i podkriterijuma dobijeni rezultati se ne bi značajnije promenili jer su razmatrana alternativna rešenja u klasi proizvoda sa ujednačenim opštim karakteristikama, pa bi se dobijene vrednosti alternativnih rešenja promenile samo za nekoliko bodova.

## LITERATURA

- [1] Pandžić, S. & Pandžić, J. (2012) Višekriterijumsko odlučivanje pri izboru najpovoljnije geodetske merne tehnike za snimanje na površinskim kopovima uglja, Zbornik radova XXXIX Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Tara, 199-202.
- [2] <http://www.fotodiskont.rs/kategorija/dslr-4/strana-1.html> [10. jun 2014]
- [3] <http://www.fotodiskont.rs/proizvodi/nikon-d7000-1051.html> [10. jun 2014]

# **GRAFOVI I MREŽE**





# SUBSEQUENCE OF SCORES WITH PRESCRIBED POSITIONS FOR STRONG TOURNAMENTS

MOMČILO BJELICA

University of Novi Sad, Technical faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin 23000, Serbia, bjelica@tfzr.uns.ac.rs

**Abstract:** In this paper we give a criterion for a subsequence of scores with prescribed positions in score sequence of some strong tournament.

**Keywords:** Graph, strong tournament, score sequence, subsequence.

## 1. INTRODUCTION

Each graph  $G=(V,E)$  consists of vertex set  $V$  and edge set  $E$ . A tournament  $T_n$  is a graph with vertices  $1,2,\dots,n$  such that each pair of distinct vertices  $i$  and  $j$  is joined by one and only one of oriented edges either  $ij$  or  $ji$ . Tournament is a complete asymmetric directed graph. The scores  $s_i$  of vertex  $i$  is outdegree i.e. the number of vertices that  $i$  dominates. The score vector  $s$  of  $T_n$  is the ordered sequence of scores  $(s_1, s_2, \dots, s_n)$ , where the vertices are labeled in such a way to make a nondecreasing sequence  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$ . Two examples are of special interest. A *transitive* tournament with score sequence

$$0 \leq 1 \leq \dots \leq n - 1,$$

and a *regular* tournament with the scores as nearly equal as possible

$$\lfloor e \rfloor = \dots = \lfloor e \rfloor \leq \lceil e \rceil = \dots = \lceil e \rceil, \quad e = \frac{n - 1}{2}.$$

Here we used the notation  $\lfloor e \rfloor$  for the greatest integer  $i$  satisfying  $i \leq e$ , as well as  $\lceil e \rceil$  for the smallest integer  $I$  satisfying  $e \leq I$ . In the above formula  $\lfloor e \rfloor$  appears  $\lfloor n/2 \rfloor$  times, and  $\lceil e \rceil$  appears  $\lceil n/2 \rceil$  times.

Tournaments having the same score sequence can be transformed each to the other by reversing the orientation of appropriate cycles (Moon 1973). The number  $s(n)$  of different score sequences of size  $n$  can be computed by recursion.

Landau theorem (Moon 1973) gives non-constructive criteria for a score sequence.

### THEOREM 1. (Landau)

A nondecreasing sequence  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$  of integers is the score sequence of some tournament  $T_n$  if and only if

$$\sum_{i=1}^k s_i \geq \binom{k}{2}, \quad 1 \leq k \leq n, \quad \sum_{i=1}^n s_i = \binom{n}{2}. \quad \square \tag{1}$$

Besides this form

$$\sum_{i=1}^k s_i \geq \sum_{i=1}^k (i - 1) = \frac{k(k - 1)}{2} = \phi(k), \quad 1 \leq k \leq n,$$

we have a dual form, with  $0 \leq k \leq n - 1$ ,

$$\sum_{i=k+1}^n s_i \leq \sum_{i=k+1}^n (i - 1) = \frac{(n - k)(n + k - 1)}{2} = \phi(n) - \phi(k) = \phi(n - k) - k(n - k),$$

which is equivalent to criteria for scores  $\bar{s}_k = n - 1 - s_{n-k+1}$  of the complement  $\bar{T}_n$  obtained by reversing the orientation of all the edges in  $T_n$ .  $\square$

In the next two theorems (Bjelica 2002, Bjelica and Lakić 2001) are presented criteria for score segments and subsequences of some score sequence.

**THEOREM 2.**

Let  $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m$  be a sequence of nonnegative integers, and let  $s, s',$  and  $s''$  be score sequences of tournaments  $T_n, T'_m$  and  $T''_r$  respectively. Then the following properties are equivalent:

- $F_1:$   $t_j = s_{k_j}, \quad 1 \leq j \leq m, \quad \text{for some } T_n \text{ and } k_1 < k_2 < \dots < k_m;$
- $F_2:$   $t_j \geq s'_j, \quad 1 \leq j \leq m, \quad \text{for some } T'_m;$
- $F_3:$   $t_j = s''_j, \quad 1 \leq j \leq m, \quad \text{for some } T''_r;$

$$\sum_{i=1}^k t_i \geq \binom{j}{2}, \quad 1 \leq j \leq m. \quad \square \quad (2)$$

**THEOREM 3.**

Let  $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m$  and  $0 < k_1 < k_2 < \dots < k_m$  be two sequences of integers, and let  $s, s',$  and  $s''$  be score sequences of tournaments  $T_n, T'_{k_m}$ , and  $T''_r$  respectively. Then the following properties are equivalent:

- $P_1:$   $t_j = s_{k_j}, \quad 1 \leq j \leq m, \quad \text{for some } T_n;$
- $P_2:$   $t_j \geq s'_{k_j}, \quad 1 \leq j \leq m, \quad \text{for some } T'_{k_m};$
- $P_3:$   $t_j = s''_{k_j}, \quad 1 \leq j \leq m, \quad k_{j-1} < k \leq k_j, \text{ for some } T''_r;$

$$\sum_{i=1}^j (k_i - k_{i-1}) t_i \geq \binom{k_j}{2}, \quad 1 \leq j \leq m, \quad k_0 = 0 \quad (3)$$

The condition (3) becomes equality if and only if  $n = k_m$ .  $\square$

Criteria from Theorem 2 and Theorem 3, for sets of scores with arbitrary and prescribed positions (Bjelica 2000, Bjelica and Lakić 2001) are cited in a monograph "Graph theory", Chapter 14., which is available on [7].

A tournament  $T_n$  is *strongly connected* or *strong* if for every two vertices  $u$  and  $v$  there is a path from  $u$  to  $v$  and a path from  $v$  to  $u$ . Landau criteria can be extended [Chapter 14.]

**THEOREM 4. (Extension of Landau theorem)**

A nondecreasing sequence  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$  of integers is the score sequence of some strong tournament  $T_n$  if and only if

$$\sum_{i=1}^k s_i > \binom{k}{2}, \quad 1 \leq k < n, \quad \sum_{i=1}^n s_i = \binom{n}{2}. \quad \square \quad (4)$$

**2. CRITERION FOR SUBSEQUENCE OF SCORES WITH PRESCRIBED POSITIONS**

Further we shall use following notations

$$U(k) := \sum_{i=1}^k u_i, \quad \phi(k) := \frac{k(k-1)}{2}.$$

In the next Theorem 5 we extend Theorem 3 to strong tournaments.

**THEOREM 5.** Let  $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m$  and  $0 < k_1 < k_2 < \dots < k_m$  be two sequences of integers. Then there exists a strong tournament  $T_n$  with score sequences  $s_1 \leq s_2 \leq \dots \leq s_n$  such that

$$t_j = s_{k_j}, \quad 1 \leq j \leq m,$$

if and only if

$$\sum_{i=1}^j (k_i - k_{i-1})t_i > \binom{k_j}{2}, \quad 1 \leq j < m, \quad k_0 = 0. \quad (5)$$

and

$$\sum_{i=1}^m (k_i - k_{i-1})t_i \geq \binom{k_m}{2}. \quad (6)$$

If the condition (6) becomes equality, then  $n = k_m$ .  $\square$

**PROOF.**

**Necessity.** Let for some strong tournament  $T_n$  we have  $t_j = s_{k_j}$  where  $1 \leq j \leq m$ . Then from monotonicity of the score sequence and the Landau Theorem 1 it follows

$$\sum_{i=1}^j (k_i - k_{i-1})t_i = \sum_{i=1}^j (k_i - k_{i-1})s_{k_i} \geq \sum_{i=1}^{k_j} s_i > \binom{k_j}{2}, \quad 1 \leq j < m. \quad (7)$$

For  $j = m$  we have

$$\sum_{i=1}^m (k_i - k_{i-1})t_i = \sum_{i=1}^m (k_i - k_{i-1})s_{k_i} \geq \sum_{i=1}^{k_m} s_i \geq \binom{k_m}{2}. \quad (8)$$

If in (6) the equality holds, then (8) gives

$$\binom{k_m}{2} = \sum_{i=1}^m (k_i - k_{i-1})t_i = \sum_{i=1}^m (k_i - k_{i-1})s_{k_i} \geq \sum_{i=1}^{k_m} s_i \geq \binom{k_m}{2}.$$

Since  $T_n$  is a strong tournament, by (4) it follows that  $n = k_m$ .

**Sufficiency.** Let some sequences  $t$  and  $k$  satisfy (5) and (6). Define a sequence  $u$  which extends  $t$

$$u_k = t_j, \quad k_{j-1} < k < k_j, \quad 1 \leq j \leq m.$$

In the following, piecewise linearity of  $U$ , inequalities (6), and convexity of  $\phi$  give

$$\begin{aligned} U(k) &= \frac{k_j - k}{k_j - k_{j-1}} U(k_{j-1}) + \frac{k - k_{j-1}}{k_j - k_{j-1}} U(k_j) > \frac{k_j - k}{k_j - k_{j-1}} \phi(k_{j-1}) + \frac{k - k_{j-1}}{k_j - k_{j-1}} \phi(k_j) \\ &\geq \phi\left(\frac{k_j - k}{k_j - k_{j-1}} k_{j-1} + \frac{k - k_{j-1}}{k_j - k_{j-1}} k_j\right) = \phi(k), \quad 1 \leq k < k_m. \end{aligned} \quad (9)$$

For  $k = k_m$  in (9) we have relation  $\geq$  instead of  $>$ . By Theorem 2, there exists a tournament  $T_n$  realizing  $u$  and therefore  $t$  on the prescribed positions  $k$ .  $T_n$  is a strong tournament since the strong inequalities hold.  $\square$

### 3. CONCLUSION

Our previous criteria for score subsequence, with prescribed positions of scores, in score sequence of some tournament, are cited in the monograph „Graph theory“. Here we modify the criteria for subsequences of scores for strong tournaments.

## REFERENCES

- [1] Bjelica, M. (1997). On Landau tournament theorem. N.Boja (Ed.), 7th Symposium mathematics and its applications, Politehnica, Timisoara, 49-52.
- [2] Bjelica, M. (1997). On Landau tournament theorem. N.Boja (Ed.), 7th Symposium mathematics and its applications, Politehnica, Timisoara, 49-52.
- [3] Bjelica, M. (2000). Segments of score sequences. Novi Sad J. Math., 30, 11-14.
- [4] Bjelica, M. & Lakić, S. (2001). Criteria for sets of scores with prescribed positions. Filomat 15, 1-5.
- [5] Harary, F. & Moser, L. (1966). The theory of round robin tournaments. Amer. Math. Monthly 73, 231-246.
- [6] Landau, H.G. (1953). RWS Publications. On dominance relations and the structure of animal societies. III. The condition for a score structure, Bull. Math. Biophys. 15, 143-148.
- [7] Moon, J.W. (1973). Topics on tournaments, Holt, Reinhart and Winston, New York .
- [8] Graph theory, <http://compalg.inf.elte.hu/~tony/Oktatas/TDK/FINAL/Chap\%252014.PDF>.

# **I N F O R M A C I O N I**

# **S I S T E M I**



## ERP SISTEMI U INSTITUCIJAMA VISOKOG OBRAZOVANJA: KRITIČNI ASPEKTI IMPLEMENTACIJE

## ERP SYSTEMS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: CRITICAL ASPECTS OF IMPLEMENTATION

ZORAN ĆIRIĆ<sup>1</sup>, NEMANJA LUKIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, czoran@ef.uns.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Pedagoški fakultet u Somboru, luknem@yahoo.com

**Rezime:** U proteklih nekoliko godina, u razvijenim zemljama sveta je potrošeno više desetina milijardi dolara na projekte implementacije ERP sistema u institucijama visokog obrazovanja. Od toga je veliki broj projekata okončan neuspešno. U radu su analizirani najbitniji aspekti u implementacionoj i postimplementacionoj fazi projekta razvoja ERP sistema u institucijama visokog obrazovanja. U uvodnom delu rada su date informacije o ciljevima i ulozi ERP sistema u visokom obrazovanju. Potom su prikazane najvažnije funkcionalnosti modula za akademsko poslovanje, te daljom analizom ukazano je na važnost sagledavanja ERP benefita i kritičnih faktora uspeha na projekte implementacije ERP sistema u institucijama visokog obrazovanja.

**Ključne reči:** ERP sistem, institucije visokog obrazovanja, kritični faktori uspeha, benefiti.

**Abstract:** In the past few years, in developed countries, it has been spent a tens of billions of dollars on projects of implementation of ERP systems in higher education institutions, of which a large number was ended unsuccessfully. The paper analyzes the most important aspects of implementation and post implementation phase of the development of ERP systems in higher education institutions. In the introductory part of the paper there are informations related to the aims and role of ERP systems in higher education. Then the most important functionality module for the academic business are showed. Further analysis indicated the importance of the consideration of ERP benefits and critical success factors on implementation of ERP system in institutions of higher education.

**Keywords :** ERP system, institutions of higher education, critical success factors, benefits.

### 1. UVOD

Značajne promene u oblasti ekonomije, kao i razvoj organizacionih aktivnosti zahtevaju stalno usklađivanje planova organizacije, koje je praćeno povećanjem napora u pogledu usmeravanja analitičkih kapaciteta (Bologa 2007). Problemi iz domena alokacije resursa, kontrole troškova, likvidnosti, povećanja produktivnosti i borba za privlačenje novih klijenata su samo neke od teškoća koje ukazuju na sličnost životnog toka karakterističnog za većinu organizacija. U cilju ostvarenja strategijskih ciljeva, a usled sve veće konkurencije na području visokog obrazovanja, institucije visokog obrazovanja (IVO) postaju svesne prednosti koje pružaju integrisane informaciono-komunikacione tehnologije. Prednosti se ne odnose samo na obrazovne i istraživačke aktivnosti ovih institucija nego i na podršku drugim poslovnim funkcijama. Zbog toga, prema pojedinim autorima (Zornada and Velkavrh 2005) mnogi univerziteti teže ka uvođenju novih i unapređenju postojećih integralnih softverskih rešenja. Postojanje takvih trendova implikuje na sve veću ulogu menadžmenta poslovnih procesa kao bitnog projektnog zadatka u postupku njihove implementacije.

Danas postoje različita integralna softverska rešenja, bazirana na ERP logici, namenjena naučnim ustanovama i IVO. ERP sistemi namenjeni IVO su sastavljeni od različitih modula, gde svaki modul obuhvata određeni domen poslovanja. Njihov zadatak je usmeren na integraciju poslovnih tokova i automatizaciju procedura sa zadatkom isporuke informacija iz jedinstvene baze podataka.

Cilj razvoja ERP sistema u području visokog obrazovanja se odnosi na pružanje podrške akademskom servisu i administrativnim zadacima koje takav servis treba da izvrši (Goel et al. 2011). Postupak implementacije ERP sistema zahteva opsežne pripreme u pogledu promena u upravljanju poslovnim procesima. Identifikovanje kritičnih faktora uspeha predstavlja neophodan korak ka uspešnoj implementaciji. Ciljevi kojima se vode projektni timovi uključuju uspostavljanje visoke raspoloživosti podsistema,

integraciju poslovnog toka (automatizacija poslovnih procesa), brži pristup informacijama neophodnih za efikasnije planiranje, smanjenje troškova poslovanja, povećanje efikasnosti i kustomizaciju sa ciljem poboljšanje servisa za studente, nastavnog i nenastavnog osoblja. Iz navedenog se mogu opaziti i potencijalni benefiti upotrebe ERP sistema u akademskom poslovanju. U tom pogledu je i razuman interes univerziteta, naučnih instituta i IVO za osavremenjivanje i unapređivanje sopstvenog poslovanja.

Roman (Roman 2009) ukazuje da se u postupku pripreme projekta implementacije ERP sistema kod mnogih institucija oseti rast uzbuđenja zbog iščekivanja potencijalnih benefita koje taj sistem može da pruži. Može se zaključiti da je to prirodan proces, s obzirom na tok stvari koje dolaze nakon implementacije. Ono što može predstavljati problem jeste da poboljšani procesi i novo radno okruženje mogu stvoriti antagonizam zaposlenih prema novom sistemu u postimplementacionoj fazi. Zato je važno pripremiti zaposlene, ukazati im na potencijalne benefite garantovane od strane proizvođača, ali i na pozitivna iskustva drugih organizacija koje su implementirale identične module ERP sistema.

U narednom delu rada biće predstavljeni moduli ERP sistema namenjenih institucijama visokog obrazovanja, benefiti ERP sistema, a potom i kritični faktori uspeha.

## **2. IZBOR MODULA INTEGRALNOG SISTEMA**

Projekat dobro isplanirane implementacije zavisi od izabrane metodologije. Najčešće se pod tim podrazumeva: dobro definisan strategijski plan, kvalitetno izvršena procena trenutnog stanja (snage i slabosti IVO), postupak izbora prodavca, priprema plana implementacije, postupak implementacije ERP sistema i pratećih poslovnih aplikacija i postimplementacioni period pod kojim se podrazumeva trening korisnika i održavanje sistema.

Koje module će IVO izabrati zavisi od njenih poslovnih i administrativnih potreba ali i od cene implementacije, troškova održavanja, troškova obuke osoblja i kustomizacije. Prema Kingu (King et al. 2002) istraživanje koje su sprovele ECAR (engl. Educause Center for Applied Research) i CGEY (engl. Cap Gemini Ernst & Young) ukazuje na najfrekventnije implementacije modula ERP sistema u IVO. Spomenuto istraživanje je obuhvatalo istraživanje literature, veb istraživanje, serije kvalitativnih ispitivanja baziranih na intervjuima, konsultovanje sa administratorima sistema i sprovođenje intervjua sa proizvođačima i konsultantskim firmama, a bilo je većinom fokusirano na module za upravljanje finansijama, HR (engl. Human Resource) i studentima. Mora se napomenuti da je veb istraživanjem obuhvaćeno preko 480 institucija, od kojih je 256 imalo uspešno okončane implementacije nekih od modula. Ostale institucije ili nisu imale implementirane module ili su bile u fazama implementacije. Rezultati istraživanja su pokazali da je preko 33% IVO u postupku implementacije kombinovao module za upravljanje finansijama, HR i studentskim poslovima, dok je 25% njih imalo implementirane module za upravljanje finansijama i ljudskim resursima. 24% institucija je imalo implementirane samo module za studente, dok je 10% institucija imalo implementirane module za finansije i studente. Ostale institucije su imale kombinaciju samo jednog od tri navedena modula.

ERP sistemi namenjeni institucijama visokog obrazovanja predstavljaju integralna softverska rešenja usmerena ka povezivanju funkcija i departmana i poslovnih procesa u okviru celokupne organizacije, sa ciljem stvaranja jedinstvenog sistema isporuke i upravljanja informacijama. Zbog toga su na tržištu visokog obrazovanja sve više prisutne tehnološke inovacije sa ciljem pružanja podrške kako u administrativnom, studentskom i nastavno-programskom domenu, tako i u pogledu podrške naučnom-istraživačkom radu. U Tabeli 1. dat je pregled mogućih funkcionalnosti studentskog modula ERP sistema.

Nabrojane funkcionalnosti se gotovo nikada ne pojavljuju u osnovnoj ponudi prodavaca i uvek predstavljaju različito definisane pakete. Pored nabrojanih funkcionalnosti osnovnog modula ERP sistema namenjenih IVO, postoje i moduli koji mogu pružiti podršku ostalim funkcijama, a koji predstavljaju deo integralnog sistema. Iako sve zavisi od politike prodavca, većina vodećih ponuđača uključuje module za upravljanje računovodstvom i finansijama, upravljanje nabavkama, upravljanje ljudskim resursima, upravljanje zalihama, upravljanje poslovnim procesima, upravljanje lancem snadbevanja, poslovna inteligencija, Warehousing menadžment, Upravljanje odnosima sa kupcima itd.

**Tabela 1:** Pregled mogućih funkcionalnosti modula za poslovanje IVO

Moguće funkcionalnosti bazičnog modula ERP sistema u IVO	
• Upravljanje planovima i programima	• Servis za nastavnike
• Upravljanje studentsko-administrativnim poslovima	• Servis za studente
• Upravljanje plaćanjima studenata	• Menadžment tutorstva
• Upravljanje nastavom	• Upravljanje projektima
• Menadžment kolaborativnog učenja	• Upravljanje bezbednošću
• Učenje na daljinu	• Upravljanje performansama
• Upravljanje izveštajima	• Bibliotečki menadžment
• Upravljanje istraživanjem	• Alumni

### 3. KRITIČNI FAKTORI USPEHA

„Troškovi i rizik koji su uključeni u projektima implementacije integralnih sistema mogu biti veoma visoki, a vraćanje investicije se može očekivati tek na srednji ili dugi rok“ (Khare 2014). Iz tog razloga, mnogo studija u domenu implementacije ERP sistema posvećeno je istraživanju glavnih razloga (faktora) odgovornih za uspeh ili neuspeh projekata. Kritični faktori uspeha se odnose na ograničen broj oblasti organizacije u kojoj se mere rezultati poslovanja i koji mogu snažno uticati na konkurentne performanse (Zwikael and Globerson 2006). Oni su blisko povezani sa strateškim ciljevima i njihovom realizacijom, bez čijeg su sagledavanja mogućnosti ostvarenja definisanih ciljeva implementacije ERP sistema svedene na nulu. Prema Finiju i Korbetu “kritični faktori uspeha predstavljaju bilo koji uslov ili element koji se smatra neophodnim u cilju uspešne implementacije ERP sistema“ (Finney and Corbett 2007). Mnogi autori u svojim istraživanjima kritične faktore uspeha posmatraju kroz dimenzije ili kategorije. Tako Karanda i Gatula (Karande and Ghatule 2014) ukazuju na strategijske, taktičke, organizacione i tehnološke dimenzije. Sa druge strane, autor Abas (Abbas 2011) posmatra kritične faktore uspeha iz različitih perspektiva, te izvršava njihovu kategorizaciju na taktičke, organizacione i personalne.

Zbog visoke stope neuspeha implementacije ERP sistema u okviru univerziteta, Raba (Rabaa 2009) je istraživanjem literature ukazao na dvanaest najfrekventnijih kritičnih faktora uspeha koji su prikazani u tabeli 2.

**Tabela 2:** Pregled najfrekventnijih kritičnih faktora uspeha po Rabi (Rabaa 2009)

Kritični faktori uspeha	Frekvencija učestalosti
1. Podrška višeg menadžmenta	28
2. Upravljanje promenama	28
3. Projektni menadžment	24
4. Poslovni procesi i kastomizacija sistema	21
5. Trening zaposlenih	20
6. ERP tim	17
7. Vizija i planiranje	15
8. Izbor konsultanata	14
9. Komunikacioni plan	13
10. Izbor ERP sistema	13
11. Integracija ERP sistema	11
12. Postimplementaciona procena	10

Podrška top menadžmenta predstavlja najfrekventniji kritični faktor, s obzirom da ono u velikoj meri osigurava uspeh u radu sistema. Bez njihove podrške velika je verovatnoća da će projekat implementacije doživeti neuspeh. Drugi faktor po frekvenciji se odnosi na upravljanje promenama. Ovaj faktor ima veliku važnost u postupku implementacije a mogućnost uticaja na bilo kakva poboljšanja su gotovo minimalna u slučaju nepostojanja adekvatnog plana promena od strane tima za implementaciju. Plan promena se odnosi na izmene ili poboljšanja poslovnih procesa ali i promene u domenu tehnologije. Ovde je jako bitno ukazati zaposlenima na važnost tih promena. Treći po frekvenciji važnosti je projektni menadžment. Implementacija ERP sistema zahteva izbor odgovarajuće metodologije, s obzirom da je upravljanje zadacima, resursima i rokovima u projektu od krucijalnog značaja za uspeh implementacije. Reinženjering poslovnih procesa predstavlja četvrti faktor po frekvenciji. Njegova važnost sa aspekta implementacije je od suštinskog značaja



za podizanje efikasnosti sistema. Odnosi se na suštinske promene u poslovnim procesima i njihovo usklađivanje sa procesima ERP sistema. Još jedan važan faktor je trening zaposlenih. Bez adekvatnog treninga, zaposleni ne mogu biti spremni za eksploataciju sistema na način koji bi doveo od željenih performansi. ERP tim kao kritični faktor uspeha mora biti dobro organizovan i sastavljen od eksperata u različitim domenima implementacije. Tu spadaju timovi za obuku, timovi za migraciju podataka, timovi za integraciju procesa itd. Uspeh projekta zahteva jasno definisanje vizije, misije, ciljeva i planova, jer bez njih bi poslovanje organizacije bilo gotovo uzaludno. Kritični domeni u implementaciji se odnose i na izbor konsultanata koji treba da pomognu u procesu implementacije. Važno je takođe napomenuti i faktor koji se odnosi na komunikacioni plan, jer bez jasno uspostavljenih linija komunikacije nije moguće uspešno implementirati sistem. Izbor ERP sistema je još jedan kritični faktor. Ovo se pre svega odnosi na izbor odgovarajućih modula. Bez jasno definisanih korisničkih zahteva i potreba organizacije nije moguće izabrati odgovarajuće softversko rešenje. Takođe, u tom pogledu je važno sagledati, ako je moguće, i iskustva drugih IVO koja su implementirala ERP. Na najkritičniji domen ukazuje poslednji faktor po učestalosti. Odnosi se na postimplementacioni period. To je faza u kojoj je sistem pušten u upotrebu, te je potrebno vršiti prve procene uspešnosti implementacije korišćenjem određenih metrika za merenje performansi.

#### 4. ERP BENEFITI

ERP benefiti predstavljaju važnu komponentu u projektima implementacije i najčešće se mere nakon postimplementacionog perioda. Tada je sistem već uveliko u procesu eksploatacije, i zbog toga predstavlja ključnu fazu za donošenje odluke o uspehu ili neuspehu implementacije. Međutim, u predimplementacionoj fazi uvođenja ERP sistema, svaka IVO se mora upoznati sa ključnim prednostima koji bi mogle doprineti podizanju efikasnosti poslovanja. Zbog toga se ispituju ključni benefiti upotrebe ciljanog modula integralnog sistema proistekli iz iskustava drugih korisnika. To predstavlja veoma bitnu informacija koja će IVO upoznati sa podržanim funkcionalnostima posmatranog sistema kao i mogućnostima rešavanja problema u posmatranim domenima. Bez te informacije projekat implementacije može dovesti do antagonizma zaposlenih prema novoj tehnologiji.

Prema Leriju (Leary 2004) ERP benefiti zauzimaju centralno mesto prilikom razmatranja da li će organizacija da investira u integralni sistem ili neće. Autor smatra da su benefiti u pogledu upotrebe ERP sistema važni iz sledećih razloga:

- Prenosnje iskustva. Pružanje informacija jedne organizacije drugoj u pogledu sposobnosti i načina rešavanja problema ERP sistema. Na ovaj način se dobijaju dragocene informacije kojima se mogu uporediti stvarne potrebe sa onim šta sistem može da pruži;
- Odnos između koristi koje ERP sistem nudi sa uspostavljenim očekivanjima korisnika;
- Uspostavljanje sistema merenja benefita. Uspostavljanje takvog sistema pruža organizaciji mogućnost da uporedi svoja postignuća sa očekivanjima koje je imala od implementacije ERP sistema;
- Poslednja tačka ukazuje na kritično pitanje. U kojoj meri različite organizacije treba da očekuju i različite benefite. Npr. da li IVO može da ima ista očekivanja kao preduzeće koje se bavi proizvodnjom?

Konsultantska kuća iz SAD-a (NetSpecGlobal, 2013) ukazuje na važnost razumevanja uticaja ERP softvera na zadovoljavanje potreba ključnih korisnika. Zbog toga je dat pregled benefita za ključne stejkholdere. Svi benefiti su svrstani u pet kategorija, u koje spadaju benefiti za administraciju i upravu, benefiti za osoblje, benefiti za studente, benefiti za članove alumnija i roditelje.

U istraživanju koje je sproveo Roman (Roman 2009), član konsultantske kuće „Cornelius & Associates Company“ dat je pregled deset najfrekventnijih ERP benefita. Istraživanje je obuhvatilo 12 institucija visokog obrazovanja širom SAD-a, koje su uglavnom bile okrenute diplomskim i doktorskim studijama. Prikupljanje podataka je obavljeno metodom personalnog intervjua sa stejkholderim (tehničko, administrativno, nastavno i rukovodeće osoblje) unutar kampusa i istraživanje putem e-mejla.

**Tabela 3:** Top 10 ERP benefita u IVO

Red	Benefiti	% institucija koje su je prijavile
1.	Poboljšana tehnologija	91%
2.	Efikasnost	91%
3.	Informacije su integrisane	66%
4.	Izveštavanje	66%
5.	Lako za korišćenje	50%
6.	Pristup podacima	50%
7.	Servis za klijente	41%
8.	Funkcionalnost	25%
9.	Komunikacija	25%
10.	Bezbednost	-

Izvor: Roman, 2009.

Jedno od rešenja u pogledu radnog okvira za prikaz ERP benefita je dala grupa autora iz Indonezije (Eckartz et al. 2009) naglašavajući mogućnost primene njihovog rešenja na različite organizacije. Na osnovu istraživanja literature, u okviru koje se pozivaju na dimenzije definisane na osnovu prethodno sprovedenog istraživanja (Shang and Seddon 2002), oni su daju rešenje sopstvenog viđenja radnog okvira ERP benefita. Autori (Eckartz et al. 2009) predstavljaju radni okvir diferencirajući tri dimenzije:

- Operativni, upravljački i strategijski benefiti;
- Benefiti klijenata, procesa, finansija i inovacija, sledeći četiri perspektive uravnoteženih pokazatelja (engl. Balanced scorecard). Takođe, uključuje i pet pogleda za procenu otpora i spremnosti zaposlenih na promene;
- Benefiti koji spadaju unutar IT infrastrukture i organizacionih kategorija. Oni su uglavnom neopipljivi i teški za identifikovanje (npr. organizaciono učenje i poboljšanje komunikacije).

Sa manjim izmenama, predloženi radni okvir bi se mogao primeniti za sagledavanje gotovo svih potencijalnih benefita koji mogu biti postignuti u postimplementacionoj fazi projekta.

## 5. ZAKLJUČAK

Projekti implementacije ERP sistema nose velike rizike u pogledu troškova i isplativosti. Prikazom kritičnih aspekata u domenu implementacije ERP sistema u institucijama visokog obrazovanja, ukazuje se na postojanje važnih funkcionalnosti i modula za efikasnije univerzitetsko poslovanje u cilju zadovoljenja potreba ključnih grupa stejkholdera (fakultet, studenti, nastavno i nenastavno osoblje).

Analizom benefita ERP sistema ukazuje se na još jedan važan aspekt u pogledu uspešnosti implementacije ERP sistema. Važnost sagledavanja korisnosti upotrebe ERP sistema ne samo u postimplementacionoj fazi, nego i u početnoj fazi projekta, pre izbora isporučioaca je veoma važno za projekat implementacije i treba mu pristupiti veoma ozbiljno.

Navođenjem kritičnih faktora uspeha daje se pregled onih kritičnih oblasti na koje je potrebno usmeriti pažnju prilikom rukovođenja projektom implementacije. Njihovom kratkom analizom ukazuje se da podrška top menadžmenta zajedno sa menadžmentom promena, upravljanje projektom i upravljanje poslovnim procesima imaju značajnu ulogu u sprovođenju projekta implementacije.

Pažnja u daljim istraživanjima bi trebala biti usmerena na dublju analizu kritičnih faktora uspeha u domenu implementacije ERP sistema sa aspekta univerzitetskog poslovanja. U tom cilju, potrebno je istražiti koji su to razlozi velikog procenta neuspeha projekata implementacije.

## LITERATURA

- [1] Abbas, M. (2011). *ERP Systems in HEI context from a Multiple Perspective View: A Case Study*. University of Manchester.
- [2] Bologa, A.R. (2007). ERP for Romanian Higher Education. *Informatica Economica*, 3(3), 100–103. Retrieved from <http://revistaie.ase.ro/content/43/15-bologa-ramona.pdf>
- [3] Eckartz, S., Daneva, M., Wieringa, R., & Hillegersberg, J. Van. (2009). *A Conceptual Framework for ERP Benefit Classification*. *Depoludation Review*

- [4] Finney, S., & Corbett, M. (2007). ERP implementation: a compilation and analysis of critical success factors. *Business Process Management Journal*, 13(3), 329–347. doi:10.1108/14637150710752272
- [5] Goel, M. S., Kiran, R., & Garg, D. (2011). Impact of Cloud Computing on ERP implementations in Higher Education. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(6), 146–148.
- [6] Karande, S. H., & Ghatule, D. A. P. (2014). Examination of Accountable Critical Successful Factors and Impact of ERP over Higher Education Institutions. In *National Conference on Innovations in IT and Management NCI2TM: 2014* (pp. 125–127).
- [7] Khare, P. N. (2014). A Study of Implications of Enterprise Resource Planning ( ERP ) system in Higher Education. In *National Conference on Innovations in IT and Management NCI2TM* (pp. 6–9). Sinhgad Institute of Management and Computer Application.
- [8] King, P., Kvavik, R. B., & Voloudakis, J. (2002). Enterprise Resource Planning Systems in Higher Education. *EDUCAUSE Center for Applied Research - Research Bulletin*, 2002(22). Retrieved from [www.educause.edu/ecar/](http://www.educause.edu/ecar/)
- [9] Leary, D. E. O. (2004). Enterprise Resource Planning (ERP) Systems: An Empirical Analysis of Benefits. *Journal of Emerging Technologiew in Accounting*, 1(1), 63–72.
- [10] Rabaa, A. A. (2009). Identifying Critical Success Factors of ERP Systems at the Higher Education Sector. In *ISIICT 2009* □: *Third International Communication Technology* (pp. 15–17). Amman, Jordan: Philadelphia University.
- [11] Roman, K. (2009). *Benefits of Implementing an ERP Top 10 Benefits an ERP Implementation Can Bring to Your Institution* (pp. 1–3). Columbia, USA. Retrieved from <http://www.collegiateproject.com/erparticles.asp>
- [12] Shang, S., & Seddon, P. B. (2002). Assessing and managing the benefits of enterprise systems: the business manager’s perspective. *Info Systems J*, 12, 271–299.
- [13] Zornada, L., & Velkavrh, T. B. (2005). Implementing ERP systems in higher education institutions. In *27th International Conference on Information Technology Interfaces, 2005*. (pp. 307–313). Cavtat, Croatia: Ieee. doi:10.1109/ITI.2005.1491143
- [14] Zwikael, O., & Globerson, S. (2006). From Critical Success Factors to Critical Success Processes. *International Journal of Production Research*, 44(17), 3433–3449. doi:10.1080/00207540500536921



## ITERACIJA KAO BRZO SOFTVERSKO REŠENJE AGILNIH METODOLOGIJA

## ITERATION AS FAST SOFTWARE SOLUTIONS OF AGILE METHODOLOGIES

TATJANA DAVIDOV<sup>1</sup>, SAŠA BOŠNJAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {tanja.davidov1, sasabosnjak1996}@gmail.com

**Rezime:** *Strategija životnog ciklusa softvera razvija se u 3 pravca: upravljanje softverom prema funkcionalnim karakteristikama sistema, orijentacija ka arhitekturi i platformi na kojoj se razvija softversko rešenje, i neprestano testiranje parcijalno-gotovih softverskih rešenja tokom iterativnog razvoja pojedinačnih sekvenci. Ekstremnim programiranjem podržane su metode agilnog razvoja softverskih rešenja za mnogostruke upotrebe.*

**Ključne reči:** *Agilne metode, Ekstremno programiranje, objekat, iteracije, objektno orijentisano programiranje, iterativni i inkrementalni razvoj*

**Abstract:** *The Strategy of software life cycle, developed in three directions: management software according to functional characteristics of the system, orientation to architecture and platform on which are develop software-solution, and continually testing partially-finished software solutions during the iterative development of individual sequences. The Extreme programming are supported by agile methods of software development solutions for multiple use.*

**Keywords:** *Agile methods, Extreme Programming, object, iteration, object oriented programming, iterative and incremental development*

### 1. UVOD

Softver je danas ugrađen u sve pore čovekovog života, privatnog i radnog okruženja, pri čemu nismo ni svesni koliko nam čini život udobnijim. Sve više se oslanjamo na automatizaciju mnogobrojnih aktivnosti, koje svakodnevno obavljamo. Aplikativni softver i razvojni softver inženjering, danas imaju izuzetno kompleksan zadatak, više nego ikada do sada. Kvalitetan softver inženjering daje pozitivan doprinos razvoju fleksibilnih, višestruko upotrebljivih softverskih rešenja od značaja za veliki broj korisnika. Ipak, razvoj softvera paralelno prate mnogobrojni ponavljajući problemi, koje možemo svrstati u nekoliko velikih grupacija, od kojih su najistaknutije:

- zahtevi korisnika ili poslovnog sistema nisu zadovoljeni u potpunosti,
- dolazi do stalne i konstantne promene korisničkih zahteva,
- nedovoljna je saradnja između korisnika i razvojnih timova,
- pojedinačni softverski moduli nisu integrisani, a razvoj aplikacije je razdužen
- teškoće u realizaciji gotovih softverskih rešenja,
- kasno otkrivanje grešaka u izvornom kôdu,
- nizak stepen obrazovanja, neiskustvo i nedovoljno obučeno korisničko osoblje,
- softverska rešenja imaju vrlo niske performanse, opterećenje sistema, i računarskih resursa,
- sistem označavanja razvojnih softverskih rešenja i gotovih softverskih proizvoda, nije jedinstven,
- ne postoji adekvatna dokumentacija tokova razvoja i rezultujućih softverskih proizvoda,
- ne postoji dovoljna koordinacija u radu razvojnog tima.

Dugogodišnji cilj razvojnog softver inženjeringa, usmeren je ka pronalaženju ponovljivih, predvidivih procesa ili metodologije, što bi podiglo nivo produktivnosti i kvaliteta tokova razvoja i gotovih softverskih rešenja. Vođenje softverskog projekta, vrlo je odgovoran zadatak i povlači mnogobrojne konsekvence, s obzirom da završetak istog lako može zakasnuti u odnosu na ugovorene rokove, a s tim u vezi i zakasnuti u odnosu na predviđena budžetska sredstva. Uspešno vođenje softverskog projekta je zahtevan posao, s obzirom da mnogobrojni softverski projekti nisu uspeli da zadovolje očekivanja vezana za funkcionalne, troškovne i vremenske zahteve.

## 2. METODOLOGIJE RAZVOJA SOFTVERA

Životni ciklus softvera obuhvata niz iteracija<sup>1</sup>, pri čemu svaka iteracija igra ulogu nezavisnog projektnog rešenja. Projekatne aktivnosti sadržane su u: projektovanju, programiranju i testiranju. Svaka iteracija stvara stabilno projektno rešenje koje je unapred testirano i nesmetano se integriše u mnogobrojne softverske sisteme. Integrisane i samostalne iteracije koriste razvojni programerski timovi, a nikako krajnji korisnici softverskih aplikacija. U istoriji razvoja softverskih rešenja i životnog ciklusa softvera nekoliko metodologija je imalo i ima i dan danas značajnu ulogu:

- *Metodologija vodopada – stroga i rigidna (eng. waterfall)*, po kojoj svaka naredna faza životnog ciklusa razvoja softvera započinje tek nakon što se prethodna sasvim sigurno završi.
- *Metodologija iterativnog i inkrementalnog<sup>2</sup> razvoja* – dizajn sistema je u jednoj projektnoj iteraciji dok se projekat razvija inkrementalno.
- *Metodologija rapidnog razvoja* (engl. rapid application development) – nastoji se dobiti brz prototip iteracija.
- *Spiralna metodologija* - analizira rizik, pri čemu ima i osobine metoda vodopada i rapidnog razvoja.
- *Metodologija ekstremnog razvoja* – agilna metodologija iterativnog razvoja koje stvaraju funkcionalne celine u kratkom vremenskom periodu.

U dosadašnjoj dugogodišnjoj praksi razvoja softvera najčešće se pominje model vodopada (engl. waterfall model), kao jedan od najzastupljenijih tradicionalnih modela u razvoju softverskih rešenja, sa sekvencionalnim pristupom. Međutim ovaj model ispoljava kako pozitivne tako i negativne činioce tokom životnog ciklusa razvoja softvera, što može uticati na znatno povećanje troškova. Ovim modelom se razvoj sprovodi kroz tradicionalno utvrđene i rigidno razrađene sekvence. U pronalaženju nekog fleksibilnijeg, bržeg, jeftinijeg i savremenijeg načina shvatanja u razvoju softverskih rešenja, treba proceniti epitet „dobre” praksa razvoja softverskih rešenja:

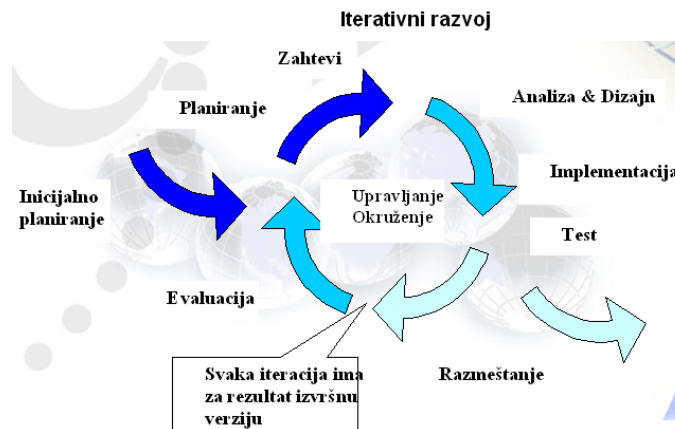
- iterativni razvoj softvera,
- upravljanje korisničkim i zahtevima razvojnih timova,
- korišćenje komponentne arhitekture,
- vizuelno modelovanje (engl. unified modeling language- UML),
- kontinuirano vrednovanje kvaliteta razvojnih rešenja i gotovih proizvoda,
- upravljanje promenama.

Model vodopada (engl. waterfall) je sekvencijalni model po kome je razvoj stabilan padajući tok, poput vodopada, i odvija se u sledećih šest faza: *analiza zahteva, dizajn-projektovanje, implementacija, testiranje, integracija i održavanje*. Poreklo izraza “waterfall” se povezuje sa člankom W.W. Roycea-a koji je objavljen 1970. W.W. Royce je predstavio model vodopada za koji je tvrdio da se može razviti u iterativni proces. Uprkos Royceovim namerama da ovaj model bude modifikovan u iterativni postupak, i dalje je ostao u upotrebi kao čisto sekvencionalnog proces, dok su znaci njegove nestabilnosti sve izražajniiji. Faze modela napreduju u sekvencijalnom stilu, i ne preskaču jedna drugu. Završetak prethodne faze označava početak naredne, što donosi kako nedostatke, tako i određene prednosti, te je popularnost ovog modela vrlo dugotrajna.

Najčešće korišćena metoda dugoročnog planiranja razvoja informacionog sistema (IS), je *Poslovno planiranje sistema (Business System Planning-BSP)* koje je razvila IBM® kompanija. BSP je formalno-objektivni metod za utvrđivanje prioriteta razvoja IS. Definiše dugoročnu arhitekturu IS, koja proizlazi iz stabilnih osnova organizacije poslovnih funkcija i objekata sistema. Nije podložna izmenama, koje nastaju usled mogućih organizacionih promena u momentu definisanju plana razvoja i načina organizovanja radnih zadataka u cilju realizacije istog.

---

<sup>1</sup> IBM je zaštićena marka kompanije



**Slika 1:** Iterativni proces razvoja softverskih rešenja

Drugačiji pristup razvoja softvera promovišu Agilne metode, koje su brze, fleksibilne, agilne i imaju sposobnost manevrisanja u odgovoru na promene zahteva softverskih timova, pri čemu je razvoj softvera iterativni i vremenski ograničen, a motiv je „prilagoditi se promenama“ (engl. embrace change<sup>3</sup>) pravovremeno.

### 3. DANAS NAJPOPULARNIJE, AGILNE METODE PROGRAMIRANJA

Agilni razvoj životni ciklus softvera svodi na niz iteracija, takozvanih mini-projekata. Svaka sledeća iteracija donosi nove funkcionalnosti sistemu. Ovo je u terminologiji: Iterativni i Inkrementalni razvoj softvera (IID)<sup>4</sup>. Agilni jezik je jasan i upotrebljiv u timskom radu, tim poseduje sinergiju svojih sopstvenih vrednosti i mehanizama. što održava visoki nivo kvaliteta i brzog odziva na promene zahteva softvera.

#### 3.1. Principi agilnog razvoja softvera

Razvoj kompleksnog softverskog sistema mora da teče iterativno i inkrementalno. To znači da se postepeno, u svakom koraku, sprovodi ceo ciklus: zahtevi-analiza-projektovanje-implementacija, za manji skup slučajeva upotrebe. U svakom sledećem koraku (iteraciji), realizuju se novi slučajevi upotrebe, te tako sistem postepeno postaje složeniji i funkcionalno savršeniji. Svrishodno funkcionalni sistem po pravilu je nastao iz manjeg ili grupe manjih sistema koji dobro funkcionišu. Metodologija iterativnog razvoja IS (Integration DEFinition -IDEF)<sup>5</sup>, bazira se na kombinaciji grafike i teksta, vizuelnog radnog okruženja, što podrazumeva praktične vrednosti od značaja za razvojni tim:

- inkrementalan, kratko – razvojni projekti lako primenljivi
- kooperativan (korisnik softvera i razvojni tim se nadopunjuju)
- direktan i jednostavan metod
- prilagodljiv fleksibilnim promenama korisničkih želja.

Agilni pristup promoviše načela jednostavnosti i brzine, pri čemu su najzastupljenije sledeće metode:

- Ekstremno programiranje (Extreme Programming - XP)
- Larmanova metoda
- Jedinstveni proces razvoja softvera (Unified Proces - UP)
- Scrum

„Ekstremno programiranje” je drugačiji pristup razvoja softvera. To je najpoznatija od nekoliko brzih razvojnih softverskih metodologija. Ova metodologija daje mogućnost prilagođavanja promenama i informacionim zahtevima, tokom procesa razvoja projekta, te je stoga realnija i pristupačnija nego dosadašnja rigorozna metodologija, koje sve zahteve definiše odmah na samom početku. Stalna interakcija klijenata i članova razvojnog tima, dovodi do kvalitetnijeg završetka posla, snižavanja troškova, kontinuiranim upravljanjem zahteva korisnika i apsolutne fleksibilnosti u razvoju:

- pravilno se analizira problem i razumeju se potrebe korisnika,
- definiše se sistem i mogući opseg sistema,
- blagovremeno se upravlja promenama korisničkih zahteva.

##### 3.1.1. Ekstremno programiranje (Extreme Programming - XP)

Prvi kreator Ekstremnog programiranja bio je Kent Beck u cilju realizacije projekta C3 (Chrysler Comprehensive Compensation)<sup>6</sup> 1997, koji bi bez novorazvijenih tehnika, sigurno propao. XP metoda iterativno - inkrementalnog životnog ciklusa softvera kreira visoko – kvalitetna softverska rešenja, sa

fleksibilnim odgovorom na promene u čiji razvoj učestvuje relativno mali projektni tim. Kao najvažnija agilna metodologija podržava sledeće vrednosti: komunikaciju, jednostavnost, povratnu spregu i hrabrost. Iterativno-inkrementalni model, sprovodi se kroz dvanaest ključnih razvojnih koraka:

1. Programiranje u paru - timu
2. Planiranje igre
3. Stalno kontinuelno testiranje (Test Driven Development)
4. Jedinstven tim
5. Stalna integracija delova sistema
6. Stalno refaktorisanje i unapređenje dizajna
7. Male verzije za javnost
8. Kodiranje standarda
9. Kolektivno vlasništvo nad kodom
10. Jednostavan dizajn
11. Metafore sistema Ekstremnog programiranja sa dobrom saradnjom i brzim razvojem
12. Radna nedelja od 40 sati održivi tempa

XP je usmereno ka komunikaciju i timu (eng. communication- and team-oriented); koga čine: klijenti, programeri i menadžeri. Tim poslovne zadatke izvršava u projektnoj sobi. XP se razvija u takozvanom „Cloud“ razvojnom procesu. „Cloud“ prodavac, potrošač i programer su potpuno ravnopravni u timskoj saradnji. Svi dobijaju svoje povratne informacije iz jedinstvenog „cloud-a“. Iteracije se razvijaju postepeno, inkrementalno, u saglasnosti sa celim timom čime se povećava brzina rada, broj manjih isporuka i orijentacija na komponente iz arhitekture. Bitno je napraviti plan iteracija u skladu sa promenama korisničkih zahteva i potrebnim funkcionalnostima svake iteracije.

### 3.1.1.1. Projektovanje softverskih rešenja u XP-u

U XP-u se projektuje softversko rešenje polazeći od *dizajna* koji je već razvijen i jednostavan, *metafore* koja daje jednostavan opis slike novog sistema, uloga *CRC kartice* (Class-responsibility-collaboration (CRC) cards)<sup>7</sup> kao alat u dizajniranju objektno-orijentisanog softvara i *refaktorisanja*, kao akcije poboljšanja koda bez promena spoljašnjeg ponašanja sistema. Softver se manifestuje kroz kratka ciklusna razvojna rešenja koja poboljšavaju produktivnost, a uvode se i kontrolne tačke u kojima se prihvataju novi zahtevi korisnika. Kod softverskih celina, funkcionalnih objekata se stalno refaktoriše, ispravljajući uočene nedostatke u arhitekturi aplikacije, sa ciljem da softverska celina postane nadograđiva, a kod čitljiviji i jednostavniji. Klase sistema su jednostavne i nepotrebno se ne ponavljaju. Tim simulira sistem, pri čemu CRC kartice pojednostavljuju objekat i definiše ulogu objekta u sistemu, ko šalje, a ko prima poruke te tako otkriva probleme blagovremeno.

Ekstremno programiranje je najradikalnija tehnika analize i projektovanja. Moglo bi se reći da i u ovoj metodologiji mogu da se istaknu dve najefikasnije ideje: "prvo piši testove" i "programiranje u parovima". Usvajanjem ove dve navike u procesu razvojne metodologije Ekstremnog programiranja značajno se može unaprediti produktivnost i pouzdanost. Pisanje testova pre izrade programskog koda je izuzetno korisno jer značajno ubrzava postizanje tačnijih softverskih rešenja u skladu sa neposrednim i trenutnim zahtevima, dok „vrednost programiranja u parovima je u tome da jedna osoba piše kôd, dok druga o njemu razmišlja. Ako se pisac programa zaglavi, oni mogu da zamene mesta“<sup>8</sup>

Ekstremno programiranje razvija iteracije pri čemu je svaka iteracija slika jednog ili skupa objekata. Kroz postepeni razvoj dolazimo do saznanja šta objekat radi i kako treba da radi. Kada shvatimo kako se objekat ponaša, onda njegovu logiku pretvorimo u softversko rešenje koje koristimo, i nakon toga opet ponovo koristimo isto. Funkcionalnosti objekta se sve više proširuju kroz dodavanje novih i susednih aktera iz okruženja. Ekstremno programiranje nastoji inkrementalno razvijati iteracije projektnog rešenja što daje sve funkcionalniji softverski alat koji sve više liči na ostvarenje korisničkih želja. Definisani objekti i njihove funkcionalnosti upotrebljivi su kako u trenutnom softverskom projektu tako i u novim iteracijama softverskih projekata. Odatle terminologija višestruke upotrebe softvera kao rezultat objektno-orijentisanog razvojnog okruženja.

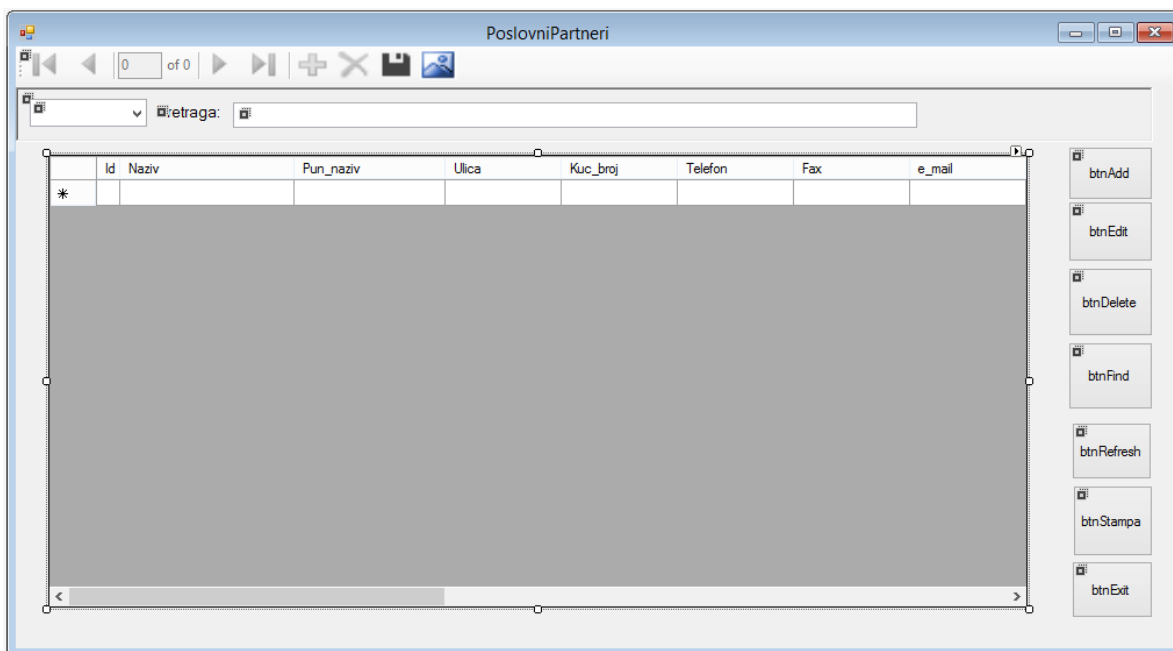
### 3.1.1.2. Objekat ili iteracija konkretnog softverskog rešenja

Upravljanje korisničkim zahtevima podrazumeva njihovo prevođenje i grupisanje u detaljnu specifikaciju funkcionalnih i nefunkcionalnih zahteva, pri čemu se funkcionalni dalje prenose u procedure, test podatke, projekat i korisničku dokumentaciju. Upravljanje zahtevima razvoja informacionih sistema vrši se kroz sledećih 5 segmenata:

- planiranje razvoja novog IS,
- modeliranje procesa i razvojnih koraka poslovnog sistema,
- modeliranje podataka u vidu šeme baze podataka,
- projektovanje baza podataka (BP),
- izrada aplikativnog softvera – programskog kôda.

Sve navedene razvojne aktivnosti podržane su agilnim metodama razvoja softvera.

Na slici dole prikazano je konkretno softversko rešenje, objekat forme koja prikazuje podatke konkretne tabele baze podataka, pri čemu je forma PoslovniPartneri nasledila sve osobine već unapred definisanog objekta Form1, koje poseduje sve funkcionalnosti koje su potrebne za prikaz, brisanje i manipulaciju nad podacima svih matičnih i njima sličnih tabela baze podataka.



**Slika 2:** Forme objekta PoslovniPartneri

```
using System.Windows.Forms;
namespace Osnovna_sredstva
{
    public partial class F_Klasifik : Form1
    {
        public PoslovniPartneri()
        {
            InitializeComponent();
        }
    }
}
// forma PoslovniPartneri nasleđuje već razvijeni objekat - iteraciju Form1, gde se vidi ekranska
// forma korisnika sa svim osnovnim i najvažnijim funkcionalnostima
```

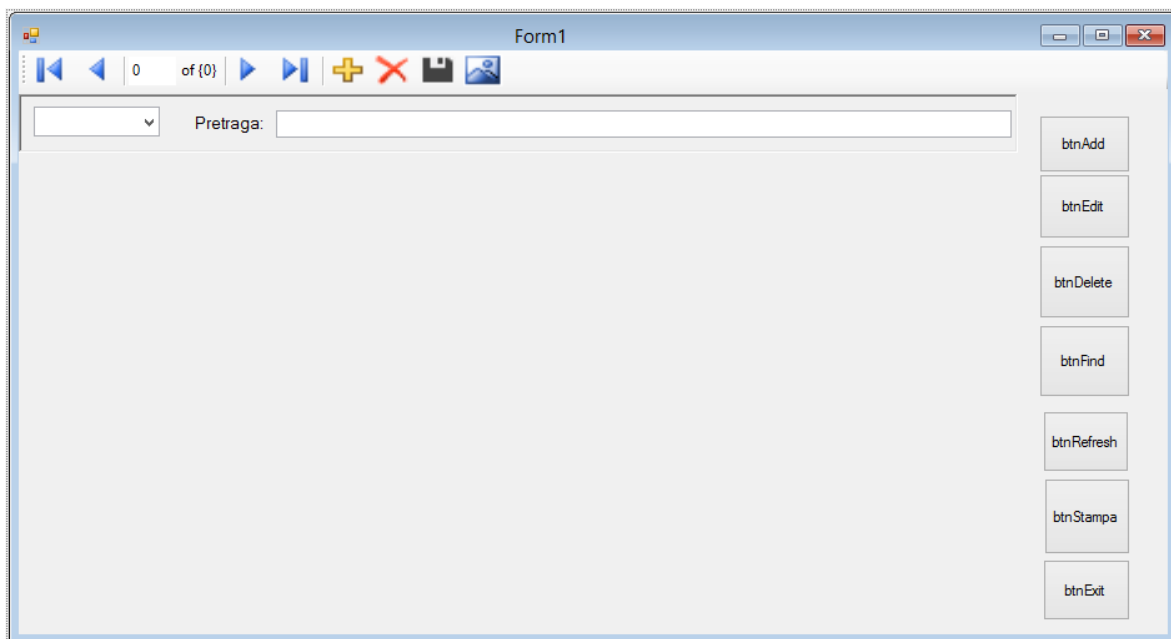
Nova forma nasleđuje dizajn iz objekta ili iteracije Form1 koja poseduje sve potrebne funkcionalnosti.

Dugme btnAdd je jednako i po dizajnu i po funkcionalnosti bez obzira na kojoj formi se prikazuje kao parametarski ulaz funkcije. To dugme dodaje novi red u bezu podataka na konkretnoj tabeli. U našem slučaju prikazujemo tabelu PoslovniPartneri, pri čemu btnAdd dugme dodaje novog poslovnog partnera u istu tabelu. Programski kod na Add dugmetu se menja u zavisnosti nad kojim objektom baze, odnosno tabelom se vrši manipulacija podacima.

```
private void btnAdd_Click(object sender, EventArgs e)
{
    PoslovniPartneri myNewForm = new PoslovniPartneri("Unos");
    myNewForm.Show();
}
```

Nova instanca klase vrši unos novog PoslovnogPartnera, a funkcionalnost objekta je označena parametrom.





Slika 3: Početni objekt Form1 čiji dizajn se nasleđuje

#### 4. ZAKLJUČAK

Ako sagledamo trenutnu softversku krizu i kompleksnost samog zadatka razvoja softvera, možemo slobodno reći da su sve opisane metode još uvek u upotrebi, češće ili ređe. Na programskom inženjeru ostaje da prema raspoloživim resursima i datim zahtevima odabere odgovarajuću metodu koja će poslužiti pri razvoju softverskog projekta, kako bi se proces razvoja maksimalno optimizovao.

Kako je inkrement podsistem softverskog sistema, podrazumeva se da su sve faze njegovog razvoja, kroz analizu, projektovanje, implementacije sistema završene i testirane. Iteracijom se prolazi preko određenog skupa međusobno zavisnih aktivnosti. Iterativni proces vrši reviziju prethodnog, koda, dizajna i funkcionalnosti, kao i nastavak rada na započetom poslu. Iterativni metod jeste revidiranje prethodnog rada i uzima u obzir stalne i novonastale promene, ali ne prihvata kaos u razvojnom softverskom radnom okrugu. Iterativno inkrementalni razvoj, stvara stabilne, mnogostruko ponavljajuće objekte, revidiranog koda i mnogostruko testiranih funkcionalnosti, a čvrsto se drži pravila razvojne metodologije, agilnog pristupa, od kojih je najistaknutija metoda Externog programiranja. Iterativni pristup konstantno prati i podržava novonastale korisničke zahteve.

#### LITERATURA

- [1] Extreme Programming Explained (2000), Kenta Becka, Addison –Wesley
- [2] [www.xprogramming.com](http://www.xprogramming.com)
- [3] “Objektno orijentisano programiranje na jeziku C++” (1995), Dragan Milićević, Mikro Knjiga, Beograd
- [4] Testiranje softvera u praksi (2012), Jovan Popović, CET Beograd.

<sup>1</sup> Iteracija – obnavljanje, <http://www.vokabular.org/?search=inkrement&lang=sr-lat>

<sup>2</sup> Inkrement – rasteње, <http://www.vokabular.org/?search=inkrement&lang=sr-lat>

<sup>3</sup> Extreme Programming Explained: Embrace Change (2004), Kent Beck

<sup>4</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Iterative\\_and\\_incremental\\_development](http://en.wikipedia.org/wiki/Iterative_and_incremental_development)

<sup>5</sup> IDEF je iz familije jezika za modeliranje u oblasti sistema i softver inženjerstva, <http://cmenzel.org/Papers/idef-family.pdf>

<sup>6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Comprehensive\\_Compensation\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Comprehensive_Compensation_System)

<sup>7</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Class-responsibility-collaboration\\_card](http://en.wikipedia.org/wiki/Class-responsibility-collaboration_card),

<sup>8</sup> „Misliti na Javi“, Brusa Ekela, Mikro knjiga, podnaslov „Programiranje u parovima“

[http://www.mikroknjiga.rs/Knjige/MNJ/01\\_MNJ/01\\_MNJ.html](http://www.mikroknjiga.rs/Knjige/MNJ/01_MNJ/01_MNJ.html)



## RAZVOJNI OKVIR ZA POREĐENJE BIOMETRIJSKIH ALGORITAMA

### DEVELOPMENT FRAMEWORK FOR BIOMETRIC ALGORITHM COMPARATION

IVAN MILENKOVIĆ<sup>1</sup>, UROŠ ŠOŠEVIĆ<sup>1</sup>, MIROSLAV MINOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, ivan.milenkovic@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu predstavljen je problem biometrijske menažerije koja utiče na performanse biometrijskog sistema. Takođe, prikazana je arhitektura razvojnog okvira pomoću kojeg je moguće odrediti postojanje biometrijske menažerije. U okviru razvojnog okvira integrisan je i generator sintetičkih biometrijskih skorova u svrhu testiranja različitih biometrijskih algoritama na različitim biometrijskim podacima.

**Ključne reči:** Biometrija, biometrijska menažerija, razvojni okvir, biometrijski algoritmi.

**Abstract:** This paper presents the biometric menagerie problem which influences performance of a biometric system. Also, the architecture of a development framework is presented by which it is possible to determine existence of the biometric menagerie. The development framework integrates generator of synthetic biometric scores in order to test various biometric algorithms on different biometric data.

**Keywords:** Biometrics, biometric menagerie, framework, biometric algorithms.

#### 1. UVOD

Primene multimodalne biometrije sve su češće u praksi. Značajan broj gotovih rešenja dostupan je na tržištu. Međutim u ovoj oblasti i dalje postoje određeni izazovi. Prilikom poređenja različitih algoritama kako za multimodalnu, tako i za unimodalnu biometriju postoje brojne nedorečenosti. Pored FMR (eng. False Match Rate) i FNMR (eng. False Non Match Rate), korisno je odrediti i neke dodatne parametre koji bi mogli da pomognu prilikom evaluacije performansi algoritama. Jedan od problema koji se javlja kod ovih sistema jeste podešavanje osetljivosti sistema u odnosu na postavljene zahteve (Milenković et al. 2011). Određivanjem analitičkog pristupa pomoću kojeg bi mogao da se reši ovaj problem proces uvođenja i podešavanja biometrijskih sistema bio bi znatno olakšan. Kako bi se neki od navedenih problema rešili razvijen je eksperimentalni sistem za testiranje postupaka multimodalne biometrije.

#### 2. BIOMETRIJSKA MENAŽERIJA

U biometrijskim sistemima prilikom poređenja performansi sistema pri radu sa konkretnim osobama često je moguće uočiti da performanse sistema zavise od osobe. To znači da sistem pri radu sa određenim osobama može imati bolje performanse nego pri radu sa nekim drugim korisnicima sistema, kada češće nastaju greške. U slučaju da je ova pojava prisutna, tačno utvrđivanje grupe osoba kod kojih se ova pojava manifestuje može imati izuzetan značaj. U literaturi koja se bavi ovom problematikom opisano je nekoliko tipova korisnika koje karakteriše određeno ponašanje. Dodington je u (Dodington et al. 1998) svaki od ovih tipova korisnika označio pomoću konkretne životinjske vrste koja slikovito opisuje karakteristike grupe. Na taj način definisani osnovni članovi biometrijske menažerije jesu: ovce, koze, jagnjad i vukovi.

Ovce predstavljaju dominantnu grupu korisnika biometrijskog sistema. U proseku daju dobre rezultate prilikom poređenja sa sopstvenim biometrijskim podacima, a loše prilikom poređenja sa tuđima. Koze su osobe koje iz nekog razloga daju loše rezultate prilikom poređenja sa sopstvenim biometrijskim podacima. U slučaju primene neke metrike sličnosti, skorovi poređenja sa sopstvenim biometrijskim podacima za ovu grupu korisnika imaju nisku vrednost. Koze znatno i to neproporcionalno svojoj brojnosti doprinose FNMR celog biometrijskog sistema. Terminom jagnjad Dodington je označio osobe koje je lako oponašati. Prilikom poređenja drugih osoba sa njihovim biometrijskim podacima, dobijaju se dobri rezultati, koji mogu dovesti do prihvatanja korisnika koji su se lažno predstavili sistemu. Jagnjad prouzrokuju znatan deo FMR greške celog biometrijskog sistema. Vukovi predstavljaju osobe koje su izuzetno uspešne u oponašanju drugih

korisnika biometrijskog sistema. U slučaju lažnog predstavljanja imaju visoke skorove poredjenja (prilikom korišćenja metrike sličnosti). Takođe, doprinose FMR grešci celog sistema.

### 3. PREGLED LITERATURE

Dodgington je u (Dodgington et al. 1998) prvi formalno postavio definiciju biometrijske menažerije. Eksperiment je sproveden nad podacima govornika iz NIST Speaker Recognition Evaluation-a održanog 1998. godine. Za testiranje su korišćeni biometrijski podaci 500 osoba (250 osoba muškog i 250 osoba ženskog pola). Svaka osoba imala je uzorke prikupljene pod tri različita tipa uslova, tri različite dužine uzorka, ukupno po 5000 testova po svakom tipu uslova. Nad bazom koja je sadržala glasovne uzorke originalnih verifikacionih izjava populacije biometrijskog sistema, vršio je poredjenje glasovnih uzoraka sa modelima govornika. Početna hipoteza bila je da ne postoje razlike između pojedinaca. Kako bi ova hipoteza bila proverena, primenjeni su F test, Kruškal-Valisov test i Durbinov test. Testovi su odbacili hipotezu da ne postoje razlike između pojedinačnih korisnika. Međutim, ove razlike ne predstavljaju dokaz za postojanje različitih kategorija govornika. Takođe, ovaj rad se uglavnom bavi dokazivanjem postojanja biometrijske menažerije, a samo minimalno njenim uticajem na performanse sistema. Takođe u samom radu broj konkretnih životinja menažerije nije naveden.

Nil Jeger (eng. Neil Yager) i Ted Dunston (eng. Ted Dunstone) predložili su proširenje koncepta biometrijske menažerije uvođenjem 4 nova tipa životinja (Yager and Dunstone 2010). Oni ukazuju na činjenicu da se članovi Dodgingtonove menažerije definišu samo na osnovu "genuine" (stvarnih) ili "imposter" (lažnih) skorova poredjenja. Nedostatak takvog pristupa jeste previđanje međusobnog odnosa ova dva tipa skorova poredjenja. Dodaci biometrijskog menažeriji u okviru ovog rada jesu crvi, kameleoni, fantomi i golubice. Karakterišu ih različite kombinacije visokih i niskih vrednosti različitih tipova skorova poredjenja. Kako bi mogli precizno odrediti pripadnost ovim dopunama koncepta biometrijske menažerije, potrebno je jasnije definisati određene pojmove. Neka je P skup svih korisnika sistema. Neka je G skup prosečnih „genuine“ skorova svakog korisnika, a P skup svih osoba u sistemu. Tada je GH podskup skupa P koji sadrži osobe čije se prosečne vrednosti skorova nalaze iznad 75 percentila skupa G, a GL takođe podskup skupa P, koji sadrži osobe čije se prosečne vrednosti skorova nalaze ispod 25 percentila skupa G. Pored ovoga, neka je I skup prosečnih „imposter“ skorova svakog korisnika. Tada je IH podskup skupa P koji sadrži osobe čije se prosečne vrednosti skorova nalaze iznad 75 percentila skupa I, a IL podskup skupa P koji sadrži osobe čije se prosečne vrednosti skorova nalaze ispod 25 percentila skupa I. Na osnovu ovoga možemo definisati nove članove biometrijske menažerije:

- Golubovi – korisnici koji se dobijaju kao presek skupova GH i IL. Daju dobre rezultate kada se porede sa sopstvenim biometrijskim karakteristikama zapamćenim u bazi, a negativne pri poredjenju sa tuđim. Ove osobe se mogu lako identifikovati.
- Kameleoni – korisnici koji se dobijaju kao presek skupova IH i GH. Lako se prepoznaju, međutim lako oponašaju i druge osobe (u slučaju korišćenja neke metrike sličnosti, vrednosti i „genuine“ i „imposter“ skorova prilikom poredjenja sa drugim osobama imaju visoke vrednosti)
- Fantomi – korisnici koji se dobijaju kao presek skupova IL i GL. Loše performanse pokazuju i u odnosu na sebe i u odnosu na druge prilikom upoređivanja podataka u bazi.
- Crvi – korisnici koji se dobijaju kao presek skupova IH i GL. Imaju veoma loše performanse prilikom upoređivanja sa sobom, nešto bolje rezultate u odnosu na druge.

Testiranje postojanja ovih dopuna Dodgingtonove biometrijske menažerije izvršeno je nad nekoliko biometrijskih baza različitih modaliteta. Po autorima, broj osoba koje imaju karakteristike neke od životinja biometrijske menažerije pruža dodatne informacije o radu samog sistema kao ponašanje samih biometrijskih algoritama

Istraživanje (Teli et al. 2011) koje su sproveli Muhamed Teli i saradnici razmatra biometrijsku menažeriju i njenu zavisnost od algoritma prepoznavanja i uzorka podataka (u ovom slučaju slika lica) nad kojim se prepoznavanje vrši. Oslanja se na Dodgingtonovu kategorizaciju u okviru biometrijske menažerije kao i kategorizaciju koju su definisali Jeger i Dunston. Eksperiment je sproveden nad oba tipa menažerije. Oni između ostalog razmatraju tvrdnju da svrstavanje pojedinaca u okviru menažerije ne zavisi samo od karakteristika pojedinca već i od osvetljenja, podešavanja i drugih faktora. Osnovna hipoteza je da postoje nivoi menažerije (početni, prvi, drugi itd.) i ta tvrdnja se sprovodi nad oba tipa menažerija. Početni-nulti

stepen menažerije po njihovoj definiciji uvek postoji. Ukoliko se prilikom eksperimenta nad dva različita seta podataka (dobijena korišćenjem istog biometrijskog sistema) iste osobe jave kao određene životinje iz menažerije, prisutna je menažerija prvog stepena. Postojanje drugog stepena biometrijske menažerije takođe podrazumeva korišćenje dva seta podataka. Međutim, ovde je dodatni uslov da između setova postoji razlika u načinu pomoću koga je izvršena akvizicija podataka (npr. kod lica osvetljenje, ugao posmatranja). Ukoliko se „etikete“ životinja menažerije poklapaju i prilikom korišćenja različitih biometrijskih algoritama (nad istim setom podataka) tada je reč o biometrijskog menažeriji trećeg stepena. Prilikom ispitivanja nad Dodingtonovom menažerijom, vukovi i jaganjci su posmatrani kao jedna kategorija zbog asimetrije u ponašanju (jedni imitiraju, drugi su imitirani). Korišćeno je po 16 frontalnih slika lica u kontrolisano i nekontrolisano osvetljenom okruženju za 257 ispitanika i korišćena su dva FRVT (Face vendor recognition test) algoritma iz 2006. godine (NIST, 2006). Nakon sprovedenog statističkog testiranja utvrđeno je da se različite životinje javljaju na nultom i prvom stepenu menažerije. U slučaju proširenja Dodingtonove menažerije od Jegera i Dunstona, nakon ispitivanja sprovedenog nad 257 pojedinaca i po 16 slika od svakog pojedinca nasumično podeljenih u dve particije utvrđeno je postojanje novih kategorija životinja, ali samo na početnom, nultom stepenu.

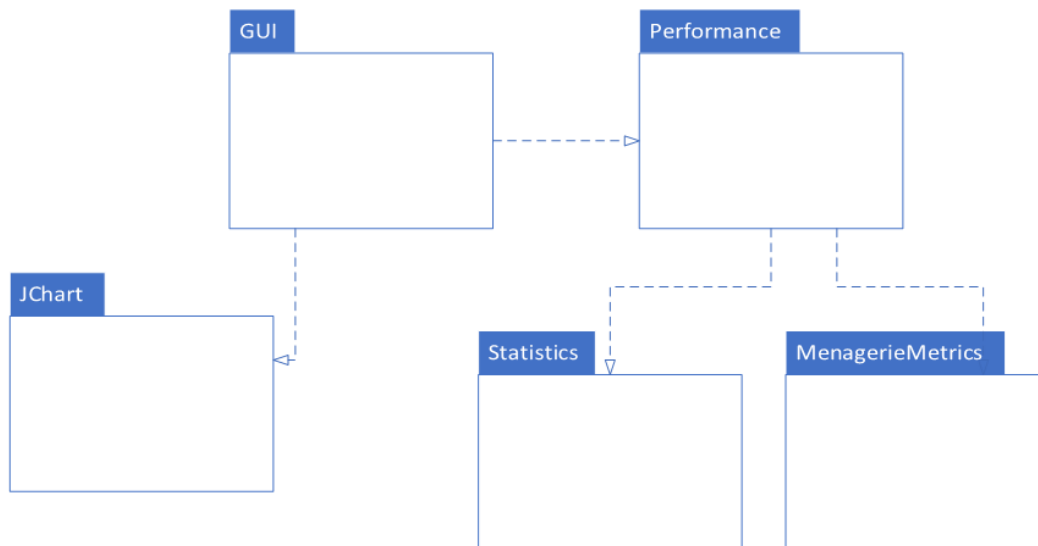
Arun Ros sa saradnicima je sproveo istraživanje pod nazivom „Korišćenje fenomena Dodingtonove menažerije u biometrijskoj fuziji“ (Ross et al. 2009). Cilj je bio dizajniranje multimodalnog biometrijskog sistema, koji bi koristio više biometrijskih modaliteta samo kod onih korisnika koji spadaju u neki tip životinja menažerije kod kojih su greške verovatne (koze, vukovi, jagnjad). Istraživanje se oslanja na Dodingtonovu kategorizaciju korisnika sistema i usvaja definisanje korisnika po njegovim principima i na Pohove i Kitlerove proračune FRatio-a i klasterovanje korisnika u višestruke grupe na osnovu ovog kriterijuma (F-ratio based approach) (Poh and Kittler 2008). U radu se korisnici kategorišu prema konceptu Dodingtonovog Zoo-a i „F-Ratio“ pristupu. Razlike u performansama su neznatne, u slučaju selekcija modaliteta pomoću F-Ratio pristupa, EER sistema prilikom primene F-ratio pristupa selekciji modaliteta, kod otiska prsta skočio je sa 1.3% na 1.56%, dok je kod irisa sa 0.3% skočio na 0.4%.

#### **4. OPIS PROBLEMA**

U naučnoj zajednici se vode diskusije o tome u kojoj meri postoje ljudi koji jednostavno nisu pogodni za biometrijsko prepoznavanje uz pomoć odgovarajućeg biometrijskog modaliteta. Pored ovoga uzrok fenomena biometrijske menažerije može biti i greška prilikom akvizicije biometrijskih podataka, loš kvalitetet biometrijskih senzora, nedovoljna diskriminativnost algoritama. Nakon izdvajanje grupe ljudi koja neproporcionalno u odnosu na svoju veličinu doprinosi greškama sistema, moguće je izvršiti dalju analizu problema i odrediti njegove konkretne uzroke. Na taj način se pronalaze slabosti u dizajnu samog biometrijskog sistema, a njihovim otklanjanjem se dobija precizniji biometrijski sistem. Pored detektovanja slabih tačaka biometrijskog sistema, otkrivanje članova biometrijske menažerije može dati i dodatan uvid u performanse nekog biometrijskog algoritma. Na taj način može se lakše izvršiti upoređivanje različitih algoritama, sa obzirom da pored vrednosti FMR i FNMR imamo i dodatne parametre. Dostupan je i generator podataka koji se može koristiti za testiranje različitih fuzionih algoritama.

#### **5. ARHITEKTURA I OPIS REŠENJA**

Arhitektura framework-a data je na slici 1. Framework podržava sledeće funkcionalnosti – poređenje različitih biometrijskih algoritama, određivanje praga osetljivosti (eng. threshold) analitičkom metodom, generisanje sintetičkih skorova, vizuelizaciju raspodela skorova određenog biometrijskog sistema, kao i klasifikaciju korisnika sistema prema fenomenu biometrijske menažerije.

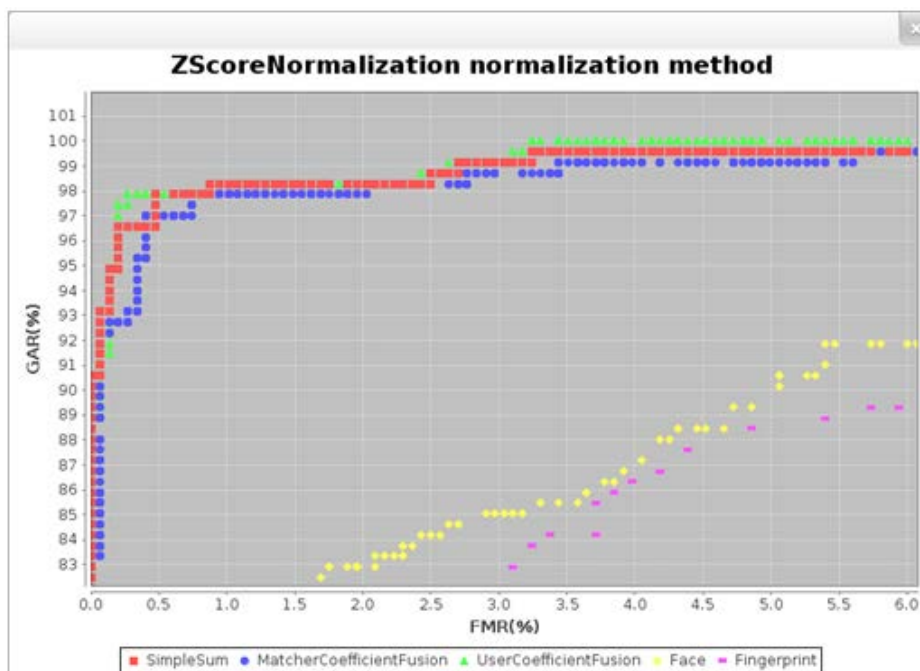


**Slika 1:** Arhitektura razvojnog okvira

Radi testiranja različitih multimodalnih fuzionih i normalizacionih algoritama, dostupan je generator sintetičkih biometrijskih skorova. Moguće je izabrati raspodelu, odrediti njene parametre, nakon čega se generiše određeni broj skorova iz željene raspodele (slika 2.). U slučaju potrebe, raspodele skorova možemo videti na odgovarajućem histogramu.

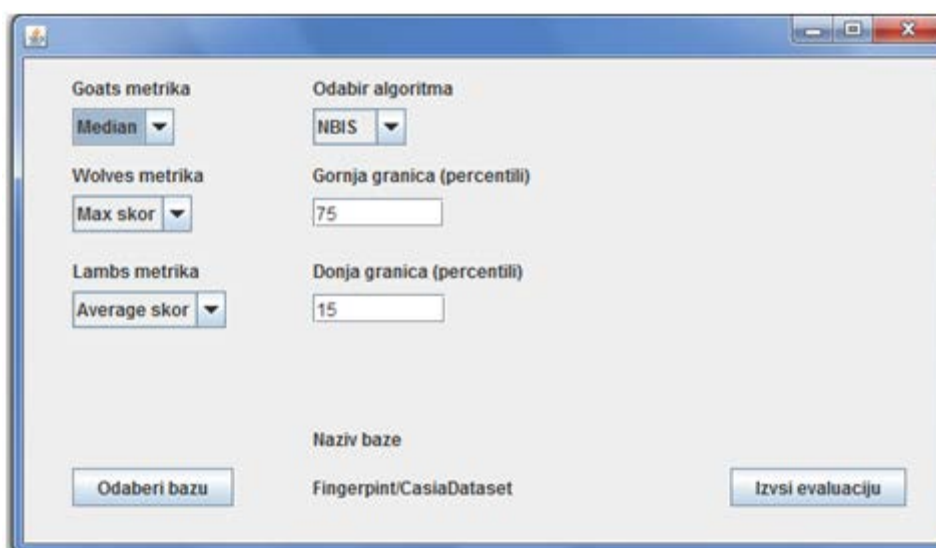
**Slika 2:** Generator sintetičkih skorova

Framework takođe podržava poređenje performansi različitih kako unimodalnih tako i multimodalnih algoritama (slika 3). Takođe, možemo izračunati i vrednosti threshold-a koje zadovoljavaju određene prethodno postavljene zahteve. U specijalnom slučaju bimodalne biometrije sa tri threshold-a, možemo videti i uporedne performanse pri različitim zadatim odnosima FMR i FNMR parametara.



Slika 3: Poređenje performansi biometrijskih algoritama

Jedna od funkcionalnosti evaluacionog framework-a jeste određivanje postojanja biometrijske menažerije, kao i određivanje osoba koje pripadaju određenoj kategoriji biometrijske menažerije (slika 4). Podržana je identifikacija po profilima Dodingtonove biometrijske menažerije, kao i proširenja Jegera i Dunstona. Opšti postupak određivanja kategoriji menažerije opisaćemo na primeru koza. Za identifikaciju koza koriste se isključivo “genuine” skorovi. Za svakog korisnika sistema izračunava se prosečan genuine skor. Zatim se genuine skorovi svih korisnika celog sistema sortiraju u rastućem redosledu. Na kraju je potrebno odrediti gornju i donju granicu izraženu u percentilima. Ukoliko se prosečan skor korisnika, nalazi ispod donje granice, tada korisniku dodeljujemo labelu koze. Umesto prosečnog skora, možemo upotrebiti medijanu, minimalnu ili maksimalnu vrednost. Evaluacioni framework podržava različite metrike kao i podešavanje vrednosti gornje i donje granice.



Slika 4: Podešavanje parametara za pronalaženje članova biometrijske menažerije

## 6. ZAKLJUČAK

Upotrebom framework-a testirana je multimodalna biometrijska aplikacija. Izvršena je provera performansi algoritama i uočene su izvesne slabosti sistema, koje su zatim ispravljene. Integrisan je novi algoritam za normalizaciju glasovnog zapisa, te je zamenjen model skenera otiska prsta. Na ovaj način efikasno je izvršena evaluacija i otklonjeni su potencijalni problemi sistema. Moguće je da bi se uočeni problemi

manifestovali tek kroz ekstenzivno korišćenje sistema. Na taj način unapređeno je iskustvo korisnika, kao i postignut viši stepen bezbednosti sistema.

Primenom framework-a moguće su analize kako performansi celokupnog sistema, tako i pojedinačnih algoritama. Na taj način mogu se otkriti slabe tačke u realizovanim sistemima, oceniti performanse različitih algoritama i uporediti različita rešenja. Prikazani framework predstavlja korisnu alatku za istraživače u ovoj oblasti, koji ga mogu koristiti kako bi uporedili svoja rešenja sa postojećim. Takođe, ima i komercijalnu primenu za evaluaciju različitih sistema, njihovo podešavanje kao i uočavanje eventualnih slabosti. Može se koristiti i u edukativne svrhe, kako bi se inženjerima i potencijalnim korisnicima prikazala problematika ove oblasti.

## PRIZNANJA

Ovaj rad je deo projekta Primena multimodalne biometrije u menadžmentu identiteta, finansiranog od strane Ministarstva Prosvete i Nauke Republike Srbije, pod zavodnim brojem TR-32013.

## LITERATURA

- [1] Doddington, G., Liggett, W., Martin, A., Przybocki, M. & Reynolds, D. (1998). Sheep, Goats, Lambs and Wolves: A Statistical Analysis of Speaker Performance. Proc. Int'l Conf. Spoken Language Processing.
- [2] Milenkovic, I., Pantović, A., Starčević, D. & Minović, M. (2011). A multimodal biometrics system implemented using open source technology. 19th Telecommunications Forum (TELFOR), (pp. 1352-1355). Belgrade.
- [3] NIST, <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/frvt-home.cfm>, Face Vendor Recognition Test (FRVT) Homepage (2006), Last accessed: 10.5.2014.
- [4] Poh, N. & Kittler, J. (2008). A Methodology for Separating Sheep from Goats for Controlled Enrollment and Multimodal Fusion, Proc. of Biometrics Symposium , Tampa, Florida
- [5] Ross, A., Rattani, A. & Tistarelli, M. (2009). Exploiting the "doddington zoo" effect in biometric fusion, IEEE 3rd International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems, 2009, pp.1-7.
- [6] Teli, M.N., Beveridge, J.R., Phillips, P.J., Givens, G.H., Bolme, D.S. & Draper, B.A. (2011). Biometric zoos: Theory and experimental evidence, Biometrics (IJCB), 2011 International Joint Conference on Biometrics , pp.1-8.
- [7] Yager, N. & Dunstone, T. (2010). The Biometric Menagerie, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, , vol.32, no.2, pp.220-230.





## PREDNOSTI PRIMJENE ELEKTRONSKOG UČENJA U PROCESU IMPLEMENTACIJE ERP SISTEMA

### ADVANTAGES OF USING E-LEARNING IN THE IMPLEMENTATION OF ERP SYSTEMS

MIODRAG PERANOVIĆ<sup>1</sup>, IVANA ĆIRIĆ<sup>2</sup>, NENAD MIRKOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ekonomski fakultet, Brčko, miodrag.peranovic.efb@gmail.com

<sup>2</sup> Ekonomska srednja škola, Subotica, Srbija, civana87@gmail.com

<sup>3</sup> OŠ "Ivan Goran Kovačić", Subotica, Srbija, nenad.mirkov@gmail.com

**Rezime:** U korporativnom okruženju Enterprise Resource Planning (ERP) sistem predstavlja jedinstveno rješenje koje preduzećima omogućava integraciju informacija i upravljanje svim poslovnim procesima. Implementacija ERP-a iziskuje značajne troškove za poslovne sisteme. Obuka zaposlenih kao korisnika sistema, u značajnoj mjeri doprinosi uspješnom uvođenju i korišćenja ERP rješenja. Za ovaj posao se angažuju iskusni profesionalci, a to iziskuje dodatne troškove. Elektronsko učenje poboljšava sticanje novih i razmjenu postojećih znanja i vještina za interne i eksterne korisnike ERP-a što dovodi do smanjenja troškova ali i do poboljšanog prihvatanja ERP sistema. Na osnovu istraživanja u jednoj od korporacija u Bosni i Hercegovini dat je predlog smanjenja troškova obuke upotrebom elektronskog učenja.

**Ključne reči:** ERP, obuka, elektronsko učenje, smanjenje troškova.

**Abstract:** In the corporate environment, Enterprise Resource Planning (ERP) system is a unique solution that allows enterprises to integrate information and to manage business processes. ERP implementation requires significant costs for business systems. Training of employees as users of the system, significantly contributes to the successful implementation and use of ERP solutions. Hiring professionals with experience requires additional costs. E-learning improves acquiring of new knowledge and sharing of existing skills for internal and external users of ERP, which leads to reduce costs and improve the acceptance of ERP system. Based on the research in one of the corporations in Bosnia and Herzegovina, it is proposed to use e-learning for reducing costs of training.

**Keywords:** ERP, training, e-learning, cost reduction.

#### 1. UVOD

Upravljanje poslovnim procesima (UPP) (eng. Business Process Management, BPM) je strukturisani pristup angažovanja metoda, politika, metrika, upravljanja vještinama i programskih alata za koordinaciju i kontinuirano optimizovanje aktivnosti i procesa organizacije (vom Brocke and Rosemann 2010). UPP pokušava da unaprijedi procese u kontinuitetu i zato se može opisati kao "proces optimizacije procesa." Upravljanje poslovnim procesima kombinuje menadžerski pristup sa odgovarajućom tehnologijom s ciljem poboljšanja performansi preduzeća. Ovaj koncept uključuje i informacijski sistem koji omogućava integraciju kompletnog funkcionisanja poslovnog sistema pomoću jedinstvenog softverskog rešenja.

#### 2. PLANIRANJE RESURSA U KORPORACIJAMA

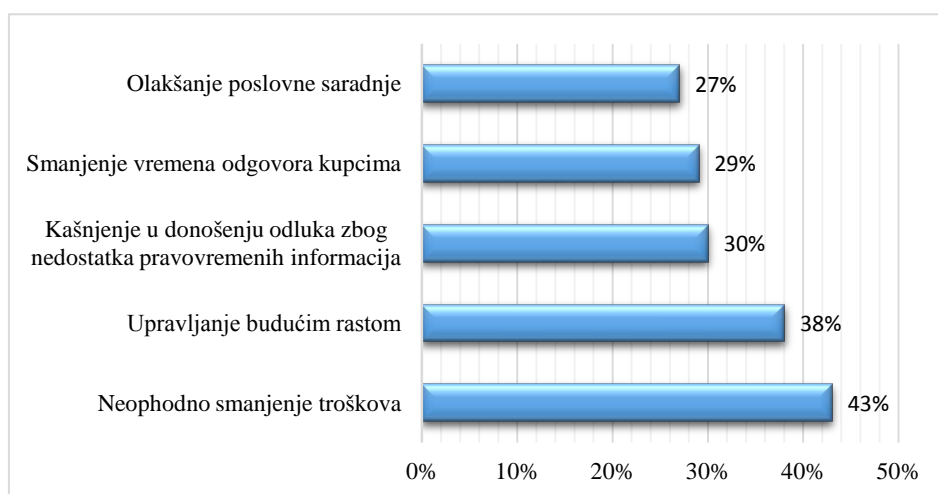
Planiranje resursa u korporacijama (Enterprise Resource Planning – ERP) je sveobuhvatan set funkcija, procesa, aktivnosti i podataka preduzeća. ERP sistemi su softverski alati koji se koriste za izvršenje ovih zadataka (Kurbel 2013). Oni pomažu organizaciji s ciljem lakšeg upravljanja procesima lanca snabdijevanja, upravljanja zalihama, narudžbinama potrošača, planiranja proizvodnje, isporuke, računovodstva, menadžmenta ljudskih resursa, kao i drugih poslovnih funkcija. Prema Deloitte Consulting Deloitte & Touche, LLP (2011), ERP sistem je upakovani poslovni softverski sistem koji omogućava kompanijama da automatizuju i integriše većinu svojih poslovnih procesa kroz razmjenu zajedničkih podataka i prakse u okviru preduzeća te kreiranje i pristup informacijama u realnom vremenu. ERP sistemi koriste se za generisanje informacija o procesima unutar organizacije (Chou et al. 2014).



Iako je implementacija ERP sistema veoma težak zadatak koji zahtijeva ogroman napor od strane preduzeća, statistike pokazuju da postoji povišen broj rizika koji mogu da ugroze njen uspjeh. Pored mnogih prepreka u implementaciji organizacije će pronaći motive i načine da nastave sa realizacijom. ERP sistemi su organizovani u modulima koji predstavljaju cjelinu. Pored standardnih modula izuzetno je bitan modul koji omogućava elektronsko učenje i prenos znanja između zaposlenih, zaposlenih i menadžera i između menadžera.

### 3. ERP SISTEM I TROŠKOVI IMPLEMENTACIJE

ERP softver se smatra za jedan od najvažnijih sistema cijele organizacije. Postoje različiti razlozi i ciljevi za implementaciju ERP softvera. Međutim, skoro uvijek se polazi od pitanja „Koliko će to da košta?“ Na žalost, ne postoji jednostavan ili precizan odgovor. Procjena troškova implementacije ERP projekta nije jednostavna aktivnost i zahtijeva sagledavanje niza varijabli koje variraju od jednog do drugog poslovnog sistema. Veličina preduzeća, jedinstveni zahtjevi i obim korišćenja igraju kritičnu ulogu u određivanju troškova sistema. S druge strane, smanjenje drugih troškova motivišu organizaciju da preduzme dalje korake i pažljivo pristupi implementaciji ERP-a. U Grafikonu 1. navedeni su razlozi implementacije ERP sistema prema istraživanju Aberdeen grupacije iz 2013. godine.



**Slika 1:** Poslovni faktori koji utiču na implementaciju ERP rješenja (Castelina 2013)

Procjena troškova implementacije ERP projekta nije jednostavna aktivnost – zasniva se na vrsti djelatnosti preduzeća i načinu implementacije softvera. Postoje mnoge kompanije koje su postigle maksimalnu uštedu troškova i mnoge prednosti sa ERP softverom.

**Tabela 1:** Ključni faktori koji utiču na ukupne troškove implementacije ERP rješenja (Griffiths 2014)

1. Nabavka ERP softvera;	6. Obuka;	11. Poštovanje projektovanih i planiranih ciljeva;
2. Implementacija i testiranje;	7. Upravljanje projektom;	12. Izvještavanje;
3. Konsultantske usluge;	8. Upravljanje promjenama;	13. Dodatno angažovanje zaposlenih i menadžera;
4. Migracija podataka;	9. Novi poslovni procesi i poslovna politika;	14. Prostor i oprema neophodni za realizaciju projekta;
5. Integracija;	10. Blagovremeno planiranje;	15. Kontinuirana obuka.

Sudzina i Johansson (2008) ukupne troškove implementacije ERP sistema svrstavaju u pet kategorija. Prema navedenim podacima, angažovanje eksperata učestvuje u oko 60% ukupnih troškova prema sledećoj strukturi: konsultantske usluge 30%, tim za implementaciju i obuka po 15%. S druge strane, u izvještaju Panorama Consulting (2013) angažovanje konsultanata se najviše vrši prilikom implementacije ERP-a 27%, obuke 18% i u procesu upravljanja promjenama 15%. Takođe, dio troškova implementacije u odnosu na ukupne troškove čine konsultantske usluge 27,56%, troškovi obuke 11,62% i troškovi tima za implementaciju 19,38% (Hasan et al. 2011). Na osnovu navedenih podataka obuka zaposlenih je nezaobilazan dio implementacije ali i korišćenja ERP sistema.

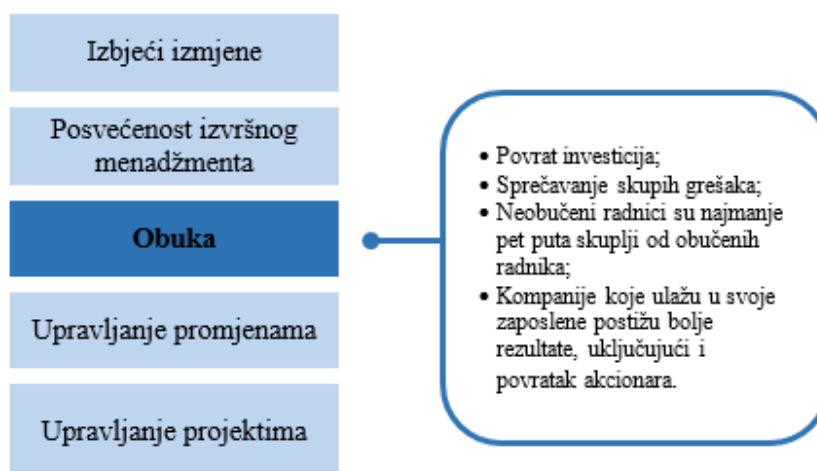
#### 4. ELEKTRONSKO UČENJE I NJEGOV UTICAJ NA SMANJENJE TROŠKOVA IMPLEMENTACIJE ERP-A

Promovišući kolaboraciju, efikasnost, ekonomičnost, razmjenu ideja, povezanost bez prostornog i vremenskog ograničenja u komuniciranju, poslovni sistemi postaju suočeni sa zahtjevima prilagođene infrastrukture i osiguranja sredstava za komunikaciju. *E-learning* je vrsta komunikacijskog kanala pomoću koga se odvija učenje, kroz organizovanje konferencija, *e-learning* akademija, *on-line* obrazovanja zaposlenih u nekim kompanijama te pohađanjem različitih komercijalnih kurseva. Sistem elektronskog obrazovanja pruža mnoge mogućnosti za poboljšan pedagoški pristup, fleksibilnije učenje, proširenje uticaja menadžera na zaposlene, kao i produblivanje znanja korisnika u određenoj oblasti.

Brz razvoj ERP sistema je teško pratiti obukom zaposlenih. Tradicionalni treninzi u većini slučajeva nisu dovoljni i iziskuju znatne troškove i zato je neophodno koristiti tehnologiju elektronskog učenja. Prilikom implementacije ERP-a, većina kompanija, za potrebe obuke, angažuju iskusne profesionalce da rade ovaj posla a to podrazumijeva dodatne troškove. Umjesto toga može se koristiti e-učenje za obuku stručnjaka koji su već zaposleni u kompaniji. Kada se pravilno integriše sa ERP rješenjem, elektronska obuka omogućava da se poveća znanje i poboljšaju vještine internih i eksternih korisnika sistema. Međutim, elektronsko učenje ne može u potpunosti da zamijeni konvencionalnu obuku u učionici, tako da je neophodna efikasna kombinacija *on-line* i *off-line* obrazovanja. Štaviše, ukoliko je poznato da zaposleni moraju obaviti obuku za rad u ERP-u oni se mogu unaprijed pripremiti koristeći kurseve elektronskog učenja. Mogu se navesti neke od prednosti *on-line* obuke:

- **Teorija i praksa.** *On-line* programi dozvoljavaju kombinaciju sticanja teorijskih znanja i primjene tih znanja direktno u praksi;
- **Provjere znanja.** Procjena stečenog znanja pomoću odgovarajućih *on-line* testova za provjeru;
- **Interaktivnost.** Emulacijom softverskog programa elektronske obuke korisnicima se dozvoljava rad sa ovim sistemom bez instalacije;
- **Fleksibilnost.** Učenje se omogućava u vremenu i na mjestu koje korisniku odgovaraju;
- **Niži troškovi.** Elektronsko obrazovanje je moguće realizovati sa znatno nižim finansijskim izdvajanjima u odnosu na tradicionalni način obuke.

Postoji mnogo razloga zašto implementacija ERP sistema može biti nezadovoljavajuća. Odlučujući faktor može biti neefikasna obuka krajnjih korisnika koji su u interakciji sa informacionim sistemom na dnevnoj bazi. U mnogim slučajevima, trening se tretira kao trošak umjesto kao investicije. Neke organizacije koriste tradicionalni pristup učenja, dok druge kompanije koriste sisteme elektronskog učenja što je rezultovalo smanjenjem ukupnih troškova implementacije projekta a samim tim se povećala efektivnost. Dobro osmišljena obuka može da spriječi nastajanje skupih grešaka, naročito kada se radi sa kompleksnim procesima gdje mala greška može postati veoma skupa i imati veliki negativan uticaj. Organizacije moraju biti posvećene treningu, ali ne samo tokom faze implementacije, nego i nakon, kao oblik podrške korišćenja i unapređenja ERP sistema.



Slika 2: Kritični faktori za uspješnu ERP implementaciju (Fernández San José, 2012)

Kao što je već pomenuto, implementacija ERP zahtijeva izdvajanje značajnih finansijskih sredstava i nedovoljna ulaganja u obuku su jedan od elemenata koji može da stavi ovu vrstu projekata u opasnost. Kao što je prikazano na Slici 2., obuka je ključni faktor za uspješnu implementaciju ERP-a. Da bi se dobio konkretan poslovni povratak investicija, zaposleni moraju da nauče kako da efikasno koriste aplikaciju.

#### 4.1. Determinante za uspješnu implementaciju ERP programa obuke

Projektovanje i primjena sveobuhvatnog softverskog programa obuke u ERP-u predstavlja jedinstven i složen poduhvat. Na osnovu iskustva prilikom razvoja stotina programa obuke u najuspješnijim kompanija u svijetu, autor Thomas Michael (2011) izdvaja listu od pet savjeta kako da posao stvaranja program obuke u ERP sistemu učini lakšim:

**1. Ne dozvoliti da obuka bude „naknadna“ aktivnost.** Implementacija i korišćenje ERP sistema proizvodi izuzetno visoke troškove. Međutim, ukoliko preduzeće propusti priliku da svoju bazu korisnika obuči za pravilno korišćenje softvera, investicija će u velikoj mjeri biti uzaludna. Neophodno je izbjeći prvu grešku koju organizacije prave u procesu implementacije ERP sistema, dakle obuku treba postaviti kao prioritet od početka implementacije ERP projekta.

**2. Primjenjivati različite metoda obuke.** Najuspješniji ERP programi obuke kombinuju najbolje tradicionalne treninge u učionicama sa najboljim kursevima elektronskog učenja. Ovo uključuje sledeće:

- obezbjeđenje elektronskih kurseva koje će korisnici pohađati po zahtevu;
- brzo pokretanje sesija za velike grupe korisnika;
- tradicionalnu obuku u učionici predvođenu instruktorom;
- interaktivne virtualne radionice ili *on-line* seminare za napredne teme, u realnom vremenu.

Svaki metod treninga je najpogodniji shodno određenoj fazi i zahtjevima životnog ciklusa programa obuke. Najbitnije je prilagoditi metod zahtjevima organizacije shodno stepenu implementacije ili korišćenja ERP rješenja.

**3. Unaprijed omogućiti pregled materijala za obuku.** Potrebno je razumijevanje razlike između "obuke" i "učenja". Vrhunski materijali za trening uspijevaju objasniti kako da se izvrši određeni zadatak, kao i zašto isti obaviti. Korisnici elektronskog učenja u ERP sistemu žele da razumiju kako se uklapaju u ukupan poslovni proces i kako njihove aktivnosti utiču na aktivnosti koje slijede u procesu u kome učestvuju. Ovaj savjet uključuje i potrebu da se provjeri da li materijali za obuku uključuju značajan dio obuke u praksi.

**4. Direktno praćenje napretka.** Za razliku od tradicionalnog treninga u učionici, sistem elektronskog učenja omogućava mjerenje učešća korisnika, napredak i vrijeme trajanja i završetak obuke tačno i u realnom vremenu. Zaduženima za upravljanje ljudskim resursima od izuzetne važnosti je da prate tok obuke i napredak svakog učesnika poredeći isti sa dobro definisanim ciljevima i prekretnicama u programu obuke. Naravno, prvo je neophodno uskladiti i dobro definisati ciljeve u programu obuke a zatim, korišćenjem blagovremenih provjera znanja, obezbijediti od učesnika da održavaju i prenose stečeno znanje. Takođe, poželjno je provoditi ankete među korisnicima elektronskih kurseva na kraju svakog treninga da bi se procijenili: kvalitet materijal za obuku, obim kursa, način isporuke, rad sa instruktorom i sl. Na osnovu povratnih informacija treba se obaviti prilagođavanje programa obuke. Na primer, anketa može otkriti da je kurs i dodijeljena materija preobimna, shodno definisanom vremenu za obuku, ili da se na osnovu materijala za obuku mogu postaviti mnoga pitanja bez odgovora.

**5. Ne prekidati obuku.** ERP sistemi se stalno mijenjaju zbog nadogradnje, dodatnih funkcija, ili dodavanje novih modula. Pored toga, umanjenje znanja usled iscrpljivanja zaposlenih može biti i do 25% (Michael 2011) u datoj godini. Shodno tome, ERP obuka postaje kontinuiran poslovni zahtjev a ne jednokratni događaj.

Najbolje prakse ukazuju na neophodnost pružanja periodične obuke s' ciljem „osvježenja“ znanja svih korisnika sistema. Takođe, kako bi se obezbijedilo trajno zadržavanje znanja, mnogi poslovni sistemi, prilikom evaluacije zaposlenih, uspješan završetak obuke unose kao bitnu referencu u pojedinačne izvještaje o godišnjim učincima.

#### 4.2. Primjena elektronskog učenja na smanjenje troškova – istraživanje i rezultati

U nastavku rada biće navedeni i analizirani rezultati istraživanja, anketa i intervju u jednoj od svjetskih korporacija koja ima predstavništvo u Bosni i Hercegovini. Istraživanje se ogleda u sagledavanju troškova obuke na konvencionalni način sa troškovima elektronskog učenja u SAP ERP sistemu. Navedena korporacija, po usvojenom organizacionom planu za 2013. godinu, ima 403 stalno zaposlena radnika. U obukama učestvuje 364 radnika iz svih odjeljenja i službi u skladu sa planom stručnih edukacija od 2013. do 2017. godine. Sredstva predviđena za obuku, za 2015. godinu, obuhvataju kotizacije, troškove konsultanata, dnevnice i putne troškove. Prema navedenom petogodišnjem Planu za profesionalno usavršavanje planira izdojiti ukupno 932.589,74 € Konkretno, u službi za finansije zaposlena su 24 radnika koji će učestvovati u obuci za korišćenje SAP-ovog modula za finansijsko računovodstvo. Planirana obuka treba da obuhvata edukacije u trajanju 5-6 dana u periodu od 6 mjeseci a zatim 1-2 dana u preostalih 6 mjeseci od dana implementacije softvera. Ukupni procijenjeni troškovi angažovanja konsultanata iznosili bi oko 28.000,00

€. S druge strane edukacija za korišćenje pomenutog modula za finansijsko računovodstvo može se obaviti i korišćenjem elektronskih kurseva uz *on-line* podršku eksperata. Prema istraživanju na nekoliko sajtova koji nude prodaju elektronskih kurseva (<http://www.wiziq.com>, <http://www.simplilearn.com> i <http://www.michaelmanagement.com>) početna vrijednost iznosi oko 400 € za kurs u trajanju od prosječno 50 časova podijeljenih u oko 40 dana uz podršku eksperta, sa pristupom kursu od 180 do 365 dana. Ukupni procijenjeni troškovi za elektronsku obuku bi iznosili oko 10.000,00 €

Iako postoji značajna razlika u troškovima klasične edukacije i elektronskog učenja u navedenom slučaju ne treba isključiti angažovanje konsultanata za obavljanje konvencionalnog načina edukacije zbog nestrukturiranih aktivnosti, procesa i procedura za čiju realizaciju je neophodno steći odgovarajuće znanje. Međutim, može se zaključiti da značajan dio edukacije može biti obavljen elektronskim putem što će značajno smanjiti troškove obuke. U slučaju umanjenog angažovanja konsultana na 2 dana u trajanju od 12 mjeseci u prvoj godini realizacije ERP sistema uz pohađanje *on-line* kursa, troškovi bi bili smanjeni na iznos od 25.600,00 € što je za 8,50% smanjenje troškova obuke samo u prvoj godini.

## 5. ZAKLJUČAK I BUDUĆA RAZMATRANJA

Obuka je nezaobilazan, u mnogim istraživanjima identifikovan i najčešće pominjan faktor uspješne implementacije ERP sistema. U procesu implementacije i u procesu aktivnog korišćenja jednog od izuzetno zahtjevnih informacionih sistema kao što je ERP, neophodno je provoditi neprekidnu obuku. Elektronsko učenje se u najvećoj mjeri može primjenjivati za strukturirane i polustrukturirane procese dok je kombinacija sa učešćem trenera i većinsko učešće trenera u obukama neophodno kod nestrukturiranih procesa. Oba modela su pogodni prilikom sticanja znanja za korišćenje ERP rješenja u toku imlementacije ili naknadno, dodatnim modulima i poslovnim procesima i za edukaciju s ciljem horizontalnog i vertikalnog protoka znanja, ponavljanja stečenog znanja i sl.

Tokom idućih nekoliko godina, tehnologija će uvesti nove nivoe fleksibilnosti procesa, poboljšati snižavanje troškova i povećati brzinu usvajanja novih i ponavljanja postojećih znanja. Neki od faktora koji će uticati na budući razvoj ERP-a su (Srivastava, 2012):

- Integracija društvenih mreža;
- Stvaranje globalnih ERP sistema;
- ERP rešenja zasnovana na konkretnoj funkciji;
- SaaS model;
- OpenSource ERP;
- Korišćenje ERP-a pomoću bežičnih uređaja;
- Cloud computing.

Razvoj tehnologije u proteklih nekoliko godina naveo je kompanije da se presele u cloud okruženje te da koriste bežičnu i mobilnu tehnologiju. ERP sistemi će postati lakši za korišćenje, mobilni uređaju i društvene mreže snažno će uticati na proizvođače ovog proizvoda kroz optimizaciju troškova i brži protok znanja. Pomenute tehnologije će oblikovati i značajno unaprijediti ERP sistem u godinama koje slijede.

## LITERATURA

- [1] Castalina, N. (2013). ERP and the Small Business, Aberdeen Group Inc. A Harte Hanks Company. Boston, USA.
- [2] Chou, H. W., Lin, Y. H., Lu, H. S., Chang, H. H., & Chou, S. B. (2014). Knowledge sharing and ERP system usage in post-implementation stage. *Computers in Human Behavior*, 33, 16-22.
- [3] Deloitte Consulting Deloitte & Touche, LLP (2011). Change management strategy: approach and plan. London, UK.
- [4] Fernandez, M. (2012). Determining the suitability of e-learning in a global ERP project.
- [5] Griffiths, S., (2014). 15 Cost Items of ERP Projects you need to know. Retrived on June 10, 2014, from [www.blog.syspro.com](http://www.blog.syspro.com).
- [6] Hasan, M., Trinh, N. T., Chan, F. T., Chan, H. K., & Chung, S. H. (2011). Implementation of ERP of the Australian manufacturing companies. *Industrial Management & Data Systems*, 111(1), 132-145.
- [7] Kurbel, K. E. (2013). Enterprise Resource Planning and Supply Chain Management: Functions, Business Processes and Software for Manufacturing Companies. Springer Publishing Company, Incorporated.
- [8] Michael, T. (2011). Five Tips for a Successful Enterprise Resource Planning (ERP) Training Program. Focuszone Media, Inc., Learning Solutions Magazine, Santa Rosa, Kalifornija.

- [9] Panorama Consulting Solutions Inc. (2013). 2013 ERP REPORT - A Panorama Consulting Solutions Research Report. Denver, USA.
- [10] Srivastava, V. (2012). ERP future. Retrived on June 10, 2014, from [www.slideshare.net/VivekSrivastava9/erp-future](http://www.slideshare.net/VivekSrivastava9/erp-future).
- [11] Sudzina, F., & Johansson, B. (2008). Total cost of ERP systems implementation in Danish, Slovak and Slovenian Companies. In The 2nd Workshop on 3rd Generation Enterprise Resource Planning Systems.
- [12] Vom Brocke, J., & Rosemann, M. (Eds.). (2010). Handbook on Business Process Management 2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.



## MOTIVI, KORISTI I FAKTORI POVEĆANJA BROJA KORISNIČKI RAZVIJENIH POSLOVNIH APLIKACIJA

### MOTIVES, BENEFITS AND FACTORS OF INCREASE IN THE NUMBER OF USER DEVELOPED BUSINESS APPLICATIONS

LAZAR RAKOVIĆ<sup>1</sup>, MARTON SAKAL<sup>1</sup>, PREDRAG MATKOVIĆ<sup>2</sup>, PERE TUMBAS<sup>2</sup>, VESELIN PAVLIĆEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {rakovicl, marton}@ef.uns.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {pedja.matkovic, pere.tumbas, pavlicevic}@gmail.com

**Rezime:** *Korisnički razvoj aplikacija se u literaturi pominje kao koncept u kojem krajnji korisnici, koji nemaju adekvatno informatičko obrazovanje, razvijaju aplikacije za potrebe obavljanja svog posla ili posla svojih kolega. U radu je dat sažet prikaz motiva, koristi i faktora koji utiču na povećanje broja korisnički razvijenih poslovnih aplikacija i prikazani su stavovi samih korisnika o njima.*

**Ključne reči:** *Korisnički razvoj, poslovne aplikacije, elektronske tabele, razvojni alati.*

**Abstract:** *End-user development of applications is mentioned in the academic and expert literature as a concept wherein end-users, persons without adequate IT-related training, develop applications to meet the needs related to performing their own or their co-workers' jobs. This article presents a summarized overview of the motives, benefits and factors influencing the increase in the number of end-user developed business applications, and an overview of the end-users' opinions of these.*

**Keywords:** *End-user development, business applications, spreadsheets, development tools.*

#### 1. UVOD

Softverski proizvodi pogodni za korisnički razvoj aplikacija su mnogobrojni: pomoću njih je relativno jednostavno izraditi i održavati Web stranice, Wiki-sisteme, ubrzati rad u DTP programima, izraditi jednostavne animacije i sl. Sa aspekta poslovnog softvera, najznačajniji softveri pogodni za korisnički razvoj aplikacija su programi za tabelarne kalkulacije i VBA (Visual Basic for Applications). Zahvaljujući pre svega njima, u proteklih tridesetak godina korisnički razvoj aplikacija postao je etablirani vid dolaženja do (poslovnog) softvera u organizacijama (Shayo and Guthrie 2008). Kako Mallikourtis i Papanikolaou (2010) iznose, trećina podataka generisanih u savremenim organizacijama rezultat su korišćenja upravo korisnički razvijenih poslovnih aplikacija.

#### 2. RAZLOZI I KORISTI KREIRANJA KORISNIČKI RAZVIJENIH POSLOVNIH APLIKACIJA I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

U literaturi se navode brojni razlozi zbog kojih korisnici pristupaju korisničkom razvoju aplikacija. Uopšteno, oni se svode na problem razmimoilaženja između funkcionalnosti implementiranih informacionih sistema i stvarnih potreba korisnika poslovnog softvera (Spahn and Wulf, 2009; Bellino et al. 2010; Deng et al. 2011). Dörner et al. (2007) probleme koji se najčešće rešavaju korisničkim razvojem poslovnih aplikacija svrstavaju, između ostalih, u sledeće grupe:

- Problemi vezani za upotrebljivost softvera (tiču se, na primer, navigacije, dostupnosti funkcija softvera, ponašajno nedoslednog interfejsa, itd.);
- Problemi koji su u indirektnoj relaciji za funkcionalnostima softvera (odnose se, tipično, na nerazumljiv, kompleksno napisan help sistem), i
- Problemi koji su u direktnoj vezi funkcionalnostima softvera (na primer, problemi koji se javljaju prilikom generisanja izveštaja, komparacije različitih stavki, raznih evidencija itd.).

Mogući razlozi zbog kojih se korisnici odlučuju za korisnički (sopstveni) razvoj aplikacija su sledeći (Mehandjiev et al. 2006; Akpotaire 2009; Haines et al. 2010; Haines et al. 2010; Bellino et al. 2010; Ko et al. 2011; Kulesz 2011; Deloitte 2011; Sakal et al. 2012; Burnett and Scaffidi, 2013): krajnji korisnici veoma dobro poznaju sopstvene probleme; broj krajnjih korisnika je mnogostruko veći od broja profesionalnih

programera; zahvaljujući „user-friendly“ alatima, krajnji korisnici mogu relativno brzo i jeftino da izrade poslovne aplikacije za ličnu upotrebu; alati za korisničku izradu poslovnih aplikacija su široko rasprostranjeni i lako dostupni; korisnici mogu svoje aplikacije relativno lako da prilagode svojim izmenjenim potrebama i sl. Koristi od korisničkog razvoja poslovnih aplikacija pored krajnjih korisnika imaju i menadžment i IT odeljenja organizacija (Tabela 1).

**Tabela 1:** Pregled potencijalnih koristi od korisnički razvijenih poslovnih aplikacija

<b>Koristi krajnjih korisnika</b>	<b>Koristi zaposlenih u IT odeljenju</b>	<b>Koristi ima menadžmenta organizacije</b>
olakšano donošenje odluka poboljšana produktivnost stimulisanaost za sticanje novih znanja veće zadovoljstvo poslom brži odgovori na informacione zahteve poboljšan odnos sa IT osobljem spremnost za eksperimentisanje i inovacije	smanjenje broja projekata sa čijom se realizacijom kasni smanjenje dela IT resursa koji se troše na održavanje i programiranje aplikacija povećanje zadovoljstva poslom bolja iskorišćenost limitiranih resursa poboljšan odnos sa krajnjim korisnicima	smanjeni broj konflikata između korisnika i IT odeljenja obostrano zadovoljstvo krajnjih korisnika i IT osoblja povećanje produktivnosti krajnjih korisnika i IT profesionalaca brži odgovori na informacione zahteve

Izvor: McGill, 2002

Shayo i Guthrie (2008) korisnički razvijenim poslovnim aplikacijama daju ravnopravan status sa etabliranim načinima obezbeđenja/akvizicije softvera u organizacijama (razvoj softvera od strane IT odeljenja, kupovina softvera ili outsourcing), i njihove karakteristike upoređuju sa aspekta troškova, vremenskog rasporeda, veličine, uticaja, uklapanja u korisničke radne zadatke, podrške, integracije, sigurnosti, kvaliteta i integriteta podataka, dupliranja napora i prihvaćenosti od strane krajnjih korisnika (Tabela 2).

**Tabela 2:** Pregled karakteristika načina obezbeđenja softvera u organizacijama

	<b>Razvoj softvera od strane krajnjih korisnika</b>	<b>Razvoj softvera od strane IT odeljenja</b>	<b>Kupovina softvera od softverskih kuća</b>	<b>Outsourcing</b>
Troškovi	Niski/nema ih	Umereni (srednji)	Umereni (srednji)	Visoki
Vremenski raspored	Trenutan, neposredan	Spor	Brz	Spor
Veličina	Mala	Umerena (srednji)	Velika	Srednja/Velika
Kontrola	Niska	Visoka	Visoka	Visoka
Uticaj/ Delovanje	Lokalno	Od lokalnog do organizacionog nivoa	Od lokalnog do organizacionog nivoa	Od lokalnog do organizacionog nivoa
Prilagodljivost korisničkom zadatku	Visoka	Srednja	Niska	Srednja
Podrška (help desk, dokumentacija, obuka)	Niska/bez	Srednja	Srednja	Srednja
Integracija	Niska	Srednja	Niska	Visoka
Sigurnost	Niska	Visoka	Srednja	Visoka
Kvalitet podataka i integritet	Upitno, nekada veći kvalitet podataka nego u korporativnim sistemima	Visok	Srednji	Visok

Dupliranje napora	Visoko	Nisko/bez	Nisko/bez	Nisko/bez
Prihvaćenost	Visoka	Niska	Srednja	Srednja

Izvor: Shayo & Guthrie, 2008

### 3. FAKTORI KOJI UTIČU NA POVEĆANJE BROJA KORISNIČKI RAZVIJENIH APLIKACIJA

Motivacija, rizici i kontrola su dimenzije kroz koje Mehandjiev et al. (2006) sagledavaju faktore koji utiču na povećanje zastupljenosti korisničkog razvoja poslovnih aplikacija u organizacijama (Slika 1). Dimenzija motivacije je u direktnoj vezi sa koristima koje korisnički razvijene aplikacije potencijalno nude, ali su oni praćeni i značajnim rizicima, koji se često materijalizuju u greškama, koje mogu da imaju konsekvence čija se negativna vrednost meri u milionima (Hanna 2013; Sambides 2012; Bridgeford 2011, Donila 2011; Smith 2004; French 2003; Godfrey 1995). Zbog toga je neophodno da korisnički razvoj aplikacija ima i kontrolnu dimenziju.



**Slika 1:** Dimenzije i teme koje treba uzeti u obzir u vezi sa korisničkim razvojem aplikacija (adaptirano prema Mehandjiev et al. 2006)

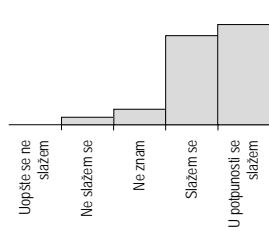
### 4. STAVOVI KORISNIKA O KORISNIČKI RAZVIJENIM POSLOVNIM APLIKACIJAMA

Stavove krajnjih korisnika o koristima i opasnostima korisnički razvijениh aplikacija prikazuju rezultati istraživanja koje su sprovedli Mehandjiev et al. (2006). Ispitanici su na ponuđene tvrdnje mogli da odgovore zaokruživanjem odgovora „uopšte se ne slažem“, „ne slažem se“, „ne znam“, „slažem se“ i „u potpunosti se slažem“. Autori su odgovore kvantifikovali vrednostima -2, -1, 0, 1 i 2, respektivno. Distribucija odgovora, zajedno sa prosečnim ocenama, prikazana je na Slici 2, sa koje je, između ostalog, vidljivo da su ispitanici bili stava da korisnički razvijene aplikacije mogu da budu efikasnosredstvo za podršku njihovim ciljevima, ali i da su svesni da su isti potencijalno problematični po pitanju kvaliteta softvera i da kao takvi mogu da budu opasni.



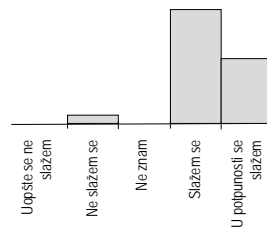
Stručnost krajnjih korisnika u datom domenu može da proizvede efikasniji softver za podršku njihovim ciljevima

1,34



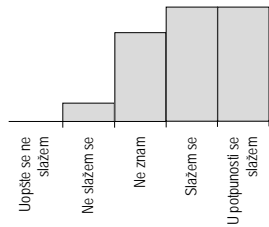
Korisnički razvoj aplikacija stvara probleme kvaliteta softvera

1,24



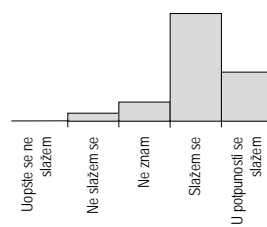
Korisnički razvoj aplikacija bi mogao da ubrza razvoj softvera

0,97



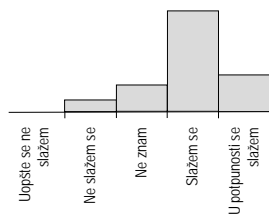
Korisnički razvijene aplikacije mogu biti opasne

1,05



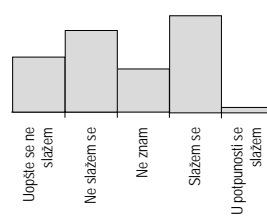
Upotreba alata za korisnički razvoj aplikacija može učiniti moj posao zanimljivijim

0,89



Razvoj softvera spada pod nadležnost IT stručnjaka

-0,26



**Slika 2:** Stavovi korisnika o korisnički razvijanim aplikacijama (prilagođeno prema: Mehandjiev et al. 2006)

#### 4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Zahvaljujući rasprostranjenosti korisnički razvijanih poslovnih aplikacija, razvijanih prvenstveno pomoću programa za tabelarne kalkulacije, značajan deo podataka koji se generiše u organizacijama ne potiče od strane softvera koji su razvili ili koji održavaju IT profesionalci. Njih kreiraju eksperti iz oblasti računovodstva, finansija, poslovne analize, koji nemaju IT domenska znanja. Tako razvijene aplikacije imaju mnoge prednosti, pružaju značajne koristi svojim kreatorima i korisnicima, ali nose i rizike i opasnosti. Isti su, zajedno sa faktorima koji utiču na rast broja korisnički razvijanih poslovnih aplikacija i sa stavovima korisnika o korisnički razvijanim aplikacijama, sažeto prikazani u radu.

#### LITERATURA

- [1] Akpotaire, A. O. (2009). Common Software Development Mistakes Made by Managers and Developers: Ways to Eliminate Poor Quality Software, Business Disruption and High Technical Support Cost. Charleston: Booksurge.
- [2] Bellino, C. A., Ochab, D. & Rowland, J. S. (2010). Global Technology Audit Guide, Auditing User-developed Applications. Altamonte Springs: The Institute of Internal Auditors.
- [3] Burnett, M. M. & Scaffidi, C. (2013). End-User Development. In M. Soegaard, & D. Rikke Friis, The Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Aarhus: The Interaction Design Foundation.
- [4] Bridgeford, B. D. (9.12.2011.). W. Baraboo to pay more for borrowed money than believed. Preuzeto 7.2.2012. sa Wisnews: [http://www.wiscnews.com/baraboonewsrepublic/news/local/article\\_7672b6c6-22d5-11e1-8398-001871e3ce6c.html](http://www.wiscnews.com/baraboonewsrepublic/news/local/article_7672b6c6-22d5-11e1-8398-001871e3ce6c.html)
- [5] Deng, Y., Churcher, C., Abell, W. & McCallum, J. (2011). Designing a Framework for End User Applications. Third international conference on End-user development IS-EUD'11 (pp. 67-75 ). Berlin: Springer-Verlag.
- [6] Deloitte. (2011). End User Computing, Solving the problem. Preuzeto 29.6.2012. sa Deloitte: [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-UnitedStates/Local%20Assets/Documents/AERS/us\\_aers\\_enduser\\_computing\\_080911.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-UnitedStates/Local%20Assets/Documents/AERS/us_aers_enduser_computing_080911.pdf)

- [7] Donila, M. (3.12.2011.). Trustee's Office mistake to cost taxpayers \$12,500. Preuzeto 7.2.2012. sa KnoxNews: <http://www.knoxnews.com/news/2011/dec/03/trustees-office-mistake-to-cost-taxpayers-12500/>
- [8] Dörner, C., Heß, J. & Pipek, V. (2007). Improving Information Systems by End User Development: A Case Study. Fifteenth European Conference on Information Systems, ECIS 2007 (pp. 783-794). Sankt Gallen : University of Sankt Gallen .
- [9] French, C. (3.6.2003.). TransAlta Says Clerical Snafu Costs It \$24 Million. Preuzeto 8.2.2012. sa Bell Globemedia: [http://www.globeinvestor.com/servlet/ArticleNews/story/ROC/20030603/2003-06-03T232028Z\\_01\\_N03354432\\_RTRIDST\\_0\\_BUSINESS-ENERGY-TRANSALTA-COL](http://www.globeinvestor.com/servlet/ArticleNews/story/ROC/20030603/2003-06-03T232028Z_01_N03354432_RTRIDST_0_BUSINESS-ENERGY-TRANSALTA-COL)
- [10] Godfrey, K. (4.1.1995.). Computing error at Fidelity's Magellan fund. Preuzeto 8.2.2012. sa Catless: <http://catless.ncl.ac.uk/Risks/16.72.html#subj1>
- [11] Hanna, J. (19.2.2013.). Brownback budget director apologizes for numbers error. Preuzeto 15.3.2013. sa LJWorld: <http://www2.ljworld.com/news/2013/feb/19/brownback-budget-director-apologizes-numbers-error/>
- [12] Haines, W., Gervasio, M., Spaulding, A., & Peintner, B. (2010). Recommendations for End-User Development. Proceedings of the ACM RecSys 2010 Workshop on User-Centric Evaluation of Recommender Systems and Their Interfaces (UCERSTI) (pp. 42-49). Barcelona: CEUR-WS.org.
- [13] Ko, A. J., Abraham, R., Beckwith, L., Blackwell, A., Burnett, M. & Erwig, M. (2011). The state of the art in end-user software engineering. ACM Computing Surveys, 43 (3), 21-43.
- [14] Kulesz, D. (2011). From good practices to effective policies for preventing errors in spreadsheets. Proceedings of EuSprIG 2011 Conference . London: EuSprIG.
- [15] Mallikourtis, G. & Papanikolaou, E. P. (2010). End User Computing (EUC) Risk: From Assessment to Audit. The Athens International Forum on Security (AIFS) 2010. Athens: HELLENIC AMERICAN UNION.
- [16] Mehandjiev, N., Sutcliffe, A. & Lee, D. (2006). Organizational View of End-User Development. In H. Lieberman, F. Paternò, & V. Wulf, End User Development (pp. 371-400). Dordrecht: Springer.
- [17] McGill, T. J. (2002a). An Investigation of End User Development Success (This thesis is presented for the degree of Doctor of Philosophy of Murdoch Unoversity). Perth: Murdoch Unoversity.
- [18] Shayo, C. & Guthrie, R. A. (2008). End-User Computing Success Measurement. In S. Clarke, End-User Computing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications (pp. 1523-1530). Hershey: Information Science Reference.
- [19] Sakal, M., Matković, P. & Tumbas, P. (2012). Users' experience and knowledge as obstacles in user interface development. Управление человеческими ресурсами – концепция модернизации, Международной научно-практической конверенции в рамках IX Омского кадрового форума (pp. 66-75). Омск: Државни универзитет Ф. М. Достојевски.
- [20] Sambides, N. (29.10.2012.). Spreadsheet problem contributed to Lincoln budgeting woes. Preuzeto 21.1.2013. sa Bangor Daily News: <http://bangordailynews.com/2012/10/29/news/penobscot/spreadsheet-problem-contributed-to-lincoln-budgeting-woes/>
- [21] Smith, R. E. (1.5.2004.). University of Toledo loses \$2.4M in projected revenue. Preuzeto 8.2.2012. sa The Toledo Blade: <http://www.toledoblade.com/Education/2004/05/01/University-of-Toledo-loses-2-4M-in-projected-revenue.html>
- [22] Spahn, M. & Wulf, V. (2009). End-User Development of Enterprise Widgets. 2nd International Symposium, IS-EUD 2009 (pp. 106-125). Berlin: Springer.



## UTICAJ PREZENTACIJE BROJEVA NA ALGORITME ZA MULTIPRECIZNU ARITMETIKU

## THE INFLUENCE OF NUMBER PRESENTATION ON MULTIPRECISE ARITHMETIC ALGORITHMS

TOMISLAV UNKAŠEVIĆ<sup>1</sup>, SONJA KULJANSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, tunkasevic@sbb.rs

<sup>2</sup> Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, sonjakuljanski@gmail.com

**Rezime:** U radu su navedeni algoritmi za multipreciznu aritmetiku: standardni rekurzivni algoritam, algoritam Karatsuba-Ofman, kao i algoritam Toom-Cook. Zatim je opisano njihovo ponašanje i izvršena njihova komparativna analiza u zavisnosti od prezentacije brojeva koji se množe. Na kraju rada su izloženi praktični rezultati do kojih se došlo prilikom testiranja navedenih algoritama..

**Ključne reči:** standardni rekurzivan algoritam za množenje, algoritam Karatsuba-Ofman, algoritam Toom-Cook.

**Abstract:** In the paper are listed algorithms for multi-precise arithmetic: standard recursive algorithm, algorithm Karatsuba-Ofman, as well as algorithm Toom-Cook. The paper discusses their behavior and shows their comparative analysis depending on presentation of numbers which should be. At the end of paper are presented practical results, that have been encountered in testing these algorithms.

**Keywords:** standard recursive multiplication algorithm, algorithm Karatsuba-Ofman, algorithm Toom-Cook.

### 1. UVOD

Zaštita podataka u informacionom svetu danas, uglavnom počiva na metodu elektronskog potpisa i elektronskih sertifikata. Osnovu ovog metoda čine asimetrični kriptografski algoritmi, među kojima je najrasprostranjeniji RSA algoritam. Sa stanovišta bezbednosti potrebno je da ključevi RSA algoritma budu što duži a sa stanovišta primene i efikasnosti poželjno je da se računanje i verifikacija elektronskog potpisa obavljaju u što kraćem vremenskom periodu. Na prvi pogled se može uočiti da su ova dva uslova uzajamno protivrečna. Pošto je bezbednost u komunikacijama najvažnija, neophodno je pronaći algoritme za multipreciznu aritmetiku koji će minimizovati vreme izračunavanja u zavisnosti od dužine primenjenih ključeva.

Neka su  $a$  i  $b$  dva  $n$ -cifrena broja koja treba pomnožiti. Ovi brojevi su predstavljeni u nekoj osnovi  $R$   
$$a = (a_{n-1}a_{n-2} \dots a_0) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i R^i, \quad b = (b_{n-1}b_{n-2} \dots b_0) = \sum_{i=0}^{n-1} b_i R^i,$$
 pri čemu su  $a_i$  i  $b_i$ ,  $i=0, \dots, n-1$ , cifre u intervalu  $[0, R-1]$ .

Standardnim algoritmom za množenje prvo se dolazi do parcijalnih proizvoda množenjem svake cifre broja  $b$  sa svakom cifrom broja  $a$ , a zatim se sabiranjem parcijalnih proizvoda dobija rezultujuće  $2n$ -cifreno rešenje  $t$ . Standardni algoritam za množenje zahteva  $O(n^2)$  operacija da bi pomnožio dva  $n$ -cifrena broja.

Andrej Kolmogorov je 1952. godine došao do zaključka da bi bilo kom algoritmu bilo potrebno  $O(n^2)$  elementarnih operacija za množenje dva  $n$ -cifrena broja, odnosno da je standardni algoritam za množenje optimalan. Desetak godina kasnije je pokazano da postoje i efikasniji algoritmi i o njima će u ovom radu biti reči.

### 2. STANDARDNI REKURZIVNI ALGORITAM I ALGORITAM KARATSUBA-OFMAN

Standardni rekurzivni algoritam nije značajno bolji od standardnog algoritma za množenje, ali njegova implementacija dovodi do algoritma Karatsuba-Ofman, koji je asimptotski brži od standardnih algoritama.

Ako su  $a$  i  $b$  dva  $n$ -cifrena broja predstavljena u nekoj bazi  $R$ , tada se za bilo koji pozitivan broj  $m$  manji od  $n$  brojevi  $a$  i  $b$  mogu podeliti na sledeći način  $a = R^m a_1 + a_0$ ,  $b = R^m b_1 + b_0$  gde su  $a_0$  i  $b_0$  manji od  $R^m$ . Množenjem brojeva  $a$  i  $b$  se dobija proizvod  $ab = (R^m a_1 + a_0)(R^m b_1 + b_0) = R^{2m} t_2 + R^m t_1 + t_0$ , pri čemu su:  $t_2 = a_1 b_1$ ,  $t_1 = a_1 b_0 + a_0 b_1$ ,  $t_0 = a_0 b_0$ . Na ovaj način se dolazi do rekurzivnog algoritma, koji se naziva standardni rekurzivni algoritam za množenje (SRMA), videti Knuth (1981).

**function** SRMA( $a, b$ )

$t_0 = \text{SRMA}(a_0, b_0)$

$t_2 = \text{SRMA}(a_1, b_1)$

$u_0 = \text{SRMA}(a_0, b_1)$

$u_1 = \text{SRMA}(a_1, b_0)$

$t_1 = u_0 + u_1$

**return**  $(R^{2m} t_2 + R^m t_1 + t_0)$ .

Neka  $T(n)$  označava broj operacija potrebnih za množenje dva  $n$ -cifrena broja, tada za standardni rekurzivni algoritam za množenje važi

$$T(n) = 4T\left(\frac{n}{2}\right) + \alpha n, \quad (1)$$

gde  $\alpha n$  označava broj operacija potrebnih za sabiranja i pomeranja u algoritmu ( $\alpha$  je konstanta). Rešavanjem rekurzivne formule, sa početnim uslovom  $T(1) = 1$ , dobija se da standardni rekurzivni algoritam za množenje zahteva  $O(n^2)$  operacija za množenje dva  $n$ -cifrena broja. U ovom algoritmu se može koristiti bilo koja baza  $R$  i proizvoljan prirodan broj  $m$ , ali je algoritam najefikasniji kada je  $m = \lceil n/2 \rceil$ .

Standardni rekurzivni algoritam za množenje zahteva četiri množenja. Dva Ruska matematičara, Karatsuba i Ofman su došli do zaključka da su za računanje proizvoda dva broja dovoljna tri množenja, uz nekoliko dodatnih sabiranja. Shodno tom zapažanju 1962. godine objavljuju svoj rezultat. Detaljan opis Karatsuba-Ofman algoritma za množenje može se naći u Knutovoj knjizi, videti Knuth (1981).

Neka su  $a$  i  $b$  gore navedena dva  $n$ -cifrena broja predstavljena u bazi  $R$ , koja treba pomnožiti. To se može uraditi na sledeći način  $ab = (R^m a_1 + a_0)(R^m b_1 + b_0) = R^{2m} t_2 + R^m t_1 + t_0$  pri čemu su:  $t_2 = a_1 b_1$ ,  $t_0 = a_0 b_0$ ,  $t_1 = (a_0 + a_1)(b_0 + b_1) - t_0 - t_2 = a_0 b_1 + a_1 b_0$  što je novina u odnosu na standardni rekurzivni algoritam za množenje. Na ovaj način se dobija rekurzivni Karatsuba-Ofman algoritma za množenje, videti Knuth (1981).

**function** KORMA( $a, b$ )

$t_0 = \text{KORMA}(a_0, b_0)$

$t_2 = \text{KORMA}(a_1, b_1)$

$u_0 = \text{KORMA}(a_0 + a_1, b_0 + b_1)$

$t_1 = u_0 - t_0 - t_2$

**return**  $(R^{2m} t_2 + R^m t_1 + t_0)$

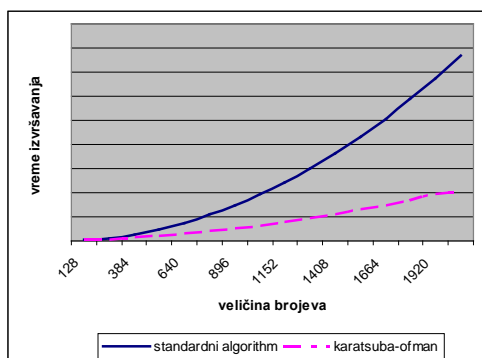
Ako  $T(n)$  označava broj operacija potrebnih za množenje dva  $n$ -cifrena broja korišćenjem algoritma Karatsuba-Ofman, tada je

$$T(n) = 2T\left(\frac{n}{2}\right) + T\left(\frac{n}{2} + 1\right) + \beta n \leq 3T\left(\frac{n}{2}\right) + \beta n, \quad (2)$$

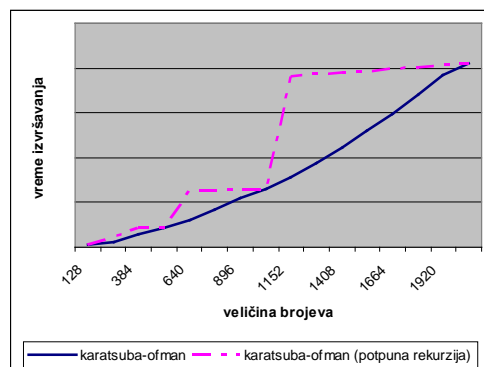
pri čemu  $\beta n$  predstavlja sabiranja, oduzimanja i pomeranja koje zahteva Karatsuba-Ofman algoritam. Uz početni uslov  $T(1) = 1$  rešavanjem rekurzivne formule dolazi se do zaključka da algoritam Karatsuba-Ofman zahteva  $O(n^{\log_2 3}) = O(n^{1.58})$  operacija da bi se pomnožila dva  $n$ -cifrena broja. Stoga je algoritam Karatsuba-Ofman asimptotski brži od standardnog algoritma (kako rekurzivnog, tako i nerekurzivnog).

Kao i u standardnom rekurzivnom algoritmu i u algoritmu Karatsuba-Ofman brojevi mogu biti predstavljeni u proizvoljnoj bazi  $R$  i  $m$  može biti proizvoljan prirodan broj, ali su algoritmi najefikasniji kada je  $m = \lceil n/2 \rceil$ . Ako je  $n = 2^k$ , za neki ceo broj  $k$ , i ako se rekurzija završava kada je  $n = 1$ , tada je broj jednocifrenih množenja kod algoritma Karatsuba-Ofman  $3^k$ , što je  $n^c$  kada je  $c = \log_2 3$ . Zbog dodatnog sabiranja algoritam Karatsuba-Ofman tek za dovoljno veliko  $n$  postaje brži od standardnog rekurzivnog algoritma (u praksi je pokazano da je to  $n \geq 250$ ). Na brzinu algoritma Karatsuba-Ofman utiče i veličina broja dobijenog sabiranjem brojeva  $a_0$  i  $a_1$  (kao i veličina broja dobijenog sabiranjem brojeva  $b_0$  i  $b_1$ ). Ako

neki od dobijenih brojeva ima  $\frac{n}{2}+1$  cifru dolazi do dodatnog rekurzivnog poziva, što dovodi do usporavanja algoritma. Međutim, postoji mogućnost da se rekurzija prekine u bilo kom trenutku, a zatim primeni algoritam koji je efikasniji za množenje brojeva sa manje cifara i na taj način se ubrzava množenje. Za veliko  $n$  već nakon prvog stepena rekurzije efikasnost Karatsuba-Ofman algoritma je očigledna, Grafik 1.



**Grafik 1:** Poređenje standardnog rekurzivnog algoritma i algoritma Karatsuba-Ofman nakon prvog nivoa rekurzije



**Grafik 2:** Poređenje algoritma Karatsuba-Ofman nakon prvog nivoa rekurzije i istog algoritma kada se dođe do kraja rekurzije

U ovom slučaju nakon prvog stepena rekurzije u Karatsuba-Ofman algoritmu pozvan je standardni algoritam za množenje velikih brojeva. Ukoliko se rekurzija izvršava dok  $a_0, a_1, b_0$  i  $b_1$  ne budu jednaki 1 dobijaju se nešto lošiji rezultati zbog prirode algoritma da se brojevi koje treba pomnožiti dele na dva dela i zbog dubine rekurzije. U tom slučaju dobija se grafik Grafik 1 jer je, na primer, za množenje dva 257 -cifrena broja potrebna ista dubina rekurzije kao i za množenje dva 512 - cifrena broja.

### 3. ALGORITAM TOOM-COOK

U algoritmu Karatsuba-Ofman dolazi se do uštede na vremenu jer se brojevi koji se množe dele na dva dela i onda se vrše operacije nad tim delovima. Vreme izvršavanja algoritma može biti još više smanjeno ukoliko se brojevi podele na više odgovarajućih delova, a zatim se ti delovi koriste za računanje. Tako se dolazi do zaključka da je broj operacija potrebnih za množenje dva  $n$ -cifrena broja

$$T\left((r+1)\frac{n}{2}\right) \leq (2r+1)T\left(\frac{n}{2}\right) + \beta n, \quad (3)$$

pri čemu je  $r$  unapred zadati broj. Ova ideja je potekla od Andreja Toma 1963. godine. Nešto kasnije, 1966. godine, Stiven Kuk je poboljšao algoritam i objavio ga u svojoj doktorskoj tezi, videti Cook (1996).

Toom-Cook algoritam se sastoji iz pet glavnih koraka: *podele, evaluacije, množenja po parovima, interpolacije i rekonpozicije*.

*Podela:* Brojeve  $a$  i  $b$  podelimo na tačno  $r+1$  deo u bazi  $R$ , pa dobijamo  $a = (a_{(r+1)n-1} \dots a_1 a_0)$  i  $b = (b_{(r+1)n-1} \dots b_1 b_0)$ . Zatim te cifre koristimo kao cifre u  $r$ -stepenim polinomima  $A(x)$  i  $B(x)$ ,  $a = A_r R^m + \dots + A_1 R^m + A_0$ ,  $b = B_r R^m + \dots + B_1 R^m + B_0$  pri čemu su  $A_j$  i  $B_j$   $n$ -cifreni brojevi.

Posmatrajmo polinome  $A(x) = A_r x^r + \dots + A_1 x + A_0$ ,  $B(x) = B_r x^r + \dots + B_1 x + B_0$  i neka važi  $W(x) = A(x)B(x) = W_{2r} x^{2r} + \dots + W_1 x + W_0$ . Ako je  $a = A(R^n)$  i  $b = B(R^n)$  onda je  $ab = W(R^n)$ , pa možemo izračunati  $ab$  ako znamo koeficijente polinoma  $W(x)$ .

*Evaluacija:* Za polinome  $A(x)$  i  $B(x)$  izračunamo vrednosti u tačkama  $\{0, 1, \dots, 2r\}$ .

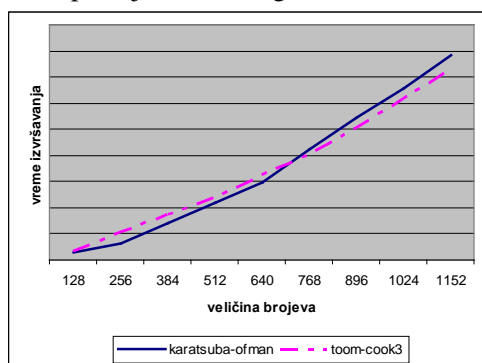
*Množenje po parovima:* Problem je pronaći pogodan način za računanje koeficijenata polinoma  $W(x)$  koristeći samo  $2r+1$  množenje  $n$ -cifrenih brojeva uz neophodne dodatne operacije koje zahtevaju vreme izvršavanja proporcijalno sa  $n$ . To može biti urađeno računanjem

$$\begin{aligned} A(0)B(0) &= W(0), \\ A(1)B(1) &= W(1), \\ &\vdots \\ A(2r)B(2r) &= W(2r). \end{aligned}$$

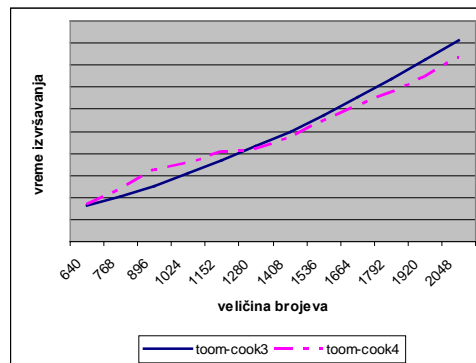
*Interpolacija:* koeficijenti polinoma stepena  $2r$  mogu biti napisani kao linearna kombinacija vrednosti polinoma u  $2r+1$  različitoj tački. Računanje takve linearne kombinacije zahteva vreme izvršavanja proporcijalno sa  $n$ . Na ovaj način smo dobili metod za množenje koji zadovoljava generalni slučaj (3).

*Rekompozicija:* na kraju se dobija  $2r$  koeficijentata polinoma  $W(x)$ . Oni predstavljaju međurezultate. S obzirom da su svi brojevi dobijeni prilikom računanja predstavljeni u bazi  $R$ , krajnji rezultat se dobija kada se svaki koeficijent šiftuje za stepen monoma uz koji stoji, a zatim se dobijeni brojevi sabere

Kao što je rečeno algoritam Karatsuba-Ofman je specijalan slučaj algoritma Toom-Cook kada je  $r = 1$ , pa su brzine izvršavanja algoritama Toom-Cook2 i Karatsuba-Ofman približno jednake. Za  $n > 700$  algoritam Toom-Cook3 postaje brži od algoritma Karatsuba-Ofman, Grafik 3.



**Grafik 3:** Poređenje Karatsuba-Ofman i Toom-Cook3 algoritma



**Grafik 4:** Poređenje Toom-Cook3 i Toom-Cook4 algoritma

Za relativno malo  $n$  algoritam Karatsuba-Ofman se ponaša bolje od Toom-Cook algoritma, pa je za množenje brojeva sa manje cifara, prilikom izvršavanja Toom-Cook algoritma, pogodno koristiti algoritam Karatsuba-Ofman. Za  $n > 1200$  algoritam Toom-Cook4 postaje brži od algoritma Toom-Cook3, Grafik 4.

U algoritmima Toom-Cook2, Toom-Cook3 i Toom-Cook4 parametar  $r$  je unapred fiksiran. Međutim, moguće je implementirati algoritam Toom-Cook tako da se  $r$  računa dinamički, u zavisnosti od veličine  $n$ , biranjem sve većeg  $r$  kako raste  $n$ , videti Koc (1994). Neka je dat pozitivan ceo broj  $n$  i dva nenegativna  $n$ -cifrena cela broja  $a$  i  $b$  u bazi  $R$ . U ovom algoritmu se koriste pomoćni stekovi za čuvanje velikih brojeva i njihovu manipulaciju tokom procesa računanja:

Stekovi  $A$  i  $B$ : koriste se za privremeno čuvanje  $A(j)$  i  $B(j)$  u koraku 4.

Stek  $C$ : koriste se za čuvanje brojeva koje treba pomnožiti i kontrolnih kodova.

Stek  $W$ : koristi se za čuvanje  $W(j)$ .

Ideja algoritma je sledeća:

**KORAK1** [računanje tabele sa vrednostima  $q$  i  $r$ ] Uneti početne vrednosti  $k = 1$ ,  $q_0 = q_1 = 16$ ,  $r_0 = r_1 = 4$ ,  $Q = 4$ , i  $R = 2$ . Dok je  $q_{k-1} + q_k < n$  računati  $k = k + 1$ ,  $Q = Q + R$ ,  $R = \lfloor \sqrt{Q} \rfloor$ ,  $q_k = 2^Q$ ,  $r_k = 2^R$ .

**KORAK2** [stavljjanje  $a$  i  $b$  na stek] Staviti znak *code-1* na stek  $C$ , a zatim na isti stek staviti  $a$  i  $b$  kao brojeve sa tačno  $q_{k-1} + q_k$  bitova svaki.

**KORAK3** [proveravanje nivoa rekurzije] Smanjiti  $k$  za jedan. Ako je  $k = 0$  skloniti  $a$  i  $b$  sa vrha steka  $C$  i izračunati  $t = ab$ , a zatim preći na **KORAK10**. Ako je  $k > 0$  dodeliti vrednosti  $r = r_k$ ,  $q = q_k$ ,  $p = q_{k-1} + q_k$  i preći na **KORAK4**.

**KORAK4** [podela na  $r+1$  deo] Broj na vrhu steka  $C$  se može posmatrati kao lista sa  $r+1$  brojem, pri čemu svaki ima tačno  $q$  bitova,  $(A_r \dots A_1 A_0)_{2^q}$ . Za  $j = 0, 1, \dots, 2r$  računaju se  $p$  bitni brojevi  $(\dots(A_r j + A_{r-1})j + \dots + A_1)j + A_0 = A(j)$ , a zatim se vrednost stavlja na stek  $A$ . Na kraju se sklanjaju vrednosti  $A_r \dots A_1 A_0$  sa steka  $C$ . Sada se na vrhu steka  $C$  nalazi  $r+1$  vrednost  $B_r \dots B_1 B_0$ . Računaju se vrednosti  $(\dots(B_r j + B_{r-1})j + \dots + B_1)j + B_0 = B(j)$  i stavljaju na stek  $B$ . Posle toga se vrednosti  $B_r \dots B_1 B_0$  sklanjaju sa steka  $C$ .

**KORAK5** [rekurzija] Na stek  $C$  se stavljaju vrednosti sa stekova  $A$  i  $B$ , a ovi stekovi se prazne *code-2*,  $B(2r)$ ,  $A(2r)$ , *code-3*,  $B(2r-1)$ ,  $A(2r-1)$ ,  $\dots$  *code-3*,  $B(1)$ ,  $A(1)$ , *code-3*,  $B(0)$ ,  $A(0)$  i vraćamo se na **KORAK3**.

**KORAK6** [čuvanje proizvoda] Stavljaju se  $t$  na stek  $W$  i vraća se na **KORAK3**.

**KORAK7** [pronalaženje koeficijenata] Dodeliti vrednosti  $r = r_k$ ,  $q = q_k$ ,  $p = q_{k-1} + q_k$ . Za  $j = 1, 2, \dots, 2r$  izvršiti petlju: za  $i = 2r, 2r-1, \dots, j$  računati  $W(i) = (W(i) - W(i-1)) / j$ .

**KORAK8** [pronalaženje  $W$ -ova] Za  $j = 2r-1, \dots, 1$  izvršiti petlju  $i = j, j+1, \dots, 2r-1$  u kojoj se računa  $W(i) = W(i) - jW(i+1)$ .

**KORAK9** [postavljanje odgovora] Izračunati  $t$  kao  $(\dots(W(2r)2^q + W(2r-1))2^q + \dots + W(1)2^q + W(0))$ , a zatim skloniti  $W(2r), \dots, W(0)$  sa steka  $W$ .

**KORAK10** [vraćanje] Povećati  $k$  za jedan. Ako se na vrhu steka  $C$  nalazi  $code-3$  vratiti se na **KORAK6**, ako se nalazi  $code-2$  staviti  $t$  na stek  $W$  i preći na **KORAK7** i ako se nalazi  $code-1$  algoritam se završava (proizvod brojeva  $a$  i  $b$  je  $t$ ).

Generalno, vrši se podela niza na  $r$  delova, a zatim se vrši množenje za  $2r-1$  tačku. Podela niza na tri dela zahteva pet množenja po tačkama, podela na četiri dela zahteva sedam množenja i tako dalje. Na osnovu toga se dolazi do zaključka da je složenost Toom-Cook algoritma  $O(n \cdot 2^{\sqrt{2 \cdot \lg n}} \log n)$ .

#### 4. POBOLJŠANJE ALGORITAMA ZASNOVANO NA PREZENTACIJI BROJEVA

Prilikom korišćenja standardnog rekurzivnog algoritma, kao i algoritma Karatsuba-Ofman za množenje dva  $n$ -cifrena broja,  $2^{k-1} < n < 2^k$ , potrebna je ista dubina rekurzije kao i za množenje dva  $2^k$ -cifrena broja, jer se prostor od  $n+1$  cifre do  $2^k$  cifre popunjava 0. Na primer, ako su  $a$  i  $b$  dva  $m$ -tocifrena broja,  $2^{k-1} < m < 2^k$  dobijamo:

$$a = \underbrace{0 \dots 0 a_m \dots a_1 a_0}_{2^k} \quad b = \underbrace{0 \dots 0 b_m \dots b_1 b_0}_{2^k}.$$

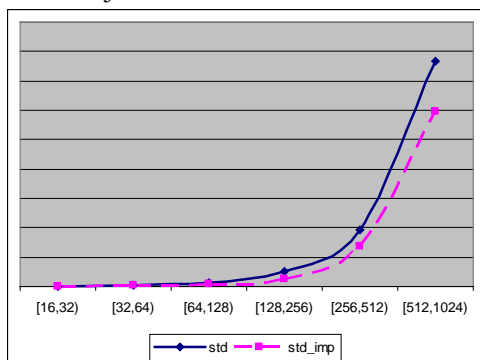
Takođe, ukoliko brojevi  $a$  i  $b$  nisu iste dužine broj sa manjim brojem cifara se mora dopuniti 0 do dužine broja sa većim brojem cifara, a zatim se oba broja moraju popuniti 0, tako da dužina svakog od njih bude jednaka nekom stepenu broja 2, kao što je gore navedeno. Na primer, ako je  $a$   $m$ -tocifren broj, a  $b$   $n$ -tocifren broj,  $m < n$  i  $2^{k-1} < n < 2^k$  dobijamo:

$$a = \underbrace{0 \dots 00 \dots 0 a_m \dots a_1 a_0}_n \quad b = \underbrace{0 \dots 0 b_n \dots b_1 b_0}_{2^k}.$$

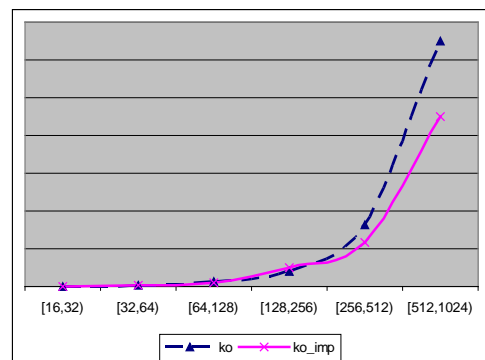
U ovim slučajevima dolazi do ulaska u rekurziju, iako je jedan od činilaca koji učestvuje u množenju jednak 0.

Vremena izvršavanja standardnog rekurzivnog algoritma i algoritma Karatsuba-Ofman se mogu popraviti uvođenjem parametara  $lengthA$  i  $lengthB$ , koji određuju broj značajnih cifara brojeva  $a$  i  $b$ , respektivno, koje su različite od 0. U algoritmima se vodi računa o broju značajnih cifara brojeva koji se množe i algoritam se rekurzivno poziva samo ako je i  $lengthA$  i  $lengthB$  različito od 0, u suprotnom će  $length$  rezultata biti 0 i nije potrebno pozivati algoritam za množenje, Grafik 5 i Grafik 5.

Ova, naizgled mala, promena dovodi do značajnog poboljšanja rezultata izvršavanja kako standardnog rekurzivnog algoritma, tako i algoritma Karatsuba-Ofman, pogotovo kada se množe brojevi čije se dužine značajno razlikuju.



**Grafik 5:** Poređenje osnovnog standardnog rekurzivnog algoritma i standardnog rekurzivnog algoritma sa parametrima

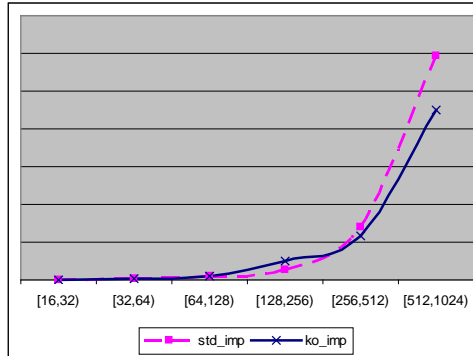


**Grafik 6:** Poređenje osnovnog algoritma Karatsuba-Ofman i algoritma Karatsuba-Ofman sa parametrima  $lengthA$  i  $lengthB$



$lengthA$  ;  $lengthB$

Interesantno je da je algoritam Karatsuba-Ofman sa parametrima  $lengthA$  i  $lengthB$  efikasniji od stanardnog rekurzivnog algoritma sa parametrima tek za  $n > 256$ , Grafik 7.



**Grafik 7:** Poređenje standardnog rekurzivnog algoritma sa parametrima  $lengthA$  i  $lengthB$  i algoritma Karatsuba-Ofman sa parametrima  $lengthA$  i  $lengthB$

Uvođenje parametara  $lengthA$  i  $lengthB$  ne doprinosi značajno poboljšanju efikasnosti algoritma Toom-Cook. Do eventualnog poboljšanja se dolazi ako se  $lengthA$  i  $lengthB$  koriste prilikom koraka evaluacije, ali je to poboljšanje nezatno zbog dodatnih provera koje je potrebno uvesti. Iako je algoritam Karatsuba-Ofman sa parametrima  $lengthA$  i  $lengthB$  efikasniji od osnovnog algoritma Karatsuba-Ofman, za dovoljno veliko  $n$  algoritam Toom-Cook postaje efikasniji od njega, tako da ovo poboljšanja samo donekle poboljšava algoritam Karatsuba-Ofman.

## 5. ZAKLJUČAK

Svi algoritmi u radu su implementirani na isti način, bez optimizacija u kodu svojstvenih za specijalan algoritam, da bi se dobila što realnija slika prilikom testiranja. Merenje je izvršavano na slučajno izabranim  $n$ -cifrenim brojevima, pri čemu su cifre bile u opsegu  $[0, 2^{n-1}]$ .

Na osnovu razmatranja može se zaključiti da standardan algoritam nije efikasan za svaku veličinu broja  $n$ , prilikom množenja dva  $n$ -cifrena broja. Svaki od gore analiziranih algoritama (standardan algoritam, algoritam Karatsuba-Ofman, algoritam Toom-Cook3 i algoritam Toom-Cook4) ima prednost nad drugim algoritmima u određenom opsegu. Shodno tome, prilikom množenja moguće je kombinovati standardni, Karatsuba-Ofman i Toom-Cook algoritam tako da se svaki od njih koristi u opsegu u kome je najefikasniji. I pored poboljšanja algoritama zasnovanog na prezentaciji brojeva koje treba pomnožiti, prethodni rezultati upućuju na to da nije verovatno da postoji univerzalan algoritam, koji bi za proizvoljno izabrano  $n$ , bio najefikasniji.

## LITERATURA

- [1] Cook, S. A. (1966) *On the Minimum computation time of Functions*, PhD thesis, Department of Mathematics, Harvard University
- [2] Knuth, D.E. (1981) *The Art of Computer Programming: Semi numerical Algorithms*, volume 2. Reading, MA: Addison-Wesley, Second edition
- [3] Koc, C. K. (1994) *High-Speed RSA Implementation*, TR 201, RSA Laboratories





## ONE APPROACH TO REDUCING THE TIME DURATION OF PRODUCTION CYCLE BY CHOOSING THE OPTIMAL FLOW OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS SEQUENCE

JASMINA VESIĆ VASOVIĆ<sup>1</sup>, ZORAN NEŠIĆ<sup>1</sup>, MIROSLAV RADOJIČIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia

**Abstract:** *This paper presents a computer support for the organizational improvement of execution order of unit operations in industrial production. Optimization of the flow of production cycles, which is illustrated in the consideration, is one of basic organizational activities in a production company. The emphasis of this paper is the improvement of the methodology for the analysis of the duration of production cycles. In the consideration are taken into account practical aspects of modern production. It is characterized by cycles of technological complexity of operations, the use of different ways of organizing the sequence of manufacturing operations, the presence of organizational delays. The displayed solution allows a universal applicability in production companies.*

**Keywords:** *Production Cycle, Production Series, Production Type, Computer Support.*

### 1. INTRODUCTION

One of the most important elements of production management is the proper management of financial, technological and time resources. Optimization of the production cycles influences the achievement of significant economic effects in order to reduce overall production costs. In addition to the financial impact, the optimization of production cycles is of particular importance in order to better utilization of production capacity and increase of productivity. Shortening the production cycle can be achieved by using new working technologies and investment in new equipment, including new financial investments. However, an essential element in reducing the time of production cycle is the design and implementation of efficient organization of work.

Modern production is increasingly characterized by complexity of cycles and technological operations. As a result, to the theoretical aspects of this problem is given a great attention by many authors:

- Analytical approach of capacity improvement (Abdul-Kader 2006)
- Production line optimizing techniques (Alashwal 2010)
- Reproduction and growing up of production lines (Angliss 1999)
- Various production-line techniques (Muther 2011)
- Analysis of production line efficiency (Shaaban and Hudson 2010)
- Optimization of production lines (Smith et al. 2000)

Underlining the importance of technological operation performance, Bartholdt and Becker (2012) state: "Creating a product line needs a well defined and narrow scope to meet short time to market demands. When established, there is a tendency to broaden the scope and to cover more domains and products". Complex theoretical aspects in optimizing the production cycle flow are the basis for the application of this method. In this sense, optimization techniques for execution of technological operations experienced expansion in different directions:

- The use of decision support system in optimization of production machining lines (Battai et al. 2012)
- Implementation of expert systems in improving the performance of production lines (Bouché and Zanni-Merk 2011)
- Improvement of processing period on serial production line (Chen, Xu and Liang 1999)
- Timed event control in production lines (Geist, Gromov and Raisch 2008)
- Implementation of simulation modeling in production lines (Hasgül and Büyüksünetçi 2005)
- Analysis of mixed-line production (Huang et al. 2013)
- Analysis of complex production lines with variation of processing times (Shaaban and Hudson 2009)
- Modeling of complex production lines (Yang et al. 2010)

Optimization of operation performance, which is presented in this paper, is based on the use of software solutions for the analysis of the production cycle. Application of the software solution aimed at the analysis of various parameters in the optimization of production series.

## 2. MAIN CHARACTERISTICS OF PRODUCTION CYCLES

The production cycle is the time period from the beginning to the completion of a particular product. Integral parts of the production cycle are:

- time of manufacturing operations, the time spent on the immediate execution of manufacturing operations
- waiting time, time in which the processed objects spend waiting between operations

In developing a series of products, operation time and standby time rotate in different durations. The time of production operation depending on a number of factors. It can be extracted impacts of the characteristics of the products, resources and actual operation mode, work organization, etc.

The basic organizational model of the execution order of manufacturing operations is a sequential type of case movement through a series of direct production, Figure 1. For this type of organization is characteristic that all products are transferred to the next operation when the previous technological operation performed over all products of a specific series. The application of this method has advantages in the production of small series, individual production and the different range of products. However, this organization of production cycles is not suitable for large series, particularly because of the extended duration of production cycle.

In the case of large series and mass production, the most suitable type of organization order of manufacturing operations execution, represents a parallel type, Figure 2. For this type of organization is a characteristic that individual items of work are individually transferred to the next operation after the completion of the previous operation. This eliminates waiting for the completion of certain operations on all the pieces of the series. It is undeniable that this type of organization sequence of operation flow allows the shortest cycle time. However, a parallel type of production imposes more stringent measures of operational planning, operation alignment, accounting and control.

Because of the unequal duration of operation and the real operating conditions, the practical circumstances inevitably impose organizational delays, Figure 3. For this reason, it is necessary to take into account the time at which the processing objects spend waiting between operations, in addition to the time that is spent on the next execution of manufacturing operations.

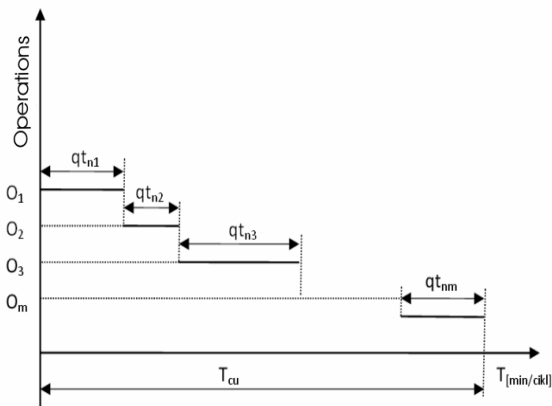


Figure 1: Successive type of production series

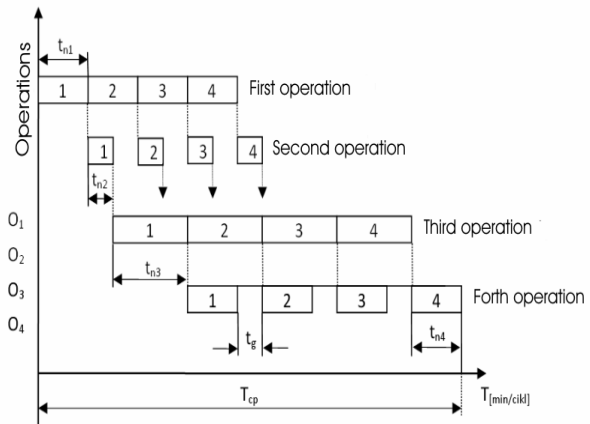


Figure 2: Parallel type of manufacturing operations

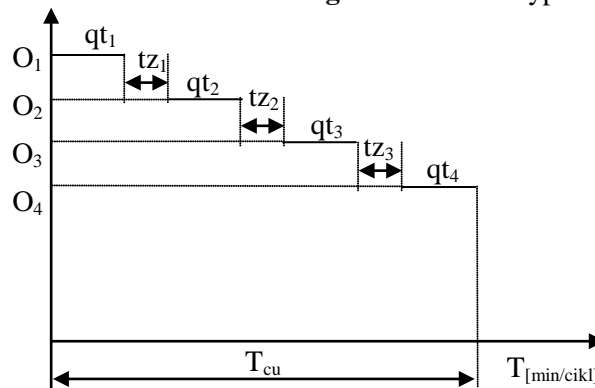


Figure 3: Successive type of production series with inter-operating delays

### 3. REVIEW OF COMPUTER ANALYSIS OF PRODUCTION CYCLES

Computer support applied in this paper primarily refers to the use of MS Excel tool as a front - end tools to access the data and its analysis. Figure 4 presents the elements of the analysis of the technological process of making the product, where the production takes place with 4 interoperational operations without delay. Figure 5 shows the analysis of the technological process with six operations with time delays of 10 minutes between operations. The following program listing shows all elements of the analysis and the method of their calculation:

	A	B
1	Time duration of individual operations:	
2		13
3		10
4		15
5		8
6		
7		
8	Batch size:	4
9	Time delays:	0
10	The sum of operation durations:	46
11	Total time of successive cycles:	184
12	Total time of paralel cycles:	91
13	Normative of work:	184
14	Coefficient of successive production cycles:	1
15	Coefficient of paralel production cycles:	0,494565
16	Number of operations:	4
17		

Figure 4: Form for displaying the results of calculations

	A	B
1	Time duration of individual operations:	
2		4
3		5
4		8
5		13
6		15
7		21
8		
9	Batch size:	6
10	Time delays:	10
11	The sum of operation durations:	30
12	Total time of successive cycles:	230
13	Total time of paralel cycles:	95
14	Normative of work:	180
15	Coefficient of successive production cycles:	1,277778
16	Coefficient of paralel production cycles:	0,527778
17	Number of operations:	6
18		

Figure 5: The results of calculations of production process with time delays

Batch size is a number of pieces in the series.

$$B9=COUNT(A2:A7)$$

Time delays is a time of interoperational delays. It represents the setpoint, given by production conditions.

The sum of operation durations is the amount of the time period for operation. Represents the sum of individual operations:

$$B11=SUM(A2:A7)$$

Total time of successive cycles is a total calculated time of successive cycle type. The calculation of this value is the product of the number of pieces in the series and the sum of operation durations reduced by the number of time periods and delays:

$$B12=B9*B11+(B9-1)*B10$$

Total time of paralel cycles - total calculated cycle time of a parallel type. Represents the sum of individual operations with the product of time of the longest operation and production run reduced by one:

$$B13=B11+(B9-1)*MAX(A2:A5)$$

Normative work is the product of the production batch size and number of hours of individual operations:

$$B14=B9*B11$$

Coefficient of production cycles represents the ratio of the duration of production cycle and labor standards:

$$B15 =B12/B14 - \text{successive production}$$

$$B16 =B13/B14 - \text{parallel production}$$

In previous analyzes have shown the possibilities of automation calculation for the determination of the duration of production cycle, and other parameters in the optimization of production cycles. The analysis below shows the possibility of identifying the type of production, depending on production volume, individual time of making and available useful capacities. For the determination of batch size is used theory and the relation 1 (Zelenović 1973):

$$K_s = \frac{\sum t_{ii}}{R} \quad (1)$$

where are:  $t_{ii}$  - time of making the  $i$ -th operation,  $R$  - rhythm of production, which is determined as follows:

$$R = K_k/Q_j \quad (2)$$

where are:  $K_s$  - available (useful) capacity,  $Q_j$  - physical volume of production.

	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Program No.	Physical volume of production	Production time	Available capacity	Rhythm of production	Batch size	timax/R	Production type
2	P1	50	5	4000	80	0,21875	0,0875	Low-rate production
3	P2	250	7	4000	16	1,09375	0,4375	Medium serial production
4	P3	480	1,5	4000	8,333333333	2,1	0,84	Medium serial production
5	P4	1220	4	4000	3,278688525	5,3375	2,135	High serial production

**Figure 6:** Analysis of the type of production

Figure 6 shows the automation of capabilities of calculation with purpose of determining the type of production. Production series is determined by dividing the sum of the processing time and the rhythm of production:

$$I2 = \text{SUM}(\$F\$2:\$F\$5)/H2$$

$$I3 = \text{SUM}(\$F\$2:\$F\$5)/H3$$

$$I4 = \text{SUM}(\$F\$2:\$F\$5)/H4$$

...

Rhythm of production is the ratio of available capacity and production volume:

$$H2 = G2/E2$$

$$H3 = G3/E3$$

$$H4 = G4/E4$$

...

Determination of the type production is defined as follows: If the  $K_s < 1$  or  $\sum t_{ii} < R$  is not satisfied the requirement of continuity of production and in terms of the small-scale production. If the  $K_s > 1$  or  $\sum t_{ii} > R$  it is a mass production:

$$K2 = \text{IF}(I2 < 1; "Low-rate production"; \text{IF}(J2 < 1; "Medium serial production"; "High serial production"))$$

$$K3 = \text{IF}(I3 < 1; "Low-rate production"; \text{IF}(J3 < 1; "Medium serial production"; "High serial production"))$$

$$K4 = \text{IF}(I4 < 1; "Low-rate production"; \text{IF}(J4 < 1; "Medium serial production"; "High serial production"))$$

...

From the previous calculation it can be seen that the mass production in more details is determined by defining the medium serial and a large series production. In order to define the mass production it is formed the column J which is the ratio of the maximum processing time and rhythm of production:

$$J2 = \text{MAX}(\$F\$2:\$F\$5)/H2$$

$$J3 = \text{MAX}(\$F\$2:\$F\$5)/H3$$

$$J4 = \text{MAX}(\$F\$2:\$F\$5)/H4$$

...

If the value is less than 1, it is the medium series production. Otherwise, the output can be regarded as large series. Example in Figure 6 illustrates the definition of all types of production: low-volume, medium and large series of serial production.

#### 4. CONCLUSION

This paper describes a software solution that enables analysis of the duration of different organizational types for order of execution of manufacturing operations. The emphasis of the paper relates to the analysis of sequential and parallel type of organization of production, from the beginning to the completion of a particular product. Practical conditions imposed unavoidable and necessary time of interoperational delay in processing where objects spend waiting between operations. Designed solution allows the achievement of

higher quality analysis of time optimization in organization of operating cycles, taking into account the operational delays which are unavoidable presence in practical circumstances. In addition to the analysis of the duration of the production cycle, the paper presents the possibility of determining the type of production in terms of low-volume, medium and large series of serial production.

The emphasis of the paper is a computer support for this analysis, with the detailed methodological way. This approach allows detailed insight into presented consideration and the basis for creation of own computer support by the end user. The presented methodology can be independently implemented in various manufacturing activities. A computerized support and methodology for analysis of technological order of operations can be very important in every type of manufacturing business, regardless of the form and type of production.

The displayed consideration has special significance in the organization of the flow and order of technological operations with the aim of shortening the duration of the production cycle. Computer support enables automation of calculation. This creates the basis for a simple and rapid formation of different optimization models and selection of the optimal alternatives organization of production operation flow.

## ACKNOWLEDGMENT

Research presented in this paper was supported by Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia, Grant TR 35017.

## REFERENCES

- [1] Abdul-Kader, W. (2006). Capacity improvement of an unreliable production line-an analytical approach, *Computers and Operations Research*, 33(6) 1695-1712.
- [2] Alashwal, A. M. (2010). *Optimizing Production Line of Ibs*, VDM Publishing
- [3] Angliss, S. (1999). *The Production Line: Reproduction and Growing Up*, Thameside Press, Mankato, Minn.
- [4] Bartholdt, J., & Becker D. (2012). Scope extension of an existing product line, *Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference (SPLC '12)*, New York, 275-282.
- [5] Battaï, A.O., Dolgui, A., Guschinsky, N., & Levin G. (2012). A decision support system for design of mass production machining lines composed of stations with rotary or mobile table, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(6), 672-680.
- [6] Bouché, Ph., & Zanni-Merk, C. (2011). Improving the performance of production lines with an expert system using a stochastic approach, *Simulation*, 87(5), 363-383.
- [7] Chen, W., Xu, J., & Liang, Q. (1999). Period of Processing on Serial Production Line, *OptimalScheduling and Application, Discrete Event Dynamic Systems*, 9(1), 9 – 21.
- [8] Geist, S., Gromov, D., & Raisch J. (2008). Timed Discrete Event Control of Parallel Production Lines with Continuous Outputs, *Discrete Event Dynamic Systems*, 18(2), 241 – 262.
- [9] Hasgül, S., Büyüksünetçi, A.S. (2005). Simulation modeling and analysis of a new mixed model production lines, *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation (WSC '05)*, 1408-1412.
- [10] Huang, H.H., Pei W., Wu H.H., & May M.D. (2013). A research on problems of mixed-line production and the re-scheduling, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 64-72.
- [11] Muther, R. (2011). *Production-Line Technique*, BiblioBazaar.
- [12] Shaaban, S., & Hudson, S. (2010). *Production Line Efficiency: A Comprehensive Guide for Managers*, Business Expert Press, New York.
- [13] Shaaban, S., & Hudson, S. (2009). The performance of unpaced serial production lines with unequal coefficients of variation of processing times, *International Journal of Computer Applications in Technology*, 34(2), 122-128.
- [14] Smith, J.M., Gershwin, G., Chrissoleon, S.B., & Papadopoulos, T. (2000). *Performance evaluation and optimization of production lines*, Baltzer Science Publishers.
- [15] Zelenović, D. (1973). *Production systems*, Naučna knjiga, Beograd.
- [16] Yang, T., Zhang, D., Chen, B., & Li Sh. (2010). The small-world network model of mixed production line, *Proceedings of the Third international conference on Intelligent robotics and applications - Volume Part II (ICIRA '10)*, 22-31.



## MODELIRANJE VIŠEDIMENZIONALNIH BAZA PODATAKA

### MODELING MULTIDIMENSIONAL DATABASES

ALEKSANDRA ZEČEVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, azecevic@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Sa pojavom baza podataka i njihovom primenom, uz pojavu uspešnih i korisnih novina u strukturi dobijanja informacija, javljaju se različite situacije koje se mogu uključiti u specifična istraživanja. S druge strane u specifičnim zahtevima javljaju se i zadaci koji prevazilaze postojeće strukture baze podataka pa eksperti dobijaju, pored stalnog inoviranja baza podataka i složenije zadatke. Jedan od tih zadataka odnosi se na dimenzije baze podataka. Ovom problemu je posvećen i rad, sa postavkama, uslovima, elementima i postupkom procesa modeliranja. Na kraju rada dat je i zaključak koji ukazuje na dobrobit postojanja dimenzija baza podataka u korišćenju brojnih zadataka.

**Ključne reči:** baza podataka, dimenzionalnost, entitet, atribut, relacije, tokovi, modeliranje.

**Abstract:** With the advent of databases and their application, along with the emergence of successful and useful innovations in structure to obtain information, there are various situations that may be included in specific studies. On the other hand the specific requirements there are also tasks that go beyond the existing database structure so that the experts receive, in addition to continuous innovation databases and complex tasks. One of these tasks is related to the dimensions of a database. This issue is dedicated to working with the settings, conditions, elements and process modeling process. At the end of the paper and a conclusion that indicates the existence of well-being dimensions of a database using different tasks.

**Keywords:** database, dimensionality, entity, attribute, relationship, flows, modeling.

#### 1. UVOD

Iz činjenice koja sledi iz osnovnog zadatka projektovanja baza podataka, kako se definiše u mnogim udžbenicima, monografijama, referatima i sl., jeste da se skladištenje podataka i korišćenje istih razvija na efikasan način, bez izgubljenog podatka, kao i da se stručno postavi proces unosa podataka na logičan način i da korišćenje odgovara definisanim zahtevima sistema kome je baza podataka podrška.

Podrazumeva se da je baza relaciona, jer realizuje zahtevane odnose. Zapravo, kada se vrši neka izmena u relacionom modelu, baza podataka obično zahteva čitav skup novih entiteta koji su potrebni da bi model nastavio da radi, a tada je potrebno naknadno i redefinisati relacije.

Tako se još od kraja šezdesetih godina i početkom sedamdesetih javljaju radovi i postavke budućeg relacionog modela koji se bazira na principima teorije skupova i svojstvima logike (tzv. predikatska logika), da bi se sa povećanim zahtevima za bazama podataka, često veoma komplikovanih, razvijali i delovi drugih disciplina koji će obezbediti korišćenje baza podataka – složenih i zahtevnih. Tako na primer koriste se, reklo bi se češće nego neki drugi modeli, a to su modeli teorije klasifikacije, modeli tokova, modeli grafova, modeli kombinatorne analize, određeni modeli statističke teorije i modeliranja, disperzije, sličnosti, distribucije, mere, višedimenzionalni rasporedi, teorije pretraživanja, kao i matematičko modeliranje za specifične zadatke koji slede iz posebnih (ili retkih) struktura.

Iz razloga da će se u radu spominjati i pojedini termini, koji su poznati u oblastima korišćenja baza podataka, spomenuće se samo najvažniji koji se moraju i objasniti i definisati:

- Entitet – predstavlja određeni objekat o kome sistem treba da skladišti podatke;
- Atribut - predstavlja karakteristiku (ili činjenicu) koja objašnjava sadržaj entiteta, njegova svojstva i dr. što je važno za istraživača, pri čemu treba voditi računa o nazivu atributa, da bude jednoznačan, pristupačan, postojan, uz definisanost svih vrednosti koje atribut može uzeti, što će biti i garancija jednoznačnosti u dobro definisanom entitetu;

- Veze između entiteta – pokazuju, pored saznanja da postoje odnosi i stepen veze. U istraživanjima poznate su različite veze kao što su: 1:1, 1:n, n:1 i n:n.
- Tokovi – nastaju kada se realizuju veze (odnosi) u procesu, čime zauzimaju značajno mesto u elementima modeliranja. Upravo je to i bio razlog da se i tokovi uključe kao značajan faktor u sistemu.

Mnogi drugi pojmovi koji su u stalnoj upotrebi u teoriji baza podataka, nalaze se u svim odgovarajućim udžbenicima, pa će se sa gore iznetim završiti nabrojanje, jer su ujedno i najvažniji termini u osnovnom delu projektovanja baze podataka. Ono što bi bilo značajno jeste činjenica da kada naraste broj atributa, a potrebno je brzo i efikasno promeniti vrednost nekom atributu, tada nastaje problem „javljanja greške“, jer i sam dizajn baza podataka ne može predvideti sve „iznenadne“ i „nemoguće“ slučajeve. Otuda, kada se javljaju tri i više entiteta sa brojnim atributima i značajnim brojnim relacijama, tada se po uzoru na „višedimenzionalne klasifikacije“, „višedimenzionalne rasporede“, „višedimenzionalne uzorke“, koje obezbeđuju brze i tačnije odgovore na određene zahteve, koji sadrže istovremeno više obeležja, klasa, rasporeda i dr. prilazi i rešavanjima problema dimenzija baza podataka. Ovaj problem dimenzioniranja baza podataka postaje od interesa tek u poslednje dve decenije. Iz navedenih razloga, modeliranje baza podataka će u daljem radu biti obrađivano.

## 2. ELEMENTI KOJI ODREĐUJU DIMENZIONALNOST BAZE PODATAKA

Neka je dat jedan realan ali složen sistem  $\Omega$  sa sastavom

$$\Omega: (E, A, V, T)$$

gde E predstavlja skup entiteta, A skup atributa, V skup mogućih veza između atributa unutar svakog entiteta, kao i između atributa jednog entiteta i atributa drugog entiteta i T skup tokova.

Treba napomenuti činjenicu da su dimenzionalne baze podataka namenjene korisniku, tačnije krajnjem korisniku, koji svoja dalja istraživanja i odluke donosi na osnovu podataka dobijenih iz strukture dimenzionalnih baza podataka, a koje je zahtevao. Svakako da se od n-dimenzionalne baze podataka može koristiti bilo koji deo strukture baze podataka sa manjom dimenzijom i to za neke slučajne provere, ili testiranja pojave čije funkcionisanje zavisi od zahtevane strukture baze podataka sa manjim brojem dimenzija. Nije bez osnove i napomena, da se s obzirom na zahteve i korišćenje dobijenih dimenzionalnih baza podataka ne preporučuje ažuriranje u periodu od trenutka distribucije baze podataka do trenutka korišćenja. Dakle, za sledeći deo koji će biti posvećen modeliranju višedimenzionalne baze podataka, potrebno je dobro/tačno definisati: {skup entiteta, skup atributa, skup veza, skup tokova}. Uz ovaj uslov, svakako da će biti olakšano i samo definisanje modela višedimenzionalnih baza podataka.

## 3. MODELIRANJE VIŠEDIMENZIONALNE BAZE PODATAKA

U postavci za elemente dimenzionalnosti baze podataka, već su izabrani simboli, pa će se u daljem isti koristiti.

Sistem  $\Omega$  koji se sastoji od elemenata: E – kao skup entiteta; A – kao skup atributa; V – kao skup odnosa (veza), T – kao skup tokova, jeste realan sistem sa realnim elementima, gde se ceo proces realizuje za potrebe i zahteve određenih problema u cilju dalje razrade realnih zadataka (projekata ili sl.).

Neka je skup E sastavljen od entiteta, tačnije:  $E: (E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n)$ , ili  $E: \{E_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ ; Skup A je sastavljen od atributa:  $A: (A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_m)$  ili  $A: \{A_j\}, j = 1, 2, \dots, m$ ; Skup V je sastavljen od veza:  $V: (V_1, V_2, \dots, V_k, \dots, V_p)$  ili  $V: \{V_k\}, k = 1, 2, \dots, p$ ; Skup T je sastavljen od tokova:  $T: (T_1, T_2, \dots, T_l, \dots, T_q)$  ili  $T: \{T_l\}, l = 1, 2, \dots, q$ . Generalno broj veza i tokova ne mora biti ograničen. Čest je slučaj da je broj veza i tokova mnogo manji od mogućeg – teorijskog broja.

Svaki entitet je sastavljen od atributa (koji su već navedeni i naravno značajni za zadatak), pri čemu nema ograničenja prema sastavu atributa u entitetima. Moguće je da svaki entitet sadrži sve atribute, što je gotovo nemoguć slučaj, već je svaki atribut jednog entiteta u vezi sa odgovarajućim atributom (ili više) drugog entiteta, pa na dalje odgovarajuće realizacije veza sa atributom iz sledećeg entiteta, itd. Na bazi iznetog, dimenzija baze podataka biće određena brojem entiteta.

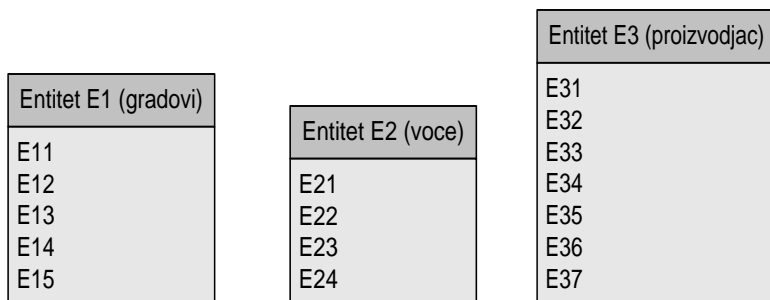
Na jednom primeru biće prezentovano već definisano.

Neka se 5 gradova snabdeva sa 4 vrste voća od 7 proizvođača. Pri tom su definisane cene po jedinici količine, za jedan period. Moguće je da svaki grad uzima sve vrste voća od svih proizvođača. Pitanje je da li



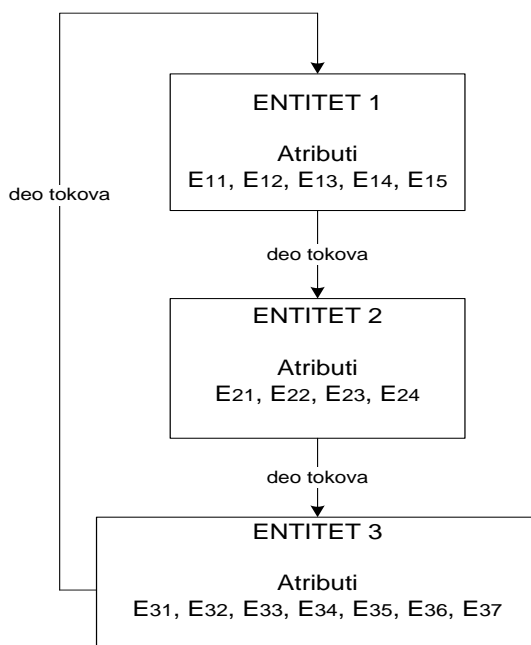
je to ekonomski opravdano. Svakako da su cene transporta, cene voća i kvalitet od značaja, što se utvrđuje pre realizacije. Moguće veze mogu se ostvarivati ili ne, po kraćim periodima. Svaka veza podržana je od odgovarajućeg toka.

Dakle, imamo tri entiteta:



gde  $E_{ij}$  označava  $j$ -ti atribut  $i$ -tog entiteta. U primeru je  $i=1,2,3$  i to za:  $i=1, j=1,2,3,4,5$ ; za  $i=2, j=1,2,3,4$ ; za  $i=3, j=1,2,3,4,5,6,7$ . Realizacije su jednostavne: grad(ovi) biraju voće, koje nabavljaju od nekog(ih) proizvođača. Svakako u pitanju je relacija n:n (više-prema-više). Treba uočiti i činjenicu da se iz  $E_1$  preko  $E_2$  dolazi do  $E_3$ , da bi postojala relacija  $E_3$  sa  $E_1$ .

Grafički prikaz veza sa odgovarajućim tokovima, mogao bi da se prikaže samo u slučajevima kada su definisane sve veze i odgovarajući tokovi sa specifičnim karakteristikama. Ovim bi grafički prikaz prethodnog primera izgledao na sledeći način:



**Grafik1:** Prikaz tokova

Svakako da u realizaciji primera u praksi, sledi još niz uslova, kao cena voća proizvođača, način transporta, vreme od nabavke do isporuke, ocena kvaliteta u prijemu po narudžbini i dr. Za slučaj da neki od ovih poslova postaje značajan, može se uvrstiti kao još jedan entitet, pa se tako povećava i dimenzija baze podataka.

Istraživači će svakako dobiti informacije koliko je po gradovima nabavljeno koje vrste voća i od kog proizvođača, koje će iskoristiti na način da analizom i ocenama dođu do korisnih zaključaka za buduće poslove.

Generalno, modeliranje višedimenzionalne baze podataka može se usvojiti na način:

- Iz potreba za realizaciju projekta o značajnim pitanjima, definišu se zahtevi za pojedine informacije koje su osnov za rad;



- Potrebno je da se izabere minimalan i maksimalan broj potrebnih informacija kako bi istraživači mogli da dođu optimalnog broja koji bi zadovoljio realizaciju projekta;
- Potrebno je odrediti entitete zadatka, čiji broj određuje i dimenziju baze podataka;
- Potrebno je odrediti atribute za svaki entitet;
- Potrebno je odrediti veze i tokove koji će biti korišćeni u modelu;
- Potrebno je odrediti vremenski period dobijanja potrebnih informacija na osnovama višedimenzionalne baze podataka, u kom se vremenu ne vrši ažuriranje podataka;
- Povremeni testovi entiteta obezbeđuju ocenu stabilnosti procesa dobijanja informacija;
- Prihvatanje dobijenih informacija na osnovu višedimenzionalne baze podataka, znači i završetak funkcije modela baze podataka.

#### **4. ZAKLJUČAK**

Sa razvojem tehnologije, ekonomije, sve većom ulogom menadžera i eksperata za pojedine oblasti u procesu odlučivanja, javljaju se zadaci sa novim zahtevima koji su sveobuhvatni, sa novim informacijama, često grupisani u skupove sa više veza različitih kategorija, a time se javlja kao jedan od najvažnijih procesa proširenje baze podataka, u više celina, sa više procedura, izbora i sl. Ovo je uticalo na projektante baze podataka, da zajedno sa istraživačima počnu da definišu dimenzije baze podataka. Dalja usavršavanja dovode do prepoznavanja, poboljšanja, tačnog definisanja i uloge dimenzija baze podataka.

U ovom radu, dat je pored uvodnog razmatranja i kratak opis korisnosti problema u okviru ove teme, da bi se posle izbora entiteta prešlo na modeliranje višedimenzionalnosti baze podataka.

Izborom skupa entiteta, njihovih atributa i mogućih veza i tokova, dat je opšti model, kao i hronologija modeliranja, koja će biti od koristi za nesmetano realizovanje projekata, koji zahtevaju uopšteno besprekornu osnovu u projektovanju baza podataka.

#### **LITERATURA**

- [1] Berson, A. & Dubov, L. (2010) Master data management and data governance, McGraw-Hill
- [2] Riordan, R. (2005). Designing Effective Database Systems, Addison-Wesley Microsoft Technology Series
- [3] Silberschatz A., Korth H. & Sudarshan S. (2011). Database System Concept, McGraw-Hill
- [4] Vuleta, J. (1985) Metode ekstremizacije na grafovima, Institut za ekonomiku industrije, Naučna knjiga, Beograd
- [5] Zečević, A. (2007). Dinamički aspekt ažuriranja i primene baze podataka na tokove informacija u mrežama (konačnom povezanom grafu), Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2007), Zbornik radova



## KONCEPT PRIMENE KOGNITIVNOG PROLASKA NA PRILAGODLJIVI WEB DIZAJN

## COGNITIVE WALKTHROUGH USAGE CONCEPT WITH RESPONSIVE WEB DESIGN

DRAGAN ZORANOVIĆ<sup>1</sup>, SNEŽANA MLADENOVIĆ<sup>2</sup>, ANA UZELAC<sup>2</sup>, SLAĐANA JANKOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, drazoran@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {snezanam, ana.uzelac, s.jankovic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je predložen postupak evaluacije upotrebljivosti prilagodljivog web sajta na osnovu izrađenog prototipa dizajna sa fiksnim rasporedom elemenata. Za metodu evaluacije predložen je kognitivni prolazak koji se primenjuje na specifičan način. Dato je obrazloženje izbora metode kognitivnog prolaska i pri tom su nabrojane i analizirane prednosti upotrebe kognitivnog prolaska kod konkretnog prototipa prilagodljivog dizajna. Opisani su problemi kod evaluacije prototipova prilagodljivih sajtova rađenih u drugim tehnikama izrade. Glavni kvaliteti predloženog koncepta evaluacije su da se ona može sprovesti na jednostavnom i ekonomičnom prototipu a da su rezultati dovoljno pouzdani.

**Ključne reči:** prilagodljivi web dizajn, fiksni raspored elemenata, prototip, kognitivni prolazak, web upotrebljivost.

**Abstract:** This paper proposes a method of usability evaluation for responsive web site based on the created design prototype with a fixed width layout. Proposed method for evaluating is the cognitive walkthrough applied in a specific way. The rationale of the choice of cognitive walkthrough is given, and at the same time the advantages of using cognitive walkthrough in particular responsive design prototype are enumerated and analyzed. Problems in the evaluation of the prototype of responsive websites, created in other production techniques, are also described. The main qualities of the proposed evaluation concept are that it can be realized on a simple and cost-effective prototype and the results are reliable enough.

**Keywords:** responsive web design, fixed width layout, prototype, cognitive walkthrough, web usability.

### 1. UVOD

Aktuelni trend upotrebe prilagodljivih web sajtova pored pronalaženja adekvatnih tehnika za njihovu izradu, zahteva i pronalaženje odgovarajućih metoda za evaluaciju njihovih prototipova u inicijalnoj fazi izrade. Sama izrada bilo koje vrste prilagodljivog sajta zahteva značajno novčano ulaganje, a da bi sajt nakon puštanja u rad adekvatno funkcionisao u fazama dizajna i implementacije potrebno je potrošiti dosta vremena.

U radu je prikazan predlog postupka evaluacije upotrebljivosti prototipa prilagodljivog web sajta sa fiksnim rasporedom elemenata upotrebom kognitivnog prolaska (engl. *Cognitive Walkthrough*). Nabrojane su i analizirane prednosti upotrebe kognitivnog prolaska kod konkretnog prilagodljivog pristupa i komentarisana je mogućnost evaluacije prototipova prilagodljivih sajtova rađenih u drugim tehnikama izrade. Glavne prednosti predloženog koncepta evaluacije su da se ona može sprovesti na jednostavnom i ekonomičnom prototipu, da su rezultati dovoljno pouzdani, a sama evaluacija sistematična i predvidljiva.

Naredne sekcije rada organizovane su na sledeći način: u drugoj je detaljnije opisan pojam prilagodljivog web dizajna, vrste prototipova i njihove osnovne karakteristike, kao i pregled metoda za pregledanje upotrebljivosti; u trećoj sekciji dat je koncept za ispitivanje upotrebljivosti prilagodljivog web sajta sa fiksnim rasporedom elemenata upotrebom kognitivnog prolaska, a u četvrtoj sekciji je iznet zaključak.

### 2. PRILAGODLJIVI WEB DIZAJN I METODE ZA PREGLEDANJE UPOTREBLJIVOSTI

U ovoj sekciji su opisani pojmovi prilagodljivog web dizajna i pristupi u izradi prilagodljivih web sajtova, vrste prototipova, kao i metode koje se koriste za evaluaciju upotrebljivosti interfejsa. Posebno su istaknuti problemi kod primene metoda evaluacije upotrebljivosti za slučaj prilagodljivih web sajtova.

## 2.1. Prilagodljivi web dizajn

Masovni prelazak na upotrebu smart telefona, tableta i drugih pametnih uređaja sa mogućnošću prikazivanja internet sadržaja, doveo je do potrebe za optimizacijom i prilagođavanjem web stranica različitim faktorima forme: veličinama i oblicima ekrana, web standardima, itd. Ispravan prikaz web sajta na tabletu zahteva promenu dizajna sajta i specifično prilagođavanje za konkretnu veličinu ekrana, odnosno prozora čitača. U protivnom sajt nije čitljiv ili prikazani tekst i grafički elementi na stranici gube prvobitnu dizajnersku namenu i ne prenose odgovarajuću informaciju/poruku korisniku.

Takođe, važno je osigurati da sajt koristi web tehnologije koje su podržane na krajnjem uređaju jer u protivnom sajt neće biti funkcionalan (npr. upotreba Adobe Flash sadržaja može stvoriti ozbiljne funkcionalne probleme na većini mobilnih uređaja, a pogotovu na iPad tablet računaru, koji zvanično i ne podržava pomenutu tehnologiju). Ovaj problem je doveo do stvaranja nove grane web dizajna pod nazivom prilagodljivi (engl. *responsive*) web dizajn. Ovakav dizajn pored automatskog prilagođavanja stranice različitim faktorima forme obezbeđuje i da se sajt adekvatno prikazuje i na standardnom desktop web čitaču pri različitim veličinama prozora (Slika 1). Kod standardnih web sajtova to nije slučaj i promena veličine prozora gotovo uvek ima negativan uticaj na upotrebljivost sajta (pojava horizontalne trake za skrolovanje, bitan sadržaj nije vidljiv, predugačke ili prekratke linije teksta, itd.).



**Slika 1:** Prilagodljivi web dizajn obezbeđuje adekvatno prikazivanje istog sajta na različitim uređajima i pri različitim veličinama prozora web čitača

Prilagodljivost u dizajnu postiže se upotrebom elemenata koji mogu automatski menjati svoje dimenzije ili izgled prema dostupnom prostoru. Postoji nekoliko poznatih pristupa u prilagodljivom dizajnu (Mladenović *et al.* 2013): **fiksni raspored elemenata**, **fluidni pristup**, **elastični pristup** i **hibridni pristup**. Razlika između ovih pristupa se ogleda u različitom načinu prikazivanja i definisanja dužine linija teksta, korišćenjem različitih jedinica kao što su procenat, em ili nešto drugo. Kod pojedinih pristupa mogu se javiti nepoželjne horizontalne trake za skrolovanje (fiksni, elastični i hibridni pristup), dok se kod fluidnog pristupa mogu javiti prevelike dužine linija teksta usled povećanja širine prozora čitača. U zavisnosti od pristupa koji je izabran za prikaz grafičkih i tekstualnih elemenata, koristiće se odgovarajuće tehnike.

U literaturi su prikazane različite metode i tehnike za dobijanje prilagodljivog sajta, koje uglavnom služe za manipulaciju grafičkim i tekstualnim elementima. Neke od njih su: **fleksibilni grid sistemi** (Shillcock 2013), **klizeće kompozitne slike** (Gillenwater 2009), **medijski upiti** (Kadlec 2012), **skalabilna vektorska grafika** (Kadlec 2012), **prilagodljivi dizajn sa fiksnim rasporedom elemenata** (Zoranović *et al.* 2013), itd. Najinteresantnija tehnika za primenu je prilagodljivi pristup sa fiksnim rasporedom elemenata (Zoranović *et al.* 2013) koja upotrebljava elemente i fontove fiksne veličine, raspoređene u definisane panele i zaglavlja. To znači da je dovoljno dizajnirati prikaz celog prilagodljivog sajta na jednoj stranici, a potom uključiti pripremljenu skriptu naredbi u JavaScript jeziku, koja realizuje prikazivanje ili sakrivanje pojedinih panela u zavisnosti od veličine prozora čitača, na osnovu definisanih tzv. "prelomnih tačaka". Pošto nakon određene prelomne tačke sajt nije upotrebljiv na veoma malim ekranima, posebno se dizajnira i mobilna verzija sajta koja u osnovi koristi fluidni pristup. Ova kombinovana tehnika je interesantna jer kao jezgro koristi fiksni raspored elemenata, fiksnu veličinu fontova u panelima i JavaScript kod, pri čemu je sve u potpunosti

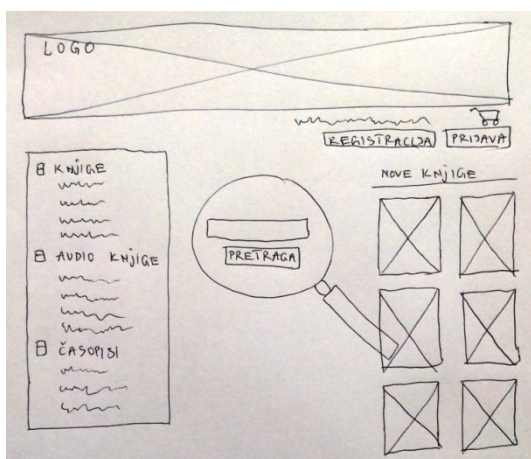
kompatibilno na svim starijim i novijim platformama i web čitačima (u praksi se često javlja problem prilikom prikazivanja standardnih web sajtova na e-book čitačima i starijim tablet uređajima).

## 2.2. Vrste prototipova web sajtova

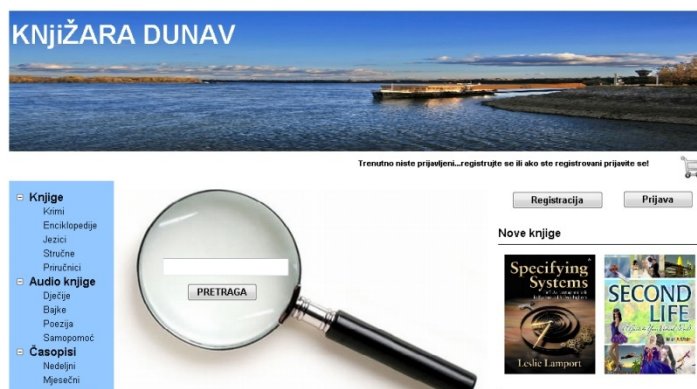
Prototip predstavlja radni model koji se razvija sa ciljem testiranja projektna ili dizajnerske ideje. Kada je u pitanju dizajn web interfejsa, prototipovi se mogu koristiti u cilju ispitivanja sadržaja, estetike i tehnika interakcije, i to sa stanovišta dizajnera, klijenata ili korisnika (Walker *et al.* 2002). Stručnjaci za upotrebljivost (engl. *usability experts*) često testiraju prototipove sa budućim korisnicima sistema, dajući im da obavljaju određene zadatke a pri tom posmatraju i prate njihove akcije. Prikupljanjem podataka koji nastaju kao posledica ovakvog testiranja, dizajneri i stručnjaci za upotrebljivost mogu uočiti probleme upotrebljivosti u ranoj fazi dizajna, dok sam dizajn još nije implementiran. Tako se mogu uštedeti novčani i vremenski resursi jer će biti na vreme izbegnuta implementacija dizajna koji se pokazao kao neuspešan.

Softverski i web dizajneri često u toku procesa razvoja prave prototipove koristeći različite tehnike, pri čemu upotreba odgovarajuće tehnike zavisi od namene prototipa. Prototipovi koji su bliski finalnom proizvodu nazivaju se prototipovima visoke preciznosti (engl. *high-fidelity*, HF) dok oni koji su najmanje bliski nazivaju se prototipovima niske preciznosti (engl. *low-fidelity*, LF) (Walker *et al.* 2002). Dizajnerski LF prototipovi se neretko proizvode ručnim skiciranjem elemenata na papiru (Slika 2a). Ovakav prototip se teško može upotrebiti za testiranje sa krajnjim korisnicima, pa je njegova uloga ograničena na primenu u dizajnerskom timu za sagledavanje mogućih problema upotrebljivosti, kao i provere osnovne informacione arhitekture interfejsa. Na papirnom prototipu je moguće ručno simulirati akcije korisnika i tako obaviti testiranje, mada se to retko čini. Testiranje sa stvarnim korisnicima najbolje je obaviti na HF prototipu (Slika 2b), koji je najbliži konačnom proizvodu. Papirni prototip se brzo i veoma jeftino izrađuje, ali mu je primena veoma ograničena, dok je elektronski HF prototip skuplji i komplikovaniji za izradu, ali ima mnogo veći potencijal za testiranje i otkrivanje grešaka u stvarnoj interakciji sa korisnikom.

Jedna od osobina prototipa jeste interaktivnost. Prototip može biti napravljen tako da ne podržava interakciju sa korisnikom, tačnije da bude statična slika. Ova vrsta prototipa se naziva **statički prototip**. Moguće ga je izraditi i u LF i HF tehnici. Prototip koji podržava bilo kakav vid interaktivnosti sa korisnikom naziva se **dinamičkim prototipom**. Može biti izrađen isključivo u HF tehnici, mada se u retkim slučajevima može izraditi kao prototip na papiru (sa ručnim simuliranjem interakcije od strane stručnjaka za upotrebljivost).



a) prototip niske preciznosti



b) prototip visoke preciznosti

**Slika 2:** Primeri prototipova dizajna web stranice

Postoji veliki broj dostupnih softverskih alata za izradu prototipova web stranica (Axure, Balsamiq, Sketchify, Adobe Fireworks, itd.). Međutim, trenutno nijedan alat ne podržava adekvatno izradu prototipova prilagodljivih sajtova. Da bi se ispitala upotrebljivost prilagodljivog sajta mora se izraditi prototip za svaki konkretan slučaj upotrebe: laptop računar, prozor čitača nešto manji od širine laptop ekrana, tablet velike dijagonale, tablet manje dijagonale, tablet u uspravnoj orijentaciji, tablet u položenoj orijentaciji, pametni mobilni telefon, manji mobilni telefon, itd. To dosta komplikuje proces testiranja i povećava troškove ispitivanja upotrebljivosti.



Najbolja tehnika za izradu prototipa jeste ona koja može pomoći da se pronade najveći broj grešaka i problema koji se tiču upotrebljivosti tokom testiranja od strane korisnika, koja pri tom nije skupa za primenu a dovoljno je fleksibilna za dizajnera (Walker *et al.* 2002).

### 2.3. Metode za pregledanje upotrebljivosti

Pod upotrebljivošću računarskog interfejsa podrazumeva se atribut kvaliteta pomoću koga se procenjuje koliko je jednostavno koristiti interfejs, a isto tako i različite metode kojima se može unaprediti interfejs u toku samog projektovanja (Nielsen 2003). Metode za evaluaciju upotrebljivosti mogu biti formalnog i neformalnog tipa. Metode formalnog tipa koriste testiranje od strane korisnika, dok metode neformalnog testiranja koriste principe pregledanja interfejsa od strane *usability* eksperata ili priučenih *usability* evaluatora (npr. programera koji su prošli osnovnu obuku za evaluaciju upotrebljivosti). Neformalne metode se nazivaju **metodama za pregledanje upotrebljivosti**. Neformalna evaluacija se može sprovesti kao (Radosav and Marušić 2007): **heurističko ocenjivanje**, **kognitivno testiranje** i **analiza aktivnosti**. Kod heurističkog ocenjivanja jedan ili više evaluatora ocenjuje usklađenost interfejsa prema poznatim i definisanim karakteristikama tzv. heuristikama. Heuristike definišu organizacije i *usability* stručnjaci. Kognitivno testiranje je zasnovano na kognitivnim modelima ponašanja korisnika, dok analiza aktivnosti procenjuje vreme koje je potrebno za realizaciju određenih aktivnosti na interfejsu.

Metode za pregledanje upotrebljivosti su metode za evaluaciju upotrebljivosti interfejsa koje ne zahtevaju testiranje od strane stvarnih korisnika, a samim tim ne zahtevaju upotrebu nikakve laboratorijske opreme (specijalnih računara, kamera, namenskog softvera, itd.) To znači da su ove metode dosta jednostavnije i jeftinije za primenu od metoda korisničkog testiranja (Plantak–Vukovac and Orehovalčki 2010). Najčešće se koriste za brzo pronalaženje problema upotrebljivosti, pri čemu je interakcija u drugom planu.

Jedna od poznatih i često korišćenih metoda pregledanja interfejsa jeste kognitivni prolazak (engl. *Cognitive Walkthrough*) (Nielsen 1994). Kognitivni prolazak koristi povezivanje kognitivnog modela i prolaska kroz interfejs. Evaluator koristi interfejs da izvede zadatke koje će tipičan korisnik imati potrebu da realizuje. Akcije i odgovori interfejsa se evaluiraju u odnosu na ciljeve korisnika i njegovo znanje, i pri tom se prave odgovori na pitanja koja predstavljaju deo kognitivnog modela. Odgovori na ova pitanja pokazuju razliku između očekivanja korisnika i koraka koji se stvarno moraju realizovati u cilju sprovođenja neke akcije. Kognitivni prolazak se fokusira na osnovne principe upotrebljivosti, ali takođe i na kognitivne aspekte korisnika, pogotovu kada su u pitanju njihovi ciljevi i znanje u pogledu obavljanja konkretnog zadatka.

Da bi sproveo kognitivni prolazak, evaluator mora pripremiti scenario – niz akcija koje će korisnik izvesti da bi realizovao neki zadatak. Potom se vrši prolazak kroz interfejs i za svaku akciju odgovara na četiri karakteristična pitanja (Nielsen 1994). Spisak pitanja i njihovih pojašnjenja dat je u Tabeli 1.

**Tabela 1:** Karakteristična pitanja za kognitivni prolazak (Nielsen 1994)

R.B.	Pitanje	Pojašnjenje pitanja
1	Da li će korisnik pokušati da postigne pravi efekat?	O čemu korisnik razmišlja na početku akcije.
2	Da li će korisnik primetiti da je odgovarajuća komanda dostupna?	Da li je korisnik u mogućnosti da locira odgovarajuću komandu.
3	Da li će korisnik povezati ispravnu akciju sa efektom koji želi da postigne?	Da li je korisnik u mogućnosti da identifikuje komandu.
4	Ako je ispravna akcija izvršena, da li će korisnik videti da je postignut napredak prema rešavanju zadatka?	Da li je korisnik u mogućnosti da interpretira povratnu informaciju.

Nakon dobijenih odgovora mogu se izvršiti korekcije na interfejsu u cilju postizanja bolje upotrebljivosti.

### 4. ISPITIVANJE UPOTREBLJIVOSTI SAJTA KOGNITIVNIM PROLASKOM

Kada se koristi kognitivni prolazak (KP) za ispitivanje upotrebljivosti, neophodno je prethodno napraviti odgovarajući prototip ili evaluaciju obaviti na gotovom, odnosno izrađenom sajtu. Cilj je da se evaluacija sprovede pre same izrade sajta, mada je nekad zbog redizajniranja postojećeg sajta moguć i drugi model evaluacije. KP se može koristiti i sa LF i sa HF prototipovima, s tom razlikom što će ciljevi i rezultati ispitivanja biti drugačiji. Da li će se koristiti LF ili HF prvenstveno zavisi od vremena i budžeta kojim se raspolaže. Kod evaluacije klasičnog web sajta potrebno je pripremiti statički ili dinamički prototip svake

stranice koja se ispituje, i eventualno promene na stranici u zavisnosti od predviđenih akcija korisnika. Tada se za osmišljeni scenario (niz akcija) prolazi kroz interfejs i odgovara na četiri karakteristična pitanja.

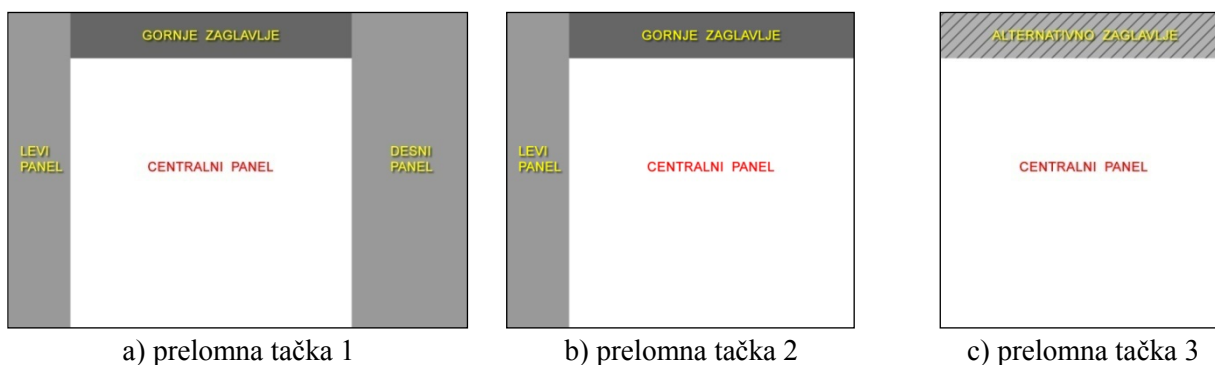
Međutim, kod prilagodljivih sajtova situacija je dosta drugačija, zato što jedna stranica sajta može imati više verzija i drugačije izgledati i ponašati se na različitim čitačima i uređajima zbog različite veličine ekrana. Složenost i troškovi evaluacije upotrebljivosti kod prilagodljivih sajtova zavise od konkretnih tehnika koje su korišćene u izradi kao i nivou fleksibilnosti koja se očekuje od sajta. Ako se za izradu koristi tehnika prilagodljivog web dizajna sa fiksnim rasporedom elemenata, ispitivanje upotrebljivosti se može značajno uprostiti. U nastavku sledi predlog rešenja za evaluaciju ovakvih sajtova pomoću metode KP.

Dizajniranje sajta u spomenutoj tehnici zahteva od dizajnera da definiše sadržaj u svakom od predviđenih panela, pri čemu je unapred poznato u kojim situacijama je koji panel vidljiv u čitaču. U situaciji kada je širina prozora čitača dovoljno mala (npr. <770 px), aktivira se mobilna verzija sajta izrađena u fluidnom pristupu. U Tabeli 2 dat je jedan primer sa spiskom prelomnih tačaka i njihovih karakteristika u pogledu vidljivosti panela.

**Tabela 2:** Prelomne tačke i vidljivost pojedinih panela

R.B. prelomne tačke	Širina prikaza čitača (px)	Vidljivost					
		Levi panel	Desni panel	Centralni panel	Gornje zaglavlje	Alternativno zaglavlje	Mobilni sajt
1	>=1240 px	DA	DA	DA	DA	-	-
2	>=920 px	DA	-	DA	DA	-	-
3	>=770 px	-	-	DA	-	DA	-
4	<770 px	-	-	-	-	-	DA

Za svaku od prelomnih tačaka potrebno je napraviti statički prototip (LF ili HP u zavisnosti od vremena i budžeta). Međutim, pošto se stranica sastoji od fiksnih panela, prototip je veoma jednostavno izraditi u svim slučajevima. To znači da se evaluiraju ukupno četiri različita prototipa. Potom se za svaki prototip, na osnovu definisanog scenarija, prolazi kroz interfejs i odgovara na četiri karakteristična pitanja za svaku korisnikovu akciju. Dovoljno je izraditi po dva različita prototipa za svaku web stranicu: jedan osnovni i jedan za mobilni sajt. Osnovni prototip se potom može razgraditi na tri zasebna prototipa tako što se brišu pojedini paneli ili se gornje zaglavlje zamenjuje alternativnim zaglavljem (Slika 3a, Slika 3b i Slika 3c).



**Slika 3:** Prelomne tačke i prikaz panela u prototipu

Glavna prednost primene ovakvog koncepta evaluacije kod prilagodljivog sajta sa fiksnim rasporedom elemenata ogleda se u sistematičnosti pristupa i veoma brzom i jeftinom izradi prototipa (bez obzira da li se koristi LF ili HF tehnika za izradu), pri čemu se nakon evaluacije mogu dobiti pouzdane izlazne informacije o upotrebljivosti web sajta na različitim platformama i uređajima. Naravno, podrazumeva se da se i u toku izrade dizajna prototipa sajta dizajner pridržava osnovnih smernica, tzv. heuristika, tako da nije potrebno ponovo ispitivati njihovo slaganje sa preporučenim vrednostima. Takođe, još jedna od prednosti upotrebe KP kod prilagodljivog sajta jeste ta što ova metoda, za razliku od drugih, ne zahteva izradu visoko interaktivnog HF prototipa.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je predložen postupak za pregledanje upotrebljivosti prototipa interfejsa prilagodljivih sajtova koji su rađeni primenom tehnike prilagodljivog pristupa sa fiksnim rasporedom elemenata. U postupku se koristi metoda pregledanja upotrebljivosti poznata u literaturi pod nazivom kognitivni prolazak, koju bi trebalo primeniti na onoliko pripremljenih prototipova koliko postoji prelomnih tačaka. Cilj je da se na što jednostavniji i ekonomičniji način dođe do ocene upotrebljivosti interfejsa prilagodljivog dizajna kod konkretne tehnike izrade, a to se upravo postiže predloženim postupkom.

Nerešen problem i dalje predstavljaju ostale tehnike ili kombinacije tehnika koje se koriste za izradu prilagodljivih sajtova. To je tako zbog toga što kod njih nije moguće sistematično i pouzdano primeniti opisani pristup evaluacije preko KP tako da se pokriju svi karakteristični slučajevi prikaza na različitim uređajima. Razlog za to je što može postojati preveliki broj prelomnih tačaka ili su teško uočljive razlike između njih, a pri tom svaka prelomna tačka može prouzrokovati neki od problema upotrebljivosti.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta pod brojem 032025.

## LITERATURA

- [1] Gillenwater, Z. M. (2009). *Flexible web design: creating liquid and elastic layouts with CSS*. New Riders, Berkeley
- [2] Kadlec, T. (2012). *Implementing Responsive Design: Building sites for an anywhere, everywhere web*. New Riders, Berkeley
- [3] Mladenović, S., Zoranović, D., Janković, S. & Uzelac, A. (2013). Web dizajn: savremeni pristupi i tehnike izrade. *XXXI Simpozijum o novim tehnologija u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju (PosTel 2013)*. Beograd.
- [4] Nielsen, J. (1994, April). Usability inspection methods. In *Conference companion on Human factors in computing systems* (pp. 413-414). ACM.
- [5] Nielsen, J. (2003, August 25). *Usability 101: Introduction to Usability. Jakob Nielsen's Alertbox*. URL: <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>
- [6] Plantak-Vukovac, D., & Orehovački, T. (2010). Metode vrednovanja web upotrebljivosti. *CASE 22- Metode i alati za razvoj poslovnih i informatičkih sustava* (str. 171-182). CASE d.o.o. Rijeka.
- [7] Radosav, D., & Marušić, T. (2007). Upotrebljivost i evaluacija dizajna korisničkog interfejsa. *Zbornik radova Infotech-Jahorina*, Vol. 6, str. 503-507, Jahorina.
- [8] Shillcock, R. (2013, August 22). *All About Grid Systems. Webdesign tuts+*. URL: <http://webdesign.tutsplus.com/articles/design-theory/all-about-grid-systems/>
- [9] Walker, M., Takayama, L., & Landay, J. A. (2002, September). High-fidelity or low-fidelity, paper or computer? Choosing attributes when testing web prototypes. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 46, No. 5, pp. 661-665. SAGE Publications.
- [10] Zoranović, D., Mladenović, S., Janković, S., & Uzelac, A. (2013, septembar). Prilagodljivi web dizajn sa primenom fiksnog rasporeda elemenata. *Zbornik radova XL SYM-OP-IS-a*, str. 320-325, Zlatibor.

# **I STRAŽIVANJE I RAZVOJ**



## ICT AND EDUCATION EFFICIENCY ACROSS EU REGIONS: A DEA APPROACH

ALEKSANDER ARISTOVNIK

Faculty of Administration, University of Ljubljana, Ljubljana, aleksander.aristovnik@fu.uni-lj.si

**Abstract:** *The purpose of the paper is to discuss and review some previous research studies on development of the information society and its impact on educational outputs/outcomes. In addition, a definition, measurements and the empirical application of the efficiency and effectiveness of the information society at the regional (NUTS 2) level in the EU is considered (based on 2007–2011 average data). The research findings suggest that a wide range of NUTS 2 regions is characterized by a relatively low efficiency rate of transforming information society progress into educational outputs/outcomes, particularly in Eastern and Southern Europe.*

**Keywords:** *ICT, education, efficiency, DEA, EU, NUTS-2 regions.*

### 1. INTRODUCTION

Widespread use of the information and communication technology (ICT) and also the Internet and the World Wide Web (WWW) have led to the development of what is often referred to as the information society. One puzzling question concerns the effective impact of information society development on educational outputs and outcomes. As ICTs are being increasingly used in education, indicators to monitor their impact and demonstrate accountability to funding sources and the public are ever more needed. Indicators are required to show the relationships between technology use and educational performance. There is also a need to show that education should be seen as using technology not only as an end in itself, but as a means to promote creativity, empowerment and equality and produce efficient learners and problem solvers. Many academic researchers have tried to answer this question at theoretical and empirical levels. They have faced two main difficulties. On one hand, student performance is hard to observe and there is still confusion about its definition. On the other, ICT entails evolving technologies and their effects are difficult to isolate from their environment. Consequently, the relationship between the development of the information society and educational performance is unclear, and contradictory results are presented in the literature (Youssef & Dahmani, 2008). Recently, there have been several initiatives to assess and monitor the efficiency of ICT sector indicators and their impact on education. Some studies conclude that the information society's development has a positive impact on education outcomes (Balanskat et al. 2006; Yusuf and Afolabi 2010; Shaikh 2009; Jayson 2008; Shaheeda et al. 2007, Iqbal and Ahmed 2010; Hameed 2006; Amjad 2006; Khan and Shah 2004; Aristovnik 2012). Conversely, others point out that the impact is unclear (Trucano 2005; Cox and Marshall 2007; Machin et al. 2006; Leuven et al. 2004). Nevertheless, the existing literature reveals a gap in the empirical knowledge of the information society and its impact and efficiency on educational outputs/outcomes at the EU regional level. Therefore, this paper seeks to fill this gap.

The paper is structured as follows: first, a brief review of the methodology and data is presented and the specifications of the models are defined. The next section outlines the results of a non-parametric efficiency analysis in order to assess the impact of information society development on educational performance. The final section provides some concluding remarks.

### 2. METHODOLOGY AND DATA

We adopted the mathematical development of Data Envelopment Analysis (DEA) by Charnes et al. (1978) who built on the work of Farrell (1957) and others. DEA is a linear programming-based methodology that has proven to be a successful tool for measuring efficiency. It computes the comparative ratio of outputs to inputs for each unit, with the score expressed as 0–100%. It is used to identify best practices and is increasingly becoming a popular and practical management tool. DEA was initially used to investigate the relative efficiency of non-profit organizations but now its use has spread to hospitals, schools, banks and network industries, among others (Avkiran 2001). DEA empirically identifies the best producers by forming

the efficient frontier (composed by efficient producers) based on observed indicators from all producers. We refer to the producers as decision-making units (DMUs). A DMU with a score of less than 100% is inefficient compared to other units. Consequently, DEA bases the resulting efficiency scores and potential efficiency improvements entirely on the actual performance of other DMUs, free of any questionable assumptions regarding the mathematical form of the underlying production function. We use the DEA methodology to evaluate the relative efficiency of each region as it converts, for instance, Internet use into tertiary educational attainment. In our analysis we focus on the NUTS classification (Nomenclature of territorial units for statistics), which is a hierarchical system for dividing up the economic territory of the EU for the statistical, regional and other purposes. Indeed, we identify the regions (NUTS 2) as the DMUs. The Level 2 of the nomenclature (NUTS 2) has 271 regions in the considered period. Let  $n$  ( $=271$ ) be the number of (EU NUTS 2) regions in the data set. Let  $X_{ij}$  be the amount of input  $i$  consumed by Region  $j$ , for  $i = 1$  and  $j = 1, 2, \dots, 271$ . Let  $Y_j$  be the number of patent applications by Region  $j$ , for  $j = 1, 2, \dots, 271$ . We are now ready to present the output-oriented DEA model for Region  $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, 271$ . We must solve one such linear programming model for each region. Mathematically, the technical efficiency of each DMU is computed as:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \phi_k & (1) \\ & \text{subject to} \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^{271} \lambda_j X_{ij} \leq X_{ik} \quad \text{for } i=1,2,3 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{271} \lambda_j Y_j \geq \phi_k Y_k \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{271} \lambda_j = 1 \quad (4)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \text{for } j=1,2,\dots,271 \quad (5)$$

$$\phi_k \geq 0 \quad (6)$$

We observe that setting  $\lambda_k=1$ ,  $\lambda_j=0$  for  $j \neq k$  and  $\phi_k=1$  is a feasible but not necessarily optimal solution to the linear program for Region  $k$ . This implies that  $\phi_k^*$ , the optimal value of  $\phi_k$ , must be greater than or equal to 1. The optimal value,  $\phi_k^*$ , is the *overall inverse efficiency* of DMU  $k$ , which represents one plus the proportion by which Region  $k$  can increase its patent applications. For instance, if  $\phi_k^*=1.10$ , then Region  $k$  can increase its output by 10% without increasing any of its inputs. We refer to  $E_k^*=1/\phi_k^*$  as the *overall efficiency* of region  $k$ . Thus, if  $\phi_k^*=1.10$  then  $E_k^*=0.91$  and we can say that Region  $k$  is 91% efficient overall. The left-hand side of Equations (2) and (3) are weighted averages because of Equations (4) and (5), of the inputs and output, respectively, of the 271 regions. At optimality, that is with the  $\lambda_j$  replaced by  $\lambda_j^*$ , we call the left-hand side of Equations (2) and (3) the *target inputs* and *target outputs* respectively, for Region  $k$ .

In the majority of studies using DEA the data are analysed cross-sectionally, with each decision-making unit (DMU) – in our case a region – being observed only once. Nevertheless, data on DMUs are often available over multiple time periods. In such cases, it is possible to perform DEA over time where each DMU in each time period is treated as if it were a distinct DMU. However, in our case the data set for all the tests in the study includes average (available) data for the 2006–2009 period (for inputs) and for the 2010–2011 period (for outputs) in order to evaluate long-term efficiency measures as the effects of information society are characterized by time lags in selected EU (NUTS 2) regions. The inputs utilized are households that have Internet access at home (% of households with at least one member aged 16 to 74) (*HIA*) and the percentage of households with broadband access in relation to households with Internet access (% of households with at least one member aged 16 to 74 and Internet access) (*HBA*). As the total efficiency score also comprises contributions from the non-discretionary (i.e. uncontrolled) variables, we included selected non-discretionary variables. In our case, regional gross domestic product (PPS per inhabitant in % of the EU-27 average) (*GDP*) and population density (inhabitants per km<sup>2</sup>) (*POPDEN*) were included in the model. In

the analysis, the output/outcome can be in the form of pupils and students in upper secondary and post-secondary non-tertiary education (ISCED 3-4) (% of the population aged 15–24 years) (*SECED*), students in tertiary education (ISCED 5-6) (% of the population aged 20–24 years) (*TERED*), pupils and students at all levels of education (ISCED 0-6) (% of total population) (*EDTOT*), tertiary educational attainment (% of the population aged 25–64) (*TERAT*) and employment rate (of the age group 15–64, in %) (*EMPLOY*) (see Table 1). Based on data availability, up to 146 (out of 271+2 (from Croatia)) EU (NUTS 2) regions are included in the empirical analysis. Eventually, due to limited data availability, most NUTS 2 regions from Germany, Greece, France, Poland and the UK are not included in the analysis. The data come from the Eurostat database.

**Table 1:** Input and output/outcome set for the DEA

Model	Inputs	Outputs/Outcomes
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Households that have Internet access at home (% of households) (<i>HIA</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pupils and students in upper secondary and post-secondary non-tertiary education (ISCED 3-4) % of the population aged 15–24 years (<i>SECED</i>)</li> <li>○ Students in tertiary education (ISCED 5-6) (% of the population aged 20–24 years) (<i>TERED</i>)</li> </ul>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Households that have Internet access at home (% of households) (<i>HIA</i>)</li> <li>○ Percentage of households with broadband access in relation to households with Internet access (% of households) (<i>HBA</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pupils and students at all levels of education (ISCED 0-6) (% of total population) (<i>EDTOT</i>)</li> <li>○ Tertiary educational attainment (age group 25–64, in %) (<i>TERAT</i>)</li> </ul>
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Households that have Internet access at home (% of households) (<i>HIA</i>)</li> <li>○ Percentage of households with broadband access in relation to households with Internet access (% of households) (<i>HBA</i>) (Non-discretionary)</li> <li>○ Regional gross domestic product (PPS per inhabitant in % of the EU-27 average) (<i>GDP</i>)</li> <li>○ Population density (Inhabitants per km<sup>2</sup>) (<i>POPDEN</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pupils and students at all levels of education (ISCED 0-6) (% of total population) (<i>EDTOT</i>)</li> <li>○ Employment rate (age group 15–64, in %) (<i>EMPLOY</i>)</li> </ul>

Source: Eurostat, 2013; own calculations.

### 3. EMPIRICAL RESULTS

The results of the output-oriented VRS formulation of the DEA analysis (based on Models I–III in Table 1) suggest a relatively high level of inefficiency in transforming the benefits of the information society into educational outputs/outcomes in selected EU (NUTS 2) regions and, correspondingly, that there is significant room to improve educational outputs and outcomes. Indeed, the empirical results show that the total number of efficient regions varies significantly from one model to another. There are only six technically efficient EU regions in Model I (see Table 2). However, with only 21.0% of households that have Internet access at home Severozapaden (BG) (which is also one of the least developed regions within the EU) has the lowest level of Internet accessibility among all regions in the sample. Consequently, only Rég. Bruxelles/Brussels Gewest (BE) and Prov. West-Vlaanderen (BE) can serve as a good benchmark for the other regions as they both have above-average input (% of households that have Internet access). The least efficient regions come from cohesion countries, such as Spain and Slovakia, mainly as a result of their relatively low educational outputs, for instance, students in tertiary education, ranging from 34.2% (Illes Balears (ES)) to 77.7% (Cataluna (ES)) (for instance, the regional sample group average is around 60%). In order to enhance the reliability of the findings, additional inputs and outputs/outcomes were introduced, resulting in models II and III (for details also see Table 1).

**Table 2: Relative Efficiency (Model I)**

121 regions			
The most efficient regions		The least efficient regions	
Bucuresti – Ilfov (RO)	100.0	Illes Balears (ES)	28.3
Praha (CZ)	100.0	<b>Cataluna (ES)</b>	<b>38.6</b>
<b>Prov. West-Vlaanderen (BE)</b>	<b>100.0</b>	Ciudad Autónoma de Melilla (ES)	40.6
<b>Rég. Bruxelles / Brussels Gewest (BE)</b>	<b>100.0</b>	Canarias (ES)	41.5
Severen tsentralen (BG)	100.0	Aragón (ES)	42.2
Severozapaden (BG)	100.0	Comunidad Foral de Navarra (ES)	42.8
<b>Prov. Oost-Vlaanderen (BE)</b>	<b>98.6</b>	<b>Západné Slovensko (SK)</b>	<b>43.0</b>
<b>Prov. Limburg (BE)</b>	<b>98.3</b>	Ciudad Autónoma de Ceuta (ES)	43.1
<b>Bratislavský kraj (SK)</b>	<b>95.5</b>	Cantabria (ES)	43.9
Yuzhen tsentralen (BG)	94.8	<b>Východné Slovensko (SK)</b>	<b>44.3</b>
Average Efficiency Score			
		65.5	
Standard Deviation			
		17.8	
No. (%) of Efficient Regions			
		6 (5.0%)	

Note: The regions in bold have an above-average number of households that have Internet access.

Source: Eurostat, 2013; own calculations

Adding another input and two different outputs in the form (Model II) of the percentage of households with broadband access in relation to households with Internet access (% of households) (*HIA*) and pupils and students at all levels of education (% of total population) (*EDTOT*)/tertiary educational attainment (age group 25–64, in %) (*TERAT*), respectively, the results again show that those regions from Belgium, i.e. Rég. Bruxelles/Brussels Gewest and Prov. Brabant Wallon seem to be the technically most efficient EU regions (see Table 3). Not surprisingly, increasing the number of outputs/outcomes in a relatively small sample leads to a higher number of efficient regions. In general, the rankings among efficient regions remain relatively stable in comparison to Model I (with some new efficient regions from Bulgaria, Romania, Spain and Italy, primary as a result of the low levels of additional input (% of households with broadband access) included in the model).

**Table 3: Relative Efficiency (Model II)**

133 regions			
The most efficient regions		The least efficient regions	
Bucuresti – Ilfov (RO)	100.0	<b>Burgenland (AT)</b>	<b>47.3</b>
Molise (IT)	100.0	<b>Niederösterreich (AT)</b>	<b>51.2</b>
Nord-Est (RO)	100.0	Strední Čechy (CZ)	53.1
País Vasco (ES)	100.0	Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste (IT)	54.4
<b>Prov. Brabant Wallon (BE)</b>	<b>100.0</b>	Lombardia (IT)	54.6
<b>Rég. Bruxelles / Brussels Gewest (BE)</b>	<b>100.0</b>	<b>Kärnten (AT)</b>	<b>55.9</b>
Severen tsentralen (BG)	100.0	Piemonte (IT)	57.3
Severozapaden (BG)	100.0	Közép-Dunántúl (HU)	57.7
Sud-Vest Oltenia (RO)	100.0	Illes Balears (ES)	57.8
Yugozapaden (BG)	100.0	Sredisnja i Istocna Hrvatska (HR)	58.0
Average Efficiency Score			
		76.9	
Standard Deviation			
		12.8	
No. (%) of Efficient Regions			
		10 (7.5%)	

Note: The regions in bold have above-average number of households that have Internet access.

Source: Eurostat, 2013; own calculations

However, among the least efficient regions, surprisingly, some regions from Austria are included (such as Burgenland and Niederösterreich). We can find the main reason for this relative inefficiency in the

comparatively highly developed information society and well-below-average educational outputs/outcomes in both mentioned regions (for instance, in Burgenland and Niederösterreich they have only 15.0% and 17.6% of tertiary educational attainment, respectively).

Model III includes two additional (non-discretionary) inputs (GDP and POPDEN) and one additional output/outcome variable to the *EDTOT* variable, i.e. employment rate (age group 15–64, in %) (*EMPLOY*). According to this model, even 31 regions are efficient (see Table 4). The average output efficiency score is relatively high at 94.9, meaning that with the same inputs the average region is producing about 5 percent less than it should if it were efficient. The worst efficiency performers are regions from Italy (e.g. Sardegna, Puglia and Basilicata), Spain (e.g. Principado de Asturias, Cantabria and Canarias) and Croatia (Jadranska Hrvatska and Sredisnja and Istocna Hrvatska), all having an underdeveloped information society and also appearing to be highly inefficient as they have educational results that are 15–20% lower than those under efficient conditions. However, development of the information society, together with its improved efficiency (in terms of educational results), which could significantly contribute to a country's stronger development and growth should remain a top priority in the near future for most EU regions, particularly for catching-up regions.

**Table 4: Relative Efficiency (Model III)**

126 regions			
The most efficient regions		The least efficient regions	
<b>Aland (SE)</b>	<b>100.0</b>	Sardegna (IT)	77.8
<b>Bratislavský kraj (SK)</b>	<b>100.0</b>	Principado de Asturias (ES)	79.2
Bucuresti – Ilfov (RO)	100.0	Jadranska Hrvatska (HR)	81.5
Centro (PT)	100.0	Puglia (IT)	81.7
Ciudad Autónoma de Ceuta (ES)	100.0	Sredisnja i Istocna Hrvatska(HR)	82.3
Ciudad Autónoma de Melilla (ES)	100.0	Basilicata (IT)	83.1
Dél-Alföld (HU)	100.0	Sicilia (IT)	84.4
<b>Flevoland (NL)</b>	<b>100.0</b>	Cantabria (ES)	84.5
<b>Midtjylland (DK)</b>	<b>100.0</b>	Canarias (ES)	85.1
Molise (IT)	100.0	Abruzzo (IT)	85.7
Moravskoslezsko (SK)	100.0	Illes Balears (ES)	86.9
<b>Niederösterreich (AT)</b>	<b>100.0</b>	<b>Közép-Magyarország (HU)</b>	<b>87.3</b>
Average Efficiency Score			
		94.9	
Standard Deviation			
		5.2	
No. (%) of Efficient Regions			
		31 (24.6%)	

Note: The regions in bold have above-average number of households that have Internet access.

Source: Eurostat, 2013; own calculations

On the other hand, regions from Belgium (e.g. Rég. Bruxelles/Brussels Gewest, Prov. Oost-Vlaanderen), Netherlands (e.g. Flevoland, Utrecht), Sweden (e.g. Aland, Stockholm, Smaland med öarna), Denmark (e.g. Midtjylland) and even Slovakia (Bratislavský kraj) are among the most efficient performers as they all are among the best output/outcome educational performers with a relatively high share of households that have Internet access at home and also broadband access. Therefore, these regions could all serve as a good benchmark for the other EU regions in terms of their information society development and their efficiency.

## 5. CONCLUSION

This paper joins the efforts of other scholars in investigating information society efficiency by applying a non-parametric methodology at the regional level in the EU. In this respect, the Data Envelopment Analysis (DEA) technique was presented and then applied to a wide range of EU-27 (NUTS 2) regions to evaluate the technical efficiency of harnessing information society riches also for educational and training purposes. The research findings suggest that Rég. Bruxelles/Brussels Gewest, Prov. Oost-Vlaanderen (Belgium), Flevoland, Utrecht (Netherlands), Aland, Stockholm, Smaland med öarna (Sweden), Midtjylland (Denmark) and Bratislavský kraj (Slovakia) belong to the best performing NUTS 2 regions located on the regional efficiency frontier. These EU regions could also serve as peers to improve the efficiency of the less efficient ones. The results confirm the idea that regions with a mature information society generally enjoy better educational outputs and results compared to regions still developing their information society pattern. In contrast, a wide

range of NUTS 2 regions from Eastern and Southern Europe is characterized by an extremely low rate of information society development (most of the regions in Bulgaria and Romania) and efficiency in terms of educational outputs/results, particularly in Spain (e.g. Illes Balears, Canarias), Italy (e.g. Sardegna, Sicilia), Czech Republic (e.g. Střední Čechy) and Hungary (e.g. Közép-Dunántúl), suggesting there is still significant potential to develop the information society and improve educational results in many EU regions, particularly those from catching-up EU member states.

## REFERENCES

- [1] Amja, R. (2006). Why Pakistan must break-into the knowledge economy. Lahore Journal of Economics, Special Edition.
- [2] Aristovnik, A. (2012). The relative efficiency of education and R&D expenditures in the new EU member states. *Journal of Business Economics and Management*, 13(5), 832-848.
- [3] Avkiran, N. K. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian Universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), 57-80.
- [4] Balanskat, A., Blamire, R., & Kefala, S. (2006). The ICT impact report: a review of studies of ICT impact on schools in Europe. Brussels: European Schoolnet.
- [5] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- [6] Eurostat. (2011). Information Society. Retrieved March 20, 2013 from [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-HA-11-001-10/EN/KS-HA-11-001-10-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-HA-11-001-10/EN/KS-HA-11-001-10-EN.PDF)
- [7] Eurostat. (2013). Statistics Database. Retrieved February 20, 2013 from [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)
- [8] Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A (General)*. 120(3): 253-281.
- [9] Hameed, T. (2006). ICT as an enabler for socio-economic development. Digital Opportunity Forum 2006, International Telecommunication Union, Seoul: Korea.
- [10] Iqbal, M. J., & Ahmed, M. (2010). Enhancing quality of education through e-learning: the case study of Allama Iqbal Open University. *The Turkish Online Journal of Distance Education*, 11(1).
- [11] Jayson, W. R. (2008). ICT in education reform in Cambodia: problems, politics, and policies impacting implementation. *Information Technologies and International Development*, 4(4), 67-82.
- [12] Khan, A. M., & Shah, Q. A. (2004). Study on impact of information and communication technology on decent work in Pakistan. Islamabad: Pakistan Manpower Institute, Ministry of Labour Manpower & Overseas Pakistanis, Government of Pakistan.
- [13] Leuven, E., Lindahl, M., Oosterbeek, H., & Webbink, D. (2004). The effect of extra funding for disadvantaged pupils on achievement. IZA Discussion Paper. No. 1122. Bonn: Institute for the Study of Labor.
- [14] Machin, S., McNally, S., & Silva, O. (2006). New technologies in schools: is there a pay off? London: Centre for Economic Performance; Bonn: Institute for the Study of Labour.
- [15] Shaheeda, J., D., N., & Laura, C. (2007). The role of ICTs in higher education in South Africa: One strategy for addressing teaching and learning challenges. *International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology*. 3(4), 131-142.
- [16] Shaikh, Z. A. (2009). Usage, acceptance, adoption, and diffusion of information and communication technologies in higher education: A measurement of critical factors. *Journal of Information Technology Impact (JITI)*, 9(2), 63-80.
- [17] Trucano, M. (2005). Knowledge maps: ICT in education. Washington, DC: infoDev/World Bank.
- [18] Youssef, B., A., & Dahmani, M. (2008). Student's performances and ICTs. *University and Knowledge Society Journal (RUSC)*, March 2008, 45-56.
- [19] Yusuf, M. O., & Afolabi, A. O. (2010). Effects of computer assisted instruction (cai) on secondary school students' performance in biology. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(1), 62-69.

## SAGLEDAVANJE PRIORITETA U PUBLIKOVANJU NAUČNIH MONOGRAFIJA U VOJNOJ OBLASTI

### DISCOVERING PREFERENCES IN SCIENTIFIC PUBLISHING FOR DEFENCE

NEBOJŠA NIKOLIĆ

Institut za strategijska istraživanja, Beograd, nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs

**Rezime:** *Vojna publicistička delatnost je institucionalno organizovana i široko programski orijentisana, sa dugom tradicijom i brižljivo negovanim renomeom. Novi standardi u organizovanju naučne delatnosti u sistemu odbrane, nameću i nove zahteve i izazove pred naučnoizdavačku delatnost u vojnoj organizaciji. U radu je prikazana analiza najnovijih raspoloživih podataka o obimu i strukturi vojne izdavačke delatnosti sa težištem na sagledavanju mesta koje u ukupnom izdavačkom opusu pripada naučno-obrazovnim izdanjima, odnosno, koja bi se mogla potencijalno svrstati u kategoriju naučnih rezultata poznatih kao naučne monografije. Analiza može biti od koristi u sagledavanju prioriternih oblasti kojima je posvećen izdavač i time pomoći istraživačima i istraživačkim organizacijama u izboru kako izdavača tako i pravaca sopstvenog naučnog razvoja.*

**Ključne reči:** *Istraživanje, Vojska, Nauka, Naučni Kadar, Monografije, Akreditacija.*

**Abstract:** *Military publishing activity is institutional organised with disperzed programm orientation, and with long tradition and with well-kept image. New standards in the field of science for defence branch generate new demands and challenges in front of scientific publishing activity in military organization. This paper presents an analysis of the newest available data on the scope and structure of the military publishing activity. The goal of this endeavor is to discover place, share and importance of scientific and educational literature across the whole scope of the military publishing house. Discovering preferences of the military publisher, could help to realize which branches and areas are of primary interest, and that could even help to researchers and theirs institutions to make decisions about their own development.*

**Keywords:** *Research, Military, Science, Researchers, Monographs, Accreditation.*

#### 1. UVOD

Razmatranje problematike izložene u ovom radu motivisano je određenim problemima i specifičnostima uočenim u procesima akreditacije naučnih i obrazovnih ustanova u sistemu odbrane, kao i izvesnim poteškoćama sa kojima se istraživači susreću u dužem prethodnom periodu. U suštini, neophodni nivo naučne kompetencije kadra u ustanovi koja se želi akreditovati za naučnu delatnost, uslovljen je, pored ostalih elemenata, i postojanjem naučnih rezultata iz domena M40 (naučne monografije), koje su, opet, uslovljene postojanjem dovoljnog broja odgovarajućih naučnih rezultata iz kategorije M20 ili M50 (članci u međunarodnim, odnosno domaćim naučnim časopisima).

Naučne monografije imaju važno mesto i u procesima sticanja naučnih zvanja i razvoja kadra –posebno njegove motivacije, ali iznad svega, naučne monografije su jedno od mesta gde se prikazuju zaokružene tematske celine posvećene opisu i rešavanju određenog naučnog problema. Ideja koncepta naučne monografije može se shvatiti kao način da se objedinjeno i detaljnije prikažu novi naučni rezultati koje su autori prethodno izložili uvidu i verifikaciji naučne javnosti kroz nekoliko članaka u referentnim naučnim časopisima. U tom smislu, naučne monografije se mogu smatrati „novim znanjem“ i imaju svoje mesto kako u nauci tako i u obrazovnom procesu posebno na višim nivoima studiranja.

Naučne monografije su takođe i jedan od pokazatelja pojedinačne ali i institucionalne naučne produktivnosti. U Republici Srbiji, u dužem prethodnom periodu, evidentan je uzlazni trend naučne produktivnosti (Živković et al. 2012; Štrbac et al. 2012). Imajući u vidu sve različitosti i specifičnosti naučnoistraživačkih organizacija, opravdano je pretpostaviti da između njih postoje izvesne razlike u naučnoj produktivnosti, ali i sličnosti u smislu praćenja opšteg trenda.



Prema važećim pravilskim određenjima, naučna monografija ima vrlo jasno definisane odrednice koje jedno naučno delo mora da ispuni da bi bilo deklarirano kao naučna monografija. Može se reći da je naučna monografija složeno i višefazno postignuće jednog ili više autora, kome prethodi čitav niz prethodno realizovanih i naučnoj javnosti prikazanih dela iz drugih kategorija naučnih rezultata. Jednostavnije rečeno, donja granica kvalifikovanja jedne knjige kao naučne monografije jeste njena zasnovanost na najmanje 5 autorskih članaka u relevantnim naučnim časopisima, kao i ocenu i verifikaciju dela od strane najmanje 3 recenzenta. U tom smislu, organizovana i svrsishodna naučno-publicistička delatnost ima potencijal da deluje stimulatивно na sve naučne delatnike indirektno ih podstičući na produktivno prezentovanje i verifikaciju naučnih rezultata najpre u relevantnim naučnim časopisima, a tek onda im dajući priliku da deo svog naučnog opusa zaokruže i upotpune u jednu naučnu monografiju.

U radu ćemo pokušati da sagledamo u kojoj meri su izdavački kapaciteti sistema odbrane u funkciji doprinosa procesu izgradnje i jačanja naučnih kompetencija kadra u sistemu odbrane, sa ciljem da se postojeće stanje unapredi. Akreditacioni procesi provedeni u prethodnim godinama, u ne malom broju slučajeva, svedoče da je deficit naučnog i nastavnog kadra sa odgovarajućim nivoom naučnostručnih kompetencija, bio jedan od najtežih preduslova koji je trebalo ispuniti u cilju uspešne akreditacije za naučnu, odnosno visokoškolsku delatnost.

Rezultati navedeni u ovom istraživanju ograničeni su na sledeće izvore informacija: Katalog izdanja vojnog izdavača korišćen je sa ciljem da se sagleda mesto naučno-obrazovne literature u ukupno prikazanom izdavačkom opusu. Za informacije o autorima publikovanih dela korišćene su raspoložive baze podataka o naučnim informacijama raspoložive na Internetu (težišno KOBSON).

## **2. VOJNA IZDAVAČKA DELATNOST**

Institucionlano organizovana izdavačka delatnost u sistemu odbrane Republike Srbije realizuje se u okviru ustanove pod nazivom: Medija centar „Obrana“. U organizacijskom smislu, Medija centar „Obrana“, se nalazi u sastavu Uprave za odnose sa javnošću Ministarstva odbrane Republike Srbije. Osnovna namena ove uprave je višestruka: izvršava zadatke u okviru novinsko-informativne delatnosti; obavlja izdavačku delatnost; i organizuje medijske događaje u zgradi Doma Vojske Srbije. Medija centar „Obrana“ je relativno nova organizacija formirana 2010-godine u sklopu tadašnje reorganizacije Ministarstva odbrane, ali suštinski ima respektabilan istorijat razvoja.

U pogledu izdavačke delatnosti, Medija centra „Obrana“ nastavlja dugu tradiciju vojnog izdavaštva svog prethodnika – Vojnoizdavačkog zavoda koji je formiran 1945.godine. U ovom dugom periodu objavljeno je nekoliko hiljada naslova. Izdavačka delatnost u sistemu odbrane obuhvata izdavanje sledećih vrsta literature: vojnostručne, nastavno-obrazovne, vojno-naučne i publicističke literature, kao i izdavanje vojnih časopisa.

Pod okriljem Medija centra „Obrana“ izlaze sledeći vojni časopisi: „Vojno delo“, „Vojnotehnički glasnik“, „Novi glasnik“ i magazin „Obrana“. Prva dva naslova su naučni časopisi koji se nalaze na referentnim listama naučnih časopisa Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije i imaju višedecenijsku tradiciju izlaženja uz jasnu profilisanost i rastuću regionalnu i međunarodnu prepoznatljivost i sa aspekta čitanosti i sa aspekta učešća stratnih autora i recenzentata.

Treći naslov – časopis „Novi glasnik“ je vojno-stručni časopis koji je težišno orijentisan na praktičnu stranu vojne problematike i prikaz konkretnih problema i njihovih mogućih rešenja. Četvrti naslov - magazin „Obrana“ je glasilo informativnog karaktera sa dvo-nedeljnom dinamikom izlaženja. Magazin „Obrana“ informiše širu čitalačku publiku o svim bitnijim dešavanjima u Vojsci Srbije i Ministarstvu odbrane, uključujući objavljivanje konkursa za vojne škole i radna mesta, zatim jubileje vojnih jedinica, ustanova, rodova i službi, i naravno godišnjice značajnih vojnoistorijskih događaja. Magazin „Obrana“ nastavlja tradicije časopisa „Ratnik“ koji je kao prvo vojno glasilo u Srbiji, počeo da izlazi 24.januara 1879.godine.

Medija centar „Obrana“ je na prethodnom – 58.međunarodnom sajmu knjiga u Beogradu predstavio svoje publikacije uključujući i dvadesetak novih dela od blizu 100 koliko ih je objavljeno u periodu između dva sajma knjiga. U cilju promocije publikovan je i distribuiran javnosti Katalog izdanja 2013-2014, koji je u ovom radu korišćen kao jedan od osnovnih izvora informacija za analizu koja sledi.

## **3. NAUČNO-OBRAZOVNA IZDANJA**

Naučno-obrazovna literatura u izdanju ovog vojnog izdavača, prema Katalogu izdanja 2013-2014, dominira pojedinačno po broju prikazanih naslova u odnosu na ostalih trinaest izdavačkih oblasti po klasifikaciji u navedenom katalogu. Međutim, procentualno učešće naučno-obrazovne literature u ukupnom prikazanom opusu Medija centra „Obrana“, iznosi manje od 15 procenata. U cilju preglednijeg prikaza i poređenja produkcije između različitih oblasti – prema klasifikaciji izdavača, data je Tabela 1.



**Tabela 1:** Zastupljenost oblasti u izdavačkom opusu (prema: Katalogu izdanja 2013-2014.)

	OBLAST (nazivi oblasti prema izdavaču)	BROJ OBJAVLJENIH NASLOVA	PROCENTUALNA ZASTUPLJENOST
1.	Naučno-obrazovna literatura	30	14.6
2.	Vojna tehnika	27	13.2
3.	Umetnost	25	12.2
4.	Istorija	21	10.2
5.	Medicina	19	9.3
6.	Geopolitika	15	7.3
7.	"Monografije"	14	6.8
8.	Vojna publicistika	11	5.4
9.	Pravo	11	5.4
10.	Priručnici-Vodiči	9	4.4
11.	Ishrana-Lečenje	7	3.4
12.	Književnost	7	3.4
13.	"Novinski stupci"	7	3.4
14.	Filozofija	2	1.0
	UKUPNO	205	100

Na osnovu pregleda izdavačkog opusa po navedenim oblastima, uočljiva je jaka izdavačka preferencija Medija centra „Obrana“ prema polju umetnosti i humanističkim naučnim oblastima, kao što su: istorija, pravo, kultura, komunikologija, književnost, filozofija. Humanističkim i umetničkim oblastima, ovaj vojni izdavač posvetio je blizu jedne polovine (46,8%) svog izdavačkog opusa, ili 96 naslova od ukupno prikazanih 205 u katalogu izdavača, Tabela 2.

**Tabela 2:** Zastupljenost publikovanih dela iz umetničkih i humanističkih oblasti

	OBLAST	BROJ OBJAVLJENIH NASLOVA	PROCENTUALNA ZASTUPLJENOST
1.	Umetnost	25	12.2
2.	Istorija	21	10.2
3.	"Monografije" (uglavnom iz istorije, kulture, religije)	14	6.8
4.	Pravo	11	5.4
5.	Priručnici-Vodiči	9	4.4
6.	Književnost	7	3.4
7.	"Novinski stupci"	7	3.4
8.	Filozofija	2	1.0
	UKUPNO – humanističke oblasti	96	46.8
	UKUPAN IZDAVAČKI OPUS	205	100

U sistemu odbrane postoji nekoliko organizacijskih celina koje su akreditovane za obrazovnu i naučnu delatnost ili su u postupku akreditacije kod nadležnog akreditacionog tela Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj RS. To su institucije poput Vojnotehničkog instituta, Vojne akademije, Medicinskog fakulteta VMA, Vojnogeografskog instituta, Tehničkog opitnog centra i Instituta za strategijska istraživanja. Naučno-obrazovne oblasti za koje se akredituju vojne obrazovne i naučne organizacije su: menadžment, medicina, tehničke nauke (mašinstvo, elektrotehnika, informatika, saobraćaj, organizacione nauke, geodetsko inženjerstvo, itd). Jednim organizaciono manjim delom, naučne oblasti od interesa za vojne obrazovne i naučne ustanove su i: istorija, ekonomija, političke nauke, pravo, psihologija, sociologija, fizičko vaspitanje.

Nesporno je da humanistički i umetnički sadržaji i poduhvati oplemenjuju, prosvetljaju, itd, ali je teško pronaći vojnu organizaciju (ne samo u Srbiji) kojoj je od gotovo primarnog interesa (posvećenost blizu 50%) umetnost, religija, književnost, žurnalistika i slične naučno-obrazovne oblasti iz humanističkog i umetničkog polja. U nekom širem istraživanju moglo bi se doći do preciznije slike koliko publikovanih dela proizilazi iz vojnih obrazovno-naučnih institucija i u kojoj meri su publikacije ciljno i sadržajno u funkciji namena i potreba vojne organizacije.

#### 4. KARAKTERISTIČNA ZAPAŽANJA

Tokom analize podataka iz Kataloga izdanja 2013-2014, uočeno je nekoliko specifičnosti. Prvo, Izrazita odsutnost većine autora u međunarodnom naučnom prostoru. Za autore trideset naslova u kategoriji naučno-obrazovna literatura, u bazi podataka WoS („Web of Science“) na KOBSON-u nađeno je svega sedam autora, od čega je pet u časopisima koje mnogi smatraju upitnim pa i kompromitovanim, dok je za autore preostala dva naslova potrebna dodatna provera (imena autora postoje u bazi WoS/KOBSON, ali radovi i časopisi iz ove baze veoma odudaraju od problematike naslova monografije, pa se može pretpostaviti da je reč o različitim istraživačima sa istim prezimenima).

U kategoriji izdavačkog opusa pod nazivom „Geopolitika“, uočljivo je da je 10 autora uradilo 15 knjiga. Međutim, nije pronađen ni jedan autor u bazi WoS na KOBSONU, što je veoma indikativno s obzirom na samu prirodu i problematiku oblasti koja stoji iza naslova geopolitika. Prisutnost autora knjiga iz oblasti geopolitike, u bazi Srpski citatni index je nešto bolja, uz izrazitu neuravnoteženost produktivnosti autora: nekoliko autora ima više desetina radova u domaćim časopisima, dok jedan autor ima svega 3 rada u bazi Srpski citatni index, što je manje od 5 neophodnih radova za naučnu monografiju).

Drugo, veoma široka programska orijentacija - ilustrativni su neki neobični naslovi za vojni kontekst („Turistički vodič za penzionere“; „Vojne i svemirske avanture – oblik ekstremnog turizma“; „Svet lova i divljači“; „Enciklopedija ribolova“; itd). Treće, fenomen „više knjiga nego autora“; ova pojava ne bi bila problematična da je kontekst drugačiji, odnosno da su autori koji su „plodni“ na planu pisanja knjiga isto tako plodni u pisanju naučnih radova za renomirane naučne časopise (pokušaji da se neki od monografski najplodnijih autora pronađu u relevantnom naučnom prostoru na Internetu nisu bili uspešni); posebno se ističu 2 autora sa po 8, odnosno 5 knjiga u oblasti vojne tehnike, kao i više autora sa po 3 ili 2 knjige.

Četvrto, pojave istih autora u različitim oblastima („renesansne“ sposobnosti autora mogu biti pohvalne ukoliko su zaista relevantne; u nauci, one moraju biti dokumentovane jasnim dometima, a takvi stvaraoci su izvesno prisutni u naučnim bazama podataka; interesantne su i neobične kombinacije oblasti: na primer, jedan autor sa 1 knjigom u oblasti vojna tehnika i 3 knjige u oblasti istorije, ali bez referentnih radova u bazi WoS KOBSON-a; ili drugi autor sa 3 knjige u tri različite oblasti, ali opet, bez prisustva u WoS/KOBSON-u.

#### 5. ZAKLJUČAK

Vojni izdavač Medija centar „Obrana“, je renomirana organizacija sa vrlo širokom programskom orijentacijom i diversifikovanom ponudom vrlo kvalitetno vizuelno opremljenih publikacija namenjenih široj publici. Prioritetnom i kvalitetnom izradom brojnih vojnih priručnika i uputstava za potrebe vojne organizacije ispunjava potrebe iz domena obezbeđenja vojnostručne literature neophodne jednoj vojnoj organizaciji. U pogledu publikovanja dela iz domena obrazovno-naučne literature, ima prostora za značajna unapređenja u programskoj orijentaciji kako u kvantitativnom tako i u kvalitativnom pogledu.

U daljem istraživanju ove problematike moguće je više pravaca: definisanje i primena kriterijuma selekcije dela iz domena obrazovno-naučne literature; prikupljanje i analiza podataka o udelu autora iz naučno-obrazovnih institucija, posebno vojnih, u izdavačkom opusu Medija centra „Obrana“; unapređenje procedura publikovanja u cilju bržeg odziva i praćenja visoke dinamike razvoja nauke; itd.

#### LITERATURA

- [1] Medija centar „Obrana“. (2013). Katalog izdanja 2013-2014, objavljen kao specijalni prilog uz časopis „Obrana“, broj 194, 15.oktobar 2013.
- [2] Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj RS. (2008). Pravilnik o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača.
- [3] Nacionalni savet za visoko obrazovanje. (2006). Pravilnik o naučnim, umetničkim, odnosno stručnim oblastima u okviru obrazovno-naučnih, odnosno obrazovno-umetničkih polja
- [4] Štrbac, D., Živković, L., Kutlača, Đ., & Babić, D., (2012). Produktivnost srpskih naučnika od 2005-2010.godine. Zbornik radova, SYM-OP-IS 2012, 285-288
- [5] Živković, L., Štrbac, D., Babić, D., & Kutlača, Đ. (2012). Analiza naučne produktivnosti Srbije prema naučnim oblastima. Zbornik radova, SYM-OP-IS 2012, 289-292.

## SISTEMSKI PRISTUP ORGANIZOVANJU OBUKA ZA PREDUZETNICE

### SYSTEMIC APPROACH TO ORGANIZATION OF TRAINING FOR WOMEN ENTREPRENEURS

DUŠICA SEMENČENKO<sup>1</sup>, SANJA POPOVIĆ-PANTIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Mihajlo Pupin, Beograd, {dusica.semencenko, sanjap.pantic}@pupin.rs

**Rezime:** Cilj ovog rada je da se ukaže na potrebu organizovanog pristupa u razvijanju stručnih i upravljačkih kapaciteta malih i srednjih preduzeća u Srbiji, sa posebnim osvrtom na preduzeća u vlasništvu žena. U radu je najpre obrazložena strateška potreba podršci preduzetništvu i preduzetnicama posebno. Prvi deo rada bavi se metodologijom istraživanja potreba za obukom preduzetnika. U sledećim delovima rada dat je prikaz rezultata nekoliko istraživanja koja su se bavila istraživanjem potreba preduzetnica sa posebnim fokusom na poslovanje preduzeća, informisanost i umrežavanje i ljudske resurse i obuku.

**Ključne reči:** Obuka, Istraživanje, Preduzetništvo, Preduzetnice.

**Abstract:** The aim of this paper is to highlight the need for an organized approach to developing the professional and managerial capacities of small and medium enterprises in Serbia, with a special focus on women-owned enterprises. The paper elaborated the strategic need to support entrepreneurship and entrepreneurs in particular. The first part deals with the methodology of the training needs assessment of entrepreneurs. In the following sections of the paper are present the results of several studies that have dealt with the needs assessment of entrepreneurs with a special focus on business performans, information and networking and human resources and training.

**Keywords:** Training, Research, Entrepreneurship, Women Entrepreneurs.

#### 1. UVOD

Kroz dugogodišnja nastojanja EU da sustigne svoje ekonomske takmace SAD i Japan, iskristalisala se neophodnost pružanja podrške preduzetništvu i malim biznisima kao značajnom izvoru stvaranja novih radnih mesta, poslovne dinamike i inovacija. Evropa nije u potpunosti iskoristila svoje preduzetničke potencijale kako u početničkim biznisima tako i u samozapošljavnju. U Evropi je manje samozaposlenih žena nego muškaraca, takođe, manje žena započinje nove poslove, osniva sopstvena preduzeća ili ima ambiciju da to uradi. Žene uglavnom biraju za započinjanje poslovanja sektore kao što su maloprodaja i usluge, koje se često karakterišu kao manje značajni za ekonomski razvoj i ekonomiju znanja. Još jedna razlika je značajna, a to je da žene imaju manje ambicije kada je razvoj poslovanja u pitanju. Intelektualni potencijal žena i njihov doprinos konkurentnosti nije dovoljno vidljiv i iskorišćen.

Podrška preduzetništvu i razvoju MSP može biti višestrana: sistemska - od strane države ili lokalnih vlasti, finansijska i nefinansijska. Nefinansijska podrška, ako se izuzme zakonska regulativa, administrativna pravila, poreski propisi, najviše se odnosi na konsultantske usluge i usavršavanje znanja kroz različite oblike obuke. Dostupnost informacija o raspoloživim programima učenja i obuke jedan je od preduslova za uspešnu saradnju između MSP i isporučilaca obuke, bilo da je reč o privatnim ustanovama, državnim institucijama i programima ili nevladinim projektima. Da bi se stvorile veze između ovih strana, veoma je važno ohrabriti slobodan tok informacija od jednih ka drugima.

Za ostvarenje ciljeva definisanih u strateškim dokumentima kao što su nacionalne strategije o MSP, programi, akcioni planovi, koje za glavni cilj imaju povećanje konkurentnosti preduzeća, najpre treba poći od unapređenja kapaciteta samih preduzeća, razmotriti njihove realne potrebe kada je reč o obrazovanju, obukama, i razvoju veština zaposlenih. Pre svega, važno je definisati prioritete potreba za obukom, jer na taj način može da se doprinese pronalaženju odgovarajućih programa obuke za preduzeća, da se pomogne u izradi nacionalne politike, pozitivno utiče na konkurentnost proizvoda i usluga na domaćem i stranim tržištima, kao i da se doprinese povećanju efikasnosti samih preduzeća. Međutim, bez odgovarajuće analize ili povratne informacije iz sektora MSP veoma je teško da se izradi strateški dokument, kao i da se razviju

programi i projekti koji bi se bavili ovim pitanjima. To se odnosi i na analizu potreba za obukom (TNA – Training Needs Assessment) preduzetnica.

## 2. ISTRAŽIVANJE POTREBA ZA OBUKOM

Prema Zakonu o malim preduzećima EU (Small Business Act - SBA) (EC 2008), neusklađenost veština će biti jedan od prioritarnih problema za rešavanje u agendi EU u narednom periodu, što je potvrđeno strategijom EU 2020. Primenom određene TNA metodologije, jaz između ponude i potražnje na tržištu obuke u budućnosti bi mogao biti premošćen, jer će se politike o MSP definisati na osnovu podataka i informacija koje dolaze direktno od preduzetnika, a preduzeća će lakše naći ono što im je potrebno na tržištu obuke.

Obuka je obrazovni proces. Ljudi mogu da nauče nove informacije, ponovo uče i unapređuju postojeća znanja i veštine, i što je najvažnije da pri tome imaju vremena da razmisle i razmotre kako novonaučeno može da im pomogne i poboljša efikasnost na poslu. Efikasna obuka prenosi relevantne i korisne informacije koje informišu učesnike i razvijaju veštine i ponašanja koja se mogu preneti na radno mesto. Cilj obuke je da stvori uticaj koji traje i posle završenog treninga. Fokus je na kreiranju konkretnih koraka i akcija koji usredsređuju pažnju učesnika u obuci na primenu novih veština i ideja u poslu kojim se bave. Obuke mogu biti namenjene razvoju veština pojedinaca i grupa.

Svrha procene potreba obuke je da se identifikuju zahtevane performanse i znanja, veštine i sposobnosti potrebne za ispunjenje zahteva posla. Procena treba da se bavi istraživanjem resursa neophodnih za ispunjenje misija organizacije, poboljšanje produktivnosti, obezbeđenje kvaliteta proizvoda i usluga. Ona takođe identifikuje jaz između postojećeg i potrebnog učinka. Kada razlika postoji istražuju se uzroci i razlozi za taj jaz, kao i metodi za njegovo premošćavanje i/ili eliminisanje. Kompletna procena potreba takođe razmatra posledice ignorisanja postojanja jaza. Rezultat TNA se ne izražava u obliku politike ili programa obuke, već kao baza podataka koja definiše izmerene potrebe za obukom istraživane grupacije. Ova baza podataka pruža osnovu za razvoj obuke i kurikuluma.

TNA kao proces često obuhvata: pregled trenutnog stanja obuke, analizu zadatka (novog modifikovanog sistema), identifikaciju jaza (koji prethodi obuci), procenu opcija obuke, analizu troškova i koristi obuke. TNA se najčešće koristi kao deo procesa razvoja sistema. Zbog neposredne veze između oblikovanja sistema i same obuke, TNA i proces oblikovanja sistema se obavljaju istovremeno.

Prvo istraživanje potreba za uslugama za podršku poslovanju MSP u Srbiji, je obavljeno 2011. u okviru ICIP projekta (GTF 2011). Namera je bila da se proceni potreba MSP u Srbiji za organizovanim objedinjenim uslugama poslovne podrške (usluge konsultanata i obuke) budući da su korisnici rezultata istraživanja bili Ministarstvo ekonomije i regionalnog razvoja i Nacionalna agencija za regionalni razvoj (NARR). Istraživanje je pokazalo da je najbitniji faktor koji utiče na odluku da se kupi određena usluga “zakonska obaveza”, i da je relativno nizak nivo ponovne upotrebe određenih obuka. Prema ovom istraživanju, najvažniji izvori informacija su klijenti/mušterije, a slede ih: internet, konkurenti, dobavljači i izložbe/sajmovi. Formalni / zvanični izvori informacija su generalno ocenjeni niskom ocenom po važnosti (uključujući vladine agencije, NARR, akademske institucije, privredne komore, privatne konsultante). Svest o dostupnosti obuka varira od veoma visokog nivoa za obuke za početnike (start-up) (74.22%) do niskog nivoa za učešće u istraživačko-razvojnim projektima (47.86%).

Broj preduzeća koja pružaju neku vrstu obuke za zaposlene je relativno visok (oko 65%) i najveći deo ovih obuka sprovodi se u okviru samog preduzeća. Za preduzeća koja ne koriste obuke, najčešći razlozi su: “zaposleni mogu da se edukuju na radnom mestu”, “nedefinisan prioritet i potreba za obukom” i “ne mogu da priušte obuku”. Zaključak je da je svest o uslugama prilično visoka, ali da se koristi samo u polovini slučajeva. Preduzeća koja plaćaju obuke najčešće ih koriste iz sledećih oblasti: zaštita i bezbednost na radu, računovodstvo / revizija / porezi, marketing / promocija / prodaja i kontrola i sertifikacija kvaliteta. marketing, računovodstvo, zaštita i standardi, upravljanje kvalitetom, upravljanje proizvodnjom

Drugo istraživanje na koje možemo da se referišemo, takođe nije bilo rodno disagregirano, istraživane su potrebe za obukom MSP u zemljama jugoistočne Evrope (JIE), istraživanje je obavljeno 2013 (Heder and Bobić 2013). Uzorak ispitanika iz Srbije bio je manji od očekivanog i manji nego iz ostalih zemalja, pa ovo istraživanje koristimo samo kao primer postojanja TNA kojim su bila obuhvaćena i srpska preduzeća. Od rezultata analize spomenućemo samo da su ispitivana MSP navela da su od prethodnih obuka koje su organizovala imala sledeće najveće koristi: 1. poslovana saradnja, 2. unapređenje veština, 3. povećanje inovativnosti, 4. povećanje proizvodnje. Budući da nas ovde interesuje saradnja, umrežavanje i informisanost, može se reći da su preduzeća iz uzorka od isproučilaca treninga najviše saradivala sa privrđenim komorama, privatnim konsultantima, a najmanje sa univerzitetima, i srednjoškolskim

ustanovama. MSP iz uzorka su naglasili medije kao najznačajniji izvor informacija, zatim direktne, lične kontakte, kao i druga preduzeća.

Sledeće istraživanje, koje je značajan izvor podataka, jer je bilo rodno disagregirano, je istraživanje Nacionalne agencije za regionalni razvoj (NARR), sprovedno 2013. godine (TNS Medium Gallup 2013). Osnovni cilj ovog istraživanja je bio “dobijanje pouzdane analitičke osnove za predlaganje stimulativnih mera ekonomske politike koja je u funkciji bržeg rasta i razvoja sektora MSPP”, dok je jedan od specifičnih ciljeva bio da se istraže potrebe za nefinansijskim uslugama. Istraživanjem je bilo obuhvaćeno 2555 preduzeća, od toga 32,8% su bila MSPP u vlasništvu žena. Pitanja u upitniku bila su grupisana u sledeće oblasti: Opšti podaci i profil, Podaci o poslovanju, Finansijski aspekti poslovanja, Potrebe za nefinansijskim uslugama, Tehničko-tehnološki aspekti, Inovacije i korišćenje informacionih tehnologija, Tržišni aspekti poslovanja, Ljudski resursi.

### **3. ISTRAŽIVANJE POTREBA ZA OBUKOM PREDUZETNICA**

Tokom 2013. godine obavljeno je istraživanje potreba za obukom preduzetnica u regionu jugoistočne Evrope - JIE (Zapadni Balkan, Turska i Moldavija) u okviru projekta Women Entrepreneurship – a Job Creation engine for South East Europe (Heder and Bobić 2014). Opšti cilj projekta je bio unapređenje ženskog preduzetništva kroz kombinovane napore države i privatnog sektora, dok su specifični ciljevi projekta: a) Promocija najbolje prakse u ženskom preduzetništvu u skladu sa SBA EU, i b) Izgradnja kapaciteta nacionalnih i regionalnih mreža i udruženja preduzetnica. Svrha projekta je s jedne strane - stvaranje okvira za podršku politikama za preduzetnice za započinjanje ili unapređenje njihove najbolje prakse, a s druge strane da ojača mreže i udruženja preduzetnica, i osposobi ih da podrže preduzetnice i bolje zastupaju njihove interese.

Udruženje poslovnih žena Srbije bilo je nosilac ovog istraživanja u Srbiji. Uzorak su činile žene koje su bile vlasnice ili suvlasnice preduzeća, a istovremeno i direktorke, sledeći uslov je bio da su MSP u poslu 3 godine ili duže. Metodologija se zasnivala na upitniku dizajniranom za TNA i prilagođenom zahtevima istraživanja vezanim za specifičnosti populacije koja je analizirana, uz primenu Likertove skale. Upitnikom je pokriveno pet oblasti: 1. Opšte informacije o preduzeću, 2. Umrežavanje i poslovna partnerstva, 3. Informacije o poslovanju, 4. Pristup finansijama i 5. Ljudski resursi i obuka. Istraživanje je obavljeno onlajn, a analiza podataka u SPSS programu. Odziv ispitanika u Srbiji bio je zadovoljavajući tj. nešto viši od planiranog – dobijena su 203 validna upitnika.

U svrhu ovog rada veću pažnju obratićemo podacima koji se odnose na poslovanje preduzeća, informisanost i umrežavanje i ljudske resurse i samu obuku.

#### **3.1. Poslovanje preduzeća**

Veličina preduzeća iz uzorka odgovara opštim pokazateljima ženskog preduzetništva za Srbiju kada su u pitanju MSP (Babović 2012), naime najviše preduzeća 65% je u mikro kategoriji (1- 9 zaposlenih), malih je 25% (10 – 49 zaposlenih), a srednje veličine 10,3% (slika 1). Većina preduzetnica iz Srbije, učesnica u istraživanju – 77% je fakultetski obrazovano i/ili sa diplomom magistra i doktora nauka, što je približno slučaj i u celom uzorku zemlja jugoistočne Evrope – 72,2 %, dok je 49% zaposlenih srednjeg obrazovnog profila.

U starosnoj dobi 35-39 ili 45 – 49 je najveći broj učesnica istraživanja. Žene u kategoriji od 55 i više godina bave se prerađivačkom industrijom (17%), prodajom i trgovinom (14%), profesionalnim i drugim uslužnim aktivnostima (11%) i zdravstvom (11%). S druge strane, mlade žene preduzetnice su aktivne u prodaji i trgovini (22%), profesionalnim i drugim uslužnim aktivnostima (15%), umetnosti, zabavi i rekreaciji (13%) i prerađivačkoj industriji (12%). Procentualno je najmanje žena mladih od 29 godina i gotovo u istom procentu starijih od 60 godina.

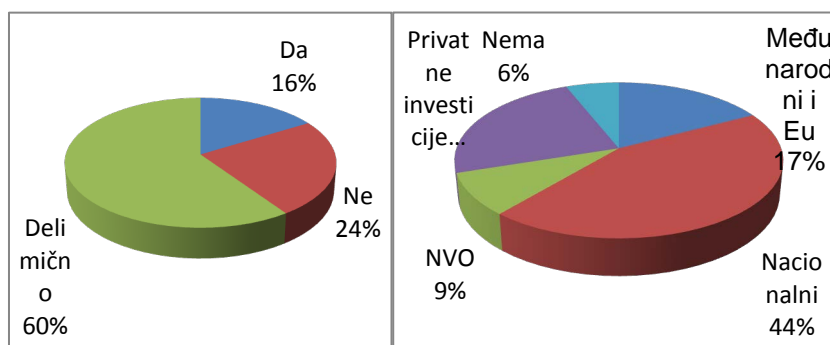
Preduzetnica je posao započela da bi bila nezavisna (36%) ili da bi iskoristila poslovne prednosti (30%), u čemu se ponovo pokazuje sličnost sa celim uzorkom (JIE) gde je 33% žena započelo posao da bi bile nezavisne, a 27% da bi iskoristile poslovne prednosti. Istraživanje NARR potvrđuje (na većem uzorku preduzetnica) ovu činjenicu, budući da na prvom mestu kao povod za ulaganje u samostalni biznis navode potrebu da se bude nezavisan i slobodan, a na drugom nezaposlenost tj. prethodno zaposlenje im nije pružalo dovoljnu sigurnost. Postoje izvesne razlike između stepena obrazovanja i razloga za započinjanje posla, ali ove razlike nemaju statistički značaj.

Preduzeća uglavnom nisu izvozno orijentisana – manje od 30% ima klijenata u inostranstvu. Udeo domaćeg tržišta u ukupnom prihodu je 87%.

61% preduzetnica ocenjuje da je stanje njihovog poslovanja dobro, a samo 6% jedva preživljava. To nam potvrđuje i istraživanje NARR kada su u pitanju preduzetnice, one su svoje poslovanje u prethodnom periodu u najvećem broju slučajeva ocenile pozitivno (66%), i nema značajne razlike u odnosu na ocenu koju su svom poslovanju dali muškarci.

Ženska preduzeća u JIE naglašavaju da su porast konkurencije, potreba za poboljšanjem kvaliteta, pristup finansijama – tržištu kapitala, i stavovi i odnos prema radu zaposlenih najznačajnije oblasti sa najvećim uticajem na poslovanje preduzeća. Isti redosled je i u Srbiji sa izuzetkom četvrtog faktora gde srpske preduzetnice ističu smanjenje tražnje za proizvodima odnosno uslugama.

Problematici aspekti poslovanja su u NARR istraživanju drugačije formulisani ali uglavnom se odnose na slične oblasti izvora poslovnih problema: 40% MSP smatra da je to loša naplata potraživanja, zatim finansijski aspekti (raspoloživa sredstva i stabilnost), tržišna konkurentnost i potražnja za njihovim proizvodima i uslugama.

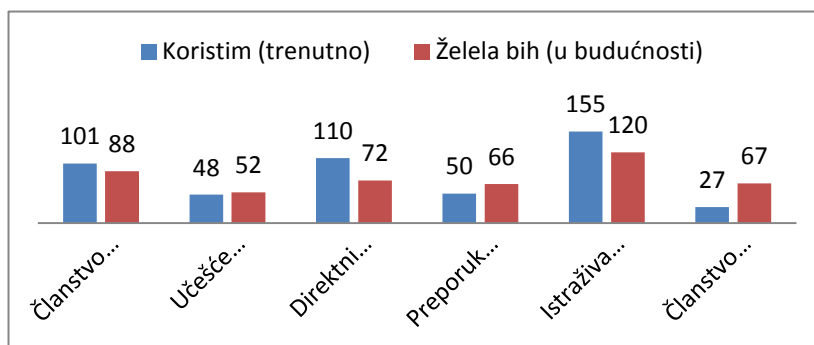


Slika 1: a) Da li su MSP informisana o postojećim izvorima finansijske podrške; b) Saznanje o mogućnosti korišćenja kredita i grantova različitog porekla

### 3.2. Informisanost i umrežavanje

Kada je reč o informisanosti o mogućnosti finansijske podrške MSP, u uzorku ispitanica iz Srbije u TNA preduzetnica JIE, 60% preduzeća je delimično informisano o mogućnostima finansiranja, a 24% uopšte nije informisano (slika 1). Najviše informacija u oblasti finansiranja poslovanja dobijaju preko medija 26% i udruženja poslovnih žena 23%. Od alternativnih finansijskih instrumenata najčešće se ne koristi nijedan – 40%, a ako se koristi to su pre svega garancije banaka 29% i lizing 10%.

Prema istraživanju NARR još manje ispitanika, tj. nešto manje od polovine, je samo donekle informisano o državnim programima podrške, dok četvrtina nema dovoljno informacija o njima, a skoro je isti procenat onih koji uopšte nisu informisani. Preduzetnice se najčešće i značajno više od muškaraca informišu iz medija (televizija, novine, radio), zatim i na internetu.



Slika 2: Sredstva umrežavanja koja se trenutno koriste i koja bi bila poželjna u budućnosti

Na nivou celog uzorka JIE najčešće sredstvo poslovnog umrežavanja su direktni kontakti. Za razliku od preduzetnica u Srbiji gde je istraživanje putem medija najčešći vid umrežavanja u JIE prosečno je to najmanje korišćeno sredstvo, postoji značajna statistička zavisnost veličine preduzeća i načina umrežavanja. Sredstva – institucije koje se najčešće koriste za umrežavanje i saradnju su: 1. istraživanje putem medija, 2. direktni kontakti, i 3. članstvo u privrednim komorama i udruženjima. U budućnosti preduzetnice bi želele više da koriste: 1. članstvo u udruženjima poslovnih žena, kao i 2. preporuke postojećih mreža (slika 2).

U istraživanju na koje se kao drugo referišemo, najvažniji izvori informacija potrebnih za poslovanje su: Internet, poslovni partner i kolege, a preduzetnice se značajno više od muškaraca informišu kod prijatelja i porodice 30%, kao i preko televizije 24%.

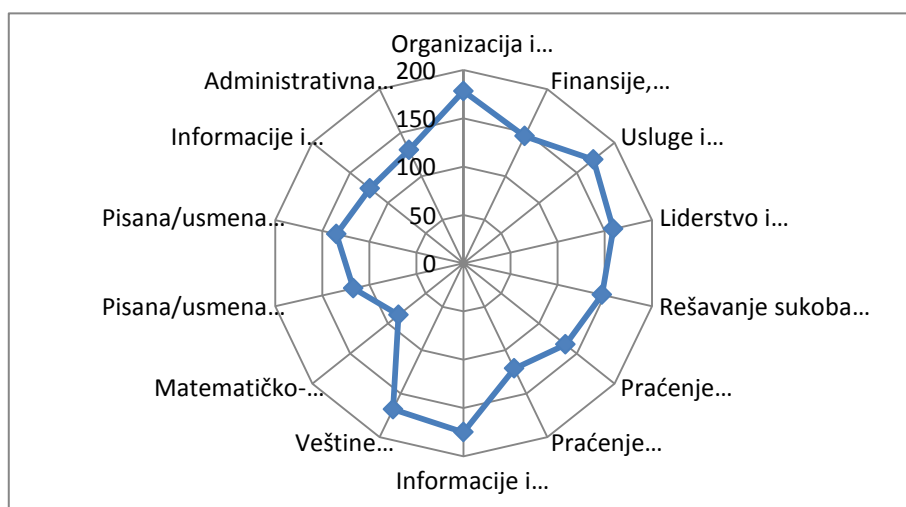
#### 4. OBUKA

Prema istraživanju NARR žene su znatno više od muškaraca zadovoljne obučenošću svojih zaposlenih 17,4%, što mora se priznati i nije mnogo. Više od polovine preduzetnica (56%) je do sada koristilo neki oblik nefinansijske podrške. Kod besplatno korišćenih usluga postoji rast interesovanja u oblasti marketing/promocija/ prodaja, dok je zabeležen pad interesovanja kod oblasti: upravljanje ljudskim resursima, računovodstvo, revizija i porezi, zatim upravljanje finansijama/finansijski menadžment i priprema dokumentacije za apliciranje za sredstva. Preduzetnice najveće interesovanje pokazuju za besplatno korišćenje usluga marketinga (37%) i strategije razvoja poslovanja (29%), a znatno više od muškaraca vide potrebu za obukom za rad na računaru (29%) i obukom iz stranih jezika и (28%). Najpotrebnijim plaćenim uslugama u budućnosti smatraju računovodstvo, reviziju i pomoć oko poreza (42%).

Pre nego što je ušlo u preduzetničke vode samo 25% preduzetnica je prošlo obuku za početnike u biznisu. Preduzetnice koje organizuju neku vrstu obuke za svoje zaposlene to čine kombinujući svoje interne resurse (zaposlene sa određenim znanjima) i plaćene usluge obuke, konsultante, seminare i drugo. Najznačajniji razlozi za preduzimanje obuke prema uzorku preduzetnica iz Srbije su: 1. Povećanje kvaliteta usluga i proizvoda, 2. Proširenje poslovanja, 3. Održavanje koraka sa novim tehnologijama i trendovima. Organizatori obuke za koje se one odlučuju ako organizuju obuku – su najčešće privatni konsultanti a uglavnom nikada srednjoškolske ustanove, kao ni univerziteti i državne institucije. Najvažnije teme obuka i usavršavanja u zavisnosti od struke vlasnika su: 1. Ljudski resursi, 2. Internacionalizacija poslovanja, 3. Državne podsticajne mere i zakoni. Organizacione prednosti stečene kroz prethodne obuke koje su doprinele preduzeću su: 1. Priljubene korisne i primenjive informacije, 2. Pобољшanje kvaliteta, 3. Poslovna saradnja i nova partnerstva.

Samo 12% MSP preduzeća u Srbiji ima godišnji budžet namenjen usavršavanju sa prosečnim iznosom od 9,9% od ukupnog prihoda. Preduzeća uglavnom koriste vlastita sredstva za finansiranje usavršavanja u 79% slučajeva, pa je i trend investiranja u razvoj ljudskih resursa većinom nepromenjen u poslednje 3 godine.

Najpoželjnije funkcionalne oblasti obuke, obrazovanja i unapređenja veština koje u najskorije vreme treba organizovati (slika 3) po mišljenju vlasnika MSP u Srbiji su: Organizacija i upravljanje, Informacije i veštine, Veštine prezentacije, Usluge orijentisane ka potrošaču. Ovo je bio odgovor na jedno od najznačajnijih pitanja, a u direktnoj vezi sa drugom fazom projekta Women Entrepreneurship – a Job Creation engine for South East Europe. Na osnovu izraženih mišljenja većine preduzetnica iz celog regiona projekat se nastavlja izradom detaljnih modula i kurikuluma za tri izabrane obuke za preduzetnice koje će se realizovati sledećih godina uz aktivnu podršku države i nevladnog sektora zemalja učesnica u TNA.



Slika 3: Najpoželjnije oblasti za buduće obuke preduzetnica u Srbiji

#### 5. ZAKLJUČAK

Postoji jasna potreba, koja proizlazi iz rezultata nekoliko različitih istraživanja sprovednih u poslednje vreme (sa namerom da se istraže potrebe MSP za nefinansijskim aspektima podrške poslovanju), za velikim



unapređenjima u sveobuhvatnom okruženju i sistemu u kome funkcionišu MSP u Srbiji. Kao što je u radu prikazano, istraživanjima potreba za obukom i drugom nefinansijskom podrškom dobijaju se značajni podaci i baze podataka koje omogućavaju kreiranje politika u oblasti podrške preduzetništvu. Neka od ovih istraživanja bave se i omogućavaju uvid u specifičnosti potreba preduzeća u vlasništvu žena, kojima se, kao društveno vrednom a ekonomski nedovoljno iskorišćenom resursu mora posvetiti posebna pažnja.

Naročitu pažnju treba dati dovoljnom i pravovremenom informisanju MSP. Kao što je praksa u mnogim zemljama, MSP se uglavnom oslanjaju na neformalne kanale, a to je izazov za pružaoce poslovnih usluga, koji se moraju približiti preduzećima koja koriste neformalne kanale informisanja. Neiskorišćeni su i mnogi kapaciteti pružalaca usluga obrazovanja, a naročito ustanove formalnog obrazovanja kao što su univerziteti, ili srednjoškolske ustanove. Jačanje kapaciteta MSP i poboljšanje stručnosti ljudskih resursa, ne bi trebalo prepustiti ad hoc organizovanim obukama. Kroz sistem obrazovanja i obuke treba da postane fleksibilan i da tačno odgovara na potrebe tržišta rada, tj. potreba preduzeća. Zbog svega navednog, neophodno je uspostaviti mehanizam na nacionalnom nivou koji bi se sistemski bavio mnogim preprekama sa kojima se u svom poslovanju suočavaju MSP, naročito ona u vlasništvu žena, a koje su evidentirane putem istraživanja potreba za obukom i/ili nefinansijskom podrškom razvoju poslovanja i jačanja kapaciteta MSP. To se svakako mora sprovesti u kombinaciji sa napretkom u pristupanju Evropskoj uniji, i pridržavanja već prihvaćenih obaveza iz ključnih EU dokumenata kao što je "Povelja o malim i srednjim preduzećima". Takođe, mora se uspostaviti vremenski okvir za svaku od željenih promena, a u cilju kreiranja povoljnog i podsticajnog okruženja za poslovanje u Srbiji.

## ZAHVALNOST

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u periodu 2011-2014, evb. III 47005.

## LITERATURA

- [1] Babović, M. (2012). Polazna studija o preduzetništvu žena u Srbiji. Beograd,
- [2] Heder, E., & Bobić, M. (ed.), (2014). Women Entrepreneurs' Training Needs Analyzes – A Systematic Approach in the Western Balkans, Turkey and Moldavia. SEECCEL, Zagreb
- [3] Heder, E., & Bobić, M. (ed.), (2013). Entrepreneurial Learning. Training Needs Analyzes for SMEs – Western Balkans and Turkey experience. SEECCEL, Zagreb
- [4] TNS Medium Gallup. (novembar 2013) Istraživanje o stanju, potrebama i problemima malih i srednjih preduzeća i preduzetnika (MSPP) u Srbiji u 2013. godini – Kvantitativno terensko istraživanje, Izveštaj pripremljen za potrebe Nacionalne agencije za regionalni razvoj
- [5] GTF (2011). Procena potreba za uslugama za podršku poslovanju MSP u Srbiji, Projekat unapređenja inovativnosti i konkurentnosti - ICIP, (projekat finansirala EU), završni izveštaj
- [6] EC (2008). Communication from the Commission to the Council, the EP, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Think Small First. A Small Business Act for Europe (SEC(2008) 2102). [on-line], Brussels, EC, c2012, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0394:FIN:EN:PDF>



## **SELEKCIJA I UPOTREBA INDIKATORA ZA RODNU ANALIZU U SEKTORU BEZBEDNOSTI REPUBLIKE SRBIJE**

### **SELECTION AND USE OF INDICATORS FOR GENDER ANALYSIS IN SERBIAN REPUBLIC OF SECURITY SECTOR**

BILJANA STOJKOVIĆ<sup>1</sup>, SNEŽANA NOVOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uprava za stratejsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane, Beograd, biljana.stojkovic@mod.gov.rs,

<sup>2</sup> Uprava za stručno obrazovanje, osposobljavanje, usavršavanje i nauku Sektora finansija, ljudskih resursa i zajedničkih poslova Ministarstva unutrašnjih poslova, Beograd, snezana.novovic@mup.gov.rs,

**Apstrakt:** Autorke u tekstu razmatraju način selekcije indikatora i njihovu upotrebu tokom akcionog istraživanja sprovedenog za potrebe izrade Nacionalnog akcionog plana za primenu Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija – Žene, mir i bezbednost u Republici Srbiji (2010-2015). Pored toga, u radu se iznose i podaci o različitim metodama i tehnikama korišćenim u procesu izrade i primene spomenutog plana u različitim ministarstvima, upravama i agenciji nadležnim za njegovo sprovođenje u Republici Srbiji. U radu se posebno naglašava potreba za revizijom usvojenih indikatora, koja je pokrenuta od strane Multisektorskog koordinacionog tela Vlade i analitičkih grupa i istraživačkih timova u sektoru bezbednosti kako bi se izvršilo ujednačavanje i pojednostavljivanje procesa merenja napretka u sprovođenju Nacionalnog akcionog plana. Ovaj rad sadrži iskustva koja su dragocena za značajan broj zemalja u svetu koje tek pristupaju procesu izrade svog nacionalnog akcionog plana za primenu Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija, ili pristupaju njenoj reviziji, uvodeći metode i tehnike koje su već našle svoju primenu u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji.

**Gljučne reči:** rod, ravnopravnost, indikatori, analiza.

**Abstract:** The authors of the paper considers how the selection of indicators and their use in action research conducted for the purpose of developing the National Action Plan for the implementation of Security Council Resolution 1325 of the United Nations - Women, Peace and Security in the Republic of Serbia (2010-2015). In addition, the paper presents data on the various methods and techniques used in the design and implementation of that plan, the various ministries, departments and agencies responsible for its implementation in the Republic of Serbia. The paper emphasizes the need for revision of the adopted indicators initiated by the Multisectoral coordinating body of the Government and analytical groups and research teams in the security sector in order to effect a harmonization and simplification of the process of measuring progress implementing in the National Action Plan. This paper contains the experiences that are valuable for a significant number of countries in the World that still approach the process of developing its national action plan for the implementation of Security Council Resolution 1325 of the United Nations or its audit approach, introducing methods and techniques that have already found their applications in the security sector in Republic of Serbia.

**Keywords:** race, gender, indicators, analysis.

#### **1. UVOD**

Vlada Republike Srbije, želeći da povodom desetogodišnjice od usvajanja Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija (SB UN) - Žene, mir i bezbednost, izradi svoj akcioni plan za implementaciju tog dokumenta u praksi, uvede rodnu perspektivu i osnaži ulogu žena u sektoru bezbednosti, donela je odluku, 24. juna 2010. godine, kojom je formirala Radnu grupu za izradu Nacionalnog akcionog plana (NAP) Republike Srbije za primenu Rezolucije 1325 SB UN u Republici Srbiji. U ambiciozno kratkom roku, od samo tri meseca, Radna grupa Vlade je, uz stručnu i administrativno-tehničku pomoć Radnog tima

Ministarstva odbrane u proširenom sastavu<sup>1</sup>, izradila nacrt tog dokumenta, kome je prethodilo akciono istraživanje, a u naredna tri meseca, kroz široku javnu raspravu i utvrđenu proceduru usaglašavanja nadležnih organa državne uprave, utvrdila i prihvatila sadržaj tog dokumenta. Vlada Republike Srbije usvojila je Nacionalni akcioni plan (NAP) Republike Srbije za primenu Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija - Žene, mir i bezbednost (2010-2015), 24. decembra 2010. godine<sup>2</sup> i od tada se ovaj operativni dokument sprovodi u praksi već četvrtu godinu. Potrebno je naglasiti da je tokom izrade i implementacije tog plana ostvarena konstruktivna saradnja predstavnika nadležnih ministarstava Vlade, posebno u sektoru bezbednosti, kao i saradnja organa državne uprave sa predstavnicima nevladinog sektora, akademske javnosti i međunarodnih organizacija, koja je podrazumevala i konsultacije oko izbora seta indikatora kojima bi se na najbolji način merio efekat primene ovog plana.

Imajući u vidu da je indikator pokazatelj koji može biti: veličina, broj, činjenica, stav ili shvatanje koje ukazuje na određeno stanje ili situaciju – indikatori izabrani za merenje implementacije NAP služe za merenje promene stanja, tj. položaja žena u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji tokom vremena, tj. od 2010. do 2015. godine. Ovi indikatori treba da pružaju konkretne pokazatelje rezultata 97 predviđenih aktivnosti, utvrđenih prema sedam opštih i 17 posebnih ciljeva u sedam utvrđenih poglavlja sprovođenja tog plana (Stojković, 2011:159). Pored toga, rodni indikatori predstavljaju i najznačajnije instrumente u monitoringu i evaluaciji razvojnog rada, te su stoga skloni promeni kako bi se postigao maksimalni efekat u efektivnosti i efikasnosti tog dokumenta (Adižes, 2008:423).

U ovom radu će se saopštiti kako je, tokom izrade NAP, došlo do selekcije početnih 76 indikatora u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, zatim kako je nakon seminara sa UN Women lista indikatora proširena za još dva indikatora i prihvaćena sa 78 indikatora od strane Multisektorskog koordinacionog tela Vlade i kako se i zašto i u Ministarstvu odbrane i pomenutom telu Vlade danas razmišlja o reviziji ove liste i svođenju na 33 indikatora koji bi bili univerzalno prihvatljivi, ne samo u sektoru bezbednosti u užem smislu, već i u svim ministarstvima Vlade Republike Srbije.

## 2. IZBOR INDIKATORA ZA POTREBE IZRADE NACIONALNOG AKCIONOG PLANA

U izboru rodni indikatora za akciono istraživanje, koje je prethodilo izradi NAP, pošlo se od saznanja da u Republici Srbiji postoje više normativnih, stratejskih i planskih dokumenata kojima je obuhvaćena zaštita žena, zabrana diskriminacije i rodna ravnopravnost, između ostalog, postoje i posebna Strategija<sup>3</sup> i Akcioni plan<sup>4</sup> za poboljšanje položaja žena i unapređivanje rodne ravnopravnosti, a koja se odnose na sve žene u Republici Srbiji. Stoga, NAP za primenu Rezolucije 1325 SB UN odnosi se samo na unapređenje položaja žena u sektoru bezbednosti i na zaštitu ljudskih prava žena u mirovnim operacijama, konfliktnim i post-konfliktnim situacijama. Za potrebe izrade NAP, u Upravi za stratejsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane prikupljena je naučna i dokumentarna građa koja se odnosi na Rezoluciju 1325 SB UN, uključujući i usvojene akcione planove stranih zemalja, čija su iskustva analizirana, kao i domaća planska i stratejska dokumenta koja bi mogla da se odnose na širi aspekt navedenog dokumenta u izradi. Posebno je značajno imati u vidu, da je izvršena analiza sadržaja relevantnih dokumenta UN,<sup>5</sup> Evropske unije (EU),<sup>6</sup> Severno-atlantskog saveza (NATO) i

<sup>1</sup> Radni tim MO u proširenom sastavu su činili, pored 15 predstavnika organizacionih jedinica Ministarstva odbrane i po jedan predstavnik: Saveta za rodnu ravnopravnost Vlade, Ministarstva unutrašnjih poslova, Ministarstva finansija - Uprava carina, Ministarstva pravde – Uprava za izvršenje krivičnih sankcija, Bezbednosno-informativne agencije, Ministarstva spoljnih poslova, Ministarstva rada i socijalne politike – Uprava za rodnu ravnopravnost, Ministarstva za državnu upravu i lokalnu samoupravu, Ministarstva za ljudska i manjinska prava, Ministarstva prosvete, Republičkog zavoda za statistiku Srbije. Pored toga, ostvarena je odlična saradnja i sa predstavnicima ostalih ministarstava, a posebno Ministarstva za Kosovo i Metohiju, Ministarstva kulture, Republičkog sekretarijata za zakonodavstvo, Odbora za ravnopravnost polova Narodne skupštine Srbije, ali i sa inicijatorima izrade NAP-a iz nevladinog sektora, pre svega Beogradskim fondom za političku izuzetnost (BFPE), kao i sa Beogradskim centrom za bezbednosnu politiku (BCBP), Misijom OEBS-a u Srbiji i UNIFEM-om (preimenovanim u UN Women).

<sup>2</sup> Vidi opširnije o sadržaju, opštim i posebnim ciljevima, aktivnostima, nosiocima aktivnosti i rokovima u sledećem izvoru: Nacionalni akcioni plan za primenu Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija – Žene, mir i bezbednost u Republici Srbiji (2010-2015) "Službeni glasnik Republike Srbije", broj 102/10, Beograd, 2010.

<sup>3</sup> Nacionalna strategija za poboljšanje položaja žena i unapređivanje rodne ravnopravnosti za period od 2009. do 2015. godine, "Službeni glasnik RS", broj 115/09, Beograd, 2009.

<sup>4</sup> Akcioni plan za poboljšanje položaja žena i unapređivanje rodne ravnopravnosti za period od 2010. do 2015. godine, "Službeni glasnik RS", broj 67/10, Beograd, 2010.

<sup>5</sup> U istraživanju je konsultovano oko 40 dokumenata UN, a najznačajnije su: Konvencija o eliminaciji svih oblika diskriminacije žena (CEDAW) "Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori", broj 11/1981; Pekinška deklaracija i

Partnerstva za mir (PzM)<sup>7</sup> i Organizacije za evropsku bezbednost (OEBS),<sup>8</sup> koja su u vezi sa pomenutom rezolucijom UN, kao i smernice za izradu dokumenta koje je sačinio nevladin sektor pod rukovodstvom Beogradskog fonda za političku izuzetnost (BFPE), u saradnji sa Kanadskim fondom, Fondom Ujedinjenih nacija za žene (UNIFEM) i OEBS-om<sup>9</sup>. Na kraju, u toj Upravi je i osmišljeno i sprovedeno akciono istraživanje za potrebe izrade ovog dokumenta i prva selekcija rodničkih indikatora. Cilj akcionog istraživanja, sprovedenog u avgustu i septembru 2010. godine je bio da se dobiju kvalifikovani i merljivi podaci o početnom stanju u pogledu položaja i zastupljenosti žena u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji, pre početka primene NAP-a, i na taj način da uspostavi pouzdan mehanizam merenja i kontrole napretka u primeni navedenog dokumenta u praksi do 2015. godine. Ne ulazeći ovom prilikom u sve detalje tog istraživanja, spomenućemo da je došlo do određenja predmeta istraživanja, definisan je hipotetički okvir, određeni ciljevi<sup>10</sup> i zadaci istraživanja, izabrane metode i indikatori istraživanja. Navedeno akciono istraživanje je sprovedeno u tri faze, na dve vrste uzoraka, uz upotrebu metode analize (analiza kvalitativnog sadržaja dokumenata tj. 123 jedinica iz primarnih izvora podataka i 83 jedinica iz sekundarnih izvora podataka i rodne analize), klasifikacije i generalizacije dobijenih podataka.

Istraživanje se odvijalo od avgusta do septembra meseca 2010. godine, uz angažovanje skoro svih članova Radnog tima Ministarstva odbrane u proširenom sastavu i stručnih tela i službi u sektoru bezbednosti. Ovo istraživanje oslanjalo se na upotrebu metoda: analize, klasifikacije i generalizacije dobijenih podataka.

Važno je napomenuti da je rodna analiza tada po prvi put primenjena jedinstveno u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji. U skladu sa sadržajem Rezolucije 1325 SB UN i Milenijumskim ciljevima razvoja UN, rodna analiza je morala da uključi indikatore koji će doprineti sagledavanju razlika u uslovima, potrebama, zastupljenosti, dostupnosti izvora razvoja za muškarce i žene, zatim udela u kontroli sredstava, moći i odlučivanja od strane žena i muškaraca u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji, kao i zaštiti žena u miru, ratu i post-konfliktnom oporavku društva, tj. u multinacionalnim operacijama u kojima učestvuju pripadnici oružanih snaga Republike Srbije.<sup>11</sup> S obzirom da je ona predstavljala objektivnu novinu u većem broju organizacionih delova sistema, selekcija indikatora je imala značajnu ulogu za realizaciju istraživanja.

Polaznu osnovu za formulisanje indikatora dale su preporuke o indikatorima rodne analize sadržane u Izveštaju Generalnog sekretara UN iz 2004. godine (Agenda item 55, 2004), zatim indikatori Saveta Evrope u vezi primene Rezolucije 1325 SB UN i predlozi indikatora sadržani u brošuri BFPE (UN SC Resolution 1325 in Serbia, 2009). Selekcijom navedenih indikatora i njihovim prilagođavanjem sistemu bezbednosti Republike Srbije došlo se do početne liste od 76 indikatora za čitav sektor bezbednosti u Republici Srbiji, zatim njihove distribucije u navedeni sektor i prikupljanja i obrade podataka sa pokazateljima postojećeg

---

platforma za akciju, usvojena na Četvrtoj svetskoj konferenciji o ženama, Peking, 1995. godine; Opcioni protokol uz Konvenciju o eliminaciji svih oblika diskriminacije žena "Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori", broj 13/02, Beograd, 2002; Agenda item 55: Follow-up to the outcome of the Millennium Summit General Assembly United Nations A/59/565, 04-60231 (E) 301104. New York, 2 December 2004.

<sup>6</sup> Npr. Deklaracija o jednakostima između žena i muškaraca kao fundamentalni kriterij demokratije, Savet Evrope, 1997; Konvencija o političkim pravima žena, 1953; Deklaracija o politici suprotstavljanja nasilju prema ženama u demokratskoj Evropi, EU, 1993; Evropska konvencija za zaštitu ljudskih prava i osnovnih sloboda, Savet Evrope, 1950. izmenjena u skladu sa Protokolom broj 11, Službeni list SCG – Međunarodni ugovori, broj 9/03, 5/05 i 7/05 – ispr.; Comprehensive approach to the EU implementation of the United Nations Security Council Resolutions 1325 and 1820 on women, peace and security, Council of the European Union, Brussels 1, December 2008, 15671/1/08 REV itd.

<sup>7</sup> Direktiva 40-1 NATO i PzM o ugradnji Rezolucije 1325 SB UN i perspektivama rodne ravnopravnosti u komandnoj strukturi NATO, uključujući i mere za zaštitu žena tokom oružanog sukoba, Bi-SC Directive 40-1, NATO, September 2009;

<sup>8</sup> Misli se na Akcioni plan OEBS-a iz 2004. za unapređenje ravnopravnosti polova, OEBS – Rešenje broj 14/04, Ministarsko veće, Sofija, 2004. godine – napomena autorki.

<sup>9</sup> United Nations Security Council Resolution 1325 in Serbia – on women, peace and security (2009), BFPE, Belgrade; (Srb) Rezolucija 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija u Srbiji - o ženama, miru i bezbednosti – Beogradski fond za političku izuzetnost, Beograd, str 18-22.

<sup>10</sup> Preciznije rečeno, operativni cilj je bio stvaranje naučnih i metodoloških pretpostavki za izradu Nacionalnog akcionog plana Vlade Republike Srbije za sprovođenje Rezolucije 1325 SB UN; Praktični cilj koji se usredsredio na uspostavljanje mernih jedinica, indikatora, procedura, aktivnosti i određivanje nosilaca aktivnosti i njihovih partnera, vrste i učestalosti nadzora i izveštavanja, kao i definisanje rokova za realizaciju predviđenih ciljeva; Društveni cilj je bio poboljšanje položaja žena u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji, na osnovu primene NAP-a u praksi.

<sup>11</sup> Pekinška deklaracija i platforma za akciju, usvojena na Četvrtoj svetskoj konferenciji o ženama, poglavlja: Žene i oružani sukobi i Žene na vlasti i odlučivanju, 1995. godine.

stanja koja je izvršena u Upravi za strategijsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane za potrebe izrade NAP.

Pored toga, Radni tim Ministarstva odbrane je polazeći od te liste indikatora sačinio i specifikaciju posebnih 76 indikatora za organizacione delove Ministarstva odbrane, koji su dostavljeni organizacionim celinama tog ministarstva uz Rešenje o formiranju Analitičke grupe MO i VS, u aprilu 2011. godine, budući da je ta grupa bila prvo institucionalno telo formirano u Republici Srbiji za praćenje, analizu i izveštavanje o sprovođenju NAP. Ubrzo su formirane takve grupe ili istraživački timovi i u Ministarstvu unutrašnjih poslova, Upravi carina Ministarstva finansija, Upravi za izvršenje krivičnih sankcija Ministarstva pravde i državne uprave i Bezbednosno-informativnoj agenciji. Ova lista je, u većini pomenutih organa državne uprave proširena sa još dva indikatora koji su razrađeni na Seminaru o indikatorima za primenu Rezolucije 1325 SB UN, realizovanog u junu 2011. godine u Institutu za strategijska istraživanja Ministarstva odbrane u saradnji sa UN Women, uz učešće predstavnika sektora bezbednosti. Navedenu listu od 78 indikatora, uz male modifikacije i uopštavanja, prihvatilo je i Multisektorsko koordinaciono telo Vlade za sprovođenje NAP i preporučilo je za jedinstvenu upotrebu u sprovođenju NAP svim nadležnim organima državne uprave u Republici Srbiji.

### **3. SELEKCIJA I AKCIONO UJEDNACAVANJE INDIKATORA**

Radi veće konkretizacije navedenog problema i uspostavljanja sistema merljivosti po istim parametrima, a time i precizne kontrole napretka u ostvarivanju ciljeva NAP-a, a pre svega radi osnaživanja uloge žena i unapređenje rodne ravnopravnosti u društvu, lista indikatora NAP-a za primenu Rezolucije 1325 SB UN, sistematizovana je u sedam grupa indikatora, po sledećim poglavljima tog dokumenta:

- Institucije – formiranje institucionalnih mehanizma za sprovođenje NAP-a;
- Zastupljenost – povećanje zastupljenosti žena u sektoru bezbednosti i njihovog uticaja na pitanja koja se odnose na mir i bezbednost;
- Odlučivanje – povećanje učešća i uticaja žena na odlučivanje u odbrani i bezbednosti;
- Uključivanje – povećanje učešća žena u rešavanju konflikata, post-konfliktnih situacija i veće učešće žena u multinacionalnim operacijama;
- Zaštita – instrumenti pravne zaštite žena;
- Edukacija – obrazovanje i usavršavanje pripadnika sektora bezbednosti;
- Mediji – medijska podrška ciljevima Nacionalnog akcionog plana.

U priložima NAP sadržana je i tabela za ažuriranje podataka na polugodišnjem i godišnjem nivou, koja se popunjava upravo zahvaljujući pomenutim grupama indikatora.

Iako se navedeni pristup mogao podrazumevati u izradi i primeni operativnih akata, on je originalan i inovativan. Na Međunarodnoj konferenciji NATO pod nazivom „Uvođenje rodne perspektive: indikatori za primenu UN Rezolucije 1325“ (The UNSCR 1325 and NATO Project Gender Mainstreaming: Indicators for the Implementation of UNSCR 1325 and its Related Resolutions), održanoj 26. i 27. maja 2014. godine u Beogradu, između ostalog, učesnici konferencije su izrazili interesovanje za iskustva Republike Srbije. Na navedenim skupu se mogao čuti podatak da je u državama članicama NATO svoje akcione planove usvojilo 18 od 28 država članica, kao i 12 od 41 države sa statusom partnera NATO. Većina ovih planova nema razrađene indikatore za merenje napretka u primeni Rezolucije 1325 SB UN, tako da su iskustva Republike Srbije u formulisanju indikatora za rodnu analizu i njihovu primenu u praksi vrlo korisna za zemlje članice NATO i PzM.

### **4. ZAKLJUČAK**

Unapređenje rodne ravnopravnosti u sektoru bezbednosti jedno je od aktuelnih pitanja reforme sektora bezbednosti u kome je Ministarstvo odbrane imalo važnu ulogu, s obzirom da je bilo koordinator aktivnosti za izradu Nacionalnog akcionog plana za primenu Rezolucije 1325 SB UN u Republici Srbiji (2010-2015). Ovaj dokument, bez obzira na kratak rok njegove izrade, proizvod je zajedničkog rada različitih aktera iz sektora bezbednosti, ostalih nadležnih ministarstava Vlade, Narodne skupštine Srbije, akademske javnosti, nevladinog sektora i zainteresovanih međunarodnih organizacija. Dokument je izrađen, na osnovu odluke Vlade, preporuka nevladinog sektora i na osnovu sprovedenog istraživanja i rodne analize u sektoru bezbednosti u Republici Srbiji, ugrađujući standarde Ujedinjenih nacija, Evropske unije, OEBS-a i PzM.

Republika Srbija, kao članica UN, OEBS i PzM i potencijalna članica Evropske unije (EU), uvažila je činjenicu da su navedene međunarodne organizacije u svojim dokumentima istakle značaj ravnopravnog učestvovanja muškaraca i žena u prevenciji i rešavanju konflikata i promovisanja kulture trajnog i održivog mira, pa je uvažila iskustva i usvojena dokumenta pomenutih organizacija, ugrađujući ih u svoj nacionalni

plan. Stoga, usvajanjem i implementacijom Nacionalnog akcionog plana u praksi, radi primene Rezolucije 1325 SB UN u Republici Srbiji, potvrđena je namera Vlade Republike Srbije da aktivno doprinosi procesima izgradnje mira, stabilnosti i bezbednosti, pre svega u svom neposrednom okruženju – u regionu jugoistočne Evrope, zatim i u Evropi – kroz sveobuhvatan proces evropskih integracija, i u svetu – učešćem predstavnika Republike Srbije u multinacionalnim operacijama i na međunarodnim skupovima posvećenim miru, položaju žena i bezbednosti, ali i procesu održivog društvenog razvoja koji ne može biti stabilan bez uvažavanja interesa i potreba većinske populacije, tj. žena.

## LITERATURA

- [1] Adižes, I. (2008). Upravljanje promenama: moć uzajamnog poštovanja i poverenja u privatnom i porodičnom životu, poslu i društvu (priručnik za menadžment) Osmi razgovor, „ASEE”, Novi Sad, str. 423-429.
- [2] Agenda item 55: Follow-up to the outcome of the Millennium Summit General Assembly United Nations (December 2. 2004). A/59/565, 04-60231 (E) 301104, New York. USA.
- [3] Akcioni plan za poboljšanje položaja žena i unapređivanje rodne ravnopravnosti za period od 2010. do 2015. godine (2010). „Službeni glasnik RS”, broj 67/10, Beograd.
- [4] Akcioni plan OEBS-a iz 2004. za unapređenje ravnopravnosti polova (2004). OEBS – Rešenje broj 14/04, Ministarsko veće, Sofija.
- [5] Comprehensive approach to the EU implementation of the United Nations Security Council Resolutions 1325 and 1820 on women, peace and security (December 2008). Council of the European Union, 15671/1/08 REV1, Brussels.
- [6] Deklaracija o jednakostima između žena i muškaraca kao fundamentalni kriterij demokratije (1997). Savet Evrope.
- [7] Deklaracija o politici suprotstavljanja nasilju prema ženama u demokratskoj Evropi (1993). EU.
- [8] Direktiva 40-1 NATO i PzM o ugradnji Rezolucije 1325 SB UN i perspektivama rodne ravnopravnosti u komandnoj strukturi NATO, uključujući i mere za zaštitu žena tokom oružanog sukoba, (September 2009). Bi-SC Directive 40-1, NATO.
- [9] Evropska konvencija za zaštitu ljudskih prava i osnovnih sloboda Savet Evrope (1950), izmenjena u skladu sa Protokolom broj 11, Službeni list SCG – Međunarodni ugovori, broj 9/03, 5/05 i 7/05 – ispr..
- [10] Nacionalni akcioni plan za primenu Rezolucije 1325 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija – Žene, mir i bezbednost u Republici Srbiji (2010-2015), (2010). „Službeni glasnik Republike Srbije”, broj 102/10, Beograd.
- [11] Nacionalna strategija za poboljšanje položaja žena i unapređivanje rodne ravnopravnosti za period od 2009. do 2015. godine (2009). „Službeni glasnik RS”, broj 115/09, Beograd.
- [12] Napredak u realizaciji Milenijumskih ciljeva razvoja u Republici Srbiji (2009). Vlada Republike Srbije i Ujedinjene nacije, UNDP Serbia, Beograd.
- [13] Konvencija o eliminaciji svih oblika diskriminacije žena (CEDAW), (1981). „Službeni list SFRJ – Međunarodni ugovori”, broj 11/1981;
- [14] Opcioni protokol uz Konvenciju o eliminaciji svih oblika diskriminacije žena, (2002). „Službeni list SRJ – Međunarodni ugovori”, broj 13/02, Beograd.
- [15] Pekinška deklaracija i platforma za akciju, usvojena na Četvrtoj svetskoj konferenciji o ženama (1995). Peking.
- [16] Priručnik za uvođenje principa rodne ravnopravnosti u javne politike, (2009). Pokrajinski sekretarijat za rad, zapošljavanje i ravnopravnost polova, Biblioteka Matice srpske, Novi Sad.
- [17] Pekinška deklaracija i platforma za akciju (1995). Četvrta svetska konferencija o ženama, Peking.
- [18] Stojković, B. (2011). Položaj žena u sektoru bezbednosti Republike Srbije, „Vojno delo” Jesen 2011. Medija centar „Odbrana” , Beograd, str. 159.
- [19] United Nations Security Council Resolution 1325 in Serbia – on women, peace and security, BFPE; Belgrade, (2009). (Srb) Rezolucija 1325 Saveta besbednosti Ujedinjenih nacija u Srbiji - o ženama, miru i bezbednosti (2009), Beogradski fond za političku izuzetnost, Beograd, str 18-22.

## OCENA KVALITETA NAUČNIH PUBLIKACIJA PRIMENOM H-INDEKSA

### ASSESSMENT OF SCIENTIFIC PUBLICATION QUALITY USING THE H-INDEX

DIJANA ŠTRBAC<sup>1</sup>, ĐURO KUTLAČA<sup>1</sup>, LAZAR ŽIVKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, {dijana.strbac, djuro.kutlaca, lazar.zivkovic}@pupin.rs

**Rezime:** Bibliometrijskom analizom naučnih publikacija dolazi se do informacija neophodnih za donošenje odluka u domenu politike istraživanja i razvoja. U radu je korišćen H-indeks za ocenu kvaliteta naučnih radova zemalja Zapadnog Balkana. Predstavljani su podaci o broju radova, broju citata i H-indeksu za odabrane naučne oblasti preuzete iz Scopus baze. Upporednom analizom ovih indikatora dolazi se do zaključaka o tome koje zemlje su lideri u pojedinim oblastima nauke.

**Ključne reči:** vrednovanje naučnog rada, H-indeks, Zapadni Balkan.

**Abstract:** Bibliometric analysis of scientific publications gives information necessary for decision making in the field of research and development policy. In this paper we used the H-index for assessing quality of scientific papers of Western Balkan countries. For selected scientific fields taken from Scopus database are presented data on number of papers, number of citations and the H-index. Comparative analysis of these indicators provides conclusions about leading countries in certain fields of science.

**Keywords:** evaluation of scientific activities, H-index, Western Balkan.

## 1. UVOD

Vrednovanje naučnog rada predstavlja delatnost koja se u poslednjih nekoliko decenija ubrzano razvija. Jedan od razloga je svakako težnja da se stvore mehanizmi za dobijanje što većih rezultata na osnovu sredstava uloženi u istraživanje i razvoj. Najveći broj država u svetu insistira na odgovornosti u naučnoistraživačkom sektoru, kao i na efikasnom korišćenju budžetskih sredstava opredeljenih za te svrhe. Evaluacija naučnog rada je neophodna za različite namene: alokaciju finansijskih sredstava, promenu veličine i namene istraživačkih organizacija, nagrađivanje, ocenjivanje zaposlenih, procenu kvaliteta časopisa ili konferencija i sl.

Jedan od načina za vrednovanje istraživanja jeste bibliometrijska analiza koja predstavlja analizu rezultata nauke i tehnologije. Ona koristi kvantitativnu analizu i mapiranje u cilju utvrđivanja šema publikovanja u određenim naučnim oblastima. Najpoznatiji bibliometrijski metodi su broj radova i citata, impakt faktor, H-indeks i drugi. Kvantitativna evaluacija naučnih publikacija i citata danas se primenjuje u gotovo svim zemljama sveta. Bibliometrija se koristi kao alat za vrednovanje istraživačkih rezultata ne samo na nivou institucija koje se bave naučno istraživačkim radom, već i od strane donosilaca odluka i kreatora politika, bibliotekara i samih istraživača.

Kako ne postoji jedinstven način za ocenu kvaliteta naučnih publikacija, uglavnom se koristi kombinacija nekoliko bibliometrijskih metoda uz stalnu težnju da se izvrši njihovo poboljšanje. U ovom radu je primenjen H-indeks u cilju evaluacije naučnog outputa u odabranim oblastima u državama Zapadnog Balkana. Ovaj indeks je jedan od najčešće korišćenih mera zbog činjenice da uzima u obzir kako broj naučnih radova, tako i citiranost.

## 2. MERENJE KVALITETA NAUČNIH PUBLIKACIJA POMOĆU H-INDEKSA

H-indeks je pokazatelj naučnog uspeha istraživača koji uzima u obzir: naučnu produktivnost istraživača (merenu brojem objavljenih radova) i uticaj (mereno brojem citata tih radova u drugim radovima). Može se računati za svakog pojedinačnog istraživača, grupu istraživača i instituciju. Ime potiče od fizičara Jorge Hirscha koji je ovu meru predložio (KoBSON).

Hiršov indeks predstavlja broj koji govori da je posmatrani naučnik objavio h radova od kojih je svaki bio citiran najmanje h puta. Što je broj veći, to su i radovi posmatranog naučnika u proseku uticajniji. Na primer, H-indeks od 20 znači da je naučnik objavio 20 radova i da svaki od njih ima bar 20 citata.

Prednost H-indeksa u odnosu na ukupan broj citata je u tome što ukupan broj citata ne daje jasnu sliku o uticaju radova, jer u velikoj meri zavisi od malog broja radova sa velikim brojem citata ili od velikog broja radova bez citata (Kutlača, Babić, Živković and Štrbac 2014). Dakle, H-indeks nije osetljiv na radove sa malim brojem citata i na jedan ili nekoliko radova sa velikim brojem citata. Naučnik koji ima nekoliko visoko citiranih radova ili mnogo radova koji nisu puno citirani imaće i nizak H-indeks. Zapravo, ovaj indeks favorizuje istraživače koji kontinuirano objavljuju radove sa trajnim i iznad prosečnim uticajem.

Glavna prednost H-indeksa je što meri uticaj kumulativnog naučnog doprinosa pojedinog istraživača i uspešno zaobilazi nedostatke prethodno korišćenih pokazatelja - broj radova, broj citata, citati po radu, broj značajnih radova i dr (Hirsch 2005). Još jedna prednost ovog indeksa je lakoća izračunavanja. Potrebno je samo znati broj radova i broj citata svakog rada. Osim toga, u najpoznatijim indeksnim bazama naučnih radova (*WoS* i *Scopus*) ovaj indeks se automatski izračunava za odabrani set podataka. Kombinujući mere kvantiteta (broj publikacija) i uticaja (broj citata) H-indeks objektivno sagledava kvalitet naučnog outputa i time može biti izuzetno značajan prilikom donošenja odluka o unapređivanju, alokaciji sredstava, dodeli nagrada i sl.

Većina autora osporava isključivo korišćenje H-indeksa i ističe da ne treba procenjivati istraživače samo na osnovu jedne mere, jer je neophodno da procena ima multidimenzionalni karakter. Osim toga, H-indeks ne pravi razliku između aktivnih i neaktivnih naučnika, kao ni razliku između radova koji su bili značajni u prošlosti i radova koji su sada aktuelni i obrazuju trenutnu naučnu misao. Pošto se vrednost H-indeksa povećava tokom vremena, logično je da će indeks zavisiti od godina starosti istraživača (Sidiropoulos, Katsaros and Manolopoulos 2006).

Postoje i značajne razlike između H-indeksa u različitim naučnim oblastima i zato treba biti oprezan pri njegovom korišćenju za poređenja između oblasti. Reč je o postojanju različitih šema citiranja u svakoj naučnoj disciplini. Ove šeme citiranja zavise od prosečnog broja citata u radu u određenoj oblasti, prosečnog broja citata po radu u datoj oblasti, prosečnog broja radova po svakom autoru, broja autora u oblasti, atraktivnosti istraživačke oblasti. Zbog toga treba očekivati da H-indeks u nekim oblastima bude viši, a u drugim niži. Pošto H-indeks zavisi od naučne discipline i vremena, može se koristiti za upoređivanje relativnog značaja naučnika samo ukoliko pripadaju sličnim naučnim oblastima i imaju isti broj godina naučnoistraživačkog iskustva.

Costas i Bordons (2007) su sumarno predstavili ograničenja H-indeksa:

- postoje razlike u vrednostima H-indeksa u različitim naučnim oblastima zbog razlika u citatima i produktivnosti, tako da ga ne bi trebalo koristiti za poređenje naučnika iz različitih oblasti;
- indeks zavisi od trajanja karijere jednog naučnika, jer se broj publikacija i citata povećava tokom vremena;
- visoko citirani radovi su bitni za određivanje H-indeksa, ali kad se jednom odredi da pripadaju top h radovima, nebitan je njihov broj citata;
- kako se H-indeks lako određuje, javlja se neadekvatnost korišćenja, u smislu oslanjanja samo na ovaj pokazatelj u proceni naučnog uspeha;
- upotreba H-indeksa može izazvati promene u ponašanju naučnika prilikom pisanja radova u vidu veštačkog povećavanja samocitata;
- postoje i tehnička ograničenja, kao što su teškoće da se utvrdi ceo output istraživača koji imaju dosta česta imena ili da li samocitate treba ukloniti ili ne.

Zbog nedostataka ovog indeksa, kreirane su njegove brojne modifikacije i prilagođavanja. Hirsch je predložio da se H-indeks koristi na mikro nivou, odnosno za merenje naučnog outputa individualnog istraživača. Međutim, ovaj indeks je veoma brzo počeo da se koristi i na mezo nivou (za utvrđivanje naučnog doprinosa istraživačke grupe ili institucije) i na nivou države (makro nivou). Na primer, Van Raan (2006) koristi H-indeks za poređenje 147 univerzitetskih istraživačkih grupa iz oblasti hemije i hemijskog inženjerstva u Holandiji. Ovaj pokazatelj je korišćen i za rangiranje francuskih fakulteta iz oblasti ekonomije i menadžmenta (Courtault, Hayek, Rimboux and Zhu 2010), kao i za proučavanje naučnog doprinosa jednog fakulteta, odnosno pojedinih departmana (Torro-Alves, Herculano, Terçariol, Kinouchi Filho and Graeff 2007).

H-indeks je takođe predložen za procenu kvaliteta naučnih časopisa kao indikatora koji će se koristiti kao uporedna mera impakt faktoru (Braun, Glänzel and Schubert 2006). Nakon toga slede brojni radovi koji koriste ovaj indeks za rangiranje časopisa iz brojnih oblasti: šumarstvo (Vanclay 2008) biznis i menadžment (Mingers, Macri and Petrovici 2012) i dr.

H-indeks se uspešno koristi i za makro analize. Na primer, Jacsó (2009) koristi ovaj indikator za poređenje 10 južnoameričkih država na osnovu podataka iz *WoS*-a i *Scopus*-a. Cilj je rangiranje zemalja u



pogledu naučne produktivnosti. Studija (Csajbok, Berhidi, Vasas and Schubert 2007) upoređuje EU zemlje u različitim naučnim disciplinama na osnovu H-indeksa.

### 3. METODOLOGIJA

U radu je korišćen H-indeks za ocenu kvaliteta naučnih publikacija zemalja Zapadnog Balkana u četiri naučne oblasti: Računarske nauke, Društvene nauke, Poljoprivredne i biološke nauke i Medicina. Za analizu je uzet vremenski period od 2005-2010. godine.

Kao izvor podataka je korišćena *Scopus* baza kao i njena klasifikacija na naučne oblasti. Prilikom pretrage uzeti su sledeći kriterijumi: države u polju *Affiliation country*, vremenski period od 2005-2010. godine i svi dokumenti (*all documents*).

*Scopus* baza predstavlja jednu od najvećih baza apstrakata i citata naučne literature na svetu. Posедуje brojne alate za praćenje, analizu i vizuelizaciju istraživanja. Obuhvata oko 50 miliona zapisa, 21000 naslova od preko 5000 izdavača (*Scopus, Facts & Figures*). *Scopus* klasifikuje sve publikacije u 4 glavne kategorije: *Physical Sciences, Life Sciences, Health Sciences, Social Sciences* i *Humanities*. Svaka od ovih kategorija uključuje uže naučne oblasti tako da postoji 27 predmetnih oblasti (*Subject Areas*). U ovom istraživanju su odabrane četiri naučne oblasti, odnosno iz svake od 4 glavne kategorije po jedna oblast koja ima najveći broj publikacija.

### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Na osnovu pretrage radova prema zemljama porekla dobijeni su podaci o ukupnom broju radova, broju citata i H-indeksu za zemlje Zapadnog Balkana od 2005-2010. godine. Podaci su prikazani po državama i naučnim oblastima (Tabela 1).

**Tabela 1:** Računarske nauke u zemljama Zapadnog Balkana od 2005-2010.

Oblast	Zemlja	Broj naučnih radova	Ukupan broj citata	H-indeks
Računarske nauke	Srbija	1982	6014	28
	Crna Gora	134	674	13
	Hrvatska	2438	5128	27
	Makedonija	490	890	12
	Bosna i Hercegovina	390	653	11
	Slovenija	2749	18179	46
	Albanija	46	121	7
Društvene nauke	Srbija	754	1871	20
	Crna Gora	29	34	3
	Hrvatska	3588	8433	25
	Makedonija	186	447	9
	Bosna i Hercegovina	345	946	13
	Slovenija	2143	5931	28
	Albanija	56	206	8
Poljoprivredne i biološke nauke	Srbija	1580	8620	32
	Crna Gora	79	352	9
	Hrvatska	2946	18252	45
	Makedonija	168	1402	19
	Bosna i Hercegovina	177	1362	17
	Slovenija	2014	22889	52
	Albanija	83	649	15
Medicina	Srbija	3629	25187	54
	Crna Gora	95	434	10
	Hrvatska	7536	52149	77
	Makedonija	676	5399	34
	Bosna i Hercegovina	937	5002	30
	Slovenija	3779	48322	81
	Albanija	166	1524	22

Izvor: *Scopus*

Poređenje država prema broju publikacija je validno samo ako se prikaže u odnosu na broj istraživača ili broj stanovnika u jednoj državi. Otuda ove podatke treba uzimati sa izvesnom rezervom i obavezno



uključivati i druge indikatore. Broj citata u velikoj meri zavisi od broja radova, ali i od postojanja visokocitiranih radova. Zbog toga je u ovom istraživanju H-indeks odabran kao najrealniji pokazatelj kvaliteta naučnog autputa.

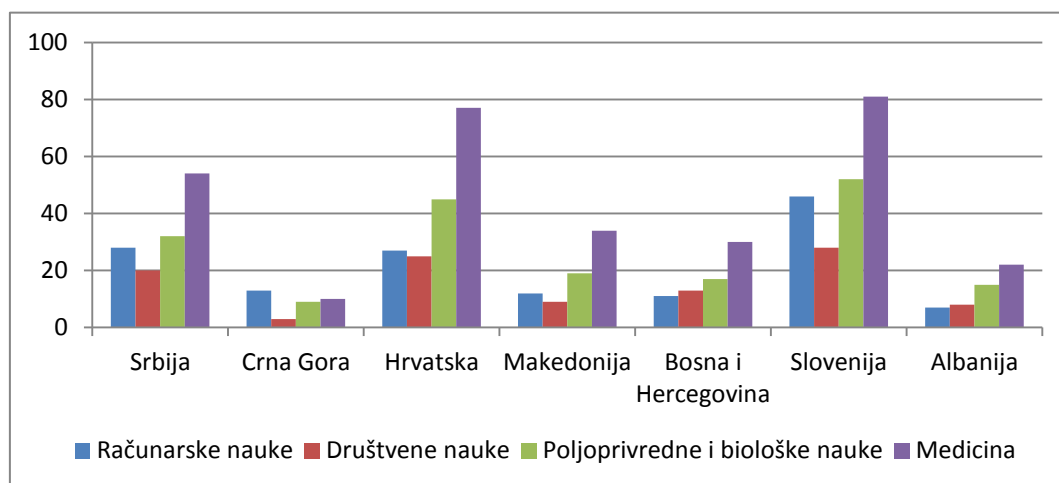
U oblasti Računarskih nauka najveći broj naučnih radova imaju Slovenija, Hrvatska i Srbija. Publikacije iz Slovenije imaju najveći H-indeks što govori o najvećem kvalitetu njihovih istraživanja. Nakon Slovenije, najveći H-indeks imaju Srbija i Hrvatska. Albanija, BiH i Crna Gora imaju najmanji broj radova, a takođe i najmanji H-indeks.

U kategoriji Društvenih nauka najveći broj radova ima Hrvatska (3588). Ipak, Slovenija sa manjim brojem radova ima veći H-indeks što govori o većem uticaju radova iz ove zemlje. Srbija sa 754 rada u ovoj oblasti ima H-indeks 20 što je svakako dobar rezultat u poređenju sa ostalim državama Zapadnog Balkana koje imaju skroman broj radova, kao i nizak H-indeks.

Najveći broj radova u oblasti Poljoprivrednih i bioloških nauka ima Hrvatska, ali je ipak najveći broj citata i najveći H-indeks kod Slovenije. Najskromnije rezultate imaju Crna Gora i Albanija.

U oblasti Medicine sa čak 7536 radova Hrvatska predstavlja državu sa najvećom naučnom produkcijom i najvećim brojem citata. Međutim, Slovenija sa duplo manjim brojem radova ima veći H-indeks čime se izvodi zaključak da poseduje veći broj kvalitetnih radova koji su više uticali na naučnu javnost u smislu da su više puta citirani.

Ukoliko posmatramo H-indeks po državama (Slika 1) primetno je da u svim naučnim oblastima Slovenija ima najveći H-indeks što govori o njenoj ubedljivoj dominaciji u regionu. Zatim sledi Hrvatska koja u svim oblastima (osim u Računarskim naukama) ima H-indeks koji je najveći posle Slovenije. Srbija se nalazi na trećem mestu po visini H-indeksa među odabranim državama, osim kada je reč o Računarskim naukama gde se nalazi na drugoj poziciji. Preostale države imaju izuzetno skroman naučni autput, a samim tim i mali broj citata i H-indeks. U naročito nepovoljnom položaju su Crna Gora i Albanija koje u pojedinim naučnim oblastima imaju manje od 100 radova u šestogodišnjem periodu.



**Slika 1:** H-indeks u zemljama Zapadnog Balkana po naučnim oblastima

Treba imati u vidu da predstavljeno istraživanje ima izvesna ograničenja. Pre svega, kada je reč o Scopus bazi kao izvoru podataka. Naime, reč je o jednoj od baza sa najvećim obuhvatom na svetu, ali svakako ne uključuje sve naučne radove relevantne za odabrane oblasti i države. Takođe, imajući u vidu ograničenja H-indeksa, treba ga koristiti u kombinaciji sa drugom pokazateljima koji prevazilaze te nedostatke. Istraživanje predstavlja kompleksan i multidimezionalan proces koji ne može biti u potpunosti procenjen samo na osnovu jednog indikatora.

## 5. ZAKLJUČAK

Vrednovanje istraživačkih rezultata ne treba da bude cilj sam po sebi, već sredstvo za rešavanje ključnih pitanja iz domena naučnoistraživačke politike. Evaluaciju istraživanja bi trebalo primenjivati za podizanje procesa donošenja odluka na racionalnije osnove koje će doprineti boljem razumevanju svih aktera uključenih u proces. Drugim rečima, rezultate dobijene vrednovanjem nauke treba koristiti za upravljanje različitim nivoima istraživačkog sistema pre nego kao instrument pozitivne ili negativne ocene pojedinaca i

institucija. Isticanjem problema i davanjem preporuka, vrednovanje nauke i tehnologije predstavlja bazu za uspešnije donošenje odluka.

U cilju ocene kvaliteta objavljenih naučnih radova razvijen je veliki broj indikatora koji su bazirani na različitim odnosima između broja publikacija i broja citata. Jedan od najviše korišćenih je Hiršov indeks koji uspešno otklanja brojne nedostatke prethodnih pokazatelja. Sam H-indeks takođe ima nedostatke pre svega u tome što ne pravi razliku između aktivnih i neaktivnih naučnika, kao i što ne pravi razliku između radova koji su bili značajni u prošlosti i onih koji oblikuju aktuelne naučne trendove.

Poređenjem H-indeksa u različitim naučnim oblastima u zemljama Zapadnog Balkana može se zaključiti da je kvalitet naučnih radova u Sloveniji najveći i to u svim naučnim oblastima. Zatim slede Hrvatska i Srbija koje imaju nešto manji H-indeks. Preostale države imaju izuzetno skroman naučni output, a samim tim i mali broj citata i H-indeks.

## ZAHVALNOST

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u periodu 2011-2014, evb. III 47005.

## LITERATURA

- [1] KoBSON, preuzeto sa  
[http://kobson.nb.rs/vrednovanje/vrednovanje/h\\_-\\_index.120.html](http://kobson.nb.rs/vrednovanje/vrednovanje/h_-_index.120.html)
- [2] Hirsch, J.E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 102(46), 16569–16572.
- [3] Kutlača, Dj., Babić, D., Živković, L. & Štrbac, D. (2014). Analysis of quantitative and qualitative indicators of SEE countries scientific output. *Scientometrics*, DOI 10.1007/s11192-014-1290-y.
- [4] Sidiropoulos, A., Katsaros, D. & Manolopoulos, Y. (2006). Generalized h-index for disclosing latent facts in citation networks. *Scientometrics*, Vol.72, No. 2, 253-280.
- [5] Costas, R. & Bordons, M. (2007). The h-index: Advantages, limitations and its relation with other bibliometric indicators at the micro level. *Journal of Informetrics* 1, 193–203.
- [6] Van Raan, A.F.J. (2006). Comparison of the Hirsch-index with standard bibliometric indicators and with peer judgment for 147 chemistry research groups. *Scientometrics*, 67(3), 491–502.
- [7] Courtault, J., Hayek, N., Rimbaut, E. & Zhu, T. (2010). Research in economics and management in France: A bibliometric study using the h-index. *The Journal of Socio-Economics* 39, 329–337.
- [8] Torro-Alves, N., Herculano, R.D., Terçariol, C.A.S., Kinouchi Filho, O. & Graeff, C.F.O. (2007). Hirsch's index: a case study conducted at the Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo”, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 40: 1529-1536.
- [9] Braun, T., Glänzel, W., & Schubert, A. (2006). A Hirsch-type index for journals. *Scientometrics*, 69(1), 169–173.
- [10] Vanclay, J. (2008). Ranking forestry journals using the h-index. *Journal of Informetrics* 2, 326–334.
- [11] Mingers, J., Macri, F. & Petrovici, D. (2012). Using the h-index to measure the quality of journals in the field of business and management. *Information Processing and Management* 48, 234–241.
- [12] Jacsó, P. (2009). The h-index for countries in Web of Science and Scopus. *Online Information Review* 33 (4), 831-837.
- [13] Csajbok, E., Berhidi, A., Vasas, L. & Schubert, A. (2007). Hirsch-index for countries based on Essential Science Indicators data. *Scientometrics*, Vol. 73, No. 1 (2007) 91–117.
- [14] Scopus, Facts & Figures, preuzeto sa  
[http://www.elsevier.com/\\_\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/148714/scopus\\_facts\\_and\\_figures.pdf](http://www.elsevier.com/___data/assets/pdf_file/0007/148714/scopus_facts_and_figures.pdf)



## NOSTRIFIKACIJA, ISTORIJA I PRIMENA U VISOKOOBRAZOVNOM SISTEMU SRBIJE

### VALIDATION, HISTORY AND APPLICATION IN SERBIAN EDUCATIONAL SYSTEM

NENA A. VASOJEVIĆ<sup>1</sup>, ĐURO KUTLAČA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Mihajlo Pupin, Beograd, {nena.vasojevic, djuro.kutlaca}@pupin.rs

**Rezime:** U trenutku kada se naša zemlja uključila u opšte evropske tokove, a samim tim i u obrazovne procese i reforme, koji su u Evropi u znatnoj meri realizovani, potrebno je preduzeti korake kako bismo uz ostale zemlje, članice Evropske unije, omogućili stanovništvu čitavog ovog regiona lakši pristup resursima drugih zemalja, kao i njihovo obrazovanje u institucijama drugih država. Svi ovi faktori podstiču akademsku mobilnost među zemljama EU, a takođe potvrđuju vitalnu ulogu obrazovanja u promovisanju mira, tolerancije, stvaranja klime poverenja među narodima i nacijama. Važno mesto u obrazovnom procesu i reformi zauzima pitanje nostrifikacije/priznavanja diploma. Cilj ovog rada je analiza procesa nostrifikacije u visokoobrazovnom sistemu Srbije i načina na koji se sprovodi ovaj proces danas u Srbiji i u Evropi.

**Cljučne reči:** Nostrifikacija, priznavanje, obrazovni sistem, diploma, zakon.

**Abstract:** At a time when our country is involved in the general European trends, and therefore in the educational processes and reforms that are in Europe substantially realized, it is necessary to take steps in order to keep the pace with other countries, members of the European Union, and to provide easier access to the resources of other countries to the entire population of this region, as well as their education in institutions in other countries. All of these factors encourage academic mobility among EU countries, and also acknowledge the vital role of education in promoting peace, tolerance, creating a climate of confidence between people and nations. An important role in the educational process and reforms takes up the question of validation / recognition diploma. The aim of this paper is to analyze the process of validation in the higher educational system in Serbia and the way in which this process on today carried out in Serbia and Europe.

**Keywords:** Validation, recognition, education system, diploma, law.

## 1. UVOD

U srednjem veku i studenti i naučnici slobodno su se kretali od jednog evropskog univerziteta do drugog. Nikakav problem nije predstavljalo to što je jedan student započeo studije na jednom, a posle prešao i dovršio studije na drugom univerzitetu. Takav vid kretanja olakšavali su slični programi nastave i zajednički jezik za nastavu: latinski u zapadnoj Evropi i arapski u muslimanskom svetu, kao i činjenica da su u to doba univerziteti, i pored sukoba i rivalstva, obrazovali jednu vrlo kompaktnu zajednicu, u suštini, evropskog karaktera, ali ipak otvorenu prema nauci, bez obzira na to odakle je dolazila.

Prihvatanje nacionalnih jezika za nastavu i sve veće diferenciranje nastavnih planova, programa i režima studija, kao i stvaranje novih univerziteta, doveli su vremenom do otežavanja integracije inostranih studenata u visokoškolskoj nastavi i do teškoća pri nastavljanju studija van svoje zemlje, i to baš u vremenu kada se osećala potreba za međusobnom razmenom intelektualnih i kulturnih vrednosti. Ova diferencijalnost, sa jedne, i razvoj nauke u XIX veku sa druge strane, stvarali su ponovo potrebu tešnijih korelacija među univerzitetima. Osetila se potreba da se bolje upoznaju didaktičko-metodički sistemi nastave raznih država, a s tim u vezi i da se odredi i definiše vrednost inostranih diploma i stepena u odnosu na domaće, ne samo zato da bi se omogućio nastavak studija van svoje zemlje, nego i da bi se imao diploma stečenih u inostranstvu odobrilo da vrše profesionalnu delatnost za koju se traži akademska stručnost.

Razvoj i potreba za priznavanjem profesionalnih kvalifikacija kroz istoriju uslovlila je da u periodu od 1964. do 2005. godine bude usvojeno šezdesetak uputstava iz ove oblasti. Novi pravac znači prelazak na opšti sistem priznavanja: umesto dotadašnjih sektorskih uputstava, koja su bila usmerena na harmonizaciju

nacionalnih propisa o sticanju profesionalnih kvalifikacija u svakoj profesiji ponaosob, primenio se sistem priznavanja za sve uređene profesije, a bez zahteva za prethodnim usklađivanjem obrazovanja. Nacionalni propisi o priznavanju diploma razlikovali su se od države do države i u svakoj državi imali su svoje specifičnosti, koje su se morali imati prilikom zaključivanja bilateralnih sporazuma. Specifičnosti postoje i danas i treba da budu svedene na minimum u skladu sa Lisabonskom konvencijom, čiji je cilj nepostojanje "prepreka" i otvorenost obrazovnog sistema. Danas se regulativa primenjuje na osnovu Uputstva 2005/36/CE Evropskog parlamenta i Saveta od 7. septembra 2005. koje se odnosi na priznavanje profesionalnih kvalifikacija.

## 2. KORELACIJA NOSTRIFIKACIJE I EKVIVALENCIJE

Nostrifikacija je postupak kojim se strana školska isprava (u ovom slučaju diploma) izjednačava sa odgovarajućom domaćom školskom ispravom, i to u pogledu prava na nastavljanje školovanja i prava na zapošljavanje (nostrifikuje se obrazovni ciklus).

Ekvivalencija u odnosu na nostrifikaciju predstavlja nepotpuno, tj. delimično, priznavanje diploma. Međutim, ovi termini se sve više gube u međudržavnim sporazumima, kada je reč o priznavanju diploma i umesto reči nostrifikacija i ekvivalencija upotrebljava se opšti pojam *priznavanje*, bez obzira da li se radi o potpunom ili delimičnom priznavanju. Prilikom određivanja ekvivalencije na međunarodnom planu, obično se pravi razlika između takozvane "horizontalne" i tzv. "vertikalne" ekvivalencije u okviru studija istog ili različitog nivoa, kao i između takozvane "formalne" (koja se često naziva "pravnom" ili "zakonskom") i "materijalne" ekvivalencije. U oba slučaja radi se ili o akademskoj ekvivalenciji (tj. ekvivalenciji koja ima samo akademski efekat-za nastavljanje školovanja) ili o tzv. administrativnoj ekvivalenciji, tj. o ekvivalenciji sa građansko-pravnim posledicama-*effectuscivilis* (tj. o ekvivalenciji-za vršenje profesionalne delatnosti). Na osnovu svega proizilazi da se vrši priznavanje u dva oblika:

- Akademsko priznavanje i
- Priznavanje profesionalnih kvalifikacija.

Može se zakljuti da se priznavanje u profesionalne svrhe vrši postupkom *nostrifikovanja*, a u akademske svrhe (produžavanje, nastavak obrazovnog procesa) postupkom *ekvivalencije*.

## 3. RAZVOJ NOSTRIFIKACIJE KROZ ISTORIJU U VISOKOOBRAZOVNOM SISTEMU SRBIJE

Sa razvojem obrazovnog sistema Srbije dolazilo je i do širenja obrazovne akademske mreže u našoj zemlji. Potrebu za unapređenjem i dodatnim razvojem obrazovanja i van naših granica video je Knez Miloš Obrenović 16. septembra 1839. godine kada je donet prvi ukaz o slanju mladih pitomaca na nauke u inostranstvo. Ova uredba se može smatrati pretečom prohodnosti studenata i širenjem akademske mreže i van granica Srbije. Ovakvim potezom je otvoreno i pitanje priznavanja dokumenata tj. kvalifikacija stečenih prilikom povratka u zemlju. Sve do 1920. godine priznavane su diplome samo stipendistima koji su slati o trošku države, i nije postojala potreba ni za procesom nostrifikacije. Treba istaći da su državni pitomci u stranim zemljama mogli izučiti samo one nauke za koje su od Vlade bili opredeljeni, i nisu imali pravo premeštaja. (Arhiv Srbije: Tablica zakona od 2. februara 1835. do 24. jula 1877.)

Pregledom Arhivske građe<sup>1</sup>, može se uočiti da je prvi zahtev za nostrifikovanje stečenog dokumenta u cilju ostvarivanja akademskog prava u obrazovnom sistemu Srbije podnet 1920. godine na Tehničkom fakultetu u Beogradu, dok je na Filozofskom fakultetu podnet 1927. godine. Forma zahteva koju je kandidat podnosio na Tehničkom fakultetu u cilju nostrifikovanja dokumenta razlikovala se u zavisnosti od kompetencija kandidata kao i podnevlja na kojem je stečena diploma. Postupak nostrifikacije se čak obavljao i bez uvida u original diplome. Ovo je bilo moguće izvršiti na osnovu spiska koji je Tehnički fakultet posedovao o fakultetima na strani. Spisak je vid međunarodnog sporazuma i sadrži podatke o tome koje se titule inženjera mogu priznati. Pored ovakvog spiska, postojao je i spisak koji je sadržao imena onih koji su se školovali u inostranstvu bez dozvole Ministarstva prosvete. Spisak je pored obrazovnih profila iz grupe tehničkih nauka sadržao i druge akademske obrazovne profile (Arhiv Srbije: Nesređena građa, G-211). Prilikom podnošenja zahteva za nostrifikaciju ovi studenti su bili odbijani.

Procedura na Filozofskom fakultetu bila je znatno drugačija. Glavni princip na kojem se bazirala nostrifikacija je da su kandidati imali položenu maturu (ispit zrelosti) koja je bila ekvivalentna tadašnjem obrazovnom sistemu Srbije. Ovaj princip je bio osnova i ništio je stečene akademske kompetencije u slučaju njegovog odsustva. Prilikom podnošenja zahteva studenti su se pozivali na član 33. koji se odnosio na zakon

<sup>1</sup> Svi Arhivski podaci koji se koriste u radu pripadaju grupi nesređene građe. Možda je preskočena neka odluka ili zakon, jer ne postoji hronološki sređena građa i detaljno selektirana po oblastima.

o ličnim imenima akademskih titula. Pored uverenja o položenoj maturi, podnosioci su dostavljali i sledeću dokumentaciju: *Original diplome ili prepis diplome; biografiju; indeks; spisak radova u slučaju nostrifikovanja doktorske diplome*. Međutim, na Filozofskom fakultetu se javlja i zahtev za nostrifikovanje Magistarske titule. Ovaj dokument je nostrifikovan sa obrazloženjem da se prihvata, jer predstavlja viši stepen od diplomskog ispita, a niži od dokorskog ispita. Nameće se pitanje kako je bio uređen sistem akademskih titula u Srbiji, na osnovu ovakvog obrazloženja. Osim stečenih diploma u Evropi, kod nas su nostrifikovana dokumenta koja su stečena i na prostoru Sjedinjenih Američkih država (Arhiv Srbije: Nesređena građa, G-208). Možemo zaključiti da je procedura nostrifikovanja bila različita na Tehničkom i Filozofskom fakultetu. Proces nostrifikacije je bio složeniji na Filozofskom, ali i pored složenosti, na osnovu građe se uočava da su oba fakulteta izdavala uverenja u proseku od 2.5 meseca. Proces na Tehnološkom fakultetu je bio jednostavniji i zbog postojanja sporazuma. Da su fakulteti imali uredbе koje su sami donosili, govori uredba koja je objavljena u službenog glasnika, a regulisala je sledeće akte:

Zakon od 12. januara 1929. godine propisuje uredbu kojom se podnosiocima molbe za nostrifikaciju stranih diploma olakšava postupak i ubrzava nostrifikacija diploma o završenom fakultetu na strani. Do donošenja ove odluke nostrifikaciju diploma o završenom fakultetu na strani vrše fakulteti u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani, u zavisnosti kome se kandidat obrati. Međutim, da bi u pogledu nostrifikacije diploma postojala jednoobrazovna kod svih fakulteta Univerziteti u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani su se obavezali da izrade zajednički pravilnik o nostrifikaciji stranih diploma koje će dostaviti ministru na uvid. Do izrade ovog pravilnika, na snazi ostaju propisani Pravilnici (prethodno definisani) koji su urađeni prema odluci Fakultetskog Saveta (Arhiv Srbije: Prosvetni glasnik, januar 1929, XLV).

Na osnovu svega usledilo je donošenje prvog zakona o nostrifikaciji (primanju) diploma sa stranih univerziteta i visokih škola. Zakon je stupio na snagu 6. jula 1930. godine. Na njegovom uređenju su radila zajedno tri Univerziteta (Univerzitet u Beogradu, Zagrebu i Ljubljani). Sadržao je jedanaest članova koji su regulisali postupak nostrifikacije. Članom 2. je određeno da pravo nostrifikacije ima fakultet ili viša škola koja je ekvivalentna sa institucijom koja je izdala diplomu. U slučaju da dođe do problema, postupak se prenosi na Ministarstvo. U sklopu zakona članom 3. je definisan birokratski postupak prilikom podnošenja zahteva i on je sadržao sledeća dokumenta:

- *Uverenje o državljanstvu; svedočanstvo o ispitu zrelosti; originalna diploma o diplomskom ispitu ili doktoratu; overu verodostojnosti pečata i potpisa na originalnoj diplomi od strane konzularnih vlasti Ministarstva inostranih dela; overen prevod diplome ili uverenja; dokument o toku studija u originalu i overen prevod; dva primera doktorske disertacije (ako se radi o nostrifikovanju doktorske diplome); Taksu propisanu po Zakonu o taksama ( Arhiv Srbije: Prosvetni glasnik, P.br. 12.823).*

Na osnovu svih podnešenih dokumenata nadležna institucija je vršila donošenje odluke. U slučaju da program nije u potpunosti ekvivalentan programu fakulteta gde se podnosi zahtev, bilo je moguće u skladu sa članom 5. propisati dopunski ispit ili radove. Ovakva odluka podleže odobrenju Ministarstva prosvete. Važno je istaći još, ovaj zakon članom 6. isključuje mogućnost više pokušaja nostrifikovanja. U slučaju da se zahtev odbije na jednom od fakulteta koji su ekvivalentni fakultetu sa koga se dokument nostrifikuje, svi ostali fakulteti dobijaju ovu odluku i nemaju pravo na ponovni proces. Do ponovnog podnošenja zahteva za nostrifikaciju može doći jedino ako podnosilac dostavi nova dokumenta, ali je *ponovo u obavezi da podnesak dostavi fakultetu koji ga je prethodno odbio*; na osnovu člana 9. Pravo od oslobodanja nostrifikacije imala su samo ona lica koja su izabrana za univerzitetske nastavnike i asistente, jer njihovom imenovanju prethodi provera akademskih kompetencija i to sve u skladu sa članom 10.

Stanje u kojoj se nalazila Srbija u ratnom i posleratnom periodu reflektovalo se i na menjanje zakona. Ovakve tendencije su uslovile da dođe do promena i u zakonima o nostrifikaciji. Za razliku od prethodnog perioda gde je bilo retkih menjanja, u ovom periodu imamo učestalost promena.

Prvi zakon iz posleratnog perioda datira od 16. jula 1943. godine. Ovaj zakon sadrži dva člana. Prvim članom se reguliše priznavanje i izjednačavanje svih stečenih akademskih titula, diploma, školskih i stručnih ispita koji su stečeni na području Nemačkog Rajha, bez naročitih formalnosti i bez nostrifikacije. ( Arhiv Srbije: Službeni glasnik, 1943, Beograd).

Odnos sa okupatorima je uslovilo promenu donetog zakona i usledio je novi zakon 16. maja 1945. godine. Ovaj zakon je sadržao samo jedan član kojim je regulisano da se sve stečene diplome, ispiti, semestri i akademski stepeni (doktorati i sl.) dobijeni ili priznati za vreme okupacije na Univerzitetu i višim školama u Jugoslaviji ili u "neprijateljskim" i od neprijatelja okupiranim zemljama smatraju nevažećim. Međutim, u nus slučajevima, ako postoji osnova za priznavanje, formirana je posebna komisija i priznata diploma je zamenjana novom (Arhiv Srbije: Prosvetni pregled, br. 2, 16. maj 1945.).

Ubrzo je usledio i novi zakon o priznavanju, koji je za razliku od prethodnih regulisao i obuhvatao različite stepene obrazovanja (od osnovnoškolskog do akademskog). Ovaj zakon se odnosi na priznavanje

svedočanstava škola za opšte obrazovanje, stručnih škola i stručnih ispita stečenih u inostranstvu i donešen je 25. oktobra 1947. sadržao je 11 članova. Zakon nije dopuštao priznavanje diploma stečenih na visokim školama i univerzitetima u inostranstvu. Međutim, u kakvom stanju se država nalazila posle pretrpljene štete, ovaj zakon je veoma detaljno koncipiran. Članom 2. se propisuje tačno ko sačinjava komisiju prilikom obavljanja ove procedure. Preciznost se prepoznaje još i u sledećim članovima:

- Član 4. koji se odnosi na birokratski postupak;
- Član 5. koji propisuje tačan rok u kojem podnosilac može uputiti žalbu Ministarstvu;
- Član 8. detaljno definiše diferencijalne ispite koje podnosilac mora položiti kako bi stekao pravo priznavanja.

Svi ovi zakoni ukazuju da i pored teškog stanja država je polagala na zakonodavstvu, uređenju i razvoju obrazovanja.

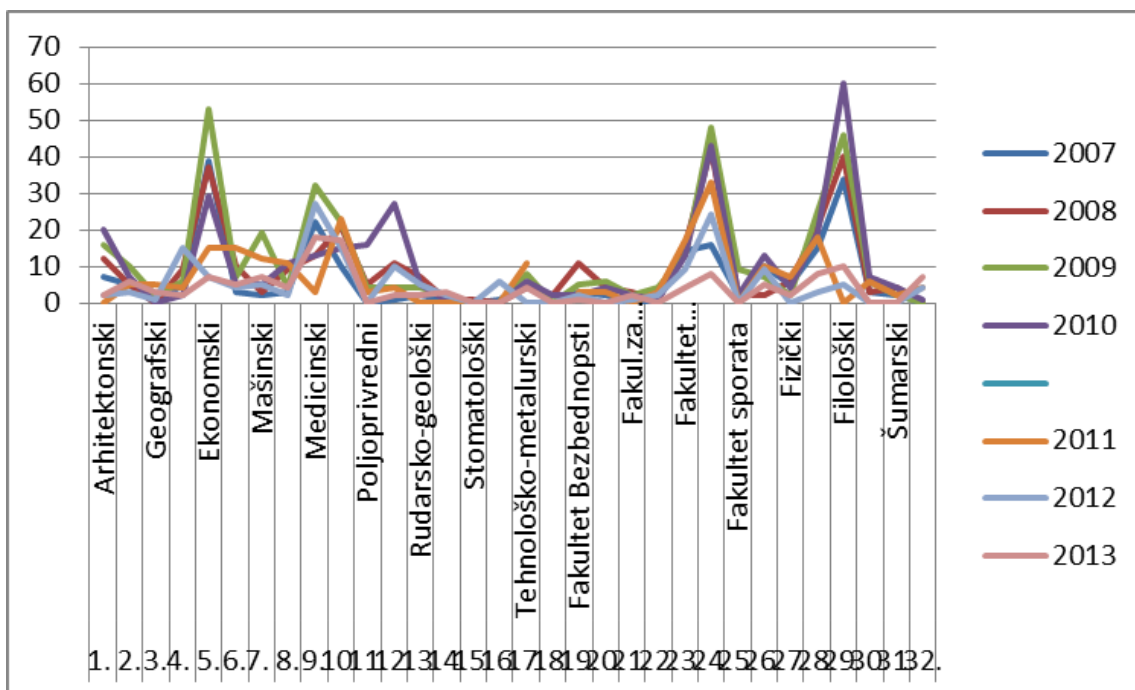
#### 4. NOSTRIFIKACIJA/PRIZNAVANJE U SRBIJI DANAS

Nadležnost o priznavanju stranih školskih isprava i vrednovanje stranih studijskih programa danas je regulisano zakonom o visokom obrazovanju. Na osnovu pravne regulative ovaj proces podeljen je između *Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, viših škola, fakulteta i univerziteta*. Priznavanje završenih studija, diploma i zvanja stečenih u drugoj zemlji, predstavlja važnu meru u promovisanju akademske mobilnosti, razvoja transnacionalnog obrazovanja. Ujedno, nepristrasno priznavanje kvalifikacija ključni je element prava na obrazovanje i društvene odgovornosti. Ovakvim delovanjem se poštuju mnoge konvencije. Zakon o visokom obrazovanju danas na osnovu člana 104. i 105. definiše priznavanje strane visokoškolske isprave *kao postupak kojim se podnosiocu isprave utvrđuje pravo u pogledu nastavka obrazovanja, odnosno u pogledu zapošljavanja. Kod postupka priznavanja radi zapošljavanja imaocu strane visokoškolske isprave, utvrđuje se vrsta i nivo studija, kao i stručni, akademski, odnosno naučni naziv. Priznavanje ovog člana vrši samostalna visokoškolska ustanova, na način i po postupku propisanim opštim aktom te ustanove, a u skladu i sa članom 3. i 4( Službeni glasnik RS: Zakon o visokom obrazovanju, br.76/2005)*. Naime, u postupcima priznavanja stranih visokoškolskih diploma isključivo se gleda na ishode učenja, u praksi visokoškolske ustanove, u čijoj je nadležnosti priznavanje stranih visokoškolskih diploma, i dalje nastavlja s detaljnim upoređivanjem studijskih programa stečene i tražene kvalifikacije, tj. nostrifikacijom. Ovo je glavni razlog zbog kojeg se podnosioci zahteva za priznavanjem stranih visokoškolskih diploma u Srbiji suočavaju s brojnim preprekama, koje uključuju neizvesnost ishoda, prekomerno trajanje i visoke troškove naknade. Prepreke ne leže samo u praksi visokoškolskih ustanova, već i u konkretnim rešenjima Zakona o visokom obrazovanju koje regulišu pitanje priznavanja stranih diploma, gde na osnovu zakona iz prethodnik perioda vidimo da su zakoni detaljno definisali proces nostrifikacije.

Naime, Zakon ne reguliše kada se priznavanje strane diplome može odbiti, kako to čini Lisabonska konvencije, predviđajući da je to moguće kada postoje suštinske razlike između tražene i stečene kvalifikacije. Takođe, ne postoji zakonom predviđen zakonski rok u kojem će kandidat dobiti odgovor na podneti zahtev. Ako sagledamo podatke Univerziteta u Beogradu, koji se izdaju trogodišnje za period od 2007-2010. godine, videćemo da je u proseku za sve fakultete bilo potrebno 50 dana (ovaj podatak i ako je u sklopu vremenskog perioda od tri godine prezentovan, izvedena je samo aritmetička sredina za 2010. godinu, dok za ostale periode ne postoji) za obavljanje procesa priznavanja prilikom podnošenja zahteva za nastavak školovanja. Međutim, za period od 2010-2013. godine podaci nisu još uvek transparentan za javnost i ako je period publikacije odavno istekao. Nedostatkom ove varijable, nemoguće je vršiti bilo kako statističko baždarenje podataka, jer bi došlo do kršenja metodičkih pravila. Na osnovu podataka koji su transparentni za period od 2007-2010. i na osnovu podataka za period 2010-2013<sup>2</sup>. može se dati samo statistički prikaz priznatih diploma u svrhu nastavka školovanja na Univerzitetu u Beogradu. U periodu 2007-2010. najviše diploma za nastavak školovanja je priznato na Filološkom, Ekonomskom i Fakultetu političkih nauka. Takođe, uočava se da je za period 2010-2013. obavljen manji broj priznavanja, a najviše je zastupljen na Fakultetu političkih nauka, Pravnom fakultetu i Medicinskom fakultetu (Grafikon 1). Što se tiče drugog priznavanja, koje se realizuje u cilju priznavanja stečenih profesionalnih kvalifikacija, ne postoje podaci, niti baza podataka za bilo koji segment. Rezultat ovakvog stanja se može tumačiti kao rezultat nedefinisanja postojećim zakonom, što nije bio slučaj u zakonima iz prethodnih perioda.

---

<sup>2</sup> Podaci su dobijeni zahvaljujući otvorenosti zaposlenih koji rade pri Univerzitetu na ovom procesu.



**Grafikon 1:** Priznate diplome od 2007-2010.

Drugo, Zakon ne razlikuje postupak akademskog od postupka profesionalnog priznavanja; priznavanje bez obzira na svrhu stavlja u nadležnost i visokoškolske ustanove. Međutim, u slučaju da se priznavanje strane visokoškolske isprave traži radi pristupa tržištu rada i prava na korišćenje odgovarajućeg akademskog, odnosno naučnog naziva, čini se da davanje isključive nadležnosti visokoškolskim ustanovama nije odgovarajuće rešenje. Ono omogućava različite rezultate postupaka priznavanja iste diplome pred različitim visokoškolskim ustanovama, čime se otvara put nejednakom tretmanu. Prava koja podnosioc, priznavanjem jedne diplome, stiče u sistemu jednog i jedinstvenog tržišta rada ne bi smela da budu različite. Naime, priznavanje radi pristupa jedinstvenom tržištu rada treba da bude regulisano na nacionalnom nivou, a ne da bude prepušteno različitim internim pravilima i kriterijuma svake pojedinačne visokoškolske ustanove. Potrebno je da se novim zakonom uredi postupak priznavanja, a ne postupak nostrifikacije i ekvivalencije, kao i da se zakonom onemogući "više pokušajno" nostrifikovanje, kao što je bilo definisano članom 8. zakona iz 1930. godine. Naravno, ovim se povlači i niz drugih pitanja koja se tiču i drugih resora, kao što je:

- Pitanje upisivanja stečenog obrazovanja u radnu ključicu;
- Pitanje novog načina uređenja kvalifikacije zanimanja u našoj zemlji.

Neophodno je i da Srbija usvoji Nacionalni okvir kvalifikacija (NOK), koji je preduslov za koherentan okvir celokupog obrazovnog sistema Republike. Uz to, treba osavremeniti Nacionalni sistem kvalifikacija, kako bi nova zanimanja dobila odgovarajuću šifru u evidenciji Nacionalne službe za zapošljavanje. Potrebno je i modifikovati Pravilnik o listi stručnih, akademskih i naučnih naziva, kako bi se on učinio fleksibilnijim za prepoznavanje stečenih kvalifikacija prema ishodima učenja i u slučajevima kada ne postoji srodan akreditovan studijski program u Srbiji. Za rešavanje ovog problema, pored nadležnih za unutrašnje zakonodavstvo potrebna je interaktivna korelacija prilikom formiranja novih načela i zakona. Definisanje ciljeva i sadržine nacionalnog okvira kvalifikacija je osnova za njegov razvoj. Bez njihovog određivanja nije moguće pripremiti funkcionalan NOK. Kako bi se ti ciljevi postigli, odnosno kako bi se NOK što uspešnije primenio i ispunio svoju svrhu, potrebno je imati u vidu neke važnije pretpostavke. Kada će početi priprema predloga nacionalnog okvira kvalifikacija, njegova izrada i način usvajanja, politička je odluka. Bez odluke relevantnih nacionalnih tela nije moguće pristupiti izradi NOK-a na sistemskom nivou, što znači da bi odluka o izradi NOK-a morala doći sa nivoa izvršne vlasti, odnosno vlade ili nekog od relevantnih ministarstava (pre svih, nadležnih za obrazovanje ili rad).

Takođe, pored svih ovih nedostataka, u ovom zakonu nema član kojim se reguliše naknada troškova, koju takođe možemo naći u prethodnim zakonima. Rezultat ovakve pravne neregulativne je samostalno formiranje cena od strane univerziteta, koji se razlikuju od univerziteta do univerziteta. Pored materijalne nadoknade u zakonu nigde neprepoznajemo član koji se odnosi na regulativu diferencijalnih ispita, pa je ovo još jedan problem sa kojim se suočavaju studenti. U zakonu iz 1930. ovaj segment je regulisan članom 5. dok zakonom iz 1947. uređen je članom 8. Razlika postoji i kod regulative koja se odnosi na studente stipendiste. Studenti koji nastavljaju svoje studije u inostranstvu, kao stipendisti Srbije ulaze u isti postupak nostrifikovanja



diploma. Na osnovu zakona iz prethodnih perioda, ovo je sasvim kontradiktorno. Možda se ovakvim načelom želi ukloniti bilo koji vid diskriminacije, ali, onda se nameće pitanje kako da sporazum koji je pre slanja stipendiste bio validan, proveren i prihvaćen po povratku postaje nevažeći.

Kako bi se ustanovio efektivan i efikasan sistem priznavanja stranih visokoškolskih diploma u Srbiji, neophodno je preduzeti mere koje uključuje izmenu zakonskih propisa, univerzitetskih akata i politika u visokom obrazovanju. Njime se omogućava priliv mozgova ("*brain gain*"), tj. obezbeđuje da visokokvalifikovane osobe imaju pristup zapošljavanju na domaćem tržištu i nastavak obrazovanja u istoimenom.

Može se zaključiti da je Srbija potpisivanjem Lisabonske konvencije samo teorijski pristupila ovoj konvenciji, dok su u praksi rezultati znatno drugačiji. Danas, mladi koji žele da se vrate nailaze na prepreku koja se zove nostrifikacija/priznavanje dokumenata. Međutim, i pored stanja u kojem se zemlja nalazila, imali smo tačno definisane organe i pravne procedure kojim se ovaj postupak odvijao. Danas kada se društvo nalazi u znatno boljoj situaciji, kada imamo razvijene različite mreže, potpisane bilateralne i multilateralne sporazume, nailazimo na probleme. Naš zakon danas se zasniva iz svega dva člana (član 104. i 105.), koji se pritom pozivaju na još dva podčlana. Njime nije definisano na koji način je izvršena detaljna raspodela između Univerziteta i Ministarstva. U ovom radu nije moguće dati statističke podatke, jer baza podataka danas ne postoji, a to je još jedan nedostatak kojeg nema u zakonu, a koji je postojao u prvom zakonu 1930. godine i koji je bio regulisan članom 7. Drugo, problem je u nepoštovanje međunarodnih sporazuma koji su potpisani. U ovom slučaju vidno je da ti sporazumi prema Ustavu imaju jaču pravnu snagu od Zakona o visokom obrazovanju. Zakoni iz prethodnih perioda tačno uređuju da jednom odbijena diploma ne može biti podneta na drugom fakultetu za ponovno nostrifikovanje. Danas ove odredbe nema u zakonu i moguće je podneti koliko želimo zahteva, da na jednom fakultetu izvršimo nostrifikaciju, a na drugom budemo odbijeni. Međutim, kada treba da se pridržavamo Lisabonske konvencije institucije i dalje vrše proces nostrifikovanja po principu ekvivalencije, a ne po principu priznavanja- *priznavanja nivoa postignutog tokom studiranja*. Ovaj problem se tako širi na priznavanje u cilju: Akademsko priznavanje i priznavanje profesionalnih kvalifikacija. Celokupni problem je znatno širi nego što se čini i ne odnosi se samo na unapređenje obrazovnih politika i menjanje zakona o nostrifikovanju (priznavanju).

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom podataka može se zaključiti da postoji negativna korelacija između teorije i prakse u obrazovnom sistemu Srbije. Posledica negativne korelacije je nedovoljno razvijen strateški sistem Ministarstva prosvete. Ovi problemi postaju još intenzivniji neuređenosti resorsnih ministarstava sa kojim je ministarstvo obrazovanja tesno povezano. Ako želimo da omogućimo priliv mozgova ("*brain gain*") i razvoj društva, potrebno je da počnemo sa menjanjem zakona, a za to nam, svakako, mogu poslužiti modeli zakoni iz prethodnih perioda koji će biti prilagođeni trenutnim konvencijama.

## ZAHVALNOST

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „*Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji*“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u periodu 2011-2014, evb. III 47005.

## LITERATURA

- [1] Filipović, M. & Jovanović M. (1975). Priznavanje školskih svedočanstava i diploma stečenih u inostranstvu u prošlosti i danas, Informator, Zagreb.
- [2] Službeni glasnik RS: Zakon o visokom obrazovanju, br.76/2005
- [3] Arhiv Srbije: Tablica zakona od 2. februara 1835. do 24 jula 1877.
- [4] Arhiv Srbije: Nesređena građa, G-208
- [5] Arhiv Srbije: Nesređena građa, G-211
- [6] Arhiv Srbije: Prosvetni glasnik, januar 1929, XLV
- [7] Arhiv Srbije: Prosvetni glasnik, P.br. 12.823
- [8] Arhiv Srbije: Službeni glasnik, 1943, Beograd
- [9] Arhiv Srbije: Prosvetni pregled, br. 2, 16. maj 1945.





## MEĐUNARODNA NAUČNA SARADNJA SRPSKIH ISTRAŽIVAČA

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLABORATION OF SERBIAN RESEARCHERS

LAZAR ŽIVKOVIĆ<sup>1</sup>, ĐURO KUTLAČA<sup>1</sup>, DIJANA ŠTRBAC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Mihajlo Pupin, Beograd, {lazar.zivkovic, djuro.kutlaca, dijana.strbac}@pupin.rs

**Rezime:** U Srbiji je od 2005. godine prisutan konstantan godišnji rast u broju objavljenih radova u međunarodnim časopisima koji su pokriveni SCI listom. Saradnja sa inostranim autorima u pisanju naučnih radova rezultat je zajedničkih naučnoistraživačkih projekata koji su naročito intenzivirani u poslednjih 10 godina. U radu je prikazana međunarodna saradnja u objavljivanju visoko citiranih radova srpskih istraživača u oblastima: inženjering, matematika, fizika, hemija i društvene nauke. Kao izvor podataka, korišćena je baza Scopus.

**Ključne reči:** Međunarodna naučna saradnja, Scopus, Naučna produktivnost

**Abstract:** Since 2005 in Serbia there is constant annual growth rate of scientific papers published in international publications covered by Science Citation Index. Cooperation with foreign authors in the writing of scientific papers is the result of joint research projects that are particularly intensified in the past 10 years. This paper presents the international scientific collaboration of highly cited papers of Serbian researchers in the fields of engineering, mathematics, physics, chemistry and social science. As a source of data, Scopus database is used.

**Keywords:** International scientific collaboration, Scopus, Scientific productivity.

### 1. UVOD

Međunarodna naučna saradnja se ostvaruje na više načina a neki od primera ove saradnje su razmena studenata i istraživača, zajednički istraživački projekti, radni sastanci, organizovanje međunarodnih konferencija, podela zadataka u okviru velikih istraživačkih programa i dr. Kao rezultat navedenih vidova saradnje često nastaju međunarodne naučne publikacije napisane od strane više autora iz više različitih zemalja. Jasno je da analiza ko-autorstva neće pružiti kompletnu sliku o međunarodnoj naučnoj saradnji (Moed et al. 1995), ali pruža interesantnu sliku važnih aspekata međunarodne saradnje, u vidu broja zajedničkih radova koji su objavljeni u eminentnim međunarodnim bazama podataka.

Prva istraživanja iz oblasti međunarodne saradnje u vidu ko-autorstva radili su Frame i Carpenter (1979) i rezultat njihovog istraživanja bila su tri pravila:

- Međunarodna saradnja ima veći intenzitet u osnovnim istraživanjima
- Što je veći nacionalni istraživački sistem, manja je međunarodna saradnja u objavljivanju radova
- Eksterni faktori igraju glavnu ulogu u međunarodnoj saradnji.

Van Raan (1997) smatra da ova pravila važe i danas. Takođe Narin i Whitlow (1990) smatraju da radovi pisani u ko-autorstvu sa inostranim partnerima su više citirani nego radovi koji nisu pisani u saradnji sa inostranim autorima. I kasnija istraživanja su pokazala da radovi sa inostranim ko-autorstvima imaju veći uticaj na naučnu zajednicu nego što je to slučaj sa radovima čiji autori potiču iz jedne zemlje.

U poslednjih 10 godina u Srbiji je prisutan trend konstatnog rasta broja objavljenih radova u međunarodnim publikacijama koje se nalaze na SCI listi. Uzrok ovakvom trendu u velikoj meri doprinosi naučnoistraživačka politika Republike Srbije koja potencira objavljivanje radova u međunarodnim časopisima ali i interne politike većine Univerziteta kojom se objavljen rad u časopisu sa SCI liste smatra uslovom za izbor u više istraživačko zvanje i uslovom da se prijavi doktorska teza. Da bi dobili tačnu sliku rasta radova na SCI listi neophodno je sagledati više faktora. U radu autora Živković, Kutlača (2014) analiziran je faktor međunarodne pokrivenosti nacionalnih časopisa i njihov uticaj na rast produktivnosti. Prilikom procenjivanja načne produktivnosti zemlje, potrebno je uzeti u obzir udeo nacionalnih časopisa indeksiranih na SCI listi, s obzirom da zemlja može da poboljša svoju poziciju u naučnoj produkciji bez objavljivanja radova u drugim međunarodnim časopisima, pokušavajući da uključi više nacionalnih časopisa

u međunarodnu bazu podataka. Predmet analize rada Semenčenko, Kutlača, Štrbac, Živković (2013) je analiza ko-autorstva u objavljivanju radova srpskih autora između sektora (fakulteti - instituti - privreda - organizacije). Dakle, cilj rada je bio da se utvrdi kakva je saradnja u objavljivanju radova u odnosu na trostruki heliks + civilno društvo. Podaci o ko-autorstvu su pokazali da je najveći broj radova nastao kao rezultat saradnje fakulteta i instituta, a zatim kao rezultat saradnje fakulteta i organizacija. Zabrinjavajuće je što je veoma mali broj radova objavljen u saradnji sa autorima iz privrede, jer to govori o nedovoljnoj uključenosti ove komponente trostrukog heliksa u tehnološki razvoj društva.

U ovom radu je prikazana komparativna analiza naučne saradnje autora Srbije sa autorima iz inostranstva u objavljivanju visoko citiranih radova u oblastima: *inženjering, matematika, fizika, hemija i društvene nauke*.

## 2. METODOLOGIJA

Fokus rada je na analizi visoko citiranih radova iz pojedinačnih oblasti sa ciljem da se utvrdi sa kojim zemljama srpski autori imaju najveću saradnju u pisanju radova sa najvećim uticajem na naučnu zajednicu. Uslov da bi objavljeni rad imao inostrano ko-autorstvo je da na radu bude pored autora iz Srbije minimum još jedan autor iz druge države. Podaci koji su korišćeni za analizu preuzeti su iz međunarodne baze podataka Scopus. Scopus je baza koja sadrži apstrakte i citate radova objavljenih u međunarodnim časopisima. Scopus sadrži više od 53 miliona apstrakata radova koji su objavljeni u više od 5000 publikacija. (Scopus, Facts & Figures). Mogućnost analiziranja objavljenih radova kao i obuhvatnost radova koju ova baza sadrži je glavni razlog zašto je upravo Scopus baza korišćena u svrhu analize.

Scopus klasifikuje sve publikacije u 4 glavne kategorije: *Physical Sciences, Life Sciences, Health Sciences, Social Sciences*. Svaka od ovih kategorija uključuje podoblasti. U analizi ovog rada korišćene su sledeće oblasti nauke:

- *Hemija*
- *Fizika*
- *Matematika*
- *Inženjering*
- *Društvene nauke*

Prve četiri naučne oblasti pripadaju kategoriji Physical Sciences dok poslednja oblast pripada kategoriji Social Sciences.

U naučnoj literaturi postoji debata o tome koji rad se smatra visoko citiranim radom. Prema (Tijssen, Visser and van Leeuwen 2002) visoko citirani radovi su oni radovi koji se nalaze među 10% najcitiranijih radova u oblasti. Prema National Science Board (2010) visoko citirani radovi su oni koji se nalaze među 1% najcitiranijih radova. Essential Science Indicators (ESI) Thomson Reuters klasifikuje visoko citirane radove kao one radove koji se nalaze među 1% najcitiranijih radova u oblasti. S obzirom na različita mišljenja i neslaganje naučne zajednice po ovom pitanju, u ovom radu je korišćen sledeći kriterijum za izbor visoko citiranih radova:

Radovi koji imaju minimum 20 citata se smatraju visoko citiranim radovima i prema ovom kriterijumu preuzeti su sledeći podaci po oblastima:

**Tabela 1:** Broj objavljenih visoko citiranih radova iz oblasti hemije, fizike, matematike, inženjeringa i društvenih nauka srpskih autora. Izvor: Scopus

<i>Oblast</i>	<i>Ukupan broj objavljenih radova</i>	<i>Ukupan broj visoko citiranih radova</i>	<i>Kriterijum za visoko citirani rad (min broj citata)</i>
<b>Hemija</b>	5147	273	20
<b>Fizika</b>	5745	332	20
<b>Matematika</b>	3777	212	20
<b>Inženjering</b>	7422	177	20
<b>Društvene nauke</b>	3583	73	20

U tabeli 1. prikazan je broj ukupno objavljenih radova srpskih autora u navedenim oblastima od 1996. godine kao i broj visoko citiranih radova koji je dobijen kriterijumom da rad mora da ima minimum 20 citata.

Najviše objavljenih radova je iz oblasti *inženjeringa*, zatim *fizike* i *hemije*. Najveći broj visoko citiranih radova je iz oblasti *fizike* a najmanji iz *društvenih nauka* sa samo 73 rada koji imaju minimum 20 citata.

### 3. NAUČNA SARADNJA SA AUTORIMA IZ INOSTRANSTVA

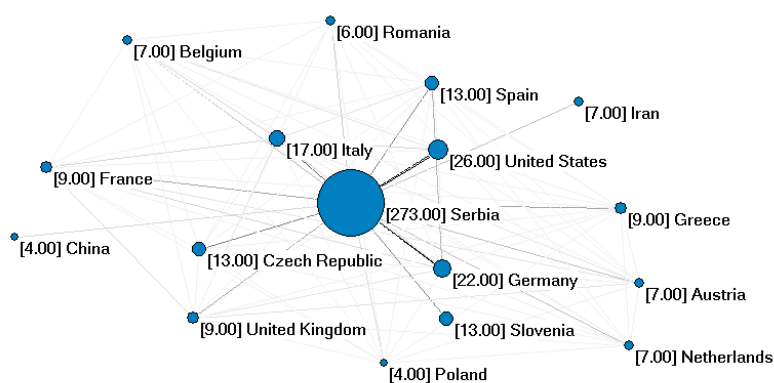
Na osnovu tabele 2 može se zaključiti da je najveći procenat radova napisanih u ko-autorstvu sa inostranim autorima iz oblasti *fizike* gde se vidi da je čak 88% visoko citiranih radova srpskih autora napisano u saradnji sa inostranim autorima. Veoma zanimljiv podatak je prosečan broj autora po radu gde 82 autora po radu jasno ukazuju da se radi naučnim radovima u kojima ima i preko 100 autora, a pojedini radovi imaju i do 1000 autora. U ostalim oblastima, više od pola radova je napisano u saradnji sa inostranim institucijama.

**Tabela 2:** Prosečan broj autora po radu i procenat radova napisanih u ko-autorstvu sa inostranim autorima

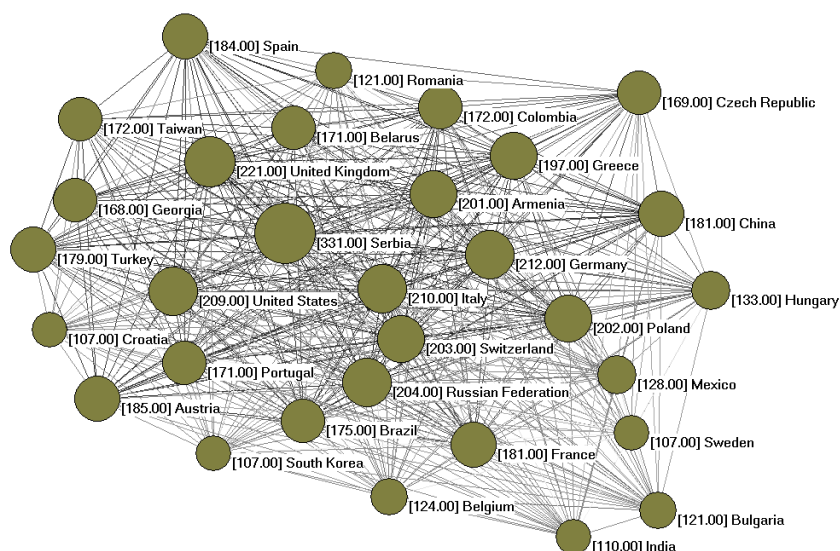
Oblast	Broj visoko citiranih radova	Broj radova napisani sa ko-autorima iz inostranstva	Procenat broja radova u ko-autorstvu iz inostranstvom	Prosečan broj autora po radu
Hemija	273	146	53,48%	3,12
Fizika	332	292	87,95%	81,97
Matematika	212	128	60,38%	23,28
Inženjering	177	109	61,58%	14,03
Društvene nauke	73	48	65,75%	8,82

Na slikama od 1-5 prikazani su mrežni dijagrami koji prikazuju intenzitet saradnje srpskih autora sa autorima iz pojedinih zemalja gde se vidi sa kojom zemljom postoji najveća saradnja u objavljivanju visoko citiranih radova u pojedinačnim oblastima. Čvorovi mrežnih dijagrama označavaju zemlje autora, veličina čvora je određena brojem radova na kojima učestvuju autori iz zemlje a pored imena zemlje, u zagradi je napisan i konkretan broj radova koji su napisani u ko-autorstvu. Radi preglednosti, mrežni dijagrami ne sadrže sve zemlje već samo one koje imaju određeni minimum broja radova u saradnji sa autorima iz Srbije. Na osnovu dijagrama može se zaključiti da Srbija u oblasti *hemije* ima najveću saradnju sa autorima iz Sjedinjenih Američkih Država i Nemačke. *Fizika* je karakteristična po tome što je velika većina radova pisana u ko-autorstvu pa tako je veliki broj zemalja uključen u kolaboraciju prilikom pisanja naučnih radova.

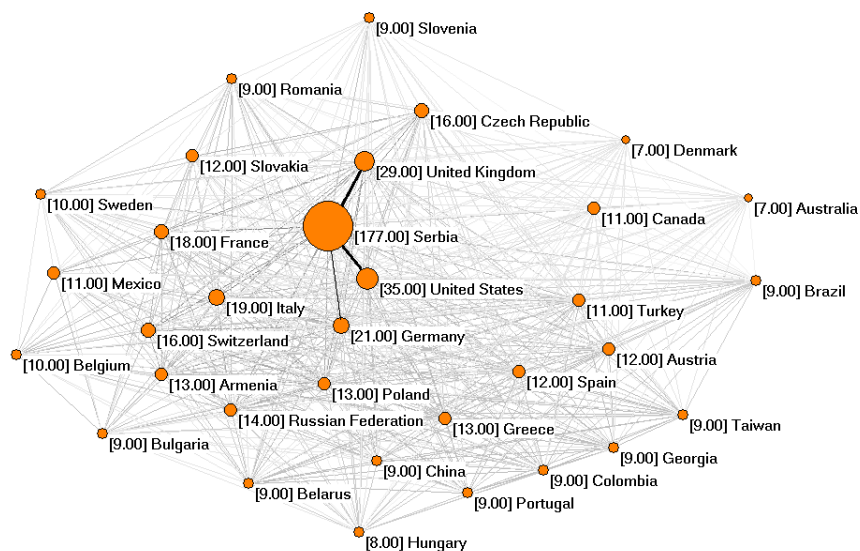
U oblasti *inženjeringa* Srbija ima najveću saradnju sa autorima iz SAD i Velike Britanije, u oblasti *matematike* sa autorima iz SAD, Velike Britanije, Kine i Nemačke, dok je u oblasti *društvenih nauka* ko-autorstvo najviše ostvareno sa zemljama SAD i Velike Britanije. Kao što može da se vidi, Velika Britanija i SAD su zemlje sa kojima autori iz Srbije imaju najveću saradnju u pisanju visoko citiranih radova u skoro svim pomenutim oblastima.



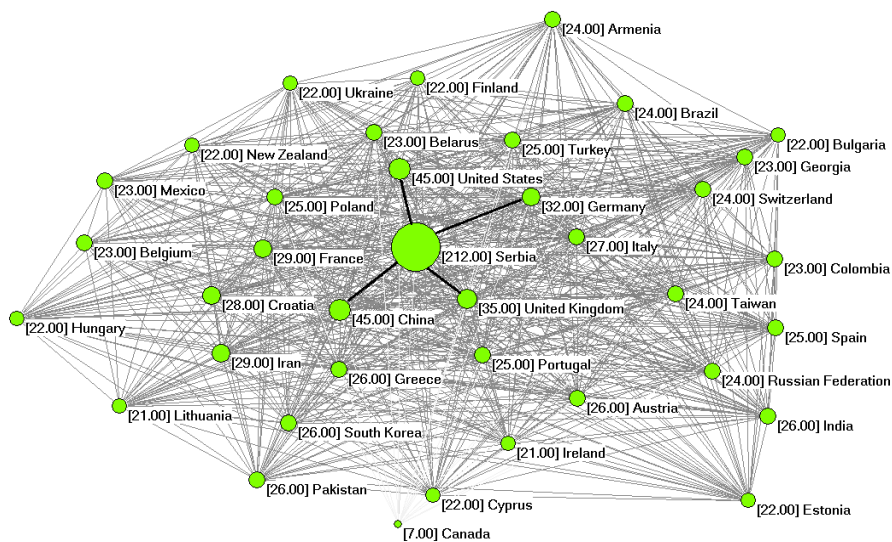
**Slika 1:** Ko-autorska mapa naučne saradnje iz oblasti *hemije*. Mapa je kreirana korišćenjem softvera Pajek.



Slika 2: Ko-autorska mapa naučne saradnje iz oblasti *fizike*

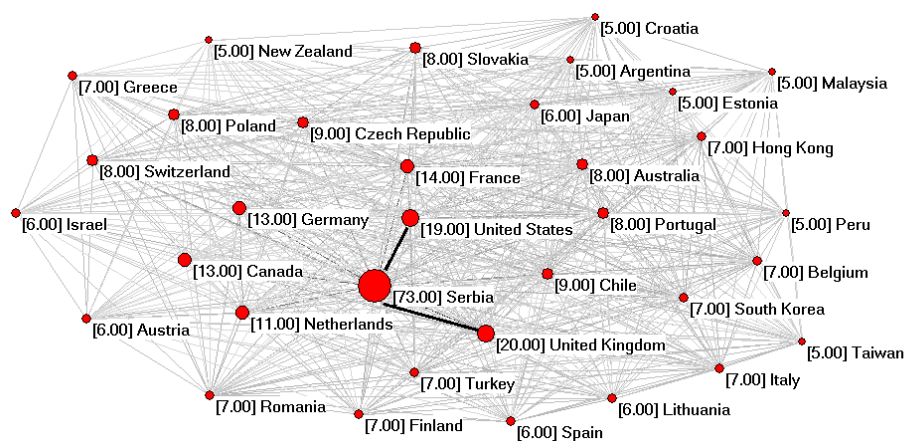


Slika 3: Ko-autorska mapa naučne saradnje iz oblasti *inženjeringa*



Slika 4: Ko-autorska mapa naučne saradnje iz oblasti *matematike*





**Slika 5:** Ko-autorska mapa naučne saradnje iz oblasti društvenih nauke

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati analize ko-autorstva sa inostranim autorima pokazuju da su Sjedinjene Američke Države i Velika Britanija zemlje sa kojima srpski autori imaju najveću saradnju u pisanju visoko citiranih radova. Ako se analiziraju oblasti pojedinačno, u oblasti *hemije* od 273 objavljena rada koja imaju 20 ili više citata, 146 radova ili nešto više od 50% je napisano u ko-autorstvu sa autorima iz inostranstva. Najveća saradnja je ostvarena sa autorima iz SAD i Nemačke. Oblast *fizike* je interesantna iz razloga što je prosečan broj autora po radu 82, što jasno ukazuje na to da su najcitiraniji radovi pisani na osnovu velikih istraživačkih projekata u čijem pisanju je učestvovalo i do nekoliko stotina autora. Čak 88% radova je napisano u saradnji sa inostranim autorima a mrežni dijagram pokazuje distribuciju zemalja sa kojima je Srbija imala najveću saradnju u pisanju radova iz oblasti *fizike*. Oblasti *inženjeringa* i *matematike* imaju veoma slične rezultate, i u jednoj i u drugoj oblasti je oko 60% radova napisano u saradnji sa inostranstvom. Partneri u pisanju radova su takođe isti a u pitanju su SAD, Velika Britanija i Nemačka, s tim da u *matematici* srpski autori imaju izuzetnu saradnju i sa autorima iz Kine sa kojima su napisali 45 visoko citiranih radova iz ove oblasti. U oblasti *društvenih nauka*, od 73 objavljena visoko citirana rada, 48 radova je napisano u saradnji sa inostranim partnerim, prevashodno iz SAD i Velike Britanije.

## ZAHVALNOST

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke u periodu 2011-2014, evb. III 47005.

## LITERATURA

- [1] Tijssen, R., Visser, M., & van Leeuwen, T. (2002). Benchmarking international scientific excellence: Are highly cited research papers an appropriate frame of reference? *Scientometrics*, 54(3), 381–397.
- [2] National Science Board (2010). *Science and engineering indicators 2010, appendix tables*. Arlington, VA, USA: National Science Foundation (NSB 10-01). <http://www.nsf.gov/statistics/seind10/pdf/seind10.pdf>.
- [3] Živković, L., & Kutlača, Đ. (2014). Doprinos domaćih časopisa referisanih u wos međunarodnoj poziciji srpske nauke, *Marketing*, rad prihvaćen za objavljivanje.
- [4] Semenčenko, D., Kutlača, Đ., Štrbac, D., & Živković, L. (2013). Kako pratiti razvoj nacionalnog inovacionog sistema – indikatori uspostavljanja trostrukog heliksa u Srbiji, *Tematski zbornik radova XX naučnog skupa međunarodnog značaja "Tehnologija, kultura i razvoj"*, 3-5 septembar, str. 40-52
- [5] Moed, H. F., De Bruin, R. E., & Van Leeuwen Th. N. (1995). New bibliometric tools for the assessment of national research performance: database description, overview of indicators and first applications, *Scientometrics*, 33, 381-422.
- [6] Frame, J. D., & Carpenter, M. P. (1979), *International research collaboration*, *Social Studies of Science*, 9, 481-497.
- [7] Van Raan, A. F. J. (1997). Science as an international enterprise, *Science and Public Policy*, 24, 5, 290-300.

- [8] F. Narin, F., & Whitlow, E. S. (1990). Measurement of scientific cooperation and co-authorship in Ecrelated areas of science. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities. EC-Report EUR 12900.
- [9] Scopus, Facts & Figures, preuzeto sa [http://www.elsevier.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/148714/scopus\\_facts\\_and\\_figures.pdf](http://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0007/148714/scopus_facts_and_figures.pdf)

**ISTRAŽIVANJE  
PODATAKA-  
DATA MINING**



## DRUŠTVENI MEDIJI U OBRAZOVANJU

### SOCIAL MEDIA IN EDUCATION

OLIVERA GRLJEVIĆ<sup>1</sup>, ZITA BOŠNJAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {oliverag, bzita}@ef.uns.ac.rs

**Rezime:** Razvoj Web 2.0 je omogućio korisnicima da postanu aktivni kreatori sadržaja na web-u i time doprinesu velikoj ekspanziji društvenih medija. Društveni mediji predstavljaju on-lajn instrument komunikacije koji ne samo da pruža informacije nego omogućuje i interakciju sa korisnicima dok se informacije isporučuju. Brzina njihovog prihvatanja i frekventnost upotrebe doprineli su prožimanju društvenih medija u mnoge domene i aspekte poslovanja. Kako i u drugim oblastima poslovanja, tako i u oblasti visokog obrazovanja društveni mediji se pre svega koriste za potrebe marketinga, ali velika količina podataka koja se na ovim platformama razmenjuje može da se derivira i stavi u funkciju unapređenja poslovanja, za razumevanje potrošačkih izbora, namera i sentimenta u stvarnom vremenu. Rad ilustruje uspešne primere primene društvenih medija u visokom obrazovanju i na primeru Ekonomskog fakulteta u Subotici daje prikaz profila studenata koji upotrebljavaju društvene medije u obrazovanju.

**Ključne reči:** društveni mediji, visoko obrazovanje, CRM.

**Abstract:** The development of Web 2.0 has enabled users to become active creators of content on the web and thus contribute to the great expansion of social media. Social media is on-line communication tool that not only provide information but also allow interaction with users as it delivers information. Rapidness of social media acceptance and frequency of their use have contributed to the interpenetration of social media in many domains and aspects of the business. As in other areas of business as well as in the field of higher education, social media is primarily used for marketing purposes, but a large amount of data exchanged on these platforms can be derived and put to use to improve business operations, to understand consumer choices, intentions and sentiment in real time. The paper illustrates the successful examples of the application of social media in higher education and on the example of Faculty of Economics in Subotica presents profiles of students who use social media in education.

**Keywords:** social media, higher education, CRM.

#### 1. UVOD

Društvene mreže su postale značajno i moćno sredstvo marketinga i uticaja na mišljenja, pa i postupke pojedinaca. U razvijenim zemljama, a pre svega za američko tržište, rađena su istraživanja o tome ko koristi ove mogućnosti, koliko učestalo i za koje potrebe. U Republici Srbiji prema našim saznanjima slična istraživanja nisu rađena. Slabiji pokušaji su prisutni u oblasti proizvodnih, pre svega tehničkih proizvoda, a manje u uslužnim delatnostima, dok u obrazovanju gotovo da ih nema. Kako postoje indicije da bi visoko školstvo moglo imati velike koristi od eksploatacije mogućnosti društvenih mreža, postavlja se pitanje mogu li se iskustva iz proizvodnih sfera preneti na usluge ovog tipa i na koji način.

Brzina prihvatanja i frekventnost upotrebe online društvenih medija je promenila način diseminacije informacija. Trenutno, Facebook ima 1.19 biliona mesečno aktivnih korisnika (Facebook Investor Relations 2014), Twitter ima 500 miliona korisnika, a više od 241 milion je mesečno aktivan (Twitter Reports 2013), Google+ ima 300 miliona aktivnih korisnika (Smith 2014). Svi ovi korisnici on-lajn društvenih medija su i potrošači različitih proizvoda i usluga koji dnevno razmenjuju informacije, iskustva i mišljenja. Analizom ovako razmenjenih podataka može se salgedati ugled kompanije, brenda ili marketinga od usta do usta (World of Mouth marketing – WoM) za potrošačke ili elektronske proizvode ili usluge (Dave et al. 2003, Liu et al. 2007, Hu and Liu 2004, Li and Shiu 2012, Harris and Dennis 2011, Heinonen 2011), zatim predviđanja kretanja prodaje bioskopskih karata (Liu et al. 2007, McGlohon 2010, Chaovalit and Zhou 2005) ili tržišta hartija od vrednosti (Bollen et al. 2011, Bar-Haim et al. 2011, Feldman et al. 2011, Zhang and Skiena 2010). Kako i u drugim oblastima poslovanja tako i u oblasti visokog obrazovanja, velika količina podataka i



informacija koja se razmenjuje na sajtovima društvenih medija se mora derivirati i staviti u funkciju unapređenja poslovanja za razumevanje potrošačkih izbora, namera i sentimenta u stvarnom vremenu, (Marques et al. 2013, Yaros 2013, Hosterman 2013, Zeng et al. 2013, Lewis and Nichols 2013).

Kako je visoko školstvo nedovoljno istražena oblast u kontekstu primene društvenih medija polazna tačka istraživanja prezentovanog u ovom radu se ogleda u analizi upotrebe društvenih medija studenata za potrebe obrazovanja. Rad je struktuiran na sledeći način. Drugo poglavlje daje pregled literature o načinima na koje su visokoobrazovne institucije iskoristile prednosti upotrebe društvenih medija za unapređenje svog poslovanja. U trećem poglavlju je opisano istraživanje sprovedeno na Ekonomskom fakultetu u Subotici o upotrebi društvenih medija u obrazovanju i prezentovan je deo rezultata statističke obrade podata prikupljenih anketom. U poslednjem poglavlju su izvedeni zaključci i istaknute dalje smernice istraživanja.

## 2. UPOTREBA DRUŠTVENIH MEDIJA U OBRAZOVANJU

Na osnovu detaljnog istraživanja primene društvenih medija u viskom obrazovanju u Americi i na osnovu veoma uspešnih primera iz prakse, autori su generisali pregled ključnih ciljeva marketing strategije za društvene medije u visokoobrazovnim institucijama, tabela 1.

Može se zaključiti da centralno mesto u savremenom marketing pripada društvenim medijima. Kako su istraživanja na američkom tržištu pokazala, društveni mediji predstavljaju deo marketing strategije visokoobrazovnih institucija te su one angažovane i prisutne na više različitih medija, od Twitter-a, preko Facebook-a, do YouTube-a, takođe se aktivno bave analizom sadržaja prikupljenih iz ovih izvora.

**Tabela 1:** Ciljevi marketing strategije za društvene medije visokoobrazovnih institucija

Ciljevi	Procenat ispitanika angažovanih na cilju
Aktiviranje i angažovanje alumniija	83%
Kreiranje, održavanje i unapređenje imidža i brenda	77%
Podizanje svesti ili rangiranja	60%
Angažovanje trenutnih studenata	55%
Stvaranje interne zajednice	51%
Angažovanje zaposlenih	43%
Angažovanje primljenih studenata	46%
Angažovanje potencijalnih studenata	43%
Regrutovanje studenata	38%
Angažovanje medija	26%
Sprovođenje istraživanja nad publikom (studenti, alumni, zaposleni)	25%
Upravljanje krizama i problemima	22%

**Izvor:** (Stoner 2013)

Može se zaključiti da centralno mesto u savremenom marketing pripada društvenim medijima. Kako su istraživanja na američkom tržištu pokazala, društveni mediji predstavljaju deo marketing strategije visokoobrazovnih institucija te su one angažovane i prisutne na više različitih medija, od Twitter-a, preko Facebook-a, do YouTube-a, takođe se aktivno bave analizom sadržaja prikupljenih iz ovih izvora.

Istraživanje koje sprovodi kompanija Varsity Outreach četvrtu godinu za redom na američkom tržištu (Varsity Outreach 2013), pokazuje da iako je Facebook i dalje dominantan način komunikacije između kancelarija za upis studenata i budućih studenata, on polako ulazi u fazu saturacije. Drugi društveni mediji dobijaju na značaju u poslednjih godinu dana, pogotovo Instagram. Najčešći načini komunikacije sa budućim studentima predstavljaju stranice i grupe na Facebook-u. Prema studiji koju je sproveo Zinch, on lajn servis za školarine i obabir škole, srednjoškolci koriste društvene medije, prvenstveno Facebook, kako bi došli do fakulteta, a više od trećine ovih đaka koristi društvene medije pri donošenju odluke o upisu, (Insight HigherEd 2012). Poznavanje načina upotrebe društvenih medija različitih grupa može doprineti oblikovanju on lajn strategije fakulteta i univerziteta. Prema tome, potrebno je analizirati rezultate studentskih anketa kako bi se preispitala strategija upotrebe društvenih medija fakulteta i univerziteta u celini i kako bi usredsredili napore regrutovanja gde je potencijalni povrat na investicije najviši. Kako ilustruje istraživanje predstavljeno u (Varsity Outreach 2013), Facebook se smatra efikasnim medijumom za emitovanje informacija, međutim oni koji koriste Facebook ne samo za širenje informacija nego i za iniciranje komunikacije su oni koji su najviše zadovoljni rezultatima njihove Facebook participacije. Slični rezultati istraživanja su prezentovani u (Insight HigherEd 2012), visok prinos na investicije se može postići

fokusiranjem na angažovanju studenata, jer potencijalni studenti žele mogućnost komunikacije sa drugim studentima, savetnicima o upisu i profesorima. Kancelarije koje se bave upisom studenata smatraju da Facebook predstavlja prvu dodirnu tačku đaka sa fakultetom, te da može snažno uticati na njegovu tranziciju sa srednje škole na fakultet, kao i na njegov odabir smeštaja tokom studija. Još jedno istraživanje sprovedeno za američko tržište (Wohn et al. 2013) ispituje način na koji društveni mediji, poput Facebook-a, i proširena društvena mreža budućeg studenta mogu pomoći studentima da dođu do ključnih informacija o procesu prijave na fakultet i kasnije u traganju za finansijskom pomoći. Kako je istraživanje pokazalo, studenti koji koriste društvene medije da pronađu odgovore na svoja pitanja o procesu prijave na fakultet bolje shvataju način prijave i više veruju u svoj uspeh.

Kao i druge kompanije, i visokoobrazovne institucije moraju voditi računa o svojoj reputaciji i maksimizirati sve napore ka unapređenju odnosa sa studentima. Adekvatno ekstrahovanje i priprema sadržaja sa on lajn društvenih medija, zatim njihova efikasna analiza (sentiment analiza i analiza mišljenja) može ukazati na skrivene šablone ponašanja korisnika sajtova i uticati na unapređenje poslovanja i odnosa sa studentima u visokoobrazovnim institucijama.

### **3. STUDIJA SLUČAJA – UPOTREBA DRUŠTVENIH MEDIJA STUDENATA EKONOMSKOG FAKULTETA U SUBOTICI**

Osnovni cilj sprovedenog istraživanja je da se ispitaju obrasci ponašanja učenika u on lajn okruženju, kako bi se generisali profili njihovog ponašanja, da se postave pravci za buduće istraživačke ciljeve, kao i polazna osnova za primenu analize društvenih medija, naročito sentiment analizu. Metodologija sprovedenog istraživanja podrazumeva definisanje upitnika; sprovođenje pilot studije i obrada dobijenih podataka; anketiranje studenata; i obrada ankete.

Upitnik je distribuiran tokom juna, 2012. godine svim đacima koji su položili prijemni ispit na Ekonomskom fakultetu Subotica, Srbija i koji su se tokom tri dana upisivali na fakultet. U datom upisnom roku, fakultet je upisalo 860 studenata na sve tri lokacije, od toga 791 student u Subotici i Novom Sadu gde je anketiranje i sprovedeno.

Upitnik ima 13 pitanja koja su grupisana na sledeći način. *Prvi deo upitnika* se odnosi na osnovne podatke o studentima iz kojih se mogu saznati osnovne demografske karakteristike i uspeh u dosadašnjem školovanju. *Druga grupa pitanja* se odnosi na poznavanje sajtova društvenih medija, frekventnost i načini njihovog posećivanja, kao i motivi za povezivanje i razmenu sadržaja putem ovih sajtova. *Treća grupa pitanja* ispituje način upotrebe sajtova društvenih medija prilikom odabira fakulteta, za potrebe školovanja (vreme provedeno na Internetu, frekventnost objavljivanja sadržaja vezanog za školu, kao i obavljanja određenih aktivnosti na ovim sajtovima, povezanost sa profesorima). Dodatna pitanja se odnose na aktivnost đaka na forumima i blogovima, i razloge zbog kojih ne koriste češće ove sajtove. Takođe je ostavljeno polje u kojem su đaci mogli napisati svoje mišljenje ili opisati svoje iskustvo u vezi upotrebe sajtova društvenih medija.

Od 791 upisanih studenata u školskoj 2012/2013 godini, 347 đaka je popunilo upitnik. Od toga, 303 upitnika je kompletno popunjeno, a ostali parcijalno. Može se zaključiti da je 44% ispitanika odgovorilo na upitnik, od čega 38% je kompletiralo upitnik, te se uzorak može smatrati reprezentativnim.

#### **3.1. Osnovni načini upotrebe društvenih medija za potrebe obrazovanja**

Istraživanjem se želelo ispitati: a) stepen upotrebe sajtova društvenih medija tokom srednjoškolskog obrazovanja i načini njihove upotrebe u edukaciji i razmeni informacija za potrebe školovanja; b) stepen upotrebe sajtova društvenih medija kao izvora dodatnih informacija prilikom odabira fakulteta.

U proseku ispitanici su tokom srednjoškolskog obrazovanja trošili 5.5 sati nedeljno na Internetu razmenjujući informacije i sadržaje sa drugim đacima u vezi škole. Kako je istraživanje pokazalo, studenti uglavnom koriste izvore na Internetu za pretragu postojećih informacija, a u retkim situacijama oni generišu sadržaje vezane za školu. Kada objavljuju sadržaje, to čine najčešće putem društvenih mreža, odnosno Facebook-a, te se može zaključiti da srednjoškolci koji upisuju Ekonomski fakultet u Subotici nisu stvaraoci obrazovnih sadržaja na Internetu.

Analiza aktivnosti koje ispitanici najčešće obavljaju u komunikaciji sa drugim đacima po pitanju školovanja ukazuje na dominantnost upotrebe različitih sajtova društvenog umrežavanja i načina komunikacije koje nude (instant poruke, pisanje po zidu drugih korisnika i sl.), dok je najmanje zastupljena aktivnost čitanja i komentarisanja na forumima, kao i praćenja i ažuriranja blogova. Iako srednjoškolski đaci retko generišu sadržaje, u činjenici da veliki broj ispitanika različitim intenzitetom posećuje forume i čita postavljene komentare se može prepoznati potencijal. Ova navika djaka vremenom može prerasti u potrebu

za isticanjem svojih mišljenja i stavova na forumima, te ovi studenti mogu predstavljati potencijalnu grupu uticajnih on lajn korisnika.

Ispitanici su zainteresovani da ostvare kontakt sa nastavnim osobljem putem društvenih mreža (64% ispitanika ima profesore među svojim prijateljima na nekoj od društvenih mreža), a veliki procenat ispitanika (78%) je zainteresovan za intenzivniju upotrebu sajtova društvenih medija u nastavnom procesu radi, na primer, postavljanja obavještenja i nastavnog materijala, objave rezultata itd. Sudeći po intenzitetu upotrebe društvenih mreža i stavu ispitanika o uključenju društvenih mreža u komunikaciju između studenata i nastavnog osoblja, fakulteti bi trebali ozbiljno da se pozabave razmatranjem inkorporiranja Facebook-a u marketing strategiju privlačenja novih i zadržavanja postojećih studenata, kao medijumu za komunikaciju sa studentima o pitanjima i problemima sa kojima se susreću.

U pogledu upotrebe društvenih medija u odabiru fakulteta, upoznavanju sa usmerenjima, informisanju o nastavnom osoblju, studentskim udruženjima i dodatnim aktivnostima koje fakulteti pružaju, mali broj ispitanika se izjasnio pozitivno. Među ispitanicima koji su upotrebljavali društvene medije za ove potrebe, najčešće posećivan je Facebook kojeg su koristili za: 1. Traganje za osobama koje trenutno poznaju, a koje studiraju na željenom fakultetu; 2. Pregled studentskih komenatara o svojim fakultetima; 3. Traganje za studentskim grupama (društvenim, sportskim, akademskim, itd.); 4. Pregeled fotografija studenata sa željenog fakulteta; 5. Pretragu profila studenata sa fakulteta; 6. Pregled poruka na zidu, forumima, blogovima kako bi se sagledali komentari drugih o fakultetu; 7. Pregled studentskih video zapisa u vezi fakulteta ili nastave; 8. Pretragu informacija o fakultetima na fan stranicama.

Budući studenti Ekonomskog fakulteta u Subotici se najviše povezuju putem društvenih medija sa tekućim ili svršenim studentima te ova komunikacija značajno može oblikovati njihovo mišljenje. Fakultet kao uslužna institucija mora strogo voditi računa o word of mouth marketingu i snažnom uticaju koji može imati u uslovima intenzivne primene sajtova društvenih medija.

### **3.2. Ocena proporcije osnovnog skupa na osnovu uzorka**

Uticaj na društvenim medijima predstavlja meru uticajnih osoba (eng. influencer) na društvenim medijima koji su pomogli da se pronese poruka institucije ili kompanije. Uticajni korisnici imaju lojalne pratiocce, prijatelje ili obožavatelje koji čitaju njihove sadržaje i cene njihovo mišljenje. Prema tome, kada oni spomenu određeni brend njihova reč je kredibilnija i uticajnija nego kada kompanija sama spomene svoj brend. Potrebno je prepoznati značaj uticajnih korisnika i meriti njihov uticaj na kompaniju ili brend. Kako uticajni korisnici generišu sadržaje na društvenim medijima, analizirani su oni aspekti upitnika koji bi mogli okarakterisati uticajne ispitanike, a pre svega upotreba foruma i blogova.

U uzorku od 303 ispitanika 68 đaka ostavlja komentare na forumima, a 154 đaka čita komentare na forumima. Uz verovatnoću od 95% utvrđeno je da od ukupnog broja studenata koji su upisali prvu godinu Ekonomskog fakulteta u Subotici njih 18.74% do 26.14% će razmenjivati svoja iskustva i mišljenja na forumima za potrebe školovanja, odnosno između 148 i 207 studenata. Uz verovatnoću od 95% utvrđeno je da od ukupnog broja studenata koji su upisali prvu godinu Ekonomskog fakulteta u Subotici njih 46.40% do 55.26% će pratiti forume za potrebe školovanja, odnosno između 367 i 437 studenata.

Analizom podataka o đacima koji su aktivni na forumima utvrđeno je da su oni prisutni na društvenim medijima, pre svega na Facebook-u, YouTube-u i Google+, intenzivno čitaju sadržaje sa Wikipedia-e i većina pretežno čita blogove, a retko ih komentarišu. Ovi đaci žele da se povežu putem društvenih medija kako bi održali kontakte sa prijateljima i delili sa njima sadržaje pretežno zabavnog karaktera, ali im je prisutnost na društvenim medijima izuzetno bitna i radi boljeg informisanja i lakšeg dolaska do kvalitetnih sadržaja, kao i radi praćenja raznih školskih aktivnosti i efikasnije komunikacije sa drugim đacima. Smatraju da bi društvene mreže trebale intenzivnije da se uključe u tokove komunikacija sa nastavnim osobljem koje je već u velikoj meri u krugu njihovih on lajn prijatelja. Ova grupa đaka je grupa potencijalno uticajnih studenata koji bi svojim intenzivnim angažmanom i produkovanjem sadržaja na društvenim medijima moglo da oblikuje mišljenja drugih đaka. Kako su iskustva američkih fakulteta pokazala, za visokoobrazovne institucije je višestruko korisno da studente koji imaju u on lajn okruženju snažan društveni uticaj uključe u koncipiranje i realizaciju marketing strategije na društvenim medijima.

Uz verovatnoću od 95% nastojali smo da pronađemo procenat studenata koji će u osnovnom skupu koristiti blogove i forume za potrebe školovanja ukoliko je od 303 ispitanika 56 đaka pratilo i ažuriralo blogove za potrebe školovanja. Analiza uzorka od 303 ispitanika je pokazala da 18,48% đaka koristi blogove za potrebe školovanja. Statistička ocena osnovnog skupa na osnovu uzorka je pokazala da od ukupnog broja studenata koji su upisali prvu godinu Ekonomskog fakulteta u Subotici njih 15% do 21.92% će koristiti blogove za potrebe školovanja, odnosno između 119 i 173 studenata.

Detaljnijom analizom podataka o đacima koji su pratili sadržaje blogova tokom svog obrazovanja utvrđeno je da je reč o odličnim đacima koji su pohađali ekonomsku školu i koji dolaze iz urbanih sredina (Novi Sad, Subotica, Zrenjanin). Većini su osnovni motivi društvenog povezivanja kontakt sa prijateljima, deljenje zabavnih sadržaja (video zapisi, fotografije, muzike), kao i praćenje školskih aktivnosti i komunikacija sa đacima. Ovi đaci nemaju nameru da se priključe specijalizovanim grupama (brendova, kompanija, i sličnog), ne troše svoje vreme na igranje igrica, ali ni ne koriste društvene medije iz potrošačkih pobuda poput praćenja brendova, popusta, akcija i drugih pogodnosti koje kompanije stavljaju na raspolaganje svojim on lajn prijateljima. Dakle, može se zaključiti da su ovi đaci fokusirani na postizanje uspeha u školi i u skladu sa tim koriste raspoložive društvene medije. Oni ne generišu sadržaje, ali aktivno prate sadržaje koje drugi postavljaju i ovo je grupa budućih studenata čije mišljenje potencijalno može biti oblikovano izvorima dostupnim na Internetu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na teritoriji Republike Srbije upotreba društvenih medija u potrošačkom društvu predstavlja neistraženu oblast čemu svedoči i nedostatak podataka u Republičkom zavodu za statistiku Republike Srbije o njihovoj upotrebi. Dodatno, prema našem saznanju, naučna zajednica Republike Srbije se nije bavila detaljnijom analizom upotrebe društvenih medija u visokom obrazovanju. Kako i u drugim oblastima, tako i u oblasti visokog obrazovanja, bitno je upoznati se sa bazom potrošača i ponašanjem studenata na društvenim medijima kako bi se mogle postaviti adekvatne menadžerske i marketing strategije. Takođe, iz perspektive univerziteta, bilo bi korisno istražiti uticaj javnog raspoloženja na izbor pojedinih fakulteta ili studijskih programa.

Predstavljeni rezultati istraživanja oslikavaju bazu potrošača Ekonomskog fakulteta u Subotici u kontekstu njihove upotrebe društvenih medija. Zahvaljujući detaljnoj analizi profila on lajn ponašanja studenata, čiji je deo prikazan u radu, mogu se postaviti smernice za uključenje društvenih medija u poslovanje visokoobrazovnih institucija, kao neminovnost savremenog poslovanja. Obzirom da je većina ispitanika prisutna na Facebook-u i iskazala je želju za intenzivnijim uključenjem društvenih mreža u obrazovanje svaki fakultet bi trebao da se postara da bude prisutan na ovom društvenom medijumu. Prisutnost ne bi trebala da je pasivna nego da omogući studentima informacije u formi koju oni preferiraju kao i vid interakcije na koji su navikli. Kako je analiza pokazala studenti preferiraju on lajn ćaskanje, te bi se ovaj vid komunikacije mogao omogućiti sa predstavnicima fakulteta. Zatim, studenti preferiraju razmenu video materijala i slika te se pojedine informacije studentima mogu distribuirati u ovoj formi. Studentima je potrebno omogućiti pristup zvaničnom YouTube kanalu, kao i zvaničnom fakultetskom forumu gde bi razmena mišljenja i iskustava bila parcijalno vođena ili inicirana. Dodatno, studentskim organizacijama i studentima koji imaju praksu vođenja blogova treba omogućiti prostor da u ovoj formi iskažu svoja razmatranja ili utiske o pojedinim temama i dozvoliti ostalim studentima da slobodno ostavljaju komentare. Na ovaj način, uz mnoge druge potrebne iskorake, fakultet bi se približio prezentovanom profilu studenata. Društveni mediji su izuzetno uticajan skup medijuma, te u savremenim uslovima poslovanja oni ne bi smeli zapostaviti.

#### LITERATURA

- [1] Bar-Haim, R., Dinur, E., Feldman, R., Fresko, M., & Goldstein, G. (2011). Identifying and Following Expert Investors in Stock Microblogs, Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Lexington Books, ISBN: 978-0-7391-6729-8, (2013) 129-145.
- [2] Bollen, J., Mao, H., & Xiaojun, Z. (2011). Twitter mood predicts the stock market, Journal of Computational Science, Volume 2 (1), 1-8.
- [3] Chaovalit, P., & Zhou, L. (2005). Movie Review Mining: a Comparison between Supervised and Unsupervised Classification Approaches, Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences.
- [4] Dave, K., Lawrence, S., & Pennock, D.M. (2003). Mining the peanut gallery: Opinion extraction and semantic classification of product reviews, Proceedings of WWW, 519-528.
- [5] Facebook Investor Relations. (2014). Доступно на <http://investor.fb.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=802760>, приступљено јануара 2014.
- [6] Feldman, R., Rosenfeld, B., Bar-Haim, R., & Fresko, M. (2011). The Stock Sonar — Sentiment Analysis of Stocks Based on a Hybrid Approach, Proceedings of 23rd IAAI Conference on Artificial Intelligence.

- [7] Harris, L., & Dennis, C. (2011). Engaging customers on Facebook: Challenges for e-retailers, *Journal of Consumer Behaviour*, 10, 338–346.
- [8] Heinonen, K. (2011). Consumer activity in social media: Managerial approaches to consumers' social media behavior, *Journal of Consumer Behaviour*, 10, 356–364.
- [9] Hosterman, A.R. (2013). *Tweeting 101: Twitter and the College Classroom*, Social media usage and impact, Lexington Books, ISBN: 978-0-7391-6729-8, 93-111.
- [10] Hu, M., & Liu, B. (2004). Mining and Summarizing customer reviews. Proceedings of the 10th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining. ACM, New York, NY, USA, KDD'04, 168-177.
- [11] Insight HigherEd. (2012). Alexandra Tilsley, *Social Networks and College Choices*, доступно на <http://www.insidehighered.com/news/2012/09/24/survey-examines-how-prospective-students-use-social-media-research-colleges>, приступљено јануара 2014.
- [12] Lewis, B.K., & Nichols, C. (2013). Attitudes and Perceptions about Social Media Among College Students and Professionals Involved and Not Involved in Strategic Communications, *Social media usage and impact*, Lexington Books, ISBN: 978-0-7391-6729-8, 129-145.
- [13] Li, Y.M., & Shiu, Y.L. (2012). A diffusion mechanism for social advertising over microblogs, *Decision Support Systems*, 54, 9–22
- [14] Liu, Y., Huang, X., An, A., & Yu, X. (2007). ARSA: A Sentiment-Aware Model for Predicting Sales Performance Using Blogs, *SIGIR'07*, ACM 978-1-59593-597-7/07/0007, Amsterdam, The Netherlands, 607-614.
- [15] Marques, A.M., Krejci, R., Siqueira, S.W.M., Pimentel, M., & Braz, M.H.L.B. (2013). Structuring the discourse on social networks for learning: Case studies on blogs and microblogs, *Computers in Human Behavior*, Volume 29 (2), 395-400.
- [16] McGlohon, M., Glance, N., & Reiter, Z. (2010). Star Quality: Aggregating Reviews to Rank Products and Merchants, Proceedings of the Fourth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media.
- [17] Smith, C. (2014). How Many People Use 370 of the Top Social Media, Apps and Tools, Јануар 2014, доступно на <http://expandedramblings.com/index.php/resource-how-many-people-use-the-top-social-media/2/#.UvkzqmJdXHg>, приступљено фебруара 2014.
- [18] Stoner, M. Editor. (2013). *Social Works: How #HigherEd Uses #SocialMedia to Raise Money, Build Awareness, Recruit Students, and Get Results*, EDUniverse Media, ISBN: 978-0-9888788-0-8.
- [19] Twitter Reports Fourth Quarter and Fiscal Year 2013 Results. (2013). Доступно на <https://investor.twitterinc.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=823321>, приступљено јануара 2014.
- [20] Varsity Outreach. (2013). Facebook and admissions – A closer look at how college admissions offices use Facebook, available on <http://blog.varsityoutreach.com/>, приступљено децембра 2013.
- [21] Wohn, D. Y., Ellison, N. B., Khan, M. L., Fewins-Bliss, R., & Gray, R.. (2013). The Role of Social Media in Shaping First-generation High School Students' College Aspirations: A Social Capital Lens, *Computers and Education*, 63, 424-436.
- [22] Yaros, R.A. (2013). *Social Media in Education: Effects of Personalization and Interactivity on Engagement and Collaboration*, Social media usage and impact, Lexington Books, ISBN: 978-0-7391-6729-8, 57-75.
- [23] Zeng, L., Hall, H., & Pitts, M.J. (2013). Cultivating a Community of Learners: The Potential Challenges of Social Media in Higher Education, *Social media usage and impact*, Lexington Books, ISBN: 978-0-7391-6729-8, 111-129.
- [24] Zhang, W., & Skiena, S. (2010). Trading Strategies To Exploit Blog and News Sentiment, Proceedings of the International Conference on Weblogs and Social Media.

**PRIMENA ASOCIJATIVNIH PRAVILA U SAVREMENOM ODLUČIVANJU****THE APPLICATION OF ASSOCIATION RULES IN MODERN DECISION MAKING**VIŠNJA ISTRAT<sup>1</sup>, SRĐAN LALIĆ<sup>2</sup>, MILKO PALIBRK<sup>3</sup><sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, visnja.istrat@gmail.com<sup>2</sup> Republički zavod za statistiku, Beograd, srdjan.lalic@stat.gov.rs<sup>3</sup> Uprava za zajedničke poslove republičkih organa, Beograd, milko.palibrk@uzzpro.gov.rs

**Režime:** Asocijativna pravila predstavljaju značajnu tehniku poslovne inteligencije u pronalaženju strukture podataka bez obzira na određenu vrednost varijabli. Oblast primene je raznolika, od kupovine, marketinga, prodaje pa sve do kompleksnih matematičkih i statističkih problema odlučivanja. Direktan značaj se ogleda u tome što se povećanjem efikasnosti poslovnog odlučivanja donose ispravne upravljačke odluke, koje rezultiraju strateškom prednošću poslovnog subjekta na tržištu. U radu će se prikazati praktična primena asocijativnih pravila na primeru prodaje. Cilj istraživanja je ukazivanje na značaj primene sistema asocijativnih pravila u savremenom odlučivanju.

**Ključne reči:** Asocijativna pravila, savremeno odlučivanje.

**Abstract:** Association rules represent the important technique of business intelligence in searching for data structure, regardless of the specific value of variables. Its field of application is diverse, from purchasing, marketing, sales, up to complex mathematics and statistics decision making issues. Direct significance is obtained by increasing the efficiency of business decision making to get best management decisions, that result by gaining strategic advantage of business subject at the market. In the paper there will be presented the practical application of association rules on the example of sales. The goal of the research is proving the significance of application of system of association rules in modern decision making.

**Keywords:** Association Rules, Modern Decision Making.

**1. UVOD**

Odlučivanje predstavlja izbor jedne iz skupa ponuđenih alternativa. Kao izuzetno kompleksan proces, koji treba da rezultuje donošenjem ispravnih upravljačkih odluka, potrebno je u kontinuitetu istraživati i unapređivati metode i tehnike savremenog odlučivanja. Savršeno rešenje za definisani problem ne postoji, te se treba orijentisati na pronalaženje najprihvatljivijeg rešenja. Donosilac odluke treba da poznaje pravila Teorija odlučivanja, kao i da poseduje iskustvo u praksi kako bi doneo poslovnu odluku koja će rezultovati maksimizacijom dobiti.

Potrebno je istaći tri dimenzije koje uslovljavaju potpuni razvoj ove discipline. To su: kvalitativni aspekt, kvantitativni aspekt i informaciono-komunikacioni aspekt. Ova tri aspekta odlučivanja u potpunosti zadovoljavaju sve koncepte razvoja savremenog odlučivanja, kako na teoretskom, tako i na aplikativnom nivou. Kvantitativnim pristupom u savremenom odlučivanju definisan je osnovni formalizam problema odlučivanja (Suknović and Delibašić 2010). Prema (Suknović 2001), problem odlučivanja, je petorka

$(A, X, F, \Theta, \succ)$  u kojoj je:

A : konačan skup raspoloživih alternativa, koje učesnik sesije rangira u cilju izbora najprihvatljivije;

X : skup mogućih rezultata koji slede kao posledica izbora alternative;

$\Theta$ : skup stanja sveta, zavisi od nepoznatog stanja sveta  $\theta \in \Theta$ , jer se posledice izbora alternative  $a \in A$  mogu razlikovati;

F:  $A \times \Theta \rightarrow X$  (1)

određuje za svako stanje sveta  $\theta$  i za svaku alternativu  $a$ , rezultujući posledicu  $x = F(a, \theta)$

$\succ$  : relacija slabog poretka na X, tj. binarna relacija koja ispunjava sledeće uslove:

$$x \succ y \text{ ili } y \succ x, \forall x, y \in X \quad (2)$$

$$\succ \text{ je tranzitivna, tj. } x \succ y, y \succ z \Rightarrow x \succ z. \quad (3)$$

Relacija  $\succ$  karakteriše donosioca odluke i naziva se relacija preferencije. Stroga preferenca  $x \succ y$ , znači da važi  $x \succ y$ , ali ne i  $y \succ x$ . Relacija indiferentnosti  $x \sim y$  znači da važi  $x \succ y$  i  $y \succ x$ . Najčešći način rešavanja problema odlučivanja jeste transformacija slabog poretka  $\succ$  na  $X$  u uobičajeni poredak  $\geq$  nad realnim brojevima pomoću funkcije korisnost. Prema (Radojević 1999) u uslovima generalnog problema odlučivanja pretpostavlja se da je stanje sveta  $\omega$  poznato,  $X$  je višedimenzionalno i poznato za svaku alternativu kao skup relevantnih vrednosti atributa.

## 2. ZNAČAJ SISTEMA ASOCIJATIVNIH PRAVILA

Prema (Agrawal et al. 1993), otkrivanje asocijativnih pravila je prvi uveo Agrawal 1993. godine sa svrhom analize potrošačke korpe na tržištu. Kod asocijativnih pravila, set podataka na engleskom jeziku se definiše kao itemset. Potreban set podataka za definisani istraživački problem se nalazi u bazi podataka. Poznat je kao drugačije strukturiran, neobičan, redak i abnormalan. Otkrivanje takvog seta je veoma značajno jer može da otkrije dragoceno znanje za određeni domen aplikacija, kao što je detekcija za zagađenje vazduha, za mreže, kritičan rad mašina, itd. Postoje dva osnovna pokazatelja kvaliteta pravila otkrivenog asocijacijom. U pitanju su: podrška i poverenje. Podrška govori koliko su procentualno određena kategorija, klasa ili pravilo zastupljeni u skupu podataka. Najčešće se odnosi na podršku oko AKO (IF) dela pravila. Poverenje predstavlja meru kvaliteta pravila koja predstavlja odnos između zastupljenosti celog pravila i zastupljenosti uzorka, ili između podrške celog pravila i podrške uzroka pravila.

U prethodnim istraživanjima uočeno je da većina algoritama tradicije asocijativnih pravila (Agrawal et al. 1993) još uvek sadrže ograničenje u uslovima efikasnosti, skalabilnosti i retko su primenjeni na prave setove podataka. Potrebno je podesiti sve relevantne kriterijume da bi se dobio najprihvatljiviji set podataka. Međutim, može se generisati veliki broj asocijativnih pravila. Kao rezultat, izuzetno je teško da se identifikuje koja asocijativna pravila su najinteresantnija i zaista značajna. Zbog kompleksnosti zadataka, teškoća u algoritmima i dodatnih performansi kompjutera, veoma limitirani značaj se daje otkrivanju najznačajnijih asocijativnih pravila. Ekstrahovanje kompletnog seta pozitivnih asocijativnih pravila je veoma važno u edukativnom kontekstu.

Shodno svemu prethodno opisanom, izvodi se zaključak da se povećava značaj i potreba za primenom asocijativnih pravila, jednom od najznačajnijih tehnika poslovne inteligencije. Pošto nema puno prethodnih istraživanja na ovu temu, uočava se prostor za proučavanje koji su najprihvatljiviji načini i modeli za poboljšanjem poslovnog odlučivanja sistemom asocijativnih pravila. Oblast primene je raznolika, od kupovine, marketinga, prodaje pa sve do kompleksnih matematičkih i statističkih problema odlučivanja. Direktna značaj se ogleda u tome što se povećanjem efikasnosti poslovnog odlučivanja donose ispravne upravljačke odluke, koje rezultuju strateškom prednošću poslovnog subjekta na tržištu u odnosu na konkurente.

## 3. PRIMENA SISTEMA ASOCIJATIVNIH PRAVILA U SAVREMENOM ODLUČIVANJU

U nastavku je prikazana studija slučaja preporuka potrošačke korpe za mala i srednja preduzeća. Za potrebe daljeg povećanja prihoda od transakcija u direktnoj prodaji i profita, Hewlett-Packard tim za analizu je dobio zadatak da izvrši studiju vezanu za prodaju preko interneta za mala i srednja preduzeća i call centar. Cross-sell odnosno unakrsna prodaja podrazumeva, između ostalog, dodavanje monitora, docking stanica, ili dobijanje digitalne kamere uz kupovinu notebook-a. Up-sell, odnosno uvećana prodaja je slobodno definisana kao paket (Verhoef et al. 2010). Na primer, uvećana prodaja uključuje dodavanje svega što povećava vrednost personalnog računara (PC), kao što je dodavanje memorije, tvrdog diska ili DVD drajva.

Širi cilj projekta je da uveća prihode i maržu prodavnice, povećavajući srednju vrednost porudžbine (eng. *Average Order Value*, u daljem tekstu AOV) implementirajući analitička rešenja. Odnosno, cilj je uočavanje i primena asocijacija, formalizovanih putem asocijativnih pravila, kako bi se uočile zakonitosti u podacima i poboljšalo poslovanje. Ova studija je poslužila kao dokaz koncepta, koji se može sprovesti u budućim investiranjima. Da bi kreirali manuelno izvršavanje, proces je kreiran tamo gde postoji prodaja, informacije o proizvodima, a interne marketing informacije su integrisane i analizirane da bi se identifikovale potencijalne cross-sell i up-sell preporuke.

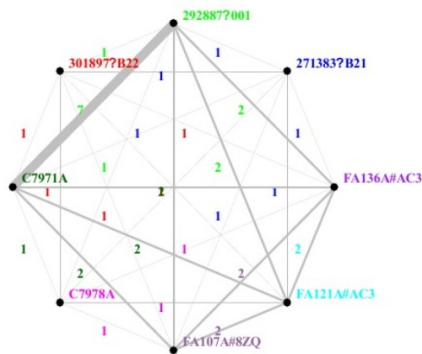
Studija je dizajnirana tako da generiše učenje koje bi bilo korisno za implementaciju u regionu i u program koji bi eventualno bio primenljiv svuda u svetu. Program bi omogućio segmentima marketinga i



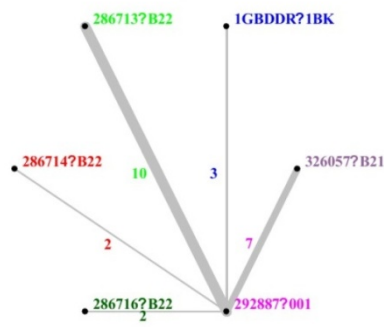
timovima koji prodaju proizvode preko telefona da povećaju maržu i prohode u direktnom poslovanju. Preporuke za preko 25 modela desktop računara, notebook-ova, štampača, servera, kategorije proizvoda za rad i skladištenje, reprezentujući više od 100 različitih stavki (eng. *Stock Keeping Unit*, u daljem tekstu SKU), bili su generisani za vreme studije. Maksimizacija prihoda i dostupnost proizvoda bili su ključni kriterijumi u procesu SKU selekcije. Preporučene ponude su ubačene u konfigurator proizvoda (internet stranu gde kupci mogu da izaberu željenu konfiguraciju) i “check-out” strane izabranih proizvoda.

Tim od 5 članova prijavilo se za projekat koji planira dve inkrementalne verzije. Verzija 1 koristi podatke ranijih kupovina da generiše predloge na osnovu onog što je tradicionalno bilo kupovano u prošlosti. Cilj ove faze je da maksimizuje očekivani cross-sell i up-sell prihod. Verzija 2 dodaje podatke o profitabilnosti proizvoda podacima o ranijim kupovinama i dobijaju se preporuke bazirane na osnovu tradicionalnih osobina proizvoda i njihovom učešću u profitu kompanije. U ovoj fazi, tim planira da maksimizuje težinsku funkciju prihoda i profitabilnosti.

Uradjena je objektivnost korišćenja marži i prihoda u funkciji bodovanja za rangiranje dostupnih preporuka, i omogućavanje vremena između naručivanja i dostave (lean time) kao mogući kriterijum, za različite Hewlett-Packard izvore podataka, koji su identifikovani, ocenjeni i integrisani. Izvori uključuju podatke prodajnih transakcija, specifikacija proizvoda, hijerarhiju proizvoda i podatke dostupnosti proizvoda. Pre upoznavanja sa izvođenjem analize, tim je odlučio da operacionalizuje zavisne promenljive: cross-sell i up-sell. Cross-sell se odnosi na dodatke “izvan kutije” koje kupci dodaju osnovnom modelu. Jedan prost primer je kupovina kabla za štampač, kertridže ili papir koji koristi taj štampač. S druge strane, up-sell se odnosi na nadogradnju sistema koji je prodat kao “paket”. Na primer, desktop paket, uključujući monitor, softver, i sve unutrašnje dodatke kao što su DVD rezač ili memorija i oni se podrazumevaju da budu deo “paketa”. Sama priroda SMB radnje je dovela do izbora tipa analize koji je tim bio u mogućnosti da koristi. Ne postoji mogućnost registracije prilikom kupovine, sistem nije u mogućnosti da poveže kupca sa njegovom individualnom istorijom izbora pri kupovini. To je uzrok što prodavci nisu bili u mogućnosti da iskoriste tehnike koje vode ka rezultatima verovatnoća proizvod/izbor (kao što se dobija logičkom regresijom).



**Slika 1:** Up-sell analiza potrošačke korpe za narudžbinu 849608



**Slika 2:** Cross-sell analiza potrošačke korpe za narudžbinu 849608

Slike 1 i 2 respektivno ilustruju cross-sell i up-sell koji su u vezi sa prikupljenim podacima uzimajući u obzir količine za svaki SKU po redosledu. Ovaj način grafičkog prikaza analize potrošačke korpe se koristi da bi se pojednostavila interpretacija rezultata. Tačke grafa na Slici 1 predstavljaju SKU, a linije između tih tačaka predstavljaju frekvenciju, odnosno broj ponavljanja veze. Na primer, par C7971A: 292887-001 pojavljuje se 7 puta u primeru redosleda. Može se primetiti da je debljina linije koje povezuju tačke proporcionalna njihovim ponavljanjima. Lako se uočava najveća frekvencija pojedinih kupovina na slikama, koja pokazuje asocijacije o artiklima koji se kupuju vezano. Jedna od karakteristika grafičke prezentacije je da prikazuje količinu korišćenjem boje tačke za koju je vezana poreklom, što pomaže u razlikovanju kod veličina vezanih za svaku liniju. Asocijacije se mogu lako uočiti na grafičkom prikazu, što dalje vodi ka kreiranju asocijativnih pravila o vezanim kupovinama koje rezultiraju povećanim profitom i maksimizacijom performansi kompanije.

Analize prikazane na Slikama 1 i 2 su napravljene za sve narudžbine od interesa i rezultat je spojen tako što reprezentuje povezanosti pronađene u vremenskom razmaku od interesa. Dakle, za bilo koji proizvod i njegove odgovarajuće SKU, rešenje se dobija čitajući iz baze podataka za sve odgovarajuće podatke odabrane grupe SKU; analizira se za cross-sell i up-sell, zatim se rangiraju preporuke tako što se kreira



funkcija za rangiranje koja uzima u obzir maržu i prihode i obezbeđuje do tri različita predloga. Zbog restrikcija vezanih za veličinu internet strane, broj predloga je ograničen i po jednom proizvodu je 7 za up-sell i 5 za cross-sell.

Na kraju, analitičari prvo generišu do 7 up-sell predloga (jedinственe za ciljani proizvod) i na isti način, do 5 jedinstvenih cross-sell predloga. Analizom dobijenih rezultata, otkrivanjem zakonitosti u podacima dolazi se do asocijativnih pravila. Uočava se njihov uticaj na potrošačku korpu i afiniteti kupaca. Zatim, dodatna dva različita predloga su napravljena za svaki od gore generisanih predloga da bi dali opciju biznis pokretačima da dodaju originalno ponuđenim ponudama.

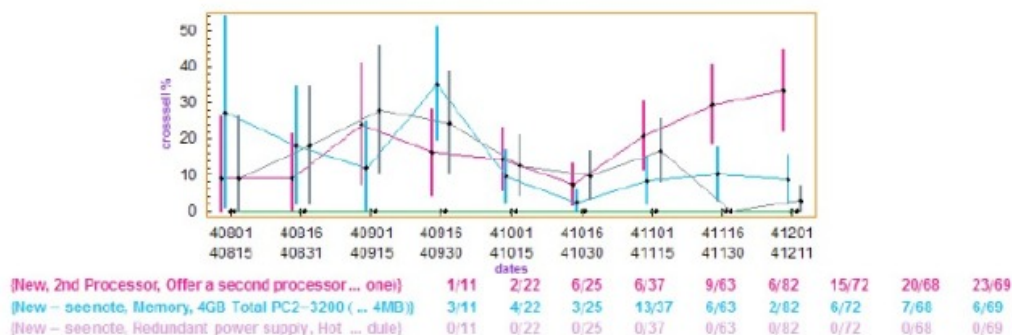
Analitičari prezentuju i pregledaju preporuke sa organizacijama segmentiranog marketinga da bi dobili odobrenje i finalizirali ciljne ponude koje treba postaviti na websajt proizvoda i u kontakt centrima. Proces takođe podrazumeva slaganje oko odgovarajućeg pozicioniranja preporuke na samom websajtu, kao i oko teksta koji će biti korišćen za ponudu. U procesu pregleda isporučeno je do 7 up-sell i 5 cross-sell preporuka. One su zatim predate marketing timu, koji na kraju finalizira ponudu. Performanse svake metrike su pregledane na SKU nivou, skupljene u kategoriju nivoa proizvoda (npr. svi notebook računari su sakupljeni u kategoriju “notebook”) i konačno na nivo studije.

Tabela 1 ispod pokazuje preporuke za većinu kategorija na koje su značajno uticale gore pomenute metrike. Na primer, 18% je povećanje prilikom stope vezivanja a čak 36% povećanje prilikom prihoda vezivanja po SKU prihodu; više od 2% povećanje u slučaju srednje vrednosti porudžbine za desktope u fazi I. Slično tome, može se primetiti značajno povećanje i u fazi II.

**Tabela 1:** Performanse u ključnim pokazateljima (procentualna promena od kontrolnog perioda)

Product Category	Attach Rate		Attach Revenue by SKU		Average Order Value	
	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
Desktops	18.2%	8.2%	36.8%	10.5%	2.2%	16.2%
Printers	1.8%	20.6%	59.3%	30.2%	26.0%	7.1%

Kontrolni grafikoni su kreirani da bi demonstrirali značaj u promeni (ako postoji) proporcije prihvatljivosti za svaki predloženi SKU. Slika 3 prikazuje primer grafičke analize napravljene za ocenjivanje efikasnosti preporuka. Ova slika, u stvari, predstavlja cross-sell analizu za server DL380 kada su porudžbine stigle od strane prodajnih zastupnika. Na grafiku na x osi je predstavljen datum (40801=>2014/08/01) i svaka serija opisuje cross-sell %. Primećuje se da svaka tačka ima 90% interval pouzdanosti oko odgovarajuće proporcije. Ovi intervali pouzdanosti pomažu pri ocenjivanju, bilo da postoji ili ne značajna razlika u proporciji jednog u odnosu na drugi vremenski period. Na Slici 3 može se uočiti da je za drugi procesor, cross-sell proporcija 16.10. na najnižoj tački, a dalje se značajno povećava. Za svaku kategoriju proizvoda, slične procene su napravljene za kombinacije cross-sell, up-sell, kao i sa asistencijom, bez asistencije ili sve prodaje zajedno. Sve procene su programirane tako da bez obzira kada program bude pokrenut grafici će biti automatski osveženi za sve proizvode u grafiku. Prema tome, ne samo da je proces preporuka automatizovan, nego i proces procene efikasnosti za sve preporuke.



**Slika 3:** Sekvencijalni intervali poverenja za testiranje efikasnosti preporuka

Tim je takođe procenio povećanje prihoda u vezi sa svakom preporukom svakog SKU. Ako je pozitivan, značajna razlika u procentima prihvatljivosti za određenu preporuku, nastavljaju sa procenama povećanja prihoda povezanih sa svakom preporukom. Ovaj metod izgleda ovako: Pretpostavljajući da za bilo koji proizvod SKU (SKU<sub>p</sub>) postoji n preporuka SKU<sub>s</sub> (SKU<sub>pR</sub>, R=1, 2...n), povećanje prihoda za svaki SKU<sub>pR</sub> je dobijeno korišćenjem sledeće formule:

$$IR_{pR} = CR_{pR} \times (1 - CP_{pR}/PP_{pR}) \quad (4)$$

- $IR_{pR}$  = povećanje prihoda,
- $CR_{pR}$  = prihod vezan za SKU kada je prodat sa proizvodom p u kontrolnom periodu,
- $CP_{pR}$  = proporcija prihvatljivosti za SKU kada je prodat zajedno sa proizvodom p u kontrolnom periodu,
- $PP_{pR}$  = proporcija prihvatljivosti za SKU kada je prodat zajedno sa proizvodom p u periodu studije.

Ovaj metod nije zavisian od dužine studije i kontrolnog perioda. Razlike u veličini uzoraka vezanih za svaki period su uzete u obzir, statistički na testu hipoteza, da uporede proporciju prihvatljivosti za vreme studije i u kontrolnom periodu

Program za izračunavanje svih vrednosti povećanja prihoda je napravljen tako da sve ove vrednosti budu automatski ažurirane za sve proizvode kada je vreme za procenu ekonomskog uticaja projekta.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na kraju istraživanja zaključuje se da je sistem asocijativnih pravila veoma interesantna i primenljiva oblast poslovne inteligencije, koja primenom stvara značajna poboljšanja performansi poslovnog subjekta.

Na kraju, studija je generisala prihod od investicije od \$300K mesečno, 3% povećanje u stopi vezivanja, skok od 15% u prilog vezivanju po SKU prihodu i više od 5% unapređenja u srednjoj vrednosti porudžbe. Tim je našao olakšice koje mogu biti još važnije nego finansijske. Relativno novi tim bio je u stanju da stvori jaku povezanost sa biznis pokretačima, upozna ih sa olakšicama koje pruža analiza, i dobije njihovu podršku za buduće analize prihoda. Na ovom primeru uočava se važnost primene asocijativnih pravila na realnom poslovnom problemu prodaje.

Pokazano je da, ukoliko se pravilno uoče i dalje analiziraju, zakonitosti u podacima utiču u velikoj meri na prodaju asortimana proizvoda. Prodaja direktno utiče na profit kompanije i njenu konkurentnost na tržištu. Na tržištu malih i srednjih preduzeća izuzetno je važno koristiti u poslovanju asocijativna pravila, kako bi se uočilo koji artikli se kupuju vezano i time mogu značajno da povećaju dobit kompanija. Koncept potrošačke korpe se može uspešno primeniti na poslovne sisteme. Analiza velikih količina podataka iz repozitorijuma poslovnih sistema se može asocijacijama primeniti za potrebe povećanja profita i učešća na tržištu kompanija. Predikcija poslovnih rezultata upotrebom alata poslovne inteligencije doprinosi stvaranju kompetitivne prednosti poslovnog subjekta.

#### LITERATURA

- [1] Agrawal, R., Imielinski, T. & Swami, A. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. In Proc. ACM-SIGMOD, Int. Conf. Management of Data, Washington, 207-216
- [2] Berry, M. & Linoff, G., (2004). Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Relationship Management. Wiley Publishing Inc, USA.
- [3] Bramer, M. (2007). Principles of Data Mining. Springer London limited.
- [4] Han, J. & Kamber, M. (2006). Data mining: Concepts and techniques (2nd ed). Boston, MA: Elsevier
- [5] Larose (2004). Discovering knowledge in data, an introduction to data mining. John Wiley & Sons.
- [6] Raab, G., Ajami, R., Gargeya, V. & Goddard, G. (2008). Customer Relationship Management, a Global Perspective. Ashgate Publishing Group. Surrey. Great Britain.
- [7] Radojević, D. (1999). Donošenje odluka na osnovu više atributa i logička reprezentacija Šokeovog integrala. Institut Mihajlo Pupin. Beograd.
- [8] Suknović, M. & Delibašić, B. (2010). Poslovna inteligencija i sistemi za podršku odlučivanju. FON. Beograd.
- [9] Suknović, M. (2001). Razvoj metodologije podrške grupnom odlučivanju. Doktorska disertacija. FON. Beograd.
- [10] Thearling, K. (2010). Data Mining for CRM. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. Springer Science & Business Media.
- [11] Verhoef, P.C., Venkatesan, R., McAlister, L., Malthouse, E.C., Krafft, M. & Ganesan, S. (2010). CRM in Data-Rich Multichannel Retailing Environments: A Review and Future Research Directions. Journal of interactive marketing 24. 121-137



## MAŠINSKO UČENJE: EVALUACIJA PERFORMANSI KLASIFIKATORA U KONTEKSTU OGRANIČENE RASPOLOŽIVOSTI PODACIMA

### MACHINE LEARNING: PERFORMANCE EVALUATION CLASSIFIER IN THE CONTEXT LIMITED AVAILABILITY DATA

OLIVERA JANKOVIĆ

ORAO a.d. Bijeljina, janolja@yahoo.com

**Rezime:** U ovome radu korišten je trening set podataka iz domena klasifikacionog problema. Za klasifikaciju korišteni su ZeroR algoritam, za procjenu bazne tačnosti, i J48 algoritam u okviru WEKA alata za istraživanje podataka. Izvršena je evaluacija performansi klasifikatora u kontekstu ograničene raspoloživosti podataka, te prikazani i diskutovani dobijeni rezultati.

**Ključne reči:** Mašinsko učenje, Klasifikacija, Evaluacija klasifikatora, Podaci.

**Abstract:** In this paper is used the training data set from the domain of the classification problem. As a classifier was used ZeroR algorithm to estimate the baseline accuracy, and J48 algorithm within WEKA tool for data mining. It is performed the evaluation of the classifier performance in the context of the limited availability of data, and presents and discusses the results obtained.

**Keywords:** Machine Learning, Classification, Evaluation of Classifier, Data.

#### 1. UVOD

Za potrebe mašinskog učenja (*machine learning*) kao i istraživanja podataka (*data mining*) koriste se podaci koji se čuvaju elektronski, na raznim vrstama i tipovima medija, pretraga je automatizovana korištenjem raspoloživih računarskih resursa. Ovom načinu pretrage predhode iskustva dugog niza godina u kojima su stručnjaci raznih profila (ekonomisti, statističari, inženjeri, ...) predano radili, vođeni idejom da se u određenim oblastima njihovog djelovanja prepoznaju određeni obrasci u postojećim, raspoloživim podacima i prepoznati koriste u svrhu predviđanja u daljnjem radu. Novo u ovoj strategiji dolazi od zapanjujuće povećanih mogućnosti računarskih resursa. Jedna od „posljedica“ toga je i ogromna količina podataka koja opet posljedično stavlja u fokus i doprinosi uvećanju značaja mašinskog učenja i istraživanja podataka. Upravo od njih se očekuju određeni, ponekad dragocjeni resursi, putem razjašnjenja obrazaca koji se nalaze u osnovi te ogromne količine podataka, a u cilju novih spoznaja i saznanja, koja pak u svijetlu komercijalnog pristupa potencijalno vode ka konkurentskoj prednosti.

Stoga kontekstualno je važna činjenica koja ukazuje na to da su podaci u realnom životu najčešće korporativno vlasništvo, a korporativni podatak vrijedno sredstvo koje se u principu ne dijeli. U praksi su u opticaju i tržišta na kojima se mogu kupiti određene kolekcije podataka ali za potrebe izučavanja, u oblastima kao što su mašinsko učenje i istraživanje podataka, svakako su veoma korisne besplatne, javno dostupne kolekcije podataka. Jedan takav javno dostupan set podataka koji odslikava karakteristike realnog skupa podataka, vezan za procjenu prihvatljivosti modela automobila, adaptiran je i korišten u okviru primjera pokazanih kroz prizmu problematike ovoga rada.

Za pronalaženje i opisivanje obrazaca u podacima potrebno je koristiti određene tehnike. Većina tih tehnika se razvila u oblasti poznatoj kao mašinsko učenje. Kroz rad će se ilustrovati primjena jedne metode za učenje, upotrebom pomenutog trening skupa podataka, korištenjem J48 klasifikatora (baziran na poznatom C4.5 algoritmu koji generiše stablo odlučivanja) u okviru WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) alata. Ovaj besplatan, open source softver, omogućava implementaciju aktuelnih algoritama za učenje (*learning algorithms*) i njihovu primjenu na određene skupove podataka što se može iskoristiti za istraživanje (rudarenje) podataka u raznim aplikacijama. U radu je analiziran dobijeni izlaz; izvršena je evaluacija performansi klasifikatora te prikazani i diskutovani dobijeni rezultati različitih opcija evaluacije, tj. prikazani su različiti načini evaluacije klasifikatora, sa akcentom na ograničenu raspoloživost podataka.

## 2. MAŠINSKO UČENJE

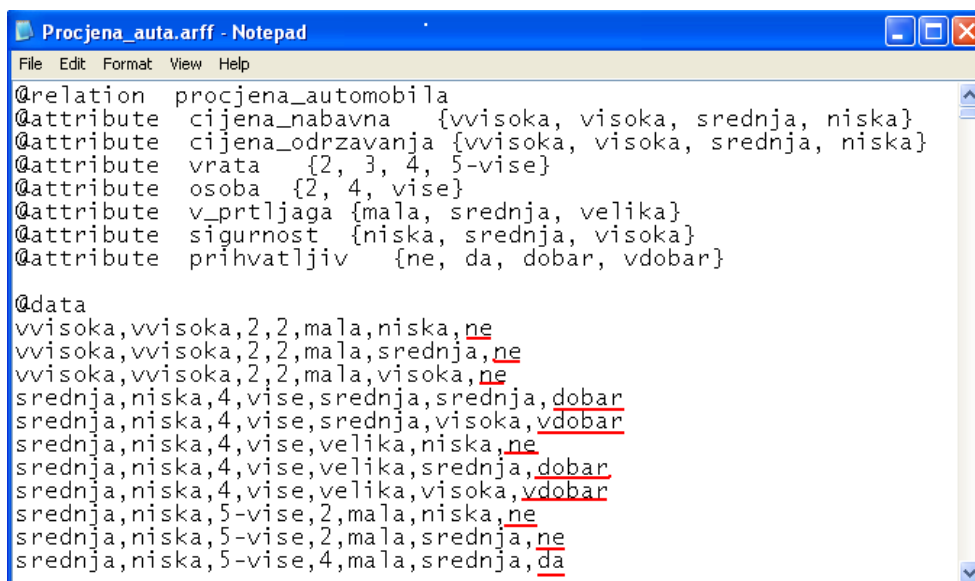
Mašinsko učenje se može pojednostavljeno posmatrati kao svojevrsan vid potrage za obrascima u podacima koji nas okružuju, a koji se iz minuta u minut „nemilosrdno“ gomilaju. Gledano kroz istoriju čovjekova postojanja ova potraga počela je odavno, od egzistencijalnih potraga - sa lovcima koji su pratili migracije životinja ili pak ratarima koji od davnina „odsluškuju“ zemlju i prate usjeve. Bez obzira na različitost i opravdanost krajnji cilj je pronaći određene obrasce, koji odlikavaju kako određeni dio fizičkog svijeta funkcioniše i to pretočiti u teoriju koja se može koristiti za predviđanja, u nekim novim situacijama.

Postoje različite mjerodavne literature, koje daju definicije mašinskog učenja od kojih svaka ističe neke korisne i raznovrsne poglede u ovom području. Tako se prema Mitcheel (1997) „Oblast mašinskog učenja bavi pitanjem kako napraviti računarske programe koji se poboljšavaju sa iskustvom“. Marsland (2009) usvaja datu, programerskom aspektu blisku, definiciju i naglašava multidisciplinarnu prirodu oblasti mašinskog učenja. Hastie *et al.* (2013) sagledavaju mašinsko učenje iz perspektive statistike, dok se kod Bishop (2006) može pronaći jedan zreo pristup sa inženjerskog stanovišta a kroz računarske nauke. Iskustvo pak govori da je ovo područje u mnoštvu metoda i da je izbor adekvatnog pristupa ključ za ostvarivanje napretka.

### 2.1. Forme ulaza

Prema Witten and Frank (2011) ulaz uzima oblik koncepta (*concepts*), instanci (*instances*) i atributa (*attribute*). Samu ideju koncepta teško je ustanoviti precizno, no bez obzira na vrstu mašinskog učenja ono što treba da se nauči predstavlja koncept a sam izlaz šeme za učenje, rezultat procesa učenja predstavlja opis koncepta (*concept description*). Pri tome, opis koncepta treba da je razumljiv tako da se može shvatiti, o njemu diskutovati i potencijalno osporavati, i pri tome je operativan tako da se može primjeniti na aktuelne primjere.

Informacija koja se daje kao ulaz softveru za mašinsko učenje ima formu seta instanci, odnosno set instanci predstavlja ulaz u šemu mašinskog učenja. U kontekstu restriktivnog pristupa problemu smatra se da je svaka instanca individualan, nezavisan primjer koncepta koji treba biti naučen. Često je to daleko od praktičnih problema koji u startu uključuju odnose između objekata te ne predstavljaju odvojene neovisne instance. Pored toga postoje mnoge stvari koje žele da se nauče a za koje primjeri podataka ne mogu biti predstavljeni kao individualne i nezavisne instance (recimo vremenske sekvence) ali u kontekstu ovoga rada je problem i situacija u kojoj su informacije predstavljene u formi individualnih primjera. Svaka ta instanca je određena predefinisanim vrijednostima atributa kojima se mjere različiti aspekti instance. Postoji više tipova atributa ali najpoznatiji, najviše korišteni su numerički koji poprimaju brojčane vrijednosti i nominalni čije se vrijednosti (predefinisane liste vrijednosti), predstavljaju različitim simbolima (npr. atribut sigurnost ima nominalne vrijednosti niska, srednja i visoka (slika 1)).



```
Procjena_auta.arff - Notepad
File Edit Format View Help
@relation procjena_automobila
@attribute cijena_nabavna {vvisoka, visoka, srednja, niska}
@attribute cijena_odrzavanja {vvisoka, visoka, srednja, niska}
@attribute vrata {2, 3, 4, 5-vise}
@attribute osoba {2, 4, vise}
@attribute v_prtljaga {mala, srednja, velika}
@attribute sigurnost {niska, srednja, visoka}
@attribute prihvatljiv {ne, da, dobar, vdobar}

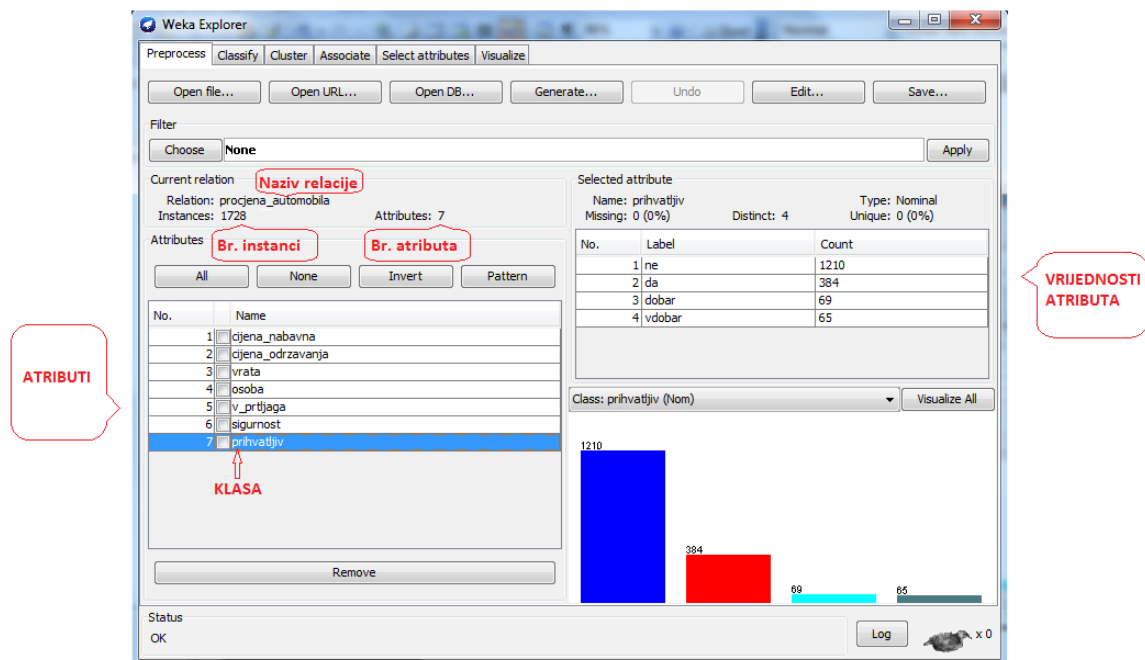
@data
vvisoka,vvisoka,2,2,mala,niska,ne
vvisoka,vvisoka,2,2,mala,srednja,ne
vvisoka,vvisoka,2,2,mala,visoka,ne
srednja,niska,4,vise,srednja,srednja,dobar
srednja,niska,4,vise,srednja,visoka,vdobar
srednja,niska,4,vise,velika,niska,ne
srednja,niska,4,vise,velika,srednja,dobar
srednja,niska,4,vise,velika,visoka,vdobar
srednja,niska,5-vise,2,mala,niska,ne
srednja,niska,5-vise,2,mala,srednja,ne
srednja,niska,5-vise,4,mala,srednja,da
```

Slika 1: Izgled početka Procjena\_auta.arff fajla sa podcrtanim vrijednostima klase

Standardan način predstavljanja skupa podataka koji se sastoji od nezavisnih, nenumerisanih instanci koji ne uključuje odnose među instancama, razvijen za Weka softver (Bouckaert *et al.* 2012) za mašinsko učenje,

poznat je kao ARFF format i predstavlja vlastiti formalizovani prikaz podataka. Na slici 1 je predstavljen primjer ARFF fajla za već pomenuti set podataka izbor automobila i kao što se može primjetiti ARFF fajl predstavlja ASCII text fajl koji opisuje listu instanci koja dijeli određeni skup atributa.

Sam skup ili set podataka (*dataset*), ekvivalentan dvodimenzionalnoj tabeli ili tabeli baze podataka na primjer, u Weka aplikaciji implementiran je u `weka.core.Instances` klasi tako da je set podataka kolekcija instanci `weka.core.Instances` klase. Svaka instanca, kao što se može vidjeti na slici 1 i slici 2, je predstavljena odnosno sastoji se od nekog određenog broja atributa a zadnji atribut, po defaultu u Weka aplikaciji, je klasa (*class*).



Slika 2: Prikaz ekrana Weka explorera – osnovne informacije za set podataka „Procjena\_auta“

Brojna iskustva ukazuju da su realni podaci razočaravajuće niskog nivoa kvaliteta te da je proces pažljivog provjeravanja, poznat kao čišćenje podataka (*data cleaning*), neophodan ali u krajnjem trebalo bi i isplativ. Stoga je jasno da posao koji se odnosi na pripremu podataka za istraživanje podataka u suštini predstavlja i traži najveći napor.

## 2.2. Forme izlaza

Postoji više načina da se predstavi izlazna struktura podataka, izlaz mašinskog učenja, koji je pak u uskoj sprezi sa korištenim tehnikama. Najjednostavniji i najviše rudimentaran način predikcije izlaza mašinskog učenja bila bi tabela odlučivanja (*decision table*) iz koje se direktnim čitanjem odgovarajućih uslova mogu donijeti odgovarajuće odluke.

Stabla odlučivanja (*decision tree*) i popularna alternativa klasifikaciona pravila (*classification rules*) dva su bazna stila reprezentacije „znanja“ koja koriste mnoge metode mašinskog učenja (znanje u kontekstu strukture koju te metode učenja proizvode). Poznati pristup „podijeli i osvajaj“ problemu učenja, iz skupa nezavisnih instanci prirodno vodi stilu reprezentacije koji se zove stablo odlučivanja. Skup klasifikacionih pravila da se lako čitati direktno sa stabla odlučivanja - jedno pravilo je generisano za svaki list. Asocijativna pravila (*association rules*) za razliku od klasifikacionih pravila mogu predvidjeti bilo koji atribut (ili kombinaciju atributa), a ne samo klasu.

Postoje i kompleksnije vrste pravila kao što su ona koja omogućavaju specifikaciju izezataka (*rules with exceptions*), ona koja mogu da izraze odnose između vrijednosti atributa različitih instanci (*rules involving relations*) dok neke metode učenja generišu klastere (*clusters*) instanci na primjer.

## 2.3. Algoritmi mašinskog učenja

Mašinsko učenje je ogromno polje proučavanja. Postoji mnogo algoritama, teorija, tehnika i klasa problema. Najčešće grupisanje algoritama je po stilu učenja. Ova taksonomija ili način organizovanja algoritama mašinskog učenja je korisna, jer primorava da se razmisli o ulogama ulaznih podataka i procesu pripreme



modela te da se izabere onaj koji je najprikladniji za određeni problem, kako bi dobili najbolji rezultat. Postoji nekoliko najčešće navođenih stilova ili modela učenja:

- Nadzirano učenje (*Supervised Learning*) – Metod funkcionira pod nadzorom obezbjeđujući aktuelni rezultat za zvaki trening set podataka. Ovaj rezultat, ishod se naziva klasa instance.
- Nenadzirano učenje (*Unsupervised Learning*) – Podaci trening seta ne sadrže željeni rezultat.
- Učenje uz podsticaje (*Reinforcement Learning*) – Učenje kroz interakciju sa okruženjem (koristi povratnu vezu iz okruženja).

Drugi koristan pristup je grupisanje algoritama po sličnosti forme ili funkcije.

### 3. EVALUACIJA PERFORMANSI KLASIFIKATORA

#### 3.1. Izbor algoritma za učenje

Prije svega, na samom početku, dragocjeno je prepoznati vrstu problema, jer znajući vrstu problema sa kojima se suočavamo omogućava nam da razmišljamo o podacima koji su nam neophodni i vrstama algoritama koji se mogu primjeniti. Uobičajene klase problema mašinskog učenja su klasifikacija, regresija i klasterovanje.

Uvidom u raspoloživi set podataka o automobilima (slika 1) može se vidjeti da je svakoj instanci pridružena klasa kojoj ta instanca pripada, stoga skup podataka pripada grupi klasifikacionih problema koji spadaju u pomenute, nadzirane probleme mašinskog učenja. U klasifikacionom učenju (*classification learning*) šema učenja (*learning scheme*) je predstavljena skupom klasifikacionih primjera od kojih se očekuje da nauče način razvrstavanja novih nepoznatih primjera (kako klasifikovati novi auto). Uzimajući navedeno u obzir biće korišten J48 algoritam (algoritam baziran na poznatom C4.5 algoritmu koji generiše stablo odlučivanja). Takođe za potrebe procjene bazne tačnosti (*baseline accuracy*) biće korišten ZeroR algoritam, koji će nam dati uvid u procenat za dobivanje tačnog rezultata za najvjerovatniju klasu (u ovom setu to je klasa vrijednosti „ne“).

#### 3.2. Problem raspoloživosti ograničenog skupa podataka

U kontekstu mašinskog učenja u osnovi se može govoriti o tri skupa podataka:

- Skup podataka za trening – koristi se za jednu ili više metoda učenja da bi se došlo do klasifikatora.
- Validacioni skup podataka – podaci se koriste da se optimizuju parametri klasifikatora ili da se izabere jedan određeni na primjer.
- Testni podaci – koriste se za testiranje, da se izračuna stopa greške konačnog optimizovanog modela.

Svaki od navedenih skupova podataka mora biti izabran nezavisno: validacioni set mora biti različit od trening seta da bi se dobili dobri rezultati optimizacije u fazi izbora; test skup podataka mora biti različit od preostala dva kako bi se dobila pouzdana procjena stvarne stope greške.

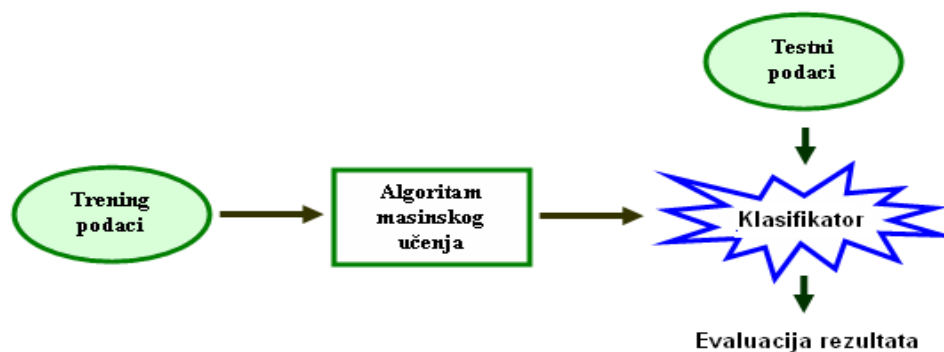
Pravi praktičan problem se javlja kada nije na raspolaganju velika količina podataka. To ograničava količinu podataka koja se može koristiti za učenje, validaciju i testiranje i problem postaje kako da se iskoristi ograničen skup podataka. Rješenje je obično da se iz ovog skupa podataka određena, veća količina podataka, izdvaja za učenje (*training set*), (ova procedura se zove holdout (*holdout*)) dok se ostatak koristi za testiranje (*testing set*) i ako je potrebno dio se izdvaja za validaciju (*validation set*).

Jasno je da ovdje dolazi do kolizije; da bi se pronašao dobar klasifikator želimo da koristimo što je više moguće podataka za obuku; da dobijemo dobru procjenu o grešci želimo da iskoristimo onoliko koliko je to moguće za testiranje. U praksi je uobičajeno da se jedna trećina podataka koristi za testiranje a preostali dio za učenje. Naravno može se desiti da uzorak za učenje/testiranje ne bude reprezentativan. Generalno, teško je reći (provjeriti) da li je uzorak reprezentativan ili ne, ali postoji jednostavna provjera koja u tu svrhu može biti korisna: svaka klasa u punom setu podataka treba da je reprezentovana u pravoj proporciji i u setu za učenje i u testnom setu podataka. Tako ako svi (loš scenario) primjeri određene klase nedostaju u setu podataka za trening (učenje,obuku) teško se može (nerealno je) očekivati da klasifikator iz dostupnih podataka nauči nešto korisno za izvršavanje kada su u pitanju primjeri te klase (situaciju dodatno otežava činjenica da je klasa nužno zastupljena u testnom setu, jer nijedne njene instance nema u trening setu).

Umjesto toga trebalo bi da se obezbjedi da se slučajni uzorak generiše tako da se garantuje da je svaka klasa pravilno zastupljena u oba seta podataka. Ovaj postupak se naziva stratifikacija (*stratification*) i možemo govoriti o stratifikovanom holdoutu. Premda je ovaj postupak korisno raditi on pruža samo primitivnu garanciju (zaštitni mehanizam) protiv neravnomjerne zastupljenosti u trening i setovima podataka za testiranje.

### 3.2. Postupak evaluacije

U radu je korišten pomenuti set podataka za procjenu prihvatljivosti automobila (originalnog naziva “Car evaluation”) javno dostupan, preuzet iz repozitorija za mašinsko učenje Centra za mašinsko učenje i inteligentne sisteme, Univerzitet Kalifornije (Center for Machine Learning and Intelligent Systems, University of California) koji trenutno održava 290 skupova podataka kao servis zajednici za mašinsko učenje. Ovaj set ima 1728 instanci i 7 atributa i radi lakše čitljivosti, svi nazivi atributa instanci i nominalne vrijednosti su semantički prilagođene adekvatnim terminima našeg jezika.



**Slika 3:** Mašinsko učenje - bazna situacija: obuka, testiranje i evaluacija rezultata klasifikatora

Na slici 3 prikazana je bazna situacija mašinskog učenje, kada na osnovu trening podataka algoritam za učenje proizvodi klasifikator. Testiranjem klasifikatora skupom testnih podataka dobiće se evaluacioni rezultati. Ti rezultati mogu biti pouzdani samo ukoliko su testni podaci različiti od trening podataka.

Prvenstveno zbog ilustracije (nešto što se ne preporučuje, rezultati evaluacije su obmanjujući), moguće je izvršiti i evaluaciju rezultata nad trening skupom podataka (test opcija „Use Training Set“). Tako, procjenjena tačnost korištenjem J48 klasifikatora (**Classifiers-trees>J48**) nad setom podataka Procjena\_auta i pomenutom testnom opcijom je 96,3%. Rezultat se ne smatra reprezentativnim jer potrebno je izvršiti testiranje skupom nezavisnih podataka.

Obzirom da je jedan skup podataka na raspolaganju postavlja se pitanje kako izvršiti testiranje i dobiti reprezentativne evaluacione rezultate. Logična je podjela raspoloživog seta podataka o kojoj je bilo riječi u prethodnom poglavlju. No prije nego se prikažu određeni načini evaluacije klasifikatora rezultata primjenićemo jednostavni ZeroR algoritam (**Classifiers-rules>ZeroR**) za procjenu osnovne tačnosti. Generalno se smatra da treba probati prvo jednostavne klasifikatore (jednostavnost je najbolja) pa tek onda one kompleksnije. Dobijeni rezultat nad cijelim trening skupom (što ovaj put obzirom na algoritam ima smisla) je 70.0 %, što je za očekivati obzirom da je broj instanci sa najzastupljenijom vrijednosti klase "ne" iznosi 1210 što u odnosu na ukupan broj instanci 1728, daje odnos  $1210/1728=0.70$ .

Pitanje predviđanja performansi na osnovu ograničenih podataka je jedno zanimljivo i još uvijek sporno pitanje. Može se naići na mnoge različite tehnike od kojih će u nastavku biti prikazana holdout metoda i unakrsna validacija (*cross validation*), korištenjem dostupnih opcija Weka alata za ove testne metode.

Za potrebe holdout metode biće izvršena podjela skupa podataka (test opcija „Percentage split“), u procentu 90% za trening podatke i ostatak, u ovom slučaju 172 instance, za testne podatke što bi sa jedne strane trebalo da predstavlja jednu „razumnu“ podjelu. S druge strane, razlog baš ovakvog odnosa podjele skupa podataka biće jasan nakon opisa sledeće izabrane metode (zbog poređenja), metode 10-struke unakrsne validacije (podjela na 10 dijelova – u oba slučaja 1/10 skupa za trening). Primjenom holdout metode postignuta tačnost iznosi 91.9%. Ukoliko ponovimo postupak (sa željom da dobijemo neke nove podjele – nove skupove za trening/testiranje) dobićemo ipak identičan rezultat, obzirom da zbog ponovljivosti rezultata Weka softver prije svakog pokretanja vrši inicijalizaciju generatora slučajnih brojeva (*random number generator*). Da bi dobili varijaciju ove podjele, izvršićemo direktnu inicijalizaciju sjemena "seed" generatora slučajnih brojeva (setovati **Random seed for cross validation/percentage split**). U tabeli 1 prikazani su dobijeni rezultati za 10 postupaka, za svaku setovanu vrijednosti od 1 do 10 respektivno.

Druga metoda, unakrsna validacija, dijeli skup na N dijelova (*fold*), pri čemu se n-1 dijelova koristi za trening a preostali dio za testiranje. Zatim se u istoj podjeli uzima drugih N-1 dijelova za trening a ostatak za testiranje. Postupak se ponavlja N puta, koristeći različite segmente za testiranje. To znači da je svaki primjer u raspoloživom setu podataka korišten jedanput za testiranje i N-1 puta za trening. U podjeli na N dijelova vodi se računa da svaki dio ima približno isti udio svake od vrijednosti klase (primjenjena je stratifikovana

unakrsna validacija). Primjenom 10-struke unakrsne validacije dobijeni rezultat iznosi 92.3% (približno rezultatu holdout metode). Obzirom na pomenutu ponovljivost rezultata i u ovom slučaju ponovićemo postupak 10 puta sa različitim vrijednostima *seed*-a (od 1 do 10). Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 1.

**Tabela 1:** Rezultati evaluacije klasifikatora - J48 algoritam, set podataka Procjena\_auta, korišten holdout i metoda unakrsne validacije sa različitim vrijednostima, od 1 do 10, sjemena generatora slučajnih brojeva

Sjeme ( <i>seed</i> )	Rezultati u % za različite vrijednosti generisanog slučajnog broja										Srednja vrijednost x (%)	Standardna devijacija $\sigma$ (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Holdout metoda (90 + 10)%	91.9	91.3	93.6	94.8	90.2	90.7	93.0	94.8	97.1	91.9	92.9	2.12
10-struka unakrsna validacija	92.3	92.4	91.8	92.1	92.8	92.0	92.3	91.9	91.8	92.3	92.3	0.32

Na osnovu dobijenih rezultata za oba načina izračunata je srednja vrijednost (suma svih vrijednosti podjeljena sa 10) i varijansa (kvadrat varijanse je suma kvadrata razlike pojedinačnih rezultata i srednje vrijednosti, podjeljena sa 9) odnosno standardna devijacija kao korijen varijanse.

Na osnovu dobijenih rezultata može se reći da performansa J48 algoritma, na polazni skup podataka procjena\_auta iznosi 92.9 %  $\pm$  2.1 % za holdout metod, odnosno 92.3%  $\pm$  0.3 % za metod 10-struke unakrsne validacije. Može se zaključiti da je korištena metoda unakrsne validacija dala bolji rezultat odnosno da predstavlja način redukovanja varijanse (očekivano odstupanje od srednje vrijednosti). Korištena je 10-struka validacija (praktično podržana bilo koja vrijednost za *fold*) jer se pokazala u praksi kao dovoljno tačna a računarski nije prezahtjevna.

## ZAKLJUČAK

U radu je opisan način, tabelarno prikazane i diskutovane dobijene vrijednosti, evaluacije rezultata klasifikacionog učenja u situaciji ograničenog skupa podataka korištenjem Weka alata.

Uspjeh klasifikacionog učenja može se cijeliti po isprobavanju opisa koncepta koji je naučen na nezavisnom setu podataka (testni podaci) za koji je klasifikacija poznata ali koji prethodno nisu korišteni. Postotak uspješnosti na testnom skupu daje objektivnu mjeru o tome koliko je dobar naučeni koncept. Ipak, u mnogim praktičnim aplikacijama istraživanja podataka uspjeh se mjeri više subjektivno u smislu koliko su prihvatljivi naučeni opisi, pravila ili stabla odlučivanja, čovjeku.

## LITERATURA

- [1] Bishop, C.M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning, Springer Science+Business Media,
- [2] Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J. (2013). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Springer
- [3] Marsland, S. (2009). Machine learning: An Algorithmic Perspective, Chapman & Hall/CRC
- [4] Mitchell, T.M. (1997). Machine Learning, McGraw-Hill
- [5] Witten, I.H., & Frank E. (2011). Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques, Elsevier
- [6] Bouckaert, RR. (2012). WEKA Manual for Version 3-6-8, University of Waikato, New Zealand





## SKIING CLUSTERS MOVEMENT DISCOVERY IN SKIING REGIONS USING PROCESS MINING

PETAR MARKOVIĆ<sup>1</sup>, PAVLOS DELIAS<sup>2</sup>, BORIS DELIBAŠIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of organizational sciences, Serbia, peleplay@gmail.com

<sup>2</sup>Department of Accounting and Finance, Eastern Macedonia and Thrace Institute of Technology, Kavala, Greece, pdelias@teikav.edu.gr

<sup>3</sup>University of Belgrade, Faculty of organizational sciences, Serbia, boris.delibasic@fon.bg.ac.rs

**Abstract:** *In this paper we present an improvement of a recently proposed process mining methodology for discovering skiing patterns by additional region-based perspective analysis on Mt. Kopaonik. Movement patterns allow ski resort management to improve organization of the ski resort, as well as to examine the injury risk of each movement pattern, making it possible to distinguish safe and unsafe movement patterns on the mountain. For discovering patterns we used a recently proposed process mining methodology based on spectral clustering. The methodology was applied on the analysis of ski lift gates entrances of two representative and successive skiing days. The most frequent skiing patterns, represented in the form of a process model are shown for various ski regions of the ski resort.*

**Keywords:** *skiing, movement patterns, process mining, spectral clustering.*

### 1. INTRODUCTION

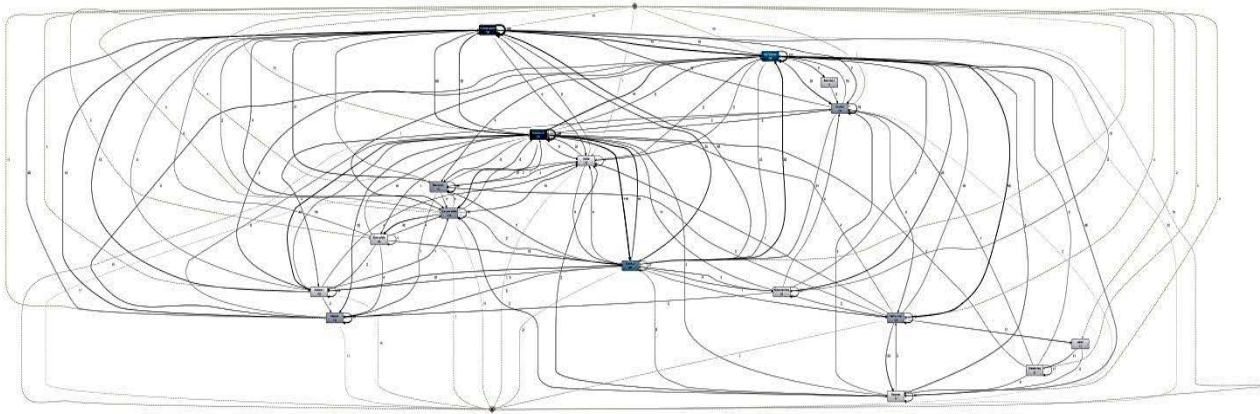
The reasons for finding patterns in skiers' movement are numerous. Ski resorts can analyze frequent skier trajectories, detect bottlenecks, improve capacities of ski lifts; all resulting in increased level of security and end-user experience for skiers.

Every skier's entrance through the ski-lift gate is being recorded through RFID technology in a central database. The question is how to use this big data to discover knowledge? Currently there are only a few papers that analyzed this kind of data (Kisser et al. 1996), (D'Urso and Massari 2013)

Process mining is an emerging field that lies between data mining, computational intelligence and business process management. One of its primary activities is to discover processes hidden in event logs (Aalst et al. 2012).

Discovery of movement patterns in this paper is based on clustering skiers' paths into previously unknown groups, so that cases would be highly similar one to another, compared within those groups, but as much as possible different, compared between the groups. The final result of this process is a discovery of common characteristics of skiers in those groups, represented in the form of a process model.

One extra problem, regarding this kind of data, is that these kinds of processes are highly diversified, and it is very difficult to choose which cases should be included in a distinct cluster as every one of them could be the cluster itself. Therefore, the most commonly used clustering methods and similarity measures do not provide satisfactory results if they are applied on raw data (Medeiros et al. 2008). To overcome this problem, a robust similarity measure that was recently proposed in (Delias et al. 2013) was used to pre-process the data for the spectral clustering. Other clustering approaches applied in process mining problems can be found in (Veiga and Ferreira 2010), (Song et al. 2009), (Jung et al. 2009), (Bose and Aalst 2009), (Luengo and Sepúlveda 2012), however the method used in this work is preferred because it proposes a way to deal not only with high variability but with large number of unique paths as well and skiers' movements appear to be such a case. This highly diversified and chaotically connected kind of process, in process mining terminology is called a spaghetti-like process. As the volume of unique paths in this kind of data is very high, it was necessary to use robust methods for clustering. The illustration of a real process of skier movements is shown in Figure 1.



**Figure 1:**Real flow of skiers on the tracks – illustration of a spaghetti-like process, generated with Fluxicon Disco process mining software

## 2. METHODOLOGY

The methodology originally used in paper (Marković et al. 2014) was recently proposed by (Delias et al. 2013), and consists of seven steps:

- Step 1: Creation of the Event log from the RFID ski-lift gate entrance scans
- Step 2: Creation of traces from the Event log
- Step 3: Calculation of cosine similarity of activities' and transitions' vectors
- Step 4: Calculation of the robust similarity matrix
- Step 5: Spectral clustering (through calculation of the eigenvectors and eigenvalues of the similarity matrix)
- Step 6: Using adjusted mutual index (AMI) calculation for analyzing pairs of clusters on different days
- Step 7: Creation of the most representative cluster process model based on AMI analysis.

For the purpose of this paper, we have analyzed two event logs for two representative, successive, skiing days, generated from ski-lift gate entrance RFID scans.

Because of the space limitations for this paper, we only provide final results of the previous steps. For detailed descriptions of the steps, please refer to the original paper.

The final outputs of these steps are process maps for two scenarios – first having two, and second having eight clusters. Due to space constraints we analyze only one cluster (cluster two) from scenario one:

100% of locations and 100% of paths visible (generated with Fluxicon Disco)	100% of locations and 20% of paths visible (generated with Fluxicon Disco)

**Figure 2:** Comparison between two levels of abstraction of the same pattern

The most used ski-lifts in cluster two, scenario one, are Karamangreben, Pančičevvrh and Mali karaman. Some of the strongest patterns discovered in this cluster are:

- 65% of skiers using Karamangreben ski-lift are returning over and over again
- 40% of skiers go from Masinac back to Karamangreben
- Karamangreben ->Karamanmali
- Karamangreben ->Pančičevvrh

From the performance point of view, the following patterns are noticeable in this cluster:

- Karamangreben -> Malojezero (on average, skiers spend 6.3 hours on it)
- Karamangreben -> Centar (on average, skiers spend 9.4 hours on it)
- Knezevske bare -> Masinac (on average, skiers spend 5.8 hours on it)

As shown in Figure 2, column representing clusters on the atomic level of abstraction (100% of locations and 100% of paths shown), the process maps are still spaghetti-like although they are clustered, but they become more readable if the level of abstraction is raised (100% of locations and 20% of paths shown). The question is how we can use this characteristic of data to get more readable, lasagna-like process maps, but not to use any additional filtering algorithms, as we would not like to affect the current clustering results?

The answer to the previous question lies in the fact that ski-lifts on mt.Kopaonik could be grouped into five natural regions. The regions and corresponding ski-lifts are provided in the Table 1:

**Table 1:** Ski lifts and corresponding regions

Ski-lift	Region
Krst, Malo jezero, Mašinac, Ski vrtić, Sunčana dolina	Region 1
Centar, Duboka 1, Krčmar, Pančičevvrh, Suvorudište	Region 2
Bela reka 1, Bela reka 2, Duboka 2, Gvozdac, Karaman greben, Kneževske bare, Mali Karaman	Region 3
Karaman, Marine vode	Region 4
Gobeljagreben, Gobeljarelej, Jaram	Region 5

This information is used to create a different perspective of the processes, but at the same time, to raise the abstraction level through aggregation of spatial data dimension, without losing any information about sequence of visited locations on atomic level.

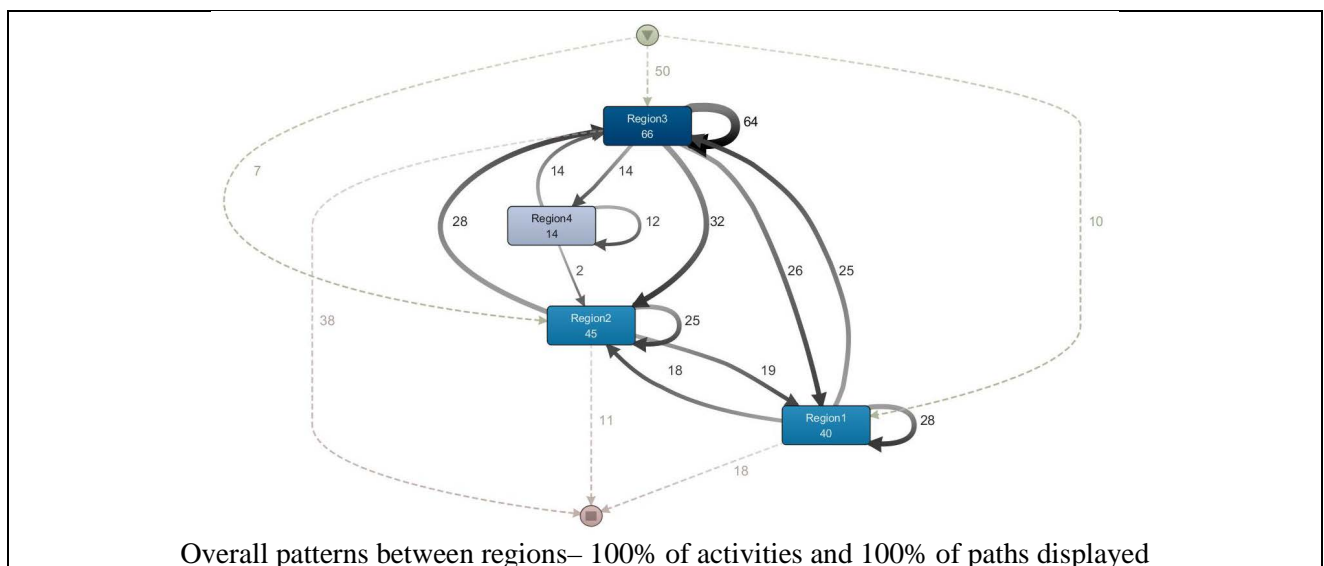
Therefore, we introduce additional, 8<sup>th</sup> step to the methodology - adding additional variable to the clustered event log which describes the region skier visited in the observed event. Finally, the event log has the following structure (Table 2):

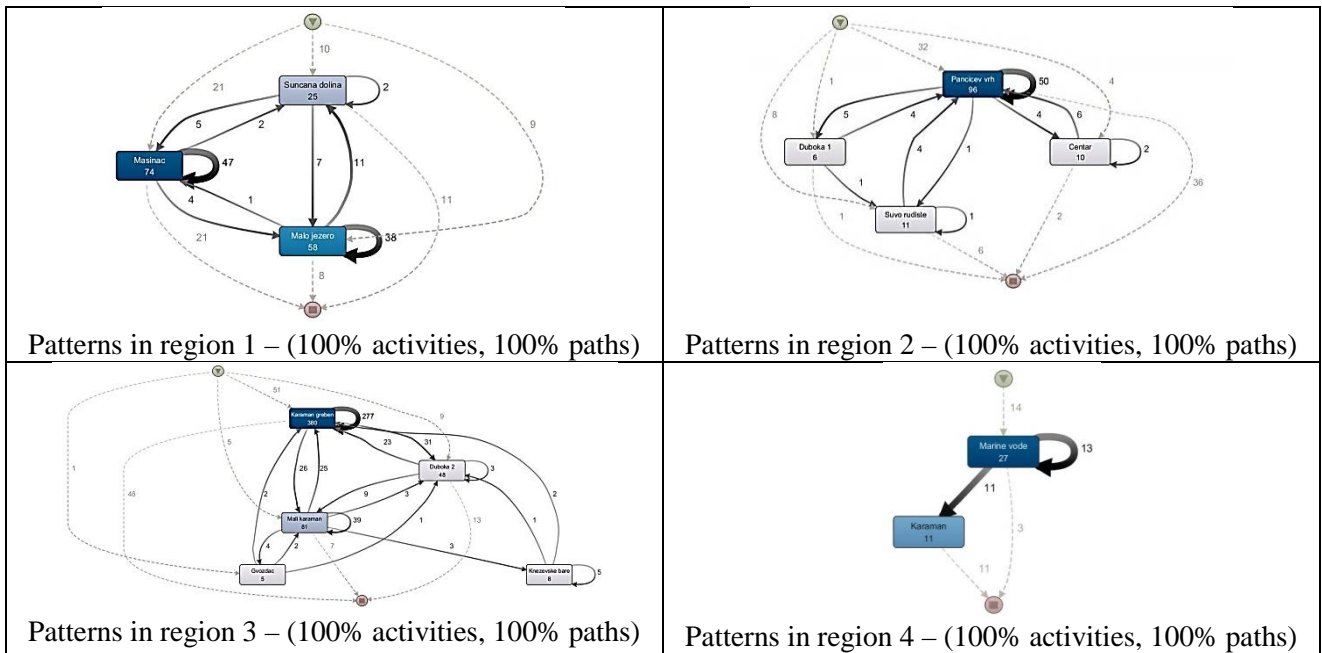
**Table 2:** Improved event log structure

Skier	Location	Complete.Timestamp	Location.Name	Region	Cluster
341468	59	8:59:46	KaramanGreben	Region 3	1
...	...	...	...	...	...

### 3. RESULTS

The results for the same scenario and cluster, but with improved event-log structure are:





**Figure 3:** Discovered patterns by regions in cluster two, scenario one - a process perspective

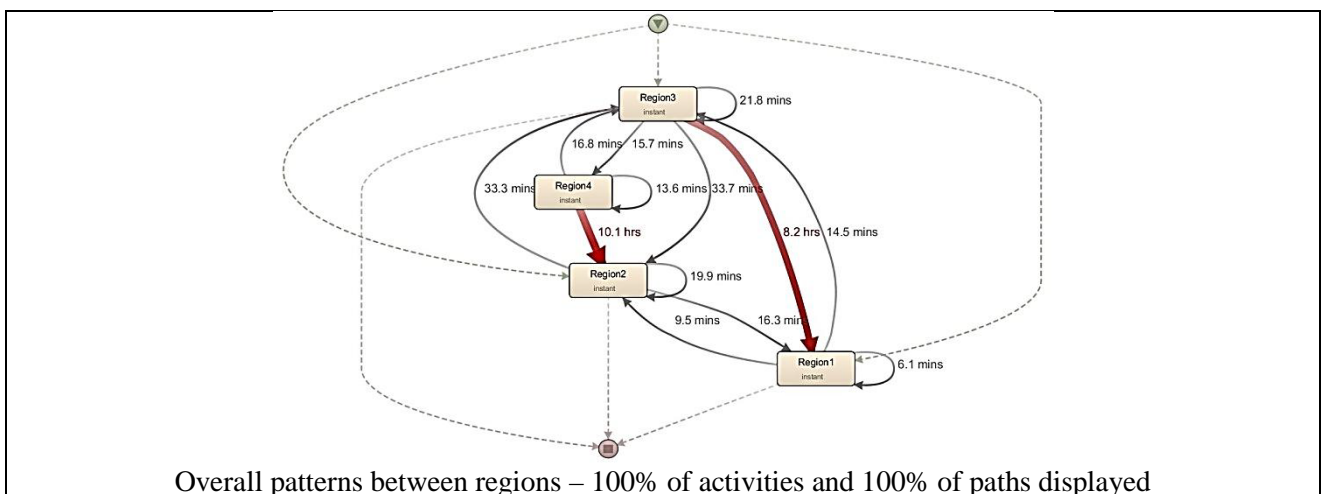
It is obvious that this approach gives far better results, as in this case, we do not have to raise the abstraction level - patterns are readable on the lowest abstraction level – 100% of the activities and 100% of the paths displayed.

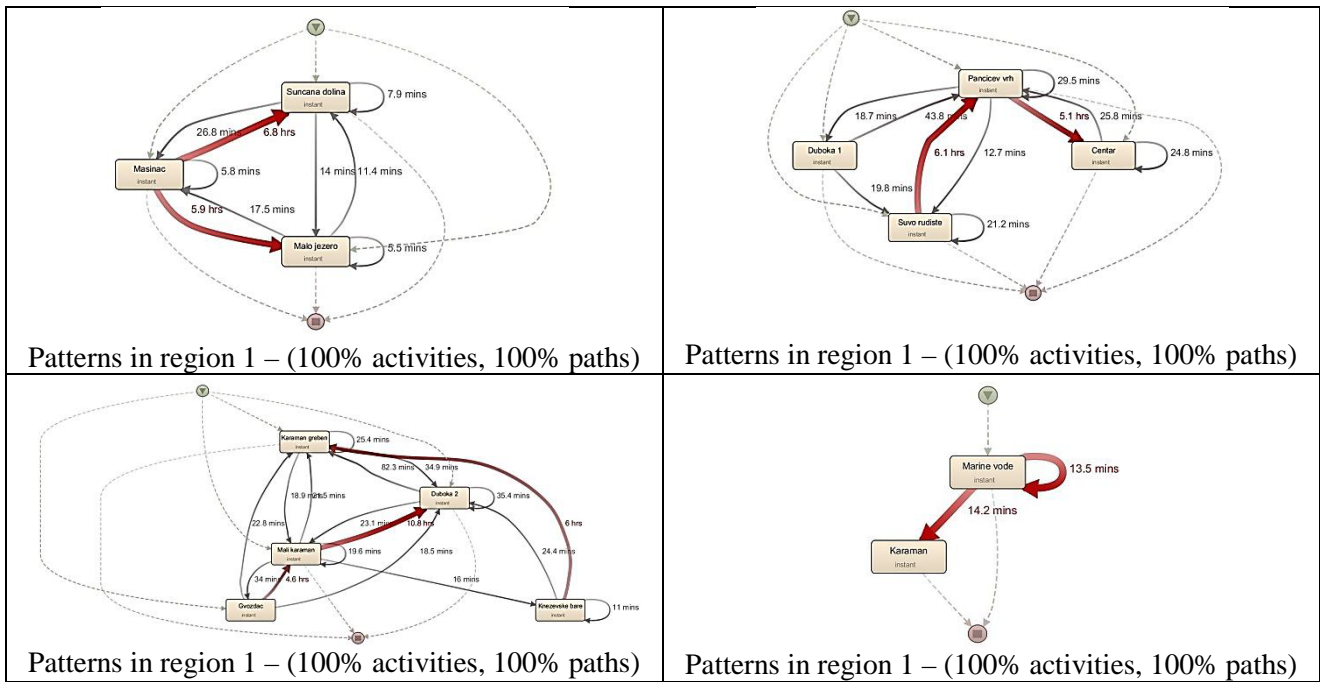
The strongest patterns, by regions, are (figure 3):

- Region 3 loop (overall)
- Masinac, Malojezero and Suncanadolina loops (in region 1)
- Pancicevvrh loop (in region 2)
- Karamangreben and Mali karaman loops (region 3)
- Marine vode loop and Marine vode ->Karaman (region 4)
- In region 5, there are no patterns discovered.

Additionally, we analyze patterns based on performance indicator – average time spent on lifts (figure 4):

- Region 4 -> Region 2, Region 3 -> Region 1 (overall)
- Masinac ->Suncanadolina, Masinac ->Malojezero (in region 1)
- Suvorudiste ->Pancicevvrh ->Centar (in region 2)
- Gvozdac -> Mali Karaman -> Duboka 2, Knezevske bare -> Karaman greben (in region 3)
- Marine vode loop and Marine vde ->Karaman (in region 4)
- In region 5, there are no patterns discovered.





**Figure 4:** Discovered patterns by regions in cluster two, scenario one - a performance perspective

#### 4. CONCLUSION

In this paper we have analyzed skier movement data on Mt. Kopaonik, Serbia, and have identified the most frequent movement patterns using a recently proposed spectral clustering process mining methodology which analyses event logs searching for underlying processes, supported with robust similarity metric for heterogeneous data filtering and improved the quality of its results with additional region-based perspective analysis.

As there are only a few of papers analyzing this kind of data, the results acquired are even more important from both theoretical and practical point of view, especially because analyzing noisy data is in particular difficult from process mining perspective, due to fact that high variability in processes is caused by human behavior, which is thereby often irrational and hard to understand or predict. Therefore, in such inconsistent and long-distance connected, spaghetti-like processes, it is very challenging for the most commonly used algorithms to discover suitable clusters, and additional data cleaning is necessary for successful analysis. The main advantage of using robust similarity metric supported by additional region-based perspective for this task lies in fact that it is very easy to understand and implement, it is efficient, and its settings are highly customizable to a new instance of problem, which is very important due to fact that data are analyzed on the daily basis which causes frequent changes in data. Introducing the additional perspective in the event log, through aggregation of spatial dimension by making natural groups of ski-lifts represented as regions, we have succeeded to identify the strongest patterns on the global level, without losing any information regarding sequence of visited locations on atomic level.

Although using the movement patterns for examination of injury risk is not in the focus of this paper, as we have only focused on identifying movement patterns and left injury risk analysis for further research, it is a topic of uttermost importance for future extensions of this paper. The results of this paper are also suitable for further quantitative and qualitative analysis, as movement patterns allow ski resort management to improve organization of the ski resort by analyzing frequent skier trajectories, detecting bottlenecks, improving capacities of ski lifts; all resulting in increased level of security and end-user experience for skiers.

#### REFERENCES

- [1] Aalst, W. (2012). Process Mining Manifesto. *Business Process Management Workshops* (169-194). Berlin: Springer.
- [2] Bose, R. P. & Aalst, W. M. (2009). Context Aware Trace Clustering: Towards Improving Process Mining Results. *Proceedings of the SIAM International Conference on Data Mining, SDM*, 401-412.



- [3] Delias, P., Doumpos, M., Manolitzas, P., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. (May 2013). Supporting Management Decisions via Robust Clustering of Event Logs. *PROCEEDINGS OF THE EWG-DSS THESSALONIKI-2013 WORKSHOP - "EXPLORING NEW DIRECTIONS FOR DECISIONS IN THE INTERNET AGE "*. Thessaloniki, Greece.
- [4] D'Urso, P.& Massari, R. (2013). Fuzzy clustering of human activity patterns. *Fuzzy Set Syst*, 215: 29-54.
- [5] Jung, J.Y., Bae, J.& Liu, L. (2009). Hierarchical clustering of business process models. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control* 5(12), 1349–4198.
- [6] Kissler, R., Goethals, B.& Wrobel, M. (1996). Epidemiology for marketing ski safety. *ASTM Spec Tech Publ*, 1266: 104-115.
- [7] Luengo, D. & Sepúlveda, M. (2012). Applying Clustering in Process Mining to Find Different Versions of a Business Process That Changes over Time. *Business Process Management Workshops vol. 99*, 153-158.
- [8] Marković, P., Delias, P.& Delibašić, B. (2014). Using process mining to discover skiing patterns: a clustering approach. *SYMORG 2014 conference proceedings*. Zlatibor: (in process of publication). <http://symorg.fon.bg.ac.rs/proceedings/papers/02%20-%20BUSINESS%20INTELLIGENCE%20AND%20DECISION%20MAKING%20IN%20MANAGEMENT%20.pdf>
- [9] Medeiros, A. d., Guzzo, A., Greco, G., M.P.Van der Aalst, W., Weijters, A., Dongen, B. F.& Sacca, D. (2008). Process Mining Based on Clustering: A Quest for Precision. *Business Process Management Workshops - Lecture Notes in Computer Science Vol.4928* (str. 17-29). Springer.
- [10] Song, M., Günther, C.& Aalst, W. (2009). Trace Clustering in Process Mining. In D. Ardagna, M. Mecella, & J. Yang (Eds.),. *Business Process Management Workshops vol.17*, 109-120.
- [11] Veiga, G.& Ferreira, D. (2010). Understanding Spaghetti Models with Sequence Clustering for ProM. *Business Process Management Workshops vol. 43*, 92-103.
- [12] Fluxicon Disco process mining tool, <http://www.fluxicon.com/disco/>

# **KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA**





## METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA EKONOMIČNE KOLIČINE NARUČIVANJA ZALIIHA ZA VIŠE PROIZVODA SA OGRANIČENIM PROSTOROM SKLADIŠTENJA

### A METAHEURISTIC APPROACH TO SOLVING A MULTIPRODUCT EOQ-BASED INVENTORY PROBLEM WITH STORAGE SPACE CONSTRAINTS

SLOBODAN ANTIĆ<sup>1</sup>, LENA ĐORĐEVIĆ<sup>1</sup>, MIRJANA ČANGALOVIĆ<sup>1</sup>, DANICA LEČIĆ-CVETKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, {antic.slobodan, djordjevic.lena, cangalovic.mirjana, lecic.danica}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu se predstavlja statički, vremenski kontinualni problem ekonomične količine naručivanja (EOQ) zaliha za više proizvoda sa ograničenjem skladišnog prostora, modeliran kao problem kombinatorne optimizacije za odgovarajući dinamički, vremenski diskretni proces upravljanja zalihama. Opisani problem upravljanja zalihama predstavlja široko primenljiv i poznat problem u praksi. U cilju rešavanja problema razvijena je specijalna heuristika, zasnovana na tehnici lokalnog pretraživanja i metaheuristička metoda bazirana na principu promenljivih okolina. Specijalna heuristika se koristi za određivanje broja narudžbina, a metoda bazirana na principu promenljivih okolina je primenjena za poređenje rezultata dobijenih specijalnom heuristikom. Efikasnost razvijenih metoda je preliminarno ispitana i upoređena kroz nekoliko numeričkih eksperimenata.

**Ključne reči:** EOQ problem naručivanja zaliha za više proizvoda, optimalno upravljanje diskretnim sistemima, specijalna heuristika, metoda promenljivih okolina.

**Abstract:** The objective of this paper is to model a static time-continuous multiproduct economic order quantity (EOQ) based inventory management problem with storage space constraints, as a combinatorial optimization problem in the corresponding dynamic discrete time system control process. The described inventory management problem represents a widely applicable and popular problem in practice. To solve this model we have developed a special heuristics based on the local search technique and a metaheuristic technique based on the variable neighborhood search principle, and we have preliminary examined their efficiency and compared them in several numerical experiments. The special heuristics was developed in order to determine number of orders and the metaheuristic technique based on the variable neighborhood search was developed in order to compare its results with the results of the special heuristics.

**Keywords:** multiproduct EOQ inventory problem, discrete time system control, special heuristics, variable neighborhood search.

## 1. UVOD

Model ekonomične količine naručivanja (EOQ) pripada klasi modela upravljanja zalihama sa poznatom determinističkom tražnjom. Količina naručenih zaliha se određuje u skladu sa ciljem minimizacije ukupnih troškova proizvodnje, naručivanja i držanja zaliha. Model je originalno razvio Harris (1915). Klasični EOQ model i njegove varijacije su zastupljeni i u novijim radovima koji se bave upravljanjem zalihama, kao osnova za razumevanje dinamike zaliha, što se može videti u (Axsäter 2006, Russell and Taylor 2006, Barlow 2003 itd.). Upravljanje diskretnim sistemima predstavlja pogodan pristup za prikazivanje dinamike zaliha, kao što se navodi u Kostić (2009). Model upravljanja diskretnim sistemima istovremeno je simulacioni model dinamike zaliha i optimizacioni model, koji generiše optimalno upravljanje u skladu sa definisanom funkcijom cilja. Mnogobrojni radovi svedoče o primeni upravljanja diskretnim sistemima na dinamički deterministički problem upravljanja zalihama, počevši od (Wagner 1958, Scarf 1959). Za rešavanje problema su razvijene specijalne heuristike i metaheuristički algoritmi (Zoller 1988, Jans and Degraeve 2007 itd.). U radu se predstavlja statički, vremenski kontinualni problem ekonomične količine naručivanja (EOQ) zaliha za više proizvoda sa ograničenjem skladišnog prostora. U cilju rešavanja problema, u drugom poglavlju on je modeliran kao problem kombinatorne optimizacije za odgovarajući

dinamički, vremenski diskretni proces upravljanja zalihama, definisanjem osnovnih elemenata objekta diskretnog upravljanja, u skladu sa Kostić (2001). Specijalna heuristika za rešavanje ovako modeliranog problema, zasnovana na principu lokalnog pretraživanja, predstavljena je u trećem delu rada. Četvrto poglavlje opisuje metaheurističku tehniku za rešavanje problema opisanog u drugoj sekciji, baziranu na poznatoj metodologiji promenljivih okolina (variable neighborhood search-VNS). Peta sekcija sadrži uporedni prikaz numeričkih rezultata, dobijenih specijalnom heuristikom i metaheurističkom algoritmom zasnovanim na metodi promenljivih okolina (MPO).

## 2. MATEMATIČKI MODEL PROBLEMA

U radu se razmatra vremenski kontinualni EOQ problem upravljanja zalihama za više proizvoda, koji je prema svojim karakteristikama veoma sličan dobro poznatom klasičnom modelu ekonomske količine naručivanja. Zadat je ukupan broj proizvoda  $m$  i za svaki proizvod  $i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , ukupna deterministička tražnja  $D_i$  koja treba da se zadovolji u okviru konačnog vremenskog perioda  $T$  na sledeći način: Ista količina  $Q_i$  proizvoda  $i$  naručuje se  $u_i$  puta, sa konstantnim vremenom  $t_i$  između dve narudžbine. Cela narudžbina  $Q_i$  dolazi na zalihe istovremeno i kada je potrebno, dok se sa zaliha povlači kontinualno sa konstantnom stopom  $D_i/T$ . Nedostaci proizvoda na zalihama nisu dozvoljeni. Za svaki proizvod  $i$  razmatraju se troškovi naručivanja  $S_i$ , troškovi nabavke po jedinici proizvoda  $C_i$  i troškova skladištenja jedinice proizvoda u jedinici vremena  $H_i$ . Ukupni troškovi držanja zaliha u vremenskom periodu  $t_i$  se izračunavaju u skladu sa prosečnim nivoom zaliha  $Q_i/2$ . Naručene količine različitih proizvoda dele isti skladišni prostor, ukupne površine  $G$ , koja je unapred poznata. Posledično, za svaki proizvod  $i$  poznat je skladišni prostor  $P_i$ , koji je zauzet njegovim jedinicama. Nivo zaliha u posmatranom vremenskom periodu  $[0, T]$  treba da zadovolji ograničenje skladišnog prostora; u svakom trenutku perioda posmatranja ukupni zauzeti prostor skladišta svim proizvodima ne sme da prekorači prostornu granicu  $G$ . U skladu sa klasičnim EOQ modelom, ukupni troškovi  $TC$  za opisan problem upravljanja zalihama mogu se predstaviti sledećom formulom:

$$TC = \sum_{i=1}^m (S_i + C_i Q_i + H_i \frac{Q_i}{2} t_i) u_i \quad (1)$$

Ukoliko uzememo u obzir da je  $u_i = D_i/Q_i$  i  $t_i = T/u_i = TQ_i/D_i$ , ukupni troškovi  $TC$  mogu se predstaviti sledećom jednačinom:

$$TC = \sum_{i=1}^m S_i \frac{D_i}{Q_i} + \sum_{i=1}^m C_i D_i + \sum_{i=1}^m H_i \frac{Q_i}{2} T \quad (2)$$

Razmatra se sledeći problem upravljanja zalihama: odrediti količine  $Q_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , koje zadovoljavaju ograničenje skladišnog prostora i minimiziraju ukupne troškove (2). U cilju rešavanja problema, on je modelovan kao problem kombinatorne optimizacije za odgovarajući dinamički, vremenski diskretni proces upravljanja zalihama, na sledeći način: Umesto kontinualnog vremenskog perioda za naručivanje proizvoda, ceo vremenski period  $[0, T]$  je podeljen na  $n$  perioda  $t$  iste dužine  $T/n$ , gde je  $t = 1, \dots, n$ . Pretpostavka je da se naručivanje svakog proizvoda realizuje na početku perioda  $t$ . U vremenskom periodu  $T/n$  proizvodi su povučeni sa zaliha kontinualno, sa konstantnom stopom  $D_i/T$ , a tražnja za proizvodima koja treba da bude zadovoljena u toku prioda je  $D_i/n$ . Umesto  $Q_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , razmatramo  $u_i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , kao promenljive upravljanja, dok je  $Q_i = D_i/u_i$ . Za svaki proizvod  $i$  promena nivoa zaliha tokom celog vremenskog perioda može se predstaviti kao diskretni upravljački sistem sa sledećim elementima:

$X_t^i$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$ , - ukupna količina proizvoda  $i$  koja ostaje na zalihama na kraju vremenskog perioda  $t$ .

$Y_t^i$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$ , - količina proizvoda  $i$  naručena na početku perioda  $t$ .

Ako  $X_t^i$  predstavlja stanje procesa u vremenskom periodu  $t$  onda jednačina stanja koja opisuje ponašanje procesa može da se definiše na sledeći način:

$$X_0^i = 0 \quad (3)$$

$$X_t^i = X_{t-1}^i + Y_t^i - D_i/n, \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Očigledno naručivanje količine  $Q_i = D_i/u_i$  se realizuje na početku perioda  $t$  samo u slučaju kada količina proizvoda  $i$  na zalihama, koja je preostala na kraju prethodnog vremenskog perioda  $t-1$ , nije dovoljna da bi se zadovoljila tražnja  $D_i/n$  u periodu  $t$ . Prema tome, vrednost  $Y_t^i$  zavisi od  $u_i$  i može se formalno predstaviti:

$$Y_t^i = \begin{cases} D_i / u_i, & X_{t-1}^i < D_i / n \\ 0, & u \text{ suprotnom} \end{cases} \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Kako je  $X_0^i = 0$  onda, posledično  $X_n^i = 0$ .

Proces opisan izrazima (3) - (5) ne predstavlja tipični proces diskretnog upravljanja, gde u svakom vremenskom periodu stanje procesa zavisi of prethodnog stanja i izabrane vrednosti promenljivih upravljanja. Primenom izraza (3) - (5) za fiksiranu vrednost  $u_i$ , količine  $X_t^i$  i  $Y_t^i$  mogu se izračunati za svako  $t$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$ . Dakle  $Y_t^i$  nije promenljiva upravljanja, a jedina promenljiva upravljanja procesa je  $u_i$ .

Ograničenja skladišnog prostora se razmatraju na počecima vremenskih perioda  $t$  i mogu se definisati:

$$\sum_{i=1}^m (X_{t-1}^i + Y_t^i) P_i \leq G \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Ukupni troškovi  $J(u_1, u_2, \dots, u_m)$  za sistem upravljanja zalihama opisan sa (3)-(5) predstavljaju sumu ukupnih troškova za svaki proizvod  $i$  u svakom periodu  $t$ , pri čemu se ukupni troškovi držanja zaliha proizvoda  $i$  u periodu  $t$  računaju u skladu sa prosečnim nivoom zaliha koji je  $X_{t-1}^i + Y_t^i - \frac{D_i}{2n}$ , dok je period dužine  $T/n$ .

$$J(u_1, u_2, \dots, u_m) = \sum_{i=1}^m J_i(u_i)$$

$$J_i(u_i) = \sum_{t=1}^n ((S_i + C_i \cdot Y_t^i) \cdot \delta_t^i + H_i \cdot (X_{t-1}^i + Y_t^i - \frac{D_i}{2n}) \cdot \frac{T}{n}) \quad \delta_t^i = \begin{cases} 1, & Y_t^i > 0 \\ 0, & Y_t^i = 0 \end{cases}$$

Pojednostavljen izraz za ukupne troškove  $J$  može se predstaviti kao:

$$J(u_1, u_2, \dots, u_m) = \sum_{i=1}^m S_i u_i + \sum_{i=1}^m \frac{H_i T}{n} \sum_{t=0}^{n-1} X_t^i + \sum_{i=1}^m (C_i D_i + H_i D_i \frac{T}{2n}) \quad (7)$$

uključujući da je  $\sum_{t=1}^n Y_t^i = D_i$ . Problem kombinatorne optimizacije za dinamički, vremenski diskretni

proces upravljanja zalihama, definisan preko (3)-(5) (problem DPUZ) može se definisati na sledeći način: za promenljive upravljanja  $u_1, u_2, \dots, u_m$  procesa (3)-(5) treba naći vrednosti iz skupa  $\{1, 2, \dots, n\}$  koje zadovoljavaju ograničenja prostora (6) i minimiziraju ukupne troškove (7).

### 3. SPECIJALNA HEURISTIKA

Za rešavanje problema DPUZ, definisanog u sekciji 2, razvijena je specijalna heuristika. Osnovni elementi algoritma su definisani na sledeći način. *Oblast pretraživanja*  $U$  sadrži  $m$ -torke  $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  tako da  $u_i \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ . To znači da tokom procesa pretraživanja prostora  $U$ , heuristika može generisati ne samo dopustiva rešenja  $u$  (gde koordinate  $u_1, u_2, \dots, u_m$  zadovoljavaju ograničenja prostora (6)), već i nedopustiva rešenja. Kvalitet generisanog rešenja  $u$  može se meriti na dva načina. Ukoliko je  $u$  dopustivo, onda se kvalitet meri odgovarajućom vrednošću ukupnih troškova  $J(u)$  definisanih sa (7). Dopustivo rešenje  $u_1$  bolje je od dopustivog rešenja  $u_2$  ako je  $J(u_1) < J(u_2)$ . Ukoliko je  $u$  nedopustivo onda se nedopustivost meri vrednošću  $L(u)$  gde je:

$$L(u) = \max_{t=1, 2, \dots, n} \left( \sum_{i=1}^m (X_{t-1}^i + Y_t^i) P_i - G \right) \quad (9)$$

Nedopustivo rešenje  $u_1$  bolje je od nedopustivog rešenja  $u_2$  ako je  $L(u_1) < L(u_2)$ .

Heuristika je bazirana na tehnici lokalnog pretraživanja. Polazeći od početnog rešenja, najbolja (dopustiva ili nedopustiva) tečka iz okoline trenutnog rešenja se pronalazi u svakoj iteraciji. Dobijeno rešenje predstavlja sledeću tečku, od koje se nastavlja pretraživanje. Ukoliko je trenutno rešenje dopustivo i nema boljeg rešenja u okolini, struktura okoline se menja. Najbolje rešenje se ponovo traži u modifikovanoj okolini. Ovaj princip je sličan dobro poznatoj metaheurističkoj metodi promenljivih okolina, koja se koristi za izbegavanje „zamki“ lokalnih optimuma.  $\delta$ -okolina  $N(\delta, u^k)$  trenutne tačke  $u^k = (u_1^k, u_2^k, \dots, u_m^k)$  iz prostora  $U$  definisana je kao skup svih tačaka  $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  iz  $U$  takvih da se  $u^k$  i  $u$  razlikuju samo u

jednoj koordinati, npr. u  $i$ -toj, i  $|u_i^n - u_i| = \delta$ . Teoretski, okolina  $N(\delta, u^k)$  može biti prazna u slučaju da ne postoji koordinata  $i$  takva da  $u_i^n + \delta$  ili  $u_i^n - \delta$  pripada  $\{1, 2, \dots, n\}$ . Struktura okolina se određuje u skladu sa predefinisanim skupom prirodnih brojeva  $\delta_0, \delta_1, \dots, \delta_s$  gde  $s > 1$  i  $\delta_1 < \delta_2 < \dots < \delta_s < \delta_0$ . Kada je trenutna tačka  $u^k$  nedopustiva, pridružuje se struktura  $\delta_0$ , tj. pretražuje se  $\delta_0$  okolina  $N(\delta_0, u^k)$ . Kada je tačka dopustiva pridružuje se jedna od struktura  $\delta_j, j \in \{1, 2, \dots, s\}$  tj. pretražuje se  $\delta_j$ -okolina  $N(\delta_j, u^k)$ . Ukoliko se trenutna tačka poboljša, pretraživanje se nastavlja u  $N(\delta_{j+1}, u^k)$  okolini. U obzir treba uzeti da je u realnim problemima  $n$  mnogo veće od  $\delta_0$  (obično je  $n=365$  dana) i stoga definisane strukture okolina određuju okoline koje nisu prazne. Početno rešenje  $u^1 \in U$  može se generisati na sledeći način: za svaki proizvod  $i$  nezavisno se posmatra proces (3)-(5) i problem minimizacije ukupnih troškova za taj proizvod  $J(u_i) = S_i u_i + \frac{H_i T}{n} \sum_{t=0}^{n-1} X_t^i + C_i D_i + H_i D_i \frac{T}{2n}$  u skladu sa ograničenjem skladišnog prostora  $(X_{t-1}^i + Y_t^i) P_i \leq G, t = 1, 2, \dots, n$ . Primenom procedure potpunog pretraživanja pronalazi se optimalno rešenje  $u_i^*$ . Sada heuristika počinje od tačke  $u_1 = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)$  kao početnog rešenja. Iako  $u^1$  predstavlja „idealnu“ tačku koja minimizira ukupne troškova za svaki proizvod, obično je nedopustiva u odnosu na (6). Polazeći od ove tačke heuristika teži da generiše dopustivu tačku, gde su ukupni troškovi (7) što blizi vrednosti troškova idealne tačke.

Heuristika se može definisati sledećim koracima:

*Početni korak:* generisati idealnu tačku  $u^1 = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)$ . Ako je  $u^1$  dopustiva tačka pridružiti strukturu okolina  $\delta_1$ . Ukoliko  $u^1$  nije dopustiva tačka pridružiti strukturu okolina  $\delta_0$ .

*Iterativni korak:* Za  $k=1, 2, \dots$

- Ukoliko je tačka  $u^k$  nedopustiva, naći najbolju dopustivu tačku  $u_{best}^f$  u okolini  $N(\delta_0, u^k)$ , pridružiti strukturu okoline  $\delta_1$  i postaviti  $u^{k+1} = u_{best}^f$ . Ako nema dopustive tačke u okolini  $N(\delta_0, u^k)$ , naći najbolju nedopustivu tačku  $u_{best}^f$ . Ukoliko je ona bolja od  $u^k$  pridružiti strukturu  $\delta_0$  i postaviti  $u^{k+1} = u_{best}^f$ .
- Ukoliko je tačka  $u^k$  dopustiva sa pridruženom strukturom  $\delta_j$  za  $j \in \{1, 2, \dots, s\}$ , naći najbolju dopustivu tačku  $u_{best}^f$  u okolini  $N(\delta_j, u^k)$ . Ako je  $u_{best}^f$  bolja od  $u^k$ , pridružiti strukturu okoline  $\delta_1$  i postaviti  $u^{k+1} = u_{best}^f$ . Ako  $u_{best}^f$  nije bolje od  $u^k$  ili nema dopustivih tačaka u okolini  $N(\delta_j, u^k)$  ostaje se u tački  $u^k$ , tj.  $u^{k+1} = u^k$  i pridružuje se nova struktura okoline  $\delta_{j+1}$ .

*Kriterijum zaustavljanja:* Ukoliko je tačka  $u^k$  nedopustiva i nema dopustivih tačaka u okolini  $N(\delta_0, u^k)$  staje se ako je najbolja nedopustiva tačka  $u_{best}^f$  iz okoline lošija od tačke  $u^k$ . Ako je tačka  $u^k$  dopustiva sa pridruženom strukturom  $\delta_s$  staje se ukoliko je najbolja nedopustiva tačka  $u_{best}^f$  iz okoline  $N(\delta_s, u^k)$  lošija od tačke  $u^k$  ili nema dopustivih tačaka u ovoj okolini.

#### 4. ALGORITAM ZASNOVAN NA MPO

Metoda promenljivih okolina (MPO), predstavljena u mnogim radovima počevši od Mladenović (1995) i Mladenović i Hansen (1997), predstavlja jednu od najefikasnijih metaheurističkih metodologija uspešno primenjenih u rešavanju globalnih i kombinatornih problema. U ovom pristupu se koristi konačni broj struktura okolina  $N_k, k=1, 2, \dots, k_{max}$ , i odgovarajuće okoline  $N_k(x)$  rešenja  $x$  koje sadrže sve “susede” iz  $x$  u skladu sa okolinom strukture  $N_k$ . U svakoj iteraciji MPO okolina trenutne tačke može se sistematski menjati prema zadatim strukturama okolina, u cilju nalaženja boljeg rešavanja od trenutnog. Na ovaj način se izbegavaju “zamke” lokalnih optimuma, a proces pretraživanja se usmerava u nove oblasti prostora pretraživanja. Koraci osnovnog oblika MPO, primenjenog na problem minimizacije funkcije  $f(x)$  na dopustivom skupu  $X$ , opisani su u Krčevinac i drugi (2006). Metoda promenljivih okolina primenjena je za rešavanje problema dpuz. osnovni elementi algoritma definisani su na sledeći način:

*Prostor pretraživanja*  $U$  sadrži sve  $m$ -torke  $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  takve da  $u_i \in \{1, 2, \dots, n\}, i = 1, 2, \dots, m$ . To znači da tokom procesa pretraživanja prostora  $U$ , heuristika može generisati ne samo dopustiva rešenja  $u$ , već i nedopustiva. Kvalitet generisanog rešenja  $u$  može se meriti na dva načina. Ukoliko je  $u$  dopustivo, onda se kvalitet meri odgovarajućom vrednošću ukupnih troškova  $J(u)$  definisanih u (7). Dopustivo rešenje  $u_1$  je

bolje od dopustivog rešenja  $u_2$  ako je  $J(u_1) < J(u_2)$ . Ukoliko je  $u$  nedopustivo onda se nedopustivost meri vrednošću  $L(u)$ , datom u (9). Nedopustivo rešenje  $u_1$  je bolje od nedopustivog rešenja  $u_2$  ako je  $L(u_1) < L(u_2)$ . *Strukture okolina*  $N_k$ ,  $k=1,2,\dots,k_{\max}$ : okolina  $N_k(u^n)$  trenutnog rešenja  $u^n = (u_1^n, u_2^n, \dots, u_m^n)$  iz prostora  $U$  je skup svih rešenja  $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  iz  $U$  takvih da se  $u^n$  i  $u$  razlikuju samo u jednoj koordinati, npr. u  $i$ -toj koordinati, i  $|u_i^n - u_i| = k$ . Teoretski, okolina  $N_k(u^n)$  može biti prazna u slučaju da ne postoji koordinata  $i$  takva da  $u_i^n + k$  ili  $u_i^n - k$  pripada  $\{1, 2, \dots, n\}$ . U realnim problemima  $n$  je mnogo veće od  $k_{\max}$  (obično je  $n=365$  dana) i stoga definisane strukture okolina određuju okoline koje nisu prazne. U cilju generisanja slučajnog rešenja  $u' = (u'_1, u'_2, \dots, u'_m)$  iz okoline  $N_k(u^n)$  prvo se slučajno bira  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ , a onda se slučajno bira  $u'_i = u_i^n + k$  ili  $u'_i = u_i^n - k$ , dok druge koordinate  $u'$  ostaju iste u  $u^n$ . *Tehnika lokalnog pretraživanja* započinje od slučajno generisanog rešenja  $u' \in N_k(u^n)$  kao početne tačke i nastavlja se sledećim koracima. U okolini  $N_1(u)$  trenutne tačke  $u$  pronalazi se najbolja dopustiva tačka  $u_{best}^f$  (u skladu sa funkcijom cilja (7)). Ako je  $u$  dopustivo i  $u_{best}^f$  je bolje od  $u$  ili je  $u$  nedopustivo,  $u_{best}^f$  se uzima kao sledeća tačka. Ukoliko su  $u^n$  i  $u$  nedopustive i nema dopustive tačke u  $N_1(u)$ , onda se traži najbolje nedopustivo rešenje  $u_{best}^{uf}$  (u skladu sa funkcijom (9)). Ako je ono bolje od  $u$ , prihvata se kao sledeća tačka. *Kriterijum zaustavljanja*: u slučaju da je trenutna tačka  $u$  dopustiva staje se kada  $u_{best}^f$  nije bolje od  $u$  ili nema dopustivih tačaka u  $N_1(u)$ . Ukoliko je trenutna tačka  $u$  nedopustiva a  $u^n$  je dopustivo staje se kada nema dopustivih tačaka u  $N_1(u)$ . Ako je trenutna tačka  $u$  nedopustiva, a  $u^n$  je nedopustivo, staje se kada nema dopustivih tačaka u  $N_1(u)$  i  $u_{best}^{uf}$  nije bolje od  $u$ . *Prelazak u sledeće rešenje*: rešenje  $u''$  dobijeno tehnikom lokalnog pretraživanja prihvata se za sledeće rešenje  $u^{n+1}$  u slučaju da su rešenja  $u^n$  i  $u''$  oba dopustiva i da je  $u''$  bolje od  $u^n$ , tj.  $J(u'') < J(u^n)$ ; ili ako je rešenje  $u^n$  nedopustivo a rešenje  $u''$  dopustivo, ili ako su oba rešenja  $u^n$  i  $u''$  nedopustiva i  $u''$  je bolje od  $u^n$ , tj.  $L(u'') < L(u^n)$ . U svim drugim slučajevima pretraživanje ostaje u rešenju  $u^n$  menjajući njegove okoline u skladu sa sledećom strukturom  $N_{k+1}$ . Početno rešenje  $u^1 \in U$  može se generisati slučajno. U cilju nalaženja početnog rešenja  $u^1 \in U$  koje bi bilo blizu optimalnog rešenja problema DPUZ, za svaki proizvod  $i$  se nezavisno razmatraju procesi (3)-(5) i problem minimizacije ukupnih troškova  $J(u_i) = S_i u_i + \frac{H_i T}{n} \sum_{t=0}^{n-1} X_t^i + C_i D_i + H_i D_i \frac{T}{2n}$  u skladu sa ograničenjem prostora  $(X_{t-1}^i + Y_t^i) P_i \leq G$ ,  $t=1, 2, \dots, n$ . Primenom procedure potpunog pretraživanja pronalazi se optimalno rešenje  $u_i^*$ . Sada algoritam MPO počinje od tačke  $u_1 = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)$  kao početnog rešenja. *Kriterijum zaustavljanja* predstavlja maksimalni broj iteracija između dva poboljšanja funkcije cilja (7).

## 5. NUMERIČKI REZULTATI

Primena specijalne heuristike i MPO realizovana je u *Visual Basic for Application*, i koristi međurezultate dobijene iz modela razvijenog u *Excel spreadsheetu*. U cilju ispitivanja ponašanja specijalne heuristike i MPO algoritma, kao i poređenja njihove efikasnosti, oni su preliminarno testirani na hipotetičkom DPUZ problemu za  $m=21$  proizvod, pri čemu se proces upravljanja zalihama razmatra tokom perioda od  $T=1$  godina, podeljeno na  $n=365$  dana. Ukupni raspoloživi prostor pretraživanja je  $G=1400m^2$ . Opsezi ulaznih podataka za sve proizvode dati su u Tabeli 1. Optimalno rešenje problema nije unapred poznato.

**Tabela 1:** Opsezi ulaznih podataka

	$D_i$ [jed.]	$P_i$ [m <sup>2</sup> /jed.]	$S_i$ [\$/narudžbina]	$C_i$ [\$/jed.]	$H_i$ [\$/jed./ dan]
opseg	[1000; 10000]	[0.10; 2.00]	[1; 15]	[0; 100]	[3; 7]

Izvedene su četiri grupe numeričkih eksperimenata sa  $k_{\max} = 5, 10, 15, 20$ . Za svaku od ovih vrednosti algoritam MPO je primenjen po 10 puta, generisanjem početnog rešenja determinističkom procedurom za dobijanje početnog rešenja, opisanom u Sekciji 4, ili potpuno slučajno. Specijalna heuristika je primenjena po jednom za svaku vrednost, zato što su rezultati uvek isti za isti parametar  $k_{\max}$ , generisanjem početnog rešenja istom determinističkom procedurom kao i za algoritam MPO. Kriterijum zaustavljanja za MPO je više od 1000 između dva poboljšanja funkcije cilja (7). Kriterijum zaustavljanja za specijalnu heuristiku je

opisan u Sekciji 3. Ostvarene najbolje i prosečne vrednosti ciljnih funkcija, kao i prosečno vreme izvršenja za obe tehnike prikazano je Tabelom 2. Numerički eksperimenti pokazuju da su za zadanu distancu rezultati dobijeni specijalnom heuristikom bolji od rezultata dobijenih primenom algoritma MPO, kao i da je vreme pretraživanja kraće. Takođe, može se uočiti da započinjanje MPO od rešenja generisanog na slučajan način daje značajno lošije rezultate i duže vreme pretraživanje nego započinjanje od rešenja generisanog determinističkom procedurom opisanom u Sekciji 4.

**Tabela 2:** Numerički rezultati

k	Tehnika rešavanja	Početno rešenje	Najbolja vrednost ciljne f-je	Pros. vreme [sec]
5	Specijalna heuristika	Determinističko	13.096,73	0:00:01
	MPO algoritam	Determinističko	13.323,31	0:00:04
		Slučajno	15.138,93	0:00:51
10	Specijalna heuristika	Determinističko	13.052,08	0:00:01
	MPO algoritam	Determinističko	13.200,76	0:00:03
		Slučajno	16.474,72	0:00:58
15	Specijalna heuristika	Determinističko	13.070,04	0:00:01
	MPO algoritam	Determinističko	13.176,03	0:00:03
		Slučajno	15.962,79	0:01:03
20	Specijalna heuristika	Determinističko	13.052,08	0:00:01
	MPO algoritam	Determinističko	13.786,86	0:00:05
		Slučajno	15.182,88	0:00:59

## 5. ZAKLJUČAK

U radu se predstavlja statički, vremenski kontinualni problem ekonomične količine naručivanja (EOQ) zaliha za više proizvoda sa ograničenjem skladišnog prostora, modeliran kao problem kombinatorne optimizacije za odgovarajući dinamički, vremenski diskretni proces upravljanja zalihama. U cilju rešavanja problema razvijena je specijalna heuristika i algoritam baziran na MPO. Preliminarni numerički rezultati pokazuju da se oba algoritma mogu efikasno primeniti na problem DPUZ manjih dimenzija. Na zadatoj instanci male dimenzije rezultati dobijeni specijalnom heuristikom pokazali su se kao bolji nego oni dobijeni MPO algoritmom. Budući pravci istraživanja usmereni su ka sistematičnijem istraživanju efikasnosti predloženih algoritama na problemima većih dimenzija, tj. na modelima sa većim brojem proizvoda u toku dužeg vremenskog intervala. Takođe, moguće je primeniti neku drugu specijalnu heuristiku ili hibridne metaheurističke metode za rešavanje opisanog problema.

## LITERATURA

- [1] Axsäter, S. (2006). Inventory Control (International Series in Operations Research & Management Science), Springer Science + Business Media, New York, 51–60.
- [2] Barlow, J. (2003). Excel Models for Business and Operations Management. Wiley, N.Y., 244–258.
- [3] Harris, F.W. (1915). How many parts to make at once, The Magazine of Management. Vol 10. No 2.
- [4] Jans, R. & Degraeve, Z. (2007). Meta-heuristics for dynamic lot sizing: a review and comparison of solution approaches. Eur. J. Oper. Res. 177 (3), 1855–1875.
- [5] Kostic, K. (2001). Izrada i koriscenje poslovnih modela. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- [6] Kostic, K. (2009). Inventory control as a discrete system control for the fixed-order quantity system. Applied Mathematical Modelling 10 (03.004).
- [7] Krčevina, S., Čangalović, M., Kovačević, V., Martić, M. & Vujošević, M. (2006). Operaciona istraživanja 2, Fakultet organizacionih nauka.
- [8] Mladenović, N. (1995). A variable neighborhood algorithm—a new metaheuristic for combinatorial optimization applications. In Optimization Days, 112.
- [9] Mladenović, N. & Hansen, P. (1997). Variable Neighborhood Search, CompOpsRes. Vol. 24.No.11,
- [10] Russell, R. & Taylor, B. (2006) Operations Management: Quality and Competitiveness in a Global Environment. Wiley, New York, 529–552.
- [11] Scarf, H. (1959). The optimality of (s; S) policies in the dynamic inventory problem, in: Arrow, Karlin, Patrick (Eds.), Proceedings of the First Stanford Symposium.
- [12] Wagner, H.M. & Whitin, T. (1958). Dynamic version of the economic lot size model. Man.Sci. 5 (1)
- Zoller, K. & Robrade, A. (1988). Efficient heuristics for dynamic lot sizing. Inter. J. Prod. Res. 26



## SOLVING THE CLIQUE PARTITIONING PROBLEM AS A MAXIMALLY DIVERSE GROUPING PROBLEM

### REŠAVANJE PROBLEMA PODELE GRAFA U KLIKE KAO VARIJANTE PROBLEMA GRUPISANJA UZ MAKSIMIZIRANJE RAZLIČITOSTI

JACK BRIMBERG<sup>1</sup>, STEFANA JANČIJEVIĆ<sup>2</sup>, NENAD MLADENOVIĆ<sup>3,4</sup>, DRAGAN UROŠEVIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Royal Military College, Kingston, Canada, Jack.Brimberg@rmc.ca

<sup>2</sup> Telekom Srbija, Beograd, stefana@mi.sanu.ac.rs

<sup>3</sup> University of Valenciennes, France, nenad@mi.sanu.ac.rs

<sup>4</sup> Mathematical Institute SANU, Belgrade, draganu@mi.sanu.ac.rs

**Abstract:** In this paper we show that the Clique Partitioning Problem can be reformulated in an equivalent form as the Maximally Diverse Grouping Problem (MDGP). We then modify a skewed general variable neighborhood search (SGVNS) heuristic that was first developed to solve the MDGP. This further confirms the usefulness of a combined approach of diversification afforded with skewed VNS and intensification afforded with the local search in general VNS.

**Keywords:** Clique, Graph partitioning, Metaheuristics.

**Rezime:** U ovom radu je razmatran problem podele grafa u disjunktne podgrafove (klike). Pokazano je da taj problem može biti tretiran i kao problem podele grafa u grupe tako da se maksimizira različitost u izdvojenim grupama. Nakon toga je već razvijena metoda (bazirana na metodi promenljivih okolina) za problem podele u grupe prilagodjena problemu podele u klike i pokazano da ta metoda značajno prevazilazi po karakteristikama postojeće metode.

**Cljučne reči:** Klika, Podela grafa u grupe, Metaheuristike..

## 1. INTRODUCTION

The clique partitioning problem can be described as follows. Given a weighted, non-oriented and complete graph  $G = (V, E, w)$ , we wish to find a partition of the node set into an unknown number of nonempty, disjoint subsets  $V_1, V_2, \dots, V_k$  such that the sum of edge weights over the  $k$  induced subgraphs (or cliques)  $G_1, G_2, \dots, G_k$  is minimized. Let  $c_{ij}$  denote the weight (or cost) of edge  $(i, j)$ , for all pairs of nodes  $(i, j)$ ,  $1 \leq i < j \leq n$ , where  $n$  equals the number of nodes in  $G$  ( $n=|V|$ ). A mathematical formulation of the problem is given by (see [2]):

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij} \quad (\text{CPP})$$

such that

$$x_{ij} + x_{jr} - x_{ir} \leq 1, \quad \forall 1 \leq i < j < r \leq n,$$

$$x_{ij} - x_{jr} + x_{ir} \leq 1, \quad \forall 1 \leq i < j < r \leq n,$$

$$x_{ij} - x_{jr} + x_{ir} \leq 1, \quad \forall 1 \leq i < j < r \leq n,$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall 1 \leq i < j \leq n.$$

If  $x_{ij}=1$ , then nodes  $i$  and  $j$  are in the same cluster, and the cost  $c_{ij}$  of edge  $(i, j)$  is added in the objective function; otherwise it is not. The constraint set ensures that all edges in the complete subgraph  $G_t$ ,  $t=1, 2, \dots, k$ , are included in the solution.

The clique partitioning problem (CPP) may be extended to incomplete graphs by inserting fictitious edges with large positive weights between pairs of nodes wherever edges are missing in the original graph. The large positive weight ensures that each subgraph  $G_t$ ,  $t=1, 2, \dots, k$ , is a clique that contains no fictitious edges.



If all edges in a complete graph  $G$  have negative (or zero) weights, the problem becomes trivial. Thus, the CPP becomes interesting only when some of the edge weights have positive values.

The CPP has important applications in the social sciences (e.g., see [2], and the references therein). Wang *et al.* [11] demonstrate that the CPP compares favorably with  $K$ -means and latent class analysis for recovery of cluster structure in real data sets. An advantage of the CPP model is that we do not need to know the number of clusters beforehand. One of the most cited applications of CPP is in the aggregation of binary equivalence relations. In this context, the  $c_{ij}$  parameters represent the number of attributes on which nodes  $i$  and  $j$  disagree minus the number on which they agree.

The earliest methods to solve CPP use a simple relocation procedure that interchanges nodes across clusters until a local optimum is reached (e.g., Régnier [10]). Marcotorchino and Michaud [8] expanded the search to include merging of clusters and exchanging cluster memberships for pairs of nodes. Simulated annealing and tabu search heuristics are proposed by De Amorim *et al.* [4], based on the simple relocation neighborhood above. However, this also includes the possibility of relocating a node to the empty set, thereby increasing the number of clusters by 1. Charon and Hudry [3] investigate various "noising" procedures that distort the data in order to allow uphill moves. Brusco and Köhn [2] develop a state-of-the-art "neighborhood search heuristic", following the ideas of the variable neighborhood search (VNS) metaheuristic, where the shaking (or perturbation) step is carried out in a random fashion instead of the systematic approach of VNS. The local search employs the single node relocation neighborhood.

In the next section we show how the CPP may be reformulated as a maximally diverse grouping problem. This allows us to modify a skewed general variable neighborhood search that we recently developed (Brimberg *et al.* (2014)) to solve the maximally diverse grouping problem and apply this approach to the CPP (see section 3 for details). Computational results are reported in section 4 on a wide range of problem instances.

## 2. RELATION TO THE MAXIMALLY DIVERSE GROUPING PROBLEM

The *maximally diverse grouping problem* (MDGP) requires finding a partition of a given set of elements into a specified number of mutually disjoint subsets (or groups) in order to maximize the overall diversity between elements of the same group. One of the earliest applications of MDGP was in the formation of student workgroups (Weitz and Lakshminarayanan [12-14]). For example, in MBA programs [5] it is very important to divide the class into diverse study groups in order to enhance the learning environment. Another application cited is the formation of peer review groups to evaluate research proposals (Hettich and Pazzani [7]). Again, the objective is to form diverse groups in order to ensure that projects are evaluated from several different points of view.

In the MDGP the number of groups is fixed, and typically these groups must have the same size, or nearly the same size. However, in the CPP we don't know the number of groups, and there are no limitations on group size. To get around this difficulty, we simply set the number of groups initially to an upper limit of  $n$  (the number of nodes in  $G$ ), and allow some of these groups to be empty. No limitations on group size are imposed, so that the number of groups is effectively treated as a variable in the model formulation.

Now let  $y_{ig}=1$ , if node  $i$  belongs to group  $g$ , and 0 otherwise. We reformulate CPP as the following equivalent quadratic binary integer program:

$$\max - \sum_{g=1}^n \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} y_{ig} y_{jg} = \sum_{g=1}^n \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (-c_{ij}) y_{ig} y_{jg} \quad (\text{CPPE})$$

such that

$$\sum_{g=1}^n y_{ig} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$y_{ig} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; g = 1, 2, \dots, n.$$

This formulation is equivalent to the general MDGP except that (a) all constraints on group size have been deleted, and (b) the number of groups is no longer specified. Note that the nonlinear formulation in (CPPE) allows a reduction in the number of constraints compared to the original linear formulation (CPP) from  $O(n^3)$  to  $n$ . Meanwhile the number of binary variables remains the same in both formulations. By recasting the model in the form of a MDGP, we are now able to borrow any solution method for MDGP and apply it (after some small modifications) to solve our original CPP. We will take advantage of this fact by adapting a new skewed general VNS heuristic that was applied with great success on the MDGP (see Brimberg *et al.* (2014)).

### 3. IMPLEMENTATION

#### 3.1. Solution space of MDGP

The solution space consists of all possible divisions of elements into groups. A solution is represented by vector  $x^c$  of length  $n$  ( $x^c = (x_1^c, x_2^c, \dots, x_n^c)$ ) such that  $x_i^c$  is the label of the group containing element  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). In order to speed up the local search, we also maintain matrix  $sc^c$  such that  $sc_{ig}^c$  is the sum of edge weights between element  $i$  and all elements assigned to the group  $g$  in the current solution:

$$sc_{ig}^c = \sum_{\substack{j=1,2,\dots,n \\ x_j^c=g}} c_{ij}$$

Note that for the current solution, matrix  $sc^c$  can be computed in  $O(n^2)$ . Initially the number of groups is  $n$ . But, if in the currently best solution the elements are divided into  $g'$  groups, we assume that there is also one empty group ( $g_{\max}=g'+1$ ).

#### 3.2. VND local search

The local search is implemented as a Variable Neighborhood Descent (VND), for which the following neighborhoods are designed: Insertion and Swap.

Neighborhood Insertion contains solutions obtained by moving only one element from its current group to another group. By using the previously described matrix  $sc^c$ , it is possible to efficiently compute, for each feasible move, the change of the objective function value. Denote with  $x^n$  a solution obtained from a solution  $x^c$  by moving element  $i$  from its current group  $g_1$  to a group  $g_2$ . It is easy to conclude that the difference between objective function values for solutions  $x^c$  and  $x^n$  is

$$\Delta f = f(x^n) - f(x^c) = sc_{ig_2}^c - sc_{ig_1}^c.$$

If the insertion step is performed, we change the current solution, and then it is necessary to update matrix  $sc^c$ . If the element  $i$  moves from the group  $g_1$  to the group  $g_2$ , then groups  $g_1$  and  $g_2$  are modified and values  $sc_{jg_1}^c$  and  $sc_{jg_2}^c$  must be updated in the following way:

$$sc_{jg_1}^c = sc_{jg_1}^c - c_{ji} \quad \text{and} \quad sc_{jg_2}^c = sc_{jg_2}^c + c_{ji}.$$

Since this updating must be performed for each element  $j$ , updating of matrix  $sc^c$  after performing an insertion move has complexity  $O(n)$ .

Neighborhood Swap contains solutions obtained by swapping a single pair of elements belonging to different groups (elements exchange the group they are currently assigned to). Let an element  $i$  be in a group  $g_i$  and an element  $j$  in a group  $g_j$  in current solution  $x^c$ . Denote with  $x^n$  the solution obtained after moving element  $i$  into group  $g_j$  and element  $j$  into group  $g_i$ . We can calculate the difference between the objective values of the current and neighboring solutions:

$$\Delta f = f(x^n) - f(x^c) = (sc_{ig_j}^c - sc_{ig_i}^c) + (sc_{jg_i}^c - sc_{jg_j}^c) - 2c_{ij}$$

It is obvious that the change in objective value for each solution from Neighborhood Swap is done in  $O(1)$ , while the cardinality of Swap is  $O(n^2)$ . After performing a Swap move, it is necessary to update the matrix  $sc^c$ , and the complexity of this update is  $O(n)$  (we can consider Swap or 2-opt as two successive Insertions).

#### Skewed general variable neighborhood search

Variable neighborhood search (VNS) is a well known metaheuristic, or framework for building heuristics, whose basic idea is a systematic change of neighborhood structures during a search for a better solution [6]. A successful VNS variant, called General VNS, uses a mechanism of changing neighborhoods not only in the diversification or Shaking step, but also in the intensification or deterministic local search step [6]. Skewed VNS is another VNS variant that modifies the 'neighborhood change' step. The incumbent is allowed to move to an inferior solution only if it is very far and of similar quality. The pseudo-code of SGVNS for solving CPP is given in Algorithm 1.

With  $d(x^n, x^b)$  is denoted the distance between solutions  $x^n$  and  $x^b$ , defined in the following way:

$$d(x^n, x^b) = \frac{\left| \{(i, j) \mid 1 \leq i < j \leq n, (x_i^n = x_j^n \wedge x_i^b \neq x_j^b) \vee (x_i^n \neq x_j^n \wedge x_i^b = x_j^b)\} \right|}{\sum_{g=1}^{g_b} \binom{c_g^b}{2}}$$

where  $g^b$  is the number of groups in the best solution  $x^b$ , and  $c_g^b$  is the number of elements in group  $g$  in the best solution.

Intuitively, the expression in the numerator is the number of pairs of elements belonging to the same cluster (or group) in one solution, but not belonging to the same group in the other solution. On the other hand the denominator is equal to the number of edges participating in cliques in the optimal solution. The expression  $d(x^c, x^n)$  denotes the distance between solutions  $x^c$  and  $x^n$  and calculates in a similar way.

#### Algorithm 1. SGVNS for MDGP

```

function SGVNS( $\alpha, k_{\min}, k_{\max}, k_{\text{step}}$ )
   $f^c = \text{InitialSolution}(x^c, sc^c)$ ; VND( $x^c, sc^c, f^c$ );
   $(x^b, sc^b, f^b) = (x^c, sc^c, f^c)$ ;
   $k = k_{\min}$ ;
  while stopping condition is not met do
     $(x^n, sc^n, f^n) = (x^c, sc^c, f^c)$ ; shake( $k, x^n, sc^n, f^n$ ); VND( $x^n, sc^n, f^n$ );
    if  $f(x^n) / f(x^c) + \alpha d(x^n, x^c) > 1$  and  $f(x^n) / f(x^b) + \alpha d(x^n, x^b) > 1$  then
       $(x^c, sc^c, f^c) = (x^n, sc^n, f^n)$ ;
      if  $f(x^c) > f(x^b)$  then  $(x^b, sc^b, f^b) = (x^n, sc^n, f^n)$ ;
       $k = k_{\min}$ ;
    else
       $k = k + k_{\text{step}}$ ;
      if  $k > k_{\max}$  then  $k = k_{\min}$ 
  return  $x^b$ 

```

The pseudo-code for the Shaking step is given in Algorithm 2.

#### Algorithm 2. Shake step in SGVNS

```

procedure shake( $k, x, sc, f$ )
  Select  $\min\{k, 30\}$  vertices and move to empty group;
  while  $k > 0$  do
    Select at random two vertices  $u$  and  $v$ ;
    if  $x_u \neq x_v$  then
      Swap( $x, u, v$ ); // swap vertices  $u$  and  $v$ 
       $k = k - 1$ ;
  Computesc( $x, sc$ );
   $f = \text{Computeobj}(x)$ 

```

## 4. COMPUTATIONAL RESULTS

Results reported in this section are obtained on an Intel based computer with 3.2 GHZ CPU and 4Gb of RAM. SGVNS is coded in C++ computer language. Parameter  $\alpha$  is selected after detailed experiments and his value was set to 0.02.

13 benchmark instances. The first set consists of 7 benchmark instances originally considered by Charon and Hudry [3] (rand100-100, rand300-100, rand500-100, rand300-5, zahn300, sym300-50, regnier300-50 ) and 6 instances generated by Brusco and Köhn [2]) (rand200-100, rand400-100, rand100-5, rand200- 5, rand400-5, rand500-5). For more details about these test instances see [3] and [2].

Comparison with state-of-the-art heuristics. In this subsection we compare results obtained by our SGVNS with those from the literature. As mentioned earlier, the state-of-the art heuristics are NS-R and NS-TS both suggested in [2]. In Table 2, we compare 3 heuristics on 13 small test instances. The second column reports best known values obtained by our SGVNS in  $n=|V|$  seconds per run. Objective function values obtained by

NS-R and NS-TS are given in columns 3 and 4 respectively. The next 3 columns give results obtained by SGVNS: the best objective value in 10 restarts, the average value and the average cpu time spent before the best claimed solutions are found. Note that the running time of another two heuristics were set to 500 seconds.

**Table 1.** Comparison of NS-R, NS-TS and SGVNS on small instances; SGVNS is 10 times restarted with  $t_{\max}=n$ .

Instance	Best known	NS-R	NS-TS	SGVNS		
				Best	Avg,	Time
rand100-5	-1407	-1407	-1407	-1407	-1407	0.33
rand100-100	-24296	-24296	-24296	-24296	-24296	1.42
rand200-5	-4079	-4079	-4079	-4079	-4079	26.59
rand200-100	-74924	-74924	-74924	-74924	-74924	12.56
rand300-5	-7732	-7723	-7729	-7732	-7728	87.12
rand300-100	-152709	-152709	-152709	-152709	-152709	24.81
sym300-50	-17592	-17592	-17592	-17592	-17592	143.45
regnier300-50	-32164	-32164	-32164	-32164	-32164	3.24
zahn300	-2504	-2503	-2504	-2504	-2504	29.4
rand400-5	-12133	-12096	-12120	-12133	-12123	206
rand400-100	-222757	-222647	-222374	-222757	-222735	212.65
rand500-5	-17127	-17008	-17086	-17127	-17095.5	255.29
rand500-100	-309125	-308620	-308341	-309107	-308754	291.00

30 large new instances. In order to compare heuristics on large problems, we introduce new CPP instances. They consist of sets with 1000, 1500 and 2000 vertices, each having 10 instances. The edge lengths are generated at random as integers uniformly distributed in the range [-100, 100].

In Table 2 the same methods are compared on our new large size test instances. This time the best in 10 executions, average in 10 executions and average cpu times for all three heuristics are reported (average of 10 instances with same cardinality is only reported, in order to save space). In last two columns we give the percentual improvement of SGVNS over other two state-of-the-art heuristics.

**Table 2.** Comparison of NS-R, NS-TS and SGVNS on large instances; Average results for 10 nstances with same cardinality are reported.

V	NS-R			NS-TS			SGVNS			Perc. Impr.	
	Best	Avg.	Time	Best	Avg,	Time	Best	Avg.	Time	NS-R	NS-TS
100 0	872758.2	870294.1	1053.2 4	874086.3	870951.6	1072.8 5	884033.8	877382.3	794.04	1.27	1.12
150 0	1588364. 9	1584263. 2	1552.8 1	1591629. 7	1585325. 5	1660.8 5	1606691. 5	1598632. 2	1223.5 7	1.14	0.94
200 0	2454483. 2	2445279. 7	1871.0 3	2457585. 3	2443999. 3	1890.0 0	2481129. 6	2468845. 2	1655.9 6	1.07	0.95

It appears that results with equal quality for smaller instances are obtained by all heuristics. However, for larger instances, SGVNS reports better results.

## CONCLUSIONS

In this paper we develop a Skewed general variable neighborhood search (SGVNS) heuristic for solving the Clique Partitioning Problem (CPP). This new approach combines the diversification provided by “skewed” variable neighborhood search with the intensification of variable neighborhood descent (VND), the local search step in “general” variable neighborhood search.

The combined SGVNS approach was recently used with success on the related Maximally Diverse Grouping Problem (Brimberg *et al.* (2014)). We obtain similar success here on the CPP, with significant improvement on solution quality reported on several large scale instances compared to the state of the art.

Future research directions include the design and testing of different neighborhoods within VND, and the application of SGVNS to other combinatorial problems.

## REFERENCES

- [1] Brimberg, J., Mladenović, N., & Urošević, D. (under review) . Solving the Maximally Diverse Grouping Problem by Skewed General Variable Neighborhood Search.
- [2] Brusco, M.J. & Köhn, H.F.. (2009). Clustering qualitative data based on binary equivalence relations: neighborhood search heuristics for the clique partitioning problem. *Psychometrika*, 74(4), 685-703.
- [3] Charon, I. & Hudry, O.. (2006). Noising methods for a clique partitioning problem. *Discrete Applied Mathematics*, 154(5), 754-769.
- [4] De Amorim, S.G., Barthélemy, J. P. & Ribeiro, C.C. (1992). Clustering and clique partitioning: Simulated annealing and tabu search approaches. *Journal of Classification*, 9, 17–41.
- [5] Desrosiers, J., Mladenović, N., & Villeneuve, D. (2005). Design of balanced MBA student teams. *Journal of the Operational Research Society*, 56, 60–66.
- [6] Hansen, P., Mladenović, N. & Moreno Pérez, J.A. (2010). Variable neighbourhood search: algorithms and applications. *Annals of Operations Research* 175, 367-407.
- [7] Hettich S. and Pazzani, M. J. (2006) Mining for element reviewers: Lessons learned at the national science foundation, In: *Proceedings of the KDD'06*, ACM: New York, NY, pp. 862--871.
- [8] Marcotorchino, F. & Michaud, P. (1981). Heuristic approach to the similarity aggregation problem. *Methods of Operations Research*, 43, 395–404.
- [9] Oosten, M., Rutten, J.H.G.C. & Spieksma, F.C.R. (2001). The clique partitioning problem: facets and patching facets. *Networks*, 38(4), 209--226.
- [10] Régnier, S. (1965). Sur quelques aspects mathématiques des problèmes de classification automatique. *I.C.C. Bulletin*, 4, 175–191.
- [11] Wang, H., Obremski, T. , Alidaee, B. & Kochenberger, G. (2008). Clique partitioning for clustering: a comparison with K-means and latent class analysis. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, 37, 1–13.
- [12] Weitz, R.R. & Lakshminarayanan, S. (1996). On a heuristic for the final exam scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 47(4), 599-600.
- [13] Weitz, R.R. & Lakshminarayanan, S. An empirical comparison of heuristic and graph theoretic methods for creating maximally diverse groups, VLSI design, and exam scheduling. *Omega* 25(4), 473-482.
- [14] Weitz, R.R. & Lakshminarayanan, S. (1998). An empirical comparison of heuristic methods for creating maximally diverse groups. *Journal of the Operational Research Society*, 49(6), 635-646.



## PROBLEM ORIJENTACIJE: PRISTUP OPTIMIZACIJOM KOLONIJOM PČELA

## THE ORIENTEERING PROBLEM: BEE COLONY OPTIMIZATION APPROACH

DRAGANA DRENOVAC<sup>1</sup>, RANKO NEDELJKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {drenovac, r.nedeljkovic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu rešavan je problem orijentacije (Orienteering problem) primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela. Prikazan je matematički model problema, dat pregled literature sa primenama i načinima rešavanja. Predloženi algoritam je testiran i rezultati su upoređeni sa rezultatima koji se dobijaju primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom mrava.

**Ključne reči:** Problem orijentacije, Selektivni problem trgovačkog putnika, Optimizacija kolonijom pčela.

**Abstract:** In this paper the orienteering problem is solved by the metaheuristic technique Bee Colony Optimization (BCO). Mathematical model of the problem, literature review with applications and applied techniques are given. The proposed algorithm was tested and the results were compared with those obtained with the metaheuristic approach Ant colony optimization.

**Keywords:** Orienteering problem, Selective traveling salesman problem, Bee colony optimization.

### 1. UVOD

Problem orijentacije dobio je naziv po vrsti sporta koji se zove orijentacija, pošto postoji analogija između ovog problema i pomenute igre. Sportska orijentacija se organizuje u šumovitim predelima, takmičarima obično nepoznatim. Organizator igre postavlja određeni broj kontrolnih tačaka na isplaniranim lokacijama i svakoj od njih dodeljuje se određeni broj poena (skor). Trka počinje u čvoru broj 1 i završava se u n-tom čvoru. Svaki takmičar uz pomoć kompasa i topografske karte treba da u zadatom vremenu obiđe jedan podskup kontrolnih tačaka i da postigne najveći broj poena.

U literaturi (Laporte i Martello 1990, Gendreau i ostali 1998, Thomadsen i Stidsen 2003) problem orijentacije poznat je i kao selektivni problem trgovačkog putnika (Selective Travelling Salesman Problem). Takođe isti problem u literaturi (Butt i Cavalier 1994) može da se nađe pod nazivom problem maksimalnog sakupljanja (The Maximum Collection Problem). Problem orijentacije se može posmatrati i kao jedna varijanta problema trgovačkog putnika sa profitom (Travelling Salesman Problem With Profits) u kome se troškovi puta posmatraju u ograničenju a sakupljeni profit kroz funkciju cilja (Fillet i ostali 2005).

Problem orijentacije rešavan je metaheuristikom Optimizacija kolonijom pčela. Predloženi algoritam testiran je na poznatom skupu primera. Rešenja su upoređena sa rešenjima koja daje metaheuristika Optimizacija kolonijom mrava.

### 2. PROBLEM ORIJENTACIJE

Problem orijentacije (Golden i ostali 1987) može da se formuliše na sledeći način: Dato je  $n$  tačaka u Euklidskoj ravni, svaka sa vrednošću  $s(i) \geq 0$  ( $s(1) = s(n) = 0$ ). Vreme putovanja i rastojanja poznata su za sve parove čvorova. Potrebno je naći rutu kroz date tačke koja ima maksimalni skor, čiji je početak u tački 1 i završetak u tački  $n$ , a čija dužina (trajanje) nije veće od  $T_{\max}$ .

Problem orijentacije može se definisati i uz pomoć teorije grafova (Vansteenwegen i ostali 2011). Neka je dat graf  $G=(V, A)$ , gde je  $V=\{v_1, v_2, \dots, v_N\}$  skup čvorova, dok je  $A$  skup lukova. Svakom čvoru  $v_i \in V$  dodeljen je nenegativan broj bodova  $S_i$ , a svakom luku  $a_{ij} \in A$  dodeljeno je vreme putovanja  $t_{ij}$ . Problem orijentacije se sastoji u određivanju Hamiltonovog puta  $G'(\in G)$  nad podskupom skupa  $V$ , uključujući i početni i krajnji čvor  $v_1$  i  $v_N$ , dužine koja ne prelazi vrednost  $T_{\max}$ , a sve sa ciljem da se maksimizira ukupan broj sakupljenih poena. U većini slučajeva ta putanja je otvorena, tj. početna i krajnja tačka se ne poklapaju,

a nekada je to Hamiltonova tura ( $v_1 \equiv v_N$ ). Razlike u formulaciji su neznatne i mogu se prevazići dodavanjem fiktivnog luka između početnog i krajnjeg čvora.

Koristeći uvedene oznake, problem orijentacije može da se formuliše kao zadatak celobrojnog programiranja.

$$\max \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^N S_i x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=2}^N x_{1j} = \sum_{i=1}^{N-1} x_{iN} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} x_{ik} = \sum_{j=2}^N x_{kj} \leq 1; \quad \forall k = 2, \dots, N-1, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N t_{ij} x_{ij} \leq T_{\max}, \quad (4)$$

$$2 \leq u_i \leq N; \quad \forall i = 2, \dots, N, \quad (5)$$

$$u_i - u_j + 1 \leq (N-1)(1 - x_{ij}), \quad \forall i, j = 2, \dots, N, \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad \forall i, j = 1, \dots, N, \quad (7)$$

Funkcijom cilja (1) maksimizira se ukupan broj sakupljenih bodova. Ograničenjima (2) postiže se da put krene iz čvora 1 i da se završi u čvoru N. Ograničenja (3) osiguravaju povezanost puta i garantuju da će svaki čvor biti posećen najviše jednom. Ograničenjem (4) uzima se u obzir zadato vreme u okviru koga treba obići izabrane čvorove. Ograničenjima (5) i (6) onemogućavaju se podciklusi.

Problem orijentacije može da se posmatra kao kombinacija problema ranca i problema trgovačkog putnika. Kao što je rečeno, u problemu orijentacije cilj je maksimizirati ukupan broj sakupljenih poena, dok se u problemu trgovačkog putnika minimizira ukupno vreme putovanja ili rastojanje. Takođe, u problemu orijentacije nije neophodno posetiti sve čvorove, ali ih je potrebno posetiti što više u zadatom vremenu.

Problem orijentacije (Golden i ostali 1987) spada u NP-hard probleme. To znači da egzaktni algoritmi troše mnogo vremena za pronalaženje optimalnog rešenja, pa su za praktičnu primenu potrebni heuristički algoritmi.

U literaturi (Vansteenwegen i ostali 2011) se mogu naći neke primene problema orijentacije. Prva primena (Tsiligirides 1984) odnosi se na slučaj kada trgovački putnik nema dovoljno vremena da obiđe sve gradove. Na osnovu očekivane prodaje u čvorovima on procenjuje koje gradove da obiđe kako bi mu prodaja bila najveća moguća.

Sledeći problem (Golden i ostali 1984) predstavlja kombinaciju upravljanja zalihama i problema rutiranja. Potrebno je da skup kamiona dnevno doprema gorivo do potrošača. Zalihe goriva moraju biti iznad određene kritične tačke u kojoj se mora vršiti dopunjavanje. Prognozirani nivo zaliha može se posmatrati kao mera hitnosti obnove zaliha. Pri rešavanju se prvo odredi podskup korisnika kojima je hitno potrebno dopremiti gorivo određenog dana. Taj deo problema modeluje se problemom orijentacije. Skor u kontrolnim tačkama je mera hitnosti obnove zaliha. Kasnije se vrši dodela potrošača kamionima, kao i određivanje efikasne putanje za svaki kamion.

Problem orijentacije našao je svoju primenu i u turizmu (Souffriau i ostali 2008). Prilikom posete nekom gradu ili regionu, turisti obično nemaju vremena za sve njegove znamenitosti. Zato je potrebno odrediti neke od lokacija koje će se posetiti. Lokacije se karakterišu atraktivnošću. Planer bira najatraktivnije lokacije u zadatom vremenskom periodu.

Problem orijentacije može imati i vojnu primenu (Wang i ostali 2008). Naime, podmornica ili bespilotna letelica mogu biti poslate u izviđačku akciju skupa lokacija. Na svakoj lokaciji može se sakupiti neka informacija a njena važnost predstavlja skor pridružen toj lokaciji. Potrebno je obići i sakupiti podatke sa određenog broja lokacija vodeći računa o gorivu ili vremenu koje je na raspolaganju.

U literaturi problem orijentacije rešavan je različitim tehnikama, od egzaktnih algoritama (Laporte i Martello 1990, Ramesh i ostali 1992), preko heuristika (Tsiligirides 1984, Golden i ostali 1987) do metaheuristika – Tabu pretraživanja, Genetskih algoritama, Optimizacije kolonijom mrava (Gendreau i ostali 1998, Tasgetiren 2001, Liang i ostali 2002), kao i veštačkih neuronskih mreža (Wang i ostali 1995).



### 3. OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA

Metaheuristika pod nazivom Optimizacija kolonijom pčela (Teodorović 2008) nedavno se pojavila kao nov pravac na polju inteligencije grupe a predložili su je i koristili autori Lučić i Teodorović (2001, 2003). Veštačke pčele predstavljaju agente koji kroz međusobnu saradnju mogu da reše složene probleme kombinatorne optimizacije. Na početku procesa pretrage one se nalaze u košnici iz koje izlaze kada treba da načine niz lokalnih poteza stvarajući tako parcijalno rešenje problema. Prilikom stvaranja jednog ili više dopustivih rešenja, veštačke pčele, uz neposrednu komunikaciju, postepeno dodaju komponente i tako proširuju postojeće parcijalno rešenje. Najbolje rešenje pronađeno u prvoj iteraciji se pamti, a proces traganja za boljim rešenjem pčele nastavljaju kroz nove iteracije. Donosilac odluke zadaje broj iteracija.

Pretražujući prostor rešenja, veštačke pčele izvode letove unapred i letove unazad. Tokom leta unapred, na osnovu pojedinačnih sposobnosti i prethodno stečenog kolektivnog iskustva, one generišu različita parcijalna rešenja. Potom se vraćaju u košnicu u kojoj razmenjuju informacije i upoređuju generisana parcijalna rešenja. Na osnovu toga svaka veštačka pčela odlučuje da li da odustane od parcijalnog rešenja do kojeg je došla poslednjim letom unapred i postane neopredeljeni sledbenik ili da ostane lojalna tom rešenju i nastavi da ga proširuje. Veštačka pčela pre novog leta unapred može igrom da motiviše neopredeljene pčele da je slede na njenom putu ili da bez regrutovanja drugih pčela nastavi da proširuje svoje parcijalno rešenje. Regrutovana pčela prati pčelu čije je parcijalno rešenje prihvatila do početka proširivanja tog rešenja, a kasnije nastavlja sama pretragu prostora rešenja. Iteracija se sastoji od niza letova unapred i letova unazad, a njom se dobijaju jedno ili više dopustivih rešenja.

Metaheuristikom Optimizacija kolonijom pčela problemi kombinatorne optimizacije rešavaju se u etapama. Svakoju etapi odgovara po jedna promenljiva. Neka je  $m$  unapred odabrani (konačan) broj etapa, a  $ST = \{st_1, st_2, \dots, st_m\}$  skup tih etapa. Sa  $B$  označen je broj pčela koje učestvuju u procesu pretrage, a sa  $I$  ukupan broj iteracija.  $S_j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) predstavlja skup parcijalnih rešenja u etapi  $st_j$ .

Sledećim pseudo-kodom može se opisati Optimizacija kolonijom pčela:

Korak 1: *Inicijalizacija*. Zadati broj pčela  $B$  i broj iteracija  $I$ . Izaberi skup etapa  $ST = \{st_1, st_2, \dots, st_m\}$ .

Naći početno dopustivo rešenje  $x$  posmatranog problema i postaviti ga kao najbolje.

Korak 2: Neka je  $i=1$ . Sve dok nije ispunjen uslov  $i=I$ , ponavljati sledeće korake:

Korak 3: Neka je  $j=1$ . Sve dok nije ispunjen uslov  $j=m$ , ponavljati sledeće korake:

*Let unapred*: Dozvoliti pčelama da izlete iz košnice i odaberu  $B$  parcijalnih rešenja iz skupa parcijalnih rešenja  $S_j$  u etapi  $st_j$ .

*Let unazad*: Vratiti sve pčele u košnicu. Omogućiti pčelama da steknu uvid u kvalitet svih postignutih parcijalnih rešenja i da svaka od njih odluči da li da odustane od svog parcijalnog rešenja i postane neopredeljeni sledbenik, nastavi da proširuje postignuto parcijalno rešenje bez podsticanja neopredeljenih sledbenika da prihvate njeno parcijalno rešenje ili da svojom igrom, koju izvodi u prostoru za igru, ubedi neku od neopredeljenih pčela da zajedno proširuju postignuto parcijalno rešenje.

Postaviti da je  $j=j+1$ .

Korak 4: Ako je najbolje rešenje otkriveno u  $i$ -toj iteraciji bolje od do tada pronađenog najboljeg rešenja, postaviti da je najbolje poznato rešenje  $x = x_i$

Korak 5: Postaviti da je  $i=i+1$ .

Zadati broj iteracija ne mora biti jedini uslov za prekid letova pčela. Pčele se mogu pustiti da lete unapred i unazad zadati broj puta ili da između dva uzastopna poboljšanja kriterijumske funkcije izvrše unapred određeni broj letova.

Iz metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela mogu se izvesti različiti heuristički algoritmi. Svakim od njih može se opisati specifično ponašanje pčela i njihovo rezonovanje npr. kako pčele donose odluku da napuste ili zadrže svoje parcijalno rešenje.

### 4. REŠAVANJE PROBLEMA ORIJENTACIJE OPTIMIZACIJOM KOLONIJOM PČELA

Košnica sa veštačkim pčelama locirana je u čvoru 1. Iz nje pčele izleću i počinju pretragu oblasti dopustivih rešenja.

Neka je  $V_i$  korist koju pčela ima ako odabere  $i$ -ti čvor u određivanju rute. Usvojeno je da je korist koju pčela ima prilikom odabira nekog čvora utoliko veća ukoliko je broj poena u tom čvoru veći i ukoliko je vreme da se stigne iz poslednjeg izabranog čvora do čvora koji se posmatra za izbor manje. Tačnije, korist pčele u nekom čvoru predstavljena je funkcijom

$$V_i = \frac{S_i}{t^a} \quad (8)$$

gde je  $S_i$  broj poena u čvoru  $i$ ,  $t$  je vreme potrebno da se pređe rastojanje od poslednjeg izabranog čvora  $i$  čvora  $i$ , dok je  $a$  parametar.

Neka je  $p_i$  verovatnoća da će pčela da odabere  $i$ -ti čvor za rutu koju formira. Ruta mora da započne u čvoru 1 i da se završi u čvoru  $n$ . Prilikom svakog izbora čvora prethodno se odredi podskup čvorova koji realno može da se priključi pronađenom parcijalnom rešenju, tj. podskup onih čvorova za koje važi da dužina rute, ako joj se priključi potencijalni čvor, ne prelazi zadatu dužinu. Naknadno se izbor čvorova vrši iz tog podskupa čvorova.

Model izbora je LOGIT model, a verovatnoća izbora je:

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{e^{V_1} + e^{V_2} + \dots + e^{V_m}} \quad (9)$$

gde je  $m$  broj čvorova kojima može da se proširi ruta.

Prilikom prvog leta unapred svaka pčela bira zadati broj čvorova čiji redosled izbora čini parcijalnu rutu. Po povratku pčela u košnicu vrši se izračunavanje vrednosti funkcije cilja kao odnosa ukupnog skora i ukupnog vremena potrebnog da se obiđu izabrani čvorovi (u predloženom algoritmu u funkciju cilja svake pčele uključeno je i vreme jer bi efikasnija ruta uključila više čvorova i dala veći skor), kao i upoređivanje parcijalnih rešenja.

Neka je  $\Pi_j$  ( $j=1, \overline{b}$ , gde je  $b$  broj pčela) vrednost funkcije cilja za parcijalno rešenje koje je generisala  $j$ -ta pčela. Neka je  $\Pi_{norm_j}$  normalizovana vrednost vrednosti  $\Pi_j$ . Ona se izračunava:

$$\Pi_{norm_j} = \frac{\Pi_j - \Pi_{\min}}{\Pi_{\max} - \Pi_{\min}}, \quad \Pi_{norm_j} \in [0,1], j=1, \overline{b} \quad (10)$$

gde su  $\Pi_{\max}$  i  $\Pi_{\min}$  najveća i najmanja vrednost funkcije cilja za parcijalno rešenje koje je generisala  $j$ -ta pčela.

Usvojeno je da se verovatnoća da će pčela na početku sledećeg leta unapred biti lojalna svome kreiranom rešenju izračunava na sledeći način:

$$p_j^{u+1} = e^{\frac{\Pi_{norm_{\max}} - \Pi_j}{u}}, \quad j=1, \overline{b} \quad (11)$$

gde je  $u$  redni broj leta unapred.

Na osnovu tih verovatnoća utvrđuje se da li će pčela nastaviti let ili postati neopredeljena. Pčele koje ostaju pri svom parcijalnom rešenju, ubeđuju neopredeljene pčele da se priklone njima na njihovim putevima.

Vreme se u toku pretrage ažurira i, kada pčela više ne može da proširuje rešenje jer bi se probila maksimalna zadata dužina rute, pretraga se završava.

Moguće je da se po proizvoljnom letu unapred neke pčele u košnicu vrata sa parcijalnim rešenjem a neke sa konačnim. Sve učestvuju u proceni rešenja, sve mogu odustati od svog otkrivenog rešenja i priključiti se drugoj pčeli ili mogu biti lojalne svom rešenju.

Ako je broj opredeljenih pčela u određenom momentu jednak  $r$ , verovatnoća da će neopredeljena pčela da se pridruži  $k$ -toj opredeljenoj pčeli u narednom letu jednaka je:

$$P_k = \frac{e^{\Pi_{norm_k}}}{e^{\Pi_{norm_1}} + e^{\Pi_{norm_2}} + \dots + e^{\Pi_{norm_r}}} \quad (12)$$

Na osnovu tih verovatnoća određuje se sa kojom opredeljenom pčelom neopredeljena pčela započinje novi let. Pčele tada zajedno lete do poslednjeg čvora puta u parcijalnom rešenju koje je generisala opredeljena pčela. Posle toga svaka samostalno bira naredni skup čvorova prethodno izuzimajući već odabrane čvorove. Svaka iteracija daje određeno rešenje. Bira se najbolje postignuto rešenje tokom zadatog broja iteracija.

## 5. NUMERIČKI PRIMERI

Za testiranje predloženog softvera korišćeni su test primeri koje je predložio Tsiligirides, a mogu se naći na adresi [www.mech.kuleuven.be/cib/op](http://www.mech.kuleuven.be/cib/op). Posmatranih primera ima 20 i odnose se na mrežu od 33 čvora.

Za poređenje rezultata dobijenih BCO metaheuristikom korišćeni su rezultati dobijeni ACO metaheuristikom (Liang i Smith 2006) na istom skupu primera.

U tabeli 1 prikazani su rezultati testiranja. Prva kolona sadrži unapred zadatu dužinu rute (vreme u okviru koga treba obići izabrane čvorove). U drugoj i trećoj koloni predstavljene su vrednosti ukupno sakupljenih poena za najduže zadato vreme za metaheuristike ACO i BCO, redom. U četvrtoj koloni date su vrednosti dužine izabrane rute. Vrednost parametra  $a$  korišćene u testiranju su date u tabeli 2.

**Tabela 1:** Rezultati testiranja predloženog algoritma i poređenje sa ACO algoritmom

$T_{\max}$	ACO	BCO	Dužina rute (BCO)
15	170	170	14,48
20	200	200	19,79
25	260	260	24,95
30	320	320	29,69
35	390	390	34,79
40	430	430	39,51
45	470	470	44,89
50	520	520	49,64
55	550	550	54,17
60	580	580	59,98
65	610	610	63,86
70	640	640	69,94
75	670	670	74,29
80	710	710	79,71
85	740	740	84,86
90	770	770	89,94
95	790	790	94,15
100	800	800	99,10
105	800	800	100,88
110	800	800	100,88

**Tabela 2:** Vrednosti parametra  $a$  u zavisnosti od maksimalno zadatog vremena

$T_{\max}$	Parametar $a$
15-55	2
60-80	1.5
85	1.3
90-95	1.15
100-110	1.08

U testiranju predloženog algoritma zadato je da pčela bira po dva čvora pre nego što se vrati u košnicu. Broj zadatih iteracija je 100, dok je broj veštačkih pčela 11.

Iz tabele 1 vidi se da obe metaheuristike daju identične rezultate za čitav skup test primera.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu problem orijentacije rešavan je metaheuristikom Optimizacija kolonijom pčela. Predloženi algoritam je testiran na skupu test primera, a rezultati su upoređeni sa onima koje daje metaheuristika Optimizacija kolonijom mrava. Poređenje je pokazalo da su te dve metaheuristike kompetitivne, kao i da predložena metaheuristika, prvi put primenjena na problem orijentacije, može uspešno da rešava posmatrani problem.

## LITERATURA

- [1] Butt, S., & Cavalier, T. (1994). A heuristic for the multiple tour maximum collection problem. *Computers and Operations Research*, 21, 101–111.
- [2] Fillet, D., Dejax, P., & Gendreau, M. (2005). Travelling salesman problem with profits. *Transportation science*, 39(2), 188-205.
- [3] Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1995). A branch-and-cut algorithm for the undirected selective travelling salesman problem. Publication CRT-95-80. Centre de recherche sur les transports. Montreal, Canada.
- [4] Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1998). A tabu search heuristic for the undirected selective travelling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 106, 539–545.
- [5] Golden, B. L., Assad A., & Dahl R. (1984). Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component. *Large Scale Systems*, 7, 181–190.
- [6] Golden, B. L., Levy L., & Vohra R. (1987). The Orienteering Problem. *Naval Research Logistics*, 34, 307-345.
- [7] Laporte, G., & Martello, S. (1990). The selective travelling salesman problem. *Discrete Applied Mathematics*, 26, 193–207.
- [8] Liang, Y., Kulturel-Konak, S., & Smith, A. (2002). Meta heuristics for the orienteering problem. *Congress on Evolutionary Computation*. Hawaii, Honolulu, 384–389.
- [9] Liang, Y., S., & Smith, A. (2006). An Ant Colony Approach to the Orienteering Problem. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 23(5), 403-414.
- [10] 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*, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, 441–445.
- [11] Lučić, P., & Teodorović, D. (2003). Computing with Bees: Attacking complex Transportation Engineering Problems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 12(3), 375-394.
- [12] Ramesh, R., Yoon, Y., & Karwan, M. (1992). An optimal algorithm for the orienteering tour problem. *ORSA Journal on Computing*, 4, 155–165.
- [13] Souffriau, W., Vansteenwegen, P., Vertommen, J., Vanden Berghe, G., & Van Oudheusden, D. (2008). A personalised tourist trip design algorithm for mobile tourist guides. *Applied Artificial Intelligence*, 22 (10), 964–985.
- [14] Tasgetiren, M. (2001). A genetic algorithm with an adaptive penalty function for the orienteering problem. *Journal of Economic and Social Research*, 4 (2), 1–26.
- [15] Teodorović, D. (2008). Swarm intelligence systems for transportation engineering: Principles and applications. *Transportation Research Part C*, 16(6), 651-667.
- [16] Thomadsen, T., & Stidsen, T. (2003). The quadratic selective travelling salesman problem. *Informatics and Mathematical Modelling*, Technical Report, 17, Technical University of Denmark.
- [17] Tsiligirides, T. (1984). Heuristic methods applied to orienteering, *Journal of the Operational Research Society*, 35(9), 797-809.
- [18] Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Van Oudheusden, D. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209, 1–10.
- [19] Wang, Q., Sun, X., Golden, B., & Jia, J., (1995). Using artificial neural networks to solve the orienteering problem. *Annals of Operations Research*, 61, 111–120.
- [20] Wang, X., Golden, B., & Wasil, E. (2008). Using a genetic algorithm to solve the generalized orienteering problem. In: B. Golden, S. Raghavan, E. Wasil (Eds.), *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (263–274). New York: Springer.



## ISPITIVANJE EFIKASNOSTI METODE PROMENLJIVIH OKOLINA ZA REŠAVANJE PROBLEMA NEPREKIDNE GLOBALNE OPTIMIZACIJE

### VARIABLE NEIGHBORHOOD METHOD EFFICIENCY IN SOLVING CONTINUOUS GLOBAL OPTIMIZATION PROBLEMS

ŽELJKO SOKOLOVIĆ<sup>1</sup>, MIRJANA ČANGALOVIĆ<sup>2</sup>, BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Železnička tehnička škola, Beograd, zex.sokolovic@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, {canga;bisera}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** Predmet istraživanja ovog rada je ispitivanje efikasnosti upotrebe metode promenljivih okolina (Variable neighborhood search VNS) u rešavanju praktičnih problema neprekidne globalne optimizacije. U radu se testira nekomercijalni softver GLOB baziran na VNS metodologiji i njegovi rezultati se porede sa rezultatima dobijenim jednim od komercijalnih softvera Risk Solver Platform (RSP). Za testiranje se koristi dvadeset standardnih test problema iz oblasti fizike i hemije.

**Cljučne reči:** Neprekidna globalna optimizacija, Metoda promenljivih okolina, Softverski paket GLOB, Risk Solver Platform.

**Abstract:** The subject of this paper is to determine possible advantages of using the Variable Neighborhood Search (VNS) method for solving practical continuous global optimization problems. In the paper are presented testing results of non-commercial software GLOB based on VNS methodology and its results are compared with the results obtained by one of the commercial software Risk Solver Platform (RSP). Twenty standard test problems from physics and chemistry are used for testing.

**Keywords:** Continuous global optimization, Variable neighborhood method, Software GLOB, Risk Solver Platform.

#### 1. UVOD

Problem neprekidne globalne optimizacije se može u opštem slučaju prikazati u obliku (Pardalos and Romejin 2002):

$$\text{global } \min_{x \in S} f(x) \quad (1)$$

gde je dopustivi skup  $S$  definisan

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$h_i(x) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3)$$

$$a \leq x \leq b \quad (4)$$

gde  $x \in R^n$ ,  $f: R^n \rightarrow R$ ,  $g_i: R^n \rightarrow R$ ,  $i=1,2,\dots,m$ ,  $h_i: R^n \rightarrow R$ ,  $i=1,2,\dots,r$  mogu da budu nelinearne neprekidne funkcije i  $a, b \in R^n$  su donja i gornja granica promenljivih.

Problem nalaženja globalnog minimum ima veliki teorijski i praktični značaj. Pošto je ovaj problem poznat kao NP težak, u većini složenih slučajeva, globalni minimum se određuje heurističkim metodama, koje kombinuju metode nelinearnog programiranja sa raznim tehnikama inteligentnog pretraživanja dopustivog skupa. Ako se radi o problemima malih dimenzija sa zatvorenim i ograničenim dopustivim skupom u principu se mogu naći svi lokalni minimum i od njih odabrati najbolji. U praksi se obično radi sa problemima velikih dimenzija, tako da se problemi globalne optimizacije rešavaju uglavnom heurističkim metodama, koje ne garantuju nalaženje optimalnog rešenja. Većina ovih metoda se bazira na metaheurističkim metodologijama, kao što su: tabu pretraživanje, simulirano kaljenje, genetski algoritmi, mravlji algoritmi (Mladenović 2008). Za rešavanje opšteg problema globalne optimizacije u (Mladenović *et*

al. 2008, Mladenović *et al.* 2004) razvijena je metaheuristika bazirana na metodi promenljivih okolina (Variable Neighborhood Search VNS) i implementirana u vidu nekomercijalnog softvera GLOB.

U poglavlju 2 rada ukratko su opisani osnovni principi i parametri metode promenljivih okolina u opštem slučaju. Za testiranje instanci korišćena su dva softverska paketa koja su ukratko opisana u poglavlju 3: nekomercijalni softverski paket GLOB i komercijalni softverski paket Risk Solver Platform. U poglavlju 4 dat je pregled numeričkih rezultata dobijenih testiranjem dvadeset test instanci iz fizike i hemije i ne osnovu ovih rezultata diskutovana je efikasnost metode VNS.

## 2. METODA PROMENLJIVIH OKOLINA

Metoda promenljivih okolina je metaheuristika koja se zasniva na ideji korišćenja više od jedne okoline i njihove sistematske promene u okviru lokalne pretrage. Osnovni koraci VNS metaheuristike su sledeći (Hansen i Mladenović 2001):

Inicijalizacija. Izabrati skup struktura okolina  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , koji će se koristiti u pretraživanju; naći početno rešenje  $x$ ; izabrati uslov zaustavljanja;

Ponavljati sledeći niz dok uslov zaustavljanja ne bude ispunjen:

(1) Postaviti  $k \leftarrow 1$ ;

(2) Ponavljati sledeće korake sve dok  $k = k_{\max}$

(a) Razdrmanje Generisati slučajnu tačku  $y$  iz  $k$ -te okoline od  $x$   
( $y \in N_k(x)$ );

(b) Lokalno pretraživanje Primeniti neku metodu lokalnog pretraživanja, sa  $y$  kao početnim rešenjem, za dobijanje lokalnog optimuma označenog sa  $y'$ ;

(c) Premeštanje ili ne Ako je ovaj lokalni optimum bolji od trenutnog, premestiti se tamo ( $x \leftarrow y'$ ) i nastaviti pretraživanje sa  $N_1(k \leftarrow 1)$  inače, postaviti  $k \leftarrow k + 1$ .

Kod projektovanja VNS heuristike neophodni su sledeći parametri:

- broj struktura okolina  $k_{\max}$ ,
- geometrija struktura okolina  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ , definisana izborom metričke kao na što su  $l_1$ ,  $l_2$  i  $l_\infty$  metričke,
- raspodela koja se koristi za dobijanje slučajne tačke  $y$  iz  $N_k(x)$  u koraku razdrmanje,
- metode nelinearnog programiranja za lokalno pretraživanje, čiji izbor zavisi od svojstva funkcije cilja,
- maksimalno tekuće vreme za pretraživanje  $t_{\max}$ .

Za probleme globalne optimizacije okolina  $N_k(x)$  se može definisati pomoću funkcije metričke  $\rho_k$  i radijusa  $r_k$  kao:

$$N_k(x) = \{y \in S \mid \rho_k(x, y) \leq r_k\} \quad (5)$$

Radijus  $r_k$  obično raste sa porastom  $k$ .

## 4. SOFTVERSKI PAKETI

### 4.1 Softverski paket GLOB

Softverski paket GLOB je samostalni solver za minimizaciju bilo kakve kontinualne funkcije bez ili pri ograničenjima. Trenutna verzija GLOB-a implementira tri osnovne heuristike bazirane na metodi promenljivih okolina. Kod prve heuristike strukture okolina  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$  su  $l_\infty$  lopte sa uniformnom raspodelom koja se koristi u koraku razdrmanje, dok druga i treća heuristika koriste  $l_1$  lopte sa uniformnom i specijalno projektovanom raspodelom, respektivno.

Lokalno pretraživanje se vrši preko dobro poznatih metoda nelinearnog programiranja Nelder – Mead, Hooke – Jeeves, Rosenbrock, Steepest Descent, Fletcher – Powell i Fletcher – Reeves. Prve tri ne zahtevaju gradijente i mogu biti korišćeni za nediferencijabilne funkcije cilja. Ostale tri metode koriste informacije od gradijenta, koji može biti obezbeđen od strane korisnika ili približno izračunat preko metode konačnih razlika. Sve navedene metode određuju veličinu koraka duž izabranog pravca metodom zlatnog preseka ili metodom kvadratne aproksimacije.

GLOB takođe implementira hibridne tehnike koje su kombinacija dve ili tri osnovne heuristike. Naime, ako nije postignuto poboljšanje u  $k_{\max}$  datim strukturama okolina, struktura može biti izmenjena. Kod softvera GLOB je napisan na programskom jeziku C. Broj  $k_{\max}$  lopti je ulazni parametar i njihove veličine

mogu biti definisane od strane korisnika ili automatski od strane samog softvera. Kriterijumi zaustavljanja su maksimalno dopušteno CPU vreme ili maksimalni broj iteracija.

#### 4.2 Softverski paket Risk Solver Platform

Kompanija „Frontline Systems“ je razvila softverski paket Risk Solver Platform koji, između ostalog, sadrži i softver Premium Solver Platform koji služi za rešavanje problema kontinualne globalne optimizacije (FC-RS).

Deo softvera Premium Solver Platform je Premium Solver Pro koji je osnovna nadogradnja za standardni Excel Solver za optimizaciju i uključuje sledeće solvere: Simplex LP Solver, GRG Nonlinear Solver, Evolutionary Solver. U ovaj softver integrisane su i metode Branch and Bound za celobrojna ograničenja i Multi-start metoda za globalnu optimizaciju.

Frontline-ov softver omogućavaju korisniku upotrebu datih solvera u Excel-u, Matlab-u, Javi, C, C++, C#, Visual Basic, VB.NET, i u drugim programskim jezicima.

### 5. NUMERIČKI EKSPERIMENTI

Numerički eksperimenti izvedeni su na kompjuteru sa Intel Celeron procesorom od 2.13GHz i 2GB RAM memorije. Za testiranje softverskih paketa GLOB i Risk Solver Platform, korišćeno je 20 standardnih test problema (G i GGP), preuzetih iz (Floudas 1999) koje predstavljaju modele nekih realnih problema iz fizike i hemije. Kvalitet dobijenih rešenja za svaki od problema ocenjuje se na osnovu vrednosti funkcije cilja i njene udaljenosti od optimalne vrednosti, koja se unapred zna.

Prilikom testiranja instanci G i GGP korišćeni su sledeći ulazni parametri softverskih paketa GLOB i Risk Solver Platform (tabele 1 i 2).

**Tabela 1:** Parametri softverskog paketa GLOB

GLOB
<ul style="list-style-type: none"> <li>• glob_job_repetitions = 3;</li> <li>• vns_kmax = 10;</li> <li>• glob_max_iterations = 10000;</li> <li>• glob_time_limit = 300;</li> <li>• distribution_type_order_len = 1;</li> <li>• distribution_type_order = 12 11 31 32, gde su:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 11. uniform in L1 ball</li> <li>○ 12. special in L1 ball</li> <li>○ 31. uniform in Linf ball</li> <li>○ 32. proportional Linf in box region</li> </ul> </li> </ul>

**Tabela 2:** Parametri softverskog paketa Risk Solver Platform

Risk Solver Platform
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatic engine selection</li> <li>• Max Time (neograničeno)</li> <li>• Iterations ( neograničeno)</li> </ul>

Radi ilustracije na slici 1 prikazana je jedna od testiranih instanci (Floudas 1999).

$$G3(n=7; f_{\min}=680.6300573)$$

$$f(x)=(x_1-10)^2+5(x_2-12)^2+x_3^4+3(x_4-11)^2+10x_5^6+7x_6^2+x_7^4-4x_6x_7-10x_6-8x_7$$

$$127-2x_1^2-3x_2^4-x_3-4x_4^2-5x_5 \geq 0$$

$$282-7x_1-3x_2-10x_3^2-x_4+x_5 \geq 0$$

$$196-23x_1-x_2^2-6x_6^2+8x_7 \geq 0$$

$$-4x_1^2-x_2^2+3x_1x_2-2x_3^2-5x_6+11x_7 \geq 0$$

$$-10 \leq x_i \leq 10, i=1, \dots, 7$$

**Slika 1:** Test instanca G3:  $f_{\min} = 680.6301$

U tabeli 3 dati su uporedni rezultati testiranja svih instanci (G1-G10 i GGP1-GGP10) dobijeni rešavanjem u softverskom paketu GLOB i softverskom paketu Risk Solver Platform.

**Tabela 3:** Uporedni rezultati za sve instance

Test instance	Optimalno rešenje	GLOB	Risk Solver Platform	Bolji postignut rezultat
G1	$f_{\min} = -15$	F = -15	F = -15	Isto
G2	$f_{\min} = 7049.3309$	F = 7053.1513	F = 7049.2480 Nedopustivo rešenje	GLOB
G3	$f_{\min} = 680.6301$	F = 680.6317	F = 688.5402	GLOB
G4	$f_{\min} = 0.0539$	F = 0.0539	F = 0.0539	Isto
G5	$f_{\min} = 24.3062$	F = 24.323	F = 24.3062	RSP
G6	$f_{\min} = -213.0000$	F = -213.0000	F = -213.0000	Isto
G7	$f_{\min} = -2.4714$	F = -2.4714	F = -2.4714	Isto
G8	$f_{\min} = -4.5142$	F = -4.5142	F = -4.5142	Isto
G9	$f_{\min} = -11.0000$	F = -10.9477	F = -11.0000	RSP
G10	$f_{\min} = -1.0000$	F = -1.0000	F = -1.0000	Isto
GGP1	$f_{\min} = 1227.2300$	F = 1227.5109	F = 1157.7061 Nedopustivo rešenje	GLOB
GGP2	$f_{\min} = -0.38881$	F = -0.38881	F = -0.38881	Isto
GGP3	$f_{\min} = 7049.2500$	F = 7049.8456	F = 7049.2479 Nedopustivo rešenje	GLOB
GGP4	$f_{\min} = 3.9511$	F = 3.9522	F = 3.9506 Nedopustivo rešenje	GLOB
GGP5	$f_{\min} = 10122.6964$	F = 10122.4932 Nedopustivo rešenje	F = 10122.4933 Nedopustivo rešenje	/
GGP6	$f_{\min} = -83.254$	F = -83.2497	F = -83.2498	RSP
GGP7	$f_{\min} = -5.7398$	F = -5.7398	F = -5.7398	Isto
GGP8	$f_{\min} = -6.0482$	F = -6.0482	F = -6.0482	Isto
GGP9	$f_{\min} = 1.1437$	F = 1.1451	F = 1.1436 Nedopustivo rešenje	GLOB
GGP10	$f_{\min} = 0.1406$	F = 0.1412	F = 0.1406	RSP

Na osnovu tabele 3 možemo doneti sledeće zaključke o ponašanju softverskog paketa GLOB :

- GLOB je postigao je globalni optimum za devet problema: G1, G4, G6, G7, G8, G10, GGP2, GGP7 i GGP8,
- Za sve ostale funkcije, sem za GGP5, postigao je rezultate bliske globalnom minimumu,
- GLOB nije uspeo da pronade dopustivo rešenje za funkciju GGP5.

Softverski paket Risk Solver Platform postigao je sledeće rezultate:



- Risk Solver Platform sa Large Scale GRG Solverom postigao je globalni minimum za 12 problema G1, G4, G5, G6, G7, G8, G9, G10, GGP2, GGP7, GGP8 i GGP10,
- Ovaj softver nije uspeo da pronađe dopustivo rešenje za šest problema G2, GGP1, GGP3, GGP4, GGP5 i GGP9,
- Za problem GGP6 softverski paket Risk Solver Platform postigao je rezultat blizak globalnom optimumu.

Na osnovu prethodne tabele uočava se prednost korišćenja softverskog paketa GLOB u odnosu na softverski paket Risk Solver Platform. Iako je RSP dao optimalna rešenja u 12 instanci, a GLOB svega devet, RSP je u šest problema dao nedopustiva rešenja, dok je GLOB dao nedospustivo rešenje samo u jednom slučaju. U šest slučajeva GLOB je dao bolje rezultate od RSP-a, a RSP je bio bolji od GLOB-a samo u četiri slučaja.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitana je efikasnost softvera GLOB za kontinualnu globalnu optimizaciju u poređenju sa komercijalnim softverom Risk Solver Platform. Za testiranje i uporedni pregled korišćeno je dvadeset standardnih test problema iz oblasti fizike i hemije. Softverski paket GLOB je uspešno rešio sve ove probleme sem jednog i pokazao je bolje rezultate od softvera RSP. Na kraju možemo zaključiti da metoda promenljivih okolina (VNS) kao jedna od metaheurističkih metodologija može uspešno da reši probleme kontinualne globalne optimizacije.

## LITERATURA

- [1] Floudas, C. A. (1999). Handbook of test problems in local and global optimization, Kluwer Academic Publishers, ISBN: 0-7923-5801-5
- [2] (FC-RS) Frontline Systems, Inc, Risk Solver Platform, <http://www.solver.com/risk-solver-platform>
- [3] Hansen, P. & Mladenović, N. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. European Journal of Operations Research 130 (3), 449–467.
- [4] Kovačević- Vujčić, V., Čangalović, M., Dražić, M. & Mladenović, N. (2004). VNS- based heuristics for continuous global optimization in: Le Thi Hoai An, Pham Dinh Thao (Eds.), Modeling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences, Hermes Science Publishing, pp. 215- 222.
- [5] Mladenović, N., Dražić, M., Kovačević- Vujčić, V. & Čangalović, M. (2008). General variable neighborhood search for continuous optimization, European Journal of Operations Research 191, 753- 770.
- [6] Pardalos, P.M. & Romejin, H.E. (Eds.) (2002). Handbook of Global Optimization. Kluwer, Dordrecht.
- [7] Sokolović, Ž. (2013). Variable Neighborhood method efficiency in solving global optimization problems, Master paper, (in Serbian)

# **LOGISTIKA**



## IZBOR DISTRIBUTIVNIH KANALA PRIMENOM PCA-DEA PRISTUPA

### DISTRIBUTION CHANNELS SELECTION USING PCA-DEA APPROACH

MILAN ANDREJIĆ<sup>1</sup>, MILORAD KILIBARDA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beograd, {m.andrejic, m.kilibarda}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Jedna od osnovnih strateških odluka u logistici je izbor kanala distribucije. Efikasnost distributivnog kanala istovremeno utiče na logističke troškove i zadovoljstvo korisnika. Na osnovu glavnih karakteristika distributivnih kanala kao što su vreme isporuke, nivo usluge, obim posla, stepen grešaka i različite kategorije troškova u ovom radu je predložen PCA-DEA model za merenje efikasnosti i izbor pojedinih tipova distributivnih kanala. Efikasnost distributivnih kanala predstavlja jedan od osnovnih kriterijuma izbora. Rezultati predloženog pristupa pokazuju pogodnost primene predloženog modela.

**Cljučne reči:** Distributivni kanali, Efikasnost, Analiza glavnih komponenti, Analiza obavijanja podataka

**Abstract:** One of the main strategic decisions in logistics is the selection of distribution channels. The efficiency of distribution channels simultaneously affects logistics costs and customer satisfaction. Based on the main characteristics of the distribution channels, such as delivery time, service level, volume of business, the level of errors and the different cost categories in this paper PCA-DEA approach for measuring the efficiency and selection of certain types of distribution channels is proposed. The efficiency of distribution channels is one of the main selection criteria. Results of proposed model show the capability of proposed model.

**Keywords:** Distribution channels, Efficiency, Principal component Analysis, Data Envelopment Analysis

#### 1. UVOD

Strateške odluke u logistici igraju veoma važnu ulogu. U cilju opstanka na tržištu, zadovoljenja zahteva korisnika i smanjenja troškova logističke kompanije moraju donositi odgovarajuće strateške odluke. Strateške odluke u logistici prepoznate su kako u literaturi tako i u praksi. Wanke i Zinn (2003) u najvažnije logističke strateške odluke ubrajaju: centralizovano ili decentralizovano upravljanje zalihama, gurani ili vučeni tokovi, itd. Pomenute odluke između ostalog u velikoj meri utiču na nivo usluge pružene krajnjim korisnicima i troškove. Posebna pažnja u literaturi je posvećena odluci o centralizovanom ili decentralizovanom skladištenju (Pedersen i dr. 2012). Tako na primer odluka o centralizovanom i decentralizovanom čuvanju utiče na tačnost isporuke, vreme isporuke, troškove skladištenja, troškove transporta, nivo usluge, broj zaposlenih, opremu, nivo zaliha, itd.

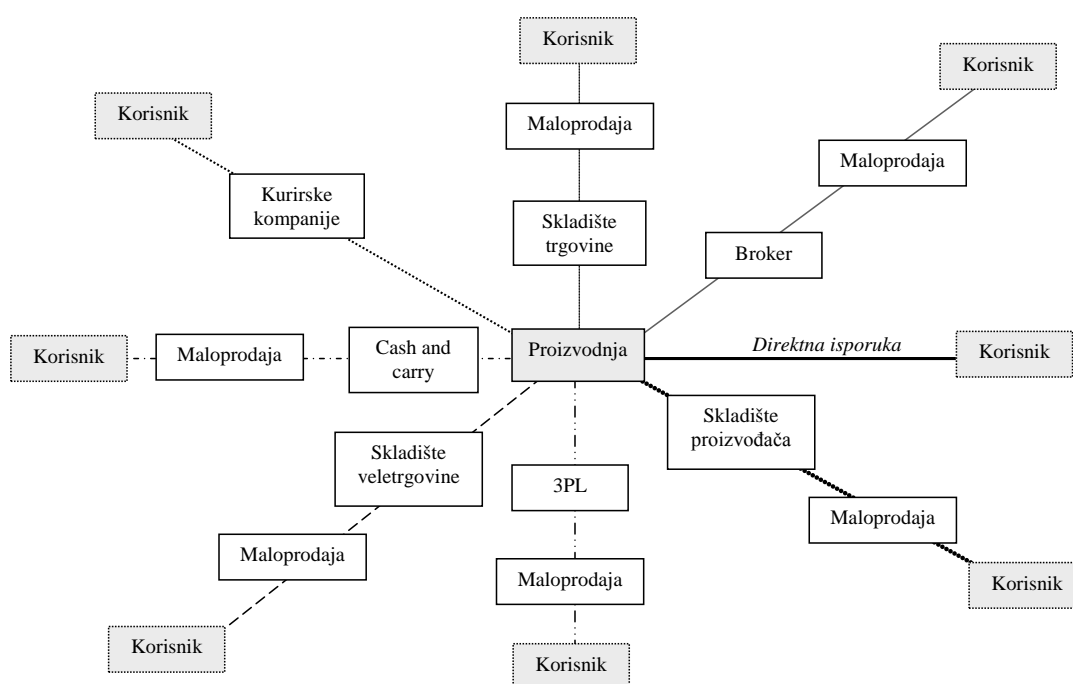
U literaturi su prisutne različite podele distributivnih kanala. U ovom radu je pretpostavljeno da je jedna od najvažnijih odluka izbor distributivnog kanala. Ova odluka u sebi sadrži neke od pomenutih odluka (decentralizovano ili centralizovano, gurano ili vučeno, itd.). Distributivne kanale karakterišu različiti pokazatelji. Odluka o izboru zavisi od vrste odabranog pokazatelja. Kao što je ranije spomenuto, jedan od pokazatelja koji na najbolji način opisuju funkcionisanje logističkih sistema jeste efikasnosti (Andrejić i dr. 2013). U tom smislu, u ovom radu je efikasnost distributivnog kanala postavljena kao osnovni kriterijum izbora. Osnovna prednost ovog pokazatelja sa jedne strane je u tome što objedinjuje veliki broj drugih pokazatelja, dok je sa druge strane efikasnost preduslov smanjenja troškova i povećanja kvaliteta pruženih usluga.

U narednom delu je dat kraći opis različitih tipova distributivnih kanala. U trećem delu detaljnije su opisane osnovne karakteristike distributivnih kanala. Model za merenje efikasnosti distributivnih kanala predložen je u četvrtom delu rada. U istom delu predloženi model je testiran na numeričkom primeru. Na samom kraju rada data su zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja.

#### 2. TIPOVI DISTRIBUTIVNIH KANALA

U zavisnosti od broja učesnika i strukture postoji više vrsta distributivnih kanala (Slika 1). Kanali u kojima je proizvođač u direktnom kontaktu sa korisnicima i gde se proizvodi od pošiljaoca direktno isporučuju

primaocu nazivaju se **direktni distributivni kanali** (Ferne and Sparks, 2009). U ovoj vrsti distribucije ne postoje posrednici kao što su distributivni centri, veletrgovine, itd. Ovo su ujedno najkraći i najjednostavniji oblici distribucije proizvoda. Proizvodnja se najčešće vrši na osnovu porudžbina korisnika koji se mogu ispostaviti na različite načine. U tom smislu može se razlikovati nekoliko direktnih kanala. **Poručivanje proizvoda** iz kataloga putem **email-a** predstavlja jedan od osnovnih kanala. Distribuciju proizvoda obavljaju logističke kompanije specijalizovane za isporuku manjih pošiljki i kurirske službe bez prisustva maloprodajnih objekata. U određenim slučajevima distribuciju obavljaju i sami proizvođači. Za posebne grupe proizvoda koji su prilagođeni specijalnim zahtevima korisnika i koji se ne drže na zalihama vrši se direktna isporuka od proizvođača do krajnjeg potrošača. Ovim kanalima se najčešće realizuju manje, ali učestalije isporuke. Kurirske kompanije predstavljaju direktnog posrednika između proizvođača i korisnika. Koriste se kako u domaćim, tako i interkontinentalnim tokovima. Jedan od značajnijih oblika direktnih kanala jeste **internet kupovina i kupovina od kuće**. Ovaj oblik kupovine vrlo je sličan poručivanju proizvoda putem e-maila, ali nije isti. Internet kupovina i kupovina od kuće proširuje se na sve trgovačke proizvode. Poslednji oblik direktnih kanala odnosi se na **proizvođač – proizvođač** („business to business – B2B“) kanale. U pitanju su najčešće kanali distribucije industrijskih proizvoda.



**Slika 1:** Tipovi kanala distribucije (prilagođeno iz Rushton i dr. 2010)

**Proizvođač – distributivna mreža proizvođača – maloprodaja** predstavlja drugi oblik distribucije. Ovaj distributivni kanal u prošlosti je predstavljao jedan od najzastupljenijih kanala fizičke distribucije. Proizvođač ili snabdevač poseduju zalihe finalnih proizvoda u centralnim distributivnim centrima ili više regionalnih distributivnih centara. Homogene isporuke transportnim sredstvima velikih nosivosti isporučuju se do distributivnih centara, odakle se formiraju manje, nehomogene isporuke do maloprodajnih objekata. Svi logistički resursi su u vlasništvu proizvođača.

**Proizvođač – distributivna mreža trgovca – maloprodaja** dobija na značaju osamdesetih godina prošlog veka. U ovim kanalima proizvođači dopremaju robu do regionalnih ili nacionalnih distributivnih centara koji su u vlasništvu trgovačkih kompanija. Distribucija proizvoda iz ovih centara do maloprodaje obavljaju trgovačke kompanije. Isporuke se vrše vozilima većih nosivosti sa visokim stepenom prostorne iskorišćenosti. Osnovni problem koji prati ove kanale jeste nemogućnost posvećivanja osnovnoj delatnosti i relativna nekompetentnost trgovačkih kompanija za obavljanje logističkih procesa i aktivnosti.

Osnovna karakteristika kanala oblika **proizvođač – veletrgovac – maloprodaja** jeste dominantna uloga veletrgovca kao posrednika između proizvođača i maloprodaje. Sa aspekta fizičkih kanala distribucije logističke aktivnosti se obavljaju kroz distributivnu mrežu veletrgovca. Veletrgovci zaradu ostvaruju kupovinom velikih količina proizvoda od proizvođača po relativno niskoj ceni, odnosno prodajom

maloprodajnim objektima uz odgovarajuću maržu. Ovi kanali uz izvesne modifikacije prisutni su na tržištu i danas.

Uvođenjem *outsourcinga* u trgovinske lance dolazi do pojave kanala oblika **proizvođač – LSP – maloprodaja**. Logistički provajderi direktno utiču na smanjenje troškova distribucije. Sa druge strane, logistički provajderi mogu da odgovore sve strožijim zahtevima i zakonskoj regulativi. U današnje vreme dolazi do pojave logističkih provajdera specijalizovanih za distribuciju određenih vrsta proizvoda sa ciljem smanjenja troškova distribucije i prilagođavanja tačno definisanim korisnicima.

**Proizvođač – broker – maloprodaja** predstavlja kanale distribucije koji su u današnje vreme relativno retko u upotrebi. Ovi kanali odnose se više na trgovačke kanale, a manje na kanale fizičke distribucije. Za razliku od veletrgovaca, brokeri se više bave marketinškim aktivnostima, a manje logističkim procesima i aktivnostima.

### 3. KARAKTERISTIKE DISTRIBUTIVNIH KANALA

Pomenuti distributivni kanali nisu podjednako zastupljeni u praksi. U praksi su najčešće zastupljeni distributivni kanali trgovinskih kompanija. Za određene grupe proizvoda prisutni su i distributivni kanali proizvođača. Kako u literaturi, tako i u praksi, pojavljuju se centralizovani i decentralizovani distributivni kanali. Poslednjih godina sve prisutniji direktni kanali distribucije. Kao što je ranije rečeno proces distribucije u ovim kanalima realizuju logističke i kurirske kompanije, a ponekad i sami proizvođači. Problem ovih kanala jeste nedovoljna kompetentnost posrednika, čija se uloga svodi na transportnu funkciju. U tom smislu definisan je direktni kanal distribucije sa specijalizovanim logističkim provajderima kao nosiocima svih logističkih funkcija u kanalima. Pojava *outsourcinga* u kanalima distribucije prisutna je kanalima sa maloprodajnim objektima (Slika 1). Međutim, pojava specijalizovanih logističkih provajdera u direktnim kanalima distribucije nalazi se na samom početku. U ovom delu detaljnije je analizirano pomenutih šest distributivnih kanala.

Distributivne kanale karakterišu različiti parametri. U cilju njihovog poređenja neophodno je definisati skup zajedničkih parametara. Na osnovu stanja parametara korišćenih u literaturi (Pedersen i dr. 2012; Wanke i Zinn 2004), ali i praksi, definisan je skup od osam zajedničkih pokazatelja: troškovi skladišta, troškovi transporta, troškovi zaliha, troškovi opreme, nivo usluge, vreme isporuke, stepen grešaka i obim poslova. Vrednosti indikatora za pojedine grupe distributivnih kanala prikazani u tabeli 1 predstavljaju ocene pojedinih vrsta distributivnih kanala prema određenim kriterijumima. U ovom radu pretpostavljene vrednosti su korišćene kao primer za testiranje predložene metodologije.

**Tabela 1:** Indikatori za merenje efikasnosti kanala distribucije\*

	Troškovi skladišta	Troškovi transporta	Troškovi zaliha	Troškovi opreme	Greške	Vreme isporuke	Nivo usluge	Obim posla
Direktni kanali distribucije	0.3	0.5	0.15	0.15	0.25	0.3	0.6	0.6
Distributivni kanali trgovca	0.4	0.4	0.25	0.4	0.35	0.4	0.35	0.8
Centralizovani kanali distribucije	0.25	0.9	0.3	0.35	0.3	0.65	0.2	0.4
Decentralizovani kanali distribucije	0.9	0.3	0.7	0.8	0.2	0.35	0.5	0.5
Distributivni kanali proizvođača	0.7	0.55	0.6	0.55	0.5	0.45	0.6	0.3
Direktna distribucija specijalizovanih logističkih provajdera	0.12	0.2	0.2	0.25	0.15	0.15	0.9	0.7

\*vrednosti u tabeli predstavljaju odgovarajuće ocene pojedinih kanala za određene parametre (indikatore) na skali 0-1

Skup troškovnih pokazatelja sadrži četiri osnovne kategorije logističkih troškova. Troškovi skladišta, transporta, zaliha i opreme variraju u zavisnosti od tipa distributivnog kanala i veoma su značajni za njihov rad. Vreme isporuke predstavlja jedan od ključnih pokazatelja distributivnih kanala. Jedan od zajedničkih ciljeva svih učesnika u distributivnim kanalima je minimizacija vremena isporuke. Stepem grešaka u distributivnim kanalima zavisi od broja i strukture učesnika u kanalima. Kao što je ranije spomenuto greške generišu dodatne troškove, ali utiču i na zadovoljstvo korisnika i promet sa druge strane. Jedan od važnih pokazatelja korišćen za procenu efikasnosti rada distributivnih kanala je nivo usluge, pokazatelj ukupnog

kvaliteta distributivnih procesa. Poslednji pokazatelj predstavlja obim posla koji određene kategorije distributivnih kanala mogu realizovati.

#### 4. IZBOR DISTRIBUTIVNIH KANALA

U situaciji relativno malog broja jedinica odlučivanja, i relativno velikog broja indikatora primena standardnih modela merenja efikasnosti prisutnih u literaturi ne daje odgovarajuće rezultate.

U literaturi se PCA (*Principal Component Analysis-Analiza glavnih komponenti*) koristi u kombinaciji sa DEA (*Data Envelopment Analysis-Analiza obavijanja podataka*) metodom. PCA se koristi za povećanje diskriminacione moći DEA modela (Adler i Golany 2001, 2002). Hair i dr. (1995) definiše slučajni vektor  $X=[X_1, X_2, \dots, X_p]$  ( $p$  je broj izvornih ulaza/izlaza odabranih da budu agregirani) ima korelacionu matricu  $C$  sa sopstvenim vrednostima  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  i normalizovanim sopstvenim vektorima  $l_1, l_2, \dots, l_p$ . U narednim relacijama  $t$  predstavlja operator transponovanja:

$$X_{PC_i} = l_i^t = l_{1i}X_1 + l_{2i}X_2 + \dots + l_{pi}X_p, i = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

$$Var(X_{PC_i}) = l_i^t C l_i, i = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

$$Correl(X_{PC_i}, X_{PC_k}) = l_i^t C l_k, i = 1, 2, \dots, p, k = 1, 2, \dots, p, i \neq k \quad (3)$$

Glavne komponente  $X_{PC_1}, X_{PC_2}, \dots, X_{PC_p}$  predstavljaju nekorelirane linearne kombinacije rangirane prema varijansama u opadajućem poretku. Alder i Golany (2002) dodaju dodatna ograničenja kojima se poštuje poredak komponenti. Dodatnim ograničenjima autori uslovljavaju da težinski koeficijent dodeljen  $PC_1$  bude ne manji od težinskog koeficijenta dodeljenog  $PC_2$ , dok težinski koeficijent dodeljen  $PC_2$  bude ne manji od težinskog koeficijenta dodeljenog  $PC_3$  i tako redom. Na taj način se mogu postaviti dodatna ograničenja u prethodnim modelima. PCA-DEA model za  $DMU_a$  korišćen u ovom radu ima sledeći oblik (Adler i Yazhensky, 2010):

$$\max_{U_{PC}, V_{PC}} U_{PC} Y_{PC}^a \quad (4)$$

Uz ograničenja:

$$V_{PC} X_{PC}^a = 1 \quad (5)$$

$$V_{PC} X_{PC} - U_{PC} Y_{PC} \geq 0 \quad (6)$$

$$V_{PC_i} - V_{PC_{i+1}} \geq 0, \text{ for } i = 1, \dots, m-1, \text{ gde } m \text{ PCs analizirano} \quad (7)$$

$$U_{PC_i} - U_{PC_{i+1}} \geq 0, \text{ for } i = 1, \dots, m-1, \text{ gdeje } m \text{ PCs analizirano} \quad (8)$$

$$V_{PC}^t L_x \geq 0 \quad (9)$$

$$U_{PC}^t L_y \geq 0 \quad (10)$$

$$V_{PC}, U_{PC}, \text{ free} \quad (11)$$

$V_{PC}$  i  $U_{PC}$  predstavljaju vektore težina dodeljeni ulaznim i izlaznim glavnim komponentama, dok  $X_{PC}$  i  $Y_{PC}$  predstavljaju matrice ulaznih i izlaznih promenljivih.  $L_x$  i  $L_y$  predstavljaju matrice linearnih koeficijenata dobijenih primenom analize glavnih komponenti ulaznih i izlaznih podataka.

U cilju utvrđivanja relativnog značaja pojedinih pokazatelja u prvoj fazi je sprovedena analiza glavnih komponenti (Tabela 2). Analizom rezultata uočene su po dve glavne komponente u ulaznim, odnosno izlaznim veličinama. Dve ulazne komponente obuhvataju ukupno 96% ukupne varijanse. U prvoj komponenti najveći značaj imaju troškovi transporta i opreme sa varijansom od 51%, što pokazuje da transport kao sistem u velikoj meri utiče na efikasnost distributivnih kanala. Nešto manja varijansa obuhvaćena je drugom komponentom 46% sa najvećim značajem troškova skladišta i troškova zaliha. Očigledno da efikasnost distribucije u velikoj meri zavisi od odvijanja skladišnih procesa. Dobijeni rezultati odgovaraju saznanjima iz prakse.

U grupi izlaznih pokazatelja izdvojene su dve izlazne komponente koje obuhvataju ukupno 85% varijanse, pri čemu je značaj prve komponente 63% sa najvećim učešćem nivoa usluge i vremena isporuke. Ovo je u skladu sa zaključcima u literaturi gde se navodi da je kvalitet usluge jedan od osnovnih preduslova efikasnosti (Andrejić i dr. 2013). Varijansa obuhvaćena drugom komponentom iznosi 22% pri čemu se obim posla izdvaja kao komponenta sa najvećim značajem.

**Tabela 2:** Značaj pojedinih faktora za procenu efikasnosti distributivnih kanala

Pokazatelji	Ulazne veličine	
	PC1	PC2
Troškovi skladišta	0.132	0.976
Troškovi transporta	0.986	0.023
Troškovi zaliha	-0.065	0.984
Troškovi opreme	0.984	0.041
Izlazne veličine		
	PC1	PC1
Greške	-0.228	-0.251
Vreme isporuke	0.984	0.003
Nivo usluge	0.830	0.422
Obim posla	0.123	0.963

Kao što je u samom opisu modela spomenuto u drugoj fazi je na osnovu rezultata prve faze izvršena procena efikasnosti pojedinih distributivnih kanala. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3 može se zaključiti da su najefikasniji distributivni kanali sa direktnom distribucijom i logističkim provajderom kao kreatorom celokupnog lanca i izvršioca svih procesa i aktivnosti (od poručivanja do isporuke, po potrebi vrše i funkciju prodaje (specijalni maloprodajni objekti)). Ovaj tip podrazumeva tesnu saradnju i kolaboraciju proizvođača, provajdera, ali i korisnika. Kolaboracija se pre svega ogleda u jedinstvenom informacionom sistemu i deljenju informacija. Usko specijalizovani provajderi za distribuciju određenih grupa proizvoda (jednog ili više proizvođača) imaju mogućnost da u potpunosti isplaniraju i usklade kapacitete, resurse, procese i aktivnosti u skladu sa zahtevima korisnika na tržištu. Na taj način oni mogu minimizirati troškove, transporta, skladištenja, opreme i zaliha, uz minimalni nivo grešaka. Nasuprot tome direktna distribucija obezbeđuje minimalno vreme isporuke uz maksimalni nivo usluge.

**Tabela 3:** Efikasnost različitih distributivnih kanala

Tip distributivnog kanala	Benčmark	Efikasnost
Direktni kanali distribucije	DMU 6-0.86168	0.87
Distributivna mreža trgovca	DMU 6-0.87515	0.49
Centralizovani sistem distribucije	DMU 6-0.65423	0.42
Decentralizovani sistem distribucije	DMU 6-0.82999	0.43
Mreža proizvođača	DMU 6-0.64393	0.23
Specijalizovani distributivni kanali logističkih provajdera	DMU 6-1	1

Na osnovu rezultata dobijenih za posmatrani primer jasno je da distributivna mreža proizvođača ima minimalnu efikasnost što se može objasniti visokim troškovima, relativno niskim nivoom usluge, dugim vremenom isporuke i velikim brojem grešaka. Standardni direktni distributivni kanali imaju relativno visok nivo efikasnosti. Kao što je spomenuto ovi kanali se još uvek primenjuju samo za određene kategorije proizvoda. Daljim razvojem pomenuti kanali će prerasti u kanale sa specijalizovanim logističkim provajderima, kao izvršiocima svih procesa i aktivnosti u kanalu. Efikasnost distributivnih kanala trgovaca kao i klasičnih centralizovanih i decentralizovanih kanala distribucije relativno je slična što odgovara rezultatima u literaturi (Pedersen i dr. 2012).

## 5. ZAKLJUČAK

Izbor distributivnih kanala predstavlja jednu od najvažnijih strateških odluka u logistici. Efikasnost distributivnih kanala osnovni je preduslov uspešnog poslovanja kompanije koji se ostvaruju pre svega kroz

smanjenje troškova, ali i povećanje zadovoljstva korisnika. U ovom radu predložen je pristup merenju efikasnosti, kao osnovnom kriterijumu izbora kanala, koji je baziran na PCA – DEA metodi. Predloženi pristup objedinjuje osnovne pokazatelje rada distributivnih kanala kao što su vreme isporuke, nivo usluge, obim poslovanja, stepen grešaka i različite kategorije troškova (skladišta, transporta, zaliha i opreme) u jedinstvenu meru efikasnosti koji se dalje može koristiti kao kriterijum izbora. Predložena metodologija je testirana na pretpostavljenom numeričkom primeru. Dobijeni rezultati pokazuju izuzetan značaj vremena isporuke i nivoa usluga na rezultujuću efikasnost. Direktni distributivni kanal sa logističkim provajderom kao realizatorom svih logističkih procesa i aktivnosti pokazao se kao najefikasniji u posmatranom primeru. Dobijene efikasnosti predstavljaju rezultate posmatranog numeričkog primera i ne mogu se u potpunosti generalizovati.

Predloženi pristup se uz odgovarajuće korektivne akcije može primeniti za vrednovanje drugih logističkih sistema, ali i lanaca snabdevanja. U budućim istraživanjima potrebno je detaljnije sagledati osnovne procese u kanalima distribucije i izvršiti vrednovanje svakog od njih. Takođe je potrebno uključiti i odgovarajuće pokazatelje funkcionisanja pojedinih procesa sa posebnim akcentom na pokazateljima kvaliteta. U budućim istraživanjima je takođe moguće kombinovati predloženi model sa drugim metodama višekriterijumskog odlučivanja.

## LITERATURA

- [1] Adler, N., Golany, B. (2001). Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, 132, 260–273.
- [2] Adler, N., Golany, B. (2002). Including principal component weights to improve discrimination in data envelopment analysis. *Journal of Operations Research Society of Japan*, 46, 66–73.
- [3] Adler N, Yazhemsky E (2010) Improving discrimination in Data Envelopment Analysis: PCA-DEA or Variable Reduction. *European Journal of Operational Research*, 202, 273–284.
- [4] Andrejić, M., Bojović, N., Kilibarda, M., (2013). Benchmarking distribution centres using Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: a case study of Serbia, *Expert Systems with applications*, 40 (10), 3926-3933.
- [5] Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., Black, W. C. (1995). *Multivariate data analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- [6] Farahani, R.Z., Rezapour, S., Kardar, L. (2011). *Logistics Operations and Management Concepts and Models*, 1st edition, Elsevier, London.
- [7] Pedersen, S. G., Zachariassen, F., Arlbjorn, S. J. (2012) Centralisation vs de-centralization of warehousing: a small and medium-sized enterprise perspective. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 19 (2), 352-369.
- [8] Rushton, A., Croucher, P., Baker, P. (2006). *The handbook of logistics and distribution management*, 3rd edition. Kogan page, London and Philadelphia
- [9] Wanke, P., Zinn, W. (2004). Strategic logistics decision making. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34 (6), 466 – 478.





## DVOFAZNI ALGORITAM ZA REŠAVANJE PROBLEMA HETEROGENIH PUTUJUĆIH SERVISERA SA VREMENSKIM PROZORIMA

### TWO-PHASE ALGORITHM FOR SOLVING HETEROGENEOUS TRAVELLING REPAIRMEN PROBLEM WITH TIME WINDOWS

NENAD BJELIĆ<sup>1</sup>, DRAŽEN POPOVIĆ<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {n.bjelic, d.popovic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Problem heterogenih putujućih servisera je po svojoj ciljnoj funkciji veoma praktično primenljiv problem, kako u logističkim, tako i u svim drugim sistemima okrenutim korisniku. Usled velike primenljivosti modela sa kumulativnom ciljnom funkcijom metode i algoritmi razvijeni za rešavanje sličnih problema se uz minimalno prilagođavanje mogu prilagoditi rešavanju problema posmatranog u ovom radu. U tom smislu u radu su prikazani rezultati istraživanja koje je za cilj imalo proveru efektivnosti algoritma razvijenog za rešavanje kumulativnog kapacitivnog problema rutiranja.

**Ključne reči:** problem heterogenih putujućih servisera sa vremenskim prozorima, dvofazni algoritam lokalne pretrage, metoda promenljivog spusta

**Abstract:** Heterogeneous travelling repairmen problem with time windows (*hetTRPTW*) is customer oriented problem with large possibilities for practical applications in logistics area. Models and algorithms developed for solving one problem with a cumulative objective function may be, with a little effort, transformed for solving similar problem with a cumulative function. In that sense, aim of this paper is to present results obtained by implementing an algorithm developed for solving cumulative capacitated vehicle routing problem in solving *hetTRPTW*.

**Keywords:** Heterogeneous Travelling Repairmen Problem with Time Windows, Two Phase Local Search, Variable Neighborhood Descent

## 1. UVOD

Problem putujućeg servisera - TRP je problem kombinatorne optimizacije koji je vrlo sličan dobro poznatom problemu trgovačkog putnika – TSP. Naime, kao u slučaju TSP-a i u slučaju TRP-a se podrazumeva da serviser, počevši od lokacije koja se smatra depoom, mora da obiđe sve lokacije u kojima na početku planskog perioda postoji potreba za otklanjanjem kvara. Najznačajnija razlika u odnosu na TSP je to da serviser ima za cilj da posao obavi na takav način da je ukupno vreme koje svi klijenti čekaju na otklanjanje kvara minimalno, dok trgovački putnik teži da posao obavi tako da što ranije završi posao. Iako ova razlika u ciljnoj funkciji na prvi pogled ne izgleda presudno na težinu rešavanja TRP-a u praksi se TRP pokazao kao znatno teži za rešavanje u odnosu na TSP.

Kumulativna ciljna funkcija u TRP-u, kojom se, drugačije posmatrano, minimizuje prosečno vreme opsluge klijenta (Lysgaard i Wøhlk, 2013), se pokazala kao veoma praktično primenljiva u sistemima čiji je primarni cilj zadovoljenje klijenata. U tom smislu, neki od primera logističkih sistema u kojima ovakva ciljna funkcija nalazi svoju primenu su: pretovarni sistemi za opslugu brodova u lukam, kurirske kompanije u delu isporuke pošiljaka, sistemi unutrašnjeg transporta zasnovani na automatski vođenim sredstvima, itd. Pored logističkih sistema u užem smislu, kumulativna ciljna funkcija je karakteristična i za probleme ukazivanja svake vrste pomoći ugroženima nakon prirodnih i drugih katastrofa, ali i za brojne druge probleme. Kao potvrda široke rasprostranjenosti problema sa kumulativnom ciljnom funkcijom, ali i značaja koji rešavanje takvih problema ima za istraživačku zajednicu može poslužiti i činjenica da se u literaturi vrlo često kao ekvivalenti TRP-u navode i problem minimalnog kašnjenja – MLP, problem dostavljača – DMP i kumulativni kapacitivni problem rutiranja - CCVRP.

Predmet ovog istraživanja je opšti problem TRP-a u smislu da se posmatra više heterogenih servisera u floti, ali i postojanje vremenskih prozora. U tom smislu u nastavku rada je prvo u poglavlju 2 detaljno predstavljen i formulisana *hetTRPTW*, pri čemu je dat i kratki pregled relevantne literature koja se tiče ovog

problema. Dalje, u poglavlju tri su detaljno predstavljena dva heuristička algoritma za rešavanje hetTRPTW-a, dok su u poglavlju četiri dati rezultati numeričkih eksperimenata za ocenu efikasnosti predloženih algoritama. Na kraju, u poglavlju pet je dat kratak zaključak o sprovedenom istraživanju.

## 2. PROBLEM HETEROGENIH PUTUJUĆIH SERVISERA SA VREMENSKIM PROZORIMA

Iako je TRP problem koji je relativno dugo u fokusu istraživača, to se ne može reći za njegove uopštene verzije sa aspekta postojanja vremenskih prozora. Naime, ovakvi problemi su privukli pažnju istraživača tek u poslednjih par godina, iako je prvi rad koji je tretirao ovakve probleme objavljen pre dvadesetak godina (Tsitsikis, 1992). U ovom radu je autor pokazao da je problem putujućeg servisera sa vremenskim prozorima – TRPTW jako NP-kompletan problem.

Problem heterogenih putujućih servisera sa vremenskim prozorima – hetTRPTW predstavlja uopštavanje problema putujućeg servisera sa dva aspekta. Sa jedne strane posmatra se postojanje flote servisera koji opslužuju lokacije sa kvarovima, pri čemu se serviseri međusobno razlikuju po relevantnim karakteristikama za realizaciju zadatka. Sa druge strane, problem je uopšten respektovanjem vremenskih prozora pojave kvarova. Naime, u TRP-u jedna od osnovnih pretpostavki je da su svi zadaci, tj. kvarovi, koje serviseri treba da realizuju već prisutni u sistemu na početku planskog perioda i da u koju god lokaciju da dođu mogu odmah preći na osposobljavanje sistema. Međutim, u realnim sistemima to veoma često nije slučaj. Konkretno, kurirska služba ne može isporučiti pošiljku klijentu pre dogovorenog vremena (npr. dolaska radnika na posao), kao što ni automatski vođeno vozilo ne može realizovati transfer između dve proizvodne lokacije ukoliko proizvod nije raspoloživ na lokaciji sa koje se proizvod izuzima. Generalno gledano, brojni su sistemi u kojima je moguće predvideti pojavu zadataka (tj. kvarova) u toku planskog perioda, tako da je u procesu planiranja potrebno i njih uključiti u skup zadataka koje je potrebno realizovati. Na ovaj način se obezbeđuju uslovi za efikasnije upravljanje konkretnim sistemima. Iz tog razloga u ovom istraživanju je posmatran sistem u kome svi zadaci ne moraju biti u sistemu na početku planskog perioda. Treba naglasiti da se tretiraju sistemi u kojima zadaci nemaju desnu granicu vremenskog prozora, što znači da se zadaci mogu opslužiti bilo kada nakon pojave u sistemu, ali da njihova opsluga ne može početi pre predviđenog trenutka pojave.

U pogledu literature koja za predmet ima hetTRPTW moguće je naći par radova koji tretiraju posmatrani problem. Tako su u radu Bjelić i ostali (2010) autori predstavili dve matematičke formulacije problema, dok su heuristički algoritmi za rešavanje hetTRPTW-a predstavljeni u radovima Bjelić i Vidović (2011) i Bjelić i ostali (2013a, 2013b). Najbolje performanse heurističkih algoritama za rešavanje hetTRPTW-a su predstavljene u radu Bjelić i ostali (2013b) u kome je problem rešavan primenom metaheurističkog algoritma promenljivih okolina – VNS.

Pored literature koja za predmet uzima hetTRPTW moguće je naći i istraživanje (van der Meer, 2000) koje posmatra verziju problema sa homogenom flotom servisera i vremenskim prozorima, ali i istraživanja koja posmatraju probleme sa jednim sredstvom u floti i postojanjem vremenskih prozora (Heilporn i ostali, 2010), kao i ona istraživanja koja ne tretiraju vremenske prozore, ali podrazumevaju prisustvo više od jednog servisera u floti (Ngueveu i ostali, 2010; Ribeiro i Laporte, 2012; Ke i Feng, 2013).

Formalno, matematička formulacija hetTRPTW-a je zasnovana na mrežnom protoku kroz kompletan, usmeren, asimetričan i otežan graf  $G=(N,E,t)$ . Ukoliko je sa  $V$  označen skup raspoloživih servisera, pri čemu je  $m = |V|$  njihov broj, a sa  $P$  je označen skup zadataka, gde  $n$  ( $n = |P|$ ) označava njihov ukupan broj, zadatak rešavanja hetTRPTW-a se svodi na pronalaženje  $m$  Hamiltonovih putanja kroz  $G$ , na takav način da se minimizuje ukupno vreme koje svi zadaci čekaju na završetak opsluge.

Graf  $G$  je definisan skupom čvorova,  $N$ , i skupom grana,  $E$ , pri čemu je svakoj grani iz  $E$  pridružena težina,  $t$ . Skup čvorova,  $N$ , je definisan kao  $N = P \cup \{0, n + 1\}$ , gde su čvorovi  $0$  i  $n+1$  „virtuelni“ čvorovi koji referenciraju na depo, tj. ne predstavljaju zadatak koje je potrebno servisirati. Čvor  $0$  referencira na depo kao polaznu tačku rute servisera, dok čvor  $n+1$  referencira na depo kao na poslednji čvor rute. Skup grana,  $E$ , se definiše kao  $E = \{(v, i, j) : \forall v \in V, \forall i, j \in N\}$ . Na ovaj način je svaki par čvorova  $(i, j) \forall i, j \in N$  međusobno povezan sa  $m$  paralelnih grana, gde je po jedna grana namenjena svakom serviseru iz  $V$ . Svakoj grani iz  $E$  je dodeljena težina  $t_{ij}^v$  koja se definiše kao vreme potrebno serviseru  $v$  da nakon čvora  $i$  ode do čvora  $j$  i da opsluži zadatak koji predstavlja taj čvor. Na osnovu ovakve definicije jasno je da se  $t_{ij}^v$  računa kao  $t_{ij}^v = \frac{d_{ij}}{v_v} - s_j^v$  gde je  $d_{ij}$  rastojanje između čvorova  $i$  i  $j$ , a  $s_j^v$  vreme potrebno serviseru  $v$  da opsluži zadatak  $j$ .

Na osnovu ovakve formulacije problem je moguće formulirati kao MILP (Bjelić i ostali, 2013b), ali je, zbog pripadnosti optimizacione verzije problema NP-hard klasi kompleksnosti, za njegovo rešavanje potrebno koristiti neki ne optimalni algoritam. Za praktično rešavanje ove klase problema kao pogodni su se

pokazali heuristički algoritmi, a konkretno za rešavanje TRP-a, ali i svih njegovih uopštenih varijanti, kao najefikasniji su se pokazali algoritmi zasnovani na perturbaciji trenutno najboljeg rešenja kao što su VNS, GRASP i ALNS. Obzirom na postojanje kumulativne ciljne funkcije, kao i postojanje flote agenata i u slučaju hetTRPTW-a i u slučaju CCVRP-a, ali i obzirom na razlike između ovih problema koje uključuju homogenu flotu agenata i nepostojanje vremenskih prozora u slučaju CCVRP-a ideja ovog istraživanja je bila da se ispita upotrebljivost nedavno predstavljenog dvofaznog algoritma za rešavanje CCVRP (Ke i Feng, 2013) pod uslovima koji važe za hetTRPTW-a. Razlog za to je jednostavnost i efikasnost predloženog dvofaznog algoritma.

### 3. DVOFAZNI ALGORITAM LOKALNE PRETRAGE

Dvofazni algoritam autora Kea i Fenga (2013), u daljem tekstu referenciran kao org2Phaze i predstavljen pseudokodom kao algoritma 1, takođe spada u klasu perturbacionih algoritma koji poboljšano rešenje traže sistematski uređenim promenama na do sada najboljem rešenju  $x_b$ . Sistematska potraga za boljim rešenjem u org2Phaze algoritmu podrazumeva da se pri svakoj realizaciji pretrage prolazi kroz dve faze u kojima se prvo primenom jednog skupa koraka perturbacije pravi novo rešenje, a zatim se to rešenje drugim skupom koraka novo rešenje unapređuje koliko je to moguće.

**Algoritam 1:** Pseudokod dvofaznog algoritma iz Ke i Feng (2013)

*Inicijalizuj  $x_b$  kako je to definisano u poglavlju 3.1*

*Dok se ne ispuni uslov završetka radi sledeće:*

*/\*Prva faza\*/*

$x \leftarrow x_b$

*na slučajan način odaberi pertrubacioni korak iz skupa {Exchange korak, Cross korak}*

*na slučajan način odaberi pozitivan ceo broj  $H$  iz intervala  $[2, \min(m/2, 10)]$*

*$H$  puta uzastopno realizuj odabrani perturbacioni korak na  $x$  i tako dobijeno rešenje označi sa  $y$*

*primeni algoritam lokalne pretrage sa  $y$  kao početnim rešenjem kako bi dobio rešenje  $x_{ib}$*

*ako je  $f(x_{ib}) < f(x_b)$ :  $x_b \leftarrow x_{ib}$*

*/\*Druga faza\*/*

*unapređenje  $\leftarrow$  False*

*za  $i=1$  do  $m$ :*

*$x \leftarrow x_{ib}$*

*ukoliko je u ruti više od 7 zadataka:*

*za  $j=1$  do  $T$ :*

*na slučajan način odaberi pertrubacioni korak iz skupa {3-OPT korak, 4-OPT korak}*

*primenom odabranog koraka na rešenju  $x$  generiši rešenje  $y$*

*primenom 2-OPT koraka na rešenju  $y$  generiši rešenje  $z$*

*ako je  $f(z) < f(x_{ib})$ :*

*$x_b \leftarrow z$*

*unapređenje  $\leftarrow$  True*

*izađi iz petlje*

*ako je unapređenje = True:*

*unapredi  $x_{ib}$  primenom algoritma lokalne pretrage*

*ako je  $f(x_{ib}) < f(x_b)$ :  $x_b \leftarrow x_{ib}$*

U tom smislu org2Phaze počinje pravljenjem novog rešenja  $H$  puta uzastopnom primenom slučajno odabranog Exchange, ili Cross koraka perturbacije. Broj uzastopnih realizacija odabranog koraka perturbacije,  $H$ , se bira na slučajan način kao element skupa  $H \in \{2, \min(m/2, 10)\}$ , kada je  $m > 4$ , dok je u slučajevima kada je  $m \leq 4$ ,  $H=2$ . Na ovako dobijeno rešenje se primenjuje algoritam lokalne pretrage, koji je detaljnije objašnjen u poglavlju 3.2, čijom primenom se dobija rešenje  $x_{ib}$ , što je ujedno i krajnji rezultat prve faze.

U drugoj fazi se perturbacija vrši u okviru ruta svakog serviseru tako što se nova ruta posmatranog serviseru generiše primenom slučajno izabranog 3-OPT ili 4-OPT koraka perturbacije. Ovako dobijena nova ruta se unapređuje primenom 2-OPT koraka perturbacije. Treba napomenuti da se druga faza primenjuje samo za one servisere koji opslužuju više od sedam kvarova, jer je iskustvo autora org2Phaze algoritma pokazalo da primena lokalne pretrage iz prve faze daje odlična rešenja redosleda opsluge na serviserima sa sedam i manje kvarova u agendi. Pored toga, procedura generisanja novog rešenja i njegovo poboljšanje se realizuje maksimalno  $T$  puta, pri čemu se sa procedurom prekida odmah po pronalaženju novog najboljeg rešenja. Uz to, ukoliko primenom 2-OPT koraka dođe do pronalaženja novog najboljeg rešenja, tada se nakon druge faze opet realizuje lokalna pretraga u okolini novog najboljeg rešenja.

Uslovi za završetak perturbacionog algoritma mogu biti razni, maksimalan broj iteracija, maksimalan broj iteracija bez unapređenja najboljeg rešenja, ukupno vreme realizacije algoritma itd. Kao uslov za završetak

org2Phaze algoritma autori su predložili maksimalan broj,  $\text{Max}_{\text{iter}}$ , sukcesivnih realizacija prve i druge faze algoritma.

### 3.1. Početno rešenje algoritma

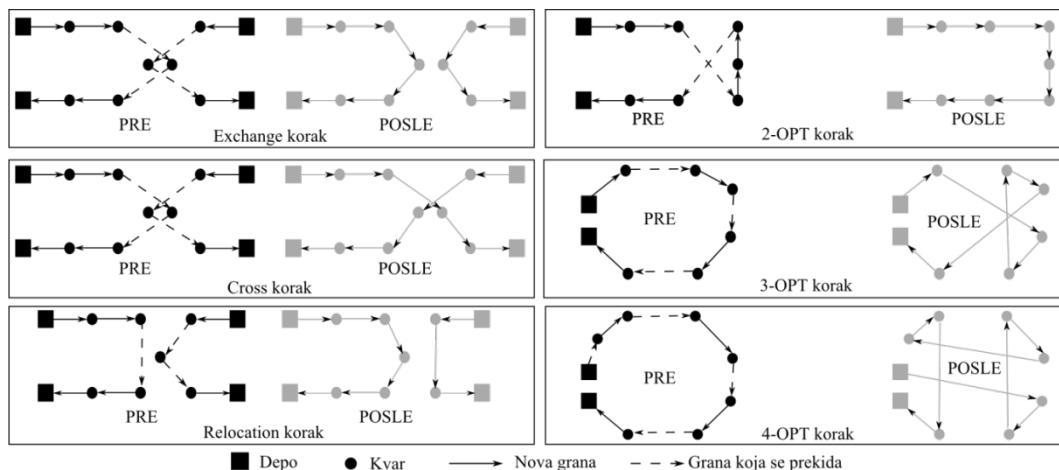
Kako su perturbacioni algoritmi zasnovani na pretrazi okolina već postojećeg najboljeg rešenja, to je jasno da je za njihovu realizaciju potrebno obezbediti početno rešenje problema. U org2Phaze algoritmu početno rešenje se dobija primenom regret algoritma ubacivanja. Ovaj algoritam je zasnovan na mehanizmu koji delimično omogućava sagledavanje „troška“ budućih ubacivanja, a koji podrazumeva da se u rešenje ubaci onaj zadatak sa najvećim troškom budućeg ubacivanja. Konkretno, predloženi regret algoritam ubacivanja odluku o ubacivanju zadatka  $i$  u rutu  $j$  donosi na bazi odnosa vrednosti veličine  $\Delta_{ij}$  koja predstavlja trošak (tj. povećanje vrednosti ciljne funkcije) zbog dodavanja zadatka  $i$  serviseru  $j$  ( $j \in \{1, \dots, m\}$ ) na opslugu. Ako se sa  $v_{ik}$ , gde  $v_{ik} \in \{1, \dots, m\}$ , označi sredstvo na koje ubacivanje zadatka  $i$  dovodi do  $k$ -tog najmanjeg povećanja ciljne funkcije, tj. ako važi da je  $\Delta_{iv_{ik}} \leq \Delta_{iv_{ik'}}$  za svako  $k \leq k'$ , tada se odluka o zadatku koji se ubacuje donosi na osnovu regret vrednosti koja se dobija kao  $\Delta_{iv_{i3}} - \Delta_{iv_{i1}}$ . Drugačije rečeno, odluka o ubacivanju zadatka  $i$  se donosi na osnovu veličine koja je jednaka razlici između vrednosti ciljnih funkcija pri ubacivanju zadatka na najbolje i treće po redu sredstvo. Ukoliko je broj sredstava u floti manji od tri, tada se posmatra razlika u ciljnim funkcijama između dva postojeće sredstva.

Pri svakoj realizaciji koraka regret algoritma ubacivanja ubacuje se onaj zadatak za koji je regret vrednost najveća. Ukoliko se javе dve iste regret vrednosti zadatak koji se ubacuje se bira na slučajan način.

### 3.2. Algoritam lokalne pretrage

Lokalna pretraga ima veoma veliku ulogu u formulisanju heurističkih algoritama za rešavanje problema kombinatorne optimizacije jer poboljšanja rešenja traži u prethodno definisanim okolinama već postojećeg rešenja. Za formulisanje algoritma lokalne pretrage bitno je detaljno definisati tri aspekta realizacije algoritma. Prvi je početno rešenje algoritma, drugi je skup perturbacionih koraka koji se realizuju u potrazi za boljim rešenjem i treći je način unapređenja rešenja. Što se tiče ovih aspekata u realizaciji lokalne pretrage pri realizaciji org2Phaze algoritma jasno je, na osnovu algoritma 1, da je početno rešenje u prvoj fazi definisano rešenjem  $y$ , a da je u drugoj fazi početno rešenje novo najbolje rešenje  $x_b$ .

U pogledu perturbacionih koraka koji se realizuju u lokalnoj pretrazi org2Phaze algoritma autori su predložili sukcesivnu realizaciju sledećih koraka: 2-OPT, Exchange, Cross i Relocation (slika 1); pri čemu se koraci realizuju redosledom kojim su navedeni. Pri realizaciji algoritma lokalne pretrage prihvatanje novog rešenja kao rešenja lokalne pretrage je moguće realizovati na dva načina. Prvi način, FI podrazumeva da kada god se naide na novo rešenje to rešenje se smatra novim najboljim rešenjem pretrage i pretraga se restartuje sa novim rešenjem kao početnim. Druga strategija unapređenja rešenja, BI podrazumeva da se iako se naide na bolje rešenje u nekoj okolini pretraga završi do kraja za sve okoline i da se tek onda pretraga restartuje sa najboljim unapređenim rešenjem kao centrom pretrage. Usled dužeg vremena realizacije jednog ciklusa realizacije algoritma lokalne pretrage autori su se odlučili za primenu FI strategije u realizaciji org2Phaze algoritma. Ovde treba napomenuti da se algoritam lokalne pretrage završava kada se svim perturbacijama početnog rešenja ono ne može unaprediti.



**Slika 1:** Perturbacioni koraci korišćeni u realizaciji org2Phaze algoritma

Obzirom na razlike koje postoje u definicijama CCVRP-a i hetTRPTW-a jasno je da različiti perturbacioni koraci mogu rezultovati boljim, ili lošijim, performansama algoritma, kako u pogledu vrednosti ciljne funkcije, tako i u pogledu vremena realizacije algoritma za njihovo rešavanje. Na osnovu značaja koji lokalna pretraga ima za realizaciju org2Phaze algoritma u realizaciji org2Phaze algoritma je umesto predložene lokalne pretrage primenjena i lokalna pretraga zasnovana na VND algoritmu korišćenom u Bjelić i ostali (2013b). Ovakav algoritam je nazvan mod2Phaze algoritmom, a njegove performanse su testirane zajedno sa performansama org2Phaze algoritma, što je sadržina sledećeg poglavlja.

#### 4. NUMERIČKI EKSPERIMENTI

Efikasnost predloženih org2Phaze i mod2Phaze algoritama kao i poređenje sa VNS algoritmom iz Bjelić i ostali (2013b) je testirana na tri skupa benčmark instanci: Solomon, Langvin (dostupni na web adresi <http://my-web.uiowa.edu/bthoa/TSPTWBenchmarkDataSets.htm>) i Ashayer (dostupan na <http://ftp.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/atsptw/index.html>). Sve instance su generisane za testiranje algoritma za rešavanje TSPTW problema i kako imaju i leve i desne granice vremenskih prozora, pri testiranju je desna granica prozora zanemarena. Pored toga, usled porasta kompleksnosti problema sa porastom veličine problema, iz skupova instanci rešavane su samo instance sa manje od 100 zadataka.

Dalje prilagođavanje instanci hetTRPTW-u je podrazumevalo respektovanje prisustva heterogene flote serviseri pri realizaciji opsluge, što je realizovano uvođenjem korektivnog koeficijenta  $c_v$ . Obzirom da se serviseri u floti mogu razlikovati u brzini (odnosno vremenu) kretanja između lokacija zadataka, ali i u brzini opsluge, a imajući u vidu i da TSPTW podrazumeva prisustvo samo jednog trgovačkog putnika, to je koeficijent  $c_v$  korišćen dvojako, tj. i za korekciju potrebnog vremena kretanja i za korekciju dužine opsluge. Konkretno, vrednost koeficijenta  $c_v$  za serviseri  $v$  je računata kao,  $c_v = 1 + 0.1(v - 1)$  gde je  $v = \{1, 2, \dots, m\}$  indeks serviseri iz skupa  $V$ . Korigovano vreme potrebno serviseru  $v$  da pređe rastojanje od lokacije zadatka  $i$  do lokacije zadatka  $j$  se računa kao  $t_{ij}^v = \frac{t_{ij}}{c_v}$ , a korigovano vreme opsluge zadatka  $j$  se računa kao  $s_j^v = c_v \cdot s_j$ . Vremena  $t_{ij}$  i  $s_j$  su respektivno, vremena potrebna putujućem trgovcu da savlada rastojanje od lokacije zadatka  $i$  do lokacije zadatka  $j$  i da opsluži klijenta  $j$  u TSPTW benčmark instancama. Flote serviseri koje su posmatrane u benčmark instancama se sastoje od 2, 5 i 10 serviseri.

Svi algoritmi su realizovani na računaru koji radi pod Windows XP SP3 operativnim sistemom sa AMD Phenom II 2.61GHz CPU-om sa 2GB RAM, pri čemu je kodiranje svih algoritma realizovano u programskom jeziku Python 2.5. Svaka instanca problema je rešavana po pet puta, a prosečne vrednosti ostvarenih ciljnih funkcija, kao i vremena rešavanja su predstavljeni u tabeli 1. Parametri algoritma koji su krišćeni su  $\text{Max}_{\text{iter}}=10$  i  $T=5$ .

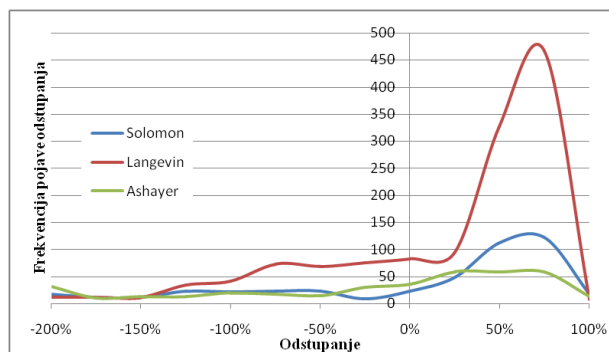
**Tabela 1:** Prosečne vrednosti relevantnih parametara realizacije algoritama

Skup instanci	Parametar	Algoritmi		
		org2Phaze	mod2Phaze	VNS
Solomon	Vrednost ciljne funkcije	673.9809	672.2794	672.3902
	Vreme realizacije [s]	6.55	4.92	17.69
Langvin	Vrednost ciljne funkcije	18.65195	18.68361	18.81089
	Vreme realizacije [s]	13.74	12.39	39.06
Ashayer	Vrednost ciljne funkcije	2765.228	2762.129	2762.62
	Vreme realizacije [s]	43.63	52.36	106.66

Na osnovu rezultata iz tabele 1, može se uočiti da mod2Phaze algoritam u pogledu obe praćene performanse algoritma nadmašuje rezultate VNS algoritma. Sa druge strane, org2Phaze algoritam nadmašuje rezultate VNS algoritma sa aspekta vremena realizacije, ali ga u pogledu kvaliteta dobijenih rešenja nadmašuje samo u slučaju Langevinovog skupa benčmark instanci. Poboljšanje kvaliteta rešenja generisanih org2Phaze algoritmom je sigurno moguće obezbediti povećanjem vrednosti parametra algoritma  $\text{Max}_{\text{iter}}$ , što bi, sa druge strane, dovelo do povećanja vremena rada algoritma.

Po pitanju svrsishodnosti zamene predloženog algoritma lokalne pretrage iz org2Phaze algoritma, VND pretragom u mod2Phaze algoritmu, na osnovu rezultata iz tabele 1 se može videti da je ona ispunila očekivanja u Solomonovim i Ashayerovim instancama, dok je u slučaju Langevinovog skupa instanci kvalitet rešenja za malo bolji pri primeni org2Phaze algoritma. Što se vremena realizacije algoritma tiče mod2Phaze algoritam se pokazao kao efikasniji u slučaju Solomonovog i Langevinovog skupa instanci, dok je u slučaju Ashayerovog skupa pružio rezultate za cca 25% lošije u odnosu na org2Phaze algoritam. Za sticanje bolje slike o odnosu vremena realizacije org2Phaze i mod2Phaze algoritama na slici 2 su prikazane frekvencije

pojave relativnih odnosa vremena realizacije algoritama. Za svaku realizaciju algoritma je mereno  $t_{org}$ , kao vreme realizacije org2Phase algoritma, i  $t_{mod}$ , kao vreme realizacije mod2Phase algoritma, a onda je računat njihov relativni odnos kao  $(t_{org} - t_{mod}) / t_{org}$ . Frekvence pojave ovih vrednosti za sve benčmark instance su prikazane na slici 2.



Slika 2: Relativno odstupanje vremena realizacije org2Phase i mod2Phase algoritama

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata numeričkih eksperimenata jasno je da predstavljeni dvofazni algoritam obezbeđuje dovoljno kvalitetna rešenja hetTRPTW-a. U tom smislu ovo istraživanje treba shvatiti kao početni korak u detaljnijem ispitivanju upotrebe različitih perturbacionih koraka u svakoj od faza algoritma, ali i u algoritmima lokalne pretrage. Pored toga autori smatraju da je potrebno detaljnije ispitati i potrebu za prisustvom druge faze algoritma, jer iako je u radu Ke i Feng (2013) pokazano da se bolji rezultati dobijaju primenom algoritma sa postojanjem druge faze tu činjenicu treba proveriti i za slučaj hetTRPTW-a.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije kroz projekat TR36006 za period 2011.-2014.

## LITERATURA

- [1] Bjelić N., Vidović M., Miljuš M., (2010) Two mathematical models of the Handling Devices Allocation Problem, Zbornik radova XXXVII simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYMOPIS 2010, Tara 21. – 24. septembar 2010, 349.-352.
  - [2] Bjelić N., Vidović M., (2011) Memetic algorithm for Dynamic Handling Device Allocation Problem, Zbornik radova XXXVIII simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYMOPIS 2011, 4.-7. oktobar 2011, Zlatibor, Srbija, str. 359-362.
  - [3] Bjelić, N., Vidović, M., Popović, D., Ratković B., (2013a) Rešavanje problema putujućeg servisera sa vremenskim prozorima primenom genetskog algoritma. Zbornik radova XL simpozijuma o operacionim istraživanjima - SYMOPIS 2013, 509-514
  - [4] Bjelić, N., Vidović, M., Popović, D. (2013b) Variable neighborhood search algorithm for heterogeneous traveling repairmen problem with time windows, Expert Systems with Applications 40, 5997–6006
  - [5] Heilporn G., Cordeau J., Laporte G. (2010) The delivery man problem with time windows, Discrete Optimization 7, 269–282
  - [6] Ke L., Feng Z. (2013) A two-phase metaheuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem, Computers & Operations Research 40, 633–638
  - [7] Lysgaard J., Wøhlk S. (2013) A branch-and-cut-and-price algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem, European Journal of Operational Research, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.08.032>
  - [8] Nguvevu U. S., Prins C., Wolfler-Calvo R. (2010) An effective memetic algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem Computers and Operations Research 37, 1877–1885.
  - [9] Ribeiro G. M., Laporte G. (2012) An adaptive large neighborhood search heuristic for the cumulative capacitated vehicle routing problem, Computers and Operations Research 39(3), 728–735.
- Tsitsikils J. (1992) Special cases of traveling salesman and repairman problem with time windows, Networks 22, 263–282.





## FORECASTING AND INVENTORY PERFORMANCE IN DIRECT-STORE DELIVERY SUPPLY CHAIN: CASE OF RETAILER IN SERBIA

MILAN DOBROTA<sup>1</sup>, MIRKO VUJOŠEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, milandobrota@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, mirkov@fon.bg.ac.rs

**Abstract:** *This paper presents research conducted on the case of food retailer in Serbia in order to answer at which level are the forecasting techniques applicable to such companies, at given supply chain model and in given environment. We will validate the usability of Trend-Seasonality-Corrected Exponential Smoothing (Winter's Model) as a model that can improve inventory management in such case.*

**Keywords:** *Forecasting, Supply Chain, Inventory Performance.*

### 1. INTRODUCTION

The customer demand is at the very beginning of planning process in supply chain (Diabat 2014; Lorentziadis 2014), thus forecasting the supply chain is crucial for any optimization process. Although authors focus generally on quantitative forecasting methods (Chopra and Meindl 2007), companies must balance objective and subjective factors when forecasting user demands, meaning they also must include human input when they make their final forecast. To achieve so, a company must be knowledgeable about numerous factors that are related to the forecast demands, such as: past demand, lead time of product, planned advertising or marketing efforts, state of the economy, planned price discounts and actions that competitors have taken. Generally, according to (Chopra and Meindl 2007) forecasting methods are classified according to the following four types: Qualitative, Time series, Causal and Simulation. In this paper we focus on Time series forecasting, which is one of the most important quantitative models in which historical observations of the same variable are collected and analyzed to develop a model that captures the underlying data generating process (Kuremoto et al. 2014; Jin et al. 2014). This modeling approach is particularly useful when little knowledge is available on the underlying data generating process or when there is no satisfactory explanatory model that relates the prediction variable to other explanatory variables (Khashei and Bijari 2012).

Purpose of this research paper is not to discuss and find better ways to forecast, but to discuss its applicability, validity and usability in practice, given particular case. This particular case is a retailer that operates in Serbia. We will evaluate real data in order to test and validate used forecasting model, which is *Trend-Seasonality-Corrected Exponential Smoothing (Winter's Model)*. Considering the practical side of this paper, it is important to show that the model discussed “works in practice” for particular business case.

#### 1.1. Case of retailer in Serbia

Company A is a food retailer that among other countries operates in Serbia. It operates chain of supermarkets, in most of the larger cities in Serbia. Considering the size of stores, each store disposes with storage space which is large enough to give options for inventory optimization. Being the food retailer, most of its inventory is fast moving, with generally predictable demand. By this fact, and by the fact that supermarkets are territorially dispersed, the management of the company assumed that it is unlikely that company can benefit from risk pooling and other benefits, so it does not dispose with DC (central warehouse). As a consequence, stores are supplied 100% by direct store deliveries from the supplier. Focusing just to direct store delivery reduces the maneuver for optimization. However, the other food retailers in Serbia (authors of this paper being familiar with retail market in Serbia) which do have their own DCs, for most of the fast moving merchandise also use direct store deliveries from their suppliers. For example, company B, which has its own DC and many (less territorially dispersed) stores, still supply their stores with direct store delivery for about 70% articles. This sustains the claim that there is a lot of room for improvements in how supply chains are managed in Serbia, so this article will try to contribute to how the food retailers optimize their inventory, with direct store delivery as supply method, being the most common one. Focusing on

usability of techniques, we shall examine only one supermarket (located in Belgrade), thus only demand of one single store, although aggregate forecasts are usually more accurate than disaggregate forecasts, as they tend to have a smaller standard deviation of error relative to the mean (Chopra and Meindl 2007). In other words, if model can work for one single store, we can assume it will perform even better when multiple stores are aggregated.

In Store 1, retailer A orders its inventory to the supplier manually, by entering order in the ERP system based on the proposal given in form of the report. Manual entry has the advantage of still giving the opportunity to buyer to correct the order due to the elements that cannot be calculated by the system (such as weather), but brings the higher costs of order placement and it is more likely that the elements that could be calculated will not be taken into account, or will be calculated wrongly, especially since we deal with large number of orders and articles on daily basis. Orders are placed by Periodic review replenishment policy (generally with period  $T = 1$  week, which means the inventory is examined on weekly basis) and proposed lot size  $Q$  to order is calculated in following way:

$$Q_t = \frac{(D_{t-4} + D_{t-3} + D_{t-2} + D_{t-1})}{28} \cdot N - SOH \quad (1)$$

where  $Q_t$  is quantity to order in week  $t$ ,  $D_n$  is demand (quantity sold) in week  $n$ ,  $N$  is number of days which is *Target Stock Rotation*, and it represents the number of days “the ordered stock should cover the demand”, and it bases on rule of the thumb rather than any calculation which includes any of the optimization techniques. It is determined for the department or section of products in the hierarchy (e.g. non-alcoholic drinks) and not per-article. Finally, *SOH* is *Stock On Hand*, which is quantity on stock in the moment of ordering. Basically this is a *Moving Average* model, which uses last 4 weeks of sales to calculate average daily sales and then it multiplies it with number of days for which we wish to have the stock for such fixed demand. Existing stock is then reduced from quantity to order. This model has number of disadvantages:

- Forecasting model downsides:
  - Does not include trends (demand in week  $t$  is assumed not to grow comparing to last 4 weeks)
  - Does not include seasons (demand in week  $t$  is assumed to have same seasonality as last 4 weeks)
- Other downsides:
  - $N$  is determined per department, not per article (all articles of department are treated as “movers” of same speed)
  - $N$  is not calculated based on EOQ (Economic Order Quantity), with optimal ordering lot size, nor based on optimal Safety Stock for given Cycle Service Level.
  - Does not include lead time of delivery in the model to calculate safety stock

So, due to bad forecasting and other elements discussed above, company A is forced to put enough safety with  $N$  being large enough. If  $N >$  ordering periodicity, quantity to order will be corrected with *SOH*, but as a consequence constant overstock is possible (ordering lot small due to large *SOH*). E.g. although Periodic review replenishment policy is conducted by weekly examination of stock, all article except fresh (supplied daily) are set with  $N$  between 7 and 21, although lead time for deliveries is generally next-day-delivery or few days.

## 2. RESEARCH METHODOLOGY

According to (Chopra and Meindl 2007) the following basic, six-step approach is needed to perform effective forecasting. **Understand the objective of forecasting:** here, our objective is to do a “proof of concept” that even the relatively simple forecasting technique, for the low level of demand aggregation and in direct-store delivery supply chain (being the most widely spread in Serbia), can be of great value for managing the inventory. **Integrate demand planning and forecasting throughout the supply chain:** also for the purpose of this research, we will ignore the benefits that are to be achieved if the results of forecasting are integrated and shared upstream the supply chain. However, it is important to stress out that the real benefits in optimizing inventory in direct-store delivery supply chain can be achieved only with the proper cooperation with suppliers, which assumes the mentioned information sharing. **Understand and identify customer segments:** we will not be dealing here with this aspect, since we are forecasting demand for the general merchandise (common goods) by the general population. **Identify the major factors that influence the demand forecast:** here we shall focus only on calculative quantitative factors of time series, as described in model below. We will not be dealing with any qualitative, causal or speculative elements. **Determine the**



**appropriate forecasting technique:** we will use mixed ((level + trend) x seasonal factor) *Trend-Seasonality-Corrected Exponential Smoothing (Winter's Model)*, which will be compared to *Moving Average*. This technique was chosen for “proof of concept” purpose because it is not complex while it includes, beside a level, also trend and seasonality elements. **Establish performance and error measures for the forecast:** we will use common measures such as: MSE (*Mean Squared Error*), MAD (*Mean Average Deviation*), MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), Bias, and TS (*Tracking Signal*).

## 2.1. Data

Data for analysis is obtained from the transactional ERP system of the company A. First it was necessary to get the representative articles (SKUs) which will make a good example for research. For this purpose we've chosen product Family and then Sub-family in the classification in such way that they contained products of different nature: with more or less seasonality, faster and slower moving, etc. First we pre-selected 3 Families as given in Table 1, and 5 Sub-families to look articles in. Then we checked one month of sales to find either the articles with most sales, or articles with less sales but higher price (which have significant impact on inventory holding costs because of their value). We've also checked the number of orders/receptions in that period, not to catch the extreme cases. We ended up with the following articles as given in Table 1.

**Table 1:** Families, Sub-families and Articles analysed

Family	Sub-Family	Article
FROZEN PRODUCTS AND ICECREAMS (SMRZNUTI PROIZV. I SLADOLEDI)	ICECREAMS AND ICE DAINTY (SLADOLEDI I LEDENE POSLASTICE)	QUATTRO CHOCO FANTASY
		VULKANO ČOKOLADA-VANILA 500ML
	FROZEN FRUITS AND VEGETABLES (ZAMRZNUTO VOĆE I POVRČE)	FRIKOM ĐUVEČ 450GR
		FRIKOM POVRČE RUSKA 450
UNALCOHOLIC BEVERAGE (BEZALKOHOLNA PIĆA)	WATERS (VODE)	KNJAZ MILOŠ 1.5L PET GAZIRANA
		MINERALNA VODA 2L MINAKVA
WINES AND ALCOHOLIC BEVERAGE (VINA I ALKOHOLNA PIĆA)	BEERS (PIVA)	JELEN PIVO 0.5L POVRATNA
		PIVO LAV 0.5L POVRATNA
	WINES (VINA)	VRANAC ŽUPA 1L
		VRANAC 1L

Here we will present the calculation in more details with one article, carbonated mineral water “KNJAZ MILOŠ 1.5L PET GAZIRANA”, but at the end we will check the calculated data for each article. Next step is extraction of weekly statistics for each article. Data extracted for each week is: sales, quantity ordered, quantity received and average quantity on stock (average quantity at the end of each day of the week), but for purpose of this research we will use only sold quantity data. Also, monthly statistics data was extracted to compare the analysis vs. weekly, but clearly weekly analysis is more accurate, mostly because: weekly seasonality is more precise than monthly, and most of the supply is done on weekly basis, so weekly forecasting gives greater opportunity for optimization. Extracted and analyzed data is from Week 1 of 2010 to Week 25 of 2014. Weeks with 0 sales (which happens if article was not active in period or if it is slow moving article) are replaced with sales of 1 piece, so that we can also test the models in this case and being able to calculate forecasting errors relative to demand.

For one article we easily observed how, for example in 2012, average weekly sales was 388, while average stock was 1185, which means that average stock covers 3.05 weeks of sales. We can also observe that replenishment is done irregularly but in average every 1.63 weeks. This clearly indicates that there is a significant room for reduction of inventory costs.

## 2.2. Model

First step is to conduct static forecasting method in order to be able to extract Systematic component of the forecast, which is (given the mixed form of calculating it): Systematic component = (level + trend) x seasonal factor (Chopra and Meindl 2007). This means that we need to estimate the level, the trend, and the

seasonal factor. The second step is to run given Exponential smoothing algorithm. Further we describe the forecast model as explained in (Chopra and Meindl 2007), where the steps are:

- Initialize: deseasonalize demand, estimate level and trend (linear regression), estimate seasonal factors
- Apply algorithm (Winter's Model): forecast, estimate error, modify estimates and repeat forecast
- Calculate measures of forecast error

We will validate the forecasting model by comparing measures of forecasting errors between current ordering model and Winter's model. We will use following measures:

- *Mean Squared Error* (MSE). The MSE can be related to the variance of the forecast error. We estimate that the random component of demand has a mean of 0 and a variance of MSE
- *Mean Absolute Deviation* (MAD) is average of the absolute deviation (the absolute value of the error in Period  $t$ ) over all periods. The MAD can be used to estimate the standard deviation of the random component assuming that the random component is normally distributed. In this case the standard deviation of the random component is  $\sigma=1.25MAD$ .
- *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) is the average absolute error as a percentage of demand
- *Bias*: to determine whether a forecast method consistently over- or underestimates demand, we can use the sum of forecast errors to evaluate the *bias*. The *bias* will fluctuate around 0 if the error is truly random and not biased one way or the other.
- *Tracking Signal* (TS) is the ratio of the bias and the MAD. If the TS at any period is outside the range  $\pm 6$ , this is a signal that the forecast is biased and is either under forecasting ( $TS < -6$ ) or over forecasting ( $TS > +6$ ).

Additionally, in this paper we introduce calculation of optimal parameters of Winter's Model,  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$ , as the final step for analysis. Parameters  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  can vary in range 0...1 and thus affect the smoothing of the forecast calculation. We could assume that the parameters should be such that they minimize the measures of forecast errors, such as MAD, MAPE, Bias and TS. After some quick empirical testing, we adopted that an option to calculate the parameters is by using one of two following optimization:

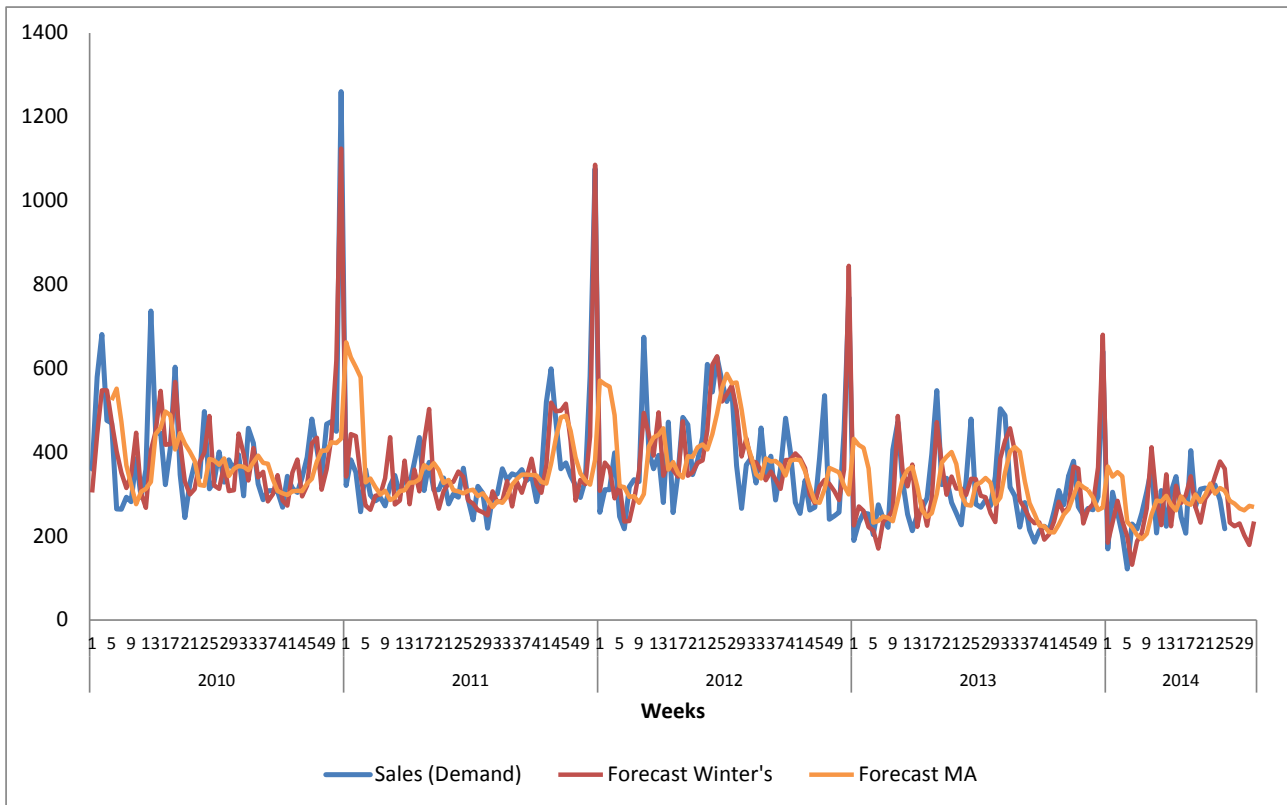
$$\min f(\alpha, \beta, \gamma) = MAD \tag{2}$$

$$\min f(\alpha, \beta, \gamma) = \left( \sum_{t=1}^n A_t \right) \cdot \left( \sum_{t=1}^n |TS_t| \right) \tag{3}$$

Subject to:  $0 \leq \alpha \leq 1$ ,  $0 \leq \beta \leq 1$  and  $0 \leq \gamma \leq 1$ . In this way we try to minimize either MAD, thus we give more importance to the variance and deviation or TS, thus the Bias. This calculation can be done using Microsoft Excel and its Solver add-in. This is definitely the subject that can be suitable for further analysis: optimization of these parameters.

### 2.3. Results

Applying the calculations from the model to article (SKU) carbonated mineral water "KNJAZ MILOŠ 1.5L PET GAZIRANA", for  $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 0.05$  and  $\gamma = 0.05$ , we calculate the forecasts as displayed in Figure 1. It displays real sales, forecasting achieved by Winter's Model and forecasting as currently used by company A.



**Figure 1:** Winter's Model and MA forecast compared to sales

Table 2 summarizes results obtained in this research, where different forecast error measures are given for same article and data set, by using two forecasting models: existing model of company A, being moving average for 4 weeks, versus exponential smoothing with trend and season correction (Winter's model).

**Table 2:** Comparison of forecasting errors for models used on data set

Article	Moving Average Model						Exponential Smoothing Winter's Model					
	MSE	MAD	MAPE	$\Sigma$ Bias	TS off range	$\sigma$	MSE	MAD	MAPE	$\Sigma$ Bias	TS off range	$\sigma$
QUATTRO CHOCO FANTASY	433	6	103	-3348	233	7	615	5	85	456	171	7
VULKANO ČOKOLADA-VANILA 500ML	215	5	66	-3799	51	6	264	7	102	1006	36	9
FRIKOM ĐUVEČ 450GR	763	15	54	5590	24	19	368	11	41	11755	79	14
FRIKOM POVRĆE RUSKA 450	2988	27	66	17592	43	34	788	15	39	-319	12	19
KNJAZ MILOŠ 1.5L PET GAZIRANA	18710	90	26	112888	108	112	5668	59	18	-3759	0	74
MINERALNA VODA 2L MINAKVA	41969	129	19	164219	106	161	61721	129	18	66829	1	161
JELEN PIVO 0.5L POVRATNA	115808	192	646	91250	40	240	75642	164	64	87116	30	206
PIVO LAV 0.5L POVRATNA	25282	84	819	113786	81	105	9469	68	298	86564	51	86
VRANAC ŽUPA 1L	518	13	230	19958	136	17	675	12	180	19699	124	16
VRANAC 1L	90	6	66	17944	192	8	38	5	46	8545	129	6

## 2.4. Analysis

Although not displayed here, value of  $\alpha$  parameter calculated by solver was very high. It can indicate either that the selected forecasting model is not the most suitable one or that optimization of this parameter needs more adjustment. However, it anyway performs significantly better than the existing moving average technique. Parameter  $\beta$  was lower comparing to  $\alpha$  which means that trend is kept much more constant and should be taken more into consideration. Parameter  $\gamma$  was also relatively high, though much lower than  $\alpha$ . This means that there is a moderate change of seasonality factors over time. However, selection of these parameters was quite quick and empirical, using solver to minimize forecasting error measures. Further work

should probably pay more attention to definition and analysis of these parameters and how to optimize forecasting models when using exponential smoothing in this regard.

Based on results shown in Table 2 we can easily conclude how Winter's model gives better results comparing to simple moving average used in company A. However, we can observe how it performs better for higher levels of demand aggregation (meaning for articles with higher demand levels), which sustains the claim (Chopra and Meindl, 2007) how demand forecasting performs better when level of aggregation is higher. This means that if we would observe cluster of stores, rather than one single, our forecasting would perform even better. Aside MSE, all other error measures are underperforming in Winter's model comparing to MA in just single case. In this analysis we paid special attention to Bias of forecasting and Tracking Signal. This because many TS out of given range are indicating that the forecasting model is probably not the most suitable one. Since Winter's model also performs significantly better in this regard also, we can also conclude that it is more suitable than MA. We can conclude that Winter's exponential smoothing technique is usable to be implemented into replenishment process of company A and their direct-store delivery supply chain. Retailer A uses Periodic replenishment policy, where in most cases stock is checked and orders are placed on weekly basis. It A has agreed lead times for deliveries at the range from next day, to next business day, to few days or one week at most, but it stills experiences significant overstock. The company A could revise its replenishment policy and replace the model given by **Error! Reference source not found.**, to base on somewhat improved forecasting (such as one analyzed in this paper).

### 3. CONCLUSION

The objective of this paper was to validate the assumption that forecasting of direct-store delivery supply chain can be improved by changing to somewhat advanced forecasting technique. Based on applied research methodology and obtained results, such assumption can be confirmed. However, the forecasting technique used here is relatively simple and there are many ways to improve it which is left here for further research.

For example, here we were dealing with the demand on weekly level. However, orders can be placed on Monday or on Friday, which makes a significant turbulence in the model because we must account to 4 days of stock levels, lead times, etc. Therefore, model could be improved by assigning coefficients to each days of the week (e.g. on Saturdays and Sundays demand is significantly higher than on Monday). Furthermore, we should account on special weeks in the model. For example, Easter does not fall into same week each year, but it significantly disturbs the demand, and it is similar with other holidays, with days from 53<sup>rd</sup> week (which is normally added to 52<sup>nd</sup>), etc. Also, regardless of any improvements it is important to know in practice, implementation of forecasting technique requires, beside careful planning, also many practical observations after forecast technique is launched, and many adjustments and improvements in pilot period.

### REFERENCES

- [1] Babai, M., Ali, M., Boylan, J. & Syntetos, A. (2013). Forecasting and inventory performance in a two-stage supply chain with ARIMA(0,1,1) demand: Theory and empirical analysis. *International Journal of Production Economics*, 463-471.
- [2] Chopra, S. & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- [3] Diabat, A. (2014). Hybrid algorithm for a vendor managed inventory system in a two-echelon supply chain, *European Journal of Operational Research*, 238(1), 114-121. doi:10.1016/j.ejor.2014.02.061
- [4] Jin, S.N., Su, L.J., Ullah, A. (2014). Robustify Financial Time Series Forecasting With Bagging. *Econometric Reviews*, 33(5-6), 575-605. doi:10.1080/07474938.2013.825142
- [5] Khashei, M., & Bijari, M. (2012). A new class of hybrid models for time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, 4344-4357.
- [6] Kuremoto, T., Kimura, S., Kobayashi, K., & Obayashi, M. (2014). Time series forecasting using a deep belief network with restricted Boltzmann machines. *Neurocomputing*, 137(SI), 47-56. doi:10.1016/j.neucom.2013.03.047
- [7] Lorentziadis, P.L. (2014). Pricing in a supply chain for auction bidding under information asymmetry. *European Journal of Operational Research*, 237(3), 871-886. doi:10.1016/j.ejor.2014.02.051

**RAZVOJ MODELA ZA PODRŠKU PRI ODLUČIVANJU U SKLADIŠTU****DECISION SUPPORT SYSTEM FOR WAREHOUSE LOADING OPERATION**DEJAN MIRČETIĆ<sup>1</sup>, SVETLANA NIKOLIČIĆ<sup>1</sup>, MARINKO MASLARIĆ<sup>1</sup><sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, dejanmircetic@gmail.com, {cecan ,marinko}@uns.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu kreiran je model za podršku pri odlučivanju u skladišnom poslovanju jedne pivarske kompanije na teritoriji Republike Srbije. Prezentovani model predstavlja novi pristup rešavanju problematike izbora optimalnog broja viljuškara prilikom otpreme gotovih proizvoda iz skladišta. Model je zasnovan na fazi logici i neuronskim mrežama, na osnovu kojih je izvršeno „kopiranje“ ekspertskog znanja i njegova transformacija u logičke veze. Prezentovani ANFIS<sup>1</sup> model predstavlja nelinearnu regresiju uticajnih parametara na proces izbora broja viljuškara u skladištu. Model je jednostavan, lako razumljiv, efikasan, i u praksi primenjiv alat za određivanje broja viljuškara koji će biti angažovani na procesu utovara.

**Ključne reči:** sistem za podršku pri odlučivanju, ANFIS, viljuškari, skladište.

**Abstract:** In this paper ANFIS model is created, in order to serve as decision support system in the warehouse of the brewing company. The model represents a new approach for solving the problem of engaging the optimal number of forklifts in the loading process of brewing warehouse. Paper's methodology consists from combination of fuzzy logic and neural networks, which serve as a tool for "capturing" expert knowledge and its transformation to a logical connections. Presented model is a nonlinear regression of influencing parameters in the warehouse loading operation. The model is simple, easy to understand, efficient, and in practice, applicable tool for determining the number of forklifts which should be engaged in the warehouse loading operation.

**Keywords:** decision support system, ANFIS, forklifts, brewing warehouse.

**1. UVOD**

U mnogim skladišno-distributivnim sistemima raspoređivanje viljuškara na različite skladišne zadatke (u nekim slučajevima i proizvodne) često vrše skladišni menadžeri (eksperti). Ekspertske odluke baziraju se na ekspertskom znanju i dugogodišnjem iskustvu. Problem nastaje kada je ekspert odsutan, a u ograničenom vremenskom periodu, sa ograničenim brojem viljuškara treba realizovati veći broj zadataka, tj. kada treba izvršiti raspodelu viljuškara na radne zadatke. U takvim situacijama značajnu pomoć mogu da pruže sistemi za podršku pri odlučivanju<sup>2</sup>. Određivanje broja viljuškara koji će biti angažovani na utovarno/istovarnom (U/I) frontu određenog skladišta, predstavlja veoma važan zadatak, od čega zavisi koliko preostalih viljuškara može biti raspoređeno na ostalim skladišnim i proizvodnim aktivnostima. Samim tim, odluke koje su vezane za odlučivanje o broju angažovanih viljuškara direktno utiču na efikasnost funkcionisanja celokupnog logističkog sistema. Odluke koje donosi ekspert u posmatranoj pivarskoj kompaniji, zasnovane su na njegovom dugogodišnjem iskustvu bez pomoći bilo kakvog sistema za podršku pri odlučivanju. Važnost sistema za podršku pri odlučivanju u logistici prikazana je u nizu radova, koji govore o povećanju nivoa produktivnosti logističkih sistema posle implementacije sistema za podršku pri odlučivanju (Min and Eom 1994, Eom and Lee 1990, Eom *et al.* 1998, Eom and Kim 2006).

Logistička strategija definiše strukturu određenog lanca snabdevanja, uključujući i definisanje uloge skladišta unutar posmatranog lanca snabdevanja (Waters 2003). Waters (2003) definiše skladišta kao bilo koju lokaciju unutar koje dolazi do zadržavanja tereta tokom transporta unutar nekog lanca snabdevanja. Skladišta su jedan od ključnih elemenata većine lanca snabdevanja i često se pojavljuju kao slabe karika

<sup>1</sup> U radu će se koristiti skraćenica ANFIS koja se odnosi na neuronsku mrežu u literaturi poznatiju kao *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*, za detaljnije ulaženje u materiju pogledati rad (Jang 1993).

<sup>2</sup> U stručnoj literaturi uobičajen naziv za sisteme koji predstavljaju podršku pri odlučivanju je *Decision Support System*. Postoji niz radova koji se bave problematikom i klasifikacijom sistema za podršku pri odlučivanju, za detaljnije proučavanje pogledati radove (Turban 1995, Turban 1998, Turban *et al.* 2005)

unutar lanca. Kako bi se izbegao ovaj efekat, potrebno je posvetiti posebnu pažnju optimizaciji skladišnih aktivnosti. Jedan od načina za optimizaciju skladišnih aktivnosti jeste kreiranje sistema za pomoć pri odlučivanju prilikom izvršavanja skladišnih procesa. Na osnovu proučene literature iz ove oblasti može se konstatovati da u sisteme za podršku odlučivanju u logistici nisu dovoljno integrisani modeli vezani za optimalnu preraspodelu viljuškara prema postojećim radnim zadacima. S obzirom na to u ovom radu predstavljen je model koji vrši raspodelu viljuškara na jednu radnu aktivnost unutar kompanije (proces utovara). Svrha predstavljenog modela je da pomogne ekspertu pri odlučivanju o broju viljuškara koji će biti angažovani na U/I frontu, pri promenljivim radnim uslovima. Takođe, model se može koristiti i kao zamena za eksperta, ukoliko je ekspert odsutan, i u takvim situacijama i niskokvalifikovani skladišni radnici unošenjem podataka u model mogu dobiti odgovor koliko viljuškara treba angažovati na utovaru tereta prema datoj situaciji. Kako bi se kreirao sistem za podršku pri odlučivanju u ovom radu korišćena je kombinacija fazi logike i neuronskih mreža (*ANFIS*), kao dokazan sistem za modelovanje teško predvidljivih i visoko nelinearnih sistema.

## 2. ANFIS

Modelovanje realnih sistema tradicionalno se rešava primenom matematičkog modelovanja korišćenjem algebarskih, diferencnih i diferencijalnih jednačina. Problemi kod modelovanja nastaju usled činjenice da je većina algoritama razvijena za primenu u linearnim sistemima, dok većina realnih sistema nisu linearni i mogu biti aproksimirani linearnim modelima samo delimično i sa specijalnim ograničenjima (Riid 2002). Fazi sistemi mogu se posmatrati kao više dimenzionalni aproksimatori ulazno-izlaznih zavisnosti određenih promjenjivih  $y = f(x)$ . U naučnim radovima (Wang 1992, Kosko 1994, Castro 1995), dokazano je da fazi sistem sa odgovarajućim brojem fazi pravila, može aproksimirati bilo koju realnu neprekidnu funkciju prema zadatoj preciznosti aproksimacije:

$$\forall x \in X, |F(x) - f(x)| < \varepsilon \quad (1)$$

gde je  $F(x)$  funkcija koja treba biti aproksimirana.

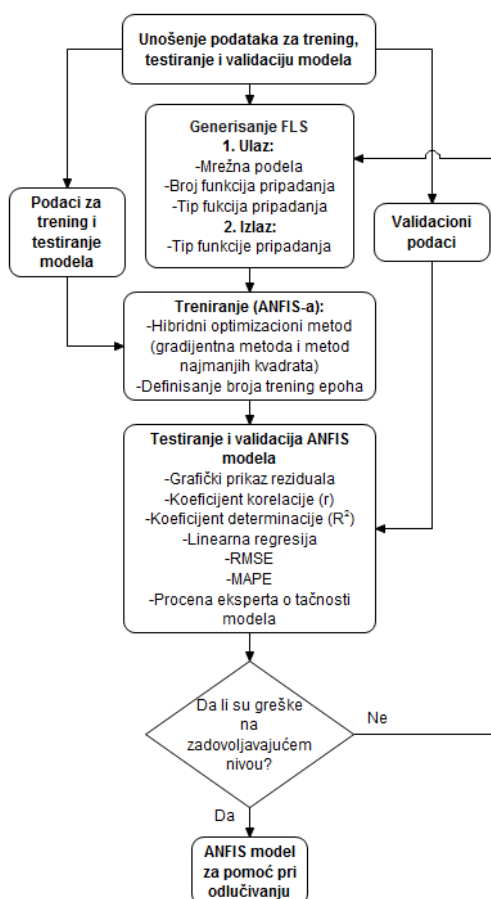
Ovim naučnim rezultatima dokazano je da su fazi sistemi uspešni u modelovanju i da predstavljaju moćan alat za modelovanje realnih nelinearnih sistema. Razlog zašto su fazi logika i neuronske mreže izabrane za „temelj“ prezentovanog modela, pronalazi se u činjenici da se na osnovu ekspertskog znanja donose operativne odluke, a fazi i neuronske mreže su odličan alat za „preslikavanje“ ljudskog znanja u numeričke vrednosti (Zadeh 1975, Jang 1993, Mendel 1995, Wang 1997, Teodorovic and Selmic 2012). Važan korak ka novim metodama u fazi modelovanju, predstavlja uvođenje *Takagi/Sugeno* sistema, zajedno sa metodom najmanjih kvadrata za identifikaciju parametara posledice (Takagi and Sugeno 1985). *Takagi/Sugeno* sistem zaključivanja je danas najčešće korišćen oblik fazi logičkog sistema (FLS) u *ANFIS* strukturi. *ANFIS* Sugeno strukturu, koja predstavlja kombinaciju neuronskih mreža i fazi logike, prvi je predstavio Jang (1993) i danas predstavlja jednu od najčešće korišćenih neuronskih mreža za aproksimaciju nelinearnih sistema u različitim oblastima.

## 3. STUDIJA SLUČAJA

Studija slučaja izvršena je na primeru pivarske kompanije. Posmatrana kompanija poseduje 30 viljuškara, koji su angažovani na različitim procesima unutar fabrike. Prilikom ispostavljanja naloga za otpremu gotovih proizvoda iz skladišta, skladišni ekspert određuje broj viljuškara koji će biti angažovani na U/I frontu. Čest problem koji se javlja kod angažovanja preostalih viljuškara na preostalim procesima unutar kompanije, nastaje usled činjenice da je taj broj direktno uslovljen brojem viljuškara koji su angažovani na utovaru gotovih proizvoda na U/I frontu. Navedene ekspertske odluke su u većini slučajeva dobre, ali čak iiskusni eksperti mogu doneti pogrešne procene, usled stresa, buke i drugih remetilačkih faktora (Druzdel and Flynn 2002). Ukoliko je angažovani broj viljuškara veći nego što su to realne potrebe za izvršenje procesa utovara u zadatom vremenskom intervalu, tada nastaju gubici usled neadekvatne iskorišćenosti viljuškara. Sa druge strane, ukoliko ekspert angažuje manji broj viljuškara na procesu utovara, a za tu odluku se kasnije ispostavi da nije bila odgovarajuća, jer su probijeni definisani rokovi za utovar, opada ugled kompanije kod poslovnih partnera i kompanija je dužna da plaća penale zbog zakašnjenja u procesu isporuke tereta.

Za potrebe kreiranja *ANFIS* neuronske mreže, formirana je baza podataka. Baza sadrži ekspertske procene, dobijene anketiranjem i praćenjem odluka eksperta zaduženog za odlučivanje o angažovanju potrebnog broja viljuškara. Baza sadrži 624 ulazno-izlazna para, odnosno 624 ekspertske procene. Podaci za treniranje sadrže 303 ulazno-izlazna para, podaci za testiranje 301, dok podaci za validaciju sadrže 20

ulazno-izlaznih parova. Uz konsultacije sa ekspertom kao promenjive koje najviše utiču na proces izbora broja viljuškara na U/I frontu, izdvojene su vreme za koji je potrebno izvršiti utovar i količina tereta koju je potrebno utovariti. Količina tereta koju je neophodno utovariti u tegljače izražena je preko broja paleta za utovar, što implicira da struktura tereta ne utiče direktno na broj viljuškara koji utovaraju robu u tegljače, već samo broj paleta i vremenski okvir unutar koga se mora izvršiti utovar. Razlog tome je što je komisioniranje robe na palete unapred obavljeno od strane skladišnih radnika uz pomoć ručnog viljuškara, pre dolaska tegljača na U/I front. Svrha prezentovanog ANFIS modela je da izvrši predviđanje broja viljuškara, u zavisnosti od različitih operativnih uslova. Prezentovani model predstavlja sistem sa dve ulazne promenjive (vreme za koje je potrebno izvršiti utovar i broj paleta koje je potrebno utovariti) i jednom izlaznom promenjivom (broj viljuškara). Tok aktivnosti neophodnih za formiranje ANFIS<sup>3</sup> modela prikazan je na slici 1.

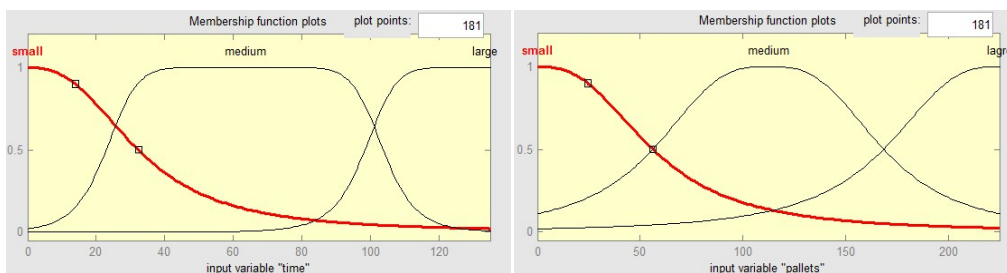


Slika 1: Tok izrade ANFIS modela

Ukupan broj parametara u neuronskoj mreži iznosi 45, od kojih su 18 nelinearni parametri tj. parametri premise (parametri generalizovane zvonaste funkcije), dok preostalih 27 predstavljaju linearne parametre posledice (parametri polinoma prvog reda). Na slici 2 prikazan je oblik funkcija pripadnosti ulaznih promenjivih, nakon završetka procesa treniranja neuronske mreže. Za oblik funkcija pripadnosti ulaznih promenjivih izabrana je generalizovana zvonasta funkcija, dok su za prezentovanje izlazne promenjive izabrani polinomi prvog reda. Razlog ovakvog odabira leži u težnji ostvarivanja što je moguće boljeg prognoziranja ekspertovih odluka. Korišćenjem različitih kombinacija, putem metode pokušaja i pogreške, utvrđeno je da generalizovana zvonasta funkcija pripadnosti, podela domena ulaznih promenjivih na tri funkcije pripadanja (malo, veliko, srednje), i predstavljanje izlazne promenjive polinomima prvog reda, omogućava najnižu grešku prognoziranja u datom slučaju.

<sup>3</sup> Za kreiranje ANFIS modela korišćen je softverski paket MATLAB R2012a (<http://www.mathworks.com/>)





**Slika 2:** Izgled funkcija pripadanja ulaznih promjenjivih (vremena i paleta) nakon završenog treniranja

Finalna shema kombinacija pravila, kao i numerička interpretacija pravila ( $f_i$ ) i funkcija pripadnosti ( $\mu_i(x)$ ), nakon završenog treniranja, prikazani su u tabeli 1. Tabela 1 predstavlja „kopirano“ ekspertovo znanje i transformisano u logičke i numeričke veze, od strane ANFIS neuronske mreže.

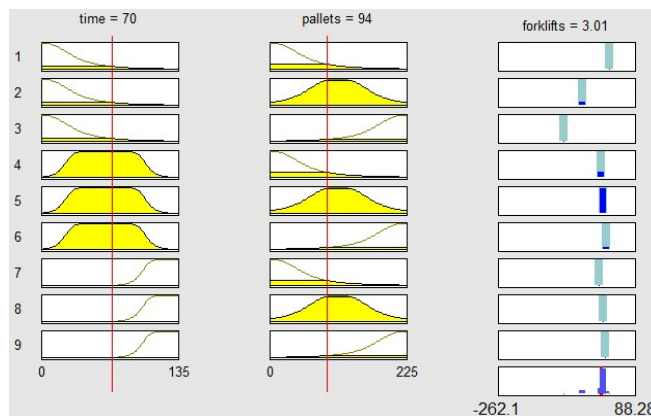
**Tabela 1:** Baza pravila ANFIS neuronske mreže

Ulazne varijable		Pravila	Ako je (vreme= $\mu_i(t)$ ) i Ako su (paleta= $\mu_i(p)$ ) Onda su (viljuškari= $f_i$ )		
Vreme	Paleta		Ako Onda		
			vreme	paleta	$f_i$
$\mu_m(t) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x + 0,7462}{33,09}\right)^2\right]^{1,356}}$	$\mu_m(p) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - 0,0176}{56,29}\right)^2\right]^{1,327}}$	1	malo	malo	$f_1 = 0,1604x + 0,1548y - 1,984$
		2	malo	srednje	$f_2 = -1,042x + 0,1537y + 13,74$
		3	malo	veliko	$f_3 = -1,894x + 0,1615y + 22,75$
		4	srednje	malo	$f_4 = 0,02234x + 0,01823y - 2,319$
$\mu_s(t) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - 63,35}{40,43}\right)^2\right]^{4,264}}$	$\mu_s(p) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - 112,4}{56,28}\right)^2\right]^{1,49}}$	5	srednje	srednje	$f_5 = -0,107x + 0,01449y + 14,32$
		6	srednje	veliko	$f_6 = -0,206x + 0,001561y + 29,73$
		7	veliko	malo	$f_7 = -0,000982x - 0,0445y + 0,9209$
$\mu_v(t) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - 133,6}{35,09}\right)^2\right]^{3,686}}$	$\mu_v(p) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - 224,9}{56,42}\right)^2\right]^{1,408}}$	8	veliko	srednje	$f_8 = -0,01459x - 0,0076y + 8,501$
		9	veliko	veliko	$f_9 = -0,0584x + 0,00496y + 15,43$

#### 4. DISKUSIJA

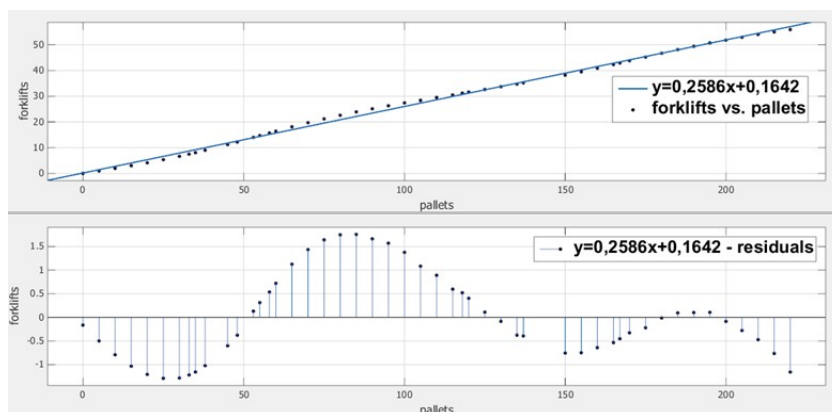
Na osnovu prethodno istreniranih ulaznih promjenjivih, baze pravila i izlaznih polinoma prvog reda, kao finalni izlaz iz modela dobijen je grafički FIS interfejs, slika 3. U zavisnosti od promene vrednosti ulaznih promjenjivih model predviđa različit broj potrebnih viljuškara za angažovanje na U/I frontu. Na slikama 4 i 5, prikazana je zavisnost broja viljuškara od ulaznih promjenjivih vremena i paleta. Sa slike 4 uočava se da broj viljuškara približno linearno raste sa povećanjem količine tereta tj., broja paleta, dok slika 5 prikazuje progresivni porast broja angažovanih viljuškara kada se promjenjiva vreme nalazi u intervalu  $x=(0,40]$ min. Uočeni linearni trend porasta viljuškara sa porastom paleta, prikazan na slici 4, numerički je iskazan preko interpolacione krive:

$$y = 0,2586x + 0,1642 \quad (2)$$

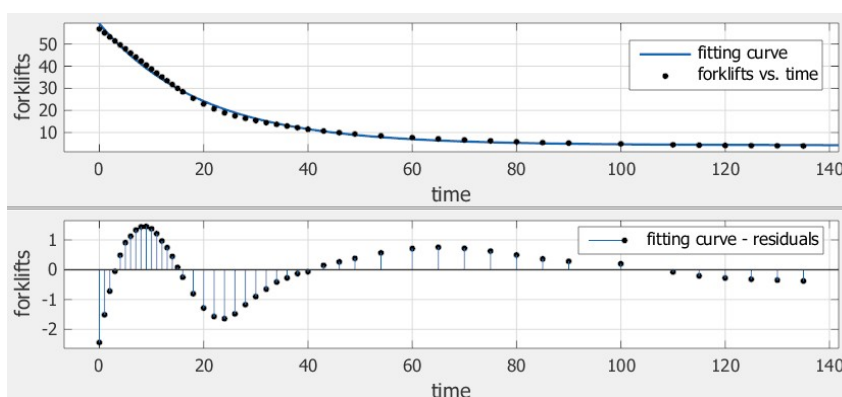


**Slika 3:** FLS interfejs (premissa, posledica, izlaz)





**Slika 4:** Interpolaciona kriva zavisnosti između viljuškara i broja paleta za utovar



**Slika 5:** Interpolaciona kriva zavisnosti između viljuškara i vremena definisanog za utovar

Takođe, eksponencijalni porast broja angažovanih viljuškara sa smanjenjem vremena definisanim za utovar robe, prikazan na slici 5, numerički je iskazan preko interpolacione krive:

$$y = 54,6 \cdot 0,95^x + 4,64 \cdot 0,99^x \quad (3)$$

Interpolacione funkcije (2) i (3), kreirane su na osnovu izlaznih vrednosti FLS interfejsa sa slike 3. Cilj kreiranja jeste dublja analize uticaja varijabli vremena i paleta na izbor broja viljuškara. Navedene funkcije ekspertima omogućavaju da kritički sagledaju uticaj svake varijable i izvrše detaljnu analizu o faktora koji utiču na same varijable vreme i broj paleta, a samim tim i na broj viljuškara. Na osnovu slike 4 možemo zaključiti, da ukoliko broj viljuškara linearno raste sa povećanjem broja paleta za utovar, viljuškari koje poseduje dotična kompanija su homogenih tehničko-eksploatacionih karakteristika (brzina, nosivost, itd.). Ukoliko bi postojala veća heterogenost između viljuškara, po tehničko-eksploatacionim karakteristikama, trend porasta broja viljuškara iskazan jednačinom (2) i slikom 4, sigurno ne bi bio lineran! Do ekspanzivnog rasta broja angažovanih viljuškara, dolazi sa ispostavljanjem naloga za utovar velikih količina tereta u malim vremenskim intervalima, slika 5. Kako bi se izbegla takva pojava, potrebno je voditi računa o dinamici otpreme robe iz skladišta i izbegavati „špicve“, već prilikom ugovaranja otpreme težiti ravnomernijoj otpremi, sa „srednjim“ količinama robe i dužim rokovima za utovar. Pored navedenih faktora, na izgled slika 4 i 5 i funkcija međuzavisnosti (2) i (3), direktan uticaj imaju i fizički raspored robe u skladištu, dužina putanja koje prelaze viljuškari, prosečno vreme ciklusa, topologija U/I fronta itd. Kao što je već navedeno, u literaturi je primetan izostanak radova koji se bave sistemima za pomoć pri odlučivanju prilikom preraspodele viljuškara na različite radne zadatke unutar radnih organizacija. Kako bi se to nadomestilo, buduća istraživanja potrebno je usmeriti ka kvantifikaciji navedenih uticaja i utvrđivanju optimalne kombinacije faktora, koji dovode do angažovanja što je moguće manjeg broja viljuškara na procesu utovara.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je model za izbor optimalnog broja viljuškara prilikom otpreme gotovih proizvoda, zasnovan na fazi logici i neuronskim mrežama. Studija slučaja izvršena je u skladišnom sektoru jedne pivarske kompanije. Model omogućava sigurnije i tačnije donošenje, kao i analiziranje i korigovanje, odluka vezanih za angažovanje viljuškara na procesu utovara. Cilj kreiranja modela bio je „kopiranje“ načina

razmišljanja skladišnog eksperta, kako bi se ekspertovo iskustvo moglo transformisati u numeričke podatke i merljive korelacije između uticajnih faktora (tabela 1). Model pokazuje dobre interpolacione osobine prilikom konstruisanja međuzavisnosti između viljuškara, vremena i paleta, (jednačine (2) i (3)), čime je ekspertima omogućena dublja analiza međusobnog uticaja faktora. Takođe, upotrebna vrednost modela sagledava se i u činjenici da se model može koristiti kao zamena za eksperta, u trenucima njegovog odsustva sa posla, gde niže kvalifikovani radnici jednostavnim unošenjem vrednosti u FIS interfejs prikazanog na slici 3 mogu utvrditi optimalan broj viljuškara koje treba angažovati prema datim operativnim uslovima.

## NAPOMENA

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, projekat TR 36030, za period 2011-2014.

## LITERATURA

- [1] Castro, J. L. (1995). Fuzzy logic controllers are universal approximators. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 25(4), 629 - 635. doi: 10.1109/21.370193
- [2] Druzdzel, M. J. & Flynn, R. R. (2002). Decision Support Systems. In A. Kent (Ed.), *Encyclopedia of Library and Information Science* (2 ed.). New York: Marcel Dekker, Inc.
- [3] Eom, H. B. & Lee, S. M. (1990). A Survey of Decision Support System Applications (1971–April 1988). *Interfaces*, 20(3), 65-79.
- [4] Eom, S. & Kim, E. (2006). A survey of decision support system applications (1995-2001). *Journal of the Operational Research Society*, 57(11), 1264-1278. doi: DOI 10.1057/palgrave.jors.2602140
- [5] Eom, S. B., Lee, S. M., Kim, E. B. & Somarajan, C. (1998). A survey of decision support system applications (1988-1994). *Journal of the Operational Research Society*, 49(2), 109-120. doi: DOI 10.1057/palgrave.jors.2600507
- [6] Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on system, Man, And Cybernetics*, 23(3), 665 - 685. doi: 10.1109/21.256541
- [7] Kosko, B. (1994). Fuzzy systems as universal approximators. *The IEEE Transactions on Computers*, 43(11), 1329 - 1333. doi: 10.1109/12.324566
- [8] Min, H. & Eom, S. B. (1994). An Integrated Decision Support System for Global Logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24, 29-39. doi: 10.1108/09600039410055990
- [9] Mendel, J. M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *IEEE*, 83(3), 345 - 377. doi: 0018-9219
- [10] Riid, A. (2002). *Transparent Fuzzy Systems: Modeling and Control*. (Doctor of Philosophy), TALLINN TECHNICAL UNIVERSITY, TALLINN
- [11] Takagi, T. & Sugeno, M. (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, 15(1), 116-132.
- [12] Teodorovic, D. & Selmic, M. (2012). *Računarska inteligencija u saobraćaju*. Belgrade: University of Belgrade.
- [13] Turban, E. (1995). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems* (4 ed.). New York: Macmillan.
- [14] Turban, E. (1998). *Decision Support and Expert Systems* (2 ed.). New York: Macmillan.
- [15] Turban, E., Aronson, J. E. & Liang, T.-P. (2005). *Decision support systems and intelligent systems*: Prentice Hall.
- [16] Wang, L.-X. (1992, 08 Mar 1992-12 Mar 1992). Fuzzy systems are universal approximators. Paper presented at the IEEE international conference on fuzzy systems San Diego, CA.
- [17] Wang, L.-X. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR.
- [18] Waters, D. (2003). *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. New York: PALGRAVE MACMILLAN.
- [19] Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Applications to Approximate Reasoning I. *INFORMATION SCIENCES*, 8, 199-249.



## UTICAJ KOOPERATIVNOSTI NA EFEKAT BIČA U LANCU SNABDEVANJA

### IMPACT OF PARTICIPANTS COOPERABILITY ON BULLWHIP EFFECT IN SUPPLY CHAIN

BILJANA PANIĆ<sup>1</sup>, IVANA KOVAČEVIĆ<sup>1</sup>, MIRKO VUJOŠEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, panic.biljana@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu se prikazuju rezultati analize uticaja kooperativnosti učesnika u lancu snabdevanja na efekat biča i ukupne troškove lanca. Analiza je izvedena na osnovu rezultata pivskih igara u kojima su učestvovala različite grupe učesnika. Grupe su formirane prema spremnosti pojedinaca za kooperaciju. Kooperativnost je prethodno utvrđena testiranjem pomoću standardnog upitnika socijalno vrednosne orijentacije. Rezultati ukazuju na važnost istraživanja bihejvioralnih uzroka efektu biča. Ovi uzroci se odnose na osobine ličnosti učesnika u lancu, a za razliku od operacionih uzroka, do sada nisu dovoljno istraživani.

**Ključne reči:** Lanci snabdevanja, efekat biča, pivska igra, kooperativnost.

**Abstract:** In this paper influence of participants' cooperability on bullwhip effect and total cost in supply chain is considered. An analysis is based on results obtained by performing several beer games. There are two different groups in each game. The groups were formed according social value orientation of proposed decision makers. The participants in one supply chain were those with more social value orientation in comparison to the participants in the other chain. The results show that study of behavioral factors in the context of bullwhip effect are significant, yet they had not been sufficiently analyzed

**Keywords:** Supply Chains, Bullwhip effect, Beer game, Cooperability.

#### 1. UVOD

Kada učesnici u lancu snabdevanja (snabdevači, proizvođači, distributeri, veleprodavci, maloprodavci) vode isključivo računa o svojim uskim interesima i ne uzimaju u obzir kako njihove akcije utiču na druge učesnike i lanac kao celinu, onda u lancu nema koordinacije i efekat biča (*bullwhip effect*) je jako izražen. Efekat biča je prvi put opisan u radu (Forrester 1958). Kasnije su uzroci efekta biča definisani kao “sistematsko iracionalno ponašanje igrača” ili kao “pogrešno shvatanje povratnih informacija” (Sterman 1989, Goodwin 1994). Efekat biča je termin koji opisuje fenomen pojačanja varijacija u tražnji kupca idući uz lanac, odnosno od maloprodavca ka proizvođaču. On je, najvećim delom, posledica poremećaja informacija unutar lanca. Malu promenu u tražnji kupca trgovac na malo može da protumači kao trend rasta i to ga navodi da poveća porudžbinu. Što se ide više uz lanac, porast veličine porudžbina je sve veći. Karakterističan primer je kada maloprodaja poveća porudžbinu radi planirane promocije. Ako veleprodavac ovaj rast tražnje protumači kao stalan rast i u skladu s tim zahteva povećanu isporuku od svog snabdevača, po završetku promotivnog perioda će se suočiti sa problemom viška zaliha. Kao posledica efekta biča javljaju se povećani troškovi držanja zaliha, ali i troškovi usled nedostatka zaliha. Sve to značajno pogoršava performanse lanca.

Uzroci efekta biča se danas klasifikuju na operacione i bihejvioralne (Croson et al. 2004), pri čemu su operacioni uzroci mnogo detaljnije izučavani (Vujošević and Panić 2004). Bihejvioralni uzroci se odnose na smanjenu racionalnost donosilaca odluka, posebno na pogrešno tumačenje povratnih informacija i kašnjenja u isporuci. Oni se mogu grupisati u pet grupa. Prva grupa bihejvioralnih uzroka efekta biča se odnosi na situaciju da donosioci odluke sumnjaju da će njihovi dobavljači ili korisnici pogrešno odlučivati, te stoga odstupaju od strategije ravnoteže, čime obezbeđuju zalihe za slučaj neoptimalnog ponašanja partnera. Neizvesnost izazvana unutrašnjim akcijama partnera u lancu naziva se rizik koordinacije (Croson et al. 2004). Druga grupa uzročnika se ne odnosi samo na nepoverenje učesnika da će se ostali učesnici pridržavati pravila, nego i na nepoverenje da će uopšte umeti da ih primene. U ovom slučaju, učesnici ne mogu da procene kako će se ostali članovi lanca ponašati, jer imaju ograničeno znanje ili nedovoljno poverenje u motive ili kognitivne sposobnosti partnera (Croson et al. 2004). Kognitivna ograničenja učesnika izazivaju

efekat biča i u okviru treće grupe činilaca, kada se učesnici u lancu snabdevanja ponašaju kao da postoje oscilacije u tražnji čak i kad ih nema (Sterman 1989, Croson and Donohue 2006). Ljudima je teško da istovremeno razmišljaju o svojim zalihama, o zalihama u toku, o tome koliko je od njih poručeno, kolika je nezadovoljena tražnja i koliko da poruče. Dešava se da se porudžbine formiraju na bazi razlike između ciljnog i trenutnog nivoa zaliha, a zanemaruje se poručenu količinu koja još nije stigla. Mnogi autori (Sterman 1987, Kampmann 1992, Diehl and Sterman 1995, Croson and Donohue 2006) su pokazali da čak i kad svi učesnici znaju koja je optimalna politika poručivanja i kad je tražnja konstantna i poznata svima, većina učesnika i dalje zanemaruje porudžbine u toku, što čini četvrtu grupu uzroka. Konačno i neke osobine ličnosti mogu uticati na način odlučivanja. U radu (Ruël et al. 2006) je ispitivano do koje mere sklonost ka riziku, tolerancija na višeznačnost, samoefikasnost i lokus kontrole mogu uticati na odlučivanje i performanse.

U ovom radu biće ispitan uticaj kooperativnosti na efekat biča.

## 2. SOCIJALNO VREDNOSNA ORIJENTACIJA

Klasična ekonomska nauka počiva na pretpostavci da je donosilac odluke racionalno biće (*homo economicus*). Racionalni donosilac odluke teži da maksimizira sopstveni rezultat i indiferentan je prema rezultatu drugih učesnika. Postoji mnogo pouzdanih primera koji opovrgavaju navedenu pretpostavku. Donosioci odluka imaju različite ljudske osobine, od sebičnosti i zavisti do altruizma i ljubavi, i sve te osobine neminovno utiču na proces odlučivanja i krajnju odluku. Kada odlučuju u socijalnom kontekstu, ljudi su različito motivisani da vode računa o uticaju sopstvenih odluka na druge članove društva.

Socijalno vrednosna orijentacija (*Social Value Orientation - SVO*) je oblast u okviru teorije odlučivanja i ekonomskih nauka u kojoj se proučava usmerenost (orijentacija) pojedinca prema socijalnim vrednostima, odnosno, koliko ljudi vode računa o drugima kad odlučuju. Osnovni zadatak SVO je određivanje spremnosti donosioca odluke da žrtvuje sopstvenu dobrobit u korist nekog drugog (Murphy and Ackermann, 2012). U tu svrhu se koristi SVO upitnik na osnovu koga se procenjuje i kooperativnost kao osobina pojedinca (Zeelenberg et al. 2008).

Problem izbora jedne od dve sigurne raspodele novca prikazan u tabeli 1 je standardni primer za merenje SVO pojedinca. U oba slučaja donosilac odluke dobija izvesnu sumu, ali i druga osoba, koja mu je nepoznata i ostaće mu nepoznata, takođe dobija sumu koja zavisi od njegovog izbora. Ovo nije strateško odlučivanje kao u teoriji igara jer na isplatu za oba učesnika utiče samo donosilac odluke. Odlučuje se jednokratno, a anonimnost garantuje zaštitu od uticaja pritiska, reciprociteta, brige o reputaciji i sl.

**Tabela 1:** Opcije raspodele novca

opcija A	opcija B
85 \$ donosiocu odluke	100 \$ donosiocu odluke
85 \$ drugoj osobi	50 \$ drugoj osobi

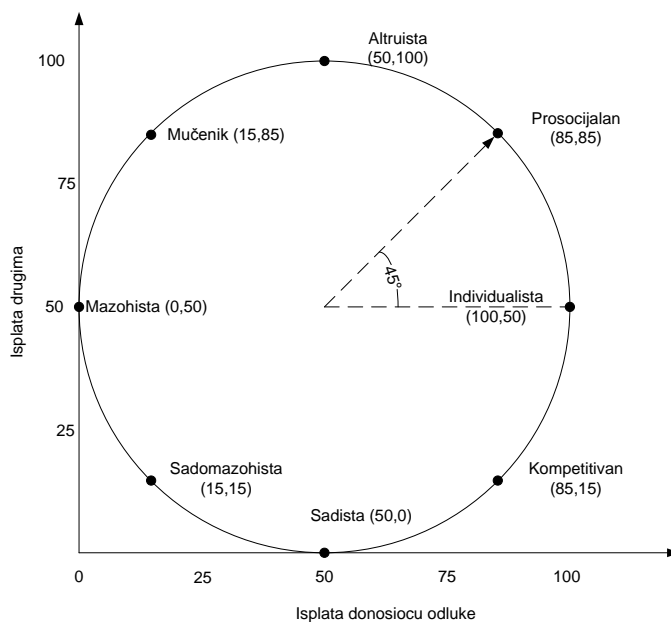
Racionalan donosilac odluke bi birao opciju B jer mu donosi za 15\$ veću isplatu, bez obzira na to što u tom slučaju druga osoba dobija za 35\$ manje. Međutim, eksperimentalno je utvrđeno (Murphy and Ackermann 2012) da je opcija A birana u 40% slučajeva. Ovakvo ponašanje se naziva *socijalnom preferencijom*, socijalnim motivima ili socijalno vrednosnom orijentacijom. Postojanje pozitivne socijalno vrednosne orijentacije pokazuje da za donosioca odluke ne mora biti jedini kriterijum njegova dobrobit.

U tabeli 2 su prikazane različite moguće orijentacije i motivacije donosioca odluke, odnosno taksonomija prema (Liebrand 1984). Ona sadrži i nekoliko netipičnih orijentacija koje se vrlo retko sreću u praksi (Murphy and Ackermann 2012). Većina donosilaca odluke teži ili da maksimizira isplatu sebi (individualisti), ili da maksimizira ukupnu isplatu (prosocijalni), ili da maksimizira razliku između isplate sebi i drugima u svoju korist (kompetitivni). Pored toga, ponekad se sreću i donosioci odluka koji teže da maksimiziraju isplatu drugima (altruisti). Zato se uglavnom koristi podskup ovih orijentacija (Murphy et al. 2011, Murphy and Ackermann 2012).

Postoji više načina za merenje socijalne orijentacije (Murphy and Ackermann 2012). Jedan od načina je "prsten" (The Ring Measure) i on je upotrebljen u ovom radu. Ovaj metod koristi seriju parova isplata i izvodi SVO skor na osnovu napravljenih izbora. Zatim se računa ugao kao što je objašnjeno u radovima (Murphy et al. 2011, Murphy and Ackermann 2012) i na osnovu njega se donosilac odluke svrstava u jednu od SVO orijentacija. Ako je na primer, ugao 45 stepeni, osoba je prosocijalne orijentacije kao što je prikazano na slici 1.

**Tabela 2:** Socijalne orijentacije

isplata sebi	isplata drugima	orijentacija	Motivacija	isplata sebi (binarno)	isplata drugima (binarno)
85	85	prosocijalan	maksimizira ukupnu isplatu ili minimizira razliku između isplate sebi i drugima	1	1
100	50	individualista	maksimizira isplatu sebi	1	0
85	15	kompetitivan	maksimizira razliku između isplate sebi i drugima u svoju korist	1	-1
50	0	Sadista	minimizira isplatu drugima	0	-1
15	15	sadomazohista	minimizira ukupnu isplatu ili razliku između isplate sebi i drugima	-1	-1
0	50	mazohista	minimizira isplatu sebi	-1	0
15	85	mučenik	maksimizira razliku između isplate sebi i drugima na svoju štetu	-1	-1
50	100	altruista	maksimizira isplatu drugima	0	1



**Slika 1:** Prsten za merenje socijalne orijentacije

### 3. PIVSKA IGRA

Za ilustriranje efekta biča u okviru lanca snabdevanja, često se koristi pivska igra (*beer game*), kreirana u okviru *Sloan School of Management na Massachusetts Institute of Technology* da bi simulirala performanse lanca snabdevanja sa jednim učesnikom u okviru svake faze (Sterman 1992). Igra je kreirana početkom šezdesetih godina kao deo istraživanja industrijske dinamike.

Igra se odvija na tabli koja predstavlja proizvodnju i distribuciju piva. Formiraju se timovi koji igraju igru i čiji je cilj da minimiziraju troškove celokupnog lanca snabdevanja. Pobjednik je tim koji odigra igru sa najmanjim troškovima. Timovi se dele na četiri sektora: maloprodaja (*Retailer*), veleprodaja (*Wholesaler*), distribucija (*Distributor*) i fabrika (*Factory*). Kupac dolazi kod maloprodavca da kupi pivo. Maloprodavac nastoji da zadovolji tražnju kupca iz svojih zaliha. Svaka nezadovoljena porudžbina ostaje za naredni period kao zaostala porudžbina (*backlog*). Maloprodavac poručuje od velikoprodavca, on od distributera i distributer od proizvođača. Potrebno je da proteknu dve vremenske jedinice (dve iteracije simulacije) da bi proizvod prešao put od jednog učesnika do drugog. Troškovi skladištenja iznose 0,50\$ po gajbi nedeljno, a

troškovi koji nastaju usled nezadovoljenja tražnje su 1\$ po gajbi nedeljno. Igra počinje ravnotežnim stanjem u kome svaki učesnik ima na zalihama 12 gajbi piva, a početna tražnja svake faze je 4 gajbe. U toku prvih nekoliko nedelja igrači uče o mehanizmima popunjavanja porudžbina, stvaranju zaliha itd. i u toku tog perioda tražnja je konstantna – 4 gajbe nedeljno. Igrači u toku prve tri nedelje mogu poručivati isključivo 4 gajbe nedeljno, što je i logično jer je tražnja takođe 4 gajbe. Početkom četvrte nedelje igrač može da poručuje količinu koju želi, pri čemu mu je naglašeno da tražnja potrošača može da varira. Jedan od njegovih zadataka je da predvidi tražnju, pa da na osnovu toga poručuje. Igra traje 50 simuliranih nedelja, ali traženi efekti su očigledni mnogo ranije. Svaki igrač ima dobre lokalne informacije (o svojim zalihama, zaostalim porudžbinama, količini koja pristize od njegovog neposrednog snabdevača i količini koju je upravo isporučio igraču kojeg on snabdeva), ali nema uvid u globalne informacije. Komunikacija među učesnicima nije dozvoljena.

## **4. EKSPERIMENT**

### **4.1. Priprema eksperimenta**

U eksperimentu koji je sproveden, simulirano je funkcionisanje lanca snabdevanja kroz igranje delimično izmenjene i prilagođene pivske igre. Učesnici u lancu snabdevanja su bili studenti koji su se dobrovoljno javili za učestvovanje u istraživanju. Studenti su prvo popunili upitnik SVO. Analizom rezultata SVO upitnika pokazalo se da nema sadističkih učesnika i da su samo dva altruistična. Altruistični, prosocijalni i individualisti čiji su skorovi bili blizu prosocijalnim, svrstani su u kooperativne, a kompetitivni i individualisti čiji su skorovi bili bliže kompetitivnim, svrstani su u nekooperativne. Zatim su obe grupe podeljene na dva dela na slučajan način. Tako su dobijene četiri grupe:

- nekooperativna kojoj nije dozvoljena razmena informacija (NN)
- kooperativna kojoj nije dozvoljena razmena informacija (KN)
- nekooperativna kojoj je dozvoljena razmena informacija (ND)
- kooperativna kojoj je dozvoljena razmena informacija (KD)

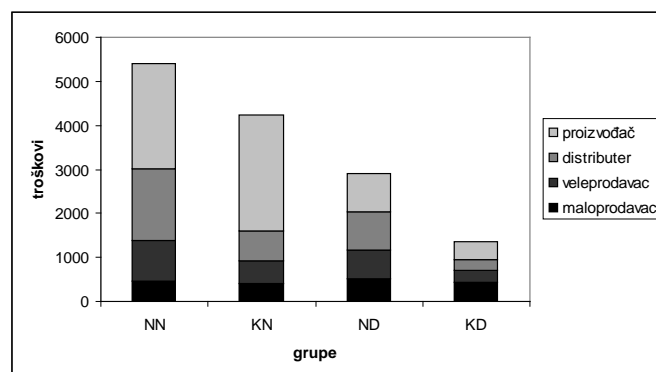
Svaka grupa je bila tim koji je simulirao jedan lanac snabdevanja prema pravilima. Zbog rada sa studentima, igra je preimenovana u igru snabdevanja vodom.

### **4.2. Sprovođenje eksperimenta**

Da bi se ispitala kooperativnost učesnika u simulaciji funkcionisanja lanca snabdevanja, promenjeni su troškovi skladištenja i penala. Troškovi skladištenja po jedinici proizvoda nedeljno su bili: za maloprodavca 0.5, za veleprodavca 1, za distributera 1.5 i za proizvođača 2. Troškovi koji nastaju usled nezadovoljenja tražnje po jedinici proizvoda nedeljno su bili: za maloprodavca 2.5, za veleprodavca 2, za distributera 1.5 i za proizvođača 1. Pretpostavka je bila da će kooperativniji učesnici koji imaju manje jedinične troškove skladištenja, a veće jedinične troškove usled nezadovoljenja tražnje od svojih snabdevača prihvatati veće zalihe kako bi minimizirali troškove celog lanca. Pored toga, dve grupe su igrale po uobičajenom pravilu pivske igre da svaki igrač ima lokalne informacije. Druge dve grupe su smele da razmenjuju bilo koje informacije koje žele. Igra je trajala 23 simulacione nedelje.

### **4.3. Rezultati simulacije**

Ukupni troškovi po grupama, kao i troškovi za svakog učesnika prikazani su na slici 2. Grupa NN je imala ukupne troškove 5411,5. Troškovi maloprodavca bili su 449, veleprodavca 939, distributera 1633,5 i proizvođača 2390. Malo bolji rezultat je imala grupa KN – ukupni troškovi su bili 4263. Pri tome su ukupni troškovi maloprodavca bili 397,5, veleprodavca 519, distributera 1219,5 i proizvođača 2646. Grupe koje su smele da dele informacije su ostvarile bolje rezultate, s tim da je, kao što je i očekivano, najbolji rezultat imala kooperativna grupa. Grupa ND je imala ukupne troškove od 2904,5. Troškovi maloprodavca bili su 503, veleprodavca 665, distributera 859,5 i proizvođača 877. Grupa KD je imala ukupne troškove od 1369. Pri tome su ukupni troškovi maloprodavca bili 425, veleprodavca 279, distributera 237 i proizvođača 428.



**Slika 2:** Troškovi lanaca snabdevanja

Pored toga što je, kao i prethodna, ova grupa imala informacije o stvarnoj tražnji, o količini na zalihama kojom raspolaže susedni učesnik i o zalihama u toku, kooperativni učesnici su se tokom igranja igre usaglasili oko pravila da će:

- učesnici čiji su jedinični troškovi skladištenja manji poručivati više kako bi smanjili troškove susednog učesnika
- ako susedni učesnik nema količinu koja je potrebna, učesnik je neće ni poručivati da ne bi pravio troškove usled nezadovoljenja tražnje.

Usled primene prvog pravila ukupni troškovi su znatno manji u odnosu na ostale grupe. Međutim, dobijeni su rezultati koji nisu karakteristični za pivsku igru – maloprodavac ima veće troškove od veleprodavca, a ovaj od distributera. Jedino proizvođač ima najveće troškove što jeste karakteristično za pivsku igru. Uprkos tome što je maloprodavac prihvatao na sebe najveći trošak skladištenja, na kraju igre njegovi troškovi su bili približno isti kao i troškovi u grupama koje nisu primenjivale ovo pravilo. Logično, moglo bi se postaviti pitanje zašto bi jedan učesnik prihvatio da plaća troškove umesto drugog koji ima veće troškove. Ovo bi moglo da se reši tako da oni na kraju podele te troškove, ali je bitno da su to sad troškovi učesnika koji ima najniže troškove.

Da bi primenili 2. pravilo, učesnici ustvari nisu pisali formalnu porudžbinu, kako bi izbegli pravljenje troškova usled nedostatka zaliha, ali su usmeno prenosili da im je određena količina potrebna, kako bi ta informacija stigla do proizvođača. Potrebnu količinu su formalno tražili onda kad je ta količina bila raspoloživa. Posledica toga bi bila da troškove usled nedostatka zaliha imaju samo prvi u lancu, tj. maloprodavci, jer njegov kupac poručuje robu i naplaćuje penale ako te robe nema. Do toga ipak nije došlo, jer učesnici ipak nisu bili u stanju da savršeno predviđaju tražnju i da paralelno s tim razmišljaju i o zalihama u toku. Kao i kod prvog pravila, moglo bi da se postavi pitanje zašto bi učesnici prihvatili na sebe troškove. Kao i kod prvog pravila, oni bi mogli da dele ravnopravno te troškove.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled bihejvioralnih uzroka efekta biča u lancima snabdevanja. Jedan od tih uzroka su i osobine ličnosti koje se odnose na nivo spremnosti pojedinca na kooperaciju i saradnju. U radu je, kroz simulaciju funkcionisanja lanca snabdevanja primenom izmenjene pivske igre, dokazano da viša kooperativnost učesnika u lancu snabdevanja povoljno utiče na ukupne troškove lanca, odnosno, troškovi su manji ukoliko učesnici u lancu ispoljavaju viši nivo kooperacije. Kooperativnost pojedinaca koji su učestvovali u eksperimentima utvrđivana je primenom SVO upitnika. Pokazalo se da kooperativni učesnici zajedno pronalaze načine da ostvare bolje rezultate. S obzirom da je SVO upitnik lako primenjiv i besplatan, mogao bi se koristiti prilikom izbora učesnika u realnim lancima snabdevanja. Istraživanja u oblasti bihejvioralnih faktora u lancima snabdevanja daleko su reda od onih koja se bave operacionim uzrocima efekta biča a prikazani rezultati ukazuju da ona i te kako imaju svoja teorijska i praktična opravdanja.

## LITERATURA

- [1] Chopra, S. & Meindl, P. (2001). Supply Chain Management: Strategy, Planning, and operation, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

- [2] Croson, R.T.A., Donohue, K.L., Katok, E. & Sterman, J. (2004). Order Stability in Supply Chains: Coordination Risk and the Role of Coordination Stock, MIT Sloan Working Paper 4513-04. Retrieved from [http://www.utdallas.edu/~emk120030/Order\\_Stability\\_0719.pdf](http://www.utdallas.edu/~emk120030/Order_Stability_0719.pdf)
- [3] Croson, R. & Donohue, L. (2006). Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information, *Management science*, Vol. 52, 323-336.
- [4] Diehl, E. & Sterman, J.D. (1995). Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 62 (2), 198-215.
- [5] Forrester, J. (1958). Industrial dynamics, a major breakthrough for decision makers. *Harvard Business Review*, 36, 37-66.
- [6] Goodwin, J. & Franklin, S. (1994). The beer distribution game: using simulation to teach systems thinking, *Journal of Management Development*, 13(8), 7-15.
- [7] Kampmann, C.E. (1992). Feedback Complexity and Market Adjustment: An Experimental Approach, PhD Dissertation, Sloan School of Management, MIT, Cambridge, MA.
- [8] 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.
- [9] Murphy, R.O., Ackermann, K.A. & 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](http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf)
- [10] Murphy, R.O. & Ackermann, K.A. (2012). A review of social preferences measurement methods. Retrieved from [http://vlab.ethz.ch/svo/SVO\\_paper.pdf](http://vlab.ethz.ch/svo/SVO_paper.pdf)
- [11] Ruël, G., van Donk, D.P. & van der Vaart, T., (2006). The Beer Game Revisited: Relating Risk-Taking Behaviour And Bullwhip Effect, Proceedings of the 13th International EurOMA Conference, Glasgow, Scotland, 1, 403-412, Retrieved from <http://www.bdk.rug.nl/organisatie/clusters/PSD/pdf/Euroma2006RuelDonkVaart.pdf>
- [12] Sterman, J.D. (1987). Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment. *Management Science* 33 (12), 1572-1592.
- [13] Sterman, J. (1989). Modelling managerial behaviour: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment, *Management Science*, 35(3), 321 -339.
- [14] Sterman, J. (1992). Teaching Takes Off, Flight Simulators for Management Education, "The Beer Game" Retrieved from <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html>
- [15] Vujošević, M. & Panić, B. (2004). Efekat biča i metode koordinacije u lancima snabdevanja, E-trgovina 2004 International e-business conference, CD, <http://events.e-trgovina.co.yu/2004/index.html>
- [16] Zeelenberg, M., Nelissen, R.M.A., Breugelmans, S.M. & Pieters, R. (2008). On emotion specificity in decision making: Why feeling is for doing, *Judgment and Decision Making*, 3, , pp. 18–27. Saaty, T. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. (1st ed.). RWS Publications.





## PRIMENA PETRIJEVIH MREŽA U MODELIRANJU I ANALIZI LANACA SNABDEVANJA

### USING OF PETRI NETS IN MODELLING AND ANALYSIS OF THE SUPPLY CHAINS

PETAR PAVLOVIĆ<sup>1</sup>, DRAGANA MAKAJIĆ NIKOLIĆ<sup>2</sup>, MIRKO VUJOŠEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Visoka tehnološka škola strukovnih studija Šabac, petarpavlovic@yahoo.com

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, {makajic-nikolic.dragana, mirkov}@fon.bg.ac.rs,

**Rezime:** Korišćenje Petrijevih mreža, kao moćnog alata za modeliranje dinamičkih procesa u svrhu analize i optimizacije performansi lanaca snabdevanja nije nov koncept. Ovaj rad je koncipiran kao preglednik skorije objavljenih radova iz oblasti lanaca snabdevanja i Petrijevih mreža. Cilj rada je da pruži informacije o tome u kojoj tački se istraživanje lanaca snabdevanja trenutno nalazi, kao i koliko daleko se stiglo u primeni Petrijevih mreža na razmatranje lanaca snabdevanja.

**Ključne reči:** Petrijeve mreže, Lanci snabdevanja, performanse, optimizacija, pregled literature.

**Abstract:** The use of Petri nets, as a powerful tool for modeling of dynamic processes in order to analyze and optimize the performance of supply chains, is not a new concept. This work is structured as a survey of recently published papers considering both supply chain and Petri nets. The purpose of this paper is to provide information about the current stage of supply chain research, and how far it has arrived in the application of Petri nets to the consideration of supply chains.

**Keywords:** Petri nets, supply chain management, performance optimization, literature review

#### 1. UVOD

Lanci snabdevanja su dinamički sistemi sa diskretnim događajima što ih čini pogodnim za modeliranje pomoću Petrijevih mreža. Zbog toga je, naročito u poslednjih deset godina, razvijen veliki broj pristupa u kojima se čitavi lanci snabdevanja, neki njihov deo ili proces modeliraju pomoću Petrijevih mreža. U najvećem broju pristupa su korišćene obojene Petrijeve mreže (Jensen and Kristensen 2009). Cilj ovog rada je da se prikaže pregled primena Petrijevih mreža na modeliranje, analizu i optimizaciju lanaca snabdevanja. Za njegovu izradu korišćena su saznanja dobijena detaljnim razmatranjem radova iz ove oblasti, objavljenih u poslednjih deset godina. S obzirom da neki od pregledanih radova imaju iste autore i suštinski predstavljaju varijacije istog problema, u ovom tekstu nisuprikazani svi, već samo oni radovi koji sa aspekta pristupa modeliranju, simulaciji ili primeni Petrijevih mreža na lance snabdevanja daju kvalitativno poboljšanje u odnosu na do tada objavljene radove, tj. birani su samo prvi u nizu radova istih autora u kojima se novi koncepti u okviru razmatrane oblasti prvi put predstavljaju i uvode.

Svi radovi koji su razmatrani mogu se klasifikovati na više načina, ali ćemo ih, za potrebe ovog pregleda, podeliti na tri tematske kategorije:

- razvoj modela – u ovu grupu spadaju radovi koji se teoretski bave pristupima u modeliranju lanaca snabdevanja pomoću Petrijevih mreža i primenom posebnih klasa Petrijevih mreža u modeliranju lanaca snabdevanja;
- simulacija – u ovu grupu spadaju radovi u kojima je naglasak na simulaciji prethodno razvijenih/datih modela da bi se merile različite performanse lanaca snabdevanja kao i prikaz/razvoj simulacionih alata;
- praktične primene / studije slučaja – u ovu grupu spada mali broj radova kojima je predstavljena analiza realnih lanaca snabdevanja pomoću Petrijevih mreža.

Ovakva klasifikacija zapravo predstavlja koncentrično tematsko širenje materije koja je obrađivana u radovima, i napravljena je isključivo radi njihovog lakšeg praćenja. Prirodno je da, pri ovakvoj klasifikaciji, neki od radova ne moraju pripadati samo jednoj kategoriji. U tabeli 1 je dat spisak radova, i iz nje se može videti kojoj grupi rad pripada (M – modeliranje, S – simulacija, P – praktična primena) i da li model

Petrijeve mreže obuhvata ceo lanac snabdevanja(kolona LS) ili samo pojedine procese u lancu (kolona deo). Radovi su dati u istom redosledu u kome su navedeni u spisku literature.

**Tabela 1:** Odabrane publikacije koje se odnose na analizu lanaca snabdevanja pomoću Petrijevih mreža

Naziv rada i autori	M	S	P	LS	deo
Aized T., Srari J.S. (2014). Hierarchical modelling of Last Mile logistic distribution system		X		X	
Alves Jr. G., Maciel P., Lima R., Magnani F. (2011). Business and Environment Performance Evaluation in Supply Chains: A Formal Model-Driven Approach	X				X
Chen H., Amodeo L., Chu F., Labadi K. (2005). Modeling and performance evaluation of supply chains using batch deterministic and stochastic Petri nets		X		X	
Drzymalski J., Odrey N. G. (2011). Framework for a synchronized supply chain	X			X	
Hanafi J., Kara S., Kaebernick H. (2008). Reverse logistics strategies for end-of-life products			X	X	
Jansen-Vullers M., Netjes M. (2006). Business process simulation – a tool survey	X				X
Kiraly A., Belvardy G., Abonyi J. (2011). Determining optimal stock level in multi-eschalon supply chains		X		X	
Lianfeng Z., Xiao Y., Jianxin J., Petri H. (2009). Supply chain configuration with co-ordinated product, process and logistics decisions: an approach based on Petri nets.			X	X	
Liu R., Kumar A., Van der Aalst W. (2007). A Formal modeling approach for supply chain event management	X				X
Liu Y., Fang S., Fang Z., Hipel K. W. (2012). Petri net model for supply-chain quality conflict resolution of complex product	X				X
Makajic-Nikolic D., Panic B., Vujosevic M. (2004). Bullwhip Effect and Supply Chain Modelling and Analysis using CPN Tools	X	X		X	
Mazzuto G., Bevilacqua M., Ciarapica F. E. (2012). Supply chain modelling and managing, using timed coloured Petri nets: a case study			X	X	
Netjes M., Van der Aalst W., Reijers H.A. (2005). Analysis of Resource-Constrained Processes with Colored Petri Nets	X	X			X
Panic B., Vujosevic M., Makajić-Nikolic D. (2006). A Supply Chain Simulation Model Based on Hierarchical Coloured Petri Net		X		X	
Papanagnou C. I., Halikia G. D. (2006). Analysing Different Ordering Policies in a Series Supply Chain by Using Coloured Petri Nets		X		X	
Pepino A., Rovani M., Torri A., Sansone M. (2012). Supply Chain for Regional Centralized Purchasing: An Application Model			X	X	
Tuncel G., Alpan G. (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study		X			X
Wang J. W., Ip W. H., Muddada R. R., Huang J. L., Zhang W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks	X			X	
Zegordi S. H., Davarzani H. (2012). Developing a supply chain disruption analysis model: Application of colored Petri-nets	X		X		X
Zhang H., Cheng N. (2014). Risk Modelling of Retail Supply Chain based on Fuzzy Petri Nets	X				X

Rad je organizovan u pet sekcija. Nakon uvodnog dela svaka od tri navedene tematske kategorije je obrađena u posebnom poglavlju. U okviru svakog poglavlja radovi su prikazani hronološki, osim u slučajevima kada su analizirani povezani radovi istih autora. U petom delu su data zaključna razmatranja.

## 2. MODELIRANJE LANACA SNABDEVANJA POMOĆU PETRIJEVIH MREŽA

Broj radova čiji je sadržaj isključivo razvoj modela lanca snabdevanja korišćenjem Petrijevih mreža je relativno mali, jer uglavnom nakon formulisanja modela sledi simulacija koja testira njegovu ispravnost. Od radova koji naglasak stavljaju na korišćenje Petrijevih mreža za modeliranje mogu se izdvojiti radovi čiji je jedan od autora van der Aalst čije je osnovno interesovanje u ovoj oblasti razvijanje šablona (paterna) za modeliranje lanaca snabdevanja. U radu (Netjes et al. 2005), koji se bavi formalnim modelom za analizu

ponašanja resursno-ograničenih procesa u lancima snabdevanja, razvijen je tzv. *gradivni blok zadatka* koji se koristi u modeliranju zadataka, kao i *resursni modul* za modeliranje raspodele resursa pomoću različitih metoda raspoređivanja. Zadatkom se u ovom radu smatra osnovna, „atomska“ i logička jedinica posla, koji se ili izvrši u celosti ili ne izvrši uopšte. Za modeliranje i analizu ovakvih resursno-ograničenih procesa, korišćen je alat CPN tools. U radu (Liu et al. 2007) predstavljeno je sedam osnovnih šablona za modeliranje najčešćih koncepata u lancima snabdevanja. Autori navode da su ovi šabloni dovoljni za modeliranje najvećeg broja mogućih situacija, iako ih sve ne iscrpljuju. Takođe, mogu se kombinovati u gradivne blokove za konstruisanje složenijih Petrijevih mreža.

Jansen-Vullersi M. Netjes(2006) vrše analizu efikasnosti primene Petrijevih mreža u modeliranju lanaca snabdevanja i naglašavaju da je veliki nedostatak ove primene jak formalizam Petrijevih mreža. Autori navode da je za uspešno modeliranje neophodno dobro poznavanje adekvatnog alata i njegove sintakse. Formiranje tzv. „biblioteke gradivnih blokova“ (*eng. library of building blocks*) predstavlja dobar pristup koji doprinosi jednostavnijem modeliranju poslovnih procesa.

Posebna klasa Petrijevih mreža tzv. mreže stohastičke nagrade(*eng. SRN-stochastic reward nets*) koje predstavljaju poseban tip stohastičke Petrijeve mreže (*SPN*), primenjena je u modeliranju lanaca snabdevanja u (Alves et al.2011). Autori su razvili biblioteku modela koja omogućava eksperimentisanje promenom varijabli kao što su zastoji u proizvodnji i transportu, odnosi između eksploatacionih tačaka/članova u lancu, politike popunjavanja zaliha i izvori energije. Modeliranje zasnovano na komponentama, zajedno sa dobro definisanim procesom kompozicije, garantuje da će konačni model imati neke željene karakteristike Petrijeve mreže. Jedan od konkretnih modela formiranih ovim pristupom dat u radu je model za tzv. zeleni lanac snabdevanja (*green supply chain*).

Višeešalonski višefazni sinhronizovani lanac snabdevanja (*SSC*), koji je modeliran pomoću hijerarhijske i modularne opšte stohastičke Petrijeve mreže (*GSPN*) prikazan je u (Drzymalskiand Odrey 2011). Hijerarhija uključuje menadžera lanca snabdevanja koji kontroliše aktivnosti dobavljanja za ostale članove u lancu niže hijerarhije. Pošto je podskup dobavljača promenljiv, tradicionalna metodologija Petrijevih mreža je proširena kako bi odgovarala dinamičkoj situaciji. Razvijen je generički PN modul za svaki ešalon. Glavni cilj istraživanja je kontrola Petrijeve mreže. Postoje dva nivoa kontrole: nivo preduzeća (*enterprise*), koji diktira celokupnu politiku (skup dobavljača i količine naručivanja), i eksploatacioni nivo (*facility*) koji tu politiku implementira.

Specifikan lanac snabdevanja koji sadrži poddobljave, tj. dobavljače koje angažuje podizvođač/podugovarač modeliran je pomoću Petrijevih mreža u (Zegordi and Davarzani 2012).Autori poseban naglasak stavljaju na modeliranje poremećaja u lancu snabdevanja, naročito kada su ti poremećaji izazvani međudržavnim odnosima koji utiču na odnose poddobljave, proizvođača i maloprodavca iz različitih država.

U radu (Liu et al. 2012) prikazana je Petrijeva mreža kojom se modelira „konflikt kvaliteta“ na relaciji dobavljač-proizvođač izazvan ekstremnim situacijama koje mogu da utiču na prethodne poslovne dogovore. U radu se predlaže metodologija čiji je cilj da pomogne donosiocu odluke da razvije tip mreže, nazvan *PNCA-Petry Net for Conflict Analysis*, kako bi doneo ispravne odluke o akcijama u slučaju nastanka pomenutog konflikta. Autori definišu *PNCA* i njene elemente: stanje, prelaz, ulazna matrica, izlazna matrica i preferencija (koja se odnosi na mogući izbor donosioca odluke).

Holistička mreža lanaca snabdevanja (*H-SCN*) koja obuhvata veći broj međuzavisnih lanaca snabdevanja modelirana je pomoću obojenih Petrijevih mreža u (Wang et al. 2013). U modeliranju ovakvog lanca su korišćene dve alternative. Po prvoj, mestima Petrijeve mreže se modeliraju firme a tokenima stanja u kojima se firme nalaze. Po drugoj alternativni, firme se modeliraju tokenima, a moguća stanja firmi mestima, tako da prisustvo tokena u odgovarajućem mestu definiše stanje u kome se firma nalazi. Procesu u lancu snabdevanja koji su obuhvaćeni modelom su: primanje porudžbine, prihvatanje porudžbine, provera zaliha i proizvodnja ili pružanje usluge.

Zhang i Cheng (2014) predlažu korišćenje posebne klase Petrijevih mreža – fazi Petrijeve mreže za modeliranje rizika i mogućnosti upozoravanja na rizik u lancima snabdevanja. Oni su svoj model ograničili na deo lanca snabdevanja - maloprodajni lanac koji se bazira na sedam pravila na osnovu kojih se određuje nivo rizika.

### 3. SIMULACIJA NAD FORMIRANIM MODELIMA

U drugu tematsku kategoriju, u skladu sa podelom napravljenom za potrebe pregleda, spadaju radovi čiju okosnicu čini simulacija lanaca snabdevanja koji su prethodno modelirani Petrijevim mrežama. Po (Van Der Zee D. J. and Van Der Vorst J.2005), korišćenje simulacionih tehnika, kao što su Petrijeve mreže, u analizu lanaca snabdevanja obezbeđuje nesamo jaku konceptualnu već i jaku matematičku osnovu. U simulacijama,

čiji su opisi i ishodi prezentovani u pregledanim radovima, ciljevi su uglavnom bili testiranje i upoređivanje određenih politika naručivanja, razmatranje performansi konkretnog lanca snabdevanja uz pokušaj redukcije efekta biča, analiziranje stabilnosti lanca i predupređenje mogućih turbulencija uzrokovanih spoljnim faktorima, itd.

Počev od radova (Makajić-Nikolić et al. 2004) i (Panić et al. 2006) veliki broj autora navodi da je za simulaciju koristio alat *CPN tools*. U prvom od ova dva rada je, po ugledu na *Beer Game* (Kaminsky et al. 1998), modeliran lanac snabdevanja sa četiri učesnika u lancu: maloprodavac, veleprodavac, distributer i proizvođač, a zatim su simulacijom različitih tražnji kupaca merene performanse lanca snabdevanja, pre svega efekat biča. U drugom radu su simulirane različite strategije predviđanja tražnje: poslednji period, težinski pokretni proseci i eksponencijalno poravnanje, i za svaku od njih ispitivan efekat biča. Pokazalo se da se najbolje performanse lanca snabdevanja postižu kada se tražnja predviđa na osnovu težinskog pokretnog proseka.

Za potrebe simulacije lanaca snabdevanja, Chen et al. (2005) su nadogradili koncept determinističkih i stohastičkih Petrijevih mreža tako što su ugradili tzv. „batch“ obradu (eng. *batch processing*) i time kreirali *batch* determinističku i stohastičku Petrijevu mrežu (*BDSPN*). Pored navedenog, ne mogu se naći drugi radovi koji se bave *BDSPN*. U ovom radu se navode dve primene *BDSPN* za analizu zaliha i analizu lanaca snabdevanja. Prvi model, kontinualno pregledani sistem zaliha, evaluiran je korišćenjem odgovarajućeg kontinualnog vremenskog Markovljevog lanca (*CTMC*) zbog jednostavnosti rešavanja linearnog sistema radi određivanja verovatnoća stabilnih stanja u stohastičkim prelazima *BDSPN*. Drugi model, industrijski lanac snabdevanja, simulira tokove materijala, informacija i finansijskih sredstava unutar proizvodnog procesa, uzimajući u obzir vremena transporta i isporuke između proizvodnih procesa.

Kao jedan od karakterističnih radova ove grupe može se izdvojiti rad Papanagnou i Halikia (2006), koji razmatra slučaj serijskog decentralizovanog modela lanca snabdevanja dobijenog korišćenjem vremenskih obojenih Petrijevih mreža i analizira uticaj brojnih kontinualnih politika upravljanja zalihama i poznatih metoda predviđanja koje koriste učesnici u lancu. Lanac snabdevanja koji se sastoji od četiri čvora (proizvođač, distributer, dobavljač, maloprodavac) ima isti izgled za sve tri politike naručivanja koje su razmatrane u radu (agresivno naručivanje, pokretni prosek, eksponencijalno poravnanje). Ponašanje tražnje krajnjeg korisnika, kao poslednjeg, petog učesnika u lancu, predstavljeno je normalnom raspodelom. Nakon izvršene simulacije i analize dobijenih rezultata, autori su pokazali da metoda pokretnih proseka, pri posmatranim scenarijima, nudi najbolje mogućnosti za smanjenje efekta biča.

Tuncel i Alpan (2010) su pomoću Petrijevih modelirali lanac snabdevanja sa aspekta rizika. Prvo je modeliran lanac snabdevanja čiji su učesnici: proizvođač, dva snabdevača i jedan maloprodavac. Zatim su, na osnovu rezultata prethodno primenjene FMECA metode, u Petrijevu mrežu uključeni elementi rizika. Simulacijom tako dobijene Pretijeve mreže analizirani su uticaji različitih faktora rizika na performanse lanca snabdevanja.

U radu (Kiraly et al. 2011) predstavljen je interaktivni konfigurabilan simulator za analizu nivoa zaliha u složenim lancima snabdevanja. Ovaj novi pristup u modeliranju (*SIMWARE*) ima mogućnost simulacije složenih višeshalonskih lanaca snabdevanja u kojima se može optimizovati frekvencija transfera zaliha između pojedinačnih nivoa unutar lanca. *SIMWARE* metod se može koristiti i za minimiziranje transporta između čvorova u lancu. Koristeći *SIMWARE* program, za koji autori tvrde da ima jednostavan korisnički interfejs pomoću kojeg se lako mogu modelirati složeni lanci snabdevanja, izvršeno je modeliranje, a potom i simulacija najpre dvonivojskog, a zatim i tronivojskog lanca snabdevanja.

Softver *CPN Tools* korišćen je i u simulaciji *Last Mile* distribucionog sistema u okviru *bussines-to-customer* lanca snabdevanja (Aized and Srai 2014). Petrijeva mreža kojom je modeliran ovakav lanac snabdevanja se sastoji iz tri hijerarhijska nivoa: institucionalnog, industrijskog i nivoa kupca. Razvijeni model je korišćen za simulaciju nekoliko scenarija koji uključuju različit broj vozila i zaposlenih koji učestvuju u distribuciji. Za svaki od scenarija je mereno vreme potrebno da se izvrši kompletna distribucija.

#### 4. PRAKTIČNE PRIMENE/STUDIJE SLUČAJA

Od svih pregledanih radova, onih koji se bave praktičnim primenama je najmanje. Istraživanje ove vrste je lakšeobavitiza pojedinačne učesnike u lancu snabdevanja zato što obuhvatanje celog lanca snabdevanja zahteva pristanak i kooperaciju svih učesnika u lancu u takvoj vrsti analize.

Hanafi et al. (2008) koriste Pretijeve mreže u modeliranju logističkih strategija koje obezbeđuju najmanje troškove i najmanji ekološki uticaj u povratnim lancima snabdevanja. Autori predlažu integrisanu strategiju prikupljanja otpada koja se sastoji iz dve faze. U prvoj fazi se pomoću fazi obojenih Petrijevih mreža vrši predviđanje količine vraćenih proizvoda, a u drugoj fazi se pomoću hijerarhijskih obojenih Petrijevih mreža

simulira mreža za prikupljanje proizvoda. Predložena strategija promjenjena je na primeru prikupljanja elektronskog otpada, konkretno mobilnih telefona, u Australiji.

Lianfeng et al. (2009) nude formalizam zasnovan na Petrijevim mrežama za konfiguraciju lanca snabdevanja koja će poboljšati zadovoljenje kupaca. Obojenim Petrijevim mrežama se iz postojeće mreže lanaca snabdevanja konfiguriraju lanac snabdevanja tako da budu obuhvaćeni najvažniji aspekti: kompleksnost mreže lanaca snabdevanja, raznovrsnost zahteva kupaca i koordinacija proizvoda, procesa i logističkih odluka. Predloženi pristup je primenjen na primeru proizvođača električnih motora u Finskoj sa celom mrežom njegovih snabdevača i distributera.

Rad (Alves et al. 2011) u svom poslednjem delu daje studiju slučaja izvedenu na primeru industrije mesa u Brazilu. U skladu sa pristupom SRN predloženim u radu, formirana je odgovarajuća povratna stohastička mreža. Nakon modeliranja izvršeni su i eksperimentičiji su rezultati priloženi u radu.

Zegordi i Davarzani (2012) su za kompaniju proizvođača rezervnih automobilskih rezervnih delova iz Irana, formirali kompleksnu Petrijevu mrežu čijom simulacijom su pokazali ukupni poremećaji u lancu snabdevanja nisu prosta suma pojedinačnih poremećaja, već da se mora voditi računa o njihovom zajedničkom delovanju. Tačna ocena pojedinačnih poremećaja, koja predstavlja prilično težak zadatak, navedena je u zaključku rada kao domen za moguća buduća poboljšanja i prostor za dalje istraživanje.

Lanac snabdevanja koji se sastoji iz: kupaca, tri maloprodavca, jednog veleprodavca, dva proizvođača, četiri snabdevača materijalom i sedam distributera, modeliran je pomoću vrmenskih obojenih Petrijevih mreža u (Mazzuto et al. 2012). Svaki od učesnika se ponaša prema unapred definisanim pravilima. Na osnovu istorijskih podataka u industriji obuće, izvršena je serija simulacija da bi se utvrdilo gde se nalaze i koja su uska grla u lancu snabdevanja.

U (Pepino et al. 2012) Petrijeve mreže su korišćene za modeliranje lanca snabdevanja za centralizovano regionalno naručivanje medicinskih sredstava. Predložena Petrijeva mreža obuhvata operativne korake koje u okviru lanca snabdevanja obavlja Regionalna agencija za nabavku, a njenim simuliranjem se prate glavni kritični elementi procesa centralizovanog naručivanja. Simulacioni model koji su autori razvili preporučuju za primenu u slabo razvijenim ekonomskim regionima Italije: Laco, Kalabrija itd.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat pregled najznačajnijih radova u poslednjih deset godina koji se bave modeliranjem i analizom lanca snabdevanja pomoću Petrijevih mreža. U radovima koji su prikazani može se uočiti da su autori pristupili problemu lanca snabdevanja iz višerazličitih uglova – od pokušaja da se identifikuju, klasifikuju i evaluiraju poremećaji u lancu, preko različitih načina za modeliranje procesa snabdevanja i korišćenja različitih alata za simulaciju nekog konkretnog praktičnog problema, pa do razmatranja uticaja procesa u lancu na ekološke činioce u okruženju. U radovima u kojima su se za modeliranje lanca snabdevanja koristile Petrijeve mreže, uglavnom je pokušavano da se formiranjem gradivnih blokova proces modeliranja pojednostavi i približi menadžerima. Relativno mali broj primena u realnim sistemima je posledica toga što svaki lanac snabdevanja čini više različitih kompanija. Realizacija projekta kojim bi bio obuhvaćen ceo lanac snabdevanja bi zahtevala pristanak i koordinaciju svih kompanija učesnica u lancu.

Radovi koji su ovde predstavljeni odabrani su tako da, s jedne strane, pokrivaju sve najvažnije aspekte primene Petrijevih mreža na lance snabdevanja opisujući ih i objašnjavajući, a s druge strane, s obzirom da su u pitanju relativno novi radovi, pruže uvid o trenutnom stanju u ovoj oblasti kao i o novim pristupima i idejama. Citiranost navedenih radova se kreće od jednocifrenog broja citata do oko 100 citata (radovi pod rednim brojevima 6, 11 i 19 u spisku literature). Ovaj nivo citiranosti ukazuje na to da se posmatranom problematikom bavi ograničen broj autora. Međutim, časopisi u kojima su radovi publikovani, kao i činjenica da se u posmatranom periodu svake godine pojavio bar jedan značajan rad, ukazuje na konstantno interesovanje i veliki prostor za dalja istraživanja u oblasti primene Petrijevih mreža u analizi različitih fenomena u lancima snabdevanja.

## LITERATURA

- [1] Aized, T. & Srail, J.S. (2014). Hierarchical modelling of Last Mile logistic distribution system, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70:1053–1061
- [2] Alves, Jr. G., Maciel, P., Lima, R. & Magnani, F. (2011). Business and Environment Performance Evaluation in Supply Chains: A Formal Model-Driven Approach, *Supply Chain Management - Applications and Simulations*, Prof. Dr. Md. Mamun Habib (Ed.), InTech

- [3] Chen, H., Amodeo, L., Chu, F. & Labadi, K. (2005). Modeling and performance evaluation of supply chains using batch deterministic and stochastic Petri nets, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*
- [4] Drzymalski, J. & Odrey, N. G. (2011). Framework for a synchronized supply chain, *International journal of Applied Science And Technology*, Vol 1, No 6, 9-20
- [5] Hanafi, J., Kara, S. & Kaebnick, H. (2008). Reverse logistics strategies for end-of-life products, *The International Journal of Logistics Management* Vol. 19 No. 3, 2008 pp. 367-388
- [6] Jansen-Vullers, M. & Netjes, M. (2006). Business process simulation – a tool survey , *Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools*, Aarhus, Denmark
- [7] Jensen, K. & Kristensen, L.M. (2009). *Coloured Petri Nets. Modelling and Validation of Concurrent Systems*. Springer. Heidelberg
- [8] Kaminsky, P., Simchi-Levi, D., Lee, H. & Ming, Ng Shu. (1998). A new computerized beer game: A tool for teaching the value of integrated supply chain management. *Global Supply Chain and Technology Management 216–225 POMS Series in Technology and Operations Management*, Available at: <http://www.feg.unesp.br/~fmarins/log/computerized%20beer%20game/beer%20game%201.pdf>
- [9] Kiraly, A., Belvardy, G. & Abonyi, J. (2011). Determining optimal stock level in multi-eschalon supply chains, *Hungarian journal of industrial chemistry Veszprem*, vol 39 (1)
- [10] Lianfeng, Z., Xiao, Y., Jianxin, J. & Petri, H. (2009). Supply chain configuration with co-ordinated product, process and logistics decisions: an approach based on Petri nets. *International Journal of Production Research*, 47(23), 6681–6706
- [11] Liu, R., Kumar, A. & Van der Aalst, W. (2007). A Formal modeling approach for supply chain event management, *Decision support systems* 43, 761-778
- [12] Liu, Y., Fang, S., Fang, Z. & Hipel, K. W. (2012). Petri net model for supply-chain quality conflict resolution of complex product, *Kybernetes*, Vol. 41, No 7/8
- [13] Makajic-Nikolic, D., Panic, B. & Vujosevic, M. (2004). Bullwhip Effect and Supply Chain Modelling and Analysis using CPN Tools, *Proceedings of the Fifth Workshop and Tutorial on Practical Use of Coloured Petri Nets and the CPN Tools (PB-570)*, pages 219–234, Department of Computer Science, University of Aarhus
- [14] Mazzuto, G., Bevilacqua, M. & Ciarapica, F. E. (2012). Supply chain modelling and managing, using timed coloured Petri nets: a case study, *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 16, 4718–4733
- [15] Netjes, M., Van der Aalst, W. & Reijers, H.A. (2005). Analysis of Resource-Constrained Processes with Colored Petri Nets, *Proceedings of the Sixth Workshop on the Practical Use of Coloured Petri Nets and CPN Tools (CPN 2005)*, volume 576 of DAIMI, pages 251–266, Aarhus, Denmark
- [16] Panic, B., Vujosevic, M. & Makajić-Nikolic, D. (2006). A Supply Chain Simulation Model Based on Hierarchical Coloured Petri Net, *International Scientific Days*, Nitra
- [17] Papanagnou, C. I., Halikia, G. D. (2006). Analysing Different Ordering Policies in a Series Supply Chain by Using Coloured Petri Nets, *20th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS*
- [18] Pepino, A., Rovani, M., Torri, A. & Sansone, M. (2012). Supply Chain for Regional Centralized Purchasing: An Application Model, *Intelligent Information Management*, Vol 04, Iss 05, Pp 269-276
- [19] Tuncel, G. & Alpan, G. (2010). Risk assessment and management for supply chain networks: A case study, *Computers in Industry*, Vol 61, 250–259
- [20] Van Der Zee, D. J. & Van Der Vorst, J. (2005). A Modeling Framework for Supply Chain Simulation: Opportunities for Improved Decision Making, *Decision Sciences*, Vol. 36, Issue 1, 65–95
- [21] Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L. & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69:427–437
- [22] Zegordi, S. H. & Davarzani, H. (2012). Developing a supply chain disruption analysis model: Application of colored Petri-nets, *Expert Systems with Applications*, 39 (2), 2102-2111
- [23] Zhang, H. & Cheng, N. (2014). Risk Modelling of Retail Supply Chain based on Fuzzy Petri Nets, *Information Technology Journal*, Vol 13, Iss 11, 1813-1818



## **UNAKRSNA EFIKASNOST U POSTUPKU IZBORA TEHNOLOGIJE OBRAD RASUTOG TERETA NA REČNOM PRISTANIŠTU**

### **CROSS EFFICIENCY APPROACH TO CHOOSING TECHNOLOGY FOR BULK CARGO HANDLING AT RIVER PORT**

DANIJELA PJEVČEVIĆ<sup>1</sup>, KATARINA VUKADINOVIĆ<sup>1</sup>, BRANKA DIMITRIJEVIĆ<sup>1</sup>, IVANA VUKIĆEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {daniijela, k.vukadinovic, b.dimitrijevic, i.vukicevic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je prikazan proces odlučivanja primenom analize obavijanja podataka (DEA - Data Envelopment Analysis) u cilju određivanja najefikasnije tehnologije obrade veštačkog đubriva na višenamenskom terminalu u Luci „Dunav“ Pančevo. Broj angažovanih radnika i broj dizalica na operativnoj obali predstavljaju ulazne promenljive, dok su iskorišćenost pakerica i srednje vreme obrade potiskivanih sastava izlazne promenljive. Vrednosti ulaznih i izlaznih promenljivih korišćenih u DEA modelu, dobijene su kao rezultat izvršenih simulacija više varijanti obrade veštačkog đubriva na višenamenskom terminalu.

**Ključne reči:** Analiza obavijanja podataka, Unakrsna efikasnost, Obrada rasutih tereta u rečnoj luci, Simulacija

**Abstract:** This paper presents a decision making approach based on Data Envelopment Analysis (DEA) for determining an efficient bulk cargo handling technology at Port Dunav Pancevo. The numbers of workers and portal cranes are considered as the input variables. Utilization of fertilizer packaging machines and mean service time of pushed convoys of barges are considered as the output variables. In order to plan fertilizers handling technology, simulation models were developed. Simulation results are used as inputs to basic DEA model.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, Cross efficiency, Bulk cargo handling at river port, Simulation

## **1. UVOD**

Cilj rada je analiza obrade veštačkog đubriva na višenamenskom terminalu u Luci „Dunav“ Pančevo i formulisanje predloga odabirom varijante koja ima najveću efikasnost u postojećim uslovima.

Predložene su tri varijante obrade veštačkog đubriva, koje bi se svakodnevno dopremalo potiskivanim sastavima iz Ukrajine do Luke "Dunav" Pančevo. U okviru varijanti razmatrane su podvarijante, menjanjem učesnika u tehnološkom procesu (liniji) obrade veštačkog đubriva. Za svaku od podvarijanti razvijen je simulacioni model. Rezultati simulacionih modela korišćeni su kao vrednosti ulazno/izlaznih promenljivih za primenu DEA metode (Data Envelopment Analysis; Analiza obavijanja podataka).

DEA metoda pruža mogućnost sagledavanja efikasnosti predloženih varijanti i njihovih podvarijanti obrade rasutog tereta, uključujući angažovanu radnu snagu, iskorišćenost mehanizacije i srednje vreme obrade jednog potiskivanog sastava. Primenjen je najpre osnovni CCR DEA model (Dobio je naziv po autorima: Charnes, Cooper i Rhodes), a zatim i matrica unakrsne efikasnosti (Cross efficiency matrix).

## **2. PREDLOG VARIJANTI OBRAD RASUTOG TERETA U LUCI "DUNAV" PANČEVO**

Razmatraju se tri varijante obrade veštačkog đubriva u Luci "Dunav" Pančevo:

**Prva varijanta:** Planirano je da se veštačko đubrivo, dopremljeno rečnim potiskivanim sastavima, direktno pretovara dizalicama u bunker pakerice na operativnoj obali. Upakovane vreće se ručno utovaraju na kamion i transportuju do zatvorenog skladišta. Unutar skladišta kamion se istovara i ponovo se vraća do operativne obale na utovar. U skladištu se nastavlja sa obradom robe koja se paletizuje radi dalje distribucije. Upakovano đubrivo se slaže na palete, a onda se viljuškarem, prema trenutnim zahtevima, ili utovara u kamion spoljnog transporta ili odlaže u skladište.



**Druga varijanta:** Ova varijanta pretovara i obrade veštačkog đubriva obuhvata direktan pretovar dizalicom na kamione–kipere na operativnoj obali, a zatim transport do zatvorenog skladišta, preko vage za merenje drumskih vozila. Unutar skladišta kamion se istovara na deponiju i vraća do operativne obale na utovar, sa svraćanjem na vagu radi ponovnog merenja. U skladištu se nastavlja sa daljom obradom robe koja se utovarivačem utovara u pakericu. Upakovano đubrivo se slaže na palete, a onda se viljuškarem, prema trenutnim zahtevima, ili utovara u kamione spoljnog transporta ili odlaže u skladište.

**Treća varijanta:** Ova varijanta podrazumeva direktan pretovar veštačkog đubriva dizalicom na trakasti transporter na operativnoj obali, kao sredstvo kontinualnog transporta. Trakastim transporterom teret se u rasutom stanju prebacuje u zatvoreno skladište i to direktno u bunker pakerice. Đubrivo se pakuje u plastične vreće, koje se zatim prebacuju na palete i dalje se viljuškarem pretovaraju u kamione ili pak odlažu u skladište, u skladu sa trenutnim zahtevima.

U radu (Pjevčević i dr., 2006, Pjevčević, 2007) su razvijeni simulacioni modeli za svaku od varijanti sa angažovanjem različitog broja radnika, kamiona, dizalica na operativnoj obali i pakerica. Razmatrana je obrada veštačkog đubriva pri angažovanju 2, 3, 4 ili 5 kamiona, jedne ili dve dizalice i dve pakerice.

Cilj razvoja simulacionih modela jeste praćenje uticaja načina obrade veštačkog đubriva na vrednosti pokazatelja rada terminala. Dobijeni rezultati simulacije korišćeni su za analizu efikasnosti predloženih varijanti, korišćenjem CCR DEA modela.

### 3.RAZVOJ SIMULACIONIH MODELA

U radu je korišćen programski paket "Flexsim".

Na osnovu tehničko-eksploatacionih karakteristika elemenata koji učestvuju u procesu pretovara i prevoza, izračunato je vreme utovara kamiona i ukupno vreme putovanja kamiona. Pored izračunatih vrednosti, kao polazne pretpostavke za početni simulacioni eksperiment, korišćeni su sledeći podaci:

- Vreme između uzastopnih nailazaka potiskivanih sastava može se opisati Normalnom raspodelom ( $\mu = 3$  dana,  $\sigma = 1$  dan);
- Vreme pretovara dizalice opisuje se Normalnom raspodelom ( $\mu = 360$  s,  $\sigma = 60$  s);
- Vreme pakovanja jedne vreće opisuje se Normalnom raspodelom ( $\mu = 3$  s,  $\sigma = 1$  s);
- Brzina trakastog transportera,  $v = 3$  m/s.
- Srednja brzina kojom se kreću kamioni  $v = 15$  km/h.
- Puni kamioni svraćaju na merenje na jednu vagu, a prazni na drugu.

U cilju analize i izbora predloženih varijanti tehnologija obrade veštačkog đubriva, definisani su i analizirani sledeći pokazatelji:

- **Vreme obrade tereta:** vreme koje protekne od trenutka kada počne istovar tereta iz plovila do trenutka kada je poslednja količina tereta, pristigla tog dana, prevezena do skladišta.
- **Vreme čekanja:** prosečno vreme koje brod utroši u Luci do dolaska na pristajalište gde se predviđa njegova obrada.
- **Iskorišćenost dizalice:** odnos vremena efektivnog rada dizalice i ukupnog vremena posmatranja rada sistema.
- **Iskorišćenost pakerice:** odnos vremena efektivnog rada pakerice i ukupnog vremena posmatranja rada sistema.

U ovom radu je posmatran simulacioni period od 90 dana, jer je na osnovu simulacionih eksperimenata ustanovljeno da se modelirani sistem u tom trenutku nalazi u stacionarnom režimu.

U zavisnosti od predviđenog scenarija obrade veštačkog đubriva na višenamenskom terminalu dobijaju se različite vrednosti posmatranih pokazatelja (Tabela 1). Kao pomoć lučkom menadžmentu pri odlučivanju o načinu organizacije pretovara i pakovanja veštačkog đubriva može se koristiti DEA metoda, primenjena na rezultate dobijene simulacionim eksperimentima.



**Tabela 1.** Prikaz simulacionih rezultata za sve tri varijante

Varijante	Broj dizalice	Broj kamiona	Broj radnika	Srednje vreme obrade sastava (dani)	Broj obrađenih sastava	Prosečno vreme čekanja sastava na obradu (dani)	Iskorišćenost I dizalice	Iskorišćenost II dizalice	Iskorišćenost I pakerice	Iskorišćenost II pakerice
I	1	2	30	5,6	16	13,6	0,91		0,38	0,38
	1	3	32	5,3	17	10,6	1		0,42	0,42
	1	4	34	5,3	17	10,6	1		0,42	0,42
	1	5	36	5,3	17	10,6	1		0,42	0,42
	2	2	32	5,6	16	12,6	0,53	0,41	0,39	0,39
	2	3	34	3,9	23	0,54	0,73	0,60	0,55	0,55
	2	4	36	3,9	23	0	0,71	0,63	0,56	0,55
	2	5	38	3,9	23	0	0,70	0,64	0,56	0,56
II	1	2	34	7,2	13	20,5	0,77		0,52	0,52
	1	3	36	5,6	17	9,9	0,96		0,61	0,61
	1	4	38	5,6	17	9,6	0,99		0,63	0,63
	1	5	40	5,3	17	8,6	0,99		0,64	0,64
	2	2	36	6,4	14	17,9	0,52	0,32	0,53	0,53
	2	3	38	4,3	21	1,6	0,72	0,54	0,65	0,65
	2	4	40	4,1	22	0,2	0,67	0,69	0,66	0,66
	2	5	42	3,9	23	0	0,69	0,69	0,67	0,66
III	1	0	32	5,3	17	7,9	1,00		0,42	0,41
	2	0	34	4,7	19	5,1	0,67	0,49	0,49	0,49

#### 4. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA

Analiza obavljanja podataka ("Data Envelopment Analysis" – DEA) je tehnika matematičkog programiranja koja se koristi za određivanje relativne efikasnosti organizacija koje imaju više raznorodnih ulaza i koriste ih za stvaranje više raznorodnih izlaza.

Organizacija čiju efikasnost treba proceniti u terminologiji DEA naziva se jedinica o kojoj se odlučuje ili jedinica odlučivanja ("Decision Making Unit" – DMU) (Ertay and Raun, 2005).

Tvorci DEA, Charnes, Cooper, i Rhodes su predložili neparametarski pristup za izračunavanje efikasnosti, tako što su višestruke ulaze sveli na jedan "virtuelni" ulaz i višestruke izlaze sveli na jedan "virtuelni" izlaz koristeći težinske koeficijente. Problem dodeljivanja težinskih koeficijenata su rešili tako što su svakoj jedinici dopustili da odredi sopstvene težinske koeficijente sa ciljem da joj se maksimizira efikasnost (odnos težinske sume vrednosti njenih izlaznih i ulaznih promenljivih), uz ograničenje da težinski koeficijenti moraju biti pozitivne vrednosti i da količnik virtualnog izlaza i virtualnog ulaza svake jedinice ne može biti veći od 1. Ovaj problem su postavili kao zadatak linearnog programiranja koji je poznat kao "CCR ratio model" (Ertay and Raun, 2005).

DEA model je formulisan u vidu sledećeg zadatka:

$$Max h_k(u, v) = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad (1)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$u_r \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$v_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

gde su:

$h_k$  – relativna efikasnost  $k$  – te DMU;  $n$  – broj DMU koje treba porediti;  $m$  – broj ulaznih promenljivih;  $v_i$  – težinski koeficijent ulazne promenljive  $i$  ( $i=1, \dots, m$ );  $s$  – broj izlaznih promenljivih;  $u_r$  – težinski koeficijent izlazne promenljive  $r$  ( $r=1, \dots, s$ ).

Ako je vrednost  $h_k$  u funkciji cilja (1) jednaka 1, onda je  $k$  – ta DMU relativno efikasna, a ako je manja od 1, onda je relativno neefikasna i vrednost  $h_k$  pokazuje za koliko procentualno ova jedinica treba da smanji svoje ulaze. Posmatrana DMU se može smatrati potpuno efikasnom ako i samo ako, dostignuća drugih DMU ne obezbeđuju dokaz da bi se neki od njenih ulaza ili izlaza mogao poboljšati bez pogoršavanja nekog od njenih preostalih ulaza ili izlaza.

Može se reći da je određivanje efikasnosti na ovaj način praćeno velikom fleksibilnošću težinskih koeficijenata. To može imati kao rezultat efikasnost određene DMU zasnovanu na nerealnom skupu težinskih koeficijenata. DMU sa ekstremnim težinama imaju potencijala da postanu „lažno pozitivni“ kandidati. Kod lažno pozitivnog kandidata, težine pojedinih ulaza ili izlaza ga čine efikasnijim u odnosu na druge kandidate. Proces razdvajanja „pogrešno pozitivnih kandidata“ od „istinito efikasnih kandidata“ vrši se pomoću „unakrsne efikasnosti“.

Unakrsna efikasnost se veoma često računa u dve faze. Prva faza se zasniva na proračunu efikasnosti DMU i njihovih optimalnih težina primenom formulacije (1-4). U drugoj fazi, za svaku efikasnu DMU, računa se efikasnost ostalih efikasnih jedinica sa optimalnim vrednostima težinskih koeficijenata posmatrane efikasne DMU. Odnosno, matrica unakrsne efikasnosti je dimenzija  $q \times q$  ( $q$  – broj efikasnih DMU) u kojoj vrednost u polju ( $p, j$ ),  $p=1, \dots, q, j=1, \dots, q$ , predstavlja relativnu efikasnost jedinice  $j$  sa optimalnim vrednostima težinskih koeficijenata ciljne jedinice  $p$  (Savić, Martić, 2009).

Ukrštena efikasnost  $\theta_{pj}$  je rezultat efikasnosti  $j$ -te DMU sa optimalnim vrednostima težinskih koeficijenata  $p$ -te DMU:

$$\theta_{pj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rp} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ip} x_{ij}}, \quad p, j = 1, \dots, q \quad (5)$$

Za svaku kolonu (DMU) može se izračunati srednja vrednost efikasnosti koja pokazuje kako je ta jedinica procenjena od strane preostalih jedinica.

$$E_k = \sum_{j=1}^q \theta_{jk} / q, \quad k = 1, \dots, q \quad (6)$$

Na osnovu ovih srednjih vrednosti moguće je rangirati posmatrane DMU. Relativno efikasna jedinica koja ima najveću srednju vrednost efikasnosti je primer dobre operativne prakse za druge jedinice, jer je i sa različitim kombinacijama vrednosti težinskih koeficijenata uvek dobro procenjena. Jedinice koje imaju malu srednju vrednost efikasnosti su dobro procenjene samo sa vrednostima težinskih koeficijenata koje njima najviše odgovaraju i njihove težinske strukture se razlikuju u odnosu na većinu preostalih jedinica. Za njihovu ocenu efikasnosti se ne može reći da je stabilna i one ne mogu biti primer dobre operativne prakse (Savić, Martić, 2009).

## 5. ODREĐIVANJE VARIJANTE OBRADJE RASUTOG TERETA

U ovom radu DEA metoda je primenjena na podatke iz Tabele 1.

Ulazne promenljive su broj angažovanih radnika i broj angažovanih dizalica a izlazne promenljive su srednje vreme obrade sastava i srednja iskorišćenost pakerica.

Kako srednje vreme obrade potiskivanih sastava treba da bude što manje, u ovom modelu je korišćeno kao izlaz nakon transformacije (Ertay and Raun, 2005). Odnosno, od najvećeg srednjeg vremena obrade oduzimaju se ostala srednja vremena obrade i ta razlika predstavlja izlaznu promenljivu koju treba maksimizirati.

Izlazni rezultati efikasnosti su prikazani u Tabeli 2. Dobijeni rezultati analize efikasnosti predloženih scenaria obrade veštačkog đubriva na višenamenskom terminalu Luke „Dunav“ Pančevo ukazuju na veliki broj efikasnih jedinica.

Tabela 2. Rezultati efikasnosti

Jedinica	Efikasnost
DMU1	0.878
DMU2	0.997
DMU3	0.997
DMU4	<b>1.000</b>
DMU5	0.713
DMU6	<b>1.000</b>
DMU7	0.992
DMU8	0.984
DMU9	0.902
DMU10	<b>1.000</b>
DMU11	<b>1.000</b>
DMU12	<b>1.000</b>
DMU13	0.861
DMU14	<b>1.000</b>
DMU15	<b>1.000</b>
DMU16	0.998
DMU17	<b>1.000</b>
DMU18	0.864

Od posmatranih osamnaest jedinica čak osam DMU je efikasno. Njihova efikasnost je jednaka jedinici i kao takve ne mogu se rangirati. Upravo iz tog razloga računate su vrednosti u matrici unakrsne efikasnosti (5). Dobijene vrednosti unakrsne efikasnosti prikazane su u Tabeli 3. Ove vrednosti ukazuju na stabilnost efikasnosti posmatrane DMU kada se njenim ulaznim i izlaznim promenljivim dodele težinski koeficijenti ostalih efikasnih jedinica, pojedinačno.

Na primer, vrednost u trećoj koloni i trećoj vrsti iznosi 0.943. Ona ukazuje kako se DMU 10 ponaša sa težinskim koeficijentima ulaznih i izlaznih promenljivih DMU 6.

Tabela 3. Rezultati unakrsne efikasnosti

DMU	4	6	10	11	12	14	15	17
4	1.000	0.819	1.000	0.957	0.695	0.776	0.848	1.001
6	0.548	1.000	0.467	0.404	0.209	0.796	0.850	0.619
10	0.688	0.943	1.000	0.979	0.945	1.000	0.951	0.755
11	0.690	0.656	1.000	1.000	0.986	0.740	0.724	0.721
12	0.677	0.523	0.983	0.999	1.000	0.607	0.601	0.683
14	0.684	1.000	0.921	0.889	0.818	1.000	0.972	0.755
15	0.754	1.000	0.982	0.948	0.857	1.000	1.000	0.823
17	0.983	1.031	1.000	0.965	0.722	0.963	1.000	1.000
<b>Srednja efikasnost</b>	<b>0.753</b>	<b>0.872</b>	<b>0.923</b>	<b>0.893</b>	<b>0.779</b>	<b>0.860</b>	<b>0.872</b>	<b>0.795</b>

Srednja efikasnost (6) pruža mogućnost rangiranja posmatranih efikasnih jedinica. DMU 10 ima najveću vrednost srednje efikasnosti, pa se kao takva izdvaja kao najbolja. Može se još reći da DMU 10 predstavlja jedinicu čiji su težinski koeficijenti dobro procenjeni. Možemo zaključiti da se sledeći scenario obrade izdvaja kao najefikasniji: *Đubrivo dopremljeno sastavom potisnica do Luke „Dunav“ Pančevo, pretovara se na operativnoj obali jednom portalnom dizalicom u tri kamiona kipera kojima se prevozi do skladišta gde se*

vrši njegovo pakovanje u vreće pomoću dve pakerice. Dakle, za izloženi scenario, potrebno je angažovati jednu dizalicu, dve pakerice, tri kamiona kiperi i ukupno trideset šestoro zaposlenih.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu su korišćeni simulacioni rezultati pri analizi efikasnosti planiranih varijanti obrade veštačkog đubriva u Luci "Dunav" Pančevo primenom DEA metode.

Posmatrano je osamnaest scenaria obrade veštačkog đubriva, pri čemu svaki od njih predstavlja jednu jedinicu odlučivanja. U prvoj fazi je primenjen osnovni CCR DEA model za određivanje efikasnosti posmatranih DMU, nakon čega je u drugoj fazi, na efikasne jedinice primenjena matrica unakrsne efikasnosti. Na osnovu matrice unakrsne efikasnosti, može se reći da varijanta označena kao DMU 10 predstavlja jedinicu čiji su težinski koeficijenti dobro procenjeni, odnosno u rangju efikasnih jedinica zauzima prvo mesto.

Imajući u vidu da izbor ulaznih i izlaznih promenljivih čini izuzetno važan korak u primeni DEA metode, analiza rešenja na njihove promene predstavlja jedan od pravaca budućeg istraživanja. Takođe, primena višekriterijumske analize u rešavanju ovog problema, kako kroz vizuru uprave luke, tako i sa aspekta korisnika, i iznalaženje kompromisnog rešenja, predstavlja drugi pravac budućeg istraživanja u izboru tehnološkog rešenja obrade rasutog tereta na rečnom pristaništu.

## LITERATURA

- [1] Ertay, T., and Raun, D. (2005). *Data envelopment analysis based decision model for optimal operator allocation in CMS*, European Journal of Operational Research, 164, 800-810.
- [2] Martić, M. (1999). *Analiza obavijenih podataka sa primenama*, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [3] Pjevčević, D, Drenovac, D., Vukadinović, K. (2006). *Simulacioni model za planiranje obrade rasutog tereta u Luci "Dunav" Pančevo*, Zbornik radova XXXIII simpozijuma o operacionim istraživanjima SYMOPIS, 3-6. oktobar, Banja Koviljača, 445-449.
- [4] Pjevčević D., (2007) *Prilog određivanju propusne sposobnosti lučkog terminala za rasute terete*, Magistarska teza, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [5] Savić, G., Martić, M. (2009). *Merenje efikasnosti poslovnih sistema - osnovni modeli i procedura primene DEA*, Beograd.



## KOMBINOVANI FAZI AHP-TOPSIS MODEL ZA VREDNOVANJE KONCEPCIJA REGIONALNE LOGISTIKE

### COMBINED FUZZY AHP-TOPSIS MODEL FOR REGIONAL LOGISTICS CONCEPTIONS EVALUATION

SNEŽANA TADIĆ<sup>1</sup>, SLOBODAN ZEČEVIĆ<sup>1</sup>, MLADEN KRSTIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, Beograd, {s.tadic, s.zecevic, m.krstic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je predložen kombinovani fazi AHP-TOPSIS model višekriterijumskog odlučivanja (VKO) koji pruža podršku donosiocima odluka prilikom rešavanja kompleksnih problema. Primenljivost modela je demonstrirana rešavanjem problema izbora koncepcije regionalne logistike u gravitacionoj zoni Luke Bar. Koncepcije su definisane u skladu sa trendovima, planovima i strategijama razvoja privrednog sistema posmatranog područja. Kako izbor koncepcije utiče na celokupan privredni razvoj i ekologiju regiona, u postupak vrednovanja neophodno je uključiti veliki broj kriterijuma. Težine kriterijuma dobijene su primenom fazi AHP metode, a konačno rangiranje koncepcija, primenom TOPSIS metode. Predloženi model se pokazao efikasnim u rešavanju definisanog problema.

**Ključne reči:** Vrednovanje, Fazi AHP, TOPSIS, Koncepcija regionalne logistike.

**Abstract:** The paper proposes a combined fuzzy AHP-TOPSIS multi-criteria decision-making (MCDM) model, which provides support to decision makers in solving complex problem. The applicability of the model is demonstrated by solving the problem of selecting the conception of regional logistics in the Port of Bar catchment area. Conceptions are defined in accordance with the trends, plans and strategies for the development of the economic system of the observed area. As the concept selection affects the overall economic development and ecology of the region, the evaluation procedure needs to include a large number of criteria. The weights of criteria are obtained by applying fuzzy AHP method, and final ranking of concepts by applying TOPSIS method. The proposed model proved to be efficient in addressing the defined problem.

**Keywords:** Evaluation, Fuzzy AHP, TOPSIS, Regional logistics conception.

## 1. UVOD

Višekriterijumsko odlučivanje (VKO) je oblast koja se ubrzano razvija. Metode VKO se koriste za rešavanje problema iz različitih oblasti. Sa druge strane, logistika i intermodalni transport se odavno smatraju osnovnim faktorima privrednog razvoja, prostornog povezivanja i tržišnih integracija pa privlače sve veću pažnju stručne javnosti. Zbog velikog broja učesnika i konfliktnih zahteva, ali i uticaja na okruženje, donošenje odluke u oblasti logistike i intermodalnog transporta zahteva razmatranje velikog broja kriterijuma i primenu metoda VKO. U literaturi postoje različiti primeri problema logistike koji su rešavani primenom metoda VKO, samostalno ili u kombinaciji, u konvencionalnom obliku ili u fazi okruženju.

U ovom radu je za rešavanje problema VKO predložen model koji kombinuje AHP u fazi okruženju (FAHP) i TOPSIS u konvencionalnom obliku. AHP metoda je jednostavna za primenu i, zahvaljujući hijerarhijskoj strukturi, lako se može prilagoditi problemima različitih dimenzija. Pored toga, metoda dozvoljava uključivanje kvalitativnih i kvantitativnih kriterijuma, ali nije u mogućnosti da oslika dvosmislenost i nejasnoće u razmišljanju donosioca odluka. Zbog toga je razvijena FAHP metoda (Van Laarhoven & Pedrycz, 1983) kao fazi proširenje AHP metode. S obzirom da AHP metoda može biti problematična po pitanju predstavljanja zavisnosti između kriterijuma i alternativa, za dobijanje konačnog poretka alternativa u ovom radu korišćena je TOPSIS metoda. TOPSIS metoda određuje idealno i antiidealno rešenje i vrši rangiranje alternativa u odnosu na rastojanja svake alternative od ovih rešenja. Primenljivost predloženog modela je demonstrirana na primeru vrednovanja koncepcija razvoja logističkog sistema Crne Gore.

## 2. KOMBINOVANI FAZI AHP-TOPSIS MODEL

Model VKO predložen u ovom radu se sastoji iz dva dela. Prvi deo čini FAHP metoda u kojoj prvi korak podrazumeva formiranje hijerarhijske strukture problema koji se rešava. Hijerarhija ima najmanje tri nivoa, krajnji cilj na vrhu, određeni broj kriterijuma i same alternative na dnu (Saaty, 1980). Za ovako postavljen problem vrši se analiza u cilju utvrđivanja relativnih težina kriterijuma na svakom hijerarhijskom nivou i vrednosti alternativa, koncepcija, u odnosu na kriterijume. Analiza podrazumeva poređenje svih parova kriterijuma i poređenje svih parova koncepcija, u odnosu na kriterijume. Za poređenje je korišćena lingvistička skala koja se može pretvoriti u trouglaste fazi brojeve prikazane u tabeli 1. U drugom delu modela, za formiranje konačnog ranga koncepcija korišćena je TOPSIS metoda (Hwang & Yoon, 1981). Prema ovoj metodi najbolja je alternativa koja ima najkraće rastojanje od idealnog rešenja i najveće od antiidealnog rešenja.

**Tabela 1:** Definicije i funkcije pripadnosti fazi skale za poređenje kriterijuma/koncepcija

Lingvistički izraz	Fazi funkcija pripadnosti
Apsolutno značajniji/bolja (AZ/B)	(8, 9, 10)
Veoma značajniji/bolja (VZ/B)	(7, 8, 9)
Jako značajniji/bolja (JZ/B)	(6, 7, 8)
Dosta značajniji/bolja (DZ/B)	(5, 6, 7)
Prilično značajniji/bolja (PR/B)	(4, 5, 6)
Osrednje značajniji/bolja (OZ/B)	(3, 4, 5)
Umereno značajniji/bolja (UZ/B)	(2, 3, 4)
Slabo značajniji/bolja (SZ/B)	(1, 2, 3)
Podjednako značajni/dobre (PZ/D)	(1, 1, 2)

Za rešavanje FAHP metode razvijeni su različiti postupci, a u ovom radu je korišćen metod logaritamskog fazi programiranja prioriteta (LFPP, logarithmic fuzzy preference programming) koju su razvili Wang & Chin (2011) proširivanjem metode FPP (fuzzy preference programming) koju je razvio Mikhailov (2003).

FPP metoda počinje formiranjem fazi matrice poređenja ( $\tilde{A}$ ) čiji elementi predstavljaju trouglaste fazi ocene  $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  poređenja elementa  $i$  u odnosu na element  $j$ . Wang i Chin u LFPP metodi uzimaju logaritamsku vrednost fazi ocene  $\tilde{a}_{ij}$  iz matrice  $\tilde{A}$  koju aproksimiraju sledećom jednačinom:

$$\ln \tilde{a}_{ij} \approx (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

odnosno, logaritam trouglastih fazi ocena  $\tilde{a}_{ij}$  posmatraju kao aproksimiran trouglasti fazi broj čija se funkcija pripadnosti može definisati kao:

$$\mu_{ij} \left( \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \right) = \begin{cases} \frac{\ln(w_i / w_j) - \ln l_{ij}}{\ln m_{ij} - \ln l_{ij}}, & \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \leq \ln m_{ij}, \\ \frac{\ln u_{ij} - \ln(w_i / w_j)}{\ln u_{ij} - \ln m_{ij}}, & \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \geq \ln m_{ij}, \end{cases} \quad (2)$$

gde je  $\mu_{ij}(\ln(w_i / w_j))$  stepen pripadnosti vrednosti  $\ln(w_i / w_j)$  koja pripada aproksimiranoj trouglastoj fazi

oceni  $\ln \tilde{a}_{ij} = (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij})$ , a  $w_i$  su *crisp* vrednosti vektora prioriteta  $W = (w_1, \dots, w_n)^T > 0$  i važi  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Potrebno je pronaći *crisp* vektor prioriteta tako da se minimizira stepen pripadnosti  $\lambda = \min \{ \mu_{ij}(\ln(w_i / w_j)) \mid i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \}$ . Rezultujući model se može konstruisati na sledeći način:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \mu_{ij}(\ln(w_i / w_j)) \geq \lambda, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

ili

$$\begin{aligned} & \text{Max } 1 - \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) \geq \ln l_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) \geq -\ln u_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Da bi se izbeglo da stepen pripadnosti  $\lambda$  dobije negativnu vrednost uvedene su nenegativne promenljive devijacije  $\delta_{ij}$  i  $\eta_{ij}$  za  $i=1, \dots, n-1$  i  $j=1, \dots, n$  tako da su ispunjene sledeće nejednakosti:

$$\begin{aligned} \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \delta_{ij} &\geq \ln l_{ij}, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \\ -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} &\geq -\ln u_{ij}, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n. \end{aligned}$$

Poželjno je da vrednosti promenljivih devijacija budu što manje. U skladu sa navedenim predložen je LFPP nelinearni model prioriteta za dobijanje težina preko fazi AHP-a:

$$\begin{aligned} \text{Min } J &= (1-\lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2) \\ \text{s.t. } \begin{cases} x_i - x_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \delta_{ij} &\geq \ln l_{ij}, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \\ -x_i + x_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} &\geq -\ln u_{ij}, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \\ \lambda, x_i &\geq 0, i=1, \dots, n, \\ \delta_{ij}, \eta_{ij} &\geq 0, i=1, \dots, n-1; j=i+1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

gde je  $x_i = \ln w_i$  za  $i=1, \dots, n$ , a  $M$  je konstanta dovoljno velike vrednosti kao što je  $M=10^3$ .

Neka je  $x_i^*$  ( $i=1, \dots, n$ ) optimalno rešenje modela (5). Normalizovane vrednosti kriterijuma za fazi matricu poređenja  $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$  se dobijaju na sledeći način:

$$w_i^* = \frac{\exp(x_i^*)}{\sum_{j=1}^n \exp(x_j^*)}, i=1, \dots, n, \quad (6)$$

gde je  $\exp()$  eksponencijalna funkcija, odnosno,  $\exp(x_i^*) = e^{x_i^*}$  za  $i=1, \dots, n$ .

Konačan poredak koncepcija dobijen je primenom TOPSIS metode (Hwang & Yoon, 1981). Najpre se formira normalizovana matrica odlučivanja, normalizacijom vrednosti preferencija koncepcija u odnosu na kriterijume (Tabela 4) primenom jednačine:

$$r_{ki} = \frac{x_{ki}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{ki}^2}}, k=1, \dots, m; i=1, \dots, n. \quad (7)$$

gde je  $x_{ki}$  vrednost preferencije koncepcije  $k$  u odnosu na kriterijum  $i$ .

U narednom koraku se formira otežana normalizovana matrica odlučivanja množenjem svake kolone normalizovane matrice odgovarajućim težinama kriterijuma. Vrednosti elemenata matrice dobijaju se na sledeći način:

$$v_{ki} = w_i r_{ki}, k=1, \dots, m; i=1, \dots, n. \quad (8)$$

Na bazi otežane normalizovane matrice odlučivanja utvrđuju se idealno ( $A^+$ ) i antiidealno ( $A^-$ ) rešenje primenom jednačina:

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\}, \text{ gde je } v_i^+ = \max(v_{ki}), i=1, \dots, n, \quad (9)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\}, \text{ gde je } v_i^- = \min(v_{ki}), i=1, \dots, n. \quad (10)$$

Udaljenost svake alternative, koncepcije, od idealnog ( $S_k^+$ ), odnosno antiidealnog ( $S_k^-$ ) rešenja dobija se primenom jednačina:

$$S_k^+ = \left\{ \sum_{i=1}^n (v_{ki} - v_i^+)^2 \right\}^{1/2}, k=1, \dots, m. \quad (11)$$

$$S_k^- = \left\{ \sum_{i=1}^n (v_{ki} - v_i^-)^2 \right\}^{1/2}, k=1, \dots, m. \quad (12)$$

Relativna blizina alternativa idealnom rešenju se dobija primenom jednačine:

$$C_k = S_k^- / (S_k^+ + S_k^-), k=1, \dots, m. C_k \in \{0, 1\} \quad (13)$$

gde  $C_k$  označava rezultat primene TOPSIS metode. Uređivanjem ovih vrednosti u opadajući niz dobija se konačan poredak alternativa.

### 3. STUDIJA SLUČAJA – VREDNOVANJE KONCEPCIJA REGIONALNE LOGISTIKE

Primenljivost predloženog kombinovanog modela demonstrirana je rešavanjem problema rangiranja koncepcija regionalne logistike u gravitacionoj zoni Luke Bar. Trenutno, ovaj region karakteriše veliki broj sistema, preduzeća iz oblasti transporta i logistike, koji zauzimaju veliku površinu, uglavnom primenjuju zastarelu i neadekvatnu tehnologiju i ne funkcionišu u pravcu ponude integrisane usluge u logističkim lancima (Tadić et al., 2013). S obzirom da je planiranje regionalne logistike preduslov ekonomskog razvoja (Zing et al., 2008) za posmatrani region definisana su koncepcijska rešenja sa različitim stepenom kooperacije i integracije logističkih, transportnih i ostalih privrednih subjekata. Svaka koncepcija ima određene prednosti i nedostatke, pa je za njihovo vrednovanje definisan širi skup kriterijuma.

#### 3.1 Koncepcije regionalne logistike

Na bazi analize postojećeg stanja transporta i logistike Crne Gore, realnih i vizionarskih rešenja, definisane su tri koncepcije regionalne logistike (Institut saobraćajnog fakulteta, 2009; Tadić et al., 2013):

- K1 - Koncepcija decentralizacije.
- K2 - Koncepcija delimične koncentracije.
- K3 - Koncepcija potpune koncentracije i integracije.

**Koncepcija K1** promovise intermodalni transport na pravcu Bar-Podgorica-Bijelo Polje-Beograd i podrazumeva postojeći sistem Luke Bar i razvoj intermodalnih terminala na području Podgorice i Bijelog Polja (Tadić et al., 2013). Modernizovani logistički, skladišno-distributivni sistemi zadržavaju koncept decentralizacije, a u prostorno-organizacionom smislu se vezuju za matične kompanije i značajne saobraćajne pravce. U ovoj koncepciji dominira strategija insourcinga, odnosno samostalne proizvodnje logističke usluge (1PL, eng. First Party Logistics). U određenim slučajevima, odnos korisnika i davaoca logističkih usluga bazira se na 2PL principima (eng. Second Party Logistics), a može se očekivati i razvoj logističkog partnerstva na nivou strategije 3PL (eng. Third Party Logistics).

**Koncepcija K2** pored promocije intermodalnog transporta podrazumeva i razvoj integrisanih logističkih centara na nivou tri prostorno-privredne oblasti (Tadić et al., 2013). Skladišni i distributivni sistemi velikih kompanija ostaju na zatečenim lokacijama, ali se logistički podsistemi srednjih i malih preduzeća usmeravaju na koncentraciju i lokaciju u okviru regionalnih logističkih centara uz razvijene privredne centre, što može uticati na intenzivniji razvoj 3PL logističkog outsourcinga. Sa druge strane, koncepcija K2 daje podršku razvoju intermodalnih integratora. U tom smislu, očekuje se razvoj i integracija velikih državnih i privatnih transportnih kompanija sa malim i srednjim preduzećima.

**Koncepcija K3** je vizija potpune koncentracije i integracije transportno-logističkog sistema na nivou regiona. Pored intermodalnih terminala, podrazumeva i razvoj logističke platforme u kontinentalnom delu Crne Gore (Tadić et al., 2013). Platforma integriše sve logističke i prateće sisteme i aktivnosti i daje podršku uspostavljanju najvišeg nivoa kooperacije i integracije javnog i privatnog sektora koji pospešuje razvoj strategija logističkog outsourcinga na nivou 3PL i 4PL (eng., Fourth party logistics) partnerstva. Luka Bar se orjentiše na tranzitno-pretovarne sisteme, cross-docking terminale i funkciju city logistike za deo turističkih primorskih destinacija. Unutar platforme razvijaju se funkcije dry port, cross-docking, city-logističkog i ostalih skladišno-distributivnih sistema. Proširenjem ponude logističkih usluga, posebno usluga dodatne vrednosti, logistička platforma može dobiti širi regionalni značaj, a ponudom usluge „spajanje u tranzitu“ (MIT, eng. Merge In Transit), stvara se mogućnost značajnog privlačenja tokova iz okruženja i njihovo usmeravanje na pomorski transport preko Luke Bar.

#### 3.2 Kriterijumi za vrednovanje koncepcija regionalne logistike

Za vrednovanje koncepcija regionalne logistike korišćeni su sledeći kriterijumi (Tadić et al., 2013):

**C1 - Podrška privrednom razvoju regiona.** Efikasna logistička intermodalna mreža privlači tokove i investicija u razvoj regiona, a korisnici usluga dobijaju kvalitetniju logističku uslugu po nižoj ceni.

**C2 - Modalna preraspodela transportnog rada.** Konsolidacija tokova obezbeđuje obim koji opravdava veću primenu intermodalnog transporta, a integracijom i strateškim partnerstvom sa drumskim i logističkim provajderima železnica uzima veće učešće u realizaciji tokova.

**C3 - Površina namenjena logističkim aktivnostima.** Razvojem logističkog outsourcinga ostvaruju se sinergijski efekti u pogledu potrebnog kapaciteta logističkih sistema.

**C4 - Investicije za razvoj logističkog sistema.** Investicije zavise od mikrolokacije, veličine i strukture planiranih sistema, ali i sinergijskih efekata koji se iskazuju manjim investicijama i troškovima eksploatacije.

**C5 - Troškovi logističkog lanca.** Usmeravanjem tokova na logističke platforme, centre ili city terminale i njihovom konsolidacijom smanjuju se troškovi realizacije logističkih lanaca.



**C6 - Kvalitet logističke usluge.** Sistemi zasnovani na modernim logističkim principima, kooperaciji i koordinaciji, uz primenu modernih tehnologija značajno poboljšavaju parametre kvaliteta logističke usluge.

**C7 - Kompleksnost logističkih lanaca.** Zaustavljanje robnog toka i njegova transformacija u terminalima, logističkim centrima povećava kompleksnost, troškove i vreme realizacije logističkih lanaca.

**C8 - Mogućnost uključivanja regiona u evropsku logističku mrežu.** Uključivanje regiona u svetski i evropski logistički sistem nije moguće bez razvoja intermodalnih tehnologija i mreže logističkih centara.

**C9 - Ekološki, energetski i bezbednosni aspekt.** Smanjenjem drumskog transporta smanjuju se negativni efekti na životno okruženje, potrošnja energije i konflikti u saobraćaju.

**C10 - Mogućnost implementacije.** Kompleksni sistemi zahtevaju veliki broj istraživanja, projekata, prilagođavanje zakona, edukaciju i obuku, odnosno primenu niza aktivnosti i mera u cilju implementacije.

### 3.3 Primena predloženog modela za vrednovanje koncepcija regionalne logistike

U skladu sa predloženim modelom, međusobnim poređenjem kriterijuma primenom lingvističkih izraza iz tabele 1, definisana je fazi matrica odlučivanja za određivanje težine kriterijuma (tabela 2). U skladu sa opisanim postupkom, rešen je nelinearni model (5) i izvršena normalizacija vrednosti kriterijuma primenom jednačine (6) čime su dobijene konačne težine kriterijuma, prikazane u tabeli 2.

**Tabela 2:** Međusobno poređenje kriterijuma i konačna vrednost težina kriterijuma

Kriterijum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Težina
1	/	PZ	AZ	UZ	PR	PR	AZ	JZ	PR	UZ	0,3276
2	-	/	AZ	UZ	PR	PR	AZ	JZ	PR	UZ	0,3276
3	-	-	/	-	-	-	PZ	-	-	-	0,0040
4	-	-	JZ	/	UZ	UZ	JZ	PR	UZ	-	0,1092
5	-	-	PR	-	/	PZ	PR	UZ	PZ	-	0,0364
6	-	-	PR	-	-	/	PR	UZ	PZ	-	0,0364
7	-	-	-	-	-	-	/	-	-	-	0,0010
8	-	-	UZ	-	-	-	UZ	/	-	-	0,0121
9	-	-	PR	-	-	-	PR	UZ	/	-	0,0364
10	-	-	JZ	PZ	UZ	UZ	JZ	PR	UZ	/	0,1092

U cilju određivanja vrednosti koncepcija, u tabeli 3 prikazano je poređenje svih parova koncepcija u odnosu na definisane kriterijume lingvističkim izrazima iz tabele 1. Primenom opisane LFPP metode dobijene su vrednosti preferencija definisanih koncepcija po kriterijumima prikazane u tabeli 4.

**Tabela 3:** Poređenje koncepcija u odnosu na kriterijume

Koncepcija	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
Kriterijum	C1			C2			C3			C4			C5		
K1	/	-	-	/	-	-	/	-	-	/	UB	JB	/	-	-
K2	PB	/	-	PB	/	-	PB	/	-	-	/	PB	PB	/	-
K3	JB	UB	/	JB	UB	/	AB	PB	/	-	-	/	JB	UB	/
Kriterijum	C6			C7			C8			C9			C10		
K1	/	-	-	/	JB	PB	/	-	-	/	-	-	/	PB	AB
K2	UB	/	-	-	/	-	UB	/	-	PB	/	-	-	/	PB
K3	JB	PB	/	-	UB	/	JB	PB	/	JB	UB	/	-	-	/

**Tabela 4:** Vrednosti preferencija koncepcija u odnosu na kriterijume

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
K1	0,034	0,034	0,023	0,725	0,034	0,030	0,789	0,030	0,034	0,814
K2	0,242	0,242	0,163	0,242	0,242	0,162	0,053	0,162	0,242	0,163
K3	0,725	0,725	0,814	0,034	0,725	0,808	0,158	0,808	0,725	0,023

U cilju konačnog poredka koncepcija TOPSIS metodom, formirana je normalizovana matrica odlučivanja primenom jednačine (7). Na osnovu ove matrice, a primenom jednačine (8) i težina kriterijuma iz tabele 2, dobija se otežana normalizovana matrica odlučivanja, prikazana u tabeli 5. Dalje su primenom jednačina (9) i (10) dobijene vrednosti idealnog i antiidealnog rešenja. Udaljenost svake koncepcije od idealnog ( $S_k^+$ ),

odnosno antiidealnog ( $S_k^-$ ) rešenja, dobija se primenom jednačina (11) i (12), a relativna blizina idealnom rešenju, primenom jednačine (13). Ove vrednosti i konačan poredak alternativa prikazani su u tabeli 6.

**Tabela 5:** Otežana normalizovana matrica odlučivanja

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
<b>K1</b>	0,014	0,014	0,000	0,103	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,107
<b>K2</b>	0,103	0,103	0,001	0,034	0,011	0,007	0,000	0,002	0,011	0,021
<b>K3</b>	0,310	0,310	0,004	0,005	0,034	0,036	0,000	0,012	0,034	0,003

**Tabela 6:** Konačan poredak koncepcija

Koncepcija	$S_k^+$	$S_k^-$	$C_k$	Rang
<b>K1</b>	0,423	0,143	0,253	3
<b>K2</b>	0,316	0,132	0,294	2
<b>K3</b>	0,143	0,423	0,747	1

Primenom kombinovanog FAHP-TOPSIS modela, za definisani skup i međusobni odnos kriterijuma, koncepcija K3 koja podrazumeva potpunu koncentraciju i integraciju logističkih i transportnih sistema i aktivnosti je dobijena kao najbolje koncepcijsko rešenje regionalne logistike. Isti poredak dobijen je i primenom FAHP metode (Tadić *et al.*, 2013).

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je predložen kombinovani model VKO čija je primenljivost demonstrirana rešavanjem problema vrednovanja koncepcija regionalne logistike. Prema analiziranim kriterijumima, koncepcija potpune koncentracije i integracije logističkih i transportnih sistema i aktivnosti predstavlja najpovoljnije rešenja. Usvajanjem koncepcije K3 očekuje se intenzivan razvoj celokupnog privrednog sistema regiona, ali njeno razumevanje, prihvatanje i implementacija zahteva niz vremenski zahtevnih aktivnosti (edukacija, promocija, istraživanje, projektovanje).

Rezultati dobijeni predloženim modelom upoređeni su sa rezultatima rešavanja problema sa istim ulaznim podacima, ali primenom samo FAHP metode. S obzirom da oba modela daju isti poredak koncepcija, donošenje odluke bi trebalo da bude lakše. Svaki problem VKO je specifičan i ne postoje bolje ili lošije metode VKO, već samo metode koje u većoj ili manjoj meri odgovaraju specifičnosti problema. To znači da se primenom nekih drugih metoda (npr. ANP, VIKOR, PROMETHEE itd, u konvencionalnom obliku ili fazi okruženju) možda može promeniti poredak koncepcija ili napraviti veća razlika među njima, što može biti predmet budućih istraživanja.

#### LITERATURA

- [1] Hwang, C.L, Yoon K. (1981) Multiple attribute decision making: methods and applications. New York: Springer-Verlag.
- [2] Institut saobraćajnog fakulteta, Odsek za logistiku (2009) Studija logističke integracije subjekata transportnog sistema regiona – Učešće intermodalnog transporta Crne Gore, Beograd, Srbija
- [3] Mikhailov, L. (2003) Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments. *Fuzzy Sets and Systems*, 134, 365-385.
- [4] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill International.
- [5] Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M. (2013) Vrednovanje koncepcija regionalne logistike. Simpozijum operacionih istraživanja (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor, 515–521.
- [6] Van Laarhoven, P.J.M., Pedrycz W. (1983) A fuzzy extension of saaty's priority theory. *Fuzzy Set and Systems*, 11, 229–241.
- [7] Wang, Y.M., Chin, K.S. (2011) Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52, 541–553.
- [8] Zing, Q., Huapu, L., Haiwei, W. (2008) Prediction Method for Regional Logistics. *Tsinghua Science & Technology*, 13(5), 660–668.



## PRISTUP MODELIRANJU SIMULTANOG RASPOREDJIVANJA BATERIJA I VOZILA U SISTEMIMA RUKOVANJA MATERIJALOM

### MODELING APPROACH TO SIMULTANEOUS SCHEDULING BATTERIES AND VEHICLES IN MATERIALS HANDLING SYSTEMS

MILORAD VIDOVIĆ<sup>1</sup>, BRANISLAVA RATKOVIĆ<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {m.vidovic, b.ratkovic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Korišćenje elektrobaterijskih vozila predstavlja jedno od najšire primenjivanih rešenje za realizaciju transportno manipulativnih procesa u logističkim i sistemima rukovanja materijalom uopšte. Problem koji prati primenu ovog koncepta jeste i pitanje najpovoljnijeg povezivanja vozila i baterija i njihovog rasporedjivanja na zadatke u sistemima rukovanja materijalima. Ovaj problem se, kao veoma značajan, često navodi u literaturi, ali je njegovom rešavanju posvećeno relativno malo pažnje. Jedan od mogućih pristupa rešavanju definisanog problema, razmatren je u ovom radu, u formi modela optimalnog dodeljivanja resursa (vozila i baterija) skupu zadataka rukovanja materijalom. Predloženi pristup ilustrovan je numeričkim primerima.

**Ključne reči:** elektrobaterijska transportno manipulativna vozila, rasporedjivanje resursa, problem dodeljivanja, problem pakovanja

**Abstract:** Battery operated handling equipment is the most widely applied concept in materials handling and logistic systems in general. The problem related to its application is in defining the most appropriate scheduling batteries and vehicles to handling tasks. Although the problem can be found in literature very often as very important, solution approaches are very rare and almost don't exist. This paper presents one of possible solving approaches to the problem, considering the optimal assignment of resources (batteries and vehicles) to material handling tasks. Modeling approach proposed is illustrated by a few numerical examples.

**Keywords:** Battery powered handling equipment and vehicles, scheduling, assignment, bin packing

#### 1. UVODNI DEO

Elektrobaterijska transportno-manipulativna vozila: viljuškari, karete, električna kolica, automatski vođena vozila i sl., decenijama unazad predstavljaju tipično i besumnje najšire korišćeno rešenje za realizaciju transportno manipulativnih procesa u industriji, skladištima, sortirnim i distributivnim centrima, tj. u logističkim sistemima uopšte.

Razloge ovome treba tražiti pre svega u sledećem (Vidovic et al, 1998):

- autonomnost, odnosno mogućnost slobodnog kretanja vozila po saobraćajnicama
- ekonomičnost primene ovih vozila i
- primena elektropogona sa ekološkog aspekta predstavlja najpovoljnije rešenje jer nema štetne emisije, a nivo buke je nizak

Kao potvrda široke primene, pa otuda i velikog broja vozila ovog tipa u upotrebi, mogu poslužiti statistički podaci o broju isporučenih elektrobaterijskih vozila (FEM-IT-ST/N482, Maj 2013) gde se vidi da je 2012. godine u Evropi samo broj novih isporučenih elektro viljuškara iznosio oko 250000. O zastupljenosti ove kategorije transportno manipulativnih sredstava govori i podatak iznet još pre više od 15 godina (Wenzl H, 1997), da je u većim industrijskim i logističkim sistemima prisutno 500 – 1000 sredstava sa prosečno 1.8-2.1 baterija po vozilu, odnosno cca 1000 - 2000 raspoloživih baterija.

Budući da su za korišćenje ovih vozila baterije neophodne kao jedini izvor energije, već se i intuitivno nameće niz pitanja iz domena strategije zamene istrošenih baterija, određivanja broja i karakteristika baterija u floti, kao i načina punjenja. Shodno tome, očigledno je da se, u ovom slučaju, tradicionalni skup problema prisutnih u transportnim i sistemima rukovanja materijalom (određivanje veličine i karakteristika flote vozila, problemi rutiranja, raspoređivanja na zadatke,... i sl.) ovde proširuje.

Na taj način povećava se kompleksnost tradicionalnih problema optimizacije sistema rukovanja materijalom i otvara jedno veoma malo istraživano područje. U prikazu stanja u oblasti projektovanja i upravljanja automatski vođenim vozilima (AGV), takođe baterijski pogonjenim (*I. Vis, 2006*), ističe se da je u budućim istraživanjima od velikog značaja inkorporiranje odluka iz domena upravljanja baterijama, pri čemu te odluke treba integrisati sa onima iz oblasti rutiranja, raspoređivanja i dispečiranja. Značaj istraživanja ove oblasti potencira i činjenica da je cena baterija veoma visoka, neretko 20 – 30% od cene vozila, pri čemu je vek baterije znatno kraći od veka vozila i iznosi oko 1500 ciklusa punjenja, odnosno najčešće 3 a najviše 5 godina.

Međutim, istraživanja i rezultata u ovoj oblasti je veoma malo. Početkom 80-ih godina poznati proizvođač baterija „VARTA“ predlaže uvođenje koncepta "razdvajanja" vozila od baterije, praćenog tzv. "sistemom menadžmenta baterija" i "sistemom menadžmenta elektrobaterijskih vozila". Reč je o sistemu predstavljenom na Hanoverskom sajmu 1981. Godine (Preuss, 1987) koji podrazumeva formiranje pool-a raspoloživih baterija koje su onda "dostupne" svim transportno manipulativnim sredstvima. Suprotno konvencionalnom pristupu, primenom ovog sistema obezbeđuje se da se baterije povezuju sa vozilima u funkciji zadatka. Ova ideja, podržana jednostavnim algoritmom koji je činio okosnicu "sistema menadžmenta elektrobaterijskih vozila", baziranom na kategorijama vozila i grupama uslova eksploatacije, nije dalje razvijana, za razliku od „sistema menadžmenta baterija" koji je sa napretkom elektronike u stalnoj ekspanziji, koncentrišući se na optimizaciju procesa punjenja baterija. Polovinom 90-ih godina prošlog veka McHaney (1995) primenom simulacije utvrđuje uticaj različitih strategija zamene i punjenja baterija na rad AGV, ističući da su karakteristike baterija isključivane iz analize uglavnom kao rezultat pogrešne pretpostavke o minimalnom uticaju na produktivnost i potreban broj vozila kao i nedovoljnom razumevanju baterijskog pogona. No, rezultati sprovedenog istraživanja i primene simulacionog modela pokazuju da ograničenja koja unose baterije mogu uticati na produktivnost sredstava, zagušenje saobraćaja, povećanje veličine flote i na troškove sistema. Do sličnih zaključaka došao je i Ebben, (2001), koji, takođe na bazi simulacije, razmatrajući različite strategije zamene i punjenja, zaključuje da je ograničenja koja unose baterije neophodno imati u vidu jer mogu imati ozbiljan uticaj na logističke performanse i troškove sistema.

Ukratko, u referentnoj literaturi može se uočiti veliki jaz koji je prisutan sa jedne strane između radova posvećenih problemima rada transportno manipulativnih vozila uopšte i baterijskih transportno manipulativnih vozila, a sa druge strane radova koji su posvećeni električnim i hemijskim karakteristikama baterija i korišćenju tih baterija za pogon baterijskih transportno-manipulativnih vozila. Koliko je autorima ovog rada poznato, jedini pristupi kojimaje pokušano da se baterija, vozilo i zadatak posmatrajuintegralno i način njihovog povezivanja optimizuje, jesu pomenuti koncept „VARTA “ i rad Vidovića i drugih (1998), gde je za rešavanje problema formulisanog u formi trostrukog dodeljivanja predložen genetski algoritam.

U ovom radu, zadatak optimalnog povezivanja vozila, baterije i zadatka formulisan je kao modifikovani problem jednodimenzionog pakovanja sa idejom da se ovaj problem dodatno osvetli, predloži moguće rešenje i još u većoj meri ukaže na značaj integralnog pristupa rešavanju ove klase problema.

U nastavku, rad je organizovan na sledeći način. Tačka 2 prikazuje osnovne elemente procesa rada elektrobaterijskih vozila, dok je u tački 3 data formulacija problema. Numerički primer dat je u tački 4, a tačka 5 sadrži zaključna razmatranja.

## **2. ELEKTROBATERIJSKA TRANSPORTNO-MANIPULATIVNIH VOZILA**

Elektrobaterijska transportno-manipulativnavozila za pogon najčešće koriste olovne baterije čiji kapacitet najčešće obezbeđuje rad u jednoj smeni, tj. 5 do 6 časova umerenog rada. Razlog korišćenja olovnih, a ne nikel-kadmijum, ili litijum-jonskih baterija je pre svega ekonomičnost i pouzdana tehnologija izrade, mada njihova sopstvena masa čini 25-50% ukupne mase vozila, dok je gustina energije svega 30-40Wh/kg. Nikl metal hidridne baterije, kao pogonske za elektro vozila, smatraju se prevaziđenom tehnologijom, dok se litijum jonske baterije zbog kratkog životnog veka i visoke cene takođe retko primenjuju.

Osnovna prednost baterijskih elektro vozila je nepostojanje štetnih emisija i smanjenje buke, što ih preporučuje za rad u objektima. Naravno, prisutni su i određeni nedostaci, posebno oni povezani sa gubitkom vremena potrebnog za zamenu (5-15 min, a manuelno 45 min) ili punjenje baterija, što direktno utiče na povećanje troškova i smanjenje produktivnosti. Punjenje olovnih baterija traje prosečno 8h, dok je dodatnih 8h potrebno za hlađenje baterije pre ponovnog korišćenja (Roads2HyCom, 2007), tako da su kod višesmernog rada neophodne dodatne baterije.

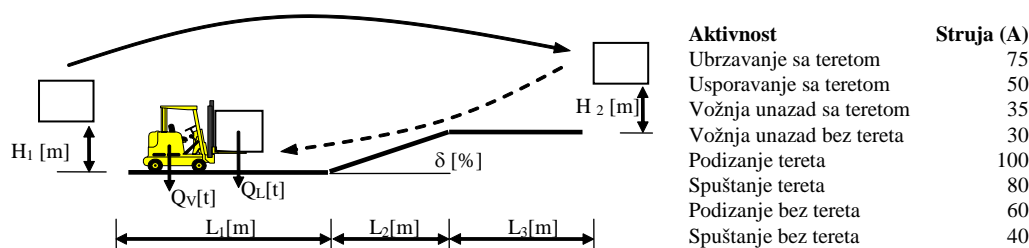
Kapacitet baterija koje se koriste za pogon transportno-manipulativnih vozila kreće se u granicama 120 - 1400 Ah, dok su naponi standardizovani u opsegu 24 – 80V, pri čemu su u primeni najčešće sredstva koja rade na naponima 40V i 80V. Međutim, premda životni vek baterije iznosi oko 1500 ciklusa, kapacitet baterije se nakon 500 do 1000 ciklusa punjenja smanjuje na 60% ili čak 50% od nominalnog. Pored ovoga,

proces pražnjenja baterije tokom rada utiče i na smanjenje raspoložive snage za cca 7.5 %, što znači da napunjena i delimično ispražnjena baterija ne daju istu snagu.

U cilju omogućenja realizacije zadataka različitih po zahtevima za energijom, prostor za smeštaj baterije transportno-manipulativna vozila obezbeđuje korišćenje baterija različitog kapaciteta pa tako i dimenzija i mase, no, naravno, istog nominalnog napona.

Radni proces transportno-manipulativnih vozila obuhvata sukcesivnu realizaciju transportnih i manipulativnih operacija. Jedan deo radnog procesa je kod ovih sredstava produktivan i podrazumeva premeštanje tereta, a drugi neproduktivan, kada se realizuju prazne vožnje. Da bi se prazne vožnje, tj. neproduktivni delovi procesa minimizovali, razvijen je i veliki broj optimizacionih algoritama. Transportno manipulativna vozila sa prevashodno manipulativnom funkcijom (viljuškari) opremljeni su sa tri elektromotora: za kretanje, podizanje tereta i upravljanje, dok sredstva čija je osnovna funkcija transportna (karete), imaju poseduju motor za kretanje i eventualno motor za upravljanje.

Potrošnje energije u toku radnog procesa, pa tako i stanje napunjenosti baterije, posledica je konfiguracije trase kojom se sredstva kreću, težine tereta, karakteristika vozila i tipa zadatka koji se realizuje (slika 1). Utvrđivanje potrošnje predstavlja jedno od najznačajnijih pitanja budući da se tako određuje radna sposobnost sredstva i trenutak kada se baterija mora uputiti na punjenje.



Slika1: Radni proces transportno-manipulativnih vozila

U primeni su različiti pristupi utvrđivanja potrošnje, odnosno stanja napunjenosti baterije, mada nijedan nije apsolutno precizan: korišćenje ugrađenog instrumenta (amper-čas metar), korišćenje statističkih podataka o potrošnji pri realizaciji različitih aktivnosti i primena analitičkih metoda proračuna. Statički metod kojim se stanje napunjenosti baterije može odrediti precizno, ali tek nakon određenog perioda mirovanja i stabilizacije baterije, jeste merenje specifične težine elektrolita. U ovom istraživanju korišćeni su statistički podaci o angažovanoj struji koji se navode u radu McHaney (1995), delom prikazani na slici 1, na bazi kojih se na osnovu trajanja pojedinih aktivnosti lako utvrđuje i potrebna energija.

Druga važna karakteristika procesa rada elektrobaterijskih vozila je način punjenja baterija. Prisutne su četiri mogućnosti:

- **Zamena ispražnjene baterije punom (battery swap)**, pri čemu to može biti baterija čija je primena predviđena samo na određenom vozilu ili pak baterija iz pool-a koju može koristiti grupa vozila sličnih tehničkih karakteristika. Ovo je najčešće primenjivana strategija, posebno u varijanti kada svako vozilo poseduje 2-3 rezervne baterije. Ovaj pristup je sa aspekta baterije najekonomičniji, i ukoliko se baterija prazni do nivoa od 20% kapaciteta (što odgovara stepenu pražnjenja od DOD=80%) to predstavlja i optimalni režim rada.
- **Punjenje baterije na vozilu**, pri čemu je vozilo u tom periodu neaktivno. Koristi se samo u procesima sa veoma niskim intenzitetom zahteva, a u odnosu na bateriju ne razlikuje se od prethodnog
- **Povremena dopuna baterije** kada god za to postoji mogućnost (*opportunity recharging*) bazira se na ideji korišćenja perioda kada je vozilo neaktivno. Ova strategija, posebno u slučaju da se dopuna vrši pre nego je dostignut nivo od 30% DOD, znatno utiče na skraćenje veka baterije. Takođe, ukoliko se između dva potpuna punjenja baterija dopuni sa više od 20% sopstvenog kapaciteta, vek se dodatno skraćuje. Procena da skraćenje veka baterije kod primene ovog koncepta može biti do 50%.
- **Povremena dopuna baterije preko šina (charge rails)**, slična je prethodnoj strategiji, ali se za dopunu koriste šine koje su pod naponom i koje se instaliraju na pogodnim lokacijama tako da se vozilo može dopunjavati dok se kreće ili, kao u prethodnom slučaju, u periodu neaktivnosti.

Shodno rečenom, jasno je da eksploatacija elektrobaterijskih vozila, pored potrebe rešavanja tradicionalnih problema planiranja u oblasti rutiranja vozila, raspoređivanja sredstava i rukovaoca, dispečiranja, i sl., podrazumeva i donošenje dodatnih odluka iz domena strategija korišćenja baterija. To, pak, nameće potrebu za razvojem odgovarajućih modela, algoritama i sistema za podršku odlučivanju kako bi se rad elektrobaterijskih transportno-manipulativnih vozila i korišćenje baterija racionalizovali, obezbeđujući maksimalnu produktivnost uz minimum troškova.

### 3. FORMULACIJA PROBLEMA

U sistemima rukovanja materijalom kod kojih se opsluga transportno-manipulativnih zahteva realizuje baterijski pogonjenim vozilima, neometano odvijanje radnog procesa podrazumeva da svako od vozila iz flote bude opremljeno baterijom čiji je kapacitet dovoljan da omogući opslugu zadataka koji su vozilu dodeljeni. Kao posledica različitih karakteristika tereta koji se manipuliše, različitih distanci transporta i konfiguracija trasa i mesta odlaganja i zahvatanja, zadaci ispostavljaju različite zahteve u pogledu potrebne energije i vremena za njihovu realizaciju. Otuda se pitanje optimalne realizacije procesa, u ovom slučaju, svodi, zapravo, na pitanje optimalnog raspoređivanja parova „baterija-vozilo“ na transportno-manipulativne zadatke. Drugim rečima, ukoliko se par „baterija-vozilo“ shvati kao kontejner ili sud – *bin*, onda se problem svodi na „smeštanje“ određenog broja zadataka u svaki od sudova, što odgovara rešavanju dobro poznatog *bin packing* problema. Kako u slučaju homogene flote transportno-manipulativnih vozila svaka jedinica realizovanog transportnog rada zahteva podjednak utrošak energije, to i kapacitet sudova – parova „baterija-vozilo“ odgovara kapacitetu baterije postavljene na vozilo. Kod heterogene flote vozila to je nešto složenije jer se kapacitet para „baterija-vozilo“ mora povezati sa utroškom energije po jedinici transportnog rada za svako vozilo posebno.

Saglasno izloženom, ukoliko se prihvati korišćenje strategija zamene baterije punom, pri čemu se baterije nalaze u pulu, koncept da se jedan zadatak realizuje samo jednim vozilom i da je flota vozila homogena, najjednostavniju verziju problema raspoređivanja parova „vozilo-baterija“ na zadatke (Scheduling vehicles and batteries on tasks - SVBT) moguće je, kao nešto modifikovanu verziju „bin packung“ problema, formulisati na sledeći način.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ij} \cdot c_j \quad (1)$$

uz ograničenja:

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \cdot e_k \leq DOD \cdot y_{ij} \cdot E_j \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} \cdot t_k \leq y_{ij} \cdot T_{sh} \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i \in I \quad j \in J \quad k \in K \quad (7)$$

gde su:

$I$  skup raspoloživih transportno manipulativnih vozila  $i \in I$  u floti

$J$  skup raspoloživih baterija  $j \in J$  u pulu

$K$  skup transportno manipulativnih zadataka  $k \in K$  u sistemu, tokom posmatranog planskog perioda

$c_j$  troškovi baterije  $j \in J$  (novčanih jedinica po smeni)

$E_j$  raspoloživi kapacitet baterije  $j \in J$  (Wh)

$e_k$  energija koja se angažuje pri realizaciji zadatka  $k \in K$  (Wh)

$t_k$  vreme potrebno za realizaciju zadatka  $k \in K$  (min)

$T_{sh}$  raspoloživo radno vreme (min)

DOD dozvoljeni stepen praznjenja baterije (preporučeni stepen je 80%)

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ako vozilo } i \text{ koristi bateriju } j \text{ pri realizaciji zadatka } k \\ 0 & \text{u protivnom} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ako vozilo } i \text{ koristi bateriju } j \\ 0 & \text{u protivnom} \end{cases}$$

Ciljna funkcija (1) minimizuje troškove korišćenja baterija koje se postavljaju na vozila. Ograničenjem (2) sprečava se pražnjenje baterija ispod nivoa dozvoljenog stepena pražnjenja, dok se ograničenjem (3) limitira korišćenje vozila preko raspoloživog. Ograničenje (4) forsira opslugu svih zadataka u sistemu, tako da svaki mora biti realizovan tačno jednim parom "baterija-vozilo". Ograničenje (5) obezbeđuje da na svako od vozila bude postavljena najviše jedna baterija, dok se ograničenjem (6) obezbeđuje da jedna baterija može biti dodeljena najviše jednom vozilu.

#### 4. NUMERIČKI PRIMER

Mogućnost primene predloženog modela testirana je na pet slučajno generisanih numeričkih primera čije su karakteristike prikazane u tabelama 1 i 2. U primerima je predviđen rad u dve smene ( $T_{sh}=960min$ ).

**Tabela 1:** Karakteristike zadataka

Zadatak	Instanca 1		Instanca 2		Instanca 3		Instanca 4		Instanca 5	
	$t_k(min)$	$e_k(Wh)$	$t_k(min)$	$e_k(Wh)$	$t_k(min)$	$e_k(Wh)$	$t_k(min)$	$e_k(Wh)$	$t_k(min)$	$e_k(Wh)$
1	118	5664	112	3472	92	3588	94	3384	75	2175
2	104	4576	95	2660	110	4290	30	750	26	884
3	16	608	44	1364	54	2700	44	1408	11	462
4	94	4418	32	1056	81	2106	107	4708	54	2430
5	81	3645	31	961	40	1040	54	1350	33	1023
6	63	1890	103	3090	115	3680	54	2538	19	836
7	71	2414	34	1666	45	1530	66	3300	52	1352
8	14	490	88	3168	83	2075	66	2772	24	864
9	81	3240	114	3990	90	3690	61	1952	13	429
10	85	3825	102	4386	113	5198	36	1404	87	2436

**Tabela 2:** Karakteristike baterija

Baterija	$E_j(Wh)$	$c_j$
1	7200	27
2	7920	38
3	9000	22
4	10800	16
5	11160	34
6	7200	31
7	7920	19
8	9000	19
9	10800	31
10	11160	14

Rezultati primene predloženog matematičkog modela za raspoređivanje parova „vozilo-baterija“ na zadatke prikazani su u tabeli 3. Implementacija matematičkog modela (1)-(7) realizovana je u CPLEX 12.2 na Dell Inspirionu i5 sa 8Gb RAM. Vremena rešavanja prikazanih instanci problema iznosila su 6.43, 0.53, 9.27, 8.36 i 0.39 sekundi, respektivno. Naravno, reč je o problemima malih dimenzija koji su imali za cilj da testiraju primenu same ideje, pa se do optimuma moglo doći u tako kratkom vremenu.

Interesantno je pomenuti da se u rešenju problema koje ne uključuje ograničenja baterija, već samo raspoloživo vreme rada sredstava, svi zadaci realizuju samo jednim vozilom, što i na ovako malom primeru potvrđuje prethodno izneto zapažanje McHaney (1995) o pogrešnim pretpostavkama o minimalnom uticaju baterija na produktivnost i potreban broj elektrobaterijskih vozila.

#### 5. ZAKLJUČAK

Predloženi model optimalnog raspoređivanja parova „vozilo-baterija“ predstavlja pokušaj da se ukaže na mogućnosti integralnog pristupa optimizaciji elektrobaterijskih vozila u realizaciji transportno manipulativnih zadataka. U okvirima ovog rada analiziran je samo jedan od segmenata optimizacije transportno manipulativnih procesa koji se realizuju elektrobaterijskim vozilima. Budući da je reč o

kompleksnom i izuzetno malo izučavanom problemu nameće se čitav niz mogućih proširenja i potencijalnih pravaca budućih istraživanja.

**Tabela 3:** Rezultati primene matematičkog modela za raspoređivanje parova „vozilo-baterija“ na zadatke

Zadatak	Instanca 1		Instanca 2		Instanca 3		Instanca 4		Instanca 5	
	Vozilo	Baterija	Vozilo	Baterija	Vozilo	Baterija	Vozilo	Baterija	Vozilo	Baterija
<b>1</b>	4	7	10	10	5	8	4	10	5	10
<b>2</b>	9	8	10	10	5	8	10	4	5	10
<b>3</b>	10	4	10	10	10	4	9	7	9	4
<b>4</b>	10	4	10	10	8	10	4	10	5	10
<b>5</b>	5	10	5	4	8	10	10	4	9	4
<b>6</b>	4	7	5	4	9	7	5	8	9	4
<b>7</b>	5	10	5	4	9	7	10	4	9	4
<b>8</b>	5	10	5	4	10	4	4	10	9	4
<b>9</b>	9	8	9	7	8	10	5	8	9	4
<b>10</b>	10	4	9	7	9	7	9	7	9	4
<b>Ukupno</b>	4		3		4		4		2	

U kontekstu proširenja predloženog modela u startu se nameću sledeće mogućnosti. Jedna je da se u razmatranje uključi heterogena flota vozila, naravno sa odgovarajućom strukturom pulova baterija koje odgovaraju pojedinim tipovima vozila. Drugo moguće proširenje predloženog modela odnosi se na uključivanje dužeg vremenskog perioda u kome dolazi do ponovnog korišćenja baterija koje su tokom tog perioda dopunjene, što podrazumeva i respektovanje vremena zamene baterija. Takođe, proširenje predloženog modela može obuhvatiti mogućnost realizacije istog zadatka većim brojem sredstava, kada je zadatke potrebno posmatrati kao skupove parcijalnih aktivnosti. Tako se, na primer, zadatak istovara vozila kojim je prispelo deset paleta može podeliti na deset aktivnosti istovara po jedne palete. Pored navedenih proširenja tu su i ona kojima bi se uključile dodatne karakteristike baterija: gubici na snazi nakon određenog stepena ispražnjenosti, opšte stanje baterije koje utiče na kapacitet i maksimalnu raspoloživu snagu (state of health SOH) i sl.

Pored ovde razmatranog, od značaja su i problemi planiranja rada u različitim strategijama punjenja baterija, pitanja mogućnosti odlaganja realizacije zadataka, izbora optimalnih kapaciteta i broja baterija.

Na kraju, optimizacija procesa rada elektrobaterijskih vozila u realizaciji transportno manipulativnih zadataka mora podrazumevati i razvoj odgovarajućih heurističkih algoritama, kako bi se omogućilo rešavanje za praksu značajnih problema realnih, mnogo većih, dimenzija.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije kroz projekat TR36006 za period 2011.-2014.

## LITERATURA

- [1] Ebben M. (2001) „Logistic Control In Automated Transportation Networks“, Ph.D. thesis, University of Twente, Netherlands, <http://doc.utwente.nl/38625/1/t000000a.pdf> (last accessed 05 July 2014)
- [2] McHaney R.(1995) „Modelling battery constraints in discrete event automated guided vehicle simulations“, 33, No.11
- [3] Preuss P. (1987) „Managementsystem für batteriebetriebene Flurförderzeuge“, DHF Nr. 1/2
- [4] „Roads2HyCom“(2007), Project supported by the European Commission's Framework Six program, [http://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/index.php/Main\\_Page](http://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/index.php/Main_Page) (last accessed 05 July 2014)
- [5] Vidović M., Sretenović M, Cvetić S. (1998) „Genetski algoritam izbora optimalne kombinacije zadatak - vozilo – baterija“, Soft Computing days, SYM-OP-IS '98, Herceg Novi
- [6] Vis I. (2006) “Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems”, EJOR, 170, 677–709
- [7] Wenzl H. (1997) „Batterien und Flurförderzeuge aus Betreibersicht“, Logistik im Unternehmen, 6
- [8] World industrial truck statistics – WITS (2013), 60498 Frankfurt/Main Germany, [http://www.fem-ur.com/data/File/WITS\\_info\\_sheet\\_2013\\_FEM.pdf](http://www.fem-ur.com/data/File/WITS_info_sheet_2013_FEM.pdf) (last accessed 05 July 2014)





## RANGIRANJE SCENARIJA LOGISTIČKOG SISTEMA PRIMENOM KOMBINOVANOG FAZI AHP-VIKOR MODELA

## RANKING OF LOGISTICS SYSTEM SCENARIOS USING COMBINED FUZZY AHP-VIKOR MODEL

SLOBODAN ZEČEVIĆ<sup>1</sup>, SNEŽANA TADIĆ<sup>1</sup>, MLADEN KRSTIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saobraćajni fakultet, Beograd, {s.zecevic, s.tadic, m.krstic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je primenom modela višekriterijumskog odlučivanja (VKO) koji kombinuje metode fazi "analytical hierarchy process" (FAHP) i "Višekriterijumska Optimizacija i kompromisno Rešenje" (VIKOR) izvršeno rangiranje scenarija logističkog sistema centralnog poslovnog prostora (central business district, CBD) grada. FAHP metoda je upotrebljena za dobijanje težina kriterijuma definisanih na osnovu konfliktnih ciljeva različitih interesnih grupa, a primenom VIKOR metode je izvršeno rangiranje scenarija logističkog sistema.

**Ključne reči:** city logistika, central business district, scenario logističkog sistema, FAHP-VIKOR.

**Abstract:** This paper proposes the multi-criteria decision-making (MCDM) model which combines the methods of fuzzy "Analytical Hierarchy Process" (FAHP) and "Višekriterijumska Optimizacija i kompromisno Rešenje" (VIKOR) for ranking the logistics system scenarios of the Central Business District (CBD) of the city. FAHP is applied for obtaining the weights of the criteria defined on the basis of conflicting goals of different stakeholders, and VIKOR method is applied for obtaining the final ranking of the logistics system scenarios.

**Keywords:** city logistics, central business district, logistics system scenario, FAHP-VIKOR.

### 1. UVOD

Scenario logističkog sistema grada ili gradske zone definiše se u skladu sa zahtevima interesnih grupa, učesnika city logistike (pošiljaoci i primaoci, prevoznici i logistički provajderi, stanovnici i gradska uprava). S obzirom da učesnici imaju različite, često konfliktne, ciljeve i interese, potrebno je naći kompromisno rešenje. Ovaj problem može se rešiti definisanjem velikog broja kriterijuma i primenom metoda VKO.

U ovom radu je primenom modela VKO, koji kombinuje AHP u fazi okruženju (FAHP) i VIKOR u konvencionalnom obliku, rešavan problem rangiranja scenarija logističkog sistema centralnog poslovnog dunavskog prostora (eng. Central Business Danube District, CBDD) Beograda. Na ovom prostoru je predviđen razvoj različitih poslovno komercijalnih sadržaja, a novi plan zahteva i nova rešenja logistike koja su u radu definisana kroz tri scenarija. Rangiranje scenarija je izvršeno u odnosu na kriterijume definisane u skladu sa zahtevima različitih struktura i funkcija grada. Težine kriterijuma dobijene su primenom FAHP metode (Van Laarhoven & Pedrycz, 1983) koja je jednostavna za primenu, lako prilagodljiva problemima različitih dimenzija i može uzeti u obzir kvantitativne i kvalitativne kriterijume. Međutim, može biti problematična po pitanju predstavljanja zavisnosti između kriterijuma i alternativa, pa je za dobijanje konačnog poretka alternativa (scenarija) u ovom radu korišćena VIKOR metoda. Metoda kao rezultat daje kompromisna rešenja, postignuta uz uzajamne ustupke, na osnovu kojih se vrši rangiranje alternativa.

### 2. DEFINISANJE PROBLEMA

Evolucijom urbanih sredina, menjale su se i forme i fizičke komponente nabavke, skladištenja i distribucije robe. U početnim fazama razvoja, pristaništa, luke i trgovi predstavljali su robne kapije urbanih sredina. Sa prostornim širenjem gradova, razvojem transportne infrastrukture i rastom cena gradskog zemljišta, zaustavljanje tokova makrodistribucije pomera se ka perifernim zonama. Rast drumskog transporta, širenje mreže skladišta, logističkih centara, kao i rast zahteva u pogledu kvaliteta i raznolikosti logističkih usluga uzrokovali su značajan rast broja komercijalnih vozila i zabrinjavajući gubitak vitalnosti nekih gradova. Postojeća regulativa i politika urbanog teretnog transporta i logistike u većini gradova ne može u potpunosti

da odgovori na značajne promene koje su se odigrale u nameni zemljišta, sektorima za proizvodnju, distribuciju i potrošnju. Prostor namenjen logističkim aktivnostima (robni terminali, gradske luke, skladišta) nestaje iz gradova. Skupo gradsko zemljište menja namenu, razvijaju se novi stambeno komercijalni sadržaji koji generišu značajne robne tokove i zahtevaju moderan koncept logistike.

Beograd se, slično mnogim gradovima na reci, uglavnom razvijao i radijalno-koncentrično širio u odnosu na tradicionalni centar i rečnu luku. U početnim fazama razvoja, mnoge trgovačko-distributivne, industrijske firme povoljno su naseljavale luku i njeno okruženje i razvijale svoju skladišno-distributivnu aktivnost. Tako je CBDD, kao veoma vredna površina, naseljena zastarelom tehnologijom skladišnih i manipulativnih sistema, pokreće veliki broj teretnih vozila i u mnogim slučajevima obavlja funkciju logistike za korisnike koji se ne nalaze na užem području grada Beograda. Pored prevaziđenog koncepta strukturiranja, nedovoljnog iskorišćenja prostora i zastarele tehnologije, ovom području nedostaje i scenario logistike koji bi bio u skladu sa razvojnim koncepcijama grada.

Kako posmatrana gradska zona, CBDD, postaje sve atraktivnija lokacija za profitabilnije poslovno komercijalne sadržaje to zahteva prestrukturiranje postojećih urbanih celina. Osnovna ideja je da se posmatrani prostor oslobodi nepotrebnih logističkih struktura, da se zadrži i modernizuje sistem logistike za CBD i usaglasi sa konceptom kombinovanog centralizovano-decentralizovanog sistema logistike grada (Generalni plan Beograda 2021). Analiza scenarija logistike CBDDa i izbor najpovoljnijeg rešenja za širi skup interesa je centralni problem i zadatak, koji se u ovom radu obrađuje na konkretnom primeru.

### 3. SCENARIJI LOGISTIČKOG SISTEMA CBDD

Ključni elementi za definisanje scenarija logističkog sistema CBDDa su: uzroci naseljavanja posmatranog područja; mogućnost iseljavanja, dislokacije; neophodnost postojanja određenih sistema na lokaciji; mesto i uloga logističkog sistema CBDD u logistici grada; i kompatibilnost logističkih sadržaja sa razvojnim planovima. Pored toga, vlasničke promene u lučkom sistemu i njihove biznis vizije bitno su uticale na postavku tri scenarija razvoja logističkog sistema CBDDa (Zečević, 2006):

- *Sc.1: Scenario minimalnih infrastrukturnih promena.*
- *Sc.2: Scenario značajnih promena.*
- *Sc.3: Scenario potpunih promena.*

**Scenario Sc.1** podrazumeva zadržavanje i modernizaciju postojećih struktura i podсистema na posmatranom području (Tadić & Zečević, 2009). Luka, koja bi ostala na prostoru CBDDa, bi zadržala određene funkcije, pre svega funkciju intermodalnog transporta. U tom slučaju treba očekivati dalji razvoj i modernizaciju intermodalnih terminala. Postojeći skladišni i distributivni sistemi bi primenom novih tehnologija mogli da povećaju efikasnost, a može se očekivati i razvoj novih, modernih logističkih sistema, koji bi u arhitektonsko-građevinskom smislu bili prihvatljivi za posmatrano područje. U funkcionalnom smislu, novi logistički sistemi bi bili odgovor na rastuće potrebe za VAL (eng. value added logistics) uslugama, uslugom isporuke do posebnih zona za preuzimanje robe (pickup points), uslugom profesionalnog skladištenja, uslugama povratne logistike itd.

**Scenario Sc.2** se bazira na redukciji distributivnih i skladišnih sistema, kao i špediterskih, carinskih i drugih pratećih delatnosti koje nisu neophodne za snabdevanje CBDa. Pored toga, scenario podrazumeva modernizaciju intermodalnog terminala, kao trimodalnog čvorišta, i razvoj city logističkog terminala (CLT) za konsolidovano snabdevanje generatora u gravitacionoj zoni (Tadić & Zečević, 2009). Ova dva podсистema imaju mogućnost železničkog povezivanja sa intermodalnim terminalima na drugim lokacijama – robno-transportnim centrima (RTC) na obodu grada uz primenu sistema specijalnih šatl (eng. shuttle) vozova. Na ovaj način bi se značajno redukovala železnička postrojenja, ali bi se pojačala uloga železnice u efikasnom povezivanju ovog prostora. Preko CLT-a bi se snabdevala CBD sa varijantom malih dostavnih eko-vozila.

**Scenario Sc.3** podrazumeva izmeštanje lučkog kompleksa i železničke teretne stanica, a posmatrano područje CBDD ostaje poslovno-trgovački centar sa pratećim ugostiteljskim, kulturnim i sportsko-rekreativnim sadržajima. Ovaj scenario je u skladu sa prisutnim trendom izmeštanja logistike iz centralnih gradskih zona ka periferiji (eng. logistics sprawl) (Dablanc & Rakotonarivo, 2010). Međutim, komercijalni sadržaji koji bi naselili CBDD, zajedno sa postojećim sadržajima u centralnoj gradskoj zoni, ne mogu funkcionisati bez logistike. Atraktivnost i funkcionalnost sistema zahteva prateći, minimalan i efikasan logistički sistem koji u prostornom i saobraćajnom smislu može da se izvede uvođenjem CLT-a. Tokovi dopreme iz logističkog centra na drugoj lokaciji u gradu realizovali bi se primenom kargo tramvaja, a tokovi distribucije do generatora na području CBDa elektro vozilima (Tadić & Zečević, 2009).

#### 4. KRITERIJUMI ZA OCENU SCENARIJA LOGISTIČKOG SISTEMA

Za vrednovanje scenarija logističkog sistema CBDDa korišćeni su sledeći kriterijumi (Tadić et al., 2014):

***K<sub>1</sub> - Stepen zagušenja saobraćaja teškim teretnim vozilima na prilaznim punktovima i saobraćajnicama na području CBDD.*** Dislokacijom sistema koji u tehnološko-prostornom smislu nisu vezani za luku i intermodalni transport i primenom konsolidovane distribucije robe u scenarijima Sc.2 i Sc.3, broj teretnih vozila bi se značajno smanjio, a time i stepen zagušenja saobraćaja.

***K<sub>2</sub> - Stepen zauzetosti prostora logističkim sistemima koji nisu neophodni na području CBDD.*** Određeni broj korisnika logističkog sistema CBDDa prema scenariju Sc.1 sa ovog lokaliteta realizuje isporuke za objekte izvan Beograda. Dislokacijom ovih aktivnosti i koncentracijom na snabdevanje samo CBDDa angažovane površine mogu se značajno smanjiti u scenariju Sc.2, a posebno u scenariju Sc.3.

***K<sub>3</sub> - Investicije za razvoj sistema.*** Investicije za razvoj sistema prema scenariju Sc.2 i scenariju Sc.3 su značajne i zavise od mikrolokacije, veličine i strukture planiranih objekata.

***K<sub>4</sub> - Troškovi isporuke robe.*** Dosadašnja istraživanja pokazuju da se korišćenjem CLT-a i koncepta konsolidacije tokova za više korisnika troškovi isporuke smanjuju.

***K<sub>5</sub> - Vremenski gubici u dovozno-odvoznom transportu.*** Ovi gubici mogu biti značajni u scenariju Sc.1.

***K<sub>6</sub> - Kvalitet logističke usluge.*** Primenom modernih skladišnih sistema i sistema za praćenje i navigaciju vozila u isporuci, parametri kvaliteta logističke usluge se značajno poboljšavaju. S tim u vezi, scenariji Sc.2 i Sc.3 predstavljaju kvalitetnija rešenja za korisnike koji se u budućnosti mogu snabdevati sa područja CBDD.

***K<sub>7</sub> - Ekološki i energetski aspekt.*** Eliminacijom daljinskih tokova, primenom koncepta konsolidacije i sa aspekta okruženja prihvatljivijih sistema i tehnologija transporta značajno se smanjuje ukupan broj drumskih teretnih vozila, a time i negativni ekološki uticaji i potrošnja energije u odnosu na postojeće stanje.

***K<sub>8</sub> - Bezbednosni aspekti.*** Smanjenjem obima saobraćaja i gužve na gradskim saobraćajnicama, smanjuje se broj konfliktnih situacija. Prema ovom parametru evidentna je prednost scenarija Sc.2 i Sc.3.

***K<sub>9</sub> - Kompleksnost logističkih lanaca.*** Svako zaustavljanje robnog toka i njegova transformacija u logističkim centrima povećava kompleksnost logističkih lanaca. Primena scenarija Sc.3 zahteva najviši stepen kooperacije i konsolidacije, odnosno predstavlja najkompleksniju realizaciju logističkih lanaca.

***K<sub>10</sub> - Tehnološko i vizuelno uklapanje logističkog sistema u urbano okruženje.*** Izgradnjom modernih komercijalnih sadržaja može se stvoriti razlika u odnosu na logističke sisteme u scenariju Sc.1. Sa druge strane, rešenja logistike u Sc.2 i Sc.3 i okruženja se mogu tehnološki i vizuelno usaglasiti i približiti.

#### 5. RANGIRANJE SCENARIJA LOGISTIČKOG SISTEMA

Za rešavanje problema rangiranja scenarija logističkog sistema u ovom radu korišćena je kombinacija fazi AHP i VIKOR metode. Prvi korak primene metode je formiranje hijerarhijske strukture problema: krajnji cilj na vrhu, određeni broj kriterijuma i same alternative na dnu (Saaty, 1980). Za ovako postavljen problem vrši se analiza u cilju utvrđivanja relativnih težina kriterijuma na svakom hijerarhijskom nivou i vrednosti alternativa, scenarija, u odnosu na kriterijume. Analiza podrazumeva poređenje svih parova kriterijuma i poređenje svih parova scenarija, u odnosu na kriterijume. Za poređenje je korišćena lingvistička skala koja se može pretvoriti u trouglaste fazi brojeve prikazane u tabeli 1. Za konačno rangiranje scenarija korišćena je VIKOR metoda (Opricovic, 1998) koja kao rezultat daje kompromisno, odnosno dopustivo rešenje koje je najbliže idealnom, a smatra se kompromisnim jer je postignuto uz uzajamne ustupke.

**Tabela 1:** Definicije i funkcije pripadnosti fazi skale za poređenje kriterijuma/koncepcija

Lingvistički izraz	Fazi funkcija pripadnosti
Apsolutno značajniji/bolja (AZ/B)	(8, 9, 10)
Veoma značajniji/bolja (VZ/B)	(7, 8, 9)
Jako značajniji/bolja (JZ/B)	(6, 7, 8)
Dosta značajniji/bolja (DZ/B)	(5, 6, 7)
Prilično značajniji/bolja (PR/B)	(4, 5, 6)
Osrednje značajniji/bolja (OZ/B)	(3, 4, 5)
Umereno značajniji/bolja (UZ/B)	(2, 3, 4)
Slabo značajniji/bolja (SZ/B)	(1, 2, 3)
Podjednako značajni/dobre (PZ/D)	(1, 1, 2)

Za rešavanje FAHP metode razvijeni su različiti postupci, a u ovom radu je korišćen metod logaritamskog fazi programiranja prioriteta (LFPP, logarithmic fuzzy preference programming) koju su razvili Wang & Chin (2011) proširivanjem metode FPP (fuzzy preference programming) koju je razvio Mikhailov (2003).

FPP metoda počinje formiranjem fazi matrice poređenja ( $\tilde{A}$ ) čiji elementi predstavljaju trouglaste fazi ocene  $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  poređenja elementa  $i$  u odnosu na element  $j$ . Wang i Chin u LFPP metodi uzimaju logaritamsku vrednost fazi ocene  $\tilde{a}_{ij}$  iz matrice  $\tilde{A}$  koju aproksimiraju sledećom jednačinom:

$$\ln \tilde{a}_{ij} \approx (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

odnosno, logaritam trouglastih fazi ocena  $\tilde{a}_{ij}$  posmatraju kao aproksimiran trouglasti fazi broj čija se funkcija pripadnosti može definisati kao:

$$\mu_{ij} \left( \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \right) = \begin{cases} \frac{\ln(w_i / w_j) - \ln l_{ij}}{\ln m_{ij} - \ln l_{ij}}, & \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \leq \ln m_{ij}, \\ \frac{\ln u_{ij} - \ln(w_i / w_j)}{\ln u_{ij} - \ln m_{ij}}, & \ln \left( \frac{w_i}{w_j} \right) \geq \ln m_{ij}, \end{cases} \quad (2)$$

gde je  $\mu_{ij}(\ln(w_i / w_j))$  stepen pripadnosti vrednosti  $\ln(w_i / w_j)$  koja pripada aproksimiranoj trouglastoj fazi oceni  $\ln \tilde{a}_{ij} = (\ln l_{ij}, \ln m_{ij}, \ln u_{ij})$ , a  $w_i$  su *crisp* vrednosti vektora prioriteta  $W = (w_1, \dots, w_n)^T > 0$  i važi  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Potrebno je pronaći *crisp* vektor prioriteta tako da se minimizira stepen pripadnosti  $\lambda = \min \{ \mu_{ij}(\ln(w_i / w_j)) \mid i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n \}$ . Rezultujući model se može konstruisati na sledeći način:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \mu_{ij}(\ln(w_i / w_j)) \geq \lambda, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

ili

$$\begin{aligned} & \text{Max } 1 - \lambda \\ & \text{s.t. } \begin{cases} \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) \geq \ln l_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) \geq -\ln u_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Da bi se izbeglo da stepen pripadnosti  $\lambda$  dobije negativnu vrednost uvedene su nenegativne promenljive devijacije  $\delta_{ij}$  i  $\eta_{ij}$  za  $i = 1, \dots, n-1$  i  $j = 1, \dots, n$  tako da su ispunjene sledeće nejednakosti:

$$\begin{aligned} & \ln w_i - \ln w_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ & -\ln w_i + \ln w_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n. \end{aligned}$$

Poželjno je da vrednosti promenljivih devijacija budu što manje. U skladu sa navedenim predložen je LFPP nelinearni model prioriteta za dobijanje težina preko fazi AHP-a:

$$\begin{aligned} & \text{Min } J = (1 - \lambda)^2 + M \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\delta_{ij}^2 + \eta_{ij}^2) \\ & \text{s.t. } \begin{cases} x_i - x_j - \lambda \ln(m_{ij} / l_{ij}) + \delta_{ij} \geq \ln l_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ -x_i + x_j - \lambda \ln(u_{ij} / m_{ij}) + \eta_{ij} \geq -\ln u_{ij}, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \\ \lambda, x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \\ \delta_{ij}, \eta_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n-1; j = i+1, \dots, n, \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

gde je  $x_i = \ln w_i$  za  $i = 1, \dots, n$ , a  $M$  je konstanta dovoljno velike vrednosti kao što je  $M = 10^3$ .

Neka je  $x_i^* (i = 1, \dots, n)$  optimalno rešenje modela (5). Normalizovane vrednosti kriterijuma za fazi matricu poređenja  $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$  se dobijaju na sledeći način:

$$w_i^* = \frac{\exp(x_i^*)}{\sum_{j=1}^n \exp(x_j^*)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

gde je  $\exp()$  eksponencijalna funkcija, odnosno,  $\exp(x_i^*) = e^{x_i^*}$  za  $i = 1, \dots, n$ .

U tabeli 2 prikazana je fazi matrica odlučivanja za određivanje težine kriterijuma, odnosno međusobno poređenje kriterijuma primenom lingvističkih izraza iz table 1. U skladu sa opisanim postupkom, rešen je nelinearni model (5) i izvršena normalizacija vrednosti kriterijuma primenom jednačine (6) čime su dobijene konačne težine kriterijuma  $w_i$  prikazane u tabeli 2.

**Tabela 2:** Međusobno poredenje kriterijuma i konačna vrednost težina kriterijuma

Kriterijum	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	w <sub>i</sub>
K <sub>1</sub>	/	-	-	-	PZ	-	UZ	PR	UZ	PR	0,074
K <sub>2</sub>	UZ	/	-	PZ	UZ	PZ	PR	JZ	PR	JZ	0,148
K <sub>3</sub>	PR	UZ	/	UZ	PR	UZ	JZ	AZ	JZ	AZ	0,296
K <sub>4</sub>	UZ	-	-	/	UZ	PZ	PR	JZ	PR	JZ	0,148
K <sub>5</sub>	-	-	-	-	/	-	UZ	PR	UZ	PR	0,074
K <sub>6</sub>	UZ	-	-	-	UZ	/	PR	JZ	PR	JZ	0,148
K <sub>7</sub>	-	-	-	-	-	-	/	UZ	PZ	UZ	0,037
K <sub>8</sub>	-	-	-	-	-	-	-	/	-	PZ	0,019
K <sub>9</sub>	-	-	-	-	-	-	-	UZ	/	UZ	0,037
K <sub>10</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/	0,019

Poredenje svih parova scenarija u odnosu na definisane kriterijume lingvističkim izrazima iz tabele 1 prikazano je u tabeli 3. Primenom LFPP metode dobijene su vrednosti preferencija definisanih scenarija po kriterijumima (tabela 4).

**Tabela 3:** Poredenje scenarija u odnosu na kriterijume

Scenario	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.1	Sc.2	Sc.3	Sc.1	Sc.2	Sc.3
<b>Kriterijum</b>	<b>K<sub>1</sub></b>			<b>K<sub>2</sub></b>			<b>K<sub>3</sub></b>			<b>K<sub>4</sub></b>			<b>K<sub>5</sub></b>		
Sc.1	/	-	-	/	-	-	/	SB	OB	/	-	-	/	-	-
Sc.2	OB	/	-	DB	/	-	-	/	UB	UB	/	-	OB	/	-
Sc.3	DB	UB	/	JB	SB	/	-	-	/	OB	SB	/	PB	SB	/
<b>Kriterijum</b>	<b>K<sub>6</sub></b>			<b>K<sub>7</sub></b>			<b>K<sub>8</sub></b>			<b>K<sub>9</sub></b>			<b>K<sub>10</sub></b>		
Sc.1	/	-	-	/	-	-	/	-	-	/	SB	UB	/	-	-
Sc.2	PB	/	-	PB	/	-	PB	/	-	-	/	SB	UB	/	-
Sc.3	DB	SB	/	DB	SB	/	DB	SB	/	-	-	/	OB	SB	/

**Tabela 4:** Vrednosti preferencija scenarija u odnosu na kriterijume

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>
Sc.1	0,031	0,039	0,627	0,059	0,051	0,044	0,044	0,044	0,571	0,059
Sc.2	0,197	0,320	0,314	0,314	0,316	0,319	0,319	0,319	0,286	0,314
Sc.3	0,772	0,641	0,059	0,627	0,633	0,637	0,637	0,637	0,143	0,627

Za konačan poredak scenarija primenom VIKOR metode najpre se definiše najbolja i najlošija vrednost kriterijumskih funkcija, odnosno određuje idealno ( $f_i^*$ ) i antiidealno ( $f_i^-$ ) rešenje (Opricović, 1998):

$$f_i^* = \max_k f_{ki}, k = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$f_i^- = \min_k f_{ki}, k = 1, \dots, m \quad (8)$$

gde je  $f_{ki}$  vrednost preferencije scenarija  $k$  u odnosu na kriterijum  $i$ .

Zatim se računaju rastojanja ( $S_k$ ) alternativa od idealnog rešenja i rastojanja ( $R_k$ ) od antiidealnog rešenja:

$$S_k = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ki}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (9)$$

$$R_k = \max_i [w_i (f_i^* - f_{ki}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (10)$$

Na kraju je potrebno izračunati i VIKOR vrednosti  $Q_k$ , za  $k=1, \dots, m$ , na sledeći način:

$$Q_k = v \left[ \frac{S_k - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1-v) \left[ \frac{R_k - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (11)$$

gde je  $S^- = \max_k S_k$ ,  $S^* = \min_k S_k$ ,  $R^- = \max_k R_k$ ,  $R^* = \min_k R_k$ , a  $v$  je težina strategije "maksimalne grupne korisnosti". To znači da ako je  $v$  veće od 0.5, indeks  $Q_k$  će težiti konsenzusu većine, a ako je manje od 0.5 indeks  $Q_k$  će težiti negativnom stavu većine. U ovom radu je za dobijanje vrednosti  $Q_k$  korišćena

vrednost  $v=0.55$ . Uređivanjem vrednosti  $Q_k$  u rastući niz dobija se konačan poredak alternativa. Vrednosti  $S_k$ ,  $R_k$ ,  $Q_k$ , kao i konačan poredak alternativa su prikazani u tabeli 6.

**Tabela 6:** Konačan poredak scenarija logističkog sistema

Scenario	$S_k$	$R_k$	$Q_k$	Rang
Sc.1	0,667	0,148	0,550	3
Sc.2	0,566	0,163	0,431	1
Sc.3	0,333	0,296	0,450	2

Kombinovanjem FAHP i VIKOR metode, za definisani skup i međusobni odnos kriterijuma, scenario Sc.2 je izabran kao najbolji scenario logističkog sistema centralne poslovne zone. Isti poredak scenarija dobijen je i primenom PROMETHEE metode (Tadić & Zečević, 2009), kao i kombinacijom fazi AHP i fazi TOPSIS metode (Tadić *et al.*, 2014).

## 6. ZAKLJUČAK

Metode VKO daju podršku donosiocima odluke (planeri, uprava grada, logistički provajderi, korisnici, itd.) za izbor scenarija logistike urbane sredine, što je u ovom radu izvedeno za CBDD Beograda. U radu su definisana tri scenarija logističkog sistema, pri čemu scenario Sc.1 podrazumeva minimalne izmene, a scenariji Sc.2 i Sc.3 predstavljaju modernija rešenja city logistike. Svaki od definisanih scenarija predstavlja kompleksan logistički sistem, pa je za konačan izbor scenarija potrebno analizirati sve aspekte njegove primene. Za ocenu scenarija definisano je deset kriterijuma, a rangiranje je izvršeno primenom modela VKO koji kombinuje FAHP i VIKOR. Scenario Sc.2 je u odnosu na definisane kriterijume izabran kao najpogodniji za rešavanje problema logistike centralne gradske zone.

Problem rangiranja scenarija logističkog sistema CBDDa Beograda rešavan je i drugim metodama VKO (Tadić & Zečević, 2009; Tadić *et al.*, 2014). U svim slučajevima poredak scenarija bio je isti, ali su se vrednosti za rangiranje alternativa razlikovale. Svaka od metoda ima određene prednosti i nedostatke, a pored se u cilju uspostavljanja balansa između kompleksnosti primene i kvaliteta dobijenih rezultata. Primena drugih metoda (npr. ANP, DEMATEL, ELECTRE itd, u konvencionalnom obliku ili fazi okruženju) možda bi dala veće razlike između vrednosti na osnovu kojih se vrši rangiranje alternativa, time smanjujući rizik od donošenja pogrešne odluke. Međutim u nekim slučajevima su prihvatljiva i manje kvalitetna rešenja, naročito ako ne dolazi do promene poretka alternativa, ukoliko to na drugoj strani donosi uštede u vremenu, troškovima i ostalim resursima. Ovo bi mogao biti predmet budućih istraživanja.

## LITERATURA

- [1] Dablanc L, Rakotonarivo D. (2010). The impacts of logistic sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6087-6096.
- [2] Generalni plan Beograda 2021.  
[http://www.urbel.com/documents/planovi/4231\(s1%201%2027-03\).pdf](http://www.urbel.com/documents/planovi/4231(s1%201%2027-03).pdf), last accessed on: 22.07.2014.
- [3] Mikhailov, L. (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments. *Fuzzy Sets and Systems*, 134, 365-385.
- [4] Opricovic, S. (1998). Opricović, S. (1998). *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*. Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [5] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill International.
- [6] Tadić, S., Zečević, S. (2009) Izbor optimalnog scenarija razvoja logističkog sistema. *Simpozijum operacionih istraživanja (SYM-OP-IS 2009)*, Ivanjica, 333–336.
- [7] Tadić, S., Zečević, S., Krstić, M. (2014) Ranking of logistics system scenarios for central business district. *Promet – Traffic & Transportation*, 26(2), 159-167.
- [8] Van Laarhoven, P.J.M., Pedrycz W. (1983) A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Set and Systems*, 11, 229–241.
- [9] Wang, Y.M., Chin, K.S. (2011). Fuzzy analytic hierarchy process: A logarithmic fuzzy preference programming methodology. *International Journal of Approximate Reasoning*, 52, 541–553.
- [10] Zečević, S. (2006). *Razvojni koncept logističkog sistema na području Ada Huje*. Ekspertska istraživanje, Urbanistički zavod Beograda, Beograd.

# **MASOVNO OPSLUŽIVANJE**



## ODREĐIVANJE STAFING NIVOVA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA PRIMENOM ERLANG B MODELA

### USING ERLANG B MODEL TO DETERMINE STAFFING LEVEL IN HEALTH CARE ORGANIZATIONS

ALEKSANDRA MARCIKIĆ<sup>1</sup>, BORIS RADOVANOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u NovomSadu, Ekonomskifakultet u Subotici, {amarcikic, radovanovb}@ef.uns.ac.rs

**Rezime:** Osnovna ideja istraživanja je da se na osnovu uočenih pravilnosti tražnje za urgentnim zdravstvenim uslugama izvrši alokacija raspoloživih ljudskih resursa određivanjem optimalnog stafing nivoa. Na taj način ostvaruje se prilagođavanje aktivnosti zdravstvenih ustanova prirodi i dinamičnosti tražnje, što posledično dovodi do porasta kvaliteta usluga i satisfakcije i pacijenata i zaposlenih. Za određivanje neophodnog stafing nivoa koristiće se teorija masovnog opsluživanja i dobro poznati Erlang B model, pomoću kojeg se izračunava verovatnoća odbijanja poziva usled zauzetosti svih ekipa. Kako je utvrđeno postojanje značajne zavisnosti broja i trajanja medicinskih intervencija od sata u danu i dana u nedelji, biće izvršena modifikacija standardnog Erlang B putem SIPP (stationary independent period by period) pristupa, te će optimalan stafing nivo biti pojedinačno određen za svaki sat i svaki dan u nedelji, uz poštovanje unapred definisane verovatnoće odbijanja. Različite varijante stafing nivoa su testirane, a poređenje je vršeno na osnovu performanse i troškova izabranog nivoa. U istraživanju su korišćeni originalni empirijski podaci službe hitne medicinske pomoći sa teritorije AP Vojvodine. Pored službe hitne medicinske pomoći, rezultate je moguće upotrebiti u svim drugim zdravstvenim ustanovama, koje karakteriše stohastička priroda tražnje za njihovim uslugama.

**Ključne reči:** Erlang B model, Stafing, Zdravstveni menadžment.

**Abstract:** The main goal of this paper is development and application of quantitative models to aid decision making in health care sector, especially addressing workforce allocation. The current schedules in health care organizations in Serbia are static and made ad hoc. The paper provides insight in dealing with randomness in the ambulance service planning, by linking demand and supply to obtain the optimal resources allocation. In this paper we analyze the data provided by health care organizations in Vojvodina. Based on the Erlang B model, simple staffing methods will be presented in order to obtain optimal staffing level. The proposed model is easily applicable to various aspects of human resources planning process in organizations with stochastic demand.

**Keywords:** Erlang B model, Staffing, Health Care Management.

#### 1. UVOD

Aktuelni zdravstveni sistemi okarakterisani su višestrukim ciljevima, različitim evaluacionim kriterijumima i višestepenim odlučivanjem, dok su sa druge strane resursi i budžet izuzetno ograničeni. Cilj menadžmenta zdravstvenih organizacija je ostvarivanje uspešnosti poslovanja i pružanje visoko kvalitetnih usluga uz uvažavanje svih specifičnosti koje karakterišu zdravstveni sistem. Za razliku od privrednog poslovanja, koje je primarno usmereno na maksimizaciju dobiti i satisfakciju potrošača, u fokusu menadžmenta zdravstvenih organizacija je prvenstveno što potpunije zadovoljenje zdravstvenih potreba pacijenata. Zdravstveni menadžment teži da zadovolji i izbalansira interese svih učesnika u zdravstvenom sistemu. Iz navedenog proizilazi zaključak da je cilj zdravstvenog menadžmenta kvantitativna i kvalitativna optimizacija organizacije, njenih resursa tj. inputa i outputa.

Upravljanje oskudnim resursima na najbolji mogući način je osnovni zadatak operacionih istraživanja, čiji je cilj da primenom analitičkih metoda pruže adekvatnu osnovu za donošenje odluka. Stoga primena metoda operacionih istraživanja sigurno može biti od izuzetnog značaja za ostvarivanje poslovnih ciljeva i željenog kvaliteta usluga u svim zdravstvenim organizacijama. Praktična primena kvantitativnih metoda u



zdravstvenim ustanovama odavno je zaživela u razvijenijim zemljama, dok je na žalost u našem lokalnom okruženju obaveštenost i svest o prednostima primene metoda operacionih istraživanja i njihovom praktičnom značaju za unapređenje poslovanja ekstremno niska.

Osnovna ideja istraživanja je da se na osnovu uočenih pravilnosti tražnje za urgentnim zdravstvenim uslugama izvrši alokacija raspoloživih ljudskih resursa određivanjem optimalnog staffing nivoa. Na taj način ostvaruje se prilagođavanje aktivnosti zdravstvenih ustanova prirodi i dinamici tražnje, što posledično dovodi do porasta kvaliteta usluga i satisfakcije i pacijenata i zaposlenih. Istraživanje je realizovano u cilju unapređenja organizacije službe hitne medicinske pomoći, a rezultati se mogu primeniti u svim zdravstvenim organizacijama koje karakteriše stohastička priroda tražnje. Osnovni problem organizacije službe hitne medicinske pomoći u Srbiji je to što je u svakom trenutku na raspolaganju isti broj ekipa, nezavisno od opterećenja sistema. U nedostatku kompleksnih empirijskih istraživanja na ovu temu, određivanje staffing nivoa i raspoređivanje ljudskih resursa odvija se ad hoc, bez usklađivanja sa tražnjom za urgentnim zdravstvenim uslugama. Alokacija ljudskih resursa bez odgovarajućeg jedinstvenog strateškog plana, dovodi do neracionalnog iskorišćenja raspoloživih kapaciteta, uvećanja troškova poslovanja i negativnog uticaja na kvalitet usluge i satisfakciju pacijenata. Primenom modela teorije redova čekanja u nastavku će biti prezentovano određivanje optimalnog staffing nivoa službe hitne medicinske pomoći u Subotici. Poznavajući internu organizaciju i uslove poslovanja, ove modele je moguće primeniti za optimizaciju staffing nivoa bilo koje zdravstvene ustanove sa sličnim karakteristikama tražnje.

## **2. PRIMENA TEORIJE REDOVA ČEKANJA U ZDRAVSTVENIM USTANOVAMA**

Teorija masovnog opsluživanja predstavlja matematički pristup analize redova čekanja, te se ova oblast operacionih istraživanja često naziva i teorija redova čekanja. Čekanje je deo svakodnevnih aktivnosti i javlja se u svim segmentima života, pa tako i u zdravstvenim organizacijama. Redovi čekanja javljaju se kada pacijenti bez zakazivanja dolaze da zatraže zdravstvene usluge, što je slučaj kod odeljenja hitnog prijema ili radiologije u bolnici ili službe hitne medicinske pomoći. Redovi koji se javljaju pri čekanju na zakazane zdravstvene usluge nisu predmet proučavanja teorije masovnog opsluživanja. Posmatrajući duži vremenski period, većina zdravstvenih organizacija ima kapacitete da usluži veći broj pacijenata nego što je realna tražnja, ali se redovi javljaju iz razloga što dolasci pacijenata nisu ravnomerno raspoređeni tokom vremena. Stoga su redovi čekanja kratkoročni fenomen, a pružaoci usluga su često neaktivni čekajući pacijente da pristignu. Povećanje broja pružalaca usluga tzv. servera obezbedilo bi viši i kvalitetniji nivo usluge, ali posledično i veće troškove. Modeli teorije redova čekanja su veoma primenljivi i pogodni za određivanje najefikasnijeg načina funkcionisanja sistema masovnog opsluživanja. Prevelik kapacitet opsluživanja u sistemu uzrokuje nepotrebne troškove. Sa druge strane nedovoljan kapacitet opsluživanja ima za rezultat prekomerno čekanje i druge neželjene posledice. Ovi modeli se koriste radi postizanja balansa između raspoloživih kapaciteta i kvaliteta usluga sa jedne strane i finansijskih ograničenja, sa druge strane.

## **3. MODIFIKACIJA ERLANG B MODELA ZA NESTACIONARNE PROCES**

Karakteristika urgentnih zdravstvenih usluga je da se pružaju 24 časa svakog dana, što je slučaj sa uslugama koje pruža služba hitne medicinske pomoći. Detaljnom analizom broja i vremena trajanja intervencija moguće je uočiti koji časovi su frekventniji i u koje vreme se javlja manji obim posla, te je broj raspoloživih ekipa potrebno uskladiti prema kretanju tražnje. U tu svrhu će biti primenjen Erlang B model koji na dobar način opisuje prirodu usluga službe hitne medicinske pomoći. Literatura iz ove oblasti obezbeđuje ubedljive dokaze da broj intervencija službe hitne medicinske pomoći prati nehomogen Poasonov proces (Channouf et al. 2007). U Subotici postoji samo jedna stanica hitne medicinske pomoći u koju pristižu svi pozivi i istovremeno se prosleđuju slobodnim ekipama. Ukoliko u trenutku poziva ni jedna ekipa nije slobodna taj poziv se gubi u sistemu, što opisuje i Erlang B model,  $M/G/c/c$ . Naime, u slučaju da se radi o veoma urgentnom zdravstvenom stanju, ekipa koja je na terenu prekida započetu intervenciju i odgovara na ovaj urgentni poziv. U slučaju da se radi o pozivu drugog reda hitnosti savetuje se samostalan odlazak pacijenta na odeljenje hitnog prijema opšte bolnice ili u drugu zdravstvenu ustanovu, gde će njegovo stanje biti zbrinuto usled trenutne zauzetosti svih ekipa. Bitno je naglasiti da u ovom slučaju čekanje ne postoji, pošto se radi o zdravstvenim problemima koji se moraju rešiti istog trenutka, već se pomoću modela redova čekanja može odrediti verovatnoća odbijanja poziva. Ukoliko je unapred određen nivo usluge koji se želi ostvariti, u vidu maksimalnog nivoa verovatnoće odbijanja poziva, putem Erlang B modela moguće je odrediti optimalan staffing nivo.

Stacionarnost je jedna od osnovnih pretpostavki primene većine modela teorije masovnog opsluživanja, uključujući i Erlang B model. Za stohastički proces kažemo da je stacionaran ako su njegove konačno

dimenzione raspodele invarijantne u odnosu na translaciju vremena. Međutim, u našem istraživanju stopa pojavljivanja događaja zavisi od vremena  $t$ , pa je potrebno primeniti  $M/G/c/c$  model čekanja, gde broj intervencija službe hitne medicinske pomoći prati Poasonovu distribuciju sa prosečnom stopom pojavljivanja događaja  $\lambda_t$  koja zavisi od vremenske komponente. Kako bi se mogao primeniti Erlang B model u slučaju nestacionarnog procesa, koji opisuje tražnju za uslugama hitne medicinske pomoći, biće primenjen SIPP (stationary independent period-by-period) pristup, koji pruža zadovoljavajuća rešenja u slučaju kada fluktuacije tražnje unutar pojedinih vremenskih intervala nisu značajne (Green et al. 2007, Yom-Tov et al. 2010). Prema SIPP pristupu, potrebno je podeliti posmatrani vremenski period na intervale, koji odgovaraju ograničenjima konkretnog stafing problema i unutar kojih ne postoje značajne oscilacije stope pojavljivanja događaja u zavisnosti od vremena. Zatim se određuje srednja stopa pristizanja poziva za svaki od intervala i ova vrednost se koristi u stacionarnom Erlang B modelu. Vremena trajanja intervencija takođe zavise od vremenskog trenutka  $t$ , te će isti SIPP postupak biti primenjen i na ove podatke. Iz navedenog proizilazi da je faktor opterećenja sistema potrebno posebno odrediti za svaki vremenski interval  $t$  putem sledećeg izraza:

$$\rho_t = \lambda_t \mu_t \quad (1)$$

gde je  $\lambda_t$  prosečan broj poziva, a  $\mu_t$  prosečno vreme trajanja intervencija u posmatranom vremenskom intervalu  $t$ . U ovom slučaju verovatnoća odbijanja poziva za svaki vremenski interval je prikazana relacijom:

$$B(s, \rho_t) = \frac{\frac{\rho_t^s}{s!}}{\sum_{k=0}^s \frac{\rho_t^k}{k!}} \quad (2)$$

gde je  $\rho_t$  faktor iskorišćenja u vremenskom intervalu  $t$ , a  $s$  broj servera (ekipa). Ako je  $\alpha$  unapred poznata maksimalna vrednost verovatnoće odbijanja poziva, optimalan stafing nivo  $s^*$  se određuje na sledeći način:

$$s^* = \operatorname{argmin}\{s \in N_+ : B(s, \rho) \leq \alpha\}. \quad (3)$$

Stoga se za poznatu vrednost  $\rho_t$  i fiksirani nivo  $\alpha$  jednostavno može odrediti minimalan stafing nivo ( $s^*$ ) variranjem broja ekipa na način da dobijena vrednost verovatnoće odbijanja poziva bude manja od unapred određene maksimalne vrednosti  $\alpha$ .

U cilju određivanja najboljeg stafing nivoa potrebno je posmatrati odnos performanse i troškova pojedinih stafing nivoa. Performansa stafing nivoa je pokazatelj nepovoljnosti rasporeda ekipa i određuje se na osnovu vrednosti verovatnoće odbijanja poziva. Cilj je da dobijena vrednost performanse bude što niža. Performansa stafing nivoa neće biti određena samo na osnovu vrednosti verovatnoće odbijanja već i na osnovu očekivanog broja intervencija  $\lambda_t$ . Uzimajući u obzir i očekivani broj intervencija smanjuje se verovatnoća da će do odbijanja poziva doći u najopterećenijim časovima. Stoga se performansa stafing nivoa može definisati putem sledećeg izraza:

$$\text{Performansa}(s) = \sum_t \lambda_t B(s, \rho_t) \quad (4)$$

Pored performanse, neophodno je odrediti troškove ispitanih stafing nivoa. Troškovi stafing nivoa će moći definisati kao broj raspoloživih ekipa u svakom sat u toku prosečne nedelje.

$$\text{Troškovi}(s) = \sum_t s_t \quad (5)$$

#### 4. NUMERIČKI REZULTATI

U ovom istraživanju tražnja za uslugama hitne medicinske pomoći je prikazana na osnovu dnevnog broja primljenih poziva. Originalni podaci o broju i vremenu trajanja intervencija su prikupljeni u službi hitne medicinske pomoći Doma zdravlja Subotica, za vremenski period od 15.02.2010. do 15.02.2013. U cilju određivanja najboljeg stafing nivoa, koji karakteriše najniža performansa i što niži troškovi, potrebno je analizirati broj poziva i vreme trajanja intervencija prosečne nedelje. Vrednost verovatnoće odbijanja poziva (2), performansa (4) i troškovi (5) stafinga određeni su na osnovu postojećeg stafing nivoa za prosečnu nedelju i prikazani u narednoj tabeli.

**Tabela 1:** Pokazatelji postojećeg stafing nivoa

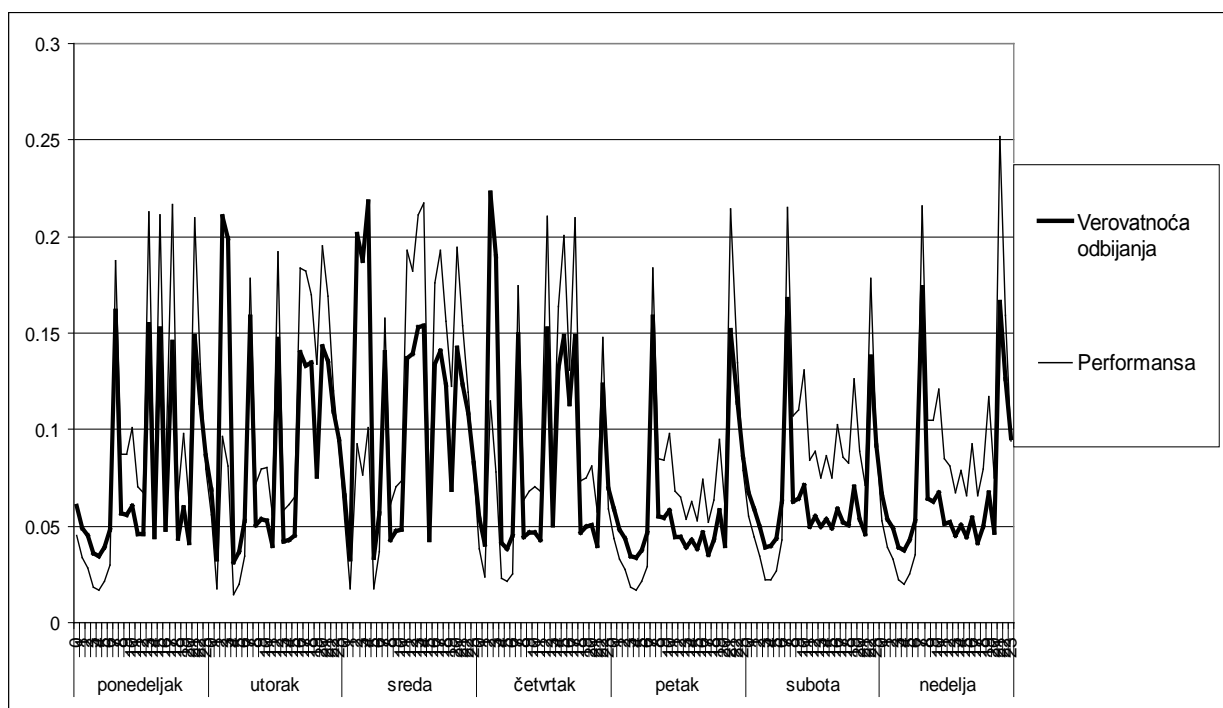
Pokazatelji	Verovatnoća odbijanja poziva		Performansa		Ukupna performansa	Troškovi
	min	maks	min	maks		
	0.0212	0.2230	0.0087	0.3971	22.4361	372

U cilju ostvarivanja ujednačenog kvaliteta usluga u svakom vremenskom trenutku potrebno je smanjiti oscilacije performanse, kao i njenu ukupnu vrednost. To je postignuto variranjem stafing nivoa, tako da verovatnoća odbijanja poziva ostane ispod izračunatih maksimalnih vrednosti  $\alpha$  uz što niži nivo troškova. Pri postojećem stafing nivou visoke vrednosti verovatnoće odbijanja poziva najčešće se javljaju u frekventnim časovima, što dovodi i do visokih vrednosti performanse. Kod svih meseci jasno se uočava izrazito visoka vrednost performanse utorkom i sredom u 19 sati i vikendom u prepodnevnom časovima. Generalno posmatrano, prepodnevni časovi su izuzetno opterećeni, dok se najniža vrednost performanse ostvaruje noću, usled manjeg obima posla.

Prilikom određivanja optimalnog stafing nivoa neophodno je bilo pronaći najbolji odnos između performanse i troškova, uz poštovanje maksimalne vrednosti verovatnoće odbijanja  $\alpha$ . Različiti stafing nivoi su razmatrani što je imalo za rezultat pronalaženje optimalnog stafing nivoa sa najboljim odnosom između vrednosti ukupne performanse i troškova stafinga. Smanjenje oscilacija vrednosti performanse dovelo je do značajnog snižavanja ukupne performanse za sve mesece, ali i do povećanja broja raspoloživih ekipa.

**Tabela 2:** Performansa i troškovi stafinga prosečne nedelje

Početni stafing nivo		Optimalan stafing nivo	
Ukupna performansa	Troškovi	Ukupna performansa	Troškovi
22.4361	372	15.5571	401



**Slika 1:** Verovatnoća odbijanja poziva i performansa optimalnog stafing nivoa

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza stafing nivoa, sa ciljem da se obezbedi raspoređivanje ljudskih resursa u skladu sa tražnjom za uslugama hitne medicinske pomoći. Trenutno se rad ove službe organizuje sa dve raspoložive ekipe svakog dana, dok se petkom, subotom i nedeljom angažuje i dodatna ekipa. Česte su situacije kada je tražnja za uslugama veća od broja raspoloživih ekipa u datom trenutku, ali se javljaju i momenti kada uopšte nema poziva, a sve ekipe su na raspolaganju u stanici hitne pomoći. Detaljnom analizom trogodišnjih podataka o poslovanju službe hitne medicinske pomoći u Subotici u ovom radu je izvršena racionalizacija alokacije zaposlenih primenom stafing modela. Smanjivanjem oscilacija vrednosti performanse, uz poštovanje maksimalne verovatnoće odbijanja poziva, određen je optimalan stafing nivo koji dovodi do značajnog smanjenja vrednosti ukupne performanse, ali i do porasta troškova. Ovaj zaključak ukazuje na neophodnost angažovanja dodatne ekipe u frekventnim periodima, kako bi se zadržao ujednačen kvalitet usluge. Angažovanje nove ekipe moguće je realizovati većim opterećenjem postojećih kadrova ili

novim zapošljavanjem. Drugi zaključak od značaja za organizaciju rada ove službe je razmatranjem o gućnosti promene radnog vremena, kako bi se smene izvršavale u manje opterećenim časovima.

Modeliranje organizacionih procesa u zdravstvu predstavlja naučni i društveni izazov, a razvijeni modeli i prikazani rezultati u ovom radu su imali za cilj da formiraju adekvatnu osnovu za praktičnu implementaciju i unapređenje alokacije ljudskih resursa u zdravstvenim ustanovama, s posebnim osvrtom na službu hitne medicinske pomoći. Navedeni rezultati staffing modela pružaju adekvatnu osnovu za kreiranje modela optimalnog raspoređivanja zaposlenih, što predstavlja jednu od smernica budućih istraživanja u ovoj oblasti.

## LITERATURA

- [1] Bekker, R.&De Bruin, A. M. (2010). Time-dependent analysis for refused admissions in clinical wards. *Annals of Operations Research*. 178 (1). 45-65.
- [2] Brahma, P.K. (2012). *Application of queueing theory in hospital manpower planning*. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany
- [3] Channouf, N., L'Ecuyer, P., Ingolfsson, A.&Avramidis, N. (2007). The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. *Health Care Manage Science*, 10 (1). 25-45.
- [4] De Bruin, A.M., Bekker, R., Van Zanten, L. &Koole, G.M. (2010). Dimensioning hospital wards using the Erlang loss model. *Annals of Operations Research*. 178 (1), 23-43.
- [5] Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*. 153, 3–27.
- [6] Green, L.V.,Kolesar, P.J.&Whitt, W. (2007). Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a service system. *Production and Operations Management*, 16 (1), 13-39.
- [7] Teow, K.L. (2009). *Practical operations research applications for healthcare managers*. Annals Academy of Medicine Singapore, 564-566.
- [8] Yom-Tov, G.& Mandelbaum, A. (2010). The Erlang R Queue: Time-Varying QED Queues with Reentrant Customers in Support of Healthcare Staffing., MSOM Conference, Israel.
- [9] Zuidhof, G.M. (2010). *Capacity Planning for Ambulance Services: Statistical Analysis, Forecasting and Staffing*. Master thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, Centrum Wiskunde en Informatica Amsterdam.



## ANALIZA RADA VISOKOOPTEREĆENOG VIŠEKANALNOG SISTEMA OPSLUŽIVANJA U TAKTICI ROJENJA

### ANALYSIS OF MULTICHANNEL QUEUEING SYSTEM IN HEAVY TRAFFIC REGIME FOR SWARMING TACTICS

NEBOJŠA NIKOLIĆ<sup>1</sup>, RADOMIR JANKOVIĆ<sup>2</sup>, MOMČILO MILINOVIĆ<sup>3</sup>, OLIVERA JEREMIĆ<sup>3</sup>, MIRKO JEZDIMIROVIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institut za strategijska istraživanja, Beograd, nidzan@ptt.rs

<sup>2</sup> Univerzitet Union, Računarski fakultet, Beograd

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd

<sup>4</sup> Vojnotehnički institut, Beograd

**Rezime:** U radu je prikazan deo konceptualnog modela angažovanja buduće vojne platforme u uslovima taktike rojenja (swarming). Glavna ideja rojenja jeste da se grupa borbenih platformi raspoređenih na određenom prostoru, dovede do cilja radi istovremenog dejstva. Platforme koje primenjuju taktiku rojenja su, svaka pojedinačno, inferiornije u odnosu na protiničku borbenu platformu koja je cilj, i zbog toga je suštinski važno da se istovremeno pojave i dejstvuju na cilj. U radu se daje analiza sistema masovnog opsluživanja tipa  $M/M/4$ , koji funkcioniše u vrlo opterećenom režimu bliskom režimu zasićenja, i, što je još važnije, u relativno kratkotrajnom vremenskom periodu. Stacionarna rešenja za sistem  $M/M/n$  su dobro poznata u literaturi, međutim, ista su validna samo za uslove stacionarnog režima, odnosno za uslove koji nastupaju posle beskonačno mnogo vremena od početka funkcionisanja sistema. Da bi analizirali rad sistema masovnog opsluživanja koji funkcioniše relativno kratko, odnosno konačni period vremena, pogodnije je primeniti Monte Karlo simulacioni pristup. Rezultati pokazuju da posmatrani sistem, koji dejstvuje u konačnom vremenu, može imati relativno prihvatljive mere performanse čak i u uslovima visoke opterećenosti kanala opsluživanja.

**Ključne reči:** Simulacije, Teorija masovnog opsluživanja, Visoka opterećenost, Prelazni period, Vojska, Rojenje.

**Abstract:** Paper presents a part of a conceptual model related to a future weapon system engaged in the swarming tactics. Main idea of military swarming is to bring a number of dispersed blue forces or platforms in front of the red target in the same time. Being inferior in one-to-one duel towards opposing forces or platform, a set of inferior platforms has a prospect of success only if attacks in a synchronized manner in a same time, that is if apply swarming tactics. Paper presents results of analysis of the  $M/M/4$  queueing system that works in a heavy traffic regime near the saturation point, and, which is the main challenge, in a very limited time period. Steady-state solutions for  $M/M/n$  queueing systems are well documented in a literature, however, they are valid for queueing system behavior only under steady-state condition that is after infinite period of working. To study queueing system that works in a finite time period, Monte Carlo simulation approach is more practical. Results shows that finitely engaged queueing system, even in a very heavy traffic regime, can has relatively acceptable performances.

**Keywords:** Simulation, Queueing Theory, Heavy Traffic, Transient, Military, Swarming.

#### 1. UVOD

U radu je prikazan deo konceptualnog modela angažovanja buduće vojne platforme u uslovima primene taktike rojenja, poznatije kao „swarming“ (Janković 2011). Sa razvojem mobilnih izviđačkih i borbenih platformi bez ljudske posade, koncept rojenja postaje sve aktuelniji u istraživanjima za vojne potrebe (Jezdimirović et al. 2013). Glavna ideja koncepta rojenja jeste da se grupa borbenih platformi raspoređenih na određenom prostoru, dovede do cilja radi istovremenog-sinhronizovanog dejstva (Janković et al. 2011).

Platforme koje primenjuju taktiku rojenja su, svaka pojedinačno, inferiornije u odnosu na protiničku borbenu platformu koja je cilj, i zbog toga je suštinski važno da se istovremeno pojave i dejstvuju na cilj.

Istovremenom pojavom i dejstvom po cilju koji se naravno i sam brani, zagušuju se odbrambeni kapaciteti branioca i on postaje ranjiv zbog nemogućnosti adekvatnog i istovremenog odgovora na sve pretnje koje su se pojavile u istom trenutku.

U radu se daje analiza sistema masovnog opsluživanja tipa M/M/4, koji funkcioniše u vrlo opterećenom režimu bliskom režimu zasićenja, i, što je još važnije, u relativno kratkotrajnom vremenskom periodu. Stacionarna rešenja za sistem M/M/n su dobro poznata u literaturi, međutim, ista su validna samo za uslove stacionarnog režima, odnosno za uslove koji nastupaju posle beskonačno mnogo vremena od početka funkcionisanja sistema.

Da bi analizirali rad sistema masovnog opsluživanja koji funkcioniše relativno kratko, odnosno konačni period vremena, pogodnije je primeniti Monte Karlo simulacioni pristup. Rezultati pokazuju da posmatrani sistem, koji dejstvuje u konačnom vremenu, može imati relativno prihvatljive mere performanse čak i u uslovima visoke opterećenosti kanala opsluživanja.

## 2. KLASIČNA REŠENJA ZA SISTEM M/M/4

Sistem masovnog opsluživanja tipa M/M/4, spada u tipove sistema M/M/n, po Kendalovom sistemu označavanja sistema masovnog opsluživanja. Rešenja kojima se opisuju mere performanse ovog tipa sistema, za stacionarni režim rada, su dobro poznata i prisutna u literaturi, a ovdje su korišćena u cilju ilustracije koliko se mogu razlikovati performanse sistema u stacionarnom režimu rada u odnosu na iste u nestacionarnom periodu funkcionisanja.

Posmatrani višekanalni sistem masovnog opsluživanja tipa M/M/4, funkcioniše u vremenskom periodu dužine 50.000 vremenskih jedinica. Srednje vreme između pojave zahtjeva za opslugom je 100 vremenskih jedinica, a srednje vreme opsega u svakom od 4 jednakih kanala, iznosi 399 vremenskih jedinica. I pojava zahteva i njihova opsluga su slučajnog karaktera i imaju eksponencijalnu raspodelu (oznaka M po Kendalovom sistemu označavanja).

U nastavku sledi prikaz i proračun nekoliko ključnih mera performansi ovog sistema, za slučaj stacionarnog režima, radi poređenja sa pravim rešenjima za prelazni režim koja su dobijene simulacijom i prikazana u sledećoj tački. Matematički izrazi koji slede dobro su poznati u literaturi posvećenoj osnovnim kursevima iz teorije masovnog opsluživanja. Primer odličnih referenci za ovu oblast na srpskom jeziku su dela Vukadinovica (1988) i Vujiosevica (1999). Takođe, na Internetu, moguće je pronaći nekoliko sajtova koji nude gotove programske pakete za proračun mera performansi osnovnih tipova sistema masovnog opsluživanja, ali, naravno, samo za stacionarni režim rada sistema.

Verovatnoća stanja  $p_0$  (u SMO nema klijenata) računa se prema sledećoj formuli (0,000235 u ovom zadatku):

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \frac{1}{1-\rho/n}} = \frac{1}{\sum_{k=0}^4 \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^4}{4!} \frac{1}{1-\rho/4}} \quad (1)$$

Dužina reda čekanja ( $L_q$ ) računa se prema sledećoj formuli (396,79 u ovom zadatku):

$$L_q = \frac{\rho^n \frac{\rho}{n} p_0}{n!(1-\rho/n)^2} = \frac{\rho^4 \frac{\rho}{4} p_0}{4!(1-\rho/4)^2} \quad (2)$$

Vreme čekanja ( $W_q$ ) računa se prema sledećoj formuli (39.678,91 u ovom zadatku):

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho^n \frac{\rho}{n} p_0}{\lambda n!(1-\rho/n)^2} \quad (3)$$

## 3. SIMULACIONA REŠENJA ZA SISTEM M/M/4

U cilju dobijanja pravih rešenja za posmatrani sistem masovnog opsluživanja, razvijen je simulacioni model koji podržava ključni uslov u ovom problemu a to je simulacija rada sistema u konačnom vremenu (50.000 vremenskih jedinica u simulaciji odgovara, u relativnom odnosu, oko 125 prosečnih vremena opsluživanja). Simulacioni model je zasnovan na metodologiji automatizovanog ponavljanja većeg broja nezavisnih simulacionih eksperimenata (Nikolić 2008), a u konkretnom primeru izvršeno je 10.000 iteracija.

U Tabeli 1 prikazane su vrednosti verovatnoća da je sistem prazan ( $p_0$ ), da je zauzet jedan kanal ( $p_1$ ), odnosno dva ( $p_2$ ), tri ( $p_3$ ), i sva četiri kanala opsluživanja ( $p_4$ ). Treba uočiti da je verovatnoća stanja kada su sva četiri kanala opsluživanja zauzeta ( $p_4$ ), u stvari zbir svih ostalih verovatnoća stanja (bez prvih 4). Otuda su i prikazane vrednosti za ovu veličinu ( $p_4$ ) i značajno veće nego za ostale ( $p_0, p_1, p_2, p_3$ ) koje prikazuju verovatnoće samo po jednog određenog stanja sistema.

**Tabela 1:** Verovatnoće zauzetosti kanala opsluživanja u funkciji vremena

VREME	$p_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$
0	1	0	0	0	0
1000	0.0235	0.0912	0.1568	0.1843	0.5442
2000	0.0132	0.0502	0.1075	0.1318	0.6973
3000	0.0098	0.0423	0.0833	0.1028	0.7618
4000	0.0089	0.0365	0.0648	0.0943	0.7955
5000	0.0076	0.0317	0.0592	0.0845	0.817
6000	0.0079	0.0243	0.0524	0.0784	0.837
7000	0.0062	0.0275	0.0517	0.0708	0.8438
8000	0.0069	0.0247	0.0488	0.0651	0.8545
9000	0.0051	0.0221	0.047	0.0626	0.8632
10000	0.006	0.0207	0.0471	0.0598	0.8664
...	...	...	...	...	...
20000	0.0041	0.0164	0.0303	0.0419	0.9073
30000	0.0027	0.0121	0.0264	0.0352	0.9236
40000	0.0035	0.0107	0.0224	0.0299	0.9335
50000	0.0023	0.0102	0.0207	0.0282	0.9386

Iz Tabele 1 možemo uočiti vrednosti za verovatnoću stanja da je sistem prazan ( $p_0$ ), koja, logično ima vrednost 1 na samom početku posmatranog perioda ( $t=0$ ), zatim opada tokom čitavog perioda, da bi na kraju imala vrednost od oko 0,0023. Ovo je veoma blizu nule, ali je još uvek mnogo veća nego u stacionarnom periodu, kada iznosi svega 0,000235. Uočavamo da je vrednost verovatnoće  $p_0$  na kraju posmatranog perioda veća od  $p_0$  u stacionarnom periodu skoro deset puta ( $p_0(t=50,000) = 9,8 * p_0(\text{stacionarno})$ ). To je pouzdan dokaz da je ovaj sistem masovnog opsluživanja za date uslove još uvek dosta daleko od stacionarnog režima. Odnosno, reč je o funkcionisanju u prelaznom ili nestacionarnom režimu rada.

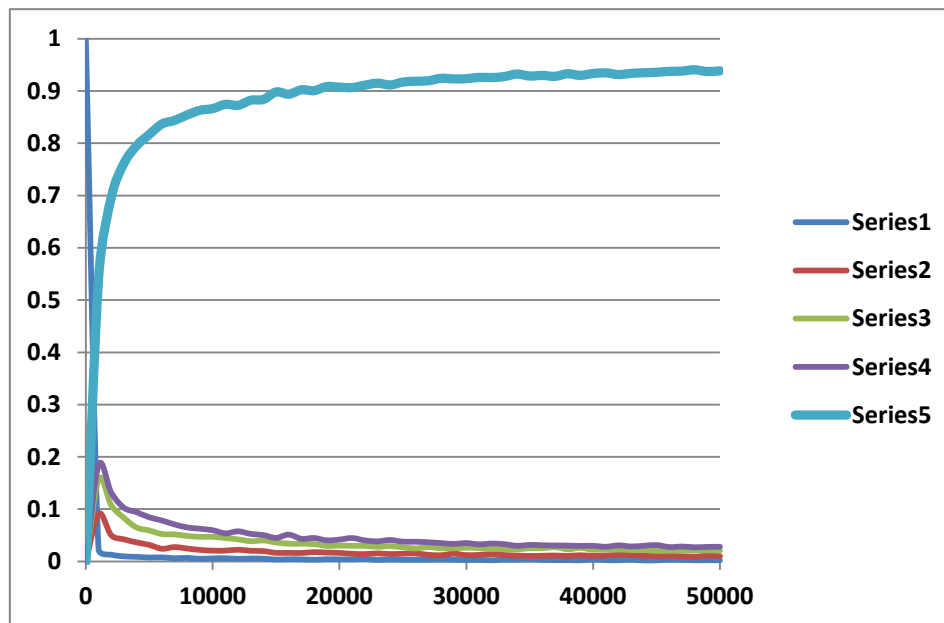
Zbog obimnosti, podaci u tabeli su dati u skraćenom obliku, a na Slici 1 dat je integralni grafički prikaz ovih verovatnoća stanja sistema kao vremenski zavisnih veličina. Sa grafika se može uočiti da posmatrani sistem, u razmatranom vremenu funkcionisanja, nije u potpunosti dosegao stacionarni režim, mada je trend ka istom evidentan. Oznake grafičkih prikaza verovatnoća stanja sistema na Slici 1 su prema sledećem:

- Verovatnoća da je sistem prazan ( $p_0$ ) – Series 1
- Verovatnoća da je zauzet jedan kanal opsluživanja ( $p_1$ ) – Series 2
- Verovatnoća da su zauzeta dva kanala opsluživanja ( $p_2$ ) – Series 3
- Verovatnoća da su zauzeta tri kanala opsluživanja ( $p_3$ ) – Series 4
- Verovatnoća (zbirna) da su zauzeta sva četiri kanala opsluživanja ( $p_4$ ) – Series 5

Za dužinu reda čekanja na opslugu ( $L_q$ ), za početne uslove u ovom zadatku, teorijski se dobije vrednost od skoro 397 klijenata u redu čekanja (396,79 po proračunu). Međutim, simulacioni rezultati daju višestruko manju vrednost. Na samom kraju posmatranog perioda, dužina reda čekanja dobijena simulacijom je oko 21 klijent u redu (20,9), dok je u periodu pre kraja procesa ta vrednost manja.

Slična je zaključak i za vreme čekanja na opslugu ( $W_q$ ). Rezultat na osnovu teorijskih izraza je 39.679 vremenskih jedinica, a rezultat na osnovu simulacija je oko 1.317 vremenskih jedinica.

Osnovni razlog za ovako velike razlike jeste uticaj prelaznog režima rada sistema masovnog opsluživanja, odnosno činjenica da sistem, za posmatrano konačno vreme rada, uopšte ne stigne do stacionarnog režima rada (koji, formalno posmatrano, nastupa posle beskonačno mnogo vremena).



Slika 1: Verovatnoće zauzetosti kanala opsluživanja

## 5. ZAKLJUČAK

Razvijeni simulacioni model za sistem opsluživanja tipa M/M/4, moguće je prilagoditi i za druge tipove funkcija raspodela slučajnih veličina, kao i za drugu strukturu kanala opsluživanja. Takođe, simulacioni model omogućava razmatranje i slučajeva zasićenosti i preopterećenja kanala opsluživanja. Nastavak istraživanja ići će upravo u navedenim pravcima, ili konkretnije, ka razmatranju slučaja zasićenja za sistem tipa G/G/n, za koji postoje veoma skromni teorijski rezultati

Deo rezultata u ovom radu razvijen je u okviru interdisciplinarnog naučnog projekta pod nazivom „Rentabilni izbor novih tehnologija i koncepcija odbrane kroz društvene promene i strategijske orijentacije Srbije u 21.veku“ (oznaka projekta: III-47029), koji je podržan od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Jankovic, R. (2011). Computer simulation of an armoured battalion swarming. *Defence Science Journal*, 61/1, 36-43.
- [2] Jankovic, R., Milinovic, M., Nikolic, N. & Jeremic, O. (2011). On Application of Discrete Event Simulation in Armoured and Mechanized Units Research. *Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2011)*, Thessaloniki, Greece. Vol. 2, 157-163.
- [3] Jezdimirovic, M., Milinovic, M., Jankovic, R. & Nikolic, N. (2011). Remote controlled combat vehicle in the concept of network centric warfare. *Proceedings, 4th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH 2011)*, Belgrade, 428-433.
- [4] Nikolic, N. (2008). Statistical integration of Erlang's equations. *European Journal of Operational Research*, 187/3, 1487-1493.
- [5] Nikolic, N. (2010). Military Queueing systems in Saturation Regime and Some Practical Consequences. *Scientific Technical Review*, 60/1, 48-53.
- [6] Nikolic, N., Janković, R., Milinovic, M. & Jeremic, O. (2012). Error reduction in simulation of transient behavior of queueing systems under critical traffic conditions. *Transport&Logistics* 12/22, 1-8.
- [7] Vujošević, M. (1999). *Operaciona istraživanja – izabrana poglavlja*. FON. Beograd.
- [8] Vukadinović, S. (1988). *Masovno opsluživanje*. (treće dopunjeno izdanje). Naučna knjiga. Beograd.



# **MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE**



## ANALIZA KONVERGENCIJE PO MODELU KONSTRUKTIVNE VERZIJE ALGORITMA OPTIMIZACIJE KOLONIJOM PČELA

### MODEL CONVERGENCE PROPERTIES OF THE CONSTRUCTIVE BEE COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM

TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER<sup>1</sup>, TATJANA DAVIDOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Matematički institut SANU, Beograd, {tatjana, tanjad}@mi.sanu.ac.rs

**Rezime:** Metoda optimizacije kolonijom pčela (eng. Bee Colony Optimization, BCO) je metaheuristička metoda, inspirisana prirodnim procesima, pomoću koje se rešavaju teški optimizacioni problemi. BCO metoda je zasnovana na ponašanju pčela u prirodi tokom potrage za hranom i predložili su je Lučić i Teodorović 2001. godine. Kroz brojne primene u transportu, teoriji lokacija, raspoređivanju i drugim oblastima metoda je evoluirala, odnosno prošla kroz mnoge transformacije, modifikacije, pa i paralelizacije, što je uticalo na povećanje njene efikasnosti. Nedavno su se pojavili prvi rezultati na temu teorijske verifikacije BCO metode, a ovaj rad predstavlja korak dalje u tom smeru.

**Ključne reči:** Operaciona istraživanja, prirodom inspirisani algoritmi, inteligencija roja, potraga pčela za nektarom, kombinatorna optimizacija, metaheurističke metode, uslovi konvergencije.

**Abstract:** The Bee Colony Optimization (BCO) algorithm is a nature-inspired meta-heuristic method for dealing with hard, real-life optimization problems. It is based on the foraging habits of honeybees and was proposed by Lučić and Teodorović in 2001. Through numerous applications in transportation, location theory, scheduling and some other fields, method has evolved and underwent many transformations, modifications, even parallelization, which resulted in the increase of its efficiency. The first results of the theoretical verification of the BCO method have appeared recently. The aim of this paper is to further contribute to this topic.

**Keywords:** Operational research, bio-inspired algorithms, swarm intelligence, foraging of honeybees, combinatorial optimization, meta-heuristic methods, convergence properties.

## 1. INTRODUCTION

BCO is a population-based meta-heuristic method that belongs to the class of Swarm intelligence algorithms. Lučić and Teodorović were among the first who used the basic principles of collective bee intelligence in dealing with combinatorial optimization problems (Lučić and Teodorović 2001). The basic idea behind BCO is to build the multi agent system (colony of  $B$  artificial bees) that will search for good solutions of various combinatorial optimization problems exploring the principles used by honey bees during nectar collection process. Every artificial bee generates one solution to the problem. In order to find the best possible solutions, autonomous artificial bees collaborate and exchange information. Using collective knowledge and information sharing, artificial bees concentrate on the more promising areas, and slowly abandon solutions from the less promising ones. Step by step, artificial bees collectively generate (Davidović *et al.* 2012) and/or improve their solutions (Davidović *et al.* 2011). The BCO search is running in iterations until some predefined stopping criterion is satisfied. An iteration consists of predefined number ( $NC$ ) of steps. Each algorithm step consists of two alternating phases: *forward pass* and *backward pass*. During each forward pass, every bee is exploring the search space. Backward pass is responsible for the collaboration (knowledge exchange) among bees. More detailed description of the BCO method can be found in (Davidović *et al.* 2014) and its applications are reviewed in (Teodorović *et al.* 2014).

Our main objective is to contribute to the mathematical verification of the BCO meta-heuristic, aiming to reduce the gap between successful practice and missing theory. Like other meta-heuristics, BCO method suffers from a serious drawback related to the actual quality of the reported solution: even if this solution is optimal there is no any proof. For this reason, in the recent literature a lot of effort has been done on the theoretical analysis of meta-heuristic methods: (Brimberg *et al.* 2004) for Variable Neighbourhood Search

VNS, (Granville *et al.* 1994), (Hajek 1988) and (Steinhöfel *et al.* 2000) for Simulated Annealing, SA, (Gutjahr 2002) and (Stützle and Dorigo 2002) for Ant Colony Optimization ACO, (Hanafi 2001) for Tabu Search TS, (Hartl 1990), (Rudolph 1994) and (Schmitt 2001) for Genetic Algorithm GA, (Jacobson and Yücesan 2004) for Generalized Hill Climbing Algorithms GHC, (Jiang *et al.* 2007) and (Zeng *et al.* 2004) for Particle Swarm Optimization PSO, (Margolin 2005) for Cross Entropy.

In the recent papers (Jakšić Kruger 2013) and (Jakšić Kruger *et al.* 2014) two types of convergence of the BCO method are analyzed: the so called *best-so-far* convergence and the more sophisticated *model* convergence. Both convergence analyses are considered for constructive variant of the BCO algorithm where the complete solution contains subset of components. It was noted that the implementation of the forward pass is crucial for the convergence, while the backward pass can influence the convergence speed.

The rest of the paper is organized as follows. The next section provides a basic notation and definitions of convergence for meta-heuristic methods. In Section 3 we present mathematical validation and proof for model convergence of constructive BCO. Section 4 concludes the paper.

## 2. BASIC NOTATION AND DEFINITIONS

The term *convergence* is defined in order to answer the question whether or not the current solutions proposed by a considered meta-heuristic method converge to an optimal solution and if yes, how fast this happens (Gutjahr 2009). The aforementioned paper provides the basic ideas of convergence proofs for various meta-heuristic methods. We use the same notation and definitions, and recall them briefly here.

Let us denote by  $(x_1, x_2, \dots, x_b, \dots)$ ,  $x \in \chi$  the sequence of elements that are under consideration. We also define some distance function  $d$  between these elements. The sequence  $(x_t)$  converges to a limit  $x^*$ , if for each  $\varepsilon > 0$ , there is an integer  $t_0$  such that  $d(x_t, x^*) < \varepsilon$  for all  $t \geq t_0$ . If the space  $\chi$  is finite, the simplified version of the definition is applicable:  $x_t$  converges to  $x^*$  if and only if there is some  $t_0$  such that  $x_t = x^*$  for all  $t \geq t_0$ . When meta-heuristics are under consideration, the analyzed sequence  $(x_1, x_2, \dots, x_b, \dots)$ , with  $x_t \in \chi$ , denotes the sequence of "best-so-far" solutions  $x_t^{bsf}$  provided by a given meta-heuristic method after  $t$  iterations. The distance function  $d$  is defined as  $d(x_i, x_j) = |f(x_i) - f(x_j)|$ , i.e., as the absolute difference between the corresponding values of the objective function. For most of the meta-heuristic methods it holds that once an optimal solution is reached, it is propagated through the forthcoming iterations. Consecutively, our sequence becomes  $(x_1^{bsf}, x_2^{bsf}, \dots, x_t^{bsf}, \dots, x^*, x^*, \dots)$ .

Most of the meta-heuristics are stochastic search algorithms, and therefore, in order to obtain more formal definition of convergence we need to consider the series of random variables with a common distribution. In general, the random variables are not independent, and when meta-heuristics are considered the independency holds only for random walk search techniques. The two important established definitions of stochastic convergence are as follows.

*Definition 1:* A sequence of random variables  $(X_1, X_2, \dots)$  converges *with probability one* (short: w. pr. 1) or *almost surely* to a random variable  $X^*$ , if  $Pr\{\lim_{t \rightarrow \infty} X_t = X^*\} = 1$ , i.e., if with probability one, the realization  $(x_1, x_2, \dots)$  of the sequence  $X_t$  converges to the realization  $x^*$  of  $X^*$ .

*Definition 2:* A sequence of random variables  $(X_1, X_2, \dots)$  converges *in probability* to a random variable  $X^*$ , if for all  $\varepsilon > 0$ ,  $Pr\{d(X_t, X^*) \geq \varepsilon\} \rightarrow 0$  as  $t \rightarrow \infty$ , where  $d$  is the distance function on the space  $\chi$  from which the random variables  $X_t$  take their values.

If  $\chi$  is a finite set, convergence of  $X_t$  to  $x^*$  w. pr. 1 holds exactly if  $Pr\{\exists u \geq 1: X_t = x^*, \forall t \geq u\} = 1$ , and convergence of  $X_t$  in probability holds exactly if  $Pr\{X_t = x^*\} \rightarrow 1$  as  $t \rightarrow \infty$ .

Zlochin *et al.* (2004) and Gutjahr (2009) discussed two main approaches to constructing meta-heuristic methods. In Zlochin (2004) search methods were defined as *instance-based* type if new candidate solutions are being generated using solely the current solution or the current population of solutions. Gutjahr (2009) classified these methods as convergent according to the *best-so-far* criterion since only the best-so-far solution is being considered, while other parameters are not analyzed. Best-so-far convergence is easy to prove but it is not of practical value.

On the other hand, in both of the above mentioned papers the alternative frameworks, that enable improving the search, were proposed. These frameworks are based on analyzing the parameters of the corresponding meta-heuristic method. The authors agree that, in order to generate high-quality solutions, the considered meta-heuristic has to learn from previously visited solutions how to concentrate its search on the regions containing solutions of higher quality. According to (Zlochin *et al.* 2004), a meta-heuristic method satisfies the *model-based search properties* if it attempts to solve the optimization problem by repeating the following two steps:

- Candidate solutions are constructed using some parameterized probabilistic model,

- Candidate solutions are used to modify the model in such a way to concentrate the search toward more promising regions (containing solutions of better quality).

For that type of meta-heuristics the *model-based parameter scheme* was adapted as an assurance for model convergence by (Gutjahr 2009). Then, the considered meta-heuristic is being analyzed with respect to its parameters. The main conclusion in (Gutjahr 2009) and (Zlochin *et al.* 2004) is that parameter values have to change during the search.

In the model-based view, the generation of new search points is depending on the *current model* (the current set of solutions), (Gutjahr 2009). The newly obtained cost function values are evaluated, and the obtained information is used to modify the model. According to (Gutjahr 2009) the *model convergence* is described by requirement that the model converge as  $t \rightarrow \infty$ , to some state that supports only the generation of optimal or at least high quality solutions.

Contrary to the proofs of best-so-far convergence which are quite easy, model convergence proofs have to take the exploration/exploitation tradeoff explicitly into account and only succeed under parameter assumptions ensuring a proper balance between these two factors. Typically, the convergence results lead to rather narrow conditions for parameter schemes within which model convergence holds; outside the balanced regime, either a surplus of exploitation yields premature convergence to a suboptimal solution, or a surplus of exploration produces random-search-type behavior without model convergence (although best-so-far convergence may hold).

In analyzing the parametric properties of a meta-heuristic methods according to (Gutjahr 2009), and (Jacobson and Yücesan 2004) the following terms are important. For each iteration  $t$  it holds:

- $C(t)$  represents the event that  $x_t \in X^*$ , i.e., an optimal solution was generated in iteration  $t$ . The complementary event is denoted by  $C^c(t)$ .
- $B(t)$  denotes the event  $C^c(1) \cap C^c(2) \cap \dots \cap C^c(t)$ , i.e., the algorithm does not visit any element of  $X^*$  over first  $t$  iterations.  $B^c(t)$  is the complementary event to  $B(t)$ .
- $B = \bigcap_{t=1}^{\infty} B(t)$  describes the event that an optimal solution cannot be generated by the algorithm, i.e., no iteration at all produces an optimal solution.
- $r(t) = P\{B^c(t) / B(t-1)\} = P\{C(t) / B(t-1)\}$ , is the probability that in the iteration  $t$ , an optimal solution is produced for the first time.

According to Definition 2, the convergence of  $x_t$  in probability to the set  $X^*$  can be expressed as  $P_r\{C(t)\} \rightarrow 1$  as  $t \rightarrow \infty$ . We now reproduce the relevant main theorem for the convergence of GHC algorithm and an auxiliary result formulated as Lemma 1.

**Theorem 1:** *A GHC algorithm converges in probability to  $X^*$  if and only if the following two conditions are satisfied:*

$$(i) \sum_{t=1}^{+\infty} r_t = +\infty$$

$$(ii) P_r\{C^c(t) / B^c(t-1)\} \rightarrow 0 \text{ as } t \rightarrow \infty$$

$$\text{Lemma 1: } P_r(B) = 0 \Leftrightarrow \sum_{t=1}^{+\infty} r_t = +\infty.$$

The detailed proofs can be found in (Jacobson and Yücesan 2004) and (Gutjahr 2009).

### 3. MODEL CONVERGENCE OF CONSTRUCTIVE BCO

In (Jakšić Kruger *et al.* 2014) the authors analyzed both types (best-so-far and model) of convergence properties of the BCO method. They established the conditions that are sufficient for the model convergence of the constructive variant of the BCO algorithm, in the case where not all the components are included in the solution. Here we are concerned with proving model convergence of the constructive BCO algorithm when all the components are included in the solution. This scenario occurs while dealing with traveling salesman problem TSP, vehicle routing problems, or scheduling problems.

The (model convergent) variants of the BCO algorithm should always represent a highly structured search procedure which exploits the historical record of performance reflected at each stage of its execution. These requirements could be fulfilled if the forward pass includes some learning properties. As in our previous paper, in order to assure the generation of high quality solutions, we should change the selection probability

for the components based on previously obtained good solutions. In fact, our selection probability depends on two factors: the problem specific and the learned one.

Let us consider first TSP problem and denote by  $(i,j)$  a pair of components that are directly connected. We propose the following modification scheme for the selection probability of component  $j$  in the iteration  $t$  after we chose component  $i$ :

$$p_{(i,j)}(t+1) = \begin{cases} 1 - \lambda_t(1 - p_{(i,j)}(t)) & \text{if } (i,j) \in x_t^{bsf}, \\ \lambda_t p_{(i,j)}(t) & \text{if } (i,j) \notin x_{t-1}^{bsf} \end{cases}, \quad (1)$$

where  $\lambda_t$  represents the time dependent *learning rate*. The idea is to learn from the previous experience how each component influences the quality of generated solution. If the pair of components  $(i,j)$  was a part of the current best (best-so-far) solution, the probability that it will be selected in the next iteration is increased. If this pair of components is included in some low quality solutions, we decrease the probability of its selection for the next iteration. Now we can present the sufficient conditions that the BCO algorithm, with the above defined selection probability modification scheme, converges in probability to an optimal solution.

**Theorem 2:** Assume that

$$1 \geq \lambda_t \geq \frac{\log t}{\log(t+1)} \text{ for all } t \geq t_0 \text{ with } t_0 \geq 1 \quad (2)$$

and

$$\sum_{t=1}^{+\infty} (1 - \lambda_t) = +\infty. \quad (3)$$

Then the corresponding BCO algorithm converges in probability to one of the optimal solutions.

*Proof:* We have to prove that the conditions (i) and (ii) from Theorem 1 are satisfied.

(i) We will actually prove the equivalent condition (according to Lemma 1), i.e., that  $Pr(B)=0$ . As it is already defined,  $C(t)$  denotes the event that iteration  $t$  is the first in which an optimal solution is found by some bee. Consider a fixed optimal solution  $x^*$ . Then it holds:

$$B = C^c(1) \cap C^c(2) \cap \dots \Rightarrow x^* \text{ is never found and hence,}$$

$$\begin{aligned} Pr(B) &= Pr\{C^c(1) \cap C^c(2) \cap \dots\} \\ &\leq Pr\{x^* \text{ is never found}\} \\ &= \prod_{t=1}^{+\infty} Pr\{x^* \text{ is not found in iteration } t \mid x^* \text{ is not found in iteration } k < t\}. \end{aligned} \quad (4)$$

According to the cumulative probability update rule (1), for all pairs of components  $(i,j)$  that don't belong to  $x^{bsf}$  it holds:

$$p_{(i,j)}(t) = \left[ \prod_{k=1}^t \lambda_k \right] \cdot p_{(i,j)}(0),$$

which can be easily verified by induction. From the condition (2) it holds

$$\left[ \prod_{k=1}^t \lambda_k \right] \cdot p_{(i,j)}(0) \geq \left[ \prod_{k=1}^{t_0-1} \lambda_k \right] \cdot \left[ \prod_{j=t_0}^t \frac{\log j}{\log(j+1)} \right] \cdot p_{(i,j)}(0) = \left[ \prod_{k=1}^{t_0-1} \lambda_k \right] \cdot \frac{\log t_0}{\log t} p_{(i,j)}(0) = \frac{const}{\log t}.$$

Therefore, the above derived is a lower bound of the worst case selection scenario for any component  $(i,j)$ . Consecutively, for the probability to find the optimal solution  $x^*$  by any bee it holds:

$$P^*(t) = \prod_{(i,j) \in x^*} p_{(i,j)}(t) \geq \left( \frac{const}{\log t} \right)^n,$$

where  $n$  denotes the total number of components (number of cities in the TSP).

Considering the complementary event (the optimal solution  $x^*$  was not found by any bee) we obtain the upper bound on the right hand side of the relation (4) as:

$$\prod_{t=t_0}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{\text{const}}{\log t} \right)^n \right].$$

Applying a logarithm to this expression gives us:

$$\sum_{t=t_0}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{\text{const}}{\log t} \right)^n \right] \leq -\sum_{t=t_0}^{+\infty} \left( \frac{\text{const}}{\log t} \right)^n = -\infty.$$

From this we can conclude

$$\prod_{t=t_0}^{+\infty} \left[ 1 - \left( \frac{\text{const}}{\log t} \right)^n \right] = 0,$$

i.e., in (4) we have  $Pr(B) \leq 0$ . Since  $Pr(B) \geq 0$  always holds, we have  $Pr(B) = 0$ .

(ii) This condition actually means the following: once the optimal solution is found the probability that it will not be generated in the next iteration tends to zero, as the number of iterations tends to infinity.

Let  $m$  denote the index of the iteration when  $x^*$  is generated for the first time. Then in all iteration  $t > m$ , the selection probability for components not included in the optimal solution converge to zero as the number of iterations tends to infinity.

Consider the pair of components  $(i,j) \notin x^*$ . According to (1), its selection probability after iteration  $m$ , i.e., in some iteration  $m+r$ ,  $r = 1, 2, \dots$  is modified as follows:

$$p_{(i,j)}(m+r) = \left[ \prod_{k=m+1}^{m+r} \lambda_k \right] \cdot p_{(i,j)}(m).$$

Due to the condition (3) we have

$$\sum_{t=1}^{+\infty} (1 - \lambda_t) = +\infty, \text{ i.e., } \prod_{k=1}^{+\infty} \lambda_k = 0.$$

Therefore, after generating the optimal solution  $x^*$ , for the probability that the pair of component  $(i,j) \notin x^*$  will be again used it holds:

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} p_{(i,j)}(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} \left[ \prod_{k=m+1}^t \lambda_k \right] \cdot p_{(i,j)}(m) = 0,$$

which completes the proof of the theorem. ■

Considering the problem of scheduling independent tasks on identical processors, where the pair of components  $(i,j)$  describes the situation that task  $j$  is allocated to processor  $i$ , we can apply the selection probability modification scheme defined by (1). Therefore, the above described reasoning holds, and the resulting BCO algorithm satisfies model convergence properties.

## 5. CONCLUSION

We analyzed some convergence properties of constructive variant of the Bee Colony Optimization method (BCO) in cases when solutions contain all the components. We established the conditions that are sufficient for the model convergence of the constructive BCO and provided directions for designing the corresponding optimization algorithm. The possible topic of future research may include expanding the existing convergence results to improvement variant of BCO as well as performing the analysis of the convergence speed.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Brimberg, J., Hansen, P., & Mladenović, N. (2004). Convergence of variable neighborhood search. Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions, HEC Montréal.

- [2] Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2014). Bee Colony Optimization Part I: The Algorithm Overview. YUJOR, (accepted).
- [3] Davidović, T., Šelmić, M., Teodorović, D., & Ramljak, D. (2012). Bee colony optimization for scheduling independent tasks to identical processors. *J. Heur.*, 18(4), 549-569.
- [4] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D. (2011). Bee colony optimization for the p-center problem. *Comput. Oper. Res.*, 38(10), 1367-1376.
- [5] Granville, V., Krivánek, M., & Rasson, J-P. (1994). Simulated annealing: A proof of convergence. *IEEE Pattern Anal.*, 16(6), 652–656.
- [6] Gutjahr, W. J. (2002). ACO algorithms with guaranteed convergence to the optimal solution. *Inform. Process. Lett.*, 82(3), 145-153.
- [7] Gutjahr, W.J. (2009). Convergence analysis of metaheuristics. In V. Maniezzo, T. Stützle, & S. Voss (Eds.), *Matheuristics: hybridizing metaheuristics and mathematical programming* (159–187). Springer.
- [8] Hajek, B. (1988). Cooling schedules for optimal annealing. *Math. Oper. Res.*, 13(2), 311-329.
- [9] Hanafi, S. (2001). On the convergence of tabu search. *J. Heur.*, 7(1), 47-58.
- [10] Hartl, R. F. (1990). A global convergence proof for a class of genetic algorithms. Technical report, University of Technology, Vienna.
- [11] Jacobson, S. H., & Yücesan, E. (2004). Global optimization performance measures for generalized hill climbing algorithms. *J. Global Optim.*, 29(2), 173-190.
- [12] Jakšić Krüger, T. (2013). On the convergence of the bee colony optimization meta-heuristic method (in Serbian). 4th Symp. Math. Applications, Belgrade, Serbia, May, 24-25, 2013.
- [13] Jakšić Krüger, T., Davidović T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2014). The BCO algorithm and its Convergence. *Int. J. Bio-inspired Computing* (accepted).
- [14] Jiang, M., Luo, Y. P., & Yang, S.Y. (2007). Stochastic convergence analysis and parameter selection of the standard particle swarm optimization algorithm. *Inform. Process. Lett.*, 102(1), 8-16.
- [15] 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* (441–445), Sao Miguel, Azores Islands, Portugal.
- [16] Margolin, L. (2005). On the convergence of the cross-entropy method. *Ann. Oper. Res.*, 134(1), 201-214.
- [17] Rudolph, G. (1994). Convergence analysis of canonical genetic algorithms. *IEEE T. Neural Networ.*, 5(1), 96-101.
- [18] Schmitt, L. M. (2001). Theory of genetic algorithms. *Theor. Comput. Sci.*, 259, 1-61.
- [19] Steinhöfel, K., Albrecht, A., and Wong, C.-K. (2000). Convergence analysis of simulated annealing-based algorithms solving flow shop scheduling problems. In *Algorithms and Complexity* (277-290), Springer.
- [20] Stützle, T. & Dorigo, M. (2002). A short convergence proof for a class of ant colony optimization algorithms. *IEEE T. Evolut. Comput.*, 6(4), 358-365.
- [21] Teodorović, D., Šelmić, M., Davidović, T., Bee Colony Optimization Part II: The Applications Survey, YUJOR, (accepted 2014).
- [22] Zeng, J-C., & Cui, Z-H. (2004). A guaranteed global convergence particle swarm optimizer. *J. Comput. Res. Develop.*, 41(8), 1333-1338.
- [23] Zlochin, M., Birattari, M., Meuleau, N., & Dorigo, M. (2004). Model-based search for combinatorial optimization: A critical survey. *Ann. Oper. Res.*, 131(1–4), 373–395.



## DEA MODEL SA RESTRIKTIVNIM REGIONOM SIGURNOSTI ZA GENERISANJE TEŽINA U AHP METODI

### DEA MODEL WITH RESTRICTIVE ASSURANCE REGION FOR WEIGHT GENERATION IN THE AHP METHOD

RADE LAZOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, lazovic@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu se predlaže nov DEA model za generisanje lokalnih težina u AHP metodi. Glavna karakteristika tog DEAHP/RAR modela je restriktivni region sigurnosti (RAR) kojim se sužava oblast dopustivih vrednosti za težine u odnosu na DEAHP/AR model (Wang, Chin & Poon 2008). Pokazuje se da je vektor lokalnih težina koji se dobije rešavanjem DEAHP/RAR modela blizak odgovarajućem vektoru koji se dobije standardnom EM metodom (Saaty 1980). To je ilustrovano numeričkim primerom.

**Ključne reči:** DEAHP/AR, DEAHP/RAR, region sigurnosti, restriktivni region sigurnosti

**Abstract:** This paper proposes new DEA model for local weights generation in the AHP method. The main property of this DEAHP/RAR model is restrictive assurance region (RAR) which restrict feasible region for the local weights compare to DEAHP/AR model (Wang, Chin & Poon 2008). It is shown that the local weight vector, given by DEAHP/RAR model, is close to the corresponding vector given by standard EM method (Saaty 1980). This is illustrated by numerical example.

**Keywords:** DEAHP/AR, DEAHP/RAR, assurance region, restrictive assurance region

#### 1. UVOD

Kao metoda u višekriterijumskom donošenju odluka, AHP (*Analytic Hierarchy Process*) je primenjen u raznim područjima ljudske delatnosti kao što su industrijska proizvodnja, poljoprivreda, zdravstvena zaštita, logistika itd. Ključni korak u primeni ove metode je određivanje vektora lokalnih težina  $w = (w_1, \dots, w_n)$  na osnovu matrice poređenja po parovima,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

sa  $a_{ii} = 1$  i  $a_{ji} = 1/a_{ij}$  za  $i \neq j$ . U rešavanju ovog problema postoje različiti pristupi, a najzastupljenija je metoda sopstvenog vektora (EM metoda) čiji je autor Sati (1980). Saglasno ovoj metodi, vektor lokalnih težina  $w$  dobija se kao sopstveni vektor koji odgovara maksimalnoj sopstvenoj vrednosti  $\lambda_{max}$  matrice A, odnosno kao rešenje jednačine

$$Aw = \lambda_{max} w$$

U skorije vreme pojavili su se novi pristupi u rešavanju ključnog koraka AHP metode. Koristeći metodologiju DEA (*Data Envelopment Analysis*) metode, Ramanathan (2006) je razvio DEAHP metodu u kojoj se svaka alternativa ili kritirijum AHP metode posmatra kao jedinica odlučivanja u DEA metodi, dok se elementi vrsta matrice A tretiraju kao izlazi odgovarajuće jedinice odlučivanja. Za sve jedinice odlučivanja pretpostavlja se da imaju jedan ulaz kome se dodeljuje jedinična vrednost,  $u_l = 1$ .

Za svako  $k = 1, \dots, n$  rešava se optimizacioni problem

$$\max w_k = \sum_{j=1}^n a_{kj} v_j$$



pod uslovima

$$\begin{cases} u_1 = 1, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} v_j - u_1 \leq 0, i = 1, \dots, n \\ u_1, v_1 \geq 0, j = 1, \dots, n. \end{cases} \quad (1)$$

Rešenje modela (1) je vektor  $w^* = (w_1^*, \dots, w_n^*)$  čija komponenta  $w_k^*$  predstavlja DEA efikasnost  $k$ -te jedinice odlučivanja, odnosno lokalnu težinu  $k$ -te alternative (ili kriterijuma) u AHP metodi. Pokazuje se da DEAHP model daje stvarne vrednosti lokalnih težina u slučaju kada je matrica poređenja  $A$  konzistentna, tj. ako je  $a_{ik}a_{kj} = a_{ij}$ .

Međutim, ako matrica poređenja nije konzistentna, DEAHP metoda može ispoljiti određene nedostatke. Na primer, rešenje modela (1) za matricu poređenja

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 & 1 & 3 & 4 \\ 1/4 & 1 & 7 & 3 & 1/5 & 1 \\ 1 & 1/7 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/6 \\ 1 & 1/3 & 5 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 5 & 5 & 1 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1 & 6 & 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

je vektor  $w^* = (1, \dots, 1)$  na osnovu koga nije moguće izvršiti rangiranje alternativa, mada je očigledno da posmatrane alternative nemaju jednake lokalne težine. DEAHP metoda može takođe biti imuna na vrednosti nekih elemenata matrice poređenja. Tako za nekonzistentne matrice

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 1 & 9 & 5 \\ 1/9 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

DEAHP metoda daje isti vektor lokalnih težina,  $w^* = (1, 0.6, 0.2)$ . U ovom slučaju DEAHP težine su imune na promene elemenata  $b_{12}$ ,  $c_{12}$  i  $d_{12}$ .

## 2. DEAHP/AR MODEL

U cilju prevazilaženja uočenih nedostataka DEAHP metode, Wang, Chin i Poon (2008) predlažu DEAHP model sa sigurnosnim regionom (*Assurance Region*) za lokalne težine, DEAHP/AR model. U ovom modelu se za svako  $k = 1, \dots, n$  rešava optimizacioni problem.

$$\max w_k = \sum_{j=1}^n a_{kj} v_j$$

pod uslovima

$$\begin{cases} u_1 = 1, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} v_j - u_1 \leq 0, i = 1, \dots, n \\ (A - nI)v \geq 0 \\ (A - \beta I)v \leq 0, \\ u_1, v_1 \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

gde je

$$\beta = \max_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{r_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} r_j,$$

a  $r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$  zbir elemenata  $i$ -te vrste matrice  $A$ . U odnosu na DEAHP model, DEAHP/AR model uvodi dva nova ograničenja na promenljive modela, čime se sužava oblast dopustivih vrednosti za lokalne težine  $w_k^*$ . Ova ograničenja su dobijena na osnovu rezultata (Minc 1988) koga iskazujemo sledećom lemom.

**Lema.** Neka je  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  nenegativna matrica sa  $r_i > 0, i = 1, \dots, n$ . Tada je

$$n \leq \lambda_{\max} \leq \max_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{r_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} r_j. \quad (3)$$

Primenom DEAHP/AR modela na matricu poređenja  $A$ , za koju je  $\beta = 11.788$ , dobijeni su rezultati prikazani u Tabeli 1.

**Tabela 1:** Rezultat primene DEAHP/AR modela na matricu  $A$

$k$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$w_k^*$
1	0.167	0.057	0.043	0.066	0.093	0.054	1.000
2	0.147	0.062	0.040	0.093	0.077	0.060	0.734
3	0.167	0.061	0.043	0.080	0.077	0.058	0.260
4	0	0.062	0.040	0.093	0.077	0.060	0.581
5	0.085	0.097	0.028	0.069	0.080	0.048	0.942
6	0.147	0.062	0.040	0.093	0.077	0.060	0.704

Na osnovu dobijenih rezultata moguće je izvršiti rangiranje alternativa (kriterijuma) u poretku  $1 \succ 5 \succ 2 \succ 6 \succ 4 \succ 3$ .

Kada se model (2) primeni na matrice  $B, C$  i  $D$ , dobijaju se različiti vektori lokalnih težina,  $w_B^* = (1, 0.531, 0.188)$ ,  $w_C^* = (1, 0.295, 0.143)$  i  $w_D^* = (1, 0.213, 0.125)$ .

### 3. DEAHP/RAR MODEL

Dobre strane razmotrenog DEAHP/AR modela zasnovane su na restriktivnoj dopustivoj oblasti za lokalne težine koja je dobijena korišćenjem nejednakosti (3). Ovde ćemo izložiti novi DEA model koji predstavlja poboljšanje DEAHP/AR modela u smislu dalje restrikcije oblasti dopustivih vrednosti lokalnih težina. Ovaj DEAHP/RAR model zasnovan je na opštijoj, u odnosu na (3), nejednakosti koju iskazujemo sledećom teoremom.

**Teorema.** Neka je  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  nenegativna matrica. Tada je

$$n \leq \lambda_{\max} \leq \min_{x > 0} \left( \max_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{x_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right). \quad (4)$$

Ova nejednakost je posledica Geršgorinove teoreme o lokaciji sopstvenih vrednosti matrice (Horn & Johnson 1985).

Kao što smo istakli, Satijeva metoda sopstvenog vektora zasniva se na rešavanju matrične jednačine:

$$Aw = \lambda_{\max} w. \quad (5)$$

Iz (5) sledi da je za svako  $k = 1, \dots, n$

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} w_j = \lambda_{\max} w_k, \quad (6)$$

odnosno

$$w_k = \sum_{j=1}^n a_{kj} v_j, \quad (7)$$

gde je  $v_j = \frac{w_j}{\lambda_{\max}}$  za  $j = 1, \dots, n$ .

Iz (4) i (6) dalje sledi

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} w_j \geq n w_k,$$

odnosno

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} v_j \geq n v_k \quad k=1, \dots, n. \quad (8)$$

Slično se dobija da je

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} v_j \geq \gamma v_k \quad k=1, \dots, n. \quad (9)$$

gde je  $\gamma$  bilo koji realan broj koji zadovoljava nejednakost:

$$\lambda_{\max} \leq \gamma \leq \max_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{x_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j.$$

Nejednakosti (8) i (9) možemo napisati u matričnoj formi kao

$$(A - nI)v \geq 0 \quad (A - \gamma I)v \leq 0 \quad (10)$$

Uzimajući u obzir (7) i (10), kao i uobičajena ograničenja iz DEAHP modela, dolazimo do DEAHP/RAR modela u kome se za svako  $k = 1, \dots, n$  rešava optimizacioni problem

$$\max w_k = \sum_{j=1}^n a_{kj} v_j$$

pod uslovima

$$\begin{cases} u_1 = 1, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} v_j - u_1 \leq 0, i = 1, \dots, n \\ (A - nI)v \geq 0 \\ (A - \gamma I)v \leq 0, \\ u_1, v_1 \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

Za određivanje parametra  $\gamma$  autor je razvio heuristiku za minimizaciju maksimuma  $n$  funkcija

$$f_i(x) = \frac{1}{x_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j, \quad i=1, \dots, n$$

u oblasti  $R_+^n = \{(x_1, \dots, x_n) : x_i > 0\}$ . Heuristika je zasnovana na sledećoj proceduri.

- **Korak 1.** Staviti  $x = (r_1, \dots, r_n)$ ,  $I = \{1, \dots, n\}$ .
- **Korak 2.** Staviti  $ind = k$  ako je  $f_k(x) \geq \max_{j \in I \setminus k} \{f_j(x)\}$ ,  $\min \max = f_k(x)$
- **Korak 3.** Sve dok je  $f_{ind}(x) \geq \min \max$ 
  - Odabrati  $h > 0$  tako da je  $x - h \square f_{ind}(x) > 0$
  - Staviti  $x = x - h \square f_{ind}(x)$
- **Korak 4.** Staviti  $ind = k$  ako je  $f_k(x) \geq \max_{j \in I \setminus k} \{f_j(x)\}$ ,  $\min \max = f_k(x)$
- **Korak 5.** Vratiti se na Korak 3.

Nakon primene prethodne procedure određen broj puta u odnosu na promene vrednosti promenljive  $x$ , uzima se  $\gamma = \minmax$ . S obzirom da je  $\beta = \max_{1 \leq i \leq n} f_i(r_1, \dots, r_n)$ , jasno je da ovako određena vrednost parametra  $\gamma$  zadovoljava uslov  $\gamma \leq \beta$ . To za posledicu ima dalju restrikciju dopustivih vrednosti za težine u odnosu na DEAHP/AR model. Rešenje modela (11) za matricu  $A$  dato je u Tabeli 2. Prethodno je heuristikom u 30 iteracija dobijeno  $\gamma = 8.174$ .

**Tabela 2:** Rezultat primene DEAHP/RAR modela na matricu  $A$

$k$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$w_k^*$
1	0.122	0.063	0.024	0.057	0.100	0.062	1.000
2	0.122	0.063	0.025	0.054	0.100	0.061	0.514
3	0.127	0.063	0.025	0.054	0.100	0.061	0.201
4	0.127	0.063	0.025	0.054	0.100	0.061	0.445
5	0.122	0.063	0.025	0.054	0.100	0.061	0.820
6	0.122	0.063	0.024	0.057	0.100	0.062	0.503

Tabela 3 sadrži komponente vektora lokalnih težina  $w^* = (w_1^*, \dots, w_6^*)$  matrice  $A$  dobijene sa tri različite metode, DEAHP/AR, DEAHP/RAR i EM metodom.

**Tabela 3:** Uporedni rezultati primene za tri različite metode

Metoda	$w_1^*$	$w_2^*$	$w_3^*$	$w_4^*$	$w_5^*$	$w_6^*$
DEAHP/AR	1.000	0.734	0.260	0.581	0.942	0.704
DEAHP/RAR	1.000	0.514	0.201	0.445	0.820	0.503
EM	1.000	0.509	0.198	0.442	0.816	0.498

Može se uočiti da sve tri metode rangiraju alternative u poretku  $1 > 5 > 2 > 6 > 4 > 3$ . Međutim, vektor lokalnih težina DEAHP/RAR metode znatno je bliži vektoru lokalnih težina EM metode od vektora lokalnih težina DEAHP/AR metode. Zapravo je  $\|w_{DEAHP/AR}^* - w_{EM}^*\|_1 = 0.753$  dok je  $\|w_{DEAHP/RAR}^* - w_{EM}^*\|_1 = 0.021$ . Ovaj rezultat nije iznenađujući ako se ima u vidu da za nenegativne matrice  $A$  važi

$$\min_{x>0} \left( \max_{1 \leq i \leq n} \frac{1}{x_i} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right) = \lambda_{\max}$$

#### 4. ZAKLJUČAK

Uvođenjem regiona sigurnosti (AR) za lokalne težine, DEAHP/AR model je otklonio dva glavna nedostatka DEAHP modela. U predloženom DEAHP/RAR modelu uvode se ograničenja koja umesto regiona sigurnosti (AR) generišu restriktivni region sigurnosti (RAR), što za posledicu ima dobijanje pouzdanijih vrednosti lokalnih težina AHP metode. Štaviše, ukazano je da se DEAHP/RAR modelom može dobiti vektor lokalnih težina koji je proizvoljno blizak vektoru lokalnih težina koji se dobije Satijevom metodom sopstvenog vektora.

#### LITERATURA

- [1] Horn, R.A., & Johnson, C.R. (1985). Matrix Analysis, Cambridge University Press. Journal of Operational Research, 43 (3), 317-326.
- [2] Minc, H. (1988). Nonnegative matrices, Wiley, New York.
- [3] Ramanathan, R. (2006). Data Envelopment Analysis for Weight Derivation and Aggregation in the Analytic Hierarchy Process, Computers & Operations Research 33, 1289-1307.
- [4] Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill Company, New York.
- [5] Wang, Y.M., Chin, K.S., & Poon, G.K. (2008). A Data Envelopment Analysis with Assurance Region for Weight Generation in the Analytic Hierarchy Process, Decision Support Systems 45, 913-921.



## PRIMJENA LINEARNOG PROGRAMIRANJA U OPTIMIZACIJI DEPOZITNIH ULAGANJA

### APPLICATION OF LINEAR PROGRAMMING IN OPTIMIZATION OF DEPOSIT INVESTMENT

ADNAN ROVČANIN<sup>1</sup>, ADNA MATARADŽIJA-SMAILAGIĆ<sup>2</sup>, AMRA MATARADŽIJA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Sarajevu, Ekonomski fakultet, adnan.rovcenin@efsa.unsa.ba

<sup>2</sup>Univerzitet u Sarajevu, Ekonomski fakultet, {adna.mataradzija, amra.mataradzija} @gmail.com

**Rezime:** Često je potrebno mnogo vremena i napora da se razviju naučni principi, modeli i sredstva pomoću kojih je moguće rješavati određene tipove zadataka. Takav je slučaj i sa linearnim programiranjem, koje predstavlja sastavnu oblast kvantitativnih metoda i operacionih istraživanja. Predmet kojim se bavi ova oblast vezan je za upravljanje organizacionim, tehničkim i drugim sistemima, sa ciljem iznalaženja optimalnih rezultata za pripremanje i donošenje upravljačkih odluka i praćenje njihovog sprovođenja u odnosu na planirane, tj. očekivane rezultate. Koncept kvantitativne optimizacije obuhvata probleme odlučivanja i probleme matematičkog modeliranja. Uprkos različitosti problema koje tretira, svaki model linearnog programiranja ima u osnovi tri elementa: skup odluka koje treba da se donesu, cilj koji treba da se maksimizira ili minimizira, zavisno od prirode problema koji se rješava, i skup ograničenja koja uvode određene restrikcije prilikom odlučivanja.

**Ključne riječi:** tehnike optimizacije, linearno programiranje, investicijski fond, depozitni plasmani.

**Abstract:** Often, it takes a lot of time and effort to develop scientific principle, models and means by which it is possible to solve certain kinds of problems. Such is the case with linear programming, which is an integral area of *Quantitative Methods and Operational Research*. The subject dealt with in this area is related to the management of organizations, technical and other systems, with the aim of finding optimal results for the preparation and adoption of management decisions and monitor their implementation in relation to the planned, ie the expected results. The concept of quantitative optimization includes decision-making problems and mathematical modeling problems. Despite the diversity of problems that linear programming treats, each model has basically three elements: a set of decisions that has to be taken, the goal of which is to be maximized or minimized, depending on the nature of the problem being solved, and finally a set of constraints that impose certain restrictions during deciding.

**Keywords:** optimization techniques, linear programming, investment fund, deposit placements.

## 1. PREDMET I KONCEPT LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Linearno programiranje je kvantitativna naučna metoda pomoću koje se od većeg broja raznih alternativnih rješenja može izabrati optimalno rješenje. Dakle, predmet linearnog programiranja su problemi čija je osobina da nemaju jednoznačno rješenje, nego se mogu riješiti na više različitih načina. Kod takvih problema postoji više alternativnih rješenja. Problem je kako utvrditi sva alternativna rješenja ako je njihov broj veliki i ako je potrebno u relativno kratkom roku pronaći i odabrati jedno rješenje. Također, kod nekih problema ne postoje tehničke mogućnosti za izračunavanje svih alternativnih rješenja. Jedno rješenje može biti prihvatljivo sa jednog stanovišta, a djelimično, odnosno potpuno, neprihvatljivo sa drugog stanovišta. Potrebno je među ovim rješenjima pronaći ono koje će biti optimalno sa određenog stanovišta, a to se upravo postiže primjenom metoda linearnog programiranja. Primjenom ovih metoda eliminiše se subjektivizam donosioca odluke i omogućava se da se na objektivan način izvrši izbor najprihvatljivijeg rješenja.

## 2. FORMIRANJE MODELA – MATEMATIČKA FORMULACIJA ZADATKA

Primjer depozitnih plasmana zatvorenog investicijskog fonda "PROF-PLUS", koji obrađujemo u ovom radu, vrlo je pogodan za primjenu optimizacionih tehnika. Model sadrži 4 polazne primalne varijable i 9 ograničenja (I, II i III tipa), te je jednostavan za analizu i razumijevanje osnova linearnog programiranja.

Osim toga, ovaj model će nam poslužiti da razmotrimo mogućnosti primjene kvantitativnih metoda u oblasti finansijskog menadžmenta, i u ekonomiji općenito.

Portfolij zatvorenog investicijskog fonda "PROF-PLUS" se sastoji od različitih vrijednosnih papira na tržištu (dionice, obveznice, udjeli i depoziti). Društvo za upravljanje investicijskim fondovima "PROF-IN" ima za cilj maksimizirati ukupni povrat na svu uloženu imovinu Fonda, pa tako i povrate od depozitnih plasmana, uz prihvatljivi nivo rizika.

## 2.1. Varijable

U navedenom problemu, polazne primalne varijable koje nastojimo izračunati odnose se na iznose novca koje investicijski fond treba uložiti u odabrane banke. Prema tome:

- varijablu  $x_1$  definiramo kao iznos novčanih sredstava koji će se uložiti u **Sparkasse banku**,
- varijablu  $x_2$  definiramo kao iznos novčanih sredstava koji će se uložiti u **UniCredit banku**,
- varijablu  $x_3$  definiramo kao iznos novčanih sredstava koji će se uložiti u **Volks banku**,
- varijablu  $x_4$  definiramo kao iznos novčanih sredstava koji će se uložiti u **Hypo Alpe-Adria banku**.

## 2.2. Funkcija cilja

Cilj navedenog problema jeste maksimizirati ukupni povrat, ulažući optimalnu kombinaciju depozita u 4 različite banke. Povrat ulaganja, inače, podrazumijeva postotak neto profita od investicije poduzete za ostvarivanje tog profita. U našem slučaju, ti povrati se odnose na pasivne kamatne stope, koje se obračunavaju na iznose novca oročene u bankama na godinu dana. Prema tome, funkciju cilja možemo formulirati na sljedeći način<sup>1</sup>:

$$\text{Max } f = 0,0320x_1 + 0,0300x_2 + 0,0325x_3 + 0,0360x_4$$

## 2.3. Ograničenja

Ograničenje (1): odnosi se na raspoloživa sredstava za ulaganje u depozite, koja treba potpuno iskoristiti i optimalno rasporediti. S obzirom da je tim analitičara za depozite namijenio 2.000.000 KM, ukupna ulaganja u banke ne smiju preći taj odobreni iznos. Prema tome, prvo ograničenje glasi:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2.000.000 \quad (1)$$

Ograničenja (2), (3), (4) i (5): odnose se na član 76. stav 1. tačka d) Zakona o investicijskim fondovima FBiH, koji nalaže da se najviše 20% neto vrijednosti imovine može položiti kao depozit u istu banku. Imamo podatak da je neto imovina Fonda iznosila 51.927.185 KM, pa nabrojana ograničenja glase:

$$x_1 \leq 10.385.437 \quad (2)$$

$$x_2 \leq 10.385.437 \quad (3)$$

$$x_3 \leq 10.385.437 \quad (4)$$

$$x_4 \leq 10.385.437 \quad (5)$$

Ograničenje (6): odnosi se na zahtjev tima analitičara da se minimalno 15% iznosa namijenjenog za depozite položi u UniCredit banku, zbog diverzifikacije portfolija, pa šesto ograničenje glasi:

$$x_2 \geq 300.000 \quad (6)$$

Ograničenje (7): odnosi se na zahtjev tima analitičara da se minimalno 15% iznosa namijenjenog za depozite položi i u Volks banku, zbog odgovarajuće kamatne stope, pa sedmo ograničenje glasi:

$$x_3 \geq 300.000 \quad (7)$$

Ograničenje (8): odnosi se na zahtjev tima analitičara da senajviše 75% iznosa namijenjenog za depozite položi u Sparkasse i UniCredit banku zajedno (zbog disperzije kreditnog rizika):

$$x_1 + x_2 \leq 1.500.000 \quad (8)$$

Ograničenje (9): odnosi se na zahtjev tima analitičara da senajviše 75% iznosa namijenjenog za depozite položi u Volks i Hypo Alpe-Adria banku zajedno (zbog disperzije kreditnog rizika):

$$x_3 + x_4 \leq 1.500.000 \quad (9)$$

## 2.4. Uslovi nenegativnosti

---

<sup>1</sup>Napomena: U radu koristimo pretpostavku da se obračun kamata (kapitalisanje) u sve četiri banke vrši na godišnjem nivou.

S obzirom da se radi o investiranju u depozite kod različitih banaka, ne može se desiti da neko ulaganje bude negativno. Određeni dio novčanih sredstava može biti položen u pojedinu banku, ili se u neku od banaka ne mora nikako ulagati. Prema tome ograničenje glasi:

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

Dakle, konačna postavka polaznog primalnog modela za naš primjer glasi:

$$\text{Max } f = 0,0320x_1 + 0,0300x_2 + 0,0325x_3 + 0,0360x_4$$

- (1):  $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2.000.000$   
 (2):  $x_1 \leq 10.385.437$   
 (3):  $x_2 \leq 10.385.437$   
 (4):  $x_3 \leq 10.385.437$   
 (5):  $x_4 \leq 10.385.437$   
 (6):  $x_2 \geq 300.000$   
 (7):  $x_3 \geq 300.000$   
 (8):  $x_1 + x_2 \leq 1.500.000$   
 (9):  $x_3 + x_4 \leq 1.500.000$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$$

### 3. RJEŠENJE PROBLEMA POMOĆU SOFTVERSKOG PAKETA WINQSB

WinQSB je softverski paket koji sadrži više odvojenih alata za rješavanje različitih optimizacionih problema. Nama najzanimljiviji alat je LP/ILP, kojeg ćemo koristiti za naš praktični primjer. Ovaj alat služi za rješavanje problema linearnog, cjelobrojnog i binarnog programiranja. Obzirom da naš polazni oblik ima 4 varijable, zadatak ne možemo rješavati grafičkom metodom. Zato ćemo u nastavku dati prijedlog rješenja problema korištenjem simplex algoritma uz upotrebu programa WinQSB.

U sljedećoj tabeli koja se otvori, imamo prikazana rješenja postavljenog problema. Konačni ishod ovog koraka možemo vidjeti na slici 11:

S1. Combined Report for OPTIMIZACIJA DEPOZITNIH PLASMANA ZIF "PROF-PLUS" d.d. Sarajevo

18:25:21		Saturday	January	11	2014			
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)	
1	X1	200.000,0000	320,0000	64.000.000,0000	0	basic	300,0000	360,0000
2	X2	300.000,0000	300,0000	90.000.000,0000	0	basic	-M	320,0000
3	X3	300.000,0000	325,0000	97.500.000,0000	0	basic	-M	360,0000
4	X4	1.200.000,0000	360,0000	432.000.000,0000	0	basic	325,0000	M
	Objective	Function	(Max.) =	683.500.000,0000				
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS	
1	C1	2.000.000,0000	=	2.000.000,0000	0	320,0000	1.800.000,0000	3.000.000,0000
2	C2	200.000,0000	<=	10.385.440,0000	10.185.440,0000	0	200.000,0000	M
3	C3	300.000,0000	<=	10.385.440,0000	10.085.440,0000	0	300.000,0000	M
4	C4	300.000,0000	<=	10.385.440,0000	10.085.440,0000	0	300.000,0000	M
5	C5	1.200.000,0000	<=	10.385.440,0000	9.185.437,0000	0	1.200.000,0000	M
6	C6	300.000,0000	>=	300.000,0000	0	-20,0000	0	500.000,0000
7	C7	300.000,0000	>=	300.000,0000	0	-35,0000	0	1.500.000,0000
8	C8	500.000,0000	<=	1.500.000,0000	1.000.000,0000	0	500.000,0000	M
9	C9	1.500.000,0000	<=	1.500.000,0000	0	40,0000	500.000,0000	1.700.000,0000

**Slika 1:** Prikaz konačnih rješenja problema LP-a dobivenih upotrebom softverskog alata WinQSB

Ukoliko bi nam određene potrebe zahtijevale da detaljno prođemo kroz svaku pojedinačnu iteraciju simplex metode, tada bismo izabrali opciju *"Solve and Display Steps"*.

### 3.1. Analiza i tumačenje dobivenih rezultata

Postavljeni problem linearnog programiranja imao je za cilj odrediti optimalnu kombinaciju depozitnih plasmana, koje je potrebno položiti u četiri odabrane banke na godinu dana, na način da se maksimizira povrat od tih ulaganja. Prilikom pronalaska optimalnog plana, nužno je bilo poštivati iznos odobrenih finansijskih sredstava namijenjenih za depozite, kao i zahtjeve koje je pred portfolio menadžment Fonda postavio tim analitičara Društva. Koristeći programski paket WinQSB, koji je baziran na simplex metodi, dobivena su optimalna rješenja. Prema tome, maksimalan povrat od kamata koji ZIF "PROF-PLUS" može ostvariti ulaganjem u depozite iznosi **68.350 KM**. Da bi ostvario navedeni povrat, portfolio menadžment treba položiti depozite na sljedeći način:

- **200.000 KM** u Sparkasse banku;
- **300.000 KM** u UniCredit banku;
- **300.000 KM** u Volks banku;
- **1.200.000 KM** u Hypo Alpe-Adria banku.

### 4. ZAKLJUČAK

Metode optimizacije omogućuju nalaženje najboljih rješenja različitih vrsta problema, i vrlo su pogodne za rješavanje problema u poslovnoj ekonomiji. Tipični poslovni problemi vezani su za korištenje ograničenih resursa (ljudi, oprema, materijali, finansijska sredstva i sl.) kojima se nastoji postići najveća moguća dobit, osigurati najveća moguća kvaliteta usluge s postojećim resursima, minimalni troškovi i slično. Kod svih metoda optimizacije zajedničko je to da je prvo potrebno pravilno formulirati model, zatim analizirati moguća rješenja i među njima, po odabranom kriteriju, pronaći ono najpovoljnije. Općenito, pod terminom naučnog menadžmenta smatraju se preskriptivni modeli odlučivanja ili njihovi tipični uzorci, kao što su: modeli optimizacije, kvantitativne metode i operaciona istraživanja. Upravo takav jedan model je primijenjen u ovom radu i to uz upotrebu softverskog alata pod nazivom WinQSB, koji koristi napredne analitičke metode u cilju poboljšanja procesa odlučivanja, odnosno, donošenja bolje odluke u datim okolnostima. Tako korištenjem tehnika matematičkog modeliranja i analize kompleksnih situacija, operacioni istraživači (menadžeri) daju izvršiocima cjelovitiji skup relevantnih podataka, razmatraju sve raspoložive opcije, pažljivo predviđaju ishode i procjenjuju rizike, daju prijedloge za donošenje efektivnih konačnih odluka i sl.

### LITERATURA

- [1] Babić, Z. (2011). Modeli i metode poslovnog odlučivanja, Ekonomski fakultet Split, Split.
- [2] Backović M. & Vuleta, J. (2008). Ekonomsko matematički metodi i modeli, šesto izdanje, Centar za izdavačku djelatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu, Beograd.
- [3] Barković, D. (2004). Operacijska istraživanja u investicijskom odlučivanju, Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek.
- [4] Bauk, S. I. (2010). Kvantitativne metode optimizacije u funkciji naučnog menadžmenta, Podgorica.
- [5] Dantzing, G. B. & Thapa, M. (2003). Linear Programming: Theory and Extensions, Springer – Verlag, New York.
- [6] Somun-Kapetanović, R., Arnaut-Berilo, A., Šehić, E. & Kahvić-Begić, E. (2009). Kvantitativne metode u ekonomiji i menadžmentu, Ekonomski fakultet u Sarajevu, Sarajevo.
- [7] Vučković, Ž. (1983). Linearno programiranje, Savremena administracija, Sarajevo.
- [8] Zahirović, S., Kozarević, S. & Okičić, J. (2008). Kvantitativne metode u odlučivanju I, Harfograf, Tuzla.





## RASPOREĐIVANJE OPERATERA U SLUŽBI PODRŠKE KONTAKT CENTRA KOMERCIJALNE BANKE AD BEOGRAD

### SCHEDULE OF OPERATORS IN SUPPORT SERVICES CONTACT CENTRE OF KOMERCIJALNA BANKA AD BEOGRAD

DANIJELA STEFANOV<sup>1</sup>, MILICA KOSTIĆ-STANKOVIĆ<sup>2</sup>, DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Komercijalna banka ad Beograd, Beograd, danijela.stefanov@gmail.com

<sup>2</sup> Fakultet organizacionih nauka, Beograd, {milicak, gis}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** Svrha ovog rada je rešavanje problema raspoređivanja zaposlenih u kontakt centru Komercijalne banke ad Beograd tako da se odredi optimalan broj radnika, kao i da se napravi optimalan mesečni raspored radnika po smenama. Model je postavljen kao problem 0-1 ciljnog programiranja.

**Ključne reči:** optimalan broj radnika, raspored operatera, kontakt centar

**Abstract:** The purpose of this study is to solve the scheduling problem of employed in the contact center of Komercijalna banka ad Beograd to determine optimal number of workers and make optimal monthly schedule employe shifts. The model is set up as a 0-1 goal programming problem.

**Keywords:** optimal number of workers, schedule of agents, contact center

#### 1. UVOD

Proračun potrebnog broja radnika, kao i pravljenje rasporeda u kontakt centru predstavljaju jedan od osnovnih poslova menadžmenta kako bi organizovali da se posao nesmetano obavlja. U velikim kompanijama kao što su banke, klijenti pozivaju kontakt centar radi dobijanja različitih informacija, kao što su informacije o uslugama, rešavanju problema tehničke prirode ili prigovora. Operateri u kontakt centrima banaka dostupni su više sati u toku dana, a neki kontakt centri rade i 24 sata svakog dana u godini.

Klijenti kontakt centar obično mogu da kontaktiraju telefonom, imejlom, faksom, a do potrebnih informacija mogu doći i putem četa ili preko društvenih mreža Tviter i Fejsbuk.

Kako bi svi klijenti bili usluženi u optimalnom roku, bez obzira na kanal komunikacije kojim kontaktiraju banku, potrebno je da se u kontakt centru angažuje optimalan broj operatera, kao i da budu optimalno raspoređeni.

#### 2. PREGLED LITERATURE

Određivanje potrebnog broja radnika može da se izvrši na više načina. Između ostalog, potreban broj operatera može da se odredi pomoću Erlangove C formule. Na veb-stranici stranici: <http://www.quikstaff.com/> (QuikStaff, 2014) nalazi se jedan od mnogih programa koji se zasniva na Erlangovoj C formuli, a koji se koristi za određivanje broja potrebnih radnika za primanje poziva u kontakt centrima.

Navedeni način određivanja potrebnog broja radnika predstavlja tradicionalni pristup u proračunu. Tradicionalne metode se kao pouzdane, iako ne perfektno, spominju u radu Gans et al. (2012).

Uobičajeno pravilo koje se koristi prilikom računanja potrebnog broja radnika za pozive jeste 80/20, što označava da 80% klijenata ne treba da čeka duže od 20 sekundi da bi se operater javio na poziv (Koole and Mandelbaum 2002).

Prilikom proračuna potrebnog broja radnika potrebno je uzeti u obzir i rastur (*shrinkage*). U rastur su uključeni: pauze, vreme za ručak, sastanci, trening i razvoj, rad u periodu kada operater nije na vezi, odmori, bolovanja i neočekivani periodi pauze (Reynolds 2013).

Kada se radi o imejlovima, osnovna formula zasniva se na vremenu odziva (*response time*) i na osnovu Clevelanda (2012) računa se na sledeći način:

$$\frac{\text{Broj}}{(RT / AHT)} = \text{Agenti}$$

Broj – Broj kontakata koji treba da bude obrađen

RT – Vreme odziva

AHT – Prosečno vreme potrebno za izradu jednog imejla.

Predstavljanje izračunatog broja radnika se najčešće vrši na način koji je definisao Alfares (2009).

Pošto se odredi potreban broj radnika po satu, potrebno je odrediti potreban broj radnika po smenama. Jedna od prvih formulacija problema raspoređivanja, kao i optimizacionog problema navedena je u radu Dantziga (1954), a kasnije su je detaljnije obradili Glover and McMillan (1986).

Dodeljivanje smene operateru, kao i koliko je smena potrebno, veoma je kompleksan posao. Osim navedenog, potrebno je da svi ciljevi budu ispunjeni i da troškovi budu minimalni kao što navode Brucker and Qu (2012), ali treba voditi računa i da u svakoj smeni rade zaposleni koji su obučeni za određene vrste posla. Detaljnije informacije u vezi sa dodeljivanjem poslova nalaze se u radu Bhulai et al. (2008).

Mnoge banke raspored prave na osnovu subjektivne procene, o čemu pišu Koole and Mandelbaum (2002). Takođe, treba napomenuti da se pravljenjem rasporeda neće poboljšati kvalitet davanja usluga klijentima, već se na taj način optimizuju zaposleni, tako da se u skladu sa postojećim kadrom organizuje sistem da zadovolji većinu potreba klijenata (Zarubin 2003), bez obzira na kanal komunikacije kojim klijent stupa u kontakt sa bankom.

O potrebnom broju radnika po smenama, kao i o problemu raspoređivanja radnika po smenama u kol centrima pisali su Gans et al. (2003) i Musliua et al. (2004).

## 2. OPIS PROBLEMA

Radi dobrog organizovanja radnika u kontakt centrima, potrebno je utvrditi potreban broj radnika po satima, kao i potreban broj radnika u kontakt centru. Obe vrednosti se računaju na osnovu broja poziva i poruka.

U analiziranom kontakt centru Komercijalne banke ad Beograd postoje dva osnovna kanala komunikacije, to su: telefon i poruke. U poruke se ubrajaju: imejlovi, javne i privatne poruke putem Fejsbuka, kao i Tvitera. Dakle, sva pitanja dobijena putem pisanih kanala komunikacije, zbog jednostavnosti, računata su kao poruke. Potreban broj radnika može se računati odvojeno za pozive i poruke, sa tim što pozive od kolega i klijenata treba izračunati zajedno, jer ih operateri rade paralelno.

Posle toga potrebno je rasporediti trenutno raspoložive zaposlene.

U kontakt centru Komercijalne banke ad Beograd u kampanji za primanje poziva trenutno radi 11 zaposlenih koji su organizovani u okviru jedne službe (dva agenta su na bolovanju dužem od godinu dana), pa se raspored pravi za devet radnika. Takođe, od devet zaposlenih, osmoro prima pozive i odgovara na poruke, a jedan operater odgovara isključivo na poruke. Od osmoro operatera koji primaju pozive, četvoro operatera odgovara na poruke, a vođe smene poruke pregledaju. Operater koji odgovara isključivo na poruke, radi pre podne, dok ostali zaposleni odgovaraju i na pozive i na poruke i menjaju se po smenama.

Zaposleni u kontakt centru imaju različite veštine. Operateri, ukupno njih četvoro, pozive primaju primarno, operateri, ukupno njih dvoje, koji rade kao vođe smene sekundarno, a koordinatori tercijalno. Dakle, operateri koji primaju pozive, primaju u isto vreme pozive od klijenata i kolega, ali imaju različite veštine. Osim navedenog, određeni broj operatera prima pozive samo na srpskom, a neki i na engleskom jeziku. Raspored veština prikazan je u tabeli 1.

**Tabela 1.** Raspored veština

Veštine Operater	Klijenti	Klijenti	Kolege	Poruke
	srpski	engleski		
1. Cvijić				X
2. Šećerov	X	X	X	X
3. Erdeljan	X	X	X	X
4. Jokić	X		X	X
5. Kovačević	X	X	X	X
6. Šumanović	X	X	X	X
7. Zlatanov	X	X	X	X
8. Čarović	X	X	X	X
9. Stanojević	X		X	X

Kada se pravi raspored zaposlenih treba uzeti u obzir da svako treba da radi 40 sati nedeljno. Ukoliko operater radi pre podne, u tom slučaju radno vreme, radnim danom je od 8 do 16 časova, a ukoliko radi posle podne, radno vreme, radnim danom je od 13 do 20 časova i subotom od 10 do 15 časova.

Ukoliko operater želi, može da zameni smenu tokom cele nedelje sa drugim operaterom. Operateri mogu da zamene smene među sobom i na dnevnom nivou, pa da taj zamenjen dan nadoknade one nedelje, u toku meseca, kada je to moguće, a kako bi ispunili potreban broj sati za mesec u kom rade. Pošto se dnevna zamena smena obavlja na osnovu pojedinačnih dogovora, ona neće biti posmatrana kao deo problema raspoređivanja.

Prilikom pravljenja rasporeda, treba uzeti u obzir da svakom operateru treba da bude dodeljena jedna smena, operater ne treba da radi dve nedelje zaredom posle podne, ne treba da bude uključen u raspored ukoliko je odsutan sa posla bar jedan dan tokom nedelje, a treba uzeti u obzir i to da u svakoj smeni treba da radi bar jedan vođa smene. Takođe, potrebno je praviti raspored tako da se u najvećoj meri ispuni potreban broj operatera po smenama koji je prethodno spomenut, pritom u svakom trenutku u kontakt centru treba da radi operater koji govori engleski jezik.

U maju mesecu odsustvovanje u trajanju do pet dana koriste sledeći operateri po nedeljama:

- od 5.5. do 10.5: Cvijić, Erdeljan, Jokić, Zlatanov, Stanojević;
- od 12.5. do 17.5: Zlatanov;
- od 19.5. do 24.5: Stanojević;
- od 26.5. do 31.5: Stanojević.

Na početku tekućeg meseca postavlja se raspored rada za naredni mesec i potrebno je napraviti raspored za maj mesec od datuma 5.5.2014. Operateri koji su na bolovanju duže od godinu dana (ukupno dva) treba da budu isključeni iz rasporeda, a isključen je iz modela i operater koji isključivo odgovara na poruke, jer ima fiksnu smenu, pre podne.

Problem koji treba rešiti je: Odrediti optimalni raspored zaposlenih tako da svi uslovi u vezi sa potrebnim brojem radnika po smeni, brojem časova nedeljno, smenjivanjem prepodnevnih i poslepodnevnih smena i zastupljenošću radnika različitih veština budu potpuno ili delimično zadovoljeni. Do sada je raspored u kontakt centru pravljen na osnovu subjektivne procene.

### 3. FORMULACIJA MODELA

Da bismo utvrdili potreban broj operatera koji rade u kontakt centru u kampanji za primanje poziva, potrebno je prethodno odrediti potreban broj operatera za odgovaranje na pozive i na poruke po satima. Za analizu su uzeti podaci iz prethodnog meseca.

Konačne tabelle broja potrebnih radnika po satima, radnim danima i subotom, predstavljene su tabelom 2 i tabelom 3:

**Tabela 2.** Potreban broj radnika radnim danom

Vreme	Potreban broj radnika za pozive	Potreban broj radnika za poruke	Ukupan potreban broj radnika
8h	3	1	4
9h	4	1	5
10h	4	1	5
11h	4	1	5
12h	4	1	5
13h	4	1	5
14h	4	1	5
15h	4	1	5
16h	3	1	4
17h	2	1	3
18h	2	1	3
19h	2	1	3

**Tabela 3.** Potreban broj radnika subotom

Vreme	Potreban broj radnika za pozive	Potreban broj radnika za poruke	Ukupan potreban broj radnika
10h	4	1	5
11h	3	1	4
12h	3	1	4
13h	2	1	3
14h	2	1	3

U navedeni broj operatera nije uključen rastur.

Nakon utvrđivanja potrebnog broja radnika u prepodnevnoj i popodnevnoj smeni pristupa se analizi modela po kojima će radnici biti raspoređeni, a zbog jednostavnosti modela, predstavljen je samo rezultat.

Jedno od rešenja jeste da je potreban broj operatera u službi deset. Naime, operateri mogu da budu raspoređeni u dve smene, i to tako što će u prvoj smeni da radi operater koji odgovara na poruke i četiri operatera koji odgovaraju na pozive, a u posledpodnevnoj smeni potrebno je da radi pet oparetera. Takođe, treba napomenuti, da subotom prvog sata postoji potreba za pet operatera, ali poslednjeg i preposlednjeg za tri tako da poslovi vezani za poruke mogu da se obave kasnije. S obzirom na navedeno, ukoliko se izuzme pik (daleko veći broj poziva od prosečnog), koji je evidentiran prvog sata subotom, optimalan broj operatera je 9, a potrebno je da radi pet operatera pre podne (jedan operater koji odgovara isključivo na poruke i četiri operatera koji odgovaraju i na poruke i na pozive) i četiri operatera posle podne (operateri koji odgovaraju na poruke i primaju pozive paralelno).

U formulisanju matematičkog modela optimalnog raspoređivanja radnika u kontakt centru, korišćena je notacija koja će biti objašnjena u nastavku.

Neka je  $I$  skup operatera u kontakt centru,  $i \in I$ ,  $N$  skup sedmica u toku meseca,  $j \in N$ , a  $S$  skup smena,  $S = \{\text{Prepodne, Popodne}\}$ .

$$x_{ijs} = \begin{cases} 0, & \text{ako } i - \text{ti operater radi u } s - \text{toj smeni } j\text{-te nedelje} \\ 1, & \text{u suprotnom} \end{cases}, i \in I, j \in N, s \in S$$

$$x_{io2} = \begin{cases} 1, & \text{ako je } i - \text{ti radnik radio posle podne u poslednjoj nedelji prethodnog meseca} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}, i \in I$$

Sva odsustvovanja definisana su matricom  $B$  sa elementima:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{ako je } i\text{-ti operater odsutan u toku } j\text{-te nedelje} \\ 1, & \text{u suprotnom} \end{cases}, i \in I, j \in N$$

Treba napomenuti da u svakoj smeni mora da radi bar jedan vođa smene i zbog toga se uvodi skup  $V$   $V \subset I$ . Neka je  $v_s$  minimalno potreban broj vođa smene po smeni  $s \in S$ .  $E \in I$  je skup operatera koji govore engleski jezik. Minimalan broj potrebnih operatera u  $s$ -toj smeni definisan je parametrom  $o_s$ .

Uslovi kojima se obezbeđuje efikasan rad kontakt centra i koji se moraju ispuniti su: u svakoj smeni mora da radi bar jedan vođa smene; prvi radni dan tokom nedelje se nadovezuje na prethodnu nedelju, pa operater ne može da radi dve nedelje posle podne; u svakoj smeni mora da radi bar jedan radnik koji govori engleski jezik. Pored ovih „tvrdih“ uslova postoji i jedan „meki“ uslov: tri vođe smene treba da rade pre podne, a jedan posle podne.

S obzirom da se od poslednjeg uslova može i odstupiti, uvode se devijacione promenljive:

$$dv_{sj}^-, dv_{sj}^+ - \text{odstupanje od broja vođa smene po smeni, } s \in S, j \in N.$$

Matematički model ciljnog programiranja kojim se modelira problem mesečnog raspoređivanja operatera je formulisan na sledeći način:

$$\min \sum_{j \in N} dv_{sj}^- + \sum_{j \in N} dv_{sj}^+ \quad (1)$$

p.o.

$$\sum_{s \in S} x_{ijs} = b_{ij}, i \in I, j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} b_{ij} x_{ijs} \geq o_s, s \in S, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in O} b_{ij} x_{ijs} - dv_{sj}^- + dv_{sj}^+ = v_s, s \in S, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} b_{ij} x_{ijs} \geq 1, s \in S, j \in N \quad (5)$$

$$x_{ij-12} + x_{ij2} \leq 1, s \in S, j \in N \quad (6)$$

$$\sum_{i \in E} b_{ij} x_{ijs} \geq 1, s \in S, j \in N \quad (7)$$

$$dv_{sj}^- \geq 0, dv_{sj}^+ \geq 0, i \in I, j \in N, s \in S$$

Funkcijom cilja minimizira se odstupanje od potrebnog broja vođa smene po smeni. Ograničenjem 2 obezbeđuje se da se svakom operateru dodeli jedna smena u toku svake nedelje u mesecu za one radnike koji su prisutni svih dana u toku nedelje. Ograničenjem 3 obezbeđuje se da u svakoj smeni radi minimalan potreban broj operatera u toku svake nedelje u mesecu. Ograničenje 4 odnosi se na broj vođa smene i od tog uslova se može odstupiti. Ograničenje 5 odnosi se na uslov da u svakoj smeni radi bar jedan vođa smene. Ograničenje 6 odnosi se na zahtev da svaki operater u prethodnoj i tekućoj nedelji ne sme da radi posle podne, to jest, ne sme da radi dve nedelje zaredom posle podne. Ograničenjem 7 obezbeđuje se da u svakoj smeni mora da radi bar jedan operater koji zna engleski jezik.

#### 4. NUMERIČKI REZULTATI

Na osnovu rezultata dobijenih posle optimizacije kreiran je raspored radnika po smenama za mesečni raspored od 5.5.2014. Rasporedom je obuhvaćeno osam operatera i deveti koji ima fiksnu smenu. Model je rešen egzaktno, a za nalaženje optimalnog rešenja korišćen je GNU Linear Programming Kit (GLPK), slobodan softver (*open source*) za rešavanje problema linearnog i mešovitog celobrojnog programiranja (GLPK, 2014). Izvršavanje je bilo gotovo trenutno. Optimalni raspored je prikazan tabelom 4 uz napomenu da su kurzivom uneti operateri koji su izuzeti iz rešenja (imaju bar jedan slobodan dan u toku nedelje ili operater radi fiksnu smenu).

**Tabela 4.** Raspored radnika

<b>Smene po nedeljama</b>	<b>5.5-10.5.</b>	<b>12.5-17.5.</b>	<b>19.5-24.5.</b>	<b>26.5-31.5.</b>
Pre podne 8h-16h	Šećerov	Erdeljan	Šećerov	Šećerov
	Šumanović	Jokić	Jokić	Erdeljan
	<i>Erdeljan</i>	Kovačević	Kovačević	Jokić
	<i>Jokić</i>	Šumanović	Šumanović	Šumanović
	<i>Zlatanov</i>	Čarović	Zlatanov	Čarović
	<i>Stanojević</i>	<i>Zlatanov</i>	<i>Stanojević</i>	<i>Stanojević</i>
	<i>Cvijić</i>	<i>Cvijić</i>	<i>Cvijić</i>	<i>Cvijić</i>
Posle podne 13h-20h Subotom 10h-15h	Kovačević	Šećerov	Erdeljan	Kovačević
	Čarović	Stanojević	Čarović	Zlatanov

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan problem određivanja optimalnog rasporeda radnika kontakt centra Komercijalne banke ad Beograd po smenama. Prethodno je opisano kako je određen minimalan broj radnika koji treba da budu angažovani u kontakt centru. Problem određivanja rasporeda je modeliran kao problem ciljnog programiranja. Matematičkim modelom su obuhvaćeni svi uslovi koji moraju biti zadovoljeni prilikom kreiranja rasporeda: potreban broj radnika u prepodnevnom i poslepodnevnom smenama, stalno prisustvo bar jednog vođe smene, stalno prisustvo operatera koji koristi engleski jezik itd.

Navedeni problem bi dalje mogao da se razvija u pravcu utvrđivanja potrebnog broja operatera u odnosu na veštine koji poseduju, odrediti i kratke pauze u skladu sa Aykin (1996), kao i optimizovati rad operatera kako bi rad u kontakt centru bio efikasniji.

## LITERATURA

- [1] Alfares, K. Hesham (2009). Operator scheduling Using Queuing Theory and Mathematical Programming Models, SMMSO. King Fahd University of Petroleum & Minerals
- [2] Aykin, T. (1996). Optimal Shift Sceduling with Multiple Break Windows. Management Science, Volume 42 Issue 4, April 1996 Pages 591 - 602
- [3] Bhulai, S., Koole, G. & Pot, A. (2008). Simple Method for Shift Scheduling in Multiskill Call Centers. Manufacturing&Service Operations Management, Volume 10 Issue 3, Summer 2008, pp. 411-420
- [4] Brucker, P. & Qu, R. (2013). Network Flow Models for Intraday Personnel Scheduling Problems. Springer Science+Business Meda New York.
- [5] Cleveland, B. (2012). Call Center Management, ICMI, USA.
- [6] Dantzig, G.B. (1954). Traffic delays at toll booths. Journal of the Operations Research Society of America; Aug54, Vol. 2, Issue 3, p339
- [7] Gans, N., Koole, G. & Mandelbaum, A. (2003). Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects.
- [8] Gans, N., Shen, H. & Zhou, Y.P. (2012). Parametric Stochastic Programming Models for Call-Center Workforce Scheduling. Genesys Telecommunications Laboratories, Inc.
- [9] Glover, F. & McMillan, C. (1986). The General Employee Scheduling Problem: An Integration of MS and AI. Computer & Operations Research, 13 No. 5, 563-573.
- [10] GLPK, [www.gnu.org/software/glpk/](http://www.gnu.org/software/glpk/), poslednji pristup 2014.
- [11] Koole, G. & Mandelbaum, A. (2002). Queueing Models of Call Centers: An Introduction. Annals of Operations research 113, 2002 (41-59) Kluwer Academic Publishers, Manufactured in the Netherlands.
- [12] Musliua, N., Schaerfb, A. & Slanya, W. (2004). Local search for shift design. European Journal of Operational Research, Volume 153, Issue 1, 16 February 2004, Pages 51–64
- [13] QuikStaff, <http://www.quikstaff.com/>, posledni pristup mart 2014.
- [14] Reynolds, P., Call Center Staffing, The Call Center School, USA, 2013.
- [15] Stefanov, D. Interna dokumentacija Komercijalne banke ad Beograd, 2014.
- [16] Zarubin, A.A. (2003) Call – и контакт-центры: эволюция технологий и математических моделей, Вестник связи №8.

**MEKO**  
**RAČUNARSTVO –**  
**SOFT COMPUTING**



## OBEZBJEĐENJE KVALITETA U RAZVOJU WEB APLIKACIJE ZA UPRAVLJANJE ZNANJEM

### SOFTWARE QUALITY ASSURANCE IN DEVELOPMENT OF WEB APPLICATION FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT

TARIK DEDIĆ<sup>1</sup>, RAMO ŠENDELJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultet Informacijskih Tehnologija, Univerzitet Džemal Bijedić, Mostar, tarik.dedic@edu.fit.ba

<sup>2</sup>Univerzitet Donja Gorica, Podgorica, ramo.sendelj@gmail.com

**Rezime:** U ovom radu će biti prezentovane i implementirane neke od glavnih metoda obezbjeđenja kvaliteta Web aplikacije za upravljanje znanjem: metode crne i bijele kutije, funkcionalno testiranje, testiranje izvršavanja koda, testiranje performansi.

**Cljučne reči:** Obezbjedenje kvaliteta softvera, metode, testovi.

**Abstract:** In this paper will be presented and implemented some of the main methods of providing software quality on Web application for knowledge management: black-box and white-box methods, functional testing, statement coverage testing, performance testing.

**Keywords:** Software quality assurance, test methods, information system.

#### 1. UVOD

Obezbjedenje kvaliteta softvera (Software Quality Assurance – SQA) se sastoji od nekoliko načina za praćenje/monitoring procesa softverskog inženjeringa i metoda korištenih za obezbjeđenje kvaliteta. To se postiže revizijama sistema upravljanja kvalitetom pod kojim je softverski sistem kreiran. Te revizije su podržane od strane jednog ili više standarda, najčešće je to ISO 9000 standard. *Software Quality Assurance (SQA)* obuhvata cijeli proces razvoja softvera koji uključuje dizajn softvera, kodiranje, kontrola koda, recenzije koda, upravljanje promjenama, upravljanje konfiguracijom i izdavanje softvera. SQA je također zadužen za prikupljanje i prezentaciju softverskih metrika. Tako je npr. *Mean Time Between Failure (MTBF)* softverska metrika (mjera) koja prati koliko često sistem otkazuje. MTBF metrika je relevantna za karakteristiku pouzdanosti softvera a samim time i za karakteristiku dostupnosti softvera (Osielczak and Mianowski). Model kvaliteta prezentovan u prvom dijelu ISO/IEC 9126-1 standarda klasificira kvalitet softvera kao strukturirani set sljedećih karakteristika kvaliteta: funkcionalnost, pouzdanost, upotrebljivost, efikasnost, održavanje i prenosivost. Svaka od navedenih karakteristika kvaliteta sadrži po nekoliko podkarakteristika. *Funkcionalnost* je karakteristika kojom se opisuje ispravnost rada pojedinih funkcija softvera. Ona opisuje sve što softverski proizvod treba da čini da bi ispunio postavljene zahtjeve. *Pouzdanost* je karakteristika softvera da održava svoj nivo performansi pod navedenim uslovima u određenom vremenskom periodu. *Upotrebljivost* je karakteristika kojom se procjenjuje lakoća korištenja i rukovanja softverskim proizvodom. *Efikasnost* je osobina koja definiše odnos između nivoa performansi i softverskog proizvoda i korištenih resursa pod određenim uslovima posmatranja. Zavisí od hardverske platforme i od dizajna softvera. *Održavanje* predstavlja skup svih aktivnosti neophodnih za osiguravanje efikasne podrške softverskom sistemu. *Prenosivost* je karakteristika kojom se utvrđuje sposobnost softverskog proizvoda da se transformiše iz jednog okruženja u drugo. ISO/IEC 9126 standard ne definiše konkretne metrike za ocjenu prethodno navedenih karakteristika, ostavljajući time slobodu da se za svaki konkretni softverski projekat usaglase mjere kvaliteta između naručioca i isporučioaca softvera

#### 2. METODE

Software Quality Assurance podrazumijeva nekoliko metoda, neke od njih su:

- Black box testiranje – nije bazirano na dizajnu ili programskom kodu. Testovi su bazirani na zahtjevima i funkcionalnostima.



- White box testiranje – bazirano na internoj logici aplikacijskog koda. Testovi su bazirani na programskom kodu, grananjem (branches), putanjama i uslovima.
- Funkcionalno testiranje – tip black-box testiranja usmjerena na funkcionalne zahtjeve aplikacije. Ovo testiranje bi trebalo biti urađeno od strane testera.
- Statement coverage testiranje – ovim testiranjem se utvrđuje da li su svi dijelovi koda izvršeni, tj. koji se to dijelovi koda nisu uspjeli izvršiti.
- Testiranje performansi – ovo testiranje uključuje: upotrebu resursa, vrijeme odziva, itd.

### 3. REZULTATI

#### 3.1. Black-box testiranje

Pristup crne kutije (Beizer 1995) je metoda testiranja u kojoj se dolazi do testnih podataka na temelju specificiranih funkcijskih zahtjeva, ne uzimajući u obzir konačnu strukturu programa. Ovo testiranje se još naziva i testiranje upravljano podacima (engl. data driven), ulazno/izlazno testiranje (engl. input/output driven) ili testiranje zasnovano na zahtjevima (engl. requirements based). Kod testiranja, program se tretira kao crna kutija nepoznata sadržaja kod koje su vidljivi samo ulazi i izlazi, a funkcionalnost je određena promatranjem dobivenih izlaznih podataka na temelju odgovarajućih poznatih ulaza. Prilikom testiranja, na osnovu različitih ulaznih podataka dobiveni izlazni podaci se uspoređuju s unaprijed očekivanima te se na taj način vrši vrednovanje ispravnosti programa (Beizer 1995). Na primjer, ukoliko softver zahtijeva unos cijene određenog proizvoda i očekiva vrijednost 3.99, softver mora da provjeri da bi potvrdio da su svi nedozvoljeni unosi procesuirani. Korisnik može da unese vrijednost '-1' ili 'Abc' za cijenu i dobije rezultate suprotne od onih koji su specificirani dizajnom. Kod unosa teksta potrebno je ograničiti broj karaktera koji mogu biti unešeni. Ukoliko program alocira 30 karaktera u memorijskom prostoru, a korisnik unese 50 karaktera, može da dođe do tzv. 'buffer overflow' stanja (Osielczak and Mianowski). U konkretnom slučaju, prilikom izmjene članka korisnik može da napiše komentar na tu izmjenu (opis). Maksimalan broj karaktera za opis izmjene članka (atribut description) je 255, što je prikazano na slikama br. 1. i br. 2.

Description	nvarchar(255)	<input checked="" type="checkbox"/>
-------------	---------------	-------------------------------------

Slika 1: Atribut Description u tabeli ArticleModify

```
[StringLength(255, ErrorMessage = "Description cannot be longer than 255 characters.")]
public string Description { get; set; }
```

Slika 2: Property Description u klasi ArticleModify

Pored dosad navedenog *black-box* testiranje obuhvata još mnogo stavki, a neke od njih su: testiranje linkova, korisničkog interfejsa, upravljanje greškama, kompaktnost *browser-a*, sigurnost, testiranje opterećenja, testiranje pod pritiskom, testiranje oporavka, testiranje opsega, testiranje upotrebljivosti, istraživačko testiranje, ad-hoc testiranje, alfa i beta testiranje i dr.

Korisnici pomoću linkova prelaze sa jedne stranice na drugu, te je stoga potrebno testirati dvije stvari za svaki link: da određeni link prosljeđuje korisnika na zahtijevanu Web stranicu i da ta stranica postoji. U konkretnom slučaju Web aplikacija je testirana uz pomoć 'Dr. Watson' programa i 'iwebtool' online alata za provjeru linkova. Rezultati su prikazani na slici br. 3.

```
/wiki
Result: (200: OK)
Link found on
lines: 39, 43, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100,
101, 102, 103, 157, 164, 170, 177, 179
/wiki/create
Result: (200: OK)
Link found on line: 43
/lucene/index
Result: (200: OK)
Link found on line: 43
/question/index
Result: (200: OK)
Link found on line: 43
```

Slika 3: Dr. Watson rezultati

### 3.2. Funkcionalno testiranje

Funkcionalno testiranje je najčešći način testiranja. Svaka organizacija na određeni način i u određenom opsegu izvršava funkcionalne testove, no nerijetko bez plana i odgovarajuće popratne dokumentacije. Funkcionalno testiranje je testiranje pojedinih, izdvojenih aplikativnih funkcionalnosti sa ciljem postizanja određenih poslovnih ciljeva(www.croz.net, 2014).

U konkretnom slučaju, funkcionalni zahtjevi za kreiranje novog članka su bili sljedeći:

- Korisnik mora da bude prijavljen na sistem da bi mogao kreirati novi članak.
- Nakon uspješne prijave na sistem korisnik odabire „New article“ opciju.
- Nakon toga korisniku se prikazuje forma za unos novog članka.
- Korisnik unosi podatke vezane za članak, a to su: naziv članka, kategorija članka, sadržaj i tagovi. Klikom na dugme „Create“ korisnik objavljuje članak.
- Nakon uspješno objavljenog članka, članak se prikazuje na glavnoj stranici, kao i u određenoj kategoriji koja je prethodno navedena.

Funkcionalni testovi su izvođeni uz pomoć *TestCafe* softvera za testiranje. Navedeni softver prilikom testiranja pravi video zapis i ujedno zapisuje svaku akciju testera u JavaScript file. Generisani JavaScript file koji sadrži sve korake testiranja funkcionalnosti dodavanja novih članaka je prikazan na slici br. 4.

```
kreiranjeclanka.test.js  X
1  "@fixture KreiranjeClanka";
2
3  "@page http://localhost:53979/";
4
5  "@test["KreiranjeClanka"] = {
6    '1.Click link "New article": function() {
7      var link = $("":containsExcludeChildren(New article));
8      act.click(link, {});
9    },
10   '2.Type in input "Username": function() {
11     var input = $("#Username");
12     act.type(input, "johndoe", {
13       caretPos: 0
14     });
15   },
16   '3.Click fieldset "Log in": function() {
17     var fieldset = $(".span10").find("> form:nth(0) > fieldset:nth(0)");
18     act.click(fieldset, {});
19   },
20   '4.Type in password input "Password": function() {
21     var passwordInput = $("#Password");
22     act.type(passwordInput, "test1234", {
23       caretPos: 0
24     });
25   },
26   '5.Click submit button "Log in": function() {
27     var submitButton = $(".btn").eq(1);
28     act.click(submitButton, {});
29   },
30   '6.Type in input "Title": function() {
31     var input = $("#article_title");
32     act.type(input, "OKSkreiranjeClanka", {
33       caretPos: 0
34     });
35   }
36 }
```

Slika 4: *Kreiranjeclanka.test.js* generisani fajl

### 3.3. White-box testiranje

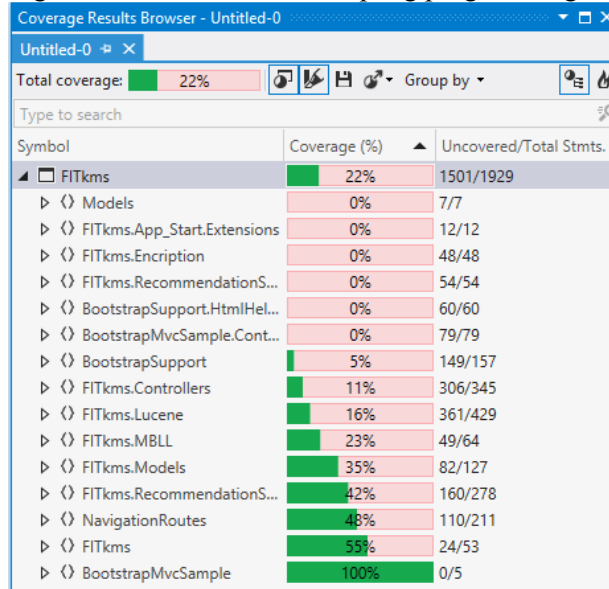
Suprotno od testiranja metodom crne kutije, ovdje se sistem promatra kao bijela kutija ili kao staklena kutija (engl. glass box), što znači da je prilikom testiranja poznata struktura i tok izvođenja programskih modula. Ovaj način testiranja se još naziva i testiranje zasnovano na dizajnu (engl. design-based testing) i testiranje vođeno logikom (engl. logic driven testing).

Kod ove metode prisutna je namjera detaljnog promatranja nekih aspekata programske podrške kao što je: izvršavanja svake linije programskog koda najmanje jednom (engl. statement coverage), prolaženje svakog skoka (engl. branch coverage), ili razotkrivanje svih mogućih kombinacija ispravnih i neispravnih uvjeta (engl. multiple condition coverage)(Parrington and Roper 1989).

### 3.3.1. Statement coverage testiranje

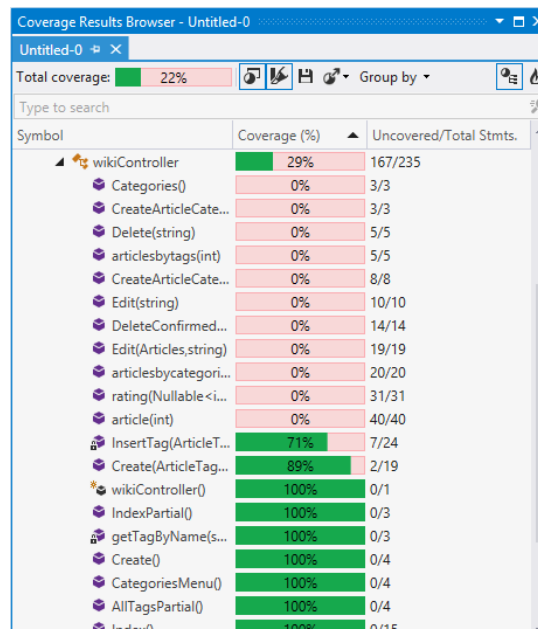
U ovom tipu testiranja koda, svaka linija programskog koda mora biti izvršena najmanje jednom. Ovo testiranje se još naziva i *line coverage* ili *segment coverage*. Ovim testiranjem se utvrđuje da li su svi dijelovi koda izvršeni, tj. koji se to dijelovi koda nisu uspjeli izvršiti.

U konkretnom slučaju korišten je JetBrains dotCover *code coverage* alat koji se integriše u Visual studio. Na slici br. 5. je prikazan rezultat analize koda za akciju dodavanja novog članka. Primjeti se da funkcionalnost dodavanja novog članka koristi 22% od ukupnog programskog koda aplikacije.



Slika 5: Rezultati statement coverage testiranja

Na slici br. 6. je prikazano korištenje koda *wiki* kontrolera, u kojem se nalaze akcije/metode potrebne za dodavanje novih članaka. Može se primjetiti da funkcija dodavanja novih članaka na sistem koristi 29% od ukupnog programskog koda *wiki* kontrolera. Postoji 7 funkcija sa sto postotnim izvršenjem koda i dvije funkcije sa po 71% i 89% izvršenjem koda.



Slika 6: wikiController statement coverage

Alat *dotCover* izvršene linije koda označava zelenom bojom, dok one linije koda koje se nisu izvršile označava crvenom bojom. Tako je na slici br. 7. prikazana akcija *Create*, koja se nalazi u *wikiController*-u i čija je funkcija dodavanje novih članaka u bazu podataka.

Dvije zadnje linije akcije *Create* koje su zadužene za odabir kategorije članka i prikaz novo napisanog članka nisu izvršene.

```

[HttpPost, ValidateInput(false)]
[Authorize]
[ValidateAntiForgeryToken]
public ActionResult Create(ArticleTagsViewModel vm)
{
    publicip
    lanip
    user

    if (ModelState.IsValid)
    {
        vm.article.UserID = userID;
        vm.article.DateCreated = DateTime.Now;
        //vm.article.Content = Sanitizer.GetSafeHtmlFragment(vm.article.Content);
        vm.article.UserIPAddress = arrIpAddress[arrIpAddress.Length - 1].ToString();
        db.Articles.Add(vm.article);
        InsertTag(vm);

        db.SaveChanges();

        return RedirectToAction("Index");
    }

    ViewBag.ArticleCategoryID = new SelectList(db.ArticleCategories, "ArticleCategoryID", "Name", vm.article.ArticleCategoryID);
    return View(vm.article);
}

```

Slika 7: Izvršenje koda akcije Create

Daljnjom inspekcijom SQL baze podataka je utvrđeno da novo kreirani članak ne pripada ni jednoj kategoriji, tj. da se kod potreban za odabir kategorije ne izvršava, što je prikazano na prethodnoj slici. Na slici br. 8 je prikazan SQL upit, gdje se može primjetiti da je polje atributa *ArticleCategoryID* prazno, tj. NULL.

	ArticleID	UserID	UserIPAddress	ArticleCategoryID	Title	Content	DateCreated
1	5042	1	10.127.127.1	NULL	dotCover	<p>dotCover</p>	2014-04-02 22:32:29.007

Slika 8: SQL select upit za kreirani članak

### 3.4. Testiranje performansi

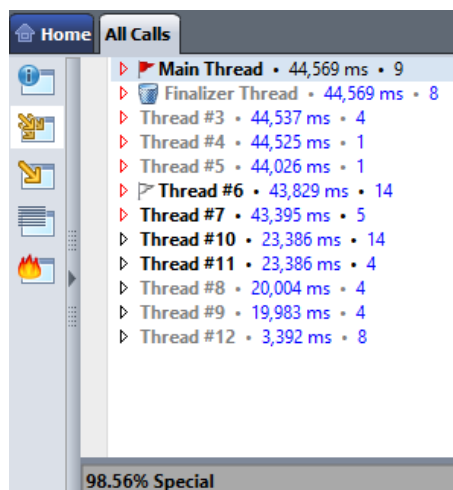
Testiranje performansi se često koristi kao sinonim za *stress* i *load* testiranje. Ovakav način testiranja se izvodi da bi se odredilo kako sistem funkcioniše u pogledu odaziva (engl. responsiveness) i stabilnosti (engl. stability) pod određenim opterećenjima. Za testiranje performansi Web aplikacije u konkretnom slučaju korištena su tri alata: Apache Jmeter 2.11, JetBrains dotTrace 5 i Visual Studio 2012. Apache Jmeter je korišten za simulaciju opterećenja na lokalni server. Simulacija se sastoji od 10 *thread*-ova, tj. korisnika koji će u vremenskom periodu od 10 sekundi, izvršiti pojedinačno po 10 HTTP zahtijeva. Rezultati su prikazani na slici br. 9.

Sample #	Start Time	Thread Name	Label	Sample Time(ms)	Status	Bytes	Latency
1	14:49:10.472	Thread Group 1-1	HTTP Request	42	▲	6585	42
2	14:49:10.515	Thread Group 1-1	HTTP Request	34	▲	6585	34
3	14:49:10.551	Thread Group 1-1	HTTP Request	39	▲	6585	39
4	14:49:10.591	Thread Group 1-1	HTTP Request	34	▲	6585	34
5	14:49:10.626	Thread Group 1-1	HTTP Request	57	▲	6585	57
6	14:49:10.684	Thread Group 1-1	HTTP Request	33	▲	6585	33
7	14:49:10.718	Thread Group 1-1	HTTP Request	35	▲	6585	35
8	14:49:10.754	Thread Group 1-1	HTTP Request	32	▲	6585	32
9	14:49:10.786	Thread Group 1-1	HTTP Request	93	▲	6585	93
10	14:49:10.880	Thread Group 1-1	HTTP Request	31	▲	6585	31
11	14:49:11.481	Thread Group 1-2	HTTP Request	58	▲	6585	58
12	14:49:11.540	Thread Group 1-2	HTTP Request	29	▲	6585	28
13	14:49:11.569	Thread Group 1-2	HTTP Request	31	▲	6585	31
14	14:49:11.601	Thread Group 1-2	HTTP Request	30	▲	6585	30
15	14:49:11.632	Thread Group 1-2	HTTP Request	34	▲	6585	34
16	14:49:11.667	Thread Group 1-2	HTTP Request	36	▲	6585	36
17	14:49:11.705	Thread Group 1-2	HTTP Request	35	▲	6585	35
18	14:49:11.741	Thread Group 1-2	HTTP Request	35	▲	6585	35
19	14:49:11.777	Thread Group 1-2	HTTP Request	32	▲	6585	32
20	14:49:11.810	Thread Group 1-2	HTTP Request	34	▲	6585	34
21	14:49:12.484	Thread Group 1-3	HTTP Request	50	▲	6585	50
22	14:49:12.540	Thread Group 1-3	HTTP Request	29	▲	6585	29
23	14:49:12.575	Thread Group 1-3	HTTP Request	29	▲	6585	29
24	14:49:12.610	Thread Group 1-3	HTTP Request	31	▲	6585	31
25	14:49:12.647	Thread Group 1-3	HTTP Request	28	▲	6585	28

Scroll automatically?  
 Child samples?  
 No of Samples 100  
 Latest Sample 25  
 Average 32  
 Deviation 9

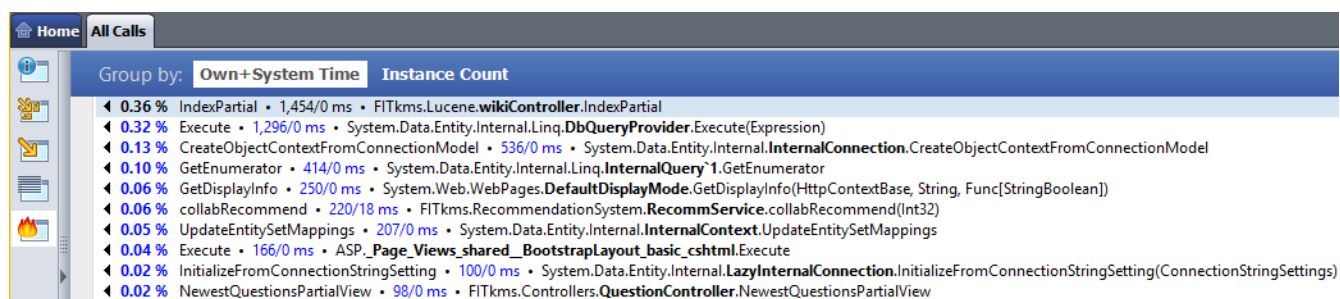
Slika 9: Rezultati simulacije opterećenja

Nakon simulacije opterećenja uz pomoć alata JetBrains dotTrace je dobijen uvid u sve *thread*-ove koji su se izvršavali unutar Web aplikaciji tokom *profiling-a*. Slika br. 10. prikazuje niti (engl. threads) izvršene unutar Web aplikacije.



Slika 10: Niti aplikacije (threads)

Na sljedećoj slici (br. 11.) prikazane su žarišne funkcije Web aplikacije ili tzv. Hot spots.



Slika 11: Žarišne funkcije aplikacije

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljeno tek nekoliko najpopularnijih metoda obezbjeđenja kvaliteta softvera. Naravno da postoji još mnogo metoda koje su neizostavne u procesu obezbjeđenja kvaliteta, ali zbog obima i vrste rada nisu mogle da budu predstavljene. Razvoj softvera je kompleksna aktivnost koja sa sobom nosi mnogo rizika, bilo tehničke ili logičko-programerske prirode.

Kvalitet softvera kao i svakog drugog ljudskog artefakta nije lako dostignuti, ali se kroz proces razvoja softvera treba uvijek nametati pitanje: kako da se poboljša kvalitet softvera? Obezbuđenje softvera se obično fokusira na testiranje u završnim fazama projekta, kada je budžet oskudan, a pritisak da se proizvod isporuči veoma visok. Da bi se osigurao kvalitet, projektni menadžeri moraju izbalansirati osiguranje kvaliteta sa ostalim procesima i vremenom isporuke.

#### LITERATURA

- [1.] Beizer, B. (1995). *Black-Box Testing: Techniques for Functional Testing of Software and Systems*. New York: Wiley.
- [2.] <http://www.ojastestingsolutions.com>. (2014). *Functional testing*. Preuzeto od <http://ojastestingsolutions.com/blog/functional-testing/>
- [3.] Osielczak, D. & Mianowski, S. (bez datuma). *Methods of software quality assurance*.
- [4.] Parrington, N. & Roper, M. (1989). *Understanding Software Testing*. Willey&Sons.
- [5.] [www.croz.net](http://www.croz.net). (2014). *croz.net*. Preuzeto od <http://www.croz.net/funkcionalno-testiranje/>



## **PRIKAZ NOVE METODE ZA IZRADU BAZE PRAVILA FUZZY LOGIČKOG SISTEMA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU - METODA AGREGACIJE TEŽINA PREMISA PRAVILA**

### **OVERVIEW OF THE NEW METHOD FOR DEVELOPMENT OF THE BASE OF THE FUZZY LOGIC SYSTEMS FOR DECISION MAKING SUPPORT RULES - PREMISA RULES WEIGHT AGGREGATION METHOD**

DRAGAN PAMUČAR<sup>1</sup>, DARKO BOŽANIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, dpamucar@gmail.com, dbozanic@yahoo.com

**Rezime:** U radu je prikazana nova metoda za izradu baze pravila fuzzy logičkog sistema – agregacijom težina premisa pravila (ATPP). Metodu ATPP autori su razvili sa ciljem poboljšanja načina izrade fuzzy logičkih sistema (FLS) za podršku odlučivanju. Primenom ATPP metode postiže se jednostavnije i brže projektovanje FLS-a. Pored toga, značajno se skraćuje vreme izrade FLS-a primenom novog pristupa u komunikaciji sa ekspertima prilikom definisanja parametara za izradu FLS-a.

**Ključne reči:** Metoda agregacije težina premisa pravila, fuzzy logički sistem (FLS), baza pravila.

**Abstract:** This paper presents a new method for development of the rule base of the fuzzy logic systems for decision making support - premisa rules weight aggregation methods (ATPP). ATPP method was developed by the authors in order to improve the development of fuzzy logic system (FLS) for decision making support. Applying of the ATPP method provides easy and quick design of FLS. In addition, the time necessary the development of the FLS-a by applying the new approach to communication with experts in defining the parameters for the development of FLS is shortened.

**Keywords:** Premisa rules weight aggregation methods, fuzzy logic system, rule base.

## **1. UVOD**

Fuzzy skupovi i fuzzy logika se, kao pogodan matematički aparat, široko primenjuju u procesima podrške donošenju različitih odluka u menadžmentu. Posebno je značajno njihovo mesto u prevođenju različitih vrsta neodređenosti, neizvesnosti, nepreciznosti i dr. u polje određenosti, izvesnosti i preciznosti, gde se različitim matematičkim operacijama opšti stavovi prevode u broјčane vrednosti. Drugim rečima, oni omogućavaju prevođenje potpuno nestruktuiranog skupa heurističkih tvrđenja izraženih rečima u algoritam, zasnovan na naučnim principima (Pamučar et al. 2011).

Osnove teorije fuzzy logike i fuzzy skupova postavio je Lotfi Zadeh (1965; 1972; 1973). Čest način primene fuzzy skupova i fuzzy logike u procesu odlučivanja je pomoću fuzzy logičkih sistema (FLS). Fuzzy logički sistemi predstavljaju matematičke modele bazirane na bazama znanja do kojih se dolazi na osnovu postojećih podataka iz prošlosti ili na osnovu iskustva i intuicije. Osnovu FLS-a čini baza pravila, koja se sastoji od "IF - THEN" pravila. Svako pravilo predstavlja relaciju između različitih ulaznih i izlaznih vrednosti, zapisanih u formi:

$IF x_1 \text{ is } A_{j1} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_i \text{ is } A_{ji} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{jn} \text{ THEN } y \text{ is } B_j$

U literaturi postoje brojne metode za izradu baze pravila FLS-a iz poznatog skupa numeričkih podataka. Ove metode obrađene su u Kao and Chen (2000), Ravi et al. (2001) i Wang and Mendel (1992). Međutim, izrada baze pravila FLS zasnovanog na iskustvu i intuiciji predstavlja dosta složeniji proces. Kako bi izradio bazu pravila, analitičar je prinuđen da održava dugu komunikaciju sa velikim brojem eksperata iz oblasti koju istražuje. Karakteristike ovakve baze pravila zavise od broja i kvaliteta eksperata, ali i od sposobnosti analitičara da formuliše njihovu strategiju odlučivanja. Zbog navedenog razvijen je nov pristup u izradi baze pravila FLS - metoda agregacije težina premisa pravila (ATPP). Osnovni cilj prilikom razvijanja ove metode bio je smanjenje duge komunikacije sa ekspertima, a da se pri tom ne naruši kvalitet koji FLS treba da obezbedi. Osnova metode ATPP date su u Božanića i Pamučar (2014). U ovom radu izvršen je prikaz metode ATPP sa određenim korekcijama i poboljšanjima.

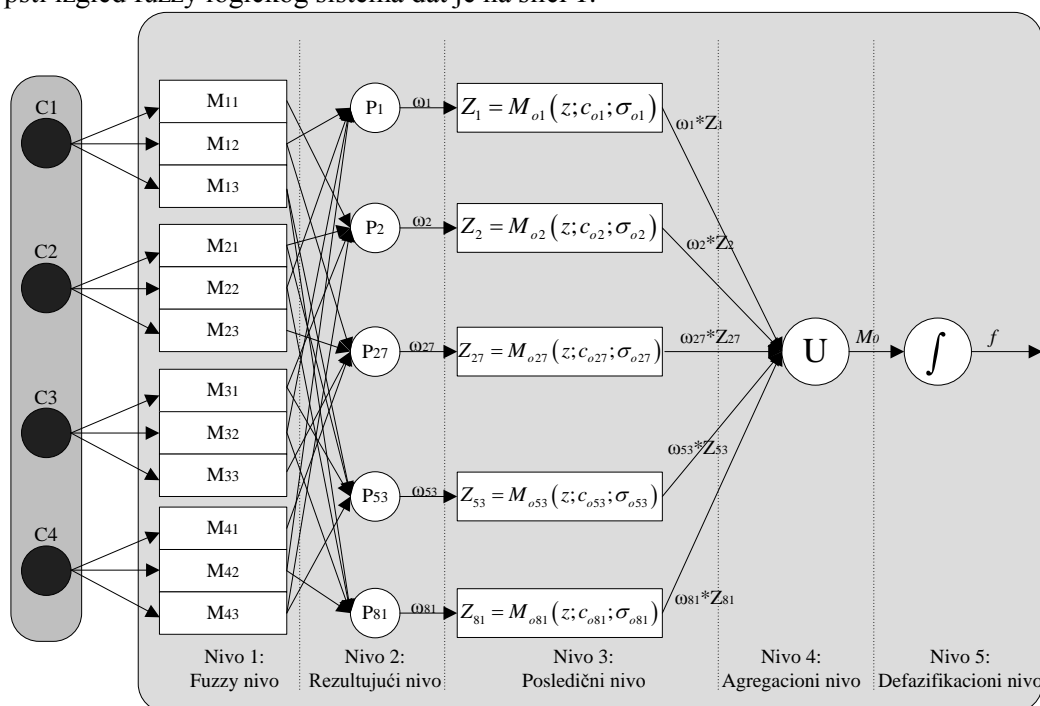
## 2. PRIKAZ METODE AGREGACIJE TEŽINA PREMISA PRAVILA

Suština problema koji se rešava u ovom radu bazirana je na činjenici da ne postoji standardna i sistematična metoda za transformaciju inženjerskog znanja ili iskustva u fuzzy pravila, pri izradi složenijih FLS (Gođevac 1997). U pravcu rešavanja navedenog problema u sedam koraka razrađena je i prikazana metoda ATPP.

Opšte postavke o FLS. Osnovu FLS-a predstavljaju ulazno-izlazne promenljive koje se mogu prikazati kao uređeni parovi:

$$\left(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}; y^{(1)}\right), \left(x_1^{(2)}, \dots, x_n^{(2)}; y^{(2)}\right), \dots, \left(x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(p)}; y^{(d)}\right) \quad (1)$$

gde  $x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(p)}$  predstavljaju funkcije pripadnosti ulaznih promenljivih  $X_1, \dots, X_n$ , a  $y^{(1)}, y^{(2)}$  i  $y^{(d)}$  predstavljaju funkcije pripadnosti izlazne promenljive  $Y$ . Broj izlaznih promenljivih najčešće je jedan, ali je moguće izrađivati i FLS sa dve ili više izlaznih promenljivih, što ovde neće biti prikazano, jer ne utiče na sam prikaz metode. Kada je definisano dve ili više izlaznih promenljivih, postupak sa njima je isti kao i sa prvom. Opšti izgled fuzzy logičkog sistema dat je na slici 1.



Slika 1: Model fuzzy logičkog sistema (Pamučar *et al.* 2014)

Metoda ATPP omogućava da se generiše baza fuzzy pravila na osnovu ulazno-izlaznih parova (izraz 1). Baza pravila predstavlja vezu između ulaznih ( $X_i$ ) i izlazne ( $Y$ ) promenljivih FLS-a. Fuzzy logički sistem koristi bazu pravila (primenom ulazno-izlaznog preslikavanja fuzzy skupova) za dobijanje izlaznih vrednosti

$$f : (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow Y \quad (2)$$

Korak 1: Određivanje težinskih koeficijenata ulaznih promenljivih FLS-a. Označimo sa  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) skup ulaznih promenljivih FLS-a i sa  $x_i^{(i)}$ ,  $i = 1, \dots, m$ , funkcije pripadnosti ulazne promenljive FLS-a (gde  $m$  predstavlja broj funkcija pripadnosti). Označimo sa  $Y$  izlaznu promenljivu FLS-a i sa  $y^{(i)}$ ,  $i = 1, \dots, d$ , funkcije pripadnosti izlazne promenljive FLS-a (gde  $d$  predstavlja ukupan broj funkcija pripadnosti).

Težinski koeficijent ( $g_{X_i}$ ) ulazne promenljive  $X_i$  dobija se formiranjem matrice  $\bar{W}$  u kojoj su prikazane agregacije odluka eksperata  $E_g$  ( $g = 1, 2, \dots, k$ ) koji su učestvovali u istraživanju. Matrica  $\bar{W}$  dobija se nakon poređenja u parovima kriterijuma. Svaki red matrice  $\bar{W}$  predstavlja agregaciju odluka pojedinačnog eksperta koji je učestvovao u istraživanju. Poređenje kriterijuma vrši se primenom fazifikovane skale, tabela 1 (Wang and Elhag 2006).

Tabela 1. Skala za poređenje u parovima ulaznih promenljivih

Lingvistička varijabla	Fuzzy broj
Vrlo malo (VM)	(0,0,0.1)
Malo (M)	(0,0.1,0.3)
Srednje malo (SM)	(0.1,0.3,0.5)
Srednje (S)	(0.3,0.5,0.7)
Srednje veliko (SV)	(0.5,0.7,0.9)
Veliko (V)	(0.7,0.9,1)
Vrlo veliko (VV)	(0.9,1,1)

$$\bar{W} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_k \end{matrix} & \begin{pmatrix} \bar{w}_{11} & \bar{w}_{12} & \dots & \bar{w}_{1n} \\ \bar{w}_{21} & \bar{w}_{22} & \dots & \bar{w}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{w}_{k1} & \bar{w}_{k2} & \dots & \bar{w}_{kn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Težinski koeficijentati dobijaju se primenom aritmetičkih operacija koje su objašnjene u narednom delu. Sumiranje vrednosti po redovima matrice  $\bar{W}$  vrši se primenom izraza

$$Xw_k = \sum_{k=1}^m \bar{w}_{kn} = \left( \sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r), \sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r) \right), k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Normalizacija sumiranih vrednosti po redovima vrši se primenom izraza

$$g_{X_i} = \frac{Xw_n}{\sum_{k=1}^n Xw_k} = \left( \frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^b w_{kn}^l(r)}, \frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^b w_{kn}^u(r)} \right), k = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

Defazifikacija lingvističkih deskriptora vrši se primenom izraza:

$$g_{\alpha,\beta}(\bar{L}) = [\beta \square f_{\alpha}(l_1) + (1-\beta) \square f_{\alpha}(l_3)], 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (6)$$

gde je  $f_{\alpha}(l_3) = l_3 - (l_3 - l_2) \square \alpha$  funkcija koja predstavlja levu distribuciju intervala poverenja fuzzy broja  $\bar{L}$  dok je  $f_{\alpha}(l_1) = (l_2 - l_1) \square \alpha + l_1$  funkcija koja predstavlja desnu distribuciju intervala poverenja fuzzy broja  $\bar{L}$ . Vrednost  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) predstavlja stepen uverenosti donosioca odluke u istinitost datog tvrđenja, dok vrednost  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) predstavlja pesimistički indeks donosioca odluke. Stepem neizvesnosti je najveći kada je vrednost  $\alpha = 0$ , dok sa druge strane vrednost  $\beta = 0$  predstavlja optimistički indeks donosioca odluke.

U mesto prikazanog postupka, u okviru prvog koraka, moguće je koristiti i neke druge metode za određivanje težina kriterijuma. Veliki broj tih metoda može se pronaći u Milićević i Župac (2012a; 2012b) i Milićević i Milenković (2014).

*Korak 2: Određivanje vrste (tipa) i broja funkcija pripadnosti ulazno-izlaznih promenljivih FLS-a.* Nakon dobijanja težinskih koeficijenata ulaznih promenljivih FLS-a ( $g_{X_i}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , gde  $n$  predstavlja broj ulaznih promenljivih) pristupa se određivanju vrste i broja funkcija pripadnosti ulaznih ( $X_i$ ) i izlazne ( $Y$ ) promenljive. Za sve ulazne/izlazne promenljive FLS-a, pored tipa funkcija pripadnosti, potrebno je odrediti i broj funkcija pripadnosti. Veći broj funkcija pripadnosti zahteva povećanje broja pravila u bazi. Međutim, veći broj pravila otežava podešavanje sistema. Zato se preporučuje da se, u skladu sa prirodom promenljivih, počne sa najmanjim brojem funkcija pripadnosti. Međutim, smanjenje broja funkcija pripadnosti ne sme da ima za posledicu nepotpun opis ulazne promenljive.

Nakon definisanja vrste i broja funkcija pripadnosti ulaznih ( $X_i$ ) i izlazne ( $Y$ ) promenljive pristupa se određivanju intervala poverenja funkcija pripadnosti

$$x_1^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_1^{(i)} \in [x_1^-, x_1^+]; x_2^{(1)}, x_2^{(2)}, \dots, x_2^{(j)} \in [x_2^-, x_2^+]; \dots, x_m^{(1)}, x_m^{(2)}, \dots, x_m^{(k)} \in [x_m^-, x_m^+] \quad (7)$$

$$y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(i)} \in [y^-, y^+] \quad (8)$$



*Korak 3. Određivanje težinskih koeficijenata funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih.* Označimo sa  $w_{x_i}^{(i)}$ ,  $i = 1, \dots, m$ , (gde  $m$  predstavlja ukupan broj funkcija pripadnosti ulazne promenljive  $X_i$ ) težinske koeficijente funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih uz uslov da je

$$\sum_{j=1}^m w_{x_i}^{(j)} = g_{x_i} \quad (9)$$

Najčešće se  $w_{x_i}^{(i)}$  određuje na osnovu subjektivne procene eksperta koji modelira FLS. Međutim, pored subjektivne procene  $w_{x_i}^{(i)}$  može da se odredi i grupnim odlučivanjem i agregacijom odluka eksperata. Raspodela težinskih koeficijenata funkcija pripadnosti treba da u što većoj meri odslikava realnost. Ona može biti ravnomerna i neravnomerna.

*Korak 4. Generisanje početne ("nepotpune") baze pravila sa maksimalnim brojem kombinacija ulazno-izlaznih parova.*  $N$  ulaznih ( $X_i$ ) promenljivih i izlazna promenljiva ( $Y$ ), su opisane sa različitim brojem funkcija pripadnosti. Polazeći od toga potrebno je odrediti maksimalan broj pravila tj. maksimalan broj kombinacija ( $c$ ) kojima mogu da se kombinuju funkcije pripadnosti. Početna baza pravila sadrži samo premise ("if" deo pravila) odnosno kombinacije svih funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih FLS-a ( $x_i^{(i)}$ ). Konkluzije pravila ("then" deo pravila) biće definisane u narednom koraku. Početna ("nepotpuna") baza pravila  $R$  prikazuje se u matricnoj formi

$$R = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_c \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & \dots & x_n^{(1)} \\ x_1^{(2)} & x_2^{(2)} & \dots & x_n^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^{(m)} & x_2^{(m)} & \dots & x_n^{(m)} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

Ukupan broj pravila zavisi od broja funkcija pripadnosti ulaznih promenljivih i računa se prema izrazu:

$$B_p = \prod_{i=1}^n k_{x_i} \quad (11)$$

gde  $B_p$  predstavlja broj pravila, a  $k_{x_i}$  predstavlja broj funkcija pripadnosti za svaku ulaznu promenljivu ( $X_i$ ).

*Korak 5. Generisanje "potpune" baze pravila - Dodeljivanje odgovarajućih konkluzija ( $y_i^{(i)}$ ) premisama  $x_i^{(i)}$ .* Generisanje "potpune" baze pravila otpočeti konstruisanjem matrice  $R'$  u kojoj se kombinacije ulaznih parova (izraz 1) zamenjuju težinskim koeficijentima ( $w_{x_i}^{(i)}$ )

$$R' = \begin{pmatrix} w_{x_1}^{(1)} & w_{x_2}^{(1)} & w_{x_3}^{(1)} & \dots & w_{x_n}^{(1)} \\ w_{x_1}^{(2)} & w_{x_2}^{(2)} & w_{x_3}^{(2)} & \dots & w_{x_n}^{(2)} \\ w_{x_1}^{(3)} & w_{x_2}^{(3)} & w_{x_3}^{(3)} & \dots & w_{x_n}^{(3)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{x_1}^{(m)} & w_{x_2}^{(m)} & w_{x_3}^{(m)} & \dots & w_{x_n}^{(m)} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Nakon konstruisanja matrice  $R'$  sumiraju se elementi matrice po redovima

$$w_y = \sum_{i=1}^n w_{x_i}^{(i)} \square y^+, y^+ \in [y^-, y^+] \quad (13)$$

gde  $y^+$  predstavlja gornju granicu intervala poverenja  $[y^-, y^+]$  izlazne promenljive  $Y$ .

Dalje je potrebno odrediti stepen pripadnosti realnog broja (crisp value)  $w_y$  funkciji pripadnosti ( $y^{(i)}$ ) izlazne promenljive  $Y$

$$y^{(i)} = \max(w_y \cap \mu_{y^{(i)}}) \quad (14)$$

*Korak 6. Optimizacija broja pravila (eliminisanje suvišnih pravila).* Prilikom generisanja baze pravila potrebno je da se svakom paru funkcija pripadnosti ( $x_i^{(i)}$ ) ulaznih promenljivih ( $X_i$ ) pridruži odgovarajuća funkcija pripadnosti ( $y^{(i)}$ ) izlazne promenljive ( $Y$ ). Nakon konstruisanja baze pravila pristupa se eliminisanju suvišnih pravila koja nepotrebno opterećuju sistem. Eliminisanje suvišnih pravila vrši se u slučajevima kada postoje dva ili više pravila koja imaju slične ili iste kombinacije funkcija pripadnosti ulaznih/izlaznih promenljivih. U ovakvim situacijama ostavlja se ono pravilo čiji je zbir težinskih koeficijenata funkcija pripadnosti (sadržanih u pravilu) najveći:

$$R = \max\left(\sum w_{x_R}^{(i)}\right), i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

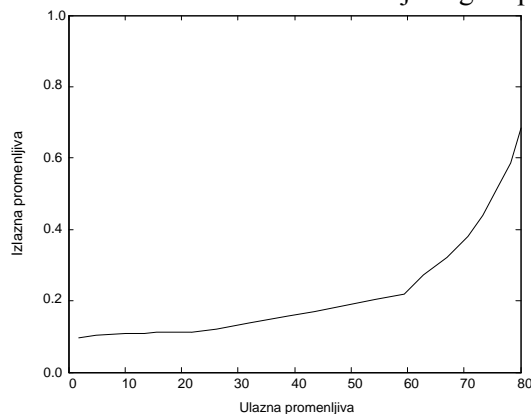
gde  $w_{x_R}^{(i)}$  predstavlja težinski koeficijent funkcija pripadnosti koje su sadržane u pravilu  $R$ .

*Korak 7. Podešavanje FLS.* Nakon definisanja ulaznih i izlaznih promenljivih i baze pravila neophodno je izvršiti analizu osetljivosti i testiranje FLS. Ovim postupcima dolazi se do zaključaka koji ukazuju na to da li i kako FLS reaguje na izlazu na različite promene ulaznih parametara, kao i da li dobijene vrednosti odgovaraju rezultatima koji se dobijaju u realnoj situaciji.

Pre analize osetljivosti i testiranja neophodno je izvršiti sledeće:

- 1) generisanje skupa proizvoljnih vrednosti ulaznih promenljivih – skup treba da pokrije ceo spektar vrednosti, od najnižih do najviših, kako bi rezultati bili što realniji;
- 2) uvođenje skupa proizvoljnih vrednosti ulaznih promenljivih u FLS;
- 3) formiranje skupa testiranih vrednosti i dobijenih rezultata – svakom podskupu proizvoljnih vrednosti pridružuje se vrednost dobijena uvođenjem podataka iz podskupa u FLS.

Nakon toga, pristupa se analizi osetljivosti FLS gde je iz dobijenih podataka potrebno ustanoviti da li se promene vrednosti ulaznih promenljivih odražavaju i na promene izlazne vrednosti, na odgovarajući način. Ovde je potrebno imati u vidu da FLS imaju prednost u odnosu na druge metode višekriterijumskog odlučivanja jer ne mora da odslikava linearnu zavisnost ulaza i izlaza. Fuzzy logički sistem dozvoljava različite (nelinearne) stepene uticaja ulazne promenljive na izlaze, zavisno od veličine tog ulaza. Tako npr. ako posmatramo jednu ulaznu promenljivu (slika 2), vrednosti ulazne promenljive iz donje trećine intervala poverenja ne utiču na izlaznu vrednost, vrednosti oko sredine utiču vrlo malo na izlaznu vrednost, dok vrednosti iz poslednje trećine utiču na izlaznu vrednost dominantnije nego u prve dve trećine.



**Slika 2:** Primer uticaja ulazne promenljive na izlaznu promenljivu

Kroz testiranje FLS proverava se da li su vrednosti koje daje izrađeni sistem identične ili bliske vrednostima koje bi dodelili eksperti. Pošto se radi o sistemu za podršku odlučivanju, nerealno je očekivati da se mišljenja eksperata i vrednosti dobijene pomoću FLS u potpunosti podudaraju, već se dozvoljavaju određena odstupanja. Odstupanja su logična u veličinama dodeljenih vrednosti, ali nisu dozvoljena u rangiranju alternativa o kojima se odlučuje. U slučaju veće greške, vrši se dalje podešavanje FLS, zatim analiza osetljivosti i testiranje, sve dok se ne dobiju zadovoljavajuće vrednosti. Dobijanjem zadovoljavajućeg skupa rešenja može se smatrati da je FLS sistem podešen.

### 3. ZAKLJUČAK

Primena metode ATPP u izradi baze pravila FLS ima nekoliko prednosti. Prva, skraćuje se vreme za izradi fuzzy logičkog sistema, jer se smanjuje potreba za dugom komunikacijom sa ekspertima. Dok se u standardnoj izradi FLS eksperti bave definisanjem pravila, u ovom slučaju eksperti definišu parametre na osnovu kojih se utvrđuju težine kriterijuma koji predstavljaju ulaz u ATPP metodu, što je za eksperte (koji

obično ne poznaju način izrade FLS) mnogo jednostavnije. Eksploatacijom ovog podatka, stručnjaci koji se bave izradom FLS na jednostavan način mogu da izrade bazu pravila. Postignuta jednostavnost u izradi FLS, nije zanemarila najvažniji uslov, da se FLS bazira na sakupljanju i ugradnji znanja i iskustva eksperata.

Druga važna prednost ovakvog metoda je eliminisanje/nepostojanje kontradiktornih pravila. Naime, u standardnoj izradi FLS česta pojava su kontradiktorna pravila jer je ekspertima vrlo teško da imaju potpunu konzistentnost u definisanju pravila. Ovaj problem naoričito dolazi do izražaja kada se radi o velikom broju pravila ili pak o neprecizno definisanim granicama lingvističkih deskriptora (kada ulazne promenljive nisu numerički definisane). Primena ATPP metode eliminiše kontradiktornosti u pravilima, što olakšava proces izrade FLS. Treće, metoda ATPP iskorišćena je za eliminisanje suvišnih pravila, koja nemaju uticaja na izlazne vrednosti, ali usporavaju rad FLS. Četvrto, dolazi se do novog vida komunikacije odnosno razmene znanja, koji olakšava komunikaciju i razumevanje obema stranama, ekspertima i licima koja izrađuju fuzzy logički sistem. Informacije koje daju eksperti primenom ATPP metode ne zahtevaju duga isčitavanja, upoređivanja, popunjavanja dugih upitnika (što vrlo često utiče na nezainteresovanost ovih lica za davanje informacija). Sa druge strane njihovo znanje i iskustvo nijednog trenutka nije izostalo u izradi FLS.

Prikazanu ATPP metodu moguće je uspešno primenjivati u FLS za podršku odlučivanju, koji ne zahtevaju veliku preciznost, već kao što samo ime kaže služe kao podrška odnosno pomoć donosiocima odluka. Mogućnost primene ove metode u izradi FLS-a automatskog upravljanja nije istraživana.

## LITERATURA

- [1] Božanić, D. and Pamučar, D. (2014). Izrada baze pravila fuzzy logičkog sistema za podršku odlučivanju agregacijom težina premisa pravila. *Tehnika*, 1, 129-138.
- [2] Godjevac, J. (1997). A Method for the Design of Neuro-Fuzzy Controllers: An Application in robot learning. Doktorski rad br. 1602, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland.
- [3] Kao, C.H. and Chen, S.M. (2000). A new method to generate fuzzy rules from training data containing noise for handling classification problems. *Proc. 5th Conference Artificial Intelligence and Applications*, Taipei, Taiwan, R.O.C., 323-331.
- [4] Milićević, M. and Milenkov M. (2014). Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja. *Vojnotehnički glasnik*, 1, 141-166.
- [5] Milićević, R. M. and Župac Ž. G. (2012a). Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma. *Vojnotehnički glasnik*, 1, 39-56.
- [6] Milićević, R. M. and Župac Ž. G. (2012b). Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma. *Vojnotehnički glasnik*, 2, 48-70.
- [7] Pamučar, D., Božanić, D. and Đorović, B. (2011). Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing.
- [8] Pamučar, D., Božanić, D. and Milić, A. (2014). Selection of a course of action by Obstacle Employment Group based on a fuzzy logic system. *YUJOR*, rad prihvaćen za objavljivanje, DOI: 10.2298/YJOR140211018P.
- [9] Ravi, V., Reddy, P.J. and Zimmermann H.J. (2001). Fuzzy rule base generation for classification and its minimization via modified threshold accepting. *Fuzzy Sets and System*, 120 (2), 271-279.
- [10] Wang L.X. and Mendel J.M. (1992). Generating fuzzy rules by learning from examples. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics*, 22 (6), 1414-1427.
- [11] Wang, Y. M. and Elhag, T. M. S. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31, 309-319.
- [12] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8, 338-353.
- [13] Zadeh, L.A. (1972). A Rationale for Fuzzy Control, *Journal of Dynamic Systems. Measurement and Control*, 3, 3-4.
- [14] Zadeh, L.A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. on systems, Man and Cybernetics*, 1, 28-44.



## GRAFIČKA INTERPRETACIJA KOMPLEMENTARNOSTI U BULOVSKI KONZISTENTNOJ TEORIJI FAZI SKUPOVA

## GRAPHICAL INTERPRETATION OF COMPLEMENTARITY IN BOOLEAN CONSISTENT FUZZY SET THEORY

DRAGAN G. RADOJEVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, dragan.radojevic@pupin.rs

**Rezime:** U ovom radu se grafički prikazuje komplementarnost u teoriji fazi skupova zasnovanoj na realno-vrednosnoj realizaciji Bulove algebre. Ilustruje se razlika između suprotnosti i komplementarnosti. Pokazuje se da konvencionalna fazi logika zasnovana na principu istinitosne funkcionalnosti u opštem slučaju nije u stanju da konzistentno tretira ovaj važan pojam.

**Ključne reči:** Komplementarnost, suprotnost, teorija fazi skupova, realno-vrednosna realizacija Bulove algebre, strukturalna funkcionalnost, istinitosna funkcionalnost

**Abstract:** This document presents graphical interpretation complementarity in fuzzy set theory based on real-valued Boolean-algebra realization. Differences between complementarity and contrast are illustrated. It is shown that conventional fuzzy logic theory based on truth functional principle in general case is not able to treat complementarity adequately.

**Keywords:** complement, contrast, fuzzy logic, real-valued realization of Boolean algebra, structural functionality, truth functionality.

### 1. UVOD

U konvencionalnoj teoriji fazi skupova za razliku od klasičnih skupova, presek skupa i njegovog komplementa nije prazan a njihova unija nije jednaka univerzumu (Zadeh 1965).

U ovom radu se grafički grafički ilustruje prevazilaženje problema svojstvenog konvencionalnoj teoriji fazi skupova u pogledu definisanja i tretiranja komplementarnog skupa.

U klasičnoj teoriji skupova, skup i njemu komplementarni skup nemaju ni jedan zajednički element (ne kontradikcija) a isto tako svi elementi univerzuma pripadaju ili analiziranom skupu ili komplementarnom skupu, dakle ne postoji ništa između (isključenje trećeg). Ova važna svojstva klasičnih skupova nisu sačuvana u konvencionalnoj teoriji fazi skupova koja je zasnovana na principu istinitosne funkcionalnosti. Ovaj princip u slučaju skupova se svodi na to da je za izračunavanje vrednosti funkcije pripadanja složenom skupu dovoljna vednost funkcija pripadanja skupovima komponenti. To da vrednost funkcije pripadanja nije dovoljna informacija u slučaju fazi skupova dovodi do toga da prestaju da važe dva od tri zakona mišljenja definisana u antičkim vremenima od strane Aristotela. U konvencionalnoj teoriji fazi skupova ne važe zakon isključenja trećeg i ne kontradikcije.

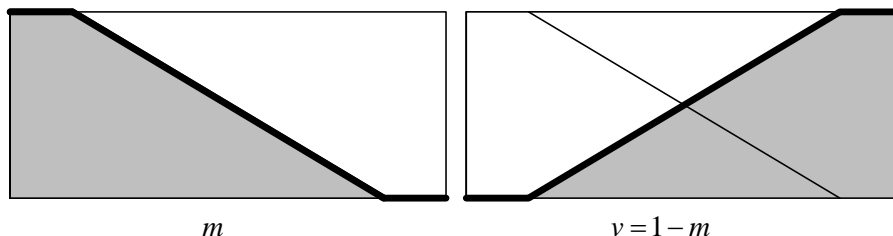
Poznate definicije ova dva zakona odnose se na klasični slučaj: analizirani element pripada ili ne pripada analiziranom skupu (isključenje trećeg) i nemože da mu pripada i nepripada (kontradikcija). Uvođenjem delimičnog pripadanja izraženog intenzitetom preko funkcije pripadanja čini se da je prirodno da ovi zakoni i netrebaju davaže.

Poznato je da osobina (svojstvo) generiše skup u analiziranom univerzumu, naime svi elementi analiziranog univerzuma koji poseduju posmatranu osobinu su elementi skupa te osobine. Isto tako svi elementi koji ne poseduju analiziranu osobinu su elementi komplementarnog skupa. Dakle, ne posedovanje posmatrane osobine je takođe osobina i to komplementarna. Komplementarna osobina je definisana upravo zakonima isključenja trećeg (sve ono što ne sadrži analizirana osobina sadrži njoj komplementarna osobina) i ne kontradikcije (ništa od onog što analizirana osobina sadrži ne sadrži njoj komplementarna osobina). U klasičnom slučaju element sadrži analiziranu osobinu ili je ne sadrži odnosno sadrži komplementarnu osobinu. U generalnom slučaju kada posedovanje osobine ima intenzitet koji izražavamo vrednošću sa skupa  $[0, 1]$  analizirani element univerzuma u opštem slučaju poseduje analiziranu osobinu sa nekim intenzitetom a

istovremeno je ne poseduje sa komplementarnom vrednošću intenziteta (suma intenziteta posedovanja i neposedovanja osobije je identično jednaka 1).

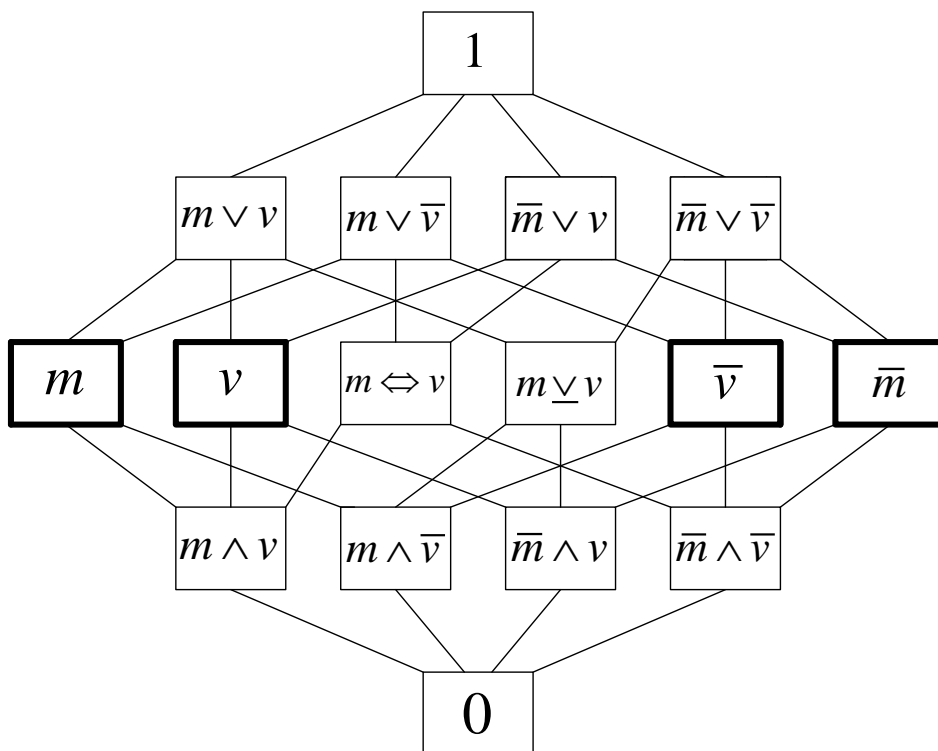
## 2. FAZI SKUPOVI I NJIHOVI KOMPLEMENTI

U konzistentom tretiranju fazi skupova (Radojević 2000) pravi se razlika između skupova generisanih suprotnim osobinama npr. malo i veliko, sl.1. od onih generisanih komplementarnim osobinama npr. malo i ne malo.



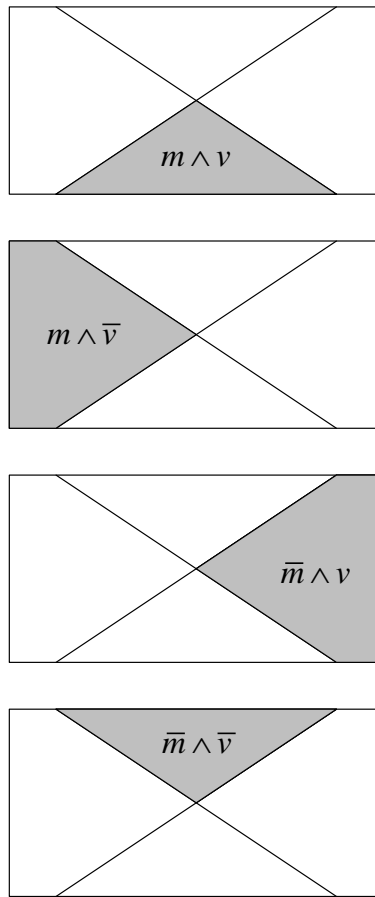
**Slika 1:** Fazi skupovi: (a) generisani osobinom *malo* i (b) suprotnom osobinom *veliko*

Sa dve nezavisne osobine moguće je u opštem slučaju generisati 16 osobina. Relacije uključenosti tako dobijenih osobina moguće je predstaviti Haseovim dijagramom, Sl.2.



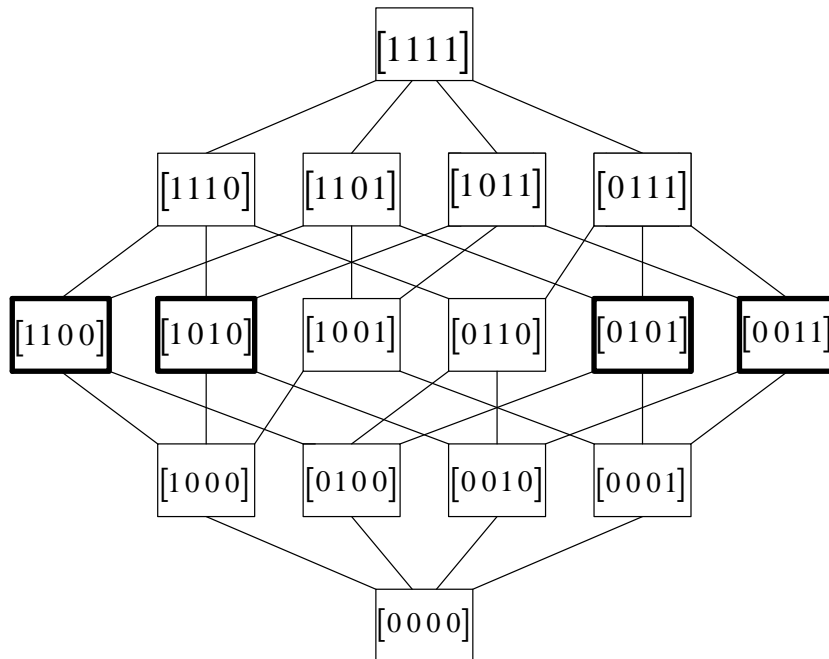
**Slika 2:** Haseov dijagram osobina generisanih sa *m* (*malo*) i *v* (*veliko*)

Prvi korak u realizaciji konzistentih fazi skupova su atomski skupovi. U slučaju analizirane dve osobine malo i veliko, postoji ukupno četiri atomske osobine, koje generišu četiri atomska skupa. Atomski skupovi generisani za analizirane skupove malo i veliko dati su na slici 3:



**Slika 3:** Atomski skupovi generisani sa  $m$  (malo) i  $v$  (veliko)

Struktura analiziranog skupa određuje koji atomski skupovi su u njega uključeni a koji nisu. Na slici 4. su date strukture svih skupova generisanih osobinama malo i veliko.



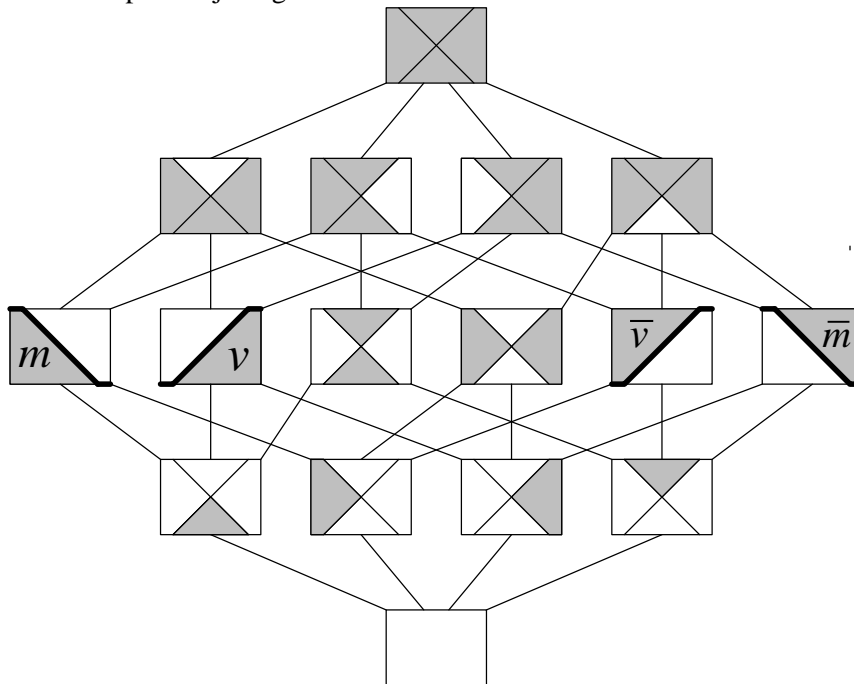
**Slika 4:** Haseov dijagram struktura elemenata generisanih sa  $m$  (malo) i  $v$  (veliko)

Proizvoljni skup i njemu komplementarni skup nemaju ni jedan zajednički atom (ne kontradikcija) i sve atome koji analizirani skup sadrži njemu komplementarni skup ne sadrži (isključenje trećeg). Dakle struktura je ono što čuva svojstva definisana za klasični slučaj još u antičko vreme.

Strukturu proizvoljnog složenog skupa određuje se direktno na osnovu strukture skupova komponenti (strukturna funkcionalnost).

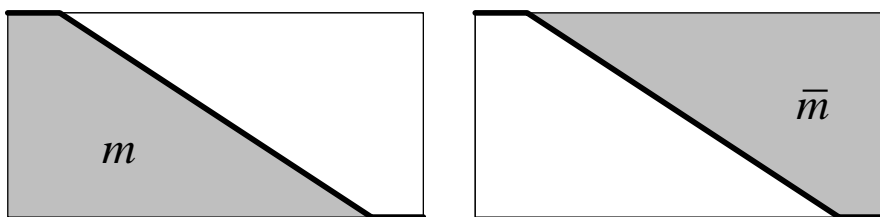
Pošto u klasičnom slučaju struktura i vrednost koincidiraju strukturna funkcionalnost se može redukovati na istinitosnu funkcionalnost, ali samo u klasičnom dvo-vrednosnom slučaju. Korišćenje istinitosne funkcionalnosti u slučaju fazi skupova dovodi do toga da ne važe isključenje trećeg i kontradikcije?!

Analizirana složena osobina generiše skup koji predstavlja uniju atomskih skupova. Koji atomski skupovi čine složeni skup određuje njegoova struktura. Na slici 5. prikazani su preko relacije uključenosti primenom Haseovog dijagrama svi skupovi koji su generisani osobinom malo i veliko.

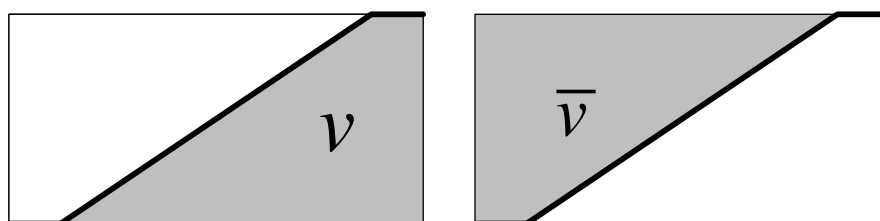


**Slika 5:** Haseov dijagram skupova osobina generisanih sa osobinama  $m$  (malo) i  $v$  (veliko)

Na slici 6 prikazani su fazi skupovi malo i ne malo, a na slici 7. veliko i ne veliko.

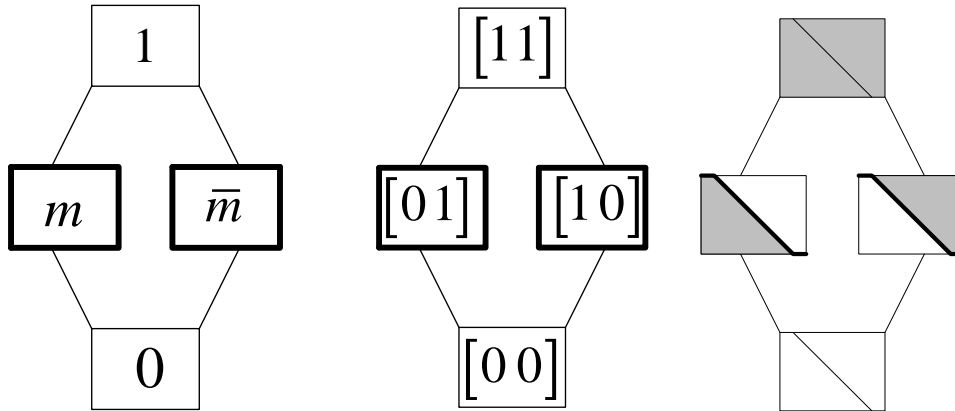


**Slika 6:** Fazi skup  $m$  (malo) i njemu komplementarni skup ne malo  $\bar{m}$



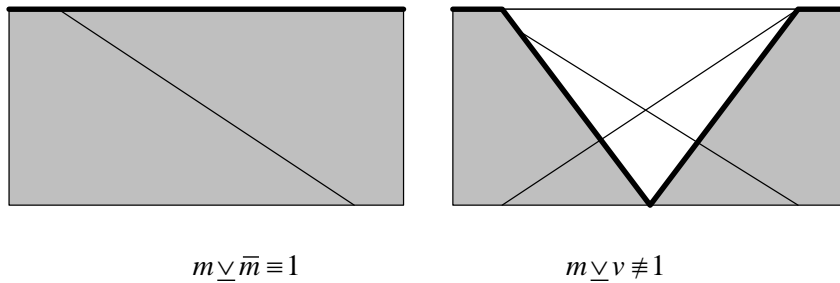
**Slika 7:** Fazi skup  $v$  (veliko) i njemu komplementarni skup ne veliko  $\bar{v}$

Haseov dijagram i odgovarajuće strukture generisan samo jednom osobinom dat je na slici 8.



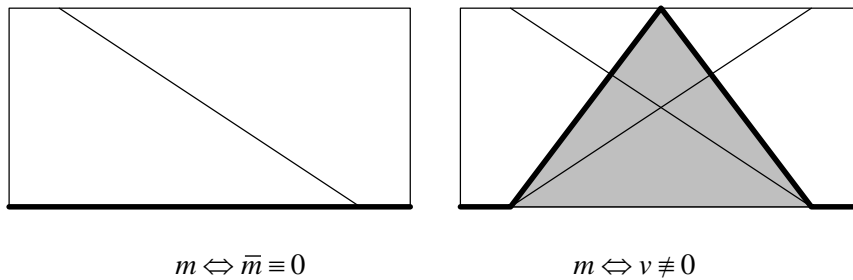
**Slika 8:** Haseovi dijagrami generisani osobinom mali  $m$ , njihovih struktura i odgovarajućih skupova

Relacije različitosti malog i nemalog kao i malog i velikog prikazane su na slici 9.



**Slika 9:** Relacije različitosti: (a) malog i ne malog i (b) malog i velikog

Relacije sličnosti malog i nemalog kao i malog i velikog prikazane su na slici 10.



**Slika 10:** Relacije ekvivalencije (sličnosti): (a) malog i ne malog i (b) malog i velikog

### 3. ZAKLJUČAK

U radu je grafički ilustrovano na primeru komplementarnosti (negacije) i suprotnosti da istinitosna funkcionalnost ne može da bude osnova generalizacije klasične logike kao ni klasične teorije skupova kao što je to urađeno u konvencionalnoj fazi logici i teoriji fazi skupova. Dakle sama vrednost funkcije pripadanja nije dovoljna informacija u opštem slučaju za izračunavanja složenih izraza. Potrebno je voditi računa o strukturi osobine koja čuva sva svojstva koja se u klasičnom slučaju čuvaju pomoću vrednosti pošto u tom slučaju vrednost koicidira sa strukturom.

Kontradikcija i suprotnost su osnovni pojmovi Aristotelove filozofije. Kontradikcija analiziranog pojma je njegova negacija tako da je negacija kontradikcije zapravo početni pojam, npr. malo i ne malo. Suprotnost je pojam koji nema ničeg zajedničkog sa analiziranim pojmom (osobinom) ali negacija suprotnosti nije početni pojam u opštem slučaju, npr. malo i veliko.



Autor teorije fazi skupova i fazi logike Lotfi Zade kaže da fazi logika nije fazi nego precizna logika u kojoj ne važi princip isključenja trećeg. Ovde treba napomenuti da ovaj princip ne važi ni u Hejtingovoj algebri koja je u primenjenoj matematici osnova teorije dokaza. U oba slučaja osnova za tu vrstu tvrdnje su definicije isključenja trećeg koje zapravo važe samo za klasični slučaj: iskaz je tačan ili nije tačan i nemože da bude tačan i netačan, dakle čini se logično da u opštem slučaju (delimične tačnosti) ovo više netreba da važi. Konvencionalne definicije ova dva zakona mišljenja u slučaju teorije skupova važe samo u klasičnom slučaju a ovako generalizovane važe i u više-vrednosnom kao i u realno-vrednosnom ili fazi slučaju.

## LITERATURA

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, Vol. 8, Iss 3., Pages 338–353.
- [2] Radojević, D. (2000). New  $[0,1]$ -valued logic: A natural generalization of Boolean logic. *Yugoslav Journal of Operational Research*, 10 (2), 185-216.
- [3] Radojević, D. (2005). Interpolative relations and interpolative preference structures. *Yugoslav Journal of Operatinoal Research*, 15(2), 171-189.
- [4] Radojević, D. (2008). Interpolative Realization of Boolean Algebra as a Consistent Frame for Gradation and/or Fuzziness. In Nikraves, M. *et al.* (eds.) *Forging New Frontiers: Fuzzy Pioneers II*, 218, 295-317.
- [5] Radojević, D. (2010). Generalized (Real-Valued) order and Equivalence Relations, *SYM-OP-IS 2010*, 451-454.
- [6] Radojević, D. (2010) . Truth functionality is consequence of structural functionality and valid only in classical two-valued case, *BALCOR 2013*
- [7] Radojević, D. (2012). Excluded middle and graduation, *SOFA 2012*

# **MENADŽMENT**



# POSLOVNA ETIKA U OGLAŠAVANJU NA TRŽIŠTU GAZIRANIH BEZALKOHOLNIH PIĆA

## BUSINESS ETHICS IN ADVERTISING IN CARBONATED SOFT DRINKS MARKET

KATARINA ARIZANOVIĆ MILOŠEVIĆ

Leo Burnett, karizanovicffm@yahoo.com

**Rezime:** Poslovna etika predstavlja skup moralnih pravila i principa kojih se pridržavaju pojedinci i grupe u svim svojim elementima poslovanja, a koji ih vode ka uspehu u poslu i doprinose dobrobiti, kako organizacije, tako i njih samih i okruženja. Savremena poslovna dinamika i globalizacija tržišta su izgleda pokrenuli dilemu između ekonomije i etike. Oglašavanje, kao vid marketinških komunikacija predstavlja svaki plaćeni oblik nelične prezentacije i promocije ideja, proizvoda (u ovom kontekstu gaziranih bezalkoholnih pića) ili usluga. Danas se za oglašavanje osim masovnih medija koriste časopisi, socijalne mreže, pa i mesta na kojima potrošači ne očekuju nikakve oglasne poruke, kako bi im se na taj način skrenula pažnja. Kreiranje efektivnih propagandnih kampanja danas predstavlja i umetnost, ali prilikom generisanja poruke, ne treba se zaboraviti etičnost u poslovanju. Cilj ovog izlaganja jeste isticanje značaja (ne)postojanja etike u oglašavanju na tržištu gaziranih bezalkoholnih pića (u daljem tekstu, CSD-a). U fokusu rada jeste Republika Srbija kao tlo gde smo izloženi uticaju oglašavanja ali tržište Srbije se ne može posmatrati van konteksta globalnog tržišta (naročito imajući u vidu da su vodeći proizvodi u kategoriji CSD-a ovde, vodeći i globalno posmatrano). Takođe, cilj rada je istaći i obim i uticaj neetičnog oglašavanja, koje se koristi isključivo sa ciljem da se deluje na podsvest potencijalnih konzumenata i tako ostvari veći profit, ostavljajući po strani načela poštenog pristupa.

**Ključne reči:** Poslovna etika, marketing komunikacije, oglašavanje.

**Abstract:** Business ethics represents a set of moral norms and principles observed by individuals and groups in all aspects of their business conduct, which lead them to business success and bring prosperity to the organization, as well as themselves and the environment. Present-day business dynamics and globalization of markets seem to have given rise to a dilemma between economics and ethics. Advertising, as a form of marketing communications, is any paid form of non-personal presentation and promotion of ideas, goods (in this case carbonated soft drinks) or services. Apart from the mass media, advertising today uses magazines, social networks, and even places where consumers do not expect any advertisements, to draw the public's attention. Creating effective advertising campaigns today is also a form of art, but in the process of generating advertisements, business ethics shouldn't be ignored. The intention of this paper is to underline the importance of presence/absence of ethics in the field of advertising in the carbonated soft drinks (hereinafter CSD) market. The paper focuses on the Republic of Serbia as the territory exposed to the impact of advertising, but the Serbian market can not be considered out of the context of global markets (especially since the leading products in the CSD category here, occupy leading positions globally as well). Further, the intention of this paper is to highlight the extent and impact of unethical advertising, used exclusively with intent to influence the subconsciousness of prospective consumers for the sake of achieving higher profits, disregarding the principles of fair approach in business.

**Keywords:** Business Ethics, Marketing Communications, Advertising.

## 1. UVOD U POSLOVNU ETIKU I PRAKSU

### 1.1. Pojam i značaj poslovne etike

Poznato je da je poslovna etika deo praktične filozofije. Ona se sastoji od vrlo konkretne primene nekih opštih principa na neke specifične situacije – na organizacione procese i odnose. Singer P. (2011) ističe da "Ethics is not good in theory but not in practice. People sometimes believe that ethics is inapplicable to the

real world because they assume that ethics is a system of short and simple rules like “Do not lie”, “Do not steal” and “Do not kill” (p. 2). Poslovna etika je našla svoj put, tj. primenu. Ona se odnosi na oblast ljudskih poduhvata kako u organizaciji, tako i posredstvom organizacije. Ukratko, poslovna etika predstavlja skup moralnih pravila i principa kojih se pridržavaju pojedinci i grupe u svim svojim elementima poslovanja, a koji ih vode ka uspehu u poslu i doprinose dobrobiti, kako organizacije, tako i njih samih i okruženja. Čini se da savremena poslovna dinamika i konstantna borba za svakog potrošača pokreću dilemu o odnosu između ekonomije i etike. Ili je možda već pokrenula.

## 1.2. Potreba za novom poslovnom etikom i kratko o pojmu pravde

Prof. dr Miljević M. (2006) ističe da je “informaciono i informatičko vreme, njegove operacionalizacije preko informacija kao bitnog i aktuelnog resursa i proizvoda (roba, usluga, ideja) organizacija sveta rada izazvalo i zahteva novi krug etičkog preispitivanja – dovodi u pitanje tradicionalne koncepte društvene odgovornosti. Neetički postupci kao narušavanje privatnosti, porobljavanje i prirode i čoveka, krađa intelektualne svojine, korupcija, laganje pomoću digitalizacije, pitanja su koja zanimaju etičare u procesu konvergencije organizacija i sofisticirane tehnologije” (p. 133). Da li je u informacionoj eri etika izgubila na značaju? Kako bi poslovanje izgledalo (ili u pojedinim zemljama/ na pojedinim tržištima već izgleda) bez etike? Da li je moguće očuvati etičnost u marketing komunikacijama, a povećati market share? U današnje vreme, čovek postkapitalizma postaje biće osvajanja, a stari etički kanoni (milosrđe, pravedost itd.) skoro pa prestaju da važe. Ukratko, zbog svih promena koje je iznedrilo svaremeno društvo, vrlo je jasno zašto se i principi poslovne etike menjaju i prilagođavaju. Zašto? Zato što je promenjena i suština ljudskog delanja.

Koliko smo danas svedoci stare latinske izreke „Fiat iustitia et pereat mundus“ (Neka bude pravda, makar propao svet)? Posmatrajući međuljudske odnose, pravda je izražena kroz otvorenost, čast, poverenje, predusretljivost i odsustvo eksploatacije, ali, da li su ti odnosi oni koji danas vladaju u poslovnim organizacijama? Da li unutar svake poslovne organizacije važi pravilo neeksploatacije? Da li smo otvoreni i časni u komunikaciji sa svojim potrošačima ili često „zaobiđemo“ istinu, kako bismo apostrofirali benefite našeg proizvoda? Da li ćemo u komunikaciji naglasiti štetnost gaziranih pića ili ćemo jednostavno reći „Samo za iskusne“ (Schweppes)?

## 2. UVOD U MARKETING KOMUNIKACIJE

### 2.1. Uloga marketing komunikacija i značaj oglašavanja

Prema Kotleru F. i Kelleru K. L. (2006) „marketing komunikacije predstavljaju sredstva pomoću kojih kompanije pokušavaju da informišu, ubede i podsete potrošače – direktno ili indirektno – o proizvodima i brendovima koje prodaju. Marketing komunikacije na izvestan način predstavljaju „glas“ brenda i sredstva pomoću kojih se uspostavlja dijalog i gradi odnos sa potrošačima“ (p. 536). Jednostavno rečeno, marketing komunikacije omogućavaju organizacijama da predstave svoje brendove, da objasne kako se pojedini proizvodi koriste, da svoje brendove povežu sa drugim ljudima itd. Takođe, prema autorima Kotleru F. i Kelleru K. L. (2006) „miks marketing komunikacija sastoji se od šest osnovnih modela komunikacije:

- Propaganda (oglašavanje)
- Unapređenje prodaje
- Događaji i iskustva
- Odnosi s javnošću i publicitet
- Direktan marketing
- Lična prodaja“ (p. 536).

Danas je oglašavanje vrlo rasprostranjen vid komunikacije, a koreni ove aktivnosti datiraju još iz 4.000 g.p.n.e. Poznato je da su graditelji u palate Asirije uklesali svoje oglasne tekstove, kako bi se „potpisali“. Antička Grčka (kao kolevka Evropske civilizacije) je poznata po ukrašavanju zanatskih proizvoda, grnčarije i vaza koje su služile kao predmeti razmene, a u iskopinama Rima pronađeni su reljefi koji pokazuju vinske trgovce sa naslikanim bačvama. Ukratko, ljudi su od uvek imali potrebu da se za njih čuje, da ostave neki pisani trag i da svoj proizvod diferenciraju u odnosu na konkurenciju. Da li se danas, masovni mediji zloupotrebljavaju ili je svaka poruka kojoj potrošač biva izložen 100% tačna? Predmet ovog rada zapravo i jeste oglašavanje na tržištu CSD-a i u narednim poglavljima biće obrađeno nekoliko svetski poznatih

brendova, naravno, i lokalne robne marke, kako bismo zaokružili jedno svima poznato poglavlje i definisali način poslovanja u 21. veku. Da li je profit danas čak i ispred istine?

### 3. UVOD U CSD MARKET

#### 3.1. CSD market share globalno posmatrano

Oslanjajući se na Beverage Marketing Corporation, uz osvrt na godine prošle decenije (2006 – 2007), tabela koja se nalazi u nastavku apostrofira share of volume vodećih bezalkoholnih pića, globalno posmatrano. Kratkim osvrtom na navedenih 5 brendova, vidimo da njihov share of volume u 2007. godini iznosi čak 35.8%.

**Tabela 1:** Prikaz tržišta vodećih CSD-ova u 2006. i 2007. godini

Brand	Company	Milions of Gallons		% Change	Share of Volume	
		2006	2007	2006 - 07	2006	2007
Coca-Cola	Coca-Cola	4,727.0	4,632.4	-2.0%	15.7%	15.2%
Pepsi	PepsiCo	3,028.0	2,899.2	-4.3%	10.0%	9.5%
Mountain Dew	PepsiCo	1,324.8	1,326.7	0.1%	4.4%	4.3%
Dr Pepper	Dr Pepper/Snapple	1,192.0	1,162.2	-2.5%	3.9%	3.8%
Sprite	Coca-Cola	958.2	923.9	-3.6%	3.2%	3.0

I autorima koji se ne bave tržištem CSD-a je dobro poznato da je Coca-Cola dominantan brend na tom tržištu i da uspešno posluje širom planete.

Prema [www.interbrand.com](http://www.interbrand.com), "Coca-Cola je 2013. godinu završila kao brend no. 3 na svetu, sa porastom od 2% u odnosu na 2012. godinu ali ono što je još važnije, to je da je Coca-Cola godinama zauzimala lidersku poziciju kada je reč o globalnom brendu. Takođe, "Coca-Cola was named Creative Marketer of the Year at the 2013 Cannes Lions International Festival of Creativity. During the past year, much of its marketing focused on the global, music-driven "Move to the Beat" campaign for the London Olympic Games but the creative output didn't stop there. Coca-Cola not only effectively spread its "Open Happiness" message in more than 200 markets around the world, it also created moments of happiness through the award-winning "Share a Coke" campaign that puts consumers' names on bottles and cans." Video montaža za Kan se može pogledati na ovom linku: <http://www.youtube.com/watch?v=OloGuzUI36k>

Ovaj osvrt na prošlogodišnje poslovanje nam samo potvrđuje poziciju Coca-Cole kao lidera na tržištu CSD-a. Kompanija Coca-Cola ima market share veći od 40% na tržištu CSD-a ([www.fool.com](http://www.fool.com)).

#### 3.2. CSD market share u Srbiji

Prema Republičkom zavodu za statistiku Republike Srbije (saopštenje broj 344 – god. LXIII, 16.12.2013.), u sklopu lične potrošnje domaćinstava, stavka hrana i bezalkoholna pića zauzima čak 40.5% prihoda domaćinstva, što je skoro 10 puta više (tačnije 9.642 puta) od sredstava koja se odvajaju za zdravlje, što već predstavlja povoljno tlo za ostvarivanje dobiti kompanija o kojima je ovde reč. Tanjug (30. mart 2013. godine) ističe da je "ukupna potrošnja bezalkoholnih pića u Srbiji danas 1,1 milijardi litara, ili 165 litara po stanovniku godišnje, što predstavlja trećinu potrošnje u zemljama zapadne Evrope. Tržište bezalkoholnih pića u Srbiji ima veliki potencijal, s obzirom na očekivani rast od sedam odsto do kraja 2016. godine, i na situaciju u svetu gde ovaj sektor stagnira. Najveći deo globalnog obima trgovinske razmene u oblasti bezalkoholnih pića otpada na flaširane vode, i u ovom segmentu se i ubuduće očekuje najveći porast. Kod gaziranih osvežavajućih pića rast je umereniji, jer su ta pića u većoj konkurenciji s drugim bezalkoholnim pićima - voćnim sokovima, gotovim čajevima ili azijskim specijalitetima, koji beleže dvocifrenu stopu rasta."

Poznato je da su gazirana bezalkoholna pića sezonski proizvodi, čiji maksimum prodaje se ostvaruje u letnjim mesecima. Vladana Mijailović, senior consultant u agenciji GfK, (april 2011.), "predstavila je podatke dobijene putem panela domaćinstava, metodologije koja kontinuirano prati potrošnju uz pomoć uzorka od 1.500 domaćinstava. Prikazani podaci odnosili su se na period januar – septembar 2010. godine. Dominantan ukus, tj. Coca-Cola, beleži učešće od 67%. Izdvaja se još pomorandža sa 12% i limun sa 3%. Ostali ukusi, uključujući i tonic, bitter i sl. zauzimaju ostatak tržišta. Coca-Cola ima najveću bazu kupaca – tačnije 70% domaćinstava, od ukupne baze kupaca je u posmatranom periodu kupilo Coca-Colu, Pepsi je

privukao 42% kupaca kategorije, Cockta 24%, a Na eks samo 12%.” (Progressive magazin, br. 83, april 2011).

### 3.3. Oglašavanje na tržištu CSD-a u Srbiji

Pre nego što se fokusiramo na konkretne primere oglasnih poruka kojima smo izloženi, neophodno je napraviti kratak osvrt na alternativne mogućnosti propagande. Znamo da je televizija dugo bila dominantan medij, međutim sa razvojem Interneta i velikom upotrebom društvenih mreža, stanje se malo promenilo. Svakodnevno se traga za novim vidovima oglašavanja, zbog sve veće zasićenosti reklamnim porukama. Međutim, ako se oslanjamo na empirijska iskustva, ekonomska propaganda ima najveći uticaj na buđenje svesti o novom proizvodu (u kontekstu naše zemlje, svedoci smo bili nedavno završene kampanje kompanije Knjaz Miloš, kada su tržištu predstavili novi proizvod na tržištu CSD-a, a to je Knjaz ReMix; proizvod koji predstavlja kombinaciju gazirane vode i soka), zato i predstavlja temu ovog rada.

Kako se kompanije koriste ekonomskog propagandom? Da li su iskreni u oglašavanju? Da li zanemaruju pojedine istine o proizvodu, kako bi povećali njegovu prodaju?

Ono o čemu je takođe bitno voditi računa, jeste isticanje značaja globalnog tržišta. Ne može se posmatrati tržište Srbije van konteksta globalnog tržišta, naročito imajući u vidu da su vodeći svetski brendovi, i najprodavaniji brendovi u Srbiji. Prof. dr Vasiljev S. ističe da „iz perspektive 80-ih i 90-ih godina, postalo je definitivno jasno, da je nastupila era globalnih tržišta i globalne konkurencije, koja u prvi plan bezuslovno ističe merila svetskog tržišta i međunarodne orijentacije kao perspektive uspeha i ponašanja u savremenoj ekonomiji“ (p. 62). Dakle, ovde ćemo se pozabaviti i pitanjem da li neke oglasne poruke koje dolaze sa globalnog tržišta ipak treba da budu prilagođene srpskom tržištu ili ne? Tačnije, da li su ili nisu.

Prema Zakonu o oglašavanju koji trenutno važi u Republici Srbiji, i njegovom članu 3., ističe se da „Oglašavanje je slobodno. Oglašavanje se obavlja u skladu sa Zakonom, drugim propisima, dobrim poslovnim običajima i profesionalnom etikom. Strana pravna i fizička lica imaju u oglašavanju ista prava i obaveze kao i domaća lica.” Postavlja se pitanje, da li je u skladu sa profesionalnom etikom ReMix komunikacija na njihovoj Facebook stranici, koja 09. februara 2014. godine objavljuje post “svežina u svakoj kapljici” a fotografija pored predstavlja sveže, orošene kruške, iako proizvod ima samo 10% voćnog soka? 22. januara je postavljena još smelija fotografija; u staklenoj čaši se nalazi samo jabuka, a propratni tekst pita potrošače da li su za jednu čašu ReMix jabuke? Cilj je stvoriti adekvatnu potrebu za tim pićem, navesti potrošača da odmah kupi pomenuti proizvod, ali je izostao odgovor na pitanje da li je oglasna poruka u skladu sa Zakonom, ili Zakon nije precizno definisao šta je zapravo profesionalna etika?

Okrenimo se na globalne brendove, kakav je svakog Schweppes, i na njegovu komunikaciju “Samo za iskusne”, na srpskom tržištu... Tu bi trebalo istaći i deo člana 4. Zakona o oglašavanju, koji ističe “Istinita, potpuna i određena oglasna poruka sadrži podatke koji su pouzdani i iskustvom potvrđeni, odnosno u kojoj nisu izostavljeni podaci koji su od značaja za sticanje prave predstave o predmetu oglašavanja.” Ovaj član se čini interesantnim zato što apostrofira činjenicu da ne bi trebalo da su izostavljeni podaci koji su od značaja za sticanje prave predstave o proizvodu... Oglasna poruka može ovde da se pogleda [http://www.youtube.com/watch?v=sW\\_Mj7Xrg5Q](http://www.youtube.com/watch?v=sW_Mj7Xrg5Q), ali se jasno vidi da ista ne sadrži konkretne podatke o proizvodu, već o propratnim elementima, koji su tu da upotpune užitek prilikom konzumacije. Potrošaču se dobrom estetikom i pažljivo odabranim rečima ukazuje na to da u njemu iskusni uživaju, ali se nigde ne može čuti da Schweppes sadrži kinin. Prema Klubu mladih hemičara Srbije, “kinin je beli, kristalni alkaloid gorkog ukusa. Ima višestruko dejstvo: kao antipiretik, antimalarik, analgetik i antiinflamatik, a još u 17. veku, kinin je korišćen za lečenje malarije uzrokovane parazitom *Plasmodium falciparum*.” Kada ovu oglasnu poruku stavimo u pravni kontekst, postavlja se pitanje da li je istinita i potpuna, mada konzumenti nigde nisu čuli da proizvod sadrži između ostalih supstanci, i kinin, koji slučajno ima dejstvo antipiretika, tj. utiče na snižavanje telesne temperature. Možda je to taj rezak ukus o kom pričaju, koji jednostavno “ohladi” iskusne?! Upravo ovo nas upućuje na član 31. istog Zakona, gde je jasno napisano “Oglašavanjem se ne mogu prikrivati bitni nedostaci, opasna ili štetna svojstva proizvoda, usluga ili drugih sadržaja koji se preporučuju primaocu oglasne poruke”.

Tokom rada na ovoj temi, napravljena je jedna kraća anketa, sa tačno 10 pitanja i popunilo ju je nešto manje od 50 ljudi. Anketa se može videti ovde: <https://www.surveymonkey.com/s/D8VC5VC> a njen jedini cilj jeste bio oslušivanje potrošača koji kupuju ove proizvode. Pitanja su bila tipa da li misle da su ti proizvodi zdravi, da li ih i koliko često upotrebljavate, u kojim prilikama ih pijete i sl. Bilo je najrazličitijih odgovora ali ono što je vrlo interesantno jeste činjenica da je 100% ispitanika na pitanje “Da li mislite da su gazirana bezalkoholna pića zdrava?” odgovorilo sa “ne”, ali sa druge strane, na pitanje “Koja je vaša prva asocijacija na Coca-Colu?”, niko od ispitanika nije odgovorio nečim negativnim (nije zdrava, preslatka je,

gazirana pića nisu zdrava za bubrege i sl.). Svi odgovori su bili slični, a najviše je bilo sledećih asocijacija: Deda Mraz, radost, osveženje, novogodišnje reklame... Kada sagledamo pozitivne asocijacije i stavimo ih u kontekst oglašavanja, vidimo da su sve te stvari komunicirane prethodnih godina. O promociji Deda Mraza širom sveta i crvenoj boji njegovog odela, ne treba posebno ni diskutovati, to je već istorija.

Ukoliko napravimo samo kratak osvrt na prethodno navedeno, i ukoliko zaključimo da se oglašavanje ipak odigrava u skladu sa Zakonom (kompanija sama bira šta želi da istakne i komunicira, a šta ne), svakako ostaje pitanje da li je takvo oglašavanje etično? Da li je moralno prećutati nedostatke proizvoda, a sve u cilju sticanja profita? Da li je ispravno koristiti nepotpun opis proizvoda, uz opis samo pozitivnih, uzbudljivih njegovih svojstava? Kod duvanskih proizvoda je dosta precizniji i sam Zakon. Nije ostavljeno puno prostora kompaniji da izabere put kako će se oglašavati. Oglašavanje je zabranjeno. Član 66. Zakona o oglašavanju vrlo precizno ističe "Zabranjeno je u oglasnoj poruci prikazivati pušenje ili oponašanje pušenja, duvanske proizvode, njihovu ambalažu i duvanski dim."

I dok je pitanje etike u oglašavanju gaziranih bezalkoholnih pića otvoreno, dok shvatamo da je XXI vek iznedrio pravu arenu u kojoj se kompanije svim sredstvima bore za prevlast na globalnom tržištu, Coca-Cola na dnevnom nivou beleži prodaju od 1.7 milijardi porcija (www.interbrand.com). Prema Kotleru F. i Kelleru K. L., "Marketing za XXI vek podrazumeva očuvanje starih marketing principa koji su dobri, uz nalaženje novih načina da brend zadrži relevantnost. Coca-Cola, koja je nastala 1883. godine, uspešno je održala relevantnost svog brenda preko 100 godina. Na vrhuncu masovnog oglašavanja putem televizije, Coca-Cola je bila majstor za TV spotove u trajanju od 30 sekundi. Legendarne poruke "Želim da svetu kupim Coca-Colu" i "Zlobni Joe Green" rangirane su kao dve najbolje reklame od strane časopisa Advertising Age" (p 31 – 32). Da sumiramo, pitanje etičnosti u oglašavanju, konkretno Coca-Cole, pred ovim činjenicama jednostavna pada u senku i ostavlja ekonomistima u amanet da i dalje tragaju za ispravnim odgovorom na pitanje: etika ili profit?

#### 4. ZAKLJUČAK

- Koliko je dva plus dva?
- Kupuješ ili prodaješ? (Lord Grade, 1906 – 1998.)

Ova pitalica može da predstavi uvod u sam zaključak ovog rada. Oglašavanje zaista jeste „plastična hirurgija prodaje“ i tu je da potrošače informiše i obavesti o proizvodima na lokalnom tržištu i natera ih na kupovinu. Kako je danas tržište globalno, globalno je i oglašavanje ali je cilj isti: izboriti se za svakog kupca. Privoleti ga.

U ovom radu je apostrofirana značaj između savremene ekonomije i etike. Pokušano je isticanje značaja između savremenog načina oglašavanja i moralnih normi. Čitajući prethodne redove, isplivalo je na površinu mišljenje da ako se Zakon možda poštuje, tj. nedovoljno dobro precizirani članovi istog, etika u oglašavanju na tržištu bezalkoholnih gaziranih pića sigurno ne postoji ili je u velikoj krizi.

Coca-Cola kao lider u ovoj kategoriji osvaja potrošače širom sveta porukama: Otvori za radost, Praznici nam stižu, Podeli radost sa... i sl. a svedoci smo da u svom oglašavanju „slučajno“ izostavljaju živopisni sadržaj tog napitka, naročito količinu šećera. Da li komunikacija Otvori za radost isključuje dijabetičare kao konzumente ili ne? Možda bi takva kategorija proizvoda trebala da ima malo oštrije uslove oglašavanja, kao što je to slučaj sa OTC proizvodima (Over The Counter products; lekovi koji se prodaju bez recepta)?

U ovom radu nisu posmatrani svi proizvodi koji se mogu naći na CSD tržištu Republike Srbije, suština je bila u kratkom osvrtu na poslovanje tržišnih lidera i stavljanjem njihove komunikacije u kontekst etike i morala.

Ukratko, prema rečima Joey Leffel-a „We know the purpose of advertising – to persuade a consumer to purchase. The advertising may entertain, or educate, but the main goal is to sell product. So, are these strategies ethical?“ (p. 2). I pomenuti autor se bavio pitanjem etičnosti u oglašavanju, kao i samim radom advertising agencija, koje bi možda mogle drugačije da koncipiraju svoje oglasne kampanje, kako bi zadržale etičnost u poslovanju. Iako je to uzročno-posledična veza (ukoliko agencija realizuje bolju kampanju, utoliko je veća prodaja proizvoda za koji rade, utoliko je satisfakcija kompanije čiji je proizvod veća, kao i uspešnost same kampanje), neophodno je naći pravu meru između atraktivnosti oglasne poruke i istine.

Imajući u vidu Aristotela i njegovo shvatanje ljudskih vrlina i sreće, ovaj rad može biti zaključen činjenicom, da je prema njemu, najveća vrлина, zapravo sredina između dve krajnosti, tj. da će u budućnosti najveći izazov na tržištu CSD-a biti pronalazak sredine između „pritiskanja“ potrošača da kupe proizvod određene kompanije i istine u oglašavanju. Samo pronalaskom sredine, kompanije (naročito one manje) obezbeđuju sebi dug i stabilan opstanak na tržištu jer svaki potrošač osuđuje nepošteno poslovanje.

## LITERATURA

- [1] BMC Research Services (2006 – 2007). [www.beveragemarketing.com](http://www.beveragemarketing.com)
- [2] Create, Share and Analyze High-Quality Surveys, (2014), [www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com)
- [3] Facebook, najveća društvena mreža, <https://sr-rs.facebook.com/KnjazRemix>
- [4] Hosts user-generated videos, (2013), [www.youtube.com](http://www.youtube.com)
- [5] Klub mladih hemičara Srbije, <http://www.knhem.net/>
- [6] Kornić, D., (1999). Etika informisanja, Clio, Beograd
- [7] Kotler, F. & Keller, K. L., (2006). Marketing menadžment (dvanaesto izdanje), Data Status, Beograd
- [8] Kramaršić, M., (2003). Iskrice marketinga (treće izdanje), Grafički atelje kum, Beograd
- [9] Leffel, J. (2014). Ethics in Advertising, Scholarly Essay, University of Redlands
- [10] Miljević, M. (2006). Poslovna etika i komuniciranje, Univerzitet Singidunum, Beograd
- [11] Singer, P. (2011). Practical Ethics (third edition), Center for Human Bioethics, Monash University
- [12] Specijalizovani časopis za trgovinu robom široke potrošnje, (2011), [www.progressivemagazin.rs](http://www.progressivemagazin.rs)
- [13] Statistika Republike Srbije. (2013). [www.stat.gov.rs](http://www.stat.gov.rs)
- [14] Stock Investing Advice, (2013), [www.fool.com](http://www.fool.com)
- [15] The world's leading brand consultancy, (2014), [www.interbrand.com](http://www.interbrand.com)
- [16] Vasiljev, S. (2004). Marketing, Univerzitet Singidunum, Beograd
- [17] Zakon o oglašavanju, ("Sl. Glasnik RS", br. 79/2005)





## INOVACIONA ZAJEDNICA U USVAJANJU, UVOĐENJU I KORIŠĆENJU IT INOVACIJA

### THE INNOVATION COMMUNITY IN THE ADOPTION, IMPLEMENTATION, AND ASSIMILATION OF AN IT INNOVATION

ZORAN ĆIRIĆ<sup>1</sup>, OTILIJAS SEDLAK<sup>1</sup>, IVANA ĆIRIĆ<sup>2</sup>, STOJAN IVANIŠEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, {czoran, otilijas}@ef.uns.ac.rs

<sup>2</sup> Ekonomska srednja škola Subotica, civana87@hotmail.com

<sup>3</sup> JKP Lisje Novi Sad, stojanivanisevic@yahoo.com

**Rezime:** U nastojanju da se upoznaju sa inovacijama iz oblasti informacionih tehnologija (IT), organizacije se često oslanjaju na raspoložive resurse znanja kroz neformalnu zajednicu različitih interesa, koja se formira oko interesovanja za konkretnu inovaciju. Na stavove jedne organizacije, pa moguće, i šire asocijacije, presudan uticaj ima odnos članova takve zajednice, odnosno njihovo znanje, učenje i doprinos ličnim iskustvom, zapažanjima i učešćem u diskusijama o inovacijama. Učenje zajednice i organizacijsko znanje uzajamno se nadograđuju u funkciji vremena, kao skup tumačenja, prilagođavanja i implementacionih strategija, pri čemu su iskustva u korišćenju proširena i prilagođena konkretnim uslovima. Rad ima za cilj unapređenje modela učenja, zasnovano na dva nivoa učenja zajednice: modernom upravljanju i organizacijskoj viziji, na osnovu prevladavajućih stavova u literaturi o učenju i inovacijama o IT. Drugi cilj je da se u odnosu na unapređenje modela učenja, dokaže zavisnost od učenja zajednice na organizacijsko znanje.

**Ključne reči:** učenje, zajednica, organizacijsko znanje, informacione tehnologije.

**Abstract:** In an effort to learn about innovations in the field of information technology (IT), organizations often exploit the knowledge resources obtained from informal community of diverse interests. Informal community of diverse interests is formed around the interests of a specific innovation. The attitudes of an organization depend on the nature of relationships between the members, on their level of knowledge, capability of learning and contributing personal experience, on observation and participation in discussions about innovation. Learning communities and organizational knowledge are mutually build over time, as a set of interpretation, adaptation and implementation strategies, with experience in the use of expanded and adapted to the specific conditions. The first aim of this paper is to improve the learning model, based on two levels of learning communities: modern management and organizational vision. We were inspired on the prevailing attitudes in the literature on learning and innovation of IT. The second aim is to demonstrate the dependence of community learning on organizational knowledge.

**Keywords:** learning, community, organizational knowledge, information technology.

#### 1. UVOD

U savremenoj ekonomiji – ekonomiji znanja, znanje ima tretman resursa koji stvara vrednost i omogućuje održavanje konkurentne prednosti. Zbog toga, u poslednje dve decenije, veliku pažnju stručne javnosti, privlači upravo upravljanje znanjem.

Rad pretenduje da na odgovarajući način predstavi značaj uticaja učenja i znanja zajednice na organizacijsko učenje, u funkciji kreiranja organizacijskog znanja, kao i uticaj elemenata korporativne kulture na procese u kojima se stvara, razmenjuje i koristi znanje.

Znanje se prema *Oxford Business Dictionary* definiše kao "skup činjenica, informacija i veština postignuto kroz iskustvo ili obrazovanje; teorijsko i praktično razumevanje nekog subjekta, ono što neko zna u posebnom području ili uopšte, informisanost i svest ili bliskost činjenicama i situaciji postignuto iskustvom".

Znanje ima više nivoa složenosti: od podatka do mudrosti. Znanje svakog pojedinca predstavlja misli, osećanja, koncepte, ideje i uverenja, čvrsto povezane u jedinstvenu celinu. Ono je organizovano prema mentalnim modelima koji određuju naš pogled na svet. Da bi se izgradila individualna baza znanja i razvile veštine, potrebno je savladati brojne zadatke, za koje nesvesno koristimo različite mentalne procese.

Kada učimo mi zapravo pozivamo svoja najdublja uverenja o svetu oko sebe. Ona treba da nam pomognu da obezbedimo odgovarajuću reakciju na novo saznanje. Kognitivni proces u ovoj fazi se odvija putem sortiranja i povezivanja podataka u veće, sveobuhvatnije celine – informacije. Kada o nekoj temi posedujemo dovoljno informacija da možemo kvalifikovano diskutovati, znači da o toj temi zapravo posedujemo znanje. Znanje dobija značenje i postaje svrsishodno u širem kontekstu kulture i osnovnih uverenja.

## 2. UČENJE O IT INOVACIJAMA

Dve savremene teorije upravljanja pružaju korisne osnove za istraživanje. Jedna je teorija upravljanja inovacijama, druga je teorija strateških promena, pri čemu je fokus na inovacijama u IT. Ove dve teorije predstavljaju ključne dimenzije učenja koje su u prethodnom periodu zanemarivane u literaturi u učenju o IT inovacijama, a to su učenje bez rada i učenje iz više izvora u okruženju i izvan organizacione celine.

### Teorija upravljanja inovacijama

Teorija upravljanja inovacijama proizašla iz radova naučnika koji zagovaraju popularizaciju upravljačkih metoda i tehnika. *Abrahamson i Fairchild* (1999) definišu upravljanje inovacijama kao relativno prelazno kolektivno verovanje, "distribuirati stav da je upravljanje znanjem za preduzetnike, vodeća upravljačka tehnika ka racionalnom napretku upravljanja" (str. 709).

Inovacije se smatraju jednim od ključnih resursa konkurentnosti, na nivou nacionalne ekonomije, ili na nivou poslovnog sistema. Konkurentnost je postala uslov opstanka i prosperiteta, a očuvanje stečene konkurentne prednosti zadatak za sve poslovne sisteme.

U literaturi su zastupljene različite definicije i tumačenja pojma inovacija, zbog višedimenzionalnosti pojma. Prema *Drucker P.* (1996) "inovacija predstavlja specifično oruđe preduzetnika, sredstvo pomoću kojeg oni koriste promene kao mogućnost za izvršenje različitih proizvodnih ili uslužnih aktivnosti. Inovacija predstavlja radnju, koja obdaruje resurse novim kapacitetima za stvaranje bogatstava. Inovacija, u stvari, kreira resurs. Ne postoji takva stvar u svetu, kao što je resurs, sve dok čovek ne pronađe upotrebnu vrednost nečega u prirodi i to nešto ne obdaruje ekonomskom vrednošću. Inovaciju predstavlja i sve ono što donosi promene u potencijalu proizvodnje bogatstva kod već postojećih resursa". Prema *Certo S. and Certo T.*, (2006) inovacije se iz ugla menadžmenta definišu kao "proces primena novih ideja za unapređenje procesa, proizvoda ili usluga".

### Strategija promene – inovacije u informacionim tehnologijama

U XXI veku, komparativne prednosti preduzeća sve više će se zasnivati na tehnologiji. Tehnološke promene povećavaju fleksibilnost organizacije i stvaraju uslove za nove mogućnosti poslovanja. Istorija života serija je stabilnih stanja, isprekidanih retkim intervalima glavnih događaja koji se odvijaju izuzetno brzo i pomažu kod uspostavljanja sledećeg stabilnog perioda. Prevladava mišljenje da na kraju XX i početku XXI veka, živimo upravo u takvom periodu. To je interval u kome našu "materijalnu kulturu" preobražavaju dela nove tehnološke paradigme organizovane oko informacionih tehnologija.

Tehnološki sistem u koji smo u sadašnjosti potpuno uronjeni pojavio se sedamdesetih godina prošlog veka i zasniva se na bitnim otkrićima u informatičkoj tehnologiji. Zajedničko im je da su se uglavnom oslanjala na prethodna i razvijala produblivanjem ključnih tehnologija, a zbog svojih niskih troškova i povećanja kvaliteta, bila su kvalitativan korak napred u masovnom širenju tehnologije u komercijalne svrhe i za ličnu primenu.

Tehnološko-ekonomska paradigma skup je međusobno povezanih tehničkih, organizacionih i menadžerskih inovacija čije prednosti nisu samo u novim proizvodima i sistemima nego, najviše, u strukturi relativnog troška svih mogućih inputa u proizvodnji. (*Ke and Wei* 2006) U svakoj novoj paradigmi određeni input ili niz inputa mogu se opisati kao "ključni činilac" te paradigme koji karakteriše opadanje relativnog troška i univerzalna dostupnost. Savremena promena paradigme može izgledati kao prelazak sa tehnologije zasnovane prvenstveno na jeftinim inputima na informacije dobijene napretkom u mikroelektronici i tehnologiji telekomunikacija.

Informacione tehnologije se ne kreću prema zatvaranju u sistem, već prema otvorenosti – kao mreža sa više završetaka. Predstoji ekspanzija ekonomije koja se zasniva na znanju u okviru koje će proizvodnja sve više biti i u formi nematerijalnih vrednosti, na primer, informatičke usluge.

### 3. INOVACIONA ZAJEDNICA

Inovaciona zajednica je skup pojedinaca (moguće i iz različitih organizacija) čiji je interes u usvajanju, uvođenju i korišćenju specifične IT inovacije. Takva zajednica nastaje da bi pojasnila smisao inovacije i da razvije viziju za njeno korišćenje. Članovi zajednice deluju dinamički, sve dok svojim radom ne privuku odgovarajuću pažnju organizacije na inovaciju. Zajednica prestaje sa radom kada taj cilj bude postignut. Aktivnosti u zajednici predstavljaju vrstu "javnog projekta" koji, kada bude završen, zajednica prestaje da postoji. Članovi inovacione zajednice potiču iz različitih oblasti, zajedničko im je interesovanje za inovaciju, ali su njihovi motivi različiti, u zavisnosti od specifičnosti interesa.

#### Učenje zajednice

Dva su moguća pristupa u posmatranju prirode učenja zajednice: učenje u zajednici i učenje kroz zajednicu. U učenju u zajednici, učenik pripada zajednici po jednom ili više kriterijuma (na primer: radna grupa, organizacija, privredna grana, profesija, nacija - država, itd.). Postojanje zajedničkog znanja u zajednici omogućuje interakcije među učenicima, a upravo ta interakcija omogućuje svakom učeniku sticanje novih znanja.

U učenju kroz zajednicu, iz ugla učenika, oni iznose svoja pojedinačna iskustva i znanja, koja se postepeno transformišu u pravila ili uputstva koja su u posedu zajednice, uključujući tu i dokumente, softver i neke opšte primenljive rutine. Iz ugla zajednice, to je učenje, ali ne samo kao jednostavan zbir onoga što su njeni članovi naučili, nego i putem pravila ili uputstava usvojenih u radu zajednice, koji će se u budućnosti koristiti. Učenje kroz zajednicu, moguće je kada su učenici organizacije i/ili pojedinci koji predstavljaju organizacije. Takve organizacije se mogu nazvati i inovacionim organizacijama.

Učenje ne mora nužno podrazumevati rad. Postoji tip učenja bez rada ili učenje-o. Učenje-o i učenje kroz rad su konceptualno različiti procesi. U učenju kroz rad, sa IT inovacijama, učenik (pojedinaac ili grupa ili organizacija) stiče znanja tokom implementacije ili operativnog rada sa tehnologijom. U učenju-o IT inovacijama, učenik stiče smisljeno znanje, informacije koje su nezavisne od materijalnog angažovanja u radu sa IT.

Vrste znanja koje se stiče kroz zajednicu:

- implicitno i eksplicitno,
- subjektivno i objektivno,
- proceduralno i deklarativno,
- opšte i specifično.

Moguća su četiri procesa transformacije znanja, koje su definisali Nonaka and Takeuchi 1994, pp.19).

- Socijalizacija - proces kojim se obavlja transfer neiskazivog znanja jedne osobe u neiskazivo znanje druge osobe. Socijalizacija se tipično događa kad početnik uči iz prakse i direktnim kontaktom sa znanjem iskusnijih kolega.
- Eksternalizacija - proces kojim se neiskazivo znanje preobražava u eksplicitno znanje među individuama unutar zajednice.
- Kombinacija - proces kojim se obavlja transfer eksplicitnog znanja.
- Internalizacija - proces razumevanja i asimilacije eksplicitnog znanja u neiskazivo znanje osobe. Internacionalizacija nastaje primenom naučenog u praksi.

### 4. ORGANIZACIJSKO ZNANJE

Znanje stvaraju pojedinci. Organizacija ne može da kreira znanje. Zato je veoma važno da organizacija podržava procese u kojima pojedinci kreiraju znanje i obezbedi odgovarajuće stimulatívno okruženje za stvaranje i kruženje znanja u organizaciji. Stvaranje organizacijskog znanja treba razumeti kao proces u okviru koga se znanje, koje su stvorili pojedinci, širi i oblikuje na nivou zajednice, putem razgovora, rasprava, razmene iskustva i putem opažanja.

Individualna znanja, prema kriterijumu sposobnosti za dalju upotrebu znanja, moguće je sistematizovati na:

- iskustveno znanje (*know what was*) koje podrazumeva veštinu i sposobnost da sledimo pravila;
- kataloško znanje (*know what is*) obuhvata veštinu i sposobnost samostalnog delovanja u određenom kontekstu;
- procesno znanje (*know how to*) koje uključuje ekspertizu i refleksiju.

Organizacijsko znanje nije prost zbir individualnih znanja. Ono nastaje sinergijom individualnih znanja i kompetencija, veština, sposobnosti delovanja i ekspertiza. Ono predstavlja informacije koje su uređene u tokove, ugrađene u rutine i procese, tako da omogućuju akciju.

Centralnu ulogu u procesu kreiranja organizacijskog znanja imaju timovi. Oni obezbeđuju širi kontekst u kom pojedinci komuniciraju, razmenjuju mišljenja i ulaze u kreativne konflikte. Na taj način podstiče se razmišljanje, preispitivanje sopstvenih i tuđih stavova, usvajanje novog znanja i drugačijih obrazaca razmišljanja. Ova vrsta dinamičke interakcije na nivou zajednice omogućuje transformaciju pojedinačnog znanja u organizacijsko znanje. (Balaban and Ristić 2012)

Uspešne kompanije su one koje dosledno stvaraju novo znanje, široko ga rasprostiru kroz organizaciju i brzo ga inkorporiraju u nove tehnologije i proizvode. Ovi procesi su ključni za organizaciju koja stvara znanje i čija osnova poslovanja leži u neprekidnoj inovativnosti. Omogućavanje da pojedinačno znanje bude dostupno ostalim članovima organizacije je centralna aktivnost organizacije koja stvara znanje. Ovaj proces bi trebao da se odvija kontinuirano i na svim nivoima organizacije.

Kako znanje nije proizvod industrijskog doba, postojeći postupci upravljanja ne mogu se jednostavno prekopirati u novu ekonomiju znanja. Upravljanje znanjem zahteva složeniji pristup. Ono zahteva vrhunsku informaciono-komunikacionu osnovu, koja će omogućiti da se individualno znanje formalizuje i putem virtualnih mreža postane dostupno ostalim članovima organizacije. Informaciono-komunikaciona osnova obuhvata nabavku i održavanje odgovarajućeg hardvera i softverskih paketa i pristup Internetu. To je uglavnom "lakši" deo posla, koji podrazumeva visok stepen standardizacije i dostupan je na tržištu. Ipak, ni najsavremenija kombinacija hardvera i softvera neće uticati na odluku pojedinca da svoje znanje stavi na raspolaganje i učini ga dostupnim ostalim članovima organizacije. Na tu odluku će presudno uticati odnosi u organizaciji, kao rezultat dominantne korporativne kulture, stila upravljanja, strategije razvoja ljudskih resursa i motivacije.

Uslovi za stvaranje i razmenu znanja su takvi pozitivni odnosi u organizaciji, koji vode, omogućavaju i stimulišu procese kruženja znanja. Atmosfera u organizaciji, međuljudski odnosi, organizaciona struktura – formalna i neformalna, motivacija i sistem nagrađivanja, kao i tehničko-tehnološki uslovi rada, su aspekti organizacione kulture. Organizaciona kultura se može opisati i kao "ono nešto" što organizaciju drži zajedno.

Upravljanje znanjem je naučna disciplina koja već više od dve decenije pokušava da prepozna i sistematizuje zakonitosti, principe i organizacione aspekte pametne organizacije u kojoj pametni profesionalci primenjuju pametne strategije i stvaraju pametno znanje koje dodaje vrednost.

U pametnim organizacijama se naglašava važnost znanja. Vizija, misija, strategije i suštinske vrednosti reflektuju važnost znanja. Uspostavlja se integrisano okruženje znanja koje može da doprinese razmeni znanja. Uspostavlja se odgovarajući sistem motivacije i nagrađivanja, podstiče se timski rad i promoviše učenje.

Znanjem, kao resursom poslovanja, ne može se upravljati metodama i veštinama koje su odgovarale upravljanju materijalnim resursima u industrijskoj ekonomiji. Za upravljanje znanjem potrebno je razviti nove modele upravljanja i stilove liderstva, koji će biti zasnovani na jasnim teorijskim osnovama međusobnih uticaja korporativne kulture i kreiranja znanja u organizaciji. Organizaciono znanje je u novoj ekonomiji osnova za stvaranje vrednosti zasnovane na znanju i postizanje performansi koje su pozitivne za zaposlene, kompaniju, stejkholdere, okolinu i širu društvenu zajednicu. Zato procesima kreiranja organizacionog znanja teoretičari i praktičari posvećuju veliku pažnju.

## 5. ZAKLJUČAK

Teorijski doprinos i pretpostavljeni pravci delovanja navedeni u radu, mogu imati praktične implikacije za organizacije koje su otvorene za primenu inovativnih informacionih tehnologija. Pre svega, naglasak na učenju-o može podstaći inovatore da strateški upravljaju ovim karakterističnim, sve prisutnijim i korisnim oblikom učenja.

Kao i učenje kroz rad, učenje-o, podrazumeva podršku menadžerske strukture. Za razliku od učenja uz rad, proces i kontekst učenja-o, pre svega podrazumeva podršku (kurseve, predavanja) koja je dostupna iz okruženja. Menadžeri mogu s poverenjem da koriste ovaj resurs, svesni kompleksnosti strukture i evolucione dinamike, kako same podrške, tako i rada zajednice koja ga proizvodi. Takva svest će pomoći u praćenju i proceni doprinosa podrške primeni inovativnih informacionih tehnologija.

U sledećem koraku, to će pomoći da se stvore mogućnosti za selektivni doprinos podršci. Konačno vrednovanje rada zajednice, zavisi od kvaliteta pojedinačnog doprinosa svakog učesnika. I dok rad u zajednici neminovno podrazumeva prisutnost privremenih stavova i čak strateški motivisana razmimoilaženja, doprinos rukovodilaca, odnosno njihovog znanja, na osnovu iskustva i poznavanja

sopstvene organizacije, sa aspekta mogućnosti i pretnji, može da pomogne poboljšanju kvaliteta učenja za sve.

Ako menadžeri i njihove organizacije uče o nekoj inovativnoj informacionoj tehnologiji pretežno povlačeći poteze na osnovu iskustva i znanja stečenog i ukorenjenog unutar organizacije, onda je potrebno uložiti veliki napor u učenje kroz različite zajednice, pojašnjavajući njihovu ulogu u učenju i njihov kasniji doprinos donošenju kvalitetnih, na znanju zasnovanih, odluka o primeni inovacionih informacionih tehnologija. Ovaj rad, bi tako, predstavljao skroman korak ka konačnom stvaranju drugačijeg viđenja sticanja znanja na različitim nivoima.

## LITERATURA

- [1] Abrahamson, E. & Fairchild, G. (1999.) Management Fashion: Lifecycles, Triggers, and Collective Learning Processes, *Administrative Science Quarterly* (44:4), 708-740.
- [2] Balaban, N. & Ristić, Ž. (2012.) Upravljanje performansom, M&I Systems Co., Novi Sad, elektronsko izdanje.
- [3] Bellinger, G., Castro, D. & Mills, A. (1997), Data, Information, Knowledge and Wisdom, dostupno na: <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>
- [4] Calabrese, F. A. & Orlando, C. Y. (2006), Deriving a 12-step process to create and implement a comprehensive knowledge management system, *The journal of information and knowledge management systems*, 36 (3), 238-254.
- [5] Dalkir, K. (2005), *Knowledge Management in Theory and Practice*, Oxford: Elsevier Inc.
- [6] Davenport, T.H. & Prusak, L. (2000), *Working knowledge: How organizations manage what they know*, Boston: Harvard Business School Press.
- [7] Drucker, P. & Garvin, D. (1998), *Harvard business review on knowledge management: Building a learning organization*, Boston: Harvard Business Press.
- [8] *Harvard Business Review on Collaborating Effectively*, (2011), Harvard Business Review Press, Boston.
- [9] Hwang, M. I. & Thorn, R. G. (1999), The Effect of user engagement on System Success, *Information & Management*, Vol. 35.
- [10] Ke, W. & Wei, K. K. (2006) Organizational Learning Process: Its Antecedents and Consequences in Enterprise System Implementation, *Journal of Global Information Management* (14:1), pp. 1-22.
- [11] Maier, R. (2002), *Knowledge Management Systems, information and Communication Technologies for Knowledge Management*, Springer-verlag, Berlin.
- [12] McCormack, K.P. & Johnson, W.C. (2001), *Business Process Orientation: Gaining the E-Business Competitive Advantage*, New York: St. Lucie Press.
- [13] Nonaka, I. (1994), A dynamic theory of organizational knowledge creation, *Organizational Science*, 5 (1), 14-37.
- [14] Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995), *The knowledge creating company*, New York: Oxford University Press.
- [15] Rogers, E. M. (2003) *Diffusion of Innovations*, New York: Free Press.
- [16] Tiwana, A. (2000), *The knowledge management toolkit: practical techniques for building a knowledge management system*, New Jersey: Prentice-Hall.
- [17] Wickramasinghe, N. & von Lubitz, D. (2007), *Knowledge – Based Enterprise: Theories and Fundamentals*, London: Idea Group Publishing.
- [18] Wiig, K. M. (1999), *Successful Knowledge Management: Does It Exist?* [online], Knowledge Research Institute Manuscript for the August 1999 Issue of the *European American Business Journal*, dostupno na: <http://www.krii.com/articles.htm>



## ULOGA OBRAČUNA TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA I BUDŽETIRANJA PO AKTIVNOSTIMA U PRIMENI POSLOVNE STRATEGIJE

### THE ROLE OF ACTIVITY-BASED COSTING AND ACTIVITY-BASED BUDGETING IN BUSINESS STRATEGY IMPLEMENTATION

ĐORĐE KALIČANIN<sup>1</sup>, VLADAN KNEŽEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {kalicanin, vknez}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Upravljanje u savremenim uslovima poslovanja zahteva tačne i pravovremene informacije o troškovima procesa i aktivnosti, troškovima proizvoda i drugih objekata troškova. Odgovor na takve zahteve je nastanak obračuna troškova po aktivnostima. Prirodni nastavak razvoja te menadžerske prakse je budžetiranje po aktivnostima. Obračun troškova po aktivnostima i budžetiranje po aktivnostima vide se kao stubovi efikasnog procesa primene poslovne strategije.

**Ključne reči:** obračun troškova po aktivnostima, budžetiranje po aktivnostima, poslovna strategija.

**Abstract:** Management in contemporary business requires accurate and timely information on the costs of processes and activities, product costs and other costs objects. The answer to these demands is the creation of activity-based costing. Natural extension of the development of that management practice is activity-based budgeting. Activity-based costing and activity-based budgeting are seen as pillars of an efficient business strategy implementation process.

**Keywords:** Activity-based costing, Activity-based budgeting, Business strategy.

#### 1. UVOD

Najveći izazovi savremenih poslovnih stratega ne odnose se na formulisanje, već na primenu poslovne strategije. Brojne poteškoće koje se pojavljuju prilikom njene primene proizilaze iz stalnih i nepredvidivih promena u eksternom i internom okruženju preduzeća.

Savremeno preduzeće može da ostvari konkurentsku prednost po osnovu izvora dodavanja vrednosti (strategija diferenciranja) ili po osnovu izvora snižavanja kumulante troškova u odnosu na konkurente (strategija niskih troškova) ili i po jednom i po drugom osnovu istovremeno (hibridna generička strategija). U svakom od ova tri slučaja menadžeri sprovode dubinsku analizu uzročnika ili pokretača vrednosti (eng. value drivers) i uzročnika ili pokretača troškova (eng. cost drivers). U cilju analize uzročnika vrednosti i uzročnika troškova, kao i zbog traganja za drugim načinima stvaranja (i uvećanja) konkurentске prednosti menadžeri se koriste proverenim tehnikama strategijskog menadžmenta. Jedna od najznačajnijih takvih tehnika je tehnika lanca vrednosti u smislu M. Portera (1985). Fokus u analizi lanca vrednosti je na aktivnostima. Aktivnosti, prema ovom konceptu, mogu biti primarne (koje prate fizičko kretanje proizvoda i usluga – ulazna logistika, operacije, izlazna logistika, marketing i usluge) i podržavajuće (koje pružaju podršku u izvođenju primarnih aktivnosti i međusobno – nabavka, razvoj tehnologije, menadžment ljudskih resursa i infrastruktura).

Tehnika lanca vrednosti dovela je do značajnog zaokreta u korišćenju postojećih i rađanju novih tehnika i sistema planiranja i obračuna troškova. U tom kontekstu, pojavljuje se obračun troškova po aktivnostima (eng. activity-based costing) i budžetiranje po aktivnostima (activity-based budgeting).

#### 2. OSNOVE OBRAČUNA TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA

Obračun troškova po aktivnostima (eng. Activity-based costing) je opšti metod nastao krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog veka, a koji može da bude deo obračuna troškova pojedinačne proizvodnje ili obračuna troškova masovne proizvodnje. Značajan doprinos afirmaciji ABC pristupa dali su Robert Kaplan i Robin Kuper, koji su između ostalih, osnivači Konzorcijuma CAM – I (Computer Aided Manufacturing – International).



Aktivnosti su u osnovi obračuna troškova po aktivnostima. Polazna osnova je sledeća: aktivnosti troše resurse, tj. aktivnosti uzrokuju troškove, a učinci konzumiraju aktivnosti. U prvom koraku ABC pristupa (aktivnosti troše resurse ili elemente troškova) dodeljuju se troškovi odgovarajućim centrima aktivnosti (grupa aktivnosti sa istim uzročnicima troškova) u cilju utvrđivanja ukupnih troškova aktivnosti. U sledećem koraku, na osnovu relevantnih uzročnika troškova utvrđuju se troškovi proizvoda, usluge ili nekog drugog objekta troška. Prema ABC konceptu to su: proizvodi, usluge, kanali marketinga, potrošači, procesi, aktivnosti i dr., što zavisi od cilja obračuna troškova.

Aktivnostima preduzeća inputi (resursi) se pretvaraju u outpute (učinke), vrednost se dodaje resursima da bi se transformisali u učinke za interne ili eksterne potrošače. Pravilno definisanje i prikaz aktivnosti u preduzeću je pretpostavka adekvatnog funkcionisanja ABC sistema. Zato, ABC pristup uključuje: identifikovanje aktivnosti koje troše resurse; identifikovanje uzročnika troškova koji se odnose na aktivnosti; alokaciju opštih troškova na aktivnosti i alokaciju aktivnosti na učinke (Maher, Lanen and Rajan, pp. 240-245).

Prilikom projektovanja ABC sistema, trebalo bi voditi računa o pravilnom definisanju aktivnosti u preduzeću, broju i karakteru podataka koji se prikupljaju na nivou aktivnosti, adekvatnom grupisanju aktivnosti u centre aktivnosti. Od kvaliteta podataka o aktivnostima (troškovi, mere izlaza, korišćenje kapaciteta, kvalitet, produktivnost, investicije u aktivnosti i sl.) zavisi objektivnost merenja performansi preduzeća. Pravilna klasifikacija aktivnosti je neophodna pre početka funkcionisanja ABC sistema. Razlog su specifični zahtevi u pogledu praćenja i analize različitih aktivnosti. Uobičajene su sledeće vrste aktivnosti: a) primarne i sekundarne aktivnosti - troškovi primarnih aktivnosti se direktno ili indirektno dodeljuju objektima troškova, a troškovi sekundarnih (podržavajućih) aktivnosti se dodeljuju primarnim aktivnostima; b) aktivnosti koje dodaju vrednost za potrošače i aktivnosti koje ne dodaju vrednost za potrošače - permanentna analiza aktivnosti, na osnovu podataka dobro projektovanog ABC sistema, daje menadžerima mogućnost da odluče o redukciji ili eliminisanju ovih drugih (Maher, Lanen and Rajan 2006, pp. 269-272); c) diskrecione i neophodne aktivnosti (Glad and Becker 1996, pp. 195-196).

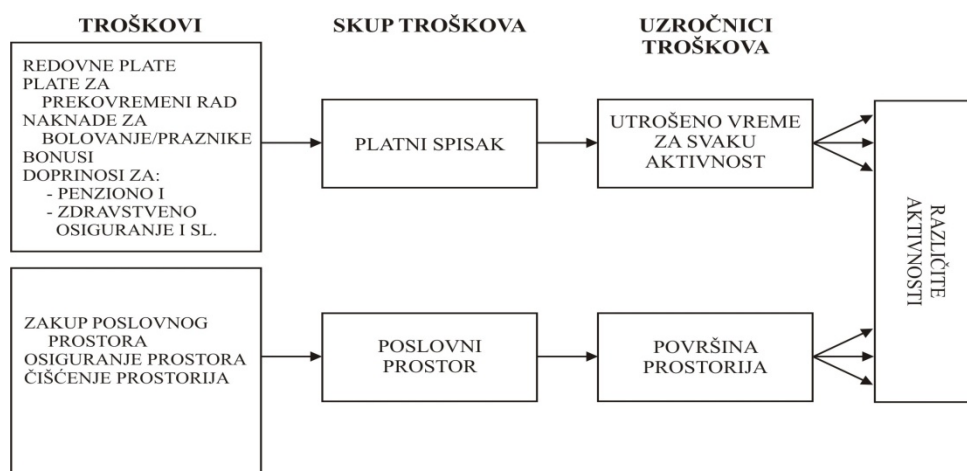
Finalni učinak je uzročnik aktivnosti, a uzročnici troškova nastalih pri obavljanju aktivnosti su faktori koji izazivaju nastanak troškova, odnosno faktori ili transakcije koje su značajne determinante troškova. Primeri uzročnika troškova su brojni, navodimo samo neke: broj naloga za nabavku resursa određuje troškove aktivnosti nabavke; broj dokumenata o prijemu sirovina, robe i sl. određuje troškove aktivnosti prijema; broj jedinica sirovina, poluproizvoda, gotovih proizvoda i sl. na zalihama određuje troškove aktivnosti skladištenja; broj izdatih prodajnih faktura određuje troškove aktivnosti prodaje, aktivnosti isporuke, aktivnosti računovodstva i sl. Ovde se radi o tzv. operativnim uzročnicima. Koji će uzročnik biti relevantan zavisi od specifičnih uslova poslovanja preduzeća.

Umesto termina uzročnici troškova neki autori koriste termin mere izlaza datih aktivnosti (Ostrenga and Probst 1992, pp. 5-9). Dakle, mera izlaza je termin koji se koristi uz uzročnike troškova i u mnogim slučajevima je posledica dejstva specifičnog uzročnika troškova, tj. uzročnik troškova i mera izlaza može biti isti faktor. Bez obzira na to, uzročnik troškova se smatra kao širi koncept. Mera izlaza je, jednostavno, medijum koji prenosi trošak od aktivnosti do proizvoda, usluge ili nekog drugog objekta troškova. Imajući u vidu ABC postupak alokacije troškova, razlikuju se uzročnici resursa, uzročnici troškova aktivnosti i uzročnici troškova procesa. Uzročnici resursa opisuju odnos između različitih vrsta troškova i odgovarajućih aktivnosti, tj. služe kao relevantna osnova za dodelu velikog broja vrsta troškova aktivnostima na koje se odnose (prvi korak u postupku obračuna troškova). Na primer, kategorija troškova plata sadrži različite stavke: redovne plate, plate za prekovremeni rad, naknade za vreme bolovanja, naknade za praznike, bonusi i sl., zatim, doprinosi (za penzije, za zdravstveno osiguranje i sl.) itd. Evidencija i praćenje troškova plata po nabrojanim stavkama je neophodna zbog zakonskih zahteva, potreba planiranja i kontrole troškova. Ovo je potrebno na nivou organizacionih segmenata ali ne i na nivou aktivnosti. Zato, nabrojane stavke sumiramo ili uključujemo u skup troškova pre nego što se, na bazi uzročnika troškova prvog koraka postupka obračuna, dodele odgovarajućim aktivnostima. Dati postupak ilustrujemo na slici 1 (u ilustraciji, osim troškova plata, prikazujemo i dodelu troškova održavanja zgrada odgovarajućim aktivnostima).

U drugom koraku ABC pristupa na osnovu relevantnih uzročnika vršimo alokaciju aktivnosti na učinke. Ukazaćemo na moguće uzročnike aktivnosti, tj. mere izlaza aktivnosti kroz primer procesa nabavke materijala.

- Aktivnosti ugovaranja nabavke: Jasno je da na visinu troškova povezanih sa ovim aktivnostima utiče politika nabavke, tj. odluke menadžera zasnovane na toj politici u smislu ritma nabavke (nedeljno, mesečno ili kada zalihe dostignu određeni nivo). Prema tome, politika nabavke je uzročnik troškova, a mera izlaza je broj porudžbina i sl.

- Aktivnosti prijema: Broj dokumenata o prijemu ili jedinice mere primljenog materijala su posledica politike nabavke. Politika nabavke je uzročnik troškova, a mere izlaza su: broj prijemnica, fizički obim zaliha i sl.
- Aktivnosti skladištenja: Troškove skladištenja obično čine troškovi vezani za fizičke jedinice mere i troškovi vezani za protok vremena. Uzročnici ovih troškova su obično politika nabavke, politika proizvodnje i sl., a mere izlaza su kvadratura prostora, masa zaliha, vreme držanja zaliha, potrebe za posebnim tretmanom i sl.
- Aktivnosti plaćanja obaveza prema dobavljačima: Uzročnik troškova je uglavnom politika plaćanja obaveza, a mera izlaza je broj faktura.



**Slika 1.** Uzročnici troškova prvog koraka u postupku obračuna troškova (Glad and Becker, pp. 124)

U uslovima visokih, rastućih i raznovrsnih opštih troškova, čemu treba dodati intenzivnu konkurenciju i povećan rizik poslovanja, kao posledicu svetske finansijske krize, obračun što tačnije cene koštanja učinaka je imperativ za jačanje i očuvanje konkurentske prednosti savremenih preduzeća. Obračun tačne cene koštanja je primarno uslovljen pravilnom alokacijom opštih troškova na objekte troškova. Tehnika alokacije opštih troškova na objekte troškova, koja je karakteristična za ABC pristup, konzistentnija je sa principom uzrok-posledica od konvencionalne tehnike (Jablan 2008, pp. 1207-1210). Respektovanje principa uzročnosti, kao ključnog uslova pravilne alokacije, potvrđuje korišćenje uzročnika troškova i mera izlaza (često su to i nefinansijske varijable: broj porudžbina, broj prijemnica, broj delova (komponenti), kvadratura prostora, broj časova, npr. kontrole i sl) sa spiska aktivnosti u mnogo većem broju od tradicionalnih ključeva (stopa ili kvota opštih troškova), pri čemu spisak aktivnosti predstavlja specifikaciju svih aktivnosti i njihovih mera izlaza, koje zahteva određeni objekat troškova.

Metodologija obračuna troškova po aktivnostima je složenija i detaljnija nego konvencionalna metodologija. Međutim, kvalitet i raznovrsnost informacija koje proizvodi ABC pristup, znatno povećava efektivnost odlučivanja. Obračun troškova objekata troškova prema ABC pristupu uključuje sledeće postupke:

1. Identifikovanje vrsta troškova sa aspekta mogućnosti alokacije: direktni troškovi, troškovi koji se mogu utvrditi (vezati) za odgovarajuće aktivnosti i troškovi koji se ne mogu alocirati.
2. Utvrđivanje troškova odgovarajućih aktivnosti i postupci sa troškovima koji se ne mogu objektivno alocirati (oni se dodeljuju aktivnostima na bazi procene ili se tretiraju kao rashodi obračunskog perioda).
3. Identifikovanje uzročnika troškova aktivnosti i mera izlaza datih aktivnosti (ovo i za primarne i za sekundarne aktivnosti).
4. Dodela troškova sekundarnih aktivnosti primarnim aktivnostima na osnovu mera izlaza sekundarnih aktivnosti
5. Sastavljanje spiska aktivnosti za svaki objekat troškova.
6. Utvrđivanje troškova aktivnosti objekata troškova.
7. Direktni troškovi i troškovi koji se ne mogu objektivno alocirati (ako postoji mogućnost procene) dodaju se troškovima aktivnosti u cilju utvrđivanja ukupnih troškova objekata troškova.

Aktivnosti troše resurse, a objekti troškova aktivnosti. Procesi su sastavljeni od niza aktivnosti i obavljaju se tako da obezbede zadovoljenje zahteva potrošača u najvećoj meri, na šta ukazuju pokazatelji uspešnosti. Sve ovo zahvaljujući savremenim uslovima poslovanja prilagođenim postupcima obračuna troškova i izveštavanja, koji su karakteristični za ABC sistem.



ABC sistem, dakle, pruža informacije o troškovima pojedinih aktivnosti za potrebe upravljanja procesima i aktivnostima u pravcu kontinuiranog povećanja efikasnosti poslovanja i ostalih performansi preduzeća. Može se reći da je ABC sistem projektovan da inicira automatske odluke (Cooper and Kaplan 1999, pp. 279-281). Naime, ABC obezbeđuje razumevanje svih procesa poslovanja i relevantne informacije o:

- troškovima objekata troškova, za potrebe formiranja prodajnih cena, izbor asortimana, kanala marketinga i sl.;
- vremenu trajanja i troškovima pojedinih aktivnosti u lancu vrednosti, za potrebe upravljanja aktivnostima u pravcu smanjenja ili eliminisanja troškova pojedinih aktivnosti, redukovanjem ili eliminisanjem aktivnosti koje ne dodaju vrednost i povećanjem efikasnosti aktivnosti koje dodaju vrednost za potrošača (internog ili eksternog).

ABC sistem predstavlja informacionu osnovu za pristup permanentnog smanjenja troškova na svim nivoima u preduzeću. Ovo se postiže kontinuiranim praćenjem procesa poslovanja i eliminisanjem rasipanja resursa. U određenim slučajevima troškovi se povećavaju (investiranje u novu tehnologiju), da bi se dugoročno smanjivali. Nastojanje je da se dostigne ciljni trošak, tj. da se razlike između planiranog i ciljnog troška svedu na minimum. Na razliku između ciljnog i procenjenog troška u smislu njenog smanjenja utiče se kako u fazi koncepcije proizvoda, tako i u fazi njegove efektivne proizvodnje i prodaje, odnosno racionalizacijom troškova u ovim fazama (Everaert et al. 2006, McNair 2007). Inače, ciljni trošak je sredstvo upravljanja koje zahteve potrošača dovodi u vezu sa karakteristikama preduzeća. Jedna od determinanti ciljnog troška, prodajna cena, utvrđuje se iz odnosa tržišta i performansi preduzeća. Savremeni metodi istraživanja tržišta, merenja performansi preduzeća, kao i ostale značajne informacije koje produkuje ABC sistem, obezbeđuju elemente za definisanje prodajne cene. Druga determinanta ciljnog troška je ciljni profit, koji se određuje polazeći od globalne strategije preduzeća. Utvrđivanje ciljnog troška zahteva obuhvatanje svih troškova koji će nastati tokom životnog ciklusa proizvoda. Ciljni trošak kao razlika između prodajne cene i ciljnog profita, predstavlja okvir prema kome se pravi koncept proizvodnje i prodaje određenog proizvoda.

Izveštaji ABC sistema o profitabilnosti dobavljača, proizvoda, kanala marketing, potrošača, troškovima procesa i aktivnosti, kao i izveštaji o merama i proceni kritičnih faktora uspeha, obezbeđuju formulisanje relevantnih strategija, kao i njihovo sprovođenje i kontrolu. ABC je zato danas opšte prihvaćeni sistem obračuna troškova, koji pruža značajnu podršku u poslovnom, finansijskom i stratezijskom odlučivanju (Stratton et al. 2009). Ovakav informatički sadržaj koji obezbeđuje ABC nije samo od koristi u procesu stratezijskog planiranja, već i implementacije poslovne strategije.

Danas se kao nezamenljiva tehnika za implementaciju i formulisanje poslovne strategije pojavljuje tehnika poznata pod nazivom Usklađena lista (Đuričin et al. 2014), ili u originalu Balanced Scorecard, skr. BSC (Kaplan and Norton 1996, 2001, 2004). U Usklađenoj listi željena dostignuća, odnosno ciljevi se operacionalizuju kroz merila kojima se prati njihova realizacija, da bi se zatim definisali precizni, kvantifikovani i vremenski terminirani zadaci i akcije kojima se oni ostvaruju. ABC i BSC predstavljaju dva savremena i komplementarna koncepta (Kaličanin and Knežević 2013). Direktna veza postoji onda kada BSC obuhvata sve bitne informacije koje se odnose na postizanje konkurentske prednosti. To znači da će on obuhvatati i informacije koje se dobijaju iz ABC. Logično je da se najveći broj ciljeva i njihovih merila nalazi u finansijskoj perspektivi. Međutim, oni se ovde pojavljuju u agregatnom obliku. Rešenje je da određeni ciljevi i merila formulišu i iz ugla internih poslovnih procesa u kojima se obavlja stvaranje vrednosti. Interni poslovni procesi sastoje se iz aktivnosti, a ABC u tom smislu predstavlja nezamenljivu podršku u spoznaji troškova i efekata izvođenja pojedinih aktivnosti.

Originalni ABC doživeo je svoj nastavak u vidu menadžmenta zasnovanog na aktivnostima (activity-based management, ABM) i budžetiranja po aktivnostima (activity-based budgeting, ABB). Posmatrano zajedno, ABC, ABM i ABB predstavljaju programe zasnovane na aktivnostima (activity management programs, AMP) koji su kao takvi u ponudi nekih konsultantskih preduzeća. Najveća korist ovih programa se ispoljava onda kada "pravi pojedinci mogu da pristupe pravim informacijama u pravom obliku što će im pomoći u unapređenju performansi" (Anderson 2004). Pravilnom primenom tih programa, postiže se da AMP postoje deo organizacione kulture i način razmišljanja u organizaciji.

### **3. OSNOVE BUDŽETIRANJA PO AKTIVNOSTIMA**

Primena poslovne strategije uključuje projektovanje potreba za finansijskim i ljudskim resursima. Ove potrebe se uključuju u finansijski plan za narednu poslovnu godinu, odnosno, godišnji budžet. Da bi godišnji budžet bio usmeren na ostvarenje usvojenih strategija i operativnih poslovnih odluka, potrebno je da se on sastoji iz dve komponente: stratezijskog budžeta za upravljanje diskrecionim programima (stratezijski

prodori – novi proizvodi i usluge) i operativnog budžeta za upravljanje poslovnim funkcijama i nižim organizacionim jedinicama.

Operativni budžet sastoji se iz projektovanih prihoda od prodaje proizvoda i usluga i troškova za koje se očekuje da će biti napravljeni u svrhu ostvarenja projektovanih prihoda. Tekući troškovi koji se obuhvataju operativnim budžetom trebalo bi da obezbede zadržavanje postojećih potrošača i proizvoda, kao i troškove neophodne za lansiranje novih proizvoda i privlačenje novih potrošača u narednom periodu. Najpreciznija procena ovih troškova odvija se preko budžetiranja po aktivnostima. To budžetiranje se odvija u nekoliko faza (Kaplan and Norton 2001, pp. 289-290):

- procena obima prodaje i proizvodnje u narednom periodu. Budžetiranje po aktivnostima u toj fazi počinje kao i tradicionalni proces budžetiranja. Reč je o proceni obima prodaje, proizvodnje, miksa proizvoda i broja potrošača. Međutim, budžet koji je zasnovan na aktivnostima trebalo bi da bude mnogo više detaljan nego što je to tradicionalni budžet. Na primer, ovde je neophodno uključiti informacije o procesima koji su neophodni za dostizanje ukupnog nivoa proizvodnje, broju poručivanja materijala, metodu isporuke i sl. Kada je reč o potrošačima, ovde je neophodno proceniti broj porudžbina potrošača, prosečnu veličinu porudžbine, broj kontakta sa potrošačima i sl.;
- predviđanje neophodnih aktivnosti. Budžetiranje po aktivnostima nastavlja se predviđanjem potrebnih aktivnosti kao što su poručivanje materijala, prijem materijala, razvoj novih proizvoda, prodaja potrošačima, održavanje veza sa potrošačima. Konvencionalni budžet uključivao je samo neke od ovih aktivnosti, kao što su: kupovina materijala, broj sati radnog vremena zaposlenih, broj sati rada mašine. Budžetiranje po aktivnostima proširuje ovu analizu na predviđanje svih aktivnosti koje su neophodne za proizvodnju, prodaju i isporuku proizvoda i usluga;
- projekcija neophodnih resursa. Reč je o projekciji svih resursa po vrstama i količini koji su neophodni za izvršenje svih gore predviđenih aktivnosti. U projekciji resursa koriste se podaci o projektovanim aktivnostima, o efikasnosti upotrebe resursa u prošlom vremenu, ali i predviđanja mogućih unapređenja efikasnosti;
- procena troškova upotrebe projektovanih resursa. Reč je o koraku u kome se vrši procena troškova korišćenja resursa i njihovom vremenskom određenju. Reč je o najsloženijem koraku u budžetiranju po aktivnostima. Kod ovakvog budžeta, na primer, primorani smo da troškove aktivnosti na poručivanju materijala, predviđamo za jedan mesec, a zatim, da troškove prijema materijala, manipulacije materijalom, inspekcije materijala predviđamo u narednom mesecu.

Složenost poslednje faze procesa budžetiranja po aktivnostima doprinosi još uvek ograničenoj upotrebi ovakvog pristupa budžetiranju. Ovo se dešava uprkos velikoj teorijskoj jednostavnosti ovakvog pristupa. Međutim, sam proces budžetiranja po aktivnostima može da izazove promenu menadžerskog ponašanja u pravcu smanjenja veličine preduzeća (poslovne jedinice) za one aktivnosti koje ne doprinose stvaranju vrednosti, ali i unapređenja onih aktivnosti u kojima se dodaje najveća vrednost.

Operativni budžet, ipak, ne pruža najveće mogućnosti za promenu strategijskog pravca preduzeća i usklađivanje organizacije sa strategijom rasta. On je, pre svega, okrenut realizaciji strategije unapređenja produktivnosti. Za realizaciju strategije rasta neophodan je strategijski budžet. Mnoga preduzeća ne uspevaju da realizuju svoju strategiju upravo zato što nemaju strategijski budžet. Ne može se primeniti strategija rasta, tako što se pokušava da iskoriste postojeći ljudski i finansijski resursi koji su već angažovani na realizaciji operativnog budžeta. Strategijski budžet identifikuje resurse koji su neophodni za realizaciju strategijskih inicijativa kojima se zatvara jaz između željenih performansi i performansi koje su dostižne na osnovu dosadašnjeg načina poslovanja. Ovaj budžet identifikuje nove operacije, nove sposobnosti, nove proizvode i usluge koje se moraju lansirati, nove alijanse i zajednička ulaganja koja se moraju napraviti.

#### **4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA**

Primena poslovne strategije podrazumeva analitičan pristup koji pažnju menadžera u traganju za izvorima konkurentske prednosti usmerava na nivo aktivnosti. Aktivnosti (kao elementi poslovnih procesa) su osnovni nivo stvaranja vrednosti. Takva filozofija dovela je do kreiranja novih tehnika obračuna troškova, a zatim i finansijskog planiranja (budžetiranja). Obračun troškova po aktivnostima i budžetiranje po aktivnostima omogućili su, između ostalog i sledeće:

- razumevanje i praćenje poslovnih procesa i aktivnosti;
- obračun tačnije cene koštanja objekata troškova;
- usmerenost na autpute procesa i aktivnosti, a ne samo na potrošnju resursa;
- uvid u potrebu eliminisanja ili smanjenja aktivnosti koje ne dodaju vrednost za potrošače;
- kvalitetnije predviđanje i kontrolu budućih troškova;

- komplementarnost sa opšte prihvaćenom tehnikom strategijskog planiranja i implementacije – Usklađenom listom i, na kraju,
- efikasnu realizaciju strategija niskih troškova i unapređenja produktivnosti.

Proizlazi da kvalitetan sistemi obračuna troškova po aktivnostima i budžetiranja po aktivnostima mogu predstavljati temelje efikasne primene poslovne strategije (vidi sliku 2.).



**Slika 2.** Odnosi poslovne strategije, budžetiranja po aktivnostima i obračuna troškova po aktivnostima

## LITERATURA

- [1] Anderson, B., Davis, C., Davis, E. & Twomey, M. (2004). How to create an Activity Management Program that lasts. *Strategic Finance*, February, 41-45.
- [2] Cooper, R. & Kaplan, R. (1999). *The Design of Cost Management Systems - Text and Cases*. (2nd ed). Prentice Hall.
- [3] Đuričin, D., Janošević, S. & Kaličanin, Đ. (2014). *Menadžment i strategija*. (9. izd.). Ekonomski fakultet. Beograd.
- [4] Everaert, P. et al. (2006). Characteristic of target costing: theoretical and field study perspectives. *Qualitative Research in Accounting & Management*, Vol.3 No. 3, 236-263.
- [5] Glad, E. & Becker, H (1996). *Activity Based Costing and Management*. John Wiley and Sons LTD, England.
- [6] Jablan Stefanović, R. (2008). Traditional Methods for Allocating Costs to Cost Drivers. 12th World Congress of Accounting Historians, Istanbul, Parallel Session VI: Managerial and Cost Accounting, Congress Proceedings, 1193-1210.
- [7] Kaličanin, Đ. & Knežević, V. (2013). Activity-based costing as an information basis for an efficient strategic management process. *Economic Annals*, Year LVIII, No. 197, April-June, 95-119.
- [8] Kaplan, R. (2006). The Competitive Advantage of Management Accounting. *Journal of Management Accounting Research*, Volume Eighteen, 127-135.
- [9] Kaplan, R. & Norton, D. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts
- [10] Kaplan, R. & Norton, D. (2001). *The Strategy - Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts
- [11] Kaplan, R. & Norton, D. (2004). *Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes*. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts.
- [12] Maher, M., Lanen, W. & Rajan, M. (2006). *Fundamentals of Cost Accounting*. McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- [13] McNair, C.J. (2007). Beyond the Boundaries: Future Trends in Cost Management. *Cost Management*, Jan/Febr.
- [14] Ostrenga, R. & Probst, R. (1992). Process Value Analysis: The Missing Link in Cost Management. *Journal of Cost Management*.
- [15] Porter, M.E. (1985). *Competitive Advantage*. Free Press. New York.
- [16] Stratton, W.O., Descroches, D., Lawson, R. & Hatch, T. (2009). Activity-Based Costing: Is It Still Relevant? *Management Accounting Quarterly*, Spring, Vol. 10, No. 3, 31-40.



## OCENJIVANJE PERFORMANSI SISTEMA ODBRANE

### EVALUATION OF THE DEFENCE SYSTEM PERFORMANCES

MILAN KANKARAŠ<sup>1</sup>, SRĐAN DIMIĆ<sup>2</sup>, VLADA MITIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ministarstvo odbrane, Uprava za strategijska planiranja, Beograd, milan.kankaras@mod.gov.rs

<sup>2</sup> Ministarstvo odbrane, Uprava za strategijska planiranja, Beograd, srdjan.dimic@mod.gov.rs

<sup>3</sup> Ministarstvo odbrane, Uprava za strategijska planiranja, Beograd, vlada.mitic@mod.gov.rs

**Rezime:** *Ocenjivanje performansi sistema odbrane je značajno kako za sistem odbrane u celini, tako i za proces upravljanja sistemom odbrane. U radu je prikazan mogući način ocenjivanja performansi sistema odbrane zasnovan na konceptu „Balanced scorecard” uz mogućnost primene metoda višekriterijumske optimizacije u procesu ocenjivanja performansi sistema odbrane. Rešenja prikazana u radu predstavljaju viziju autora kao mogućnost za ocenjivanje performansi sistema odbrane. Ovaj rad može biti koristan za razvoj nauka u odbrani, ali nudi i praktična rešenja za ocenjivanje procesa ili organizacija.*

**Ključne reči:** *sistem odbrane, ocenjivanje, performanse, ključni indikatori.*

**Abstract:** *Evaluation of the defence system performances is very important for the Defence System, especially for the process of defence system management. This paper presents a evaluation of the defence system performances based on the concept of Balanced Scorecard, as well as the possibility of applying multi-criteria optimization methods in that process. The solutions presented in this paper are the authors' vision as a possible solution for evaluation of the defence system performances. This paper may be useful for the development of defence sciences, as well as practical solutions for evaluation of processes or organizations.*

**Keywords:** *defence system, evaluation, performances, key indicators.*

#### 1. UVOD

Složeni uslovi u kojima funkcionišu savremene organizacije nameću potrebu stalnog unapređenja poslovanja poboljšanjem organizacionih performansi. U skladu sa tim, merenje performansi organizacije se javlja kao ključan preduslov za uspešno upravljanje organizacijom i njeno prevođenje iz postojećeg u određeno željeno stanje.

Tradicionalni sistemi za merenje performansi organizacija, zasnovani na upotrebi finansijskih pokazatelja ne zadovoljavaju potrebe savremenih organizacija, jer ne pružaju potrebne informacije za unapređenje performansi organizacije u budućem periodu. Poslednjih godina razvijen je veći broj različitih modela koji ukupnu uspešnost organizacije posmatraju kompleksnije, koristeći finansijske, ali i nefinansijske pokazatelje, raspoređene u određenom broju perspektiva posmatranja uspešnosti organizacije (Gajić 2004).

Ocenjivanje organizacionih performansi sistema odbrane je složen proces, a rezultate može da koristi rukovodstvo kao sredstvo za poboljšanje praćenja i korišćenja resursa. S obzirom na važnost ocenjivanja performansi i mogućnosti korišćenja rezultata prilikom donošenja važnih odluka, u ovom radu razmatran je problem merenja performansi sistema odbrane i mogućnost primene metoda višekriterijumske optimizacije u procesu ocenjivanja performansi sistema odbrane.

U radu je prikazan mogući način ocenjivanja performansi sistema odbrane, počev od izbora performansi koje će se ocenjivati, određivanja ključnih indikatora performansi, pripreme za merenje do određivanja same ocene. Ocenjivanje performansi sistema odbrane zasnovano je na konceptu „Balanced Scorecard” (u daljem tekstu: BSC). Za svaku performansu sistema odbrane, mogu se odrediti indikatori uspešnosti koji pokazuju u kojoj meri je sistem uspešan, da li je njegovo izvršenje u skladu sa planiranim, da li ga i na koji način treba poboljšati.

## 2. PERFORMANSE SISTEMA ODBRANE

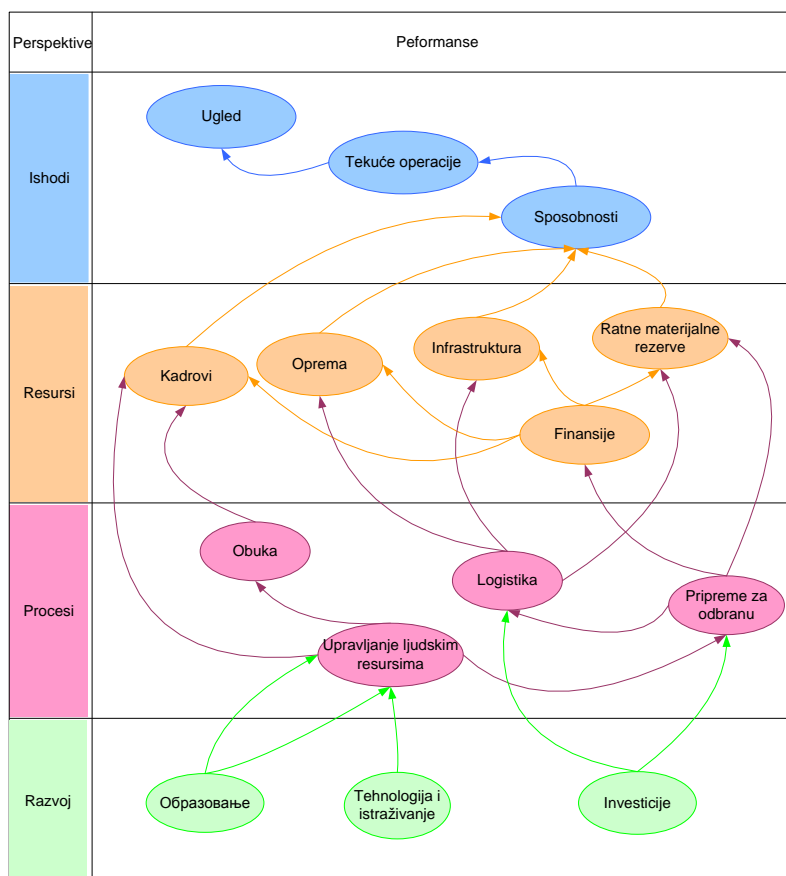
Balanced scorecard je krajem XX veka, od strane Roberta Kaplana (Robert Kaplan) i Dejvida Nortona (David Norton), predstavljen kao novi sistem za merenje performansi. Polazna ideja Kaplana i Nortona za kreiranje strategijskog upravljačkog sistema koji povezuje strategiju organizacije sa operativnim planom za njenu implementaciju polazi od ubeđenja da ako se nešto ne može meriti, onda se time ne može upravljati, a takođe, ako se time ne može upravljati onda se to ne može ni poboljšati. U tom smislu, BSC predstavlja kompleksan sistem upravljanja kojim se meri učinak organizacije iz četiri uravnotežene perspektive (finansijske perspektive, perspektive kupaca, perspektive internih procesa i perspektive razvoja) i proširuju ciljevi organizacije izvan finansijskih pokazatelja naglašavajući uzročnike stvaranja vrednosti za dugotrajne rezultate (Kaplan and Norton 2001).

Balanced scorecard je originalno bio namenjen profitnim organizacijama, ali je ubrzo kao uspešan sistem modifikovan i za javne i neprofitne organizacije. Takođe, BSC je primenjen i u ministarstvima odbrane pojedinih država. Uvažavajući specifičnosti i potrebe sistema odbrane Republike Srbije, performanse se mogu pratiti kroz četiri perspektive (Kankaraš et al. 2014):

- perspektiva „ishodi” pruža podatke o ispunjavanju sadašnjih zadataka i spremnosti sistema odbrane za buduće izazove;
- perspektiva „resursi” sadrži informacije o stanju resursa kojim raspolaže sistem odbrane;
- perspektiva „procesi” omogućava saznanja o kvalitetu ključnih procesa sistema odbrane i
- perspektiva „razvoj” pruža podatke o mogućnostima kontinuiranog poboljšanja i stvaranja vrednosti sistema odbrane.

Praćenjem i ocenjivanjem performansi sistema odbrane dobijaju se saznanja o efikasnosti i efektivnosti sistema odbrane, odnosno kvalitetu realizovanja ciljeva sistema odbrane. Za funkcionisanje sistema odbrane neophodne su brojne informacije o sposobnostima, zaposlenima, naoružanju, vojnoj opremi, finansijama i slično. Nedostatak pojedinih informacija može negativno uticati na donošenje odluka, a samim tim i na funkcionisanje sistema odbrane. S obzirom na složenost sistema odbrane nemoguće je istovremeno pratiti sve informacije, te je neophodno izabrati informacije o suštinskim osobinama sistema odbrane – performansama. U tom smislu, neophodno je sistem odbrane posmatrati iz više perspektiva (različitih gledišta) i za svaku perspektivu odrediti performanse koje su značajne za funkcionisanje sistema odbrane.

Na slici 1 prikazan je mogući izbor performansi sistema odbrane i izgled strateške mape.



Slika 1: Strateška mapa sistema odbrane

### 3. MERENJE PERFORMANSI SISTEMA ODBRANE

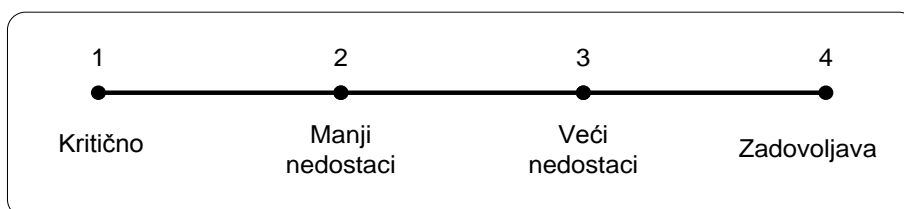
Određivanjem performansi sistema odbrane započet je proces upravljanja organizacionim performansama. Za unapređenje sistema odbrane neophodno je poboljšanje njegovih performansi, za šta su potrebne informacije o njihovom kvalitetu i kvantitetu. Jedan od osnovnih načina za dobijanje tih podataka jeste njihovo merenje.

Merenjem performansi vrši se poređenje dostignutog i projektovanog nivoa vrednosti indikatora, određivanjem ocene i budućih trendova performansi. Za merenje performansi moguće je utvrditi veći broj indikatora. Međutim, potrebno je izabrati ključne indikatore performansi, odnosno one indikatore koji pokazuju realan kvantitet i kvalitet performansi.

S obzirom da su podaci o indikatorima takvog karaktera da nije moguća njihova direktna primena (postojanje opisnih i brojčanih indikatora, razlika u visini brojčanih indikatora i slično), neophodno je izvršiti transformaciju indikatora. Takođe, nemaju ni svi indikatori isti stepen značajnosti za performanse, pa je potrebno odrediti i težinske koeficijente indikatora u okviru performansi.

Da bi se izvršila transformacija indikatora potrebno je odrediti granične vrednosti za svaki indikator. Za granične vrednosti indikatora performansi sistema odbrane mogu se odrediti opisne vrednosti: „Z - zadovoljava”, „MN - manji nedostaci”, „VN - veći nedostaci” i „K - kritično”.

U ovom slučaju može se primeniti linearna skala transformacije unapred određivanjem skale brojčanih vrednosti u intervalu od jedan do četiri i opisnih vrednosti (slika 2).



Slika 2: Linearna skala transformacije

Kvantifikacija opisnih vrednosti primenom linearne skale transformacije vrši se jednostavnim utvrđivanjem brojčane vrednosti indikatora u skladu sa unapred određenom skalom brojčanih vrednosti (tabela 1).

Tabela 1: Transformacija indikatora

Indikator	Granična vrednost	Trenutna vrednost	Transformisana vrednost
Indikator „A”	Z: $\geq 95\%$ MN: 85-94% VN: 75-84% K: $< 75\%$	86%	3
Indikator „B”	Z: $\geq 280$ MN: 251-280 VN: 220-250 K: $< 220$	216	1
Indikator „C”	Z: „DA” K: „NE”	DA	4

Nakon transformacije indikatora potrebno je odrediti stepen značajnosti indikatora korišćenjem odgovarajućih težinskih koeficijenata. S obzirom na znatan subjektivan uticaj donosioca odluka u ovom procesu neophodno je koristiti neku od raspoloživih metoda kojom se taj uticaj umanjuje. Jedna od metoda koja se uspešno može primeniti za određivanje težinskih koeficijenata jeste metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (u daljem tekstu: AHP metoda).

Određivanje težinskih koeficijenata primenom AHP metode realizuje se u četiri koraka (Nikolić and Borović 1996). U prvom koraku porede se indikatori u parovima, korišćenjem Saaty-jeve skale (vrednosti predstavljaju intenzitet preferencije jednog indikatora u odnosu na drugi). Rezultat poređenja indikatora u parovima jeste matrica poređenja u parovima. U narednom koraku izračunava se suma svih elemenata u svakoj koloni matrice (tabela 2).



**Tabela 2:** Matrica poređenja u parovima

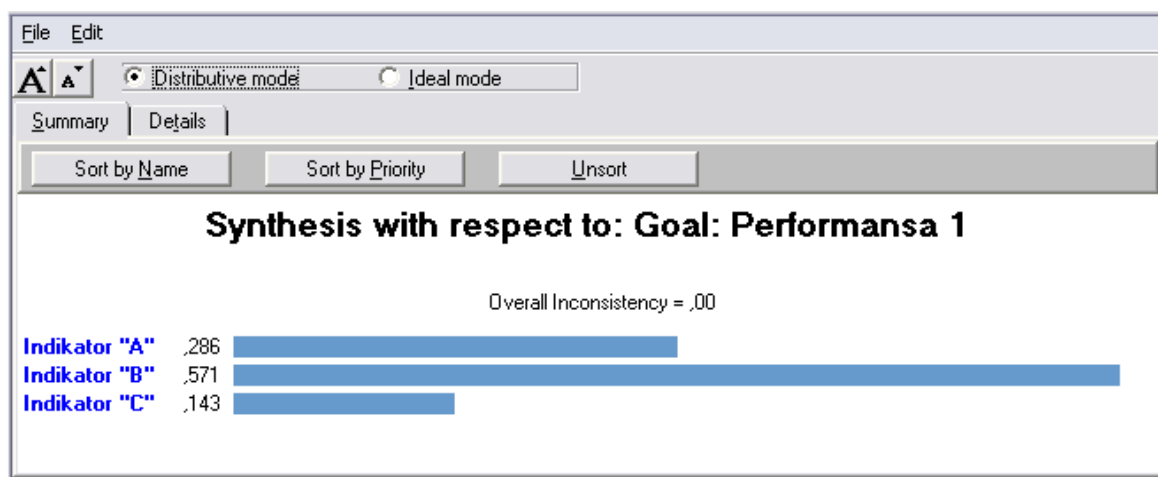
$P_1$	Indikator „A”	Indikator „B”	Indikator „C”
Indikator „A”	1,000	0,500	2,000
Indikator „B”	2,000	1,000	4,000
Indikator „C”	0,500	0,250	1,000
$\Sigma$	3,50	1,75	7,00

U trećem koraku vrši se normalizacija vrednosti, na način da se vrednosti elemenata svake kolone podele se sa sumom vrednosti te kolone i u poslednjem koraku određuje se suma i srednja vrednost svakog reda. Srednje vrednosti redova predstavljaju težinske koeficijente indikatora (tabela 3).

**Tabela 3:** Težinski koeficijenti indikatora

$P_1$	Indikator „A”	Indikator „B”	Indikator „C”	$\Sigma$	TKI
Indikator „A”	0,29	0,29	0,29	0,857	0,286
Indikator „B”	0,57	0,57	0,57	1,714	0,571
Indikator „C”	0,14	0,14	0,14	0,429	0,143

Težinski koeficijenti indikatora mogu se odrediti i primenom originalnog softvera Expert Choice, koji znatno pojednostavljuje matematičke proračune, a vrednosti težinskih koeficijenata su identične (slika 3).

**Slika 3:** Težinski koeficijenti indikatora

Težinski koeficijenti indikatora neophodni su radi određivanja ocene performansi i perspektiva sistema odbrane i zaključivanja o kvalitetu realizovanja ciljeva sistema odbrane.

#### 4. ODREĐIVANJE OCENE PERFORMANSI SISTEMA ODBRANE

Nakon izvršene transformacije i određivanja težinskih koeficijenata ključnih indikatora performansi pristupa se utvrđivanju ocene performansi. Određivanje ocene performansi sistema odbrane može se realizovati u dva koraka. U prvom koraku vrši se izračunavanje relativne vrednosti indikatora množenjem transformisane vrednosti indikatora i težinskog koeficijenta indikatora. Ocena performanse sistema odbrane određuje se u drugom koraku i predstavlja sumu relativnih vrednosti indikatora (tabela 4).

Na prikazani način moguće je odrediti ocene za sve performanse sistema odbrane, kao i ocene perspektiva. S obzirom da performanse nemaju isti stepen značajnosti za funkcionisanje sistema odbrane, potrebno je odrediti težinske koeficijente performansi u okviru perspektiva na način kako su određeni i težinski koeficijenti indikatora.

**Tabela 4:** Određivanje ocene performanse

Indikator	Ciljna vrednost indikatora	Granična vrednost indikatora	Trenutna vrednost indikatora	Transformisana vrednost indikatora	Težinski koeficijent	Relativna vrednost indikatora
Indikator „A”	100%	Z: $\geq 95\%$ MN: 85-94% VN: 75-84% K: $< 75\%$	86%	3	0,286	0,858
Indikator „B”	300	Z: $\geq 280$ MN: 251-280 VN: 220-250 K: $< 220$	216	1	0,571	0,571
Indikator „C”	DA	Z: „DA” K: „NE”	DA	4	0,143	0,572
<b>Ocena performanse</b>						<b>2</b>

Nakon određivanja težinskih koeficijenata performansi izračunavaju se relativne vrednosti performansi (množenjem ocene performanse i težinskog koeficijenta performanse), a njihova suma predstavlja ocenu perspektive.

## 5. ZAKLJUČAK

Da bi jedna organizacija uspešno poslovala veoma je važno da ima mogućnost da izmeri parametre koji definišu uspešnost njenog poslovanja. Upravo zbog toga merenje performansi organizacije jeste jedan od najvažnijih delova kontrolne i upravljačke aktivnosti gde se mora izmeriti odnos između rezultata koje organizacija postiže i ulaganja potrebnih za ostvarenje tih rezultata. Na osnovu toga, uz pomoć procesa merenja performansi, organizacija dolazi u mogućnost da prepozna resurse kojima raspolaže, uoči najbitnije faktore koji utiču na njene performanse i odredi najbolji pravac delovanja.

Osnovni cilj ovog rada bio je prikaz mogućeg načina ocenjivanja performansi sistema odbrane. Na osnovu rezultata prikazanih u radu mogu se uočiti prednosti njihove primene:

- uvažavanje stepena značajnosti indikatora u okviru performanse i performansi u okviru perspektive;
- smanjenje subjektivnog uticaja ocenjivača;
- mogućnost korišćenja indikatora različitog karaktera (opisni, brojčani, visokih i niskih vrednosti i slično);
- jednostavnost upotrebe AHP metode.

Takođe, potrebno je uvažiti i određena ograničenja koja se ne odnose samo na razumevanje primene metoda višekriterijumske optimizacije, već i na nedovoljno shvatanje potrebe povećanja objektivnosti u svim procesima, a ne samo u procesu ocenjivanja.

I pored navedenih ograničenja može se zaključiti da je primena metoda višekriterijumske optimizacije u procesu ocenjivanja organizacionih performansi moguća, da olakšava rad i smanjuje subjektivnost i greške u određivanju ocene. Analogno primeni metoda višekriterijumske optimizacije u procesu ocenjivanja performansi sistema odbrane, može se zaključiti da je njihova primena moguća i u drugim procesima koji podrazumevaju praćenje i vrednovanje rezultata.

## LITERATURA

- [1] Gajić, B. (2004). Integrisani savremeni sistemi za merenje performansi preduzeća, *Economic Annals* no 161, April 2004 - June 2004, 151-164.
- [2] Kankaraš, M., Stojković, D. & Kovač, M. (2014). Application of the balanced scorecard in defence performance management, *Međunarodni simpozijum SYMORG*, Zlatibor, 1357-1362.
- [3] Kaplan, R. S. & Norton, D. P. (2001). Transforming the Balanced Scorecard from Performance Measurement to Strategic Management: Part I, *Accounting Horizons*, March, pp. 87-104.
- [4] Nikolić, I. & Borović, S. (1996). Višekriterijumska optimizacija, *Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije*, Beograd.
- [5] Niven, P. (2008). *Balanced scorecard step-by-step for government and non-profit agencies – 2nd edition*, John Wiley & Sons, Inc.





## **PRISTUP POZICIONIRANJU U TURIZMU BAZIRAN NA PREFERENCIJAMA POTROŠAČA: KONCEPTUALNI OKVIR**

### **PREFERENCED BASED APPROACH TO POSITIONING IN TOURISM: CONCEPTUAL FRAMEWORK**

MILENA VUKIĆ<sup>1</sup>, MARIJA KUZMANOVIĆ<sup>2</sup>, MILAN MARTIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Srednja ugostiteljsko turistička škola, Beograd, milena.vukic12@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, {marija.kuzmanovic, milan}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** *Uslužni sektor doživljava ekspanziju svuda u svetu, a naročito će biti prepoznatljiv po rastućem značaju turističke industrije. Ukoliko preduzeća žele da opstanu na promenljivom turističkom tržištu, potrebna je stalna inovacija koja podrazumeva kreativnost, nove ideje i nove usluge. Sposobnost turističkog proizvoda da privuče određeni tržišni segment se zasniva na dobrom tržišnom pozicioniranju. Postoje brojni modeli koji se koriste u pozicioniranju na turističkom tržištu i u ovom radu biće predstavljeno 7 modela od kojih svaki ima svoje prednosti i nedostatke. Cilj ovog rada je da predloži konceptualni okvir za razvoj novog modela tržišnog pozicioniranja u turizmu koji je baziran na preferencijama potrošača. Da bi odredili relativnu značajnost ključnih atributa koji utiču na izbor turističke ponude predlaže se conjoint analiza. Kada se stekne uvid u to da li je tržište homogeno ili heterogeno, moguće je izvršiti segmentaciju istog primenom klaster analize. Kako bi izvršili stratešku analizu konkurencije i modelirali konkurentske interakcije na tržištu predložena je teorija igara na osnovu čega se bira optimalna strategija pozicioniranja.*

**Ključne reči:** *tržišno pozicioniranje, preferencije potrošača, conjoint analiza, klaster analiza, teorija igara*

**Abstract:** *The service sector is in expansion all over the world, and it will especially be recognized for the growing importance of the tourism industry. If companies want to survive in the changing tourism market, it takes constant innovation that involves creativity, new ideas and new services. The ability of the tourism product to attract a particular market segment is based on good market positioning. There are numerous models that are used in the positioning on the tourism market and in this paper will be presented 7 models, each of which has its advantages and disadvantages. The aim of this paper is to propose a conceptual framework for the development of a new model of market positioning in the tourism industry, which is based on customer preferences. To determine the relative importance of key attributes that influence the selection of a tourist offer, the conjoint analysis is proposed. When you gain insight into whether the market is homogeneous or heterogeneous, it is possible to perform the same segmentation by cluster analysis. In order to perform strategic analysis of competition and model competitive interactions in the market, the game theory is proposed on the basis of which an optimal positioning strategy is chosen.*

**Keywords:** *market positioning, consumer preferences, conjoint analysis, cluster analysis, game theory*

#### **1. UVOD**

Sposobnost turističkog proizvoda da privuče određeni tržišni segment se zasniva na dobrom tržišnom pozicioniranju (Calantone and Mazanec 1991). U turizmu, pozicioniranje je proces u kojem turistički proizvod zauzima jedinstveno mesto u glavama potrošača (Walker 2004, Chacko 1997). Pozicioniranje uključuje i razvijanje i komuniciranje atributa proizvoda ili usluge i ne odnosi se primarno na kreiranje propagandne slike (Lovelock 2003). Kotler, Bowen i Makens (2003) su dodali da je "pozicioniranje način na koji potrošači definišu proizvod na osnovu važnih atributa".

Pozicioniranje treba da bude zasnovano na traženju odgovora na dva pitanja: koje karakteristike turističkog proizvoda su najvažnije potrošačima, i u čemu konkurenti ne zadovoljavaju trenutna ili potencijalna očekivanja potrošača. Pozicioniranje se može bazirati na superiornoj pouzdanosti, boljoj usluzi, bržem vremenu odgovora ili većim pogodnostima. Ono mora da bude održivo. Održivost pozicioniranja se postiže kreiranjem barijera ulaska, reklamiranjem ili razvojem imidža (Doyle 2006).

Odluka o tržišnom pozicioniranju turističkog proizvoda je najkritičnija strateška odluka za preduzeće jer određuje percepciju turista kao i njihove odluke prilikom izbora u kupovini (Alford 1998). Aaker i Shansby

(1982) napominju da odluka o tržišnom pozicioniranju često znači izabrati atribute koje treba naglasiti i atribute koje ne treba naglašavati. Stoga kada se koristi strategija tržišnog pozicioniranja u turizmu, marketari moraju prvo da istraže tržište kako bi utvrdili koji atributi utiču na izbor turista.

Pojam tržišnog pozicioniranja je veoma dobro istražen u marketingu ali u manjoj meri u turizmu kao i upotreba sofisticiranih istraživačkih tehnika (Reich 1999, Grabler 1997). Osim toga razni autori (Van Gessel 2003, Allen *et al.* 2002, Getz 2000) se slažu da je ova slabost izvanredna prilika za istraživače koji žele da daju svoj doprinos u turizmu.

Postoje brojni modeli tržišnog pozicioniranja u turizmu čiji je pregled dat u drugom poglavlju, dok je u trećem poglavlju dat konceptualni okvir za model optimalnog tržišnog pozicioniranja baziran na preferencijama potrošača kao i tržišnim interakcijama konkurencije.

## 2. MODELI TRŽIŠNOG POZICIONIRANJA

U cilju definisanja strategije pozicioniranja kako u marketingu tako i u turizmu, obrađeno je sedam različitih tržišnih modela pozicioniranja (koristeći različite tehnike u procesu pozicioniranja) među kojima su: 1) Ries i Trout (2001, 1981), pioniri iz oblasti marketinga; 2) Boyd i Walker (1990), koji su dali najdetaljniji prikaz teme pozicioniranja u marketingu; 3) Kotler (2003, 2000, 1991), jedan od najvećih svetskih autoriteta u oblasti marketinga, koji je zajedno sa stručnjacima u ispitivanju tržišta u ugostiteljstvu, Bowenom i Makensom (2003, 1996) primenio marketinga u turističkoj industriji; 4) Lovelock (2003) koji je među prvima primenio pozicioniranje u uslužnom sektoru; 5) Aaker i Shansby (1982), gurui marketinga i strateškog marketinga koji su prikazali šest faza razvoja strategije pozicioniranja; 6) Reich (1999), koji je primenio pozicioniranje na turističke destinacije, tvrdeći da takođe može da se primeni na bilo koji proizvod u ugostiteljskoj industriji i 7) Van Zyl Ciná (2005) koji je predložio model tržišnog pozicioniranja umetničkih festivala.

**Prvi modeli Riesa i Trauta.** Ries i Traut (1981) pioniri pozicioniranja u oblasti marketinga su principe pozicioniranja izrazili na sledeći način: "Umesto da pođete od sebe, pođite od mišljenja potrošača. Umesto da se pitate ko ste, pitajte se koja je vaša trenutna pozicija sa stanovišta potrošača. Menjanje mišljenja našeg društva je vrlo težak zadatak. Mnogo je lakše raditi s onim što već posedujete".

U isto vreme ističu da se pozicioniranje ne odnosi na to šta treba da uradite sa proizvodom, već na to šta treba uraditi sa mislima potrošača. Osnovna ideja je u tome da se proizvod, ili usluga pozicionira u mislima potrošača, tako da "... pozicioniranje skreće pažnju marketinga sa proizvoda na borbu za mesto u vašim glavama". Nova definicija naglašava "... po čemu se vi razlikujete u umu vašeg potrošača." (Ries and Trout 2001). Prema tome, Ries i Trout (1981) se fokusiraju na krajnji cilj strategije pozicioniranja, tačnije na poziciju koju proizvod ima u mislima potrošača. Međutim, ova dva autora su kritikovana zbog toga što posmatraju pozicioniranje u ograničenom kontekstu reklamiranja, pošto su tvrdili da se pozicioniranje stiče "manipulisanjem načina na koji potrošači sagledavaju stvarnost". Drugi autori su kasnije proširili ovu prvobitnu definiciju pozicioniranja, pošto su shvatili da ono obuhvata mnogo više od kreativnog reklamiranja. (Crompton *et al.* 1992).

**Model Bojda i Vokera.** Bojd i Voker (Boyd and Walker 1990) su proces targetiranja i pozicioniranja na tržištu, kao dve strateške odluke stavili u središte njihovog iscrpnog istraživanja o pozicioniranju. Prvo, procenjivanje ciljne grupe na tržištu postaje sve značajnije kako se vremenom menjaju potrebe potrošača, sredstva i ciljevi kompanije, ili postupci konkurencije. Drugo, pošto se izabere segment tržišta, postavlja se važno pitanje: "Kako da organizacija pozicionira svoj proizvod tako da ga potrošači smatraju poželjnim, a da u isto vreme stvori prednost u odnosu na trenutnu i potencijalnu konkurenciju?"

Predlaže se proces u osam koraka za određivanje postojećih percepcija i donošenje odluka o pozicioniranju novog proizvoda, ili za repozicioniranje postojećeg proizvoda. (Boyd and Walker 1990): Identifikovati relevantan niz konkurentnih proizvoda; Identifikovati niz odlučujućih atributa koji definišu „prostor proizvoda“ u kome se nalaze pozicije trenutnih proizvoda; Prikupiti informacije od uzorka potrošača i potencijalnih potrošača o tome kako se doživljavaju odlučujući atributi turističkog proizvoda; Analizirati kakav je intenzitet trenutne pozicije proizvoda u mislima potrošača; Odrediti kakva je trenutna pozicija proizvođača na tržištu; Odrediti koja je idealne ili poželjne kombinacije kombinacija ključnih atributa za potrošače; Utvriti nivo slaganja između pozicije konkurentskih, sopstvenih i idealnog proizvoda na tržištu; Izabrati strategiju pozicioniranja i repozicioniranja.

**Kotlerov model diferenciranja i pozicioniranja.** Kotler (2000) definiše pozicioniranje kao „čin stvaranja imidža i vrednosti kompanije kako bi određeni segmenti potrošača razumeli i cenili ono za šta se kompanija zalaže u poređenju na svoju konkurenciju“. On, takođe definiše diferenciranje i pozicioniranje:

- Diferenciranje je čin stvaranja niza značajnijih razlika kako bi se ponuda kompanije razlikovala od ponude njene konkurencije.

- Pozicioniranje je čin stvaranja ponude kompanije i njenog imidža da bi kompanija zauzela posebno mesto u glavi ciljne grupe.

Iako su ove definicije praktično identične, Kotler posmatra deferenciranje i pozicioniranje kao povezani par aktivnosti planiranja, pri čemu se prvo fokusira na ono što treba da se diferencira, a zatim na to kako da promoviše razlike kako bi ciljna grupa potrošača mogla da ih vrednuje. Pošto kompanija izabere tržišni segment, ona mora da odredi strategiju pozicioniranja na tom tržištu i da je primeni.

Kotler i ostali (2003) predlaže perceptualno mapiranje kao sredstvo za merenje pozicije brenda. Ova tehnika se takođe može razviti tako što se koristi percepcija potrošača o brojnim atributima proizvoda. Treba proučiti sistem više mapa koji prikazuje različite attribute, kako bi se bolje upoznalo tržište. Određivanje prave pozicije treba da se zasniva na zahtevima kao što su važnost, različitost, superiornost, pristupačnost, isplativost i profitabilnost.

**Lovelokov i Vircov model za pozicioniranje usluga.** Lovelock posmatra pozicioniranje kao uslugu na tržištu i počinje svoj model razlikovanjem proizvoda od usluge. On definiše ovu deferencijaciju kao proces utvrđivanja i održavanja posebnog mesta na tržištu, bilo da je u pitanju neka organizacija ili njeni proizvoda (Lovelock and Wirtz 2004).

Lovelok dalje navodi da mnogi marketari povezuju pozicioniranje s promotivnim instrumentima marketing miksa, koje on naziva imitativno pozicioniranje, pri čemu ignoriše ukupne aspekte termina pozicioniranje proizvoda. Lovelock i Wirtz (2004) ističu upotrebu pozicioniranja u razvoju proizvoda, isporuci usluga, formiranju cena i strategiji komuniciranja. Tri procedure su uključene u razvoju strategije pozicioniranja za uslužna preduzeća, a to su: analiza tržišta, analiza konkurencije i interna analiza.

Pozicioniranje ima ključnu ulogu u marketinškoj strategiji, pošto povezuje analizu tržišta, analizu konkurencije i unutrašnju analizu.

Lovelok donosi zaključak, da zbog dinamike tržišta, menadžeri treba stalno da ponovo procenjuju svoje pozicije. Lovelok tvrdi da se pozicioniranje usluga odnosi na razvoj i komuniciranje ključnih atributa proizvoda, a ne prevashodno na stvaranje reklamnog imidža. Za razliku od imidža, pozicija zahteva okvir informacija (skup preporuka) koje pruža konkurentna destinacija (Crompton 1992).

**Model strategije pozicioniranja prema Akeru i Šansbiju.** Pozicioniranje se bavi sledećim pitanjima: donošenjem odluka o segmentaciji, imidžu i izboru karakteristika destinacije koje treba naglasiti (Aaker and Shansby 1982).

Razvoj strategije podrazumeva organizovanje i sintezu različitih vrsta informacija. Identifikacija i izbor strategije pozicioniranja su složene, ali će strategija biti najefikasnija ukoliko njen razvoj prati marketinško istraživanje. Aaker i Shansby (1982) dele marketinško istraživanje koje je potrebno za utvrđivanje pozicije na šest faza (koraka): Utvrditi konkurente; Odrediti kako potrošači doživljavaju i procenjuju konkurente; Odrediti poziciju konkurenta; Analiza potrošača; Izbor pozicije; Nadgledanje pozicije.

Model Akera i Šansbija moguće je rezimirati na sledeći način: odluke o pozicioniranju često podrazumevaju izbor onih asocijacija i atributa koji treba da se naglase i onih koji treba da se sakriju (Aaker and Shansby 1982).

**Reikov model pozicioniranja turističkih destinacija.** Reich (1999) predlaže proces pozicioniranja koji može da se primeni na bilo koji proizvod u ugostiteljstvu. Reikov model pozicioniranja se sastoji iz pet koraka: Odrediti omiljenu kombinaciju atributa, ciljevne grupe potrošača; Odrediti omiljenu kombinaciju atributa kupaca ili locirati trenutnu poziciju proizvoda prema potražnji kupaca i konkurentnoj ponudi; Analizirati trenutnu poziciju destinacije i odrediti njenu željenu poziciju: Model tržišnog pozicioniranja za proces linearnog pozicioniranja; Odlučiti o odgovarajućem nivou strateške agresije; Izabrati strategiju pozicioniranja, ili repozicioniranja.

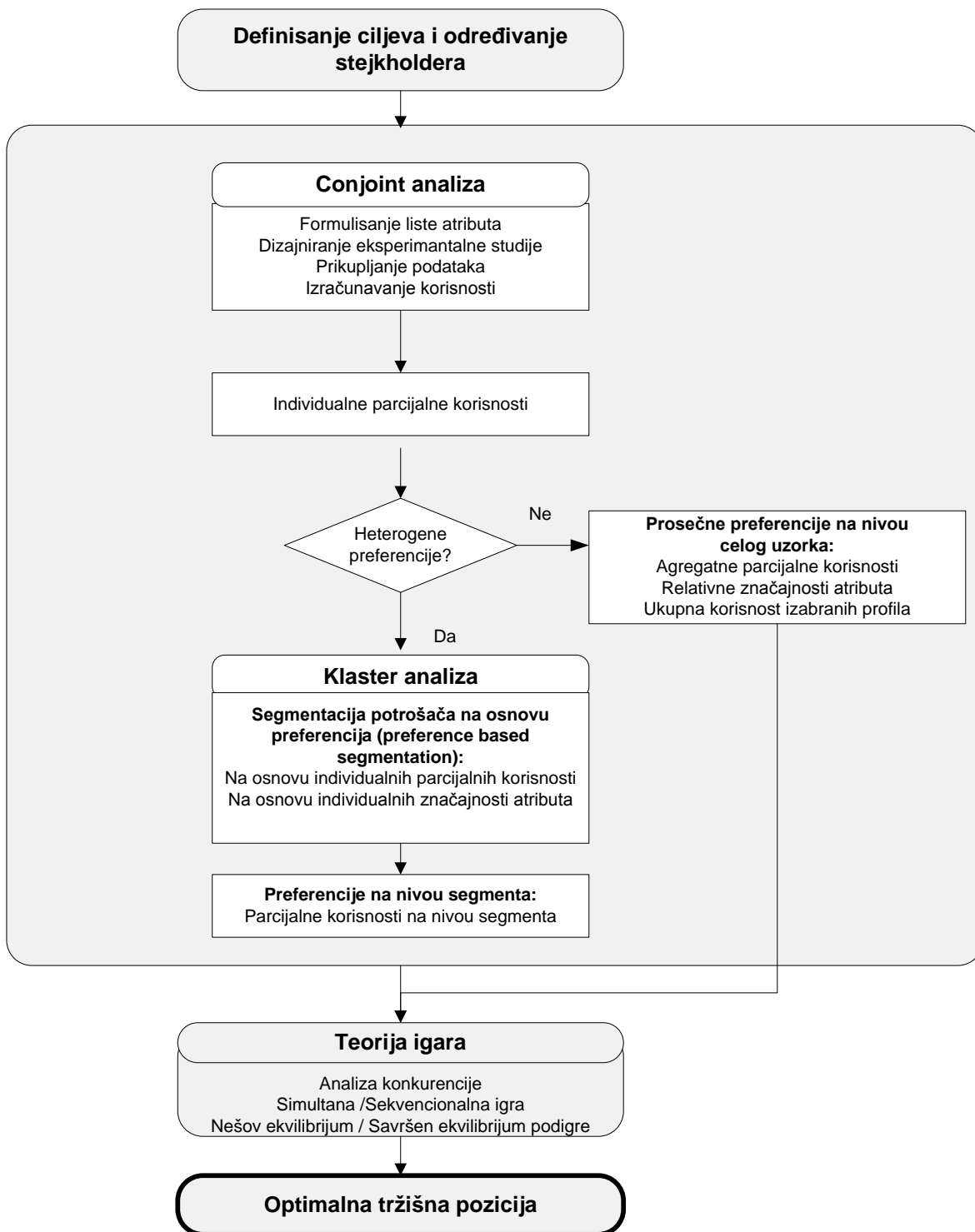
Reik smatra da treba ponavljati korake od 1 do 5 dok menadžment ne bude zadovoljan svojom novom strategijom pozicioniranja. Pre nego što se donesu odluke o pozicioniranju menadžment mora da razume svoje attribute u potpunosti i mora da pregleda spoljašnje faktore kako bi saznali jedinstvene potrebe (attribute) svoje ciljne grupe na tržištu.

**Model tržišnog pozicioniranja umetničkih festivala.** Ciná Van Zyl (2005) je kreirao svoj model koji se bazira na modelu Bojda i Vokera (Boyd and Walker 1990) kao i na Reikovom (Reich 1999) modelu. On je ova dva modela iskoristio kao osnovu i prilagodio ih za svoje potrebe tj. za pozicioniranje festivala. Autor predlaže model od osam koraka kako bi se odredila najpoželjnija kombinacija atributa za umetničke festivale.

U svom modelu on ukazuje na tri bazične komponente koje je potrebno kombinovati i integrisati pre same implementacije modela. Te komponente su festivali kao vid turizma posebnih interesovanja, marketing kao i marketing pozicioniranje, kao i izbor tehnika za analizu podataka.

### 3. KONCEPTUALNI OKVIR MODELA OPTIMALNOG POZICIONIRANJA U TURIZMU

Konceptualni okvir modela tržišnog pozicioniranja u turizmu baziranog na preferencijama turista prikazan je na slici 1. Model se sastoji iz 4 etape koje su u nastavku poglavlja detaljnije opisane.



**Slika 1:** Konceptualni okvir modela optimalnog tržišnog pozicioniranja u turizmu baziran na preferencijama potrošača

U **prvoj** etapi se vrši definisanje ciljeva i određivanje stejkholdera. Nijedno preduzeće ne želi da prepusti slučaju svoju tržišnu poziciju, već određuje svoje ciljeve tako da njihov turistički proizvod stekne konkurentsku prednost na izabranom ciljnom tržištu na osnovu kojeg će kasnije dizajnirati adekvatnu kombinaciju marketing miksa kako bi zauzeo željeno mesto u mislima potrošača. Ciljevi preduzeća mogu biti različiti: od povećanje tržišnog udela u konkurentskim uslovima poslovanja do osvajanje novih tržišnih

segmenata. Polazna tačka za uspešnu realizaciju poslovanja bilo kog preduzeće je da definiše svoje stejkholdere i njihove potrebe. Ovakva praksa vodi ka uspostavljanju pravila da preduzeća moraju ne samo da ispune očekivanja svojih stejkholdera već i da ih prevaziđu jer jedino takav način poslovanja vodi diferenciranju u odnosu na konkurenciju. Kada govorimo o turističkoj industriji, jedno od najznačajnijih mesta svakako zauzima država i njeni organi na različitim nivoima, zbog jednostavne činjenice da država ima značajne ekonomske i šire društvene koristi od razvoja turizma. Država podstiče ovaj razvoj formiranjem različitih neposrednih i posrednih organa (komiteti, sekretarijati, ministarstva i sl.) Ostali stejkholderi pored državnih organa mogu biti druge organizacije i investicije, kao što su privredne komore, turistička društva, nacionalne turističke organizacije, turističke agencije, turisti itd. Ovde je bitno istaći činjenicu da se uspešna strategija pozicioniranja mora primenjivati i na mikro i na makro nivou, od turističkog mesta pa do nacionalnog nivoa.

U **drugoj** etapi se vrši merenje potrošačkih preferencija primenom conjoint analize. Conjoint analiza je istraživačka višeatributivna dekompozitivna metoda, koja se bavi kvantitativnim opisom potrošačkih preferencija. Retko se dešava da kupac prilikom kupovine donosi odluku o kupovini samo na osnovu jedne karakteristike proizvoda ili usluge. Naprotiv, on ga posmatra kao skup svih njegovih karakteristika. Na osnovu te činjenice je ova metoda i dobila ime CONJOINT (considered jointly). U conjoint analizi se polazi od pretpostavke da potrošač evaluira ukupnu korisnost ili značajnost (*utility*) proizvoda/usluge na osnovu kombinacije pojedinačnih parcijalnih korisnosti (*part-worth*) nivoa atributa proizvoda/usluge, pri čemu su te parcijalne korisnosti izražene kvantitativno i predstavljaju poželjnost određenih karakteristika. Nakon određivanja atributa i njihovih nivoa, određuje se ukupna korisnost, tj. poželjnost svih mogućih profila, bilo da su trenutno aktuelni na tržištu ili da se razmatra njihovo uvođenje, kao i osetljivost tražnje za tim profilima na promenu njihovih nivoa. Pored toga, s obzirom da se preferencije određuju za svakog ispitanika ponaosob (individualni nivo procene), stiče se uvid u to da li je tržište homogeno ili heterogeno, kada je moguće izvršiti segmentaciju istog primenom klaster analize u **trećoj etapi**.

Ukoliko je tržište heterogeno, segmentacija se može vršiti na bazi kako individualnih parcijalnih korisnosti, tako i na bazi individualnih značajnosti atributa. Segmentacija na osnovu individualnih značajnosti atributa je jednostavniji način ali individualne parcijalne korisnosti daju detaljniji uvid u heterogenost preferencija na osnovu kojeg se mogu bolje izolovati homogeni tržišni segmenti.

Ukoliko individualne preferencije ukazuju na to da je tržište homogeno, određuju se prosečne preferencije na nivou celog uzorka odnosno agregatne parcijalne korisnosti, relativne značajnosti atributa kao i ukupne korisnosti uzabranih profila. U ovom slučaju se ne primenjuje klaster analiza već se prelazi na sledeću fazu u modelu koja podrazumeva primenu teorije igara.

U **četvrtoj** etapi se primenom koncepta teorije igara vrši strateška analiza i modeliranje konkurentskih interakcija na tržištu na osnovu čega se bira optimalna strategija. U zavisnosti od vremenskog okvira i strategije konkurenata, igra može biti modelirana kao simultana ili sekvencijalna, pri čemu sekvencijalna može biti sa savršenim ili nesavršenim informacijama. Rezultat igre je Nešov ekvilibrijum ili Savršen ekvilibrijum podigre, koji ujedno predstavlja optimalnu strategiju za tržišno pozicioniranje.

**Optimalna tržišna pozicija** predstavlja rezultat primenjenog modela a bazira se na individualnim potrošačkim preferencijama ali uzima u obzir i konkurenciju, odnosno potencijalne odgovore konkurenata na izabranu strategiju pozicioniranja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Jedan od najvećih izazova sa kojim se susreće svaki turistički proizvod je njegovo pozicioniranje na turističkom tržištu. Kako bi ovo postigli marketari moraju da diferenciraju svoj proizvod u odnosu na konkurentne turističke proizvode koje nude slične karakteristike. Pošto koncept pozicioniranja zahteva uži fokus, u ovom radu predložen je konceptualni okvir modela tržišnog pozicioniranja u turizmu koji je baziran na preferencijama turista. Model kao polaznu osnovu za pozicioniranje koristi preferencije turista dobijene conjoint analizom, na koju se potom nadovezuje klaster analiza i teorija igara.

Ovaj konceptualni okvir može pružiti smernice turističkim preduzećima kako bi se osiguralo da su svi relevantni faktori uzeti u obzir prilikom pozicioniranja na turističkom tržištu. Takođe, predloženi konceptualni okvir može pomoći u kreiranju strategije turizma Srbije kao i poboljšanju uloge svih učesnika na strani turističke ponude kako bi što bolje privukli i zadovoljili ne samo domaće već i strane turiste.

## LITERATURA

- [1] Aaker, D.A. & Shansby, J.G. (1982). Positioning your product. *Business Horizons*, May-June: 56-6.
- [2] Alford, P. (1998). Positioning the destination product can regional tourist boards learn from private sector practice? *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 1998, 7(2), 53-68.
- [3] Allen, J., O'Toole, W., McDonnell, I. & Harris, R. (2002). *Festival and special event management*. 2nd edn. Australia: John Wiley.
- [4] Boyd, H.W.Jr. & Walker, O.C.Jr. (1990). *Marketing management: A strategic approach*. Homewood, IL: Irwin.
- [5] Calantone, R.J. & Mazanec, J.A. (1991). Marketing management and tourism. *Annals of Tourism Research*, 18, 101-119.
- [6] Chacko, H.E. (1997). Positioning a tourism destination to gain a competitive edge. dostupno: <http://www.hotelonline.com/Neo/Trends/AsiaPacificJournal?PositionDestination.html>
- [7] Crompton, J.L., Fakeye, P.C. & Lue, C. (1992). Positioning: the example of the Lower Rio Grande Valley in the winter long stay destination market. *Journal of Travel Research*, 31:20-25.
- [8] Doyle, P. & Stern, P. (2006). *Marketing Management and Strategy*, Prentice Hall, Harlow.
- [9] Getz, D. (2000). Developing a research agenda for the event management field in J. Allen, R. Harris, L. K. Jago & A. J. Veal (eds.). *Events beyond 2000: setting the agenda*. Proceedings of conference on event evaluation, research and education Sydney, July 2000. Australian Centre for Event Management, University of Technology: Sydney.
- [10] Grabler, K. (1997). Perceptual mapping and positioning of tourist cities, in K. Grabler & J.A. Mazanec (eds.). *International city tourism: Analysis and strategy*. London: Washington: Pinter.
- [11] Kotler, P. (2000). *Marketing management, the Millennium edition*. 10th edn. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- [12] Kotler, P. (2003). *Marketing management*. 11th edn. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education International.
- [13] Kotler, P. (1991). *Marketing management: analysis, planning, implementation, & control*. 7th edn. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [14] Kotler, P., Bowen, J. & Makens, J. (2003). *Marketing for hospitality and tourism*. 3rd ed. New York: Pearson Education.
- [15] Kotler, P., Bowen, J. & Makens, J. (1996). *Marketing for hospitality and tourism*. 2nd edn. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- [16] Lovelock, C.H., & Wirtz, J. (2004). *Services marketing: people. Technology, strategy*. 5th international edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice-Hall.
- [17] Lovelock, C.H. (2003). *Services marketing*. 5th edn. London: Prentice-Hall International.
- [18] Reich, A.Z. (1999). *Positioning tourism destinations*. Champaign, Illinois: Sagamore Publishing.
- [19] Ries, A. & Trout, J. (1981). *Positioning: the battle for your mind*. 1st edn. New York: McGraw-Hill Company.
- [20] Ries, A. & Trout, J. (2001). *Positioning: The battle for your mind*. 20th anniversary edn. Boston: McGraw-Hill.
- [21] Van Gessel, P. (2003). Opening address at IFEA Europe Conference, Vienna 7 March. Netherlands Board of Tourism, Chairman of IFEA Europe.
- [22] Van Zyl C. (2005). *Optimum market-positioning models for South African arts festival scenarios, South Africa*, phd disertation .
- [23] Walker, J.R. (2004). *Introduction to hospitality management*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson/Prentice-Hall



## EFIKASNOST INSTRUMENTATA PODSTICANJA PONUDE RADA: PRIMER SRBIJE I MAKEDONIJE

### EFFICIENCY OF LABOR SUPPLY PROMOTION INSTRUMENTS: THE CASE OF SERBIA AND MACEDONIA

JELENA ŽARKOVIĆ RAKIĆ<sup>1</sup>, SAŠA RANĐELOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {zarkovic, randjelovic}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Stopa neaktivnosti na tržištu rada u Srbiji i Makedoniji je među najvišima u Evropi. Za podsticanje aktivnosti, tj. ponude rada razvijene zemlje koriste različite instrumente, od kojih se beneficije za rad pokazuju kao najefikasnije, dok u tranzicionim zemljama takve politike nisu primenjivane. U ovom radu su predstavljeni rezultati u pogledu očekivanih efekata uvođenja beneficija za rad na ponudu rada u Srbiji i Makedoniji. Naši rezultati pokazuju da mogu postojati značajni efekti na ponudu rada nakon uvođenja ovih politika, posebno za lica sa niskim dohodcima.

**Ključne reči:** beneficije za rad, ponuda rada, nezaposlenost, Srbija, Makedonija

**Abstract:** Labor market inactivity rates in Serbia and Macedonia are among the highest in Europe. Developed countries apply various measures aimed at promoting labor market activation. In these countries, in-work benefits are among the most efficient labor supply promotion instruments, while no transition country has yet introduced such policy. In this paper the results on the expected effects of introduction of in-work benefits in Serbia and Macedonia, are presented. Our results show that there could be considerable labour supply effects after the introduction of in-work benefit policies in Serbia and Macedonia, particularly for low-earning population.

**Keywords:** In-work benefits, labor supply, unemployment, Serbia, Macedonia

#### 1. UVOD

Situacija na tržištu rada Srbije i Makedonije je izrazito teška. Stope zaposlenosti od 45,8% u Srbiji i 40,7% u Makedoniji su daleko ispod proseka Evropske unije, dok je stopa nezaposlenosti, u iznosu od 25% u Srbiji i 28,8% u Makedoniji među najvišima u regionu i značajno viša od proseka EU-27 (10,9%).

Niska zaposlenost i rastuće stope nezaposlenosti ukazuju na značajne tokove od aktivnosti ka neaktivnosti, naročito za žene, mlade i ostale ranjive grupe na tržištu rada. Neaktivnost i rad u neformalnom sektoru posebno je zastupljen među nisko obrazovanim pojedincima i onima bez ili vrlo malo radnog iskustva. Niska stručna sprema u kombinaciji sa zanemarljivim radnim iskustvom generiše nizak kapacitet zarađivanja na tržištu rada. Kada su zarade, ili potencijalne zarade, niske, podsticaji za traženje posla ili zadržavanje postojećeg posla su obično ograničeni.

Nepostojanje podsticaja za traženje posla je dodatno otežano visokim poreskim opterećenjem dohodaka od rada i to posebno za radnike sa niskim primanjima. Drugi faktor je naglo umanjenje socijalnih naknada nakon što pojedinaca ostvari dohodak od (formalnog) zaposlenja. Stoga, takozvani mini i midi poslovi (uglavnom sa nepunim radnim vremenom) nisu atraktivni za osobe sa niskim kapacitetom zarađivanja, što ih podstiče ka radu u neformalnom sektoru ili tera u neaktivnost (Arandarenko and Vukojević, 2008). Stoga se kao jedna od opcija za povećanje isplativosti rada i ponude rada razmatra uvođenje tzv. beneficija za rad. Reč je o transferima pojedincima, a glavni uslov za ostvarivanje naknade je da osoba bude zaposlena. Cilj je jačanje podsticaja ka prihvatanju zaposlenja i redistribucija dohotka ka pojedincima na dnu raspodele dohotka. U ovom istraživanju se ispituje uticaj beneficija za rad na ponudu rada u dve zemlje Zapadnog Balkana: Srbiji i Makedoniji.

#### 2. BENEFICIJE ZA RAD I PONUDA RADA – PREGLED LITERATURE

Uvođenje i ekspanzija beneficija za rad u evropskim zemljama inspirisana je poreskim kreditom na zarađeni dohodak (Earned Income Tax Credit, EITC), uvedenim po prvi put u Sjedinjenim Američkim Državama, i poreskim kreditom za porodice koje rade (Working Family Tax Credit, WFTC) uvedenim u Ujedinjenom



Kraljevstvu. Glavna motivacija uvođenja ovih politika u Evropi i Severnoj Americi tokom ranih 1990-ih bili su niske stope zaposlenosti određenih demografskih ili radno sposobnih grupa. Na primer, jedan od centralnih stimulansa uvođenja WFTC u Ujedinjenom Kraljevstvu (UK) bile su trajno niske stope učešća na tržištu rada, kod samohranih majki i žena sa niskim kapacitetom zarađivanja, u vreme kada je učešće drugih žena bilo na uzlaznoj putanji. Još jedna karakteristika tržišta rada u UK u ovom periodu jeste rast nezaposlenih parova sa decom.

Trenutno, 16 od 30 OECD zemalja primenjuje neku vrstu beneficije za rad, dok nekoliko drugih zemalja aktivno razmatra njihovo uvođenje, uključujući Austriju i zemlje pristupnice OECD-u (Čile i Izrael). Čak i ako postoje razlike među zemljama u dizajnu ovih politika, sve koriste makar jedan od sledećih kriterijuma kvalifikovanosti za naknadu: prisustvo dece u porodici, minimalan broj sati rada, ili ostvarivanje dohotka od rada.

Većina ovih naknada proporcionalne su bruto dohotku do nekog maksimalnog iznosa, kada se umanjuju po određenoj stopi. Drugim rečima, beneficije za rad karakteriše postepeno uvođenje i povlačenje kako bi se targetirali pojedinci sa određenim nivoom zarade ili radnih sati.

Značajniji aspekt dizajna naknade jeste izbor obračunske jedinice, odnosno da li se kod određivanja kvalifikovanosti za naknadu uzima u obzir dohodak domaćinstva ili pojedinca. Porodične naknade, kao što su EITC i WFTC, zavise od dohotka i broja članova domaćinstva.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se naknade, kod kojih se test imovinskog stanja vrši u odnosu na dohodak porodice, uvode kada su distributivni efekti politike od posebnog značaja. Međutim, dok naknade procenjene na nivou domaćinstva podstiču radnu aktivaciju pojedinaca, često obeshrabruju učešće na tržištu rada za drugu osobu u porodici, a to su obično žene. Ipak, u nekim slučajevima, porodične naknade mogu imati i redistributivne i podsticajne efekte. Ovo je slučaj kod samohranih roditelja koji čine veliku grupu siromašnih domaćinstava u mnogim zemljama.

Beneficije za rad koje se procenjuju na osnovu dohotka pojedinca obično su manje izdašne u odnosu na porodične naknade i ciljaju veći broj primalaca. Pozitivna odlika ovih politika, u odnosu na porodične, je što ne obeshrabruju participaciju žena kod parova.

Bell (2005) u svom istraživanju pokazuje da je do pada siromaštva među decom od 2002. - 2004. godine došlo usled uvođenju WFTC programa. Brewer (2006) takođe primećuje da je program smanjio broj siromašnih porodica. St Martin i Whiteford (2003) procenili su da je WFTC program doprineo stvaranju oko 100.000 novih poslova, dok su troškovi ove politike bili oko 1% BDP-a.

Pozitivni dokazi redistributivnih efekata i socijalna inkluzija radnika sa niskim kvalifikacijama u anglosaksonskom sistemu socijalne zaštite ohrabрили su druge zemlje da istražuju mogućnost implementacije takvih politika. Pojavilo se nekoliko istraživačkih radova sa fokusom na zemljama kao što su Italija, koju karakteriše niska participacija na tržištu rada nisko obrazovanih žena i žena bez kvalifikacija, visok nivo siromaštva kod zaposlenih, nedostatak programa za podršku zapošljavanju, visoke marginalne stope poreza na zarade, i rasprostranjena tradicija venčanih parova sa muškim izdržavaocem (Colonna and Marcassa 2011, Figari 2011, De Lucca, Rossetti and Vuri 2012). Figari (2011) u svom istraživanju pokazuje da bi porodične beneficije za rad dovele do prosečnog rasta ponude rada žena od 3 p.p. Ukoliko bi bile uvedene individualne naknade one bi imale značajniji podsticaj za žene u paru (participacija na tržištu rada povećava se za 5 p.p.). Najveću korist od politika imaju najsiromašniji pojedinci. Slični rezultati, pogotovo za parove sa decom na samom dnu raspodele dohotka mogu se naći i kod De Lucca, Rossetti and Vuri (2012). Colonna and Marcassa (2011) ukazuju da beneficije za rad pojačavaju stopu participacije žena sa niskim nivoom obrazovanja.

### **3. METODOLOGIJA, PODACI I PARAMETRIZACIJA POLITIKA**

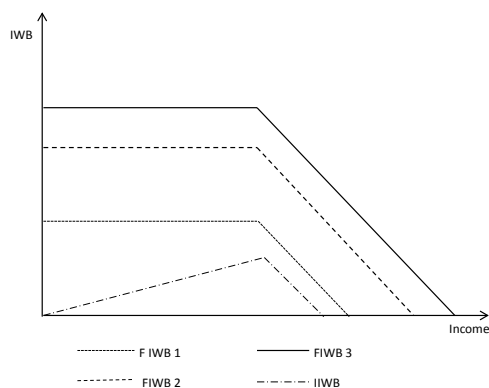
Ovo istraživanje kombinuje mikrosimulacioni model poreza i socijalnih naknada sa strukturnim, ekonometrijskim modelom ponude rada. Mikrosimulacioni model nam omogućava da reprodukujemo budžetsko ograničenje za svako domaćinstvo nakon uvođenja beneficije za rad, dok model ponude rada bira preferiranu kombinaciju časova rada i raspoloživog dohotka, nakon takve intervencije.

Model poreza i naknada za Srbiju (SRMOD) baziran je na Anketi o životnom standardu (ARS) iz 2007. godine koji sadrži detaljne socio-ekonomske informacije za 17.375 pojedinaca koji žive u 5.575 domaćinstava (Randelović and Žarković-Rakić 2013). Sličan model za Makedoniju (MKMOD) baziran je na Anketi o prihodima i uslovima života iz 2011. godine (4.000 domaćinstava / 13.800 pojedinaca).

Beneficije za rad za obe zemlje su dizajnirane po uzoru na britansku verziju poreskog kredite za zaposlene porodice. Izabrali smo ovaj model s obzirom da je on najčešće analiziran i diskutovan u literaturi. Dodatno, pokazalo se da je posebno efikasan u zemljama sa visokom neaktivnošću i nezaposlenošću među ženama, što je takođe slučaj u Srbiji i Makedoniji.



Testirani su efekti četiri varijante beneficija za rad: jedne individualne, koja uzima u obzir dohodak pojedinca, i tri porodične naknade, gde se test imovinskog stanja sprovodi na nivou domaćinstva (Grafikon 1.).



**Grafikon 1:** Dizajn beneficija za rad

Prvi tip porodične naknade je usmeren na jednočlana domaćinstva u kojima pojedinac radi puno radno vreme (FIWB1). Druga šema politike bazirane na porodici (FIWB2) odnosi se na samohrane roditelje i parove koji rade skraćeno radno vreme (samohrani roditelji i parovi sa decom koji rade minimum 16 sati nedeljno i parovi bez dece koji rade minimum 30 sati nedeljno). Poslednji tip porodične naknada (FIWB3) odnosi se na samohrane roditelje i parove koji rade puno radno vreme (40 sati nedeljno ili više). U svakoj od ovih šema, porodice imaju pravo na punu naknadu u određenom iznosu (koja se razlikuju u zavisnosti od tipa porodice) ukoliko je njihov dohodak ispod određenog nivoa (koji se takođe razlikuju u zavisnosti od tipa porodice). Kada naknada pređe ovaj nivo, postepeno se smanjuje po stopi od 0.37.

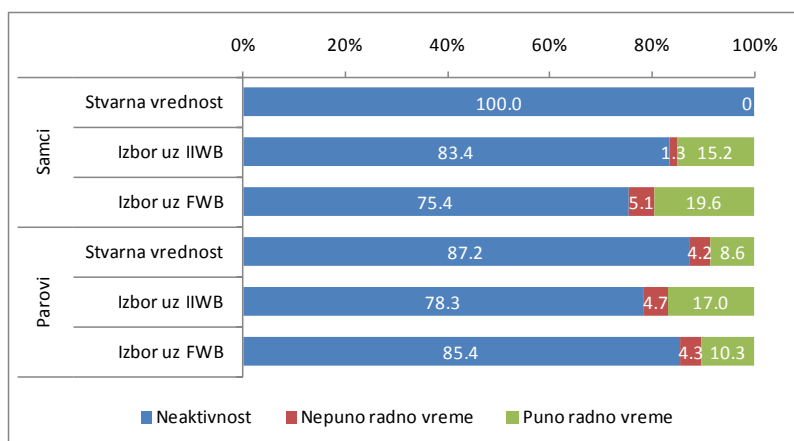
Da bi postojali podsticaji za rad ne samo za osobe sa niskim zaradama, već i za pojedince sa niskim satnicama, uvodi se šema zasnovana na pojedincu (IIWB). Ova naknada tretira sve radnike na isti način, nezavisno od njihovog porodičnog statusa. Naime, svi zaposleni najmanje 16 sati nedeljno koji ostvaruju dohodak ispod određenog nivoa imaju pravo na ovu subvenciju zarade. Individualne naknade nisu linearne, kao u slučaju porodičnih, već se uvode po stopi od 0.36, dostižući maksimalni iznos na određenom nivou dohotka nakon koga se postepeno umanjuju po stopi od 0.37.

#### 4. REZULTATI

U Srbiji i Makedoniji i individualne i šeme bazirane na porodici imaju za rezultat povećanje učešća na tržištu rada za osobe koje nisu u braku, pri čemu su efekti veći u slučaju porodičnih naknada. U slučaju Srbije, porodične naknade bi povećale zaposlenost samaca za 10.2 p.p., a u Makedoniji za 5.8 p.p. Na drugoj strani, ukoliko bi isti ovi pojedinci bili kvalifikovani za individualne umesto porodičnih naknada njihova neaktivnost bi se smanjila za 6.7 p.p. u Srbiji, i 2.2 p.p. u Makedoniji. U okviru obe šeme većina novoaktiviranih pojedinaca bi se odlučila za puno radno vreme, dok bi se samo ograničeni broj njih prebacio iz neaktivnosti u zaposlenost sa delimičnim radnim vremenom.

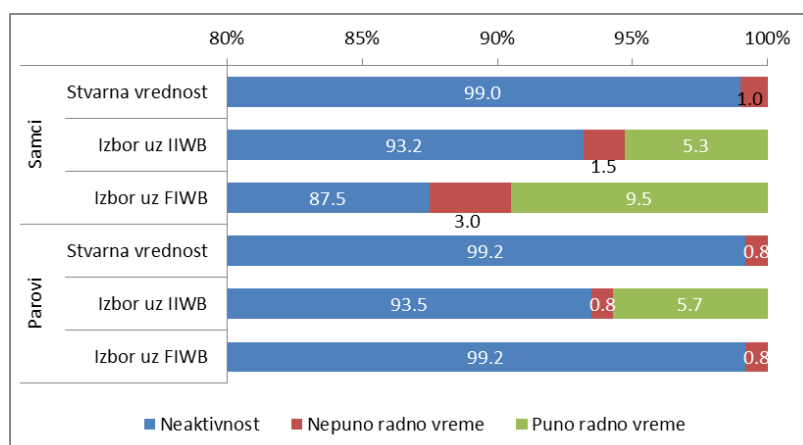
Kod osoba u braku, u obe zemlje samo politike koje su bazirane na individualnim primanjima bi uticale na povećanje njihove ponude rada i to 2.5 p.p. u Makedoniji i 2.4 p.p. u Srbiji.

Naše istraživanje potvrđuje rezultate iz drugih zemalja - beneficije za rad imaju mnogo veće efekte na ponudu rada za osobe sa niskim dohocima. Pre uvođenja individualnih naknada, u Srbiji nijedan pojedinac iz poslednjeg kvintila raspodele dohotka nije učestvovao na tržištu rada, dok bi nakon uvođenja 15.2% njih prešlo iz neparticipacije u punu zaposlenost. U slučaju porodične šeme, efekti na ponudu rada na prvi kvintil bi bili čak i veći – ponuda rada bi se povećala za 19.6 p.p. u korist opcije sa punim radnim vremenom i za 5.1 p.p. u korist opcije sa delimičnim radnim vremenom (Grafikon 2).



**Grafikon 2:** Participacija na tržištu rada sa i bez beneficije za rad, Srbija, prvi kvintil raspodele dohotka

U Makedoniji, rezultati za siromašne pojedince ukazuju da učešće pune zaposlenosti raste sa nule za 5.3 p.p. u slučaju individualnih politika i za 9.5 p.p. u slučaju alternativa baziranih na porodici (Grafikon 3). U pogledu parova, jedino politike procenjene na osnovu individualnih zarada smanjuju neaktivnost utičući na rast pune zaposlenosti za 5.7 pp (Grafikon 3.).



**Grafikon 3:** Participacija na tržištu rada sa i bez beneficije za rad, Makedonija, prvi kvintil raspodele dohotka

#### 4. ZAKLJUČAK

Naknade koje su uslovljene zaposlenošću i usmerene na pojedince koji se suočavaju sa izazovima na tržištu rada, danas se koriste u više od polovine OECD zemalja. Ponuda rada u zemljama OECD poslednjih decenija je umanjena usled velikodušnih šema socijalne pomoći. U Srbiji i Makedoniji to nije slučaj, jer se podsticaji za neprihvatanje nisko plaćenih poslova nalaze u naglom smanjenju socijalne pomoći u trenutku kada osoba ostvari bilo kakav dohodak od formalnog zaposlenja. Stoga, mala razlika između dohotka od posla i van posla (kao što je socijalna pomoć) sprečava primaoca socijalnih naknada da počnu sami sebe da izdržavaju. Dodatno, visoko poresko opterećenje nisko plaćenog rada odvraća poslodavce od zapošljavanja ove vrste radnika. Uvođenje beneficija za rad u Srbiji i Makedoniji bi znatno podstaklo ponudu rada, naročito kod lica sa niskim dohocima i sposobnošću zarađivanja, tako da bi ova mera bila ne samo ekonomski efikasna, već i redistributivno korisna, jer bi dovela do smanjenja stope siromaštva.

#### LITERATURA

- [1] Arandarenko, M. & Vukojević, M. (2008). Labour costs and labour taxes in Western Balkans. World Bank
- [2] Bell, K. (2005). Tackling poverty and making work pay: can tax credits do better? Presentation given at Institute for Fiscal Studies, 15 September 2005. [http://www.ifs.org.uk/docs/bell\\_taxcredits05.ppt#5](http://www.ifs.org.uk/docs/bell_taxcredits05.ppt#5)
- [3] Brewer, M. (2006). Tax credits: fixed or beyond repair? Green Budget – January 2006. <http://www.ifs.org.uk/budgets/gb2006/06chap7.pdf>

- [4] Colonna, F. & Marcassa, S. (2011). Taxation and labour force participation: the case of Italy. Available at: [www-3.unipv.it/websiep/2011/201199.pdf](http://www-3.unipv.it/websiep/2011/201199.pdf)
- [5] De Lucca, G., Rossetti, C., & Vuri, D. (2012). In-work benefits for married couples: an ex-ante evaluation of eitic and wtc policies in Italy, IZA Discussion Papers 6739, Institute for the Study of Labor (IZA)
- [6] Figari, F. (2011). From housewives to independent earners: Can the tax system help Italian women to work?. Institute for Social and Economic Research, University of Essex Working paper series, No. 2011-15 June 2011
- [7] Randelović, S. & Žarković Rakić, J. (2013). Improving working incentives: evaluation of tax policy reform using SRMOD, International Journal of Microsimulation 6(1): 157-176
- [8] St Martin, A. & Whiteford, P. (2003). More jobs and better pay. OECD Observer No. 239, September 2003



## **PRIVREDA I EKONOMIJA KAO SEGMENT OKOSNICE BRENDIRANJA GRADA**

## **BUSINESS AND ECONOMY AS A SEGMENT OF A SCORE BRANDING OF A CITY**

MIRJANA MILJANOVIĆ

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet za proizvodnju i menadžment, mirjana@teol.net

**Rezime:** *Realizacijom koncepcije brendiranja dolazimo do konkurentskog grada, grada koji je atraktivan, siguran, ekološki osviješten, grada s visokim kvalitetom infrastrukture, konkurentskim poreznim i neporeznim davanjima, razvijenim ljudskim kapitalom i vlastitom posebnosti (kulturnom, istorijskom i društvenom), čime takav grad postaje uspješan i prepoznatljiv, te sa velikom vjerovatnoćom ostvarivanja svih zacrtanih smjernica vlastitog razvoja. Brend mjesta su inherentno drukčija od drugih oblika brendova, i brendiranje mjesta je proces koji prije proizlazi iz interpretacije, nego menadžerskih tehnika. U ovom radu je posmatran samo jedan segment okosnice brendiranja grada, a odnosi se na privredu i ekonomiju koja je posmatrana kroz: ekonomsku situaciju u gradu, stanje poslovnog okruženja, zaposlenost/nezaposlenost i turizam.*

**Ključne reči:** *brend, brendiranje grada, razvoj mjesta, ekonomija grada, privreda grada*

**Abstract:** *The implementation of the concept of branding is becoming the result a competitive city, a city that is attractive, safe, environmentally conscious, a city with high quality infrastructure, competitive tax and non-tax payments, developing human capital and its own distinctiveness (cultural, historical and social) to such city becomes successful and known and large the probability of all the set guidelines of their own development. Brand cities are inherently different from other forms of brands and branding of a city is the process before the results from the interpretation, rather than managerial techniques. In this paper we observed only one segment of a score branding of a city, referring to the business and the economy, which is observed through: the economic situation in the city, the state of the business environment, employment/unemployment and tourism.*

**Keywords:** *brand, branding of a city, development of a place, city economy, city industry*



## UPRAVLJANJE ODNOSIMA SA KLIJENTIMA U AVIO KOMPANIJAMA

## CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT IN AIRLINE COMPANIES

Marija Vulović<sup>1</sup>, Dragana Mutavdžić<sup>2</sup>, Aleksandra Vukmirović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Republički zavod za statistiku, Beograd, marija.vulovic@stat.gov.rs

<sup>2</sup> Stata doo, Beograd, aleksandra.vukmirovic@stata.rs

---

**Rezime:** Cilj rada je da prikaže koliko je upravljanje odnosima sa klijentima (CRM) postalo bitna komponenta u strategijama za razvoj avio kompanija. Uticaj društvenih mreža u svakodnevnom životu, kao što je oglašavanje putem Facebook-a, Twitter-a i drugih internet sajtova je omogućila avio kompanijama da unaprede CRM. Približavanje avio kompanija svojim klijentima, podstiče njihovu lojalnost stvarajući povezanost i želju za ponovnim korišćenjem usluga.

**Ključne reči:** CRM, avio kompanije, društvene mreže, lojalnost

**Abstract:** This paper aims to present how customer relationship management (CRM) has become an essential component in the strategies for the development of airlines. The influence of social networks in everyday life, such as advertising on Facebook, Twitter and other internet sites, has enabled airlines to improve CRM. By developing closer relationships with their customers, airlines increase customer loyalty, creating connections and a desire to use services again.

**Keywords:** CRM, airlines, social networks, loyalty

**POSLOVNA  
INTELI GENCIJA I  
ODLUČIVANJE**



## PREDIKCIJA DUŽINE STUDIRANJA NA OSNOVU OCENA SA PRVE GODINE OSNOVNIH AKADEMSKIH STUDIJA

### STUDY LENGTH PREDICTION OF STUDY BASED ON ACHIEVEMENT AT FIRST-YEAR OF UNDERGRADUATE STUDIES

SONJA IŠLJAMOVIĆ<sup>1</sup>, SRĐAN LALIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, sonjaislamovic@gmail.com

<sup>2</sup> Republički zavod za statistiku, Republika Srbija, srdjan.lalic@stat.gov.rs

**Rezime:** *Kontinualna analiza performansi uspeha studenata tokom procesa visokoškolske edukacije predstavlja značajan proces u radu obrazovnih institucija, profesora ali i samih studenata. Otkrivanje zakonitosti u podacima iz oblasti edukacije se fokusira na razvoj modela i metoda, na analizi i istraživanju podataka prikupljenih u obrazovnom okruženju, kako bi se bolje razumeli ali i unapredili obrazovni procesi. Analiziranje i utvrđivanje obrazaca među podacima koji predstavljaju pokazatelje akademskog uspeha (prosečno vreme provedeno na studijama) i njihove povezanosti sa studentskim podacima (ocenama) može biti dobar temelj u procesu adaptacije i poboljšanja nastavnog plana i programa visokoškolskih ustanova, u skladu sa karakteristikama studenata. U ovom radu korišćene su metode regresione analize i veštačke neuronske mreže, kako bi pronašli najbolji model za predviđanje uspeha studenata, u pogledu prosečne dužine studiranja. Pored toga, izvršena je identifikacija i kvantifikacija faktora koji su imali presudan uticaj na određivanje dužine studiranja tokom procesa predviđanja. Istraživanje je sprovedeno nad podacima o diplomiranim studentima Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.*

**Ključne reči:** *otkrivanje zakonitosti u podacima, uspeh studenata, veštačke neuronske mreže, visokoškolska edukacija*

**Abstract:** *University students' retention and performance in higher education are important issues for educational institutions, educators, and students. Educational data mining is focused on developing models and methods for exploring data collected from educational environments in order to better understand and improve educational process. Analyzing and determining patterns among indicators of academic success (average study length) and their correlation to students' admission data can present be a good foundation in process to adapt and improve the curriculum of higher education institutions, according to the students' characteristics. In this paper we use different regression and artificial neural network algorithms in order to find the best suited model for prediction of students' success. Additionally, we identified which factors had the crucial influence on study length. Data were collected from the graduated students of Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade.*

**Keywords:** *educational data mining, student success, artificial neural network, university education*

#### 1. UVOD

U uslovima globalizacije, svetske ekonomije i kontinualnog tehničko-tehnološkog razvoja, akademsko obrazovanje predstavlja jednu od ključnih uloga u procesu modernizacije zemlje i postizanje konkurentne prednosti. Proces permanentnog obrazovanja i razvoja ljudi postaje sve značajniji koncept, prema kome može biti determinisan uspeh društva u celini, bilo u poslovnom ili nacionalnom aspektu. Uticaj akedemski edukovanih ljudi treba da doprinese stabilizaciji i prosperitetu privrede i društva, pre svega na regionalnom, a potom i na globalnom nivou.

Kao dva ključna aspekta uspešnosti studiranja, mogu se definisati ostvarena prosečna ocena na studijama i vreme provedeno na studijama. U ovom istraživanju, modeli regresione analize i veštačkih neuronskih mreže koristeće se sa ciljem da se napravi sistem za rano predviđanje dužine studiranja za svakog studenta na osnovu njihovog uspeha na ispitima sa prve godine osnovnih akademskih studija. Rana predikcija dužine studiranja treba da pomogne nastavnom kadru, kao indikator za uspešne studente koji imaju potencijal za

napredne kurseve, a isto tako i kao indikator za studente kojima je potrebna dodatna edukacija u cilju poboljšanja njihovog znanja. S druge strane, razvijanjem što preciznijeg modela za predikciju, studenti bi mogli da sagledaju budući uspeh studiranja, shodno postojećim navikama učenja, rad i rezultata. Sagledavajući preostalo vreme koje se očekuje da će provesti na studijama, studenti imaju mogućnost da poboljšaju svoji uspeh.

Proces predviđanja prosečne dužine studiranja, koji će biti predstavljen u ovom radu, ima sledeću strukturu: u drugom delu rada biće predstavljeni koncepti za predviđanje uspešnosti studiranja, prema trenutno dostupnoj literaturi. U trećem delu rada, biće predstavljeni osnovni metodološki koncepti regresione analize i veštačkih neuronskih mreža, koji će se koristiti kao osnovne metode za predviđanje dužine studiranja. U centralnom delu rada biće predstavljeni relevantni eksperimentalni rezultati celokupnog procesa predikcije dužine studiranja nad realnim podacima o studentima i njihov uspeh na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Zaključno peto poglavlje daje pregled postignutih rezultata i mogućnosti njihove implementacije, kao i smernice za dalja istraživanja.

## **2. PREGLED OBLASTI OTKRIVANJA ZAKONITOSTI U PODACIMA IZ OBLASTI EDUKACIJE**

Formiranjem jedinstvenih baza sa podacima o studentima (ličnim podacima o studentu kao i predmetima i ocenama sa studija) kao jednog od ciljeva obrazovanja do 2020. godine, a usled sve veće primene e-obrazovanja i različitih edukativnih i obrazovnih softvera, kao i upotrebe Interneta u obrazovanju, nastaje repozitorijum informacija koji se kontinualno povećava i usložnjava, (Koedinger et al. 2008). Sve te informacije koje dolaze iz oblasti edukacije, predstavljaju “zlatni rudnik“ podataka, koji je potrebno eksploatisati i istražiti kako bi se otkrilo i shvatilo kako studenti uče, usvajaju znanje i kako ga dalje prezentuju i primenjuju (Mostow and Beck 2006). Kao jedan od najvećih izazova današnjice sa kojima se suočavaju obrazovne institucije je eksponencijalni rast podataka edukacije i utvrđivanje optimalnog korišćenja tih podataka da bi se unapredio kvalitet donošenja odluka u cilju poboljšanja obrazovnog procesa (Bala and Ojha 2012).

Sposobnost i mogućnost da se predvidi uspeh studenata, kako na pojedinačnim ispitima, naučnim oblastima, tako i celokupan uspeh studiranja u pogledu ostvarene prosečne ocene i dužine studiranja, skoro podjednako je važna za fakultet i nastavno osoblje, kao i za studente. Otkrivanje zakonitosti u podacima u oblasti obrazovanja i edukacije (Educational Data Mining – EDM), predstavlja relativno novo polje istraživanja, koje se značajno razvilo poslednjih deset godina, kao posebna oblast tehnike primene i alata za otkrivanje pravilnosti i zavisnosti u podacima (data mining), sa ciljem analize jedinstvenih tipova podataka koji se pojavljuju u obrazovnom sistemu, za rešavanje različitih problema i unapređenje obrazovnog i nastavnog procesa (Romero and Ventura 2007, Romero and Ventura 2010).

Primena tehnika i alata za otkrivanje zakonitosti u podacima koji dolaze iz oblasti edukacije postaje sve popularnija poslednjih godina, o čemu svedoči i sve veći broj publikovanih naučnih radova i održanih konferencija (Minaei-Bidgoli and Punch 2003, Schumacher et al. 2010, Etchells et al. 2006, Ayesha et al. 2010, Wook et al. 2009). Istraživanja u smeru otkrivanja zakonitosti nad podacima iz oblasti edukacije mogu imati fokus na različite aspekte obrazovnog procesa: studente ili nastavnike, nastavna sredstva ili organizaciju nastave, planiranje nastavnih kurikuluma ili primenu metoda obrazovanja, itd (Falakmasir and Habibi 2010, Kumar and Chadha 2011, Romero and Ventura 2007, Guruler et al. 2010). Glavni ciljevi i osnovne oblasti primene EDM-a mogu se svrstati u sledeće kategorije: Predviđanje uspeha studenata, organizacija i planiranje nastavnih programa, predviđanje upisa studenata na viši nivo obrazovnog programa, otkrivanje “varanja“ tokom on-line ispita, identifikacija ekstremnih vrednosti u obrazovnom sistemu, (Kumar and Chadha 2011). Da bi se postigli ovi ciljevi, različiti algoritmi otkrivanja zakonitosti u podacima se mogu koristiti kao što su: stabla odlučivanja, veštačke neuronske mreže, K-najbližih suseda, mašine sa vektorima podrške, klaster algoritmi (Ayesha et al. 2010).

Iako su tradicionalno, do pre 15 godina, akademski istraživači najčešće koristili statističke modele i metode u cilju predviđanja uspeh studiranja, danas postoji mnogo različitih pristupa za klasifikovanje studenata shodno njihovim performansama uspeha i predviđanje njihovih ocena. Gonzalez and DesJardins (2002) su pokušali da predvide uspeh studenata, koristeći modele linearne regresije i veštačkih neuronskih mreža. Rezultati njihovog istraživanja ukazuju da regresioni modeli ne predviđaju ponašanje studenata jednako dobro kao i veštačke neuronske mreže. Tomas and Hass (2001) tokom svog istraživanja uporedili su performanse tri različite tehnike otkrivanja zakonitosti u podacima za predviđanje ponašanja studenata: neuronske mreže, algoritme klasterovanja i stabla odlučivanja, gde je model zasnovan na neuronskim mrežama dao najbolje rezultate. Delgado (Delgado et al. 2006) koristili su neuronske mreže za predviđanje uspeha studenata na ispitima, definisanih sa binarnim klasama (prolaze ili ne). Guo (Guo 2010) je koristio modele veštačke neuronske mreže za razvoj dinamičkih modela za analizu i predviđanje zadovoljstva



studenta određenim kursom, ispitom. U istraživanju (Isljamovic et al. 2012) za predviđanje performansi studiranja korišćeno je nekoliko metoda otkrivanja zakonitosti u podacima kako bi se izvršila adekvatna preporuka u odabiru izbornih predmeta sa četvrte godine akademskih studija na kojima bi studenti trebali da ostvare dobre rezultate, gde su modeli zasnovani na veštačkim neuronskim mrežama dali najbolje rezultate.

### 3. METODI OTKRIVANJA ZAKONITOSTI U PODACIMA IZ OBLASTI EDUKACIJE ZA PREDIKCIJU DUŽINE STUDIRANJA

U skladu sa dostupnom literaturom i postojećim istraživanjima, u procesu predviđanja dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine akademskih studija, u ovom radu korišćena su dva različita skupa metoda i tehnika, gde prva predstavlja jednu od tradicionalnih metoda, dok druga predstavlja metodu predikcije koja je u prethodnim istraživanjima davala najbolje rezultate, a to su:

- **Regresiona analiza** - predstavlja metod kojim se ispituje i utvrđuje zavisnost između dve ili više promenljivih, odnosno sagledava se uticaj promene jedne ili više promenljivih na promenu drugih promenljivih. Cilj regresije je naći ciljnu funkciju koja može da "ukalupi" ulazne podatke sa minimalnom greškom radi dobijanja izlazne vrednosti. Za razvoj modela regresije, u ovom istraživanju, biće korišćenja četiri regresiona metoda:
  - *Enter (Enter)* - Metod izgradnje regresionog modela gde sve ulazne vrednosti (atributi, varijable), direktno ulaze u jednačinu i jednako utiču na izlaznu vrednost.
  - *Stepwise(Postupno)* - Metod izgradnje regresionog modela kroz postepeni selektivni odabir ulaznih vrednosti. Početni model je jednostavan, a pri svakom koraku uključuju se nove varijable, kako bi se utvrdila njihova značajnost na nivou celokupnog modela. Ulazne varijable koja mogu biti značajne za preciznost i performanse modela se evaluiraju u svakoj iteraciji da bi se odredio njihov potencijalni uticaj na celokupni model.
  - *Backwards (Unazad)*- Metod izgradnje regresionog modela kroz postepeni odabir varijabli, gde početni model sadrži sve potencijalne ulazne varijable, a kroz proces izgradnje modela mogu se iz modela isključiti varijable koje nemaju značajan uticaj na celokupan model.
  - *Forwards(Unapred)* - Metod izgradnje regresionog modela gde početni model ne sadrži ulazne vrednosti, varijable, a u svakoj iteraciji ulazne vrednosti, varijable koje nisu bile uključene u model se testiraju na osnovu toga kako bi mogli da utiču na celokupni model, i na osnovu toga koja varijabla ima najznačajniji uticaj u zadatoj iteraciji se uključuje u model.
- **Veštačke neuronske mreže** – osnovni zadatak je da oponaša biološku neuronsku mrežu na nivou veoma ograničenih koncepata iz bioloških neuronskih sistema. Koncepti koji se koriste uključuju elemente masivnog paralelnog procesiranja. Veštačke neuronske mreže su prvenstveno namenjene da modeliraju aktivnosti ljudskog mozga, ali ljudski mozak je znatno kompleksniji, tako da modeli neuronskog računanja ne predstavljaju potpuno tačnu reprezentaciju pravog biološkog sistema. U okviru razvoja modela neuronskih mreža u Clementini, kako bi se pronašao što kvalitetniji model za predviđanje dužine studiranja, u okviru ovog istraživanja biće korišćeno šest različitih metoda izgradnje neuronske mreže:
  - *Quick* - metod koji koristi heuristička pravila i karakteristike podataka da bi odabrao odgovarajuću topologiju mreže.
  - *Dynamic* - metod koji automatski kreira inicijalnu topologiju, a zatim dodaje ili oduzima skrivene čvorove u toku treninga.
  - *Multiple* - metod koji kreira nekoliko mreža sa različitim topologijama, gde tačan broj zavisi od količine podataka za trening. Ove mreže se treniraju paralelno, a model sa najmanjom greškom se prikazuje kao konačan model.
  - *Prune* - metod koji inicijalno kreira veliku mrežu (puno skrivenih slojeva i čvorova), a zatim uklanja najslabije jedinice iz ulaznog i skrivenih slojeva.
  - *RBFN (radial basis function network)* - koristi tehniku sličnu *k-means* algoritmu klasterovanja da bi grupisala podatke u skladu sa izlaznom promenljivom.
  - *Exhaustive prune* - metod koji je sličan *Prune* metodu, koji inicijalno kreira veliku mrežu a zatim uklanja najmanje značajne attribute ulaznog i skrivenih slojeva uz veoma detaljnu pretragu prostora mogućih modela, kako bi se našao najbolji mogući.

## 4. PREDIKCIJA PROSEČNE DUŽINE STUDIRANJA

Ovim istraživanjem obuhvaćeno je pet generacija studenata Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, koji su upisivani na osnovne akademske studije od 2005. godine i diplomirali zaključno sa decembrom 2013. godine. Za analizu podataka i razvoj produkcionih modela korišćeno je softversko okruženje Clementina (SPSS).

### 4.1. Odnos prosečne dužine studiranja i ocena na predmetima prve godine

Sagledavajući zavisnost prosečne dužine studiranja i ocena postignutih na predmetima sa prve godine osnovnih akademskih studija, dobijeni su rezultati prikazani u tabeli 1. Studenti koji imaju ocene 10 na predmetima sa prve godine studija, u proseku imaju najkraće vreme studiranja, koje iznosi oko 4 godine i 6 meseci, a među njima oni koji imaju ocenu 10 iz predmeta Ekonomija, imaju najkraće vreme studiranja od 4 godine i 4 meseca, a najduže vreme od 4 godine i 6 meseci je kod studenata koji imaju ocenu 10 iz predmeta Psihologija/Sociologija. Slično kao i kod ocene 10 iz predmeta Ekonomija, studenti koji su iz tog predmeta dobili ocenu 9 ili ocenu 7 imaju najkraće vreme studiranja u odnosu na kolege sa ostalim ocenama 9, odnosno ocenama 7. Studenti koji imaju ocenu 6 iz predmeta Osnovi informaciono-komunikacionih tehnologija, u proseku imaju najduže vreme studiranja od 6 godina i 1 mesec, dok studenti koji imaju ocene 6 iz predmeta Engleski jezik 1, Engleski jezik 2, Matematika 1 i Matematika 2 imaju najkraće vreme studiranja među studentima koji imaju ocenu 6, i ono iznosi 5 godina i 3 meseca.

**Tabela 1:** Istraživanje povezanosti prosečne dužine studiranja sa ocenama na predmetima sa prve godine

Prosečna dužina studiranja po predmetu	Ocene na predmetu				
	6	7	8	9	10
<i>Ekonomija</i>	5.357±1.056	5.014±0.993	4.949±0.978	4.684±0.845	4.354±0.667
<i>Engleski jezik 1</i>	5.292±1.073	5.142±0.959	4.937±1.005	4.72±0.958	4.456±0.739
<i>Engleski jezik 2</i>	5.299±1.049	5.248±1.041	4.979±1.039	4.735±0.841	4.474±0.741
<i>Matematika 1</i>	5.294±1.059	5.214±1.057	4.905±0.997	4.754±0.87	4.546±0.73
<i>Matematika 2</i>	5.273±1.102	5.191±1.008	4.995±1.023	4.735±0.9	4.506±0.711
<i>Menadžment</i>	5.568±1.116	5.213±1.087	4.93±0.93	4.75±0.846	4.522±0.73
<i>Osnovi informaciono-komunikacionih tehnologija</i>	6.047±1.24	5.329±1.082	4.977±0.966	4.785±0.9	4.653±0.814
<i>Osnovi organizacije</i>	5.657±1.11	5.38±1.084	5.069±1.005	4.868±0.937	4.535±0.712
<i>Proizvodni sistemi</i>	5.313±1.025	5.371±1.032	5.19±1.087	4.906±0.93	4.455±0.707
<i>Psihologija/ Sociologija</i>	5.42±0.987	5.314±1.044	5.046±1.005	4.864±1.043	4.615±0.804
<i>Uvod u informacione sisteme</i>	5.863±1.066	5.206±1.039	5.02±1.003	4.735±0.869	4.426±0.671

### 4.2. Predikcija dužine studiranja na osnovu uspeha na prvoj godini akademskih studija

Proces predviđanja dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine osnovnih akademskih studija, zasniva se na 11 ulaznih parametara za svakog od studenata, shodno ocenama koje su dobili u prvom i drugom semestru studija, sa ciljem da se predvidi za koliko godina će završiti fakultet. Zasnivajući razvoj modela na prethodno predstavljenim modelima regresije, stabla odlučivanja i neuronske mreže, razvijen je poseban set modela za predviđanje dužine studiranja. Za predviđanje dužine studiranja, skup podataka nad kojima je rađena analiza, podeljen je u 3 dela: deo za razvoj modela, koji će činiti 70% podataka, zatim skup podataka za testiranje i skup podataka za validaciju rezultata, gde će svaki set podataka sadržati po 15% od ukupnog broja podataka, i testiranje i validacija će se vršiti nad podacima koje sistem nije imao na uvid tokom razvoja modela. Po kriterijumima apsolutne prosečne greške, standardne devijacije i koeficijenta linearne regresije na nivou svake grupe modela biće određen najbolji model, a nakon toga, za sveukupno najbolji model, biće izračunata tačnost i značajnost svih ulaznih atributa.

Rezultati predikcije dužine studiranja kod regresionih modela, prikazani su u Tabeli 2. Sagledavanjem ostvarenih rezultata, može se zaključiti da su svi modeli dali bliske rezultate, sa jako malim razlikama, od po 0.001 po svim kriterijumima, a kao najbolji mogu izdvojiti modeli zasnovani na *Backward* i *Forwards* algoritmima, kod kojih je koeficijent linearne regresije 0.849.

**Tabela 2:** Rezultati predikcije regresionih modela za predviđanje dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine studija

	<i>Apsolutna prosečna greška</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>Linearna korelacija</i>
<i>Regression Enter</i>	0.411	0.494	0.852
<i>Regression Stepwise</i>	0.410	0.496	0.848
<i>Regression Backward</i>	<b>0.410</b>	<b>0.495</b>	<b>0.849</b>
<i>Regression Forwards</i>	<b>0.410</b>	<b>0.495</b>	<b>0.849</b>

Rezultati razvijenih modela zasnovanih na neuronskim mrežama, za predikciju dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine studija, prikazani su u sledećoj tabeli, Tabela 3. Najbolji rezultat po svim kriterijumima ostvario je model neuronske mreže sa *Exhaustive Prune* algoritmom, koji ima koeficijent linearne korelacije 0.887 i 83.166% tačnosti u procesu validacije rezultata. Sam model neuronske mreže sadrži 11 neurona u ulaznom sloju, dva neurona u jednom skrivenom sloju i jedan izlazni koji predstavlja predikcioni broj dužine studiranja. Usvajanjem takvog višeslojnog modela veštačke neuronske mreže kao optimalnog modela za predikciju dužine studiranja, nakon završene prve godine osnovnih studija, za svakog studenta će sa oko 85% tačnosti moći da se predvidi u kom vremenskom intervalu će završiti fakultet.

**Tabela 3:** Rezultati predikcije neuronskih mreža za predviđanje dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine studija

	<i>Apsolutna prosečna greška</i>	<i>Standardna devijacija</i>	<i>Linearna korelacija</i>
<i>NNQuick</i>	0.384	0.466	0.843
<i>NNDynamic</i>	0.361	0.445	0.857
<i>NNMultiple</i>	0.364	0.439	0.864
<i>NNPrune</i>	0.359	0.413	0.882
<i>NNRBFN</i>	0.360	0.422	0.875
<i>NNExPrune</i>	<b>0.355</b>	<b>0.402</b>	<b>0.887</b>

Ocnom značajnosti ulaznih atributa u modelu neuronske mreže sa *Exhaustive Prune* algoritmom, kao najznačajniji atributi izdvojile su se ocene sa predmeta: Uvod u informacione sisteme, Osnove informaciono-komunikacionih tehnologija, Matematika 2 i Proizvodni sistemi, kao što se može videti u tabeli 4, gde navedeni atributi imaju značajnost veću od 0.1. Uzimajući u obzir ocene iz predmeta koji su izdvojili kao krucijalni u procesu predikcije dužine studiranja, može se zaključiti da studenti koji ostvare najviše ocene na navedenim predmetima, u proseku završavaju fakultet za 4 godine i 8 meseci, dok ukoliko iz istih predmeta ostvaruju ocene 6 ili 7 njihova prosečna dužina studiranja će iznositi 5 godina i 11 meseci.

**Tabela 4:** Rezultati značajnosti atributa u najboljem modelu za predviđanje dužine studiranja na osnovu ocena sa prve godine studija

<i>Ulazni atributi</i>	<i>Značajnost atributa</i>
Engleski jezik 1	0.05602
Engleski jezik 2	0.08439
Ekonomija	0.07053
Matematika 1	0.08847
Matematika 2	<b>0.10893</b>
Menadžment	0.06591
Osnove informaciono-komunikacionih tehnologija	<b>0.12665</b>
Osnovi organizacije	0.09335
Proizvodni sistemi	<b>0.11054</b>
Psihologija/Sociologija	0.06672
Uvod u informacione sisteme	<b>0.12906</b>

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu, razvijene su dve grupe modela za predviđanje uspeha studenata, u pogledu vremena provedenog na studijama, sa ciljem da se pomogne profesorima u identifikaciji studenta koji imaju potencijal

za dalje usavršavanje. Takođe, na osnovu predikcije dužine studiranja, menadžment fakulteta će imati mogućnost da adekvatnije planira resurse za realizaciju nastave shodno broju studenata. Koristeći podatke o studentima nakon završene prve godine osnovnih akademskih studija, kao ulazne varijable, razvijeni modeli kao rezultat primene metoda regresione analize i višeslojne neuronske mreže imaju sposobnost da predvide uspeh studenata u pogledu prosečne dužine studiranja. Razvoj takvog modela daje šansu prepoznavanja koji aspekti obrazovnog plana i programa treba da bude poboljšana kako bi primorao učenike da rade više i unaprede svoje znanje u pojedinim naučnim granama, kako bi optimizovali prosečno vreme završetka studija. Ovako kreiran model trebao bi da bude od koristi i studentima, omogućavajući im da sagledaju koliko vremena će im potrebno da završe fakultet shodno postojećim navikama učenja i usvajanja znanja.

Budući pravci razvoja biće pre svega bazirani na primeni i drugih metoda otkrivanja zakonitosti u podacima, kao što su stabla odlučivanja ili klaster algoritmi. Sa druge strane dalji razvoj istraživanja u pogledu predviđanja dužine studiranja može se bazirati i na uključivanju većeg broja ulaznih varijabli, pre svega socio-ekonomskih i demografskih indikatora kao ličnih karakteristika svakog studenta.

## LITERATURA

- [1] Ayesha, S, Mustafa, T., Sattar, A.R. & Khan, M.I. (2010). Data Mining Model for Higher Education System, *European Journal of Scientific Research*, Vol.43, No.1, 24-29.
- [2] Bala, M. & Ojha, D.B. (2002). Study of applications of data mining techniques in education, *International J Res Sci Technol*, 1: 1–10.
- [3] Etchells, T., Nebot, A., Vellido, A., Lisboa, P.J. & Mugica, F. (2006). Learning What is Important: Feature Selection and Rule Extraction in a Virtual Course, in *The 14th European Symposium on Artificial Neural Networks, ESANN, Bruges, Belgium*, 401–406.
- [4] Falakmasir, M.H. & Habibi, J. (n.d.) (2010). Using Educational Data Mining Methods to Study the Impact of Virtual Classroom in e-Learning, [www.educationaldatamining.org](http://www.educationaldatamining.org), 241-248.
- [5] Gonzalez, J.M. & DesJardins, S.L. (2002). Artificial neural networks: A new approach to predicting application behaviour, *Research in Higher Education*, 43(2), 235–258.
- [6] Guo, W.W. (2010). Incorporating statistical and neural network approaches for student course satisfaction analysis and prediction, *Expert Systems with Applications*, 37(4), 3358-3365.
- [7] Guruler, H., Istanbulu, A. & Karahasan, M. (2010). A new student performance analysing system using knowledge discovery in higher educational databases. *Computers & Education*, 55(1), 247-254.
- [8] Işljamović, S, Vukićević, M. & Suknović, M. (2012). Demographic influence on students' performance - case study of University of Belgrade, *TTEM-Technics Technologies Education Management*, 7(2), 645-666, ISSN 1840-1503.
- [9] Koedinger, K, Cunningham, K, Skogsholm, A. & Leber, B. (2008). An open repository and analysis tools for fine-grained, longitudinal learner data, In: *First International Conference on Educational DataMining. Montreal, Canada*; 157–166.
- [10] Minaei-Bidgoli & Punch, B. (2003). Using Genetic Algorithms for Data Mining Optimization in an Educational Web-based System, *Genetic and Evolutionary Computation*, vol. 2, 2252–2263.
- [11] Mostow, J. & Beck, J. (2006). Some useful tactics to modify, map and mine data from intelligent tutors, *J Nat Lang Eng* 12,195–208.
- [12] Romero, C. & Ventura, S. (2011). Educational data mining: a review of the state-of-the-art, *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. C Appl. Rev.*, 40(6), 601–618.
- [13] Romero, C. & Ventura, S. (2007). Educational data mining: A survey from 1995 to 2005, *Expert Systems with Applications*, 33(1), 135-146.
- [14] Schumacher, P., Olinsky, A., Quinn, J. & Smith, R. (2010). A Comparison of Logistic Regression, Neural Networks, and Classification Trees Predicting Success of Actuarial Students, *Journal of Education for Business*, 85(5), 258-263, 2010.
- [15] Thomas, J. & Hass, M. (2011). Data Mining in Higher Education: University Student Declaration of Major, *Information Systems*.
- [16] Wook, M., Yahaya, Y.H., Wahab, N., Isa, M.R.M., Awang, N.F. & Seong, H.Y. (2009). Predicting NDUM Student's Academic Performance Using Data Mining Techniques, *The Second International Conference on Computer and Electrical Engineering*, 357-361.

## KOMPARATIVNA ANALIZA KLASTEROVANJA NA OSNOVU SAS/STAT PROCEDURA I METODE PROMENLJIVIH OKOLINA NAD PODACIMA IZ BAZE TELEKOM SRBIJA

### COMPARISON OF SAS/STAT PROCEDURES AND VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH BASED CLUSTERING APPLIED ON TELECOM SERBIA DATA

STEFANA JANIĆIJEVIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN UROŠEVIĆ<sup>2</sup>, NENAD MLADENOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Telekom Srbija a.d., stefana@mi.sanu.ac.rs

<sup>2</sup> Matematički Institut, Beograd, {draganu,nenad}@mi.sanu.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu predstavljamo određene klaster analize kako bi se poboljšao kvalitet odlučivanja i donošenja poslovnih odluka u najvećoj srpskoj telekomunikacionoj kompaniji, Telekomu Srbija a.d. Urađena je komparativna analiza nad SAS/STAT metodima klasterovanja i nad metaheurističkom Metodom promenljivih okolina, na tromesečnom skupu podataka korisnika pripejd sistema kompanije. Analiza je pokazala da je pristup Metode promenljivih okolina omogućio rezultat sa manjom greškom, čime se dobija precizniji model podrške odlučivanja u okviru marketing sektora kompanije.

**Cljučne reči:** Metod promenljivih okolina, Klasterovanje, SAS/STAT procedure, Podrška odlučivanju.

**Abstract:** In this study we analyze possibility of improving decision qualities in largest Serbian telecommunication provider, Telecom Serbia a.d. For that purposes we compare qualities of SAS/STAT clustering with Variable Neighborhood Search based methods on three months real data set of prepaid customers. It appears that Variable Neighborhood Search based approach provides results with smaller error, giving more precise decision support to marketing department.

**Keywords:** Variable Neighborhood Search, Clustering, SAS/STAT procedures, Decision Support.

## 1. UVOD

Predstavljamo rad na osnovu istraživanja koje je obavljeno nad bazom podataka Telekoma Srbija a.d., koje je imalo za cilj da se upotrebe napredne tehnologije poslovne analize bazirane na programiranju, statistici, istraživanju i matematičkom modelovanju podataka.

Zadatak je bio pronalaženje paterna, odnosno informacija relevantnih za donosioce odluka kako bi se određena pravila u podacima iskoristila dalje u poslovnoj strategiji i viziji marketinga. Nakon detaljne analize na uzorku određenih obeležja, predlažu se modeli koji bi minimizovali vreme rada a maksimizovali učinak.

Istraživanje se razvilo i rezultiralo radovima u nekoliko pravaca, zbog toga što je uočeno mnogo izazova matematičkog programiranja i optimizacije.

Poslovni modeli su neophodni u svetu vodećih korporacija, poslovnog prestiža konkurencije i kreiranju profita na osnovu jedinstvenih i tačnih ideja, a dobra praksa je takva da su u velikim kompanijama bazirani na osnovama primenjene matematike, programiranja i dejta majninga, odnosno na osnovu automatizovanih i programiranih procedura za pronalaženje relevantnih informacija i merenju važnosti informacija.

U sledećim odeljcima dajemo kratak opis analiziranih podataka i predstavljamo modele koji su urađeni sa ciljem da strateški mehanizmi budu prepoznati i izmereni, kako bi efikasno koristili najnovija naučna dostignuća matematičkog modelovanja i primenili ih u industriji.

U kompaniji Telekom Srbija a.d. bavimo se razvojem alata za biznis obaveštavanje, popularno business intelligence, a pored toga i razvojem modela koji se koriste za segmentacije korisnika.

Zadatku profilisanja korisnika pristupali smo na više načina:

- statistički: od deskriptivnih statističkih modela koji se baziraju na jednostavnom tumačenju osnovnih parametara, preko kompleksnijih algoritamskih metoda, testova i predefinisanih procedura koje su nam dostupne preko SAS servera i biblioteka implementirane u SAS programskom jeziku,

- algoritamski: koji ne podrazumeva nikakve statističke alate, već samo pretrage prostora rešenja implementirane u raznim programskim jezicima.

Nakon toga, na osnovu posmatranja prepaid baze korisnika došlo se na ideju da se korisnici grupišu i klasifikuju po sličnim karakteristikama kako bi se omogućila lakša i predvidljivija segmentacija koja je uključena u strateški plan pojedinih oblasti poput kampanja, razvoja usluga i ponuda u kompaniji Telekom Srbija a.d. Kako se teži personalizovanju ponuda i profilisanju svakog pojedinog korisnika, odnosno kreiranju lične telekomunikacione karte korisnika, neophodno je pomeriti se iz tačke deskriptivne statistike, upotrebiti moderne big data (data mining/data wrangling) alate ili pak neke od algoritama pretrage prostora rešenja popularno spakovane u metaheuristike.

Istraživanje u ovom radu je bilo bazirano u dva pravca. Prvi pravac je bio formiranje klastera preko SAS/STAT paketa (SAS Campus 2008), oficijelnog i zvaničnog softvera SAS Enterprise Guide 5.1 (64-bit) koji se koristi u kompaniji. Programiralo se u SAS Base programskom jeziku uz korišćenje gotovih procedura za klaster analizu nad uzorkom pripremljene populacije. Drugi pravac se odnosio na formulisanje problema kao problema nalaženja p-težišta (medijana) na kompletnom grafu. Graf koji je konstruisan je uzorak proseka 3-mesečne populacije. Dobijeni problem nalaženja p-težišta je rešavan metodom promena okolina u C++/gcc programskom jeziku. U poređnom analizom ustanovljeno je da metod promena okolina daje rezultate sa manjom greškom u odnosu na SAS procedure hijerarhijskih klasterovanja.

Ulazni podaci za oba pristupa su identični i bazirani su na tromesečnom proseku iznosa dopuna i tromesečnom proseku broja dana između dopuna.

Rad je koncipiran tako što su u sledećem odeljku ukratko izložene tehnike klasterovanja podržane programskim paketom SAS/STAT koji su u zvaničnoj upotrebi. U trećem odeljku opisaćemo način formulisanja problema kao p-težišni problem, kao i način njegovog rešavanja metodom promenljivih okolina.

## 2. SAS/STAT ALATI ZA KLASTEROVANJE

SAS/STAT biblioteka u sebi sadrži gotove predefinisane procedure. Svaka generalizacija klaster analize u SAS paketu se mora proveriti zbog mnogobrojnih metoda klasterovanja koje su razvijane za različite oblasti u okviru SAS Instituta (SAS Campus 2008).

Tu su definisane određene formulacije klastera i određene funkcije sličnosti između objekata. Različitost tehnika klasterovanja su podešavali pomoću sledećih tehnika: klasifikacije, klampinga, mašinskog učenja, pregrađivanja, merenja oblika, sistematike, tipologije, prepoznavana paterna, vektorske kvantizacije, itd. SAS je za potrebe biznis modelovanja usavršio nekoliko tipova klaster metoda kao što su disjunktni klasteri i hijerarhijski klasteri. Pored ovih postoje i drugi tipovi klastera (npr. fuzzy, preklapajući, itd.). SAS predefinisane procedure obrađuju podatke kroz sledeće forme: matrica koordinata,  $L_2$  rastojanje podataka, matrica korelacije, matrica kovarijacije.

Najbitnije procedure koje se koriste u okviru SAS klaster biblioteke su: Cluster, Fastclus, Modeclus, Varclus, Tree. Postoje mogućnosti da se i u okvirima SAS/STAT procedura dobiju i ostali tipovi klaster metoda, međutim, sa stanovišta biznis logike, nisu jednostavni, funkcionalni a ni efikasni prilikom korišćenja. Potrebno je dosta ulagati u pripremu podataka (data quality), kao i u evaluaciju rezultata. Na primer, PROC FASTCLUS se mora koristiti za svaki broj klastera ponovo. Opet, PROC CLUSTER je neefikasna za veliki broj podataka (za baze kao što je naša koja je veličine terabajta podataka).

### 2.1. Centroid metod SAS/STAT biblioteke

Centroid metod je primenjen prvo nad 5 klastera, a zatim nad 10 klastera. Rezultati primene procedura klasterovanja nad bazom od 23.111 rekorda se mogu videti u Tabeli 1.1. Vreme potrebno za izvršavanje je prikazano u Tabeli 1.2.

Neka je  $x_i$  neka observacija.  $D_{KL}$  je bilo koja distanca ili različita mera između klastera  $C_K$  i  $C_L$ .  $N_K$  je broj observacija u klasteru  $C_K$ , dok je  $N_L$  broj observacija u klasteru  $C_L$ . Tada se Centroid metod opisuje formulom (SAS Campus 2008):

$$D_{KL} = \left\| x_K - x_L \right\|^2 \quad (1)$$



$$D_{JM} = \frac{N_K D_{JK} + N_L D_{JL}}{N_M} - \frac{N_K N_L D_{KL}}{N_M^2} \quad (2)$$

Gde je

$$d(x, y) = \|x - y\|^2 \quad (3)$$

rastojanje dva centroida.

Pored ovog metoda, testirali smo i ostale metode koji su definisani u okviru pomenute biblioteke, kao na primer K-MEAN, WARD, AVERAGE, SINGLE i DENSITY.

Testiranje je pokazalo sledeće da je parameter kompleksnosti za vremensko ograničenje 43 minuta.

### 3. METOD PROMENLJIVIH OKOLINA ZA ODREĐIVANJE $p$ - TEŽIŠTA

Metoda promenljivih okolina je poznata metaheuristika koja je postavljena 1995. godine u prvoj verziji, nakon čega se zahvaljujući uspehu i širokoj primeni metoda implementirala u mnogo verzija (Mladenović and Hansen 1997). Konstrukcija osnovne metode se sastoji od sistematičnog ispitivanja prostora rešenja.

Kako bi se to realizovalo, potrebno je definisati metriku, odnosno rastojanje. Nakon toga se definiše konačan skup okolina  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$ . Ako je  $x \in X$  proizvoljno rešenje, onda je  $N_k(x) \subset X$  skup rešenja koja se nalaze u  $k$  toj okolini rešenja  $x$ . Okolinu  $N_k(x)$  čine sva rešenja koja se nalaze na rastojanju  $k$  od rešenja  $x$  (Hansen et al. 2008).

U okviru konkretnog zadatka klasterovanja, primenjena je već implementirana metoda promenljivih okolina za  $p$ -median problem (Mladenović et al. 2007). Korisnici se tretiraju kao tačke u dvodimenzionom prostoru (pošto za korisnike imamo dva brojana podatka, ali u generalnom slučaju kada bi imali nekih  $k$  podataka to bi bile tačke u  $k$ -dimenzionom prostoru). Rastojanje se računa kao euklidsko rastojanje u dvodimenzionom prostoru.

Problem se svodi na izbor  $p$  tačaka (tj.  $p$  centara) iz tog skupa, tako da suma rastojanja svake od preostalih tačaka do najbližeg centra bude minimalna. Metoda promenljivih okolina podrazumeva lokalno pretraživanje i razmrđavanje, stoga smo implementirali obe faze u okviru  $p$ -median algoritma.

Lokalno pretraživanje se sastoji od primene swap prelaza - zamena jednog centra drugom tačkom ne-centrom sve dok se na taj način popravljaju rešenja. Tokom pretrage se koristi strategija prve popravke (tj. čim se pronade par za koji se popravljaju vrednosti rešenja, prelazi se u to rešenje).

Razmrđavanje u okolini  $k$  se sastoji od  $k$  primena razmene postojećeg centra sa nekom tačkom ne-centrom.

Testiranje je pokazalo sledeće da je parameter kompleksnosti za vremensko ograničenje 30 minuta i da je maksimalna okolina za razmrđavanje

$$k_{\max} = \frac{p}{2} \quad (p \text{ je broj klastera}) \quad (4)$$

### 4. REZULTATI

Tabela 1: Parametri modela

	SAS/STAT Centroid-5 klastera	SAS/STAT Centroid-10 klastera	VNS-P-median 5	VNS-P-median 10
<b>R-square</b>	0,216	0,774	0,534	0,77
<b>Semipartial-R-square</b>	0,0014	0,0001		
<b>Cubic Clust Crit</b>	-271	-141		
<b>NormCentroid Distance</b>	3,2802	1,2863		

Tabela 2: Broj korisnika u klasteru (5)

Klaster	SAS Broj korisnika po klasteru	VNS Broj korisnika po klasteru
1	23054	4944
2	46	833

3	9	1879
4	1	10763
5	1	4692

**Tabela 3: Broj korisnika u klasteru (10)**

Klaster	SAS Broj korisnika po klast	VNS Broj korisnika po klast
1	21678	3862
2	833	2614
3	543	2405
4	37	227
5	4	1107
6	9	665
7	3	3572
8	2	833
9	1	1605
10	1	6221

Kao što se može videti, kod SAS/STAT procedure za 5 klastera R-Square iznosi 21.6%, u odnosu na 53% VNS procedure istog parametra, što dovodi do zaključka da je SAS model nedovoljno dobar i nestabilniji od VNS modela. CCC iznosi daleko ispod pozitivnog broja što je takođe indikator „dobroći“ modela (*goodness of fit*).

U okviru SAS/STAT procedure za 10 klastera, R-Square iznosi 77.4% u odnosu na identičan iznos VNS procedure. CCC je i dalje daleko ispod pozitivnih vrednosti što je i dalje indikator da je model nedovoljno dobar. Vreme izvršavanja je pokazalo da VNS model brže dolazi do rešenja od SAS modela.

SAS procedure za klasterovanje pokazuju da se modeli moraju dosta popravljati i „nameštati“, model predlaže dobru tačnost tek za broj klastera preko 30 što je zaista mnogo, tako da je analitičar prinuđen da primenjuje druge tehnike kako bi došao do dobrog modela. Mi smo se odlučili za klasterizaciju klastera, odnosno rekurzivno klaster nad prvom grupom. Taj model je dao solidne rezultate, ali kako je on veštački stvoren i ciljano programiran, ne može se govoriti o direktnom korišćenju SAS/STAT procedura. Dakle, sam paket nije dovoljan za rezultate niti je idealan u slučaju programiranja sopstvenih paketa.

## 5. ZAKLJUČAK

Svrha optimizacije i modelovanja klaster metodom jeste u slobodi algoritma da na osnovu karakteristika slogova (zapisa, rekorda) automatizovano pronalazimo u što optimalnijem vremenu i što optimalnijem zauzeću memorije grupe sa što homogenijim članovima unutar sebe, a što heterogenije među sobom. Ili, pak, ukoliko su nam potrebni fuzzy klasteri kako bismo određene rekorde pozicionirali sa verovatnoćama u više različitih grupa, da model nezavisno od našeg određivanja parametara sam da predlog koji rekordi bi gde i sa kojim verovatnoćama trebali biti smešteni.

Odavde sledi da je model statistički i analitički dobar, ukoliko ima što manje unapred definisanih parametara i potreba za popravljanjem rezultata, kvalitetom podataka, itd. Takođe, dobar model podrazumeva izolovanje mapirajućih tačaka koje samostalno dovode do karakteristika baze i obeležja u njoj, bez mnogo intervencije statističara i modelara postavljanjem parametara.

Pored toga, zvanično prihvaćeni parametri kao npr. R-square podrazumevaju da upoređivanjem modela statističar odabere veću verovatnoću stabilnosti modela.

## LITERATURA

- [1] Hansen, P., Mladenovic, N., Perez, J. M., (2008). Variable neighbourhood search: methods and applications. 4OR, 6, 319-360.
- [2] Mladenovic, N., Hansen, P., (1997). Variable Neighborhood Search. Computers OR, 24, 1097-1100
- [3] Mladenovic, N., Brimberg, J., Hansen, P., Perez, J.M., (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research, 179, 927-939.
- [4] SAS Campus, (2008). SAS/STAT 9.2 User 's Guide. (1st ed.). SAS Institute Inc.





## PRIMENA POSLOVNE INTELIGENCIJE ZA NENAPLATIVA POTRAŽIVANJA KOD UPRAVLJANJA ODNOSIMA SA KLIJENTIMA

### APPLICATION OF BUSINESS INTELLIGENCE FOR NPL WITH CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT

MILAN MALIĆ, MILIJA SUKNOVIĆ<sup>1</sup>, BORIS DELIBAŠIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, boris.delibasic@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** Poslovna inteligencija (PI) je postala jedan od najznačajnijih alata savremenog poslovanja. Primena PI i njenih tehnologija poboljšava poslovanje u svim bitnim aspektima. Nenaplativa potraživanja (NPL) su postala jedan od glavnih problema domaće privrede. Stoga sa ciljem smanjenja udela NPL-a u svom portfoliju i efikasnijeg pristupa rešavanju ovog problema, potrebno je da banke imaju na raspolaganju prave tehnologije kako bi menadžment banke mogao da donese efikasnije i bolje odluke zasnovane na pravim informacijama. Istraživanje je fokusirano na primeni tehnologija poslovne inteligencije za upravljanje nenaplativim potraživanjima, u cilju efikasnije analize poslovanja i upravljanja odnosima sa klijentima koji imaju teškoće u otplati kredita.

**Ključne reči:** Poslovna Inteligencija, NPL, CRM.

**Abstract:** Business Intelligence (BI) has become one of the most important tools in modern business. Application of BI and its technologies improves business in all important aspects. NPL have become one of the major problems of the domestic economy. Therefore to reduce share of Nonperforming loans (NPL) in their portfolio and to find more efficient way to tackle this problem, banks need to use adequate technologies if they want their management to bring better and more effective business decisions based on the right information. The paper is focused on the implementation of BI technologies referred to the management of NPL, the purpose of more effective management analysis and CRM focusing on clients who have difficulties in paying off loans.

**Keywords:** Business Intelligence, NPL, CRM.

#### 1. UVOD

Savremeno poslovanje zahteva da organizacije imaju mogućnosti da sakupljaju i čuvaju obilje podataka kako o postojećim, tako i o potencijalnim klijentima. Nemogućnost da se otkriju bitne informacije koje su skrivene u tim podacima sprečavaju organizacije da te podatke pretvore u znanje (Berson et al. 2000). Rešenje ovog problema se javlja u primeni tehnologija poslovne inteligencije (PI) koje omogućavaju organizacijama da otkriju skriveno znanje u tim velikim količinama podataka.

Banke praćenjem potreba klijenta kroz transakcije koje klijent obavlja mogu da analiziraju klijentovo ponašanje i da dođu do veoma korisnih podataka na osnovu kojih se gradi i unapređuje odnos sa klijentom i optimizuje poslovanje banke. Da bi se ovaj postupak sproveo neophodno je unaprediti sistem za upravljanje odnosima sa klijentima (engl. Customer Relationship Management - CRM). CRM sistemi i tehnologije PI obezbeđuju kompletan pristup klijentima, a to znači da uključuju: poboljšanje u profilisanju klijenta, efikasnije određivanje vrednosti klijenta, merenje stepena uspešnosti organizacije u zadovoljenju klijentovih potreba, unapređenje odnosa sa klijentom (Habul 2010).

Prema Devenportu sistemi PI obezbeđuju podršku za sakupljanje i transformaciju podataka sa fokusom na analizi podataka sa ciljem unapređenja procesa donošenja odluka (Devenport 2006). Sinergija sistema PI i CRM-a gde se u jednom rešenju objedinjuju ove tehnologije postaje sve zastupljenija u bankarskom poslovanju. CRM omogućava organizacijama da razumeju svoje klijente i izgrade različite strategije, napravljene po njihovim karakteristikama (Tsipsis and Chorianopoulos 2011).

## 2. POSLOVNA INTELIGENCIJA (PI)

PI predstavlja „Skup informacionih tehnologija, organizacionih pravila kao i znanja i veština zaposlenih u organizaciji udruženih u generisanju, zapisivanju, integraciji i analizi podataka sve sa ciljem da se dođe do potrebnog znanja za donošenje odluke” (Suknović and Delibašić 2010).

Prednosti koje pruža PI su ogromne. Prema (Turban et al. 2011) glavne prednosti sistema PI su: *brži i tačniji izveštaji, poboljšavanje procesa donošenja odluka i poboljšanja usluga klijentima*. Sistemi PI se implementiraju kako bi obezbedili analitičku sposobnost i ponudili preporuke u cilju poboljšanja operativnih i strateških procesa ili karakteristika proizvoda i usluga (Williams and Williams 2010).

### 2.1. Tehnologije i alati Poslovne inteligencije

Osnovne tehnologije koje koristi PI jesu: Skladište podataka, Otkrivanje zakonitosti u podacima (OZP), Data OLAP (engl. On line Analytical Processing), CRM, Sistemi za podršku odlučivanju.

### 2.2. Otkrivanje zakonitosti u podacima (OZP)

Velike količine podataka koje su bile akumulirane u bazama podataka dovelo je do toga da organizacije budu bogate podacima, ali da nemaju dovoljno korisnih informacija za svoje poslovanje. OZP ima svrhu pronalaženja skrivenih obrazaca u podacima, transformaciju podataka i povećanje njihove upotrebljivosti tako što se koriste za istraživanje i znanje. Da bi se proces OZP-a ispravno sproveo potrebno je unapred pripremiti podatke nad kojima će se vršiti obrada, odnosno potrebno je redukovati i transformisati podatke u prihvatljive formate. Prema (Berry and Linoff 2004), OZP je definisan kao proces izvlačenja i otkrivanja skrivenih paterna ili informacija iz velikih baza podataka. OZP se u najvećoj meri zasniva na građenju modela. Model u ovom slučaju predstavlja algoritam ili niz pravila koja povezuju kolekciju ulaznih varijabli i određenog cilja ishoda. Postoje brojne tehnike dostupne za svaki tip modela. Tehnike se mogu podeliti u dve grupe: *Tehnike za predviđanja, Tehnike za otkrivanje novih znanja*.

Najčešće korišćene tehnike OZP-a su:

*Stablo odlučivanja (engl. Decision Tree)* predstavlja strukturu koja može da se koristi da se podeli velika količina zapisa u manje grupe zapisa primenjujući unapred određena pravila deljenja.



Slika 1. Prikaz modela stabla odlučivanja, **preuzeto od (MacLennan et al. 2008)**

*Klasterovanje* je segmentiranje subjekata iz heterogene populacije u homogenu populaciju ili klaster.

*Asocijativna pravila* se koriste za interesantna otkrića u vezama koja nisu lako uočljiva u bazi podataka. Prag pravila može pokazati koliko je značajan patern i kolika je verovatnoća da se pravilo opet ponovi.

*Veštačke neuronske mreže* su modeli koji su inspiraciju za svoju primenu našle u biološkim neuronskim mrežama. Veštačke neuronske mreže otkrivaju zakonitosti između ulaznih i izlaznih podataka koristeći model neuronskih mreža. Prema (Suknović and Delibašić 2010) najveći nedostatak je taj što se preko ovih modela ne mogu objasniti zakonitosti koje su otkrivene u podacima.

## 3. ZNAČAJ POSLOVNE INTELIGENCIJE U BANKARSTVU

U savremenom poslovanju banke se sve više okreću savremenim informacionim tehnologijama kao što je PI-a. Rešenja PI-a omogućavaju banci da iz baza podataka izvuku informacije koje će omogućiti bolje performanse poslovanja, kroz donošenje ispravnih poslovnih odluka u pravo vreme i na pravi način. Potreba za poslovnom inteligencijom prema (Devenport 2006) proizilazi iz sve veće konkurencije na tržištu.

### 3.1. Prednosti primene sistema PI u banci

Osnovne tehnologije poslovne inteligencije koje se najčešće primenjuju u bankarstvu su: OLAP, Skladištenje podataka i OZP. Može se reći da u svakom domenu bankarskog poslovanja možemo primeniti neki od alata i tehnologija poslovne inteligencije: *od analize poslovanja i tržišta, do kontrole kreditnog portfolija, predviđanja kamatnih stopa, upravljanja odnosima sa klijentima, mobilnog i elektronskog bankarstva, kreditne kontrole, upravljanja kreditnim i operativnim rizicima, ljudskih resursa* itd. Pepard tvrdi da tehnologija treba da se koristi da stvara vrednost za klijenta i da je integrisana informacija najvažniji element za uspešan CRM. Organizacija mora da razvije ključne resurse, alate i znanje koje će joj pomoći da ponudi klijentu prikladne proizvode i usluge. (Peppard 2000). Sistemi PI pružaju mnoge prednosti bankama koje ih

primenjuju. Pre svega, PI omogućava da se izbegnu nagađanja. Potom pospešuje komunikaciju među sektorima tako što omogućava njihov koordinisan rad što dalje omogućava banci da brzo reaguje na promene u novonastaloj finansijskoj situaciji i na promene potreba klijenata. Banka može da donese prave odluke zasnovane na blagovremenim i tačnim informacijama, a to dalje znači da banka ima mogućnost da unapredi svoje poslovanje.

#### 4. MOGUĆNOST PRIMENE PI I NJENIH TEHNOLOGIJA NA PRIMERU REŠENJA ZA NPL

U protekloj deceniji kreditni portfolio u većini banaka je bio stabilan sve dok svetska ekonomska kriza nije uzdrmala svetsku ekonomiju 2008. godine.

Nenaplativa potraživanja (NPL) postaju sve veći problem u našem društvu. Razlozi za to su mnogobrojni: nelikvidnost privrednih subjekata, visoke kamatne stope, velika nezaposlenost, nedostatak profita, nerazvijenost privrede. Prema podacima NBS, više od 20% ukupno plasiranih kredita pravnim licima na domaćem finansijskom tržištu ušlo je u ovu kategoriju u 2013. godini. Posledica visokog učešća NPL-ova u privredi su: skupi krediti, visoki troškovi, smanjena kreditna aktivnost, visoka zaduženost privrednih subjekata, povećan broj stečajeva, rast nezaposlenosti itd. (Lousiz et al. 2012, Messai and Jouini 2013).

Opadanje kvaliteta kreditnog portfolia u bankama glavni je uzročnik problema u bankarskom sistemu i finansijskoj krizi u razvijenijim ekonomijama (Messai and Jouini 2013). Veliki broj NPL-ova u bankarskom sektoru može da dovede do stečaja banaka, što bi veoma uticalo na dodatnu nestabilnost na već oslabljenom finansijskom tržištu. Jedan od načina da se smanji rizik za banku pri upravljanju portfoliom NPL jeste da se u bankarskom poslovanju primenjuju rešenja i tehnologije poslovne inteligencije.

##### 4.1. Prikaz i karakteristike CRM rešenja za upravljanje NPL-om

Kako bi se značajno unapredilo rešavanje problema NPL-a u banci neophodno je da se u svakodnevnom radu ponudi rešenje CRM aplikacije koje u dovoljnoj meri automatizuje proces vođenja NPL predmeta. Za potrebe vođenja postupaka i izveštavanja potrebno je automatizovati i implementirati CRM aplikaciju koja bi pratila sve pravne radnje i ostale aktivnosti koje se odnose na vođenje NPL predmeta. Cilj je da se ponudeno rešenje zasniva na sistemu koji će omogućiti menadžmentu da prati strukturu kreditnog portfolija banke, priprema strategije, omogući napredno izveštavanje, smanji troškove, poveća produktivnost, da raspolaže mogućnostima za merenje efikasnosti različitih strategija i učinaka zaposlenih.

##### 4.2. Arhitektura CRM Aplikacije za upravljanje nenaplativim potraživanjima

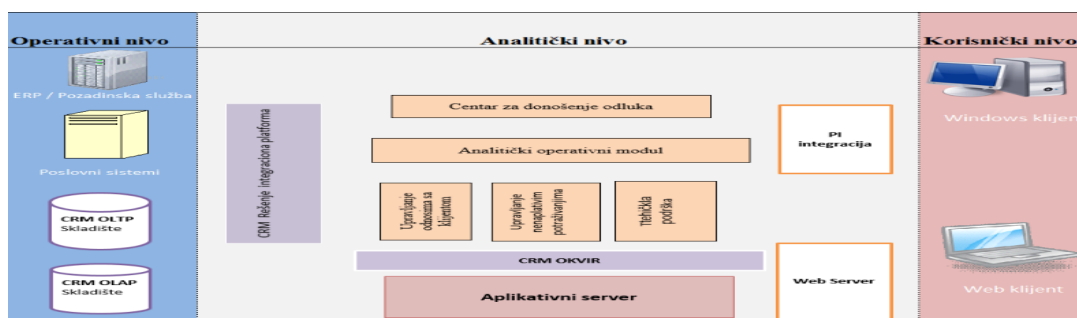
Arhitektura CRM aplikacije je troslojna struktura koja se zasniva na klijent-server sistemu.

Aplikacija ima tri nezavisna podsistema:

*Prvi podsistem* implementira poslovne procese;

*Drugi podsistem* je namenjen upravljanju bazom podataka;

*Treći podsistem* je namenjen interakciji sa krajnjim korisnicima i ima funkciju interfejsa.



Slika 2. Arhitektura CRM Aplikacije

Arhitektura sistema sastoji se od otvorene troslojne arhitekture i koristi: bazu podataka smeštenu na glavnom serveru banke, aplikativni server, radnu stanicu, OLTP transakcione baze podataka, Skladište podataka, relacione baze podataka.

##### 4.3. Funkcije aplikacije

Aplikacija ima za cilj da omogući krajnjem korisniku da uspešno unosi i ažurira podatke, generiše izveštaje, ima jasan pregled statusa kreditnog predmeta.

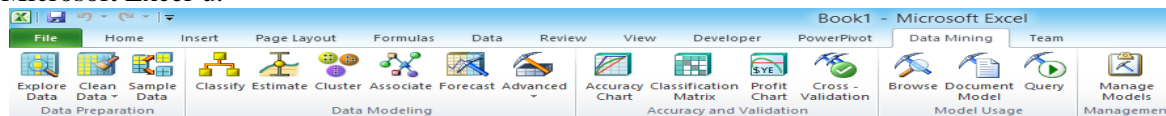
U aplikaciju se unose svi raspoloživi podaci iz transakcionih baza i baza podataka o klijentima.

CRM aplikacija ima za cilj da obezbedi široku i fleksibilnu podršku za upravljanje NPL-om. U aplikaciji se registruju ne samo zadaci koji se izvršavaju, već i zadaci koji tek treba uraditi, u zavisnosti od statusa NPL predmeta.

CRM aplikacija omogućava primenu tehnologija PI tako što se na osnovu dostupnih podataka mogu koristiti: *alati za OZP, napredno izveštavanje, generisanje izveštaja, komandne table (engl. Dashboards), ključni indikatori performansi*. Izveštaji u aplikaciji su prikazani tabelarno.

## 5. PRIKAZ MODELA I POSTUPAK PRIMENA TEHNIKA OZP

Da bismo mogli da kreiramo i koristimo model i prikažemo praktičan primer korišćenja tehnika PI-a, potrebno je potrebe ovog primera da imamo pristup analitičkim servisima *Microsoft SQL Servera 2012, SSAS* (engl. [SQL Server Analysis Services](#)) koji se koristi za analizu podataka, kreiranje "ad hoc" izveštaja itd. Da bismo koristili neke od mogućnosti ovog programa potrebno je i da imamo omogućen dodatak za OZP u Microsoft Excel-u.



Slika 3. Dodatak za OZP u MS Excel-u

Početak modelovanja zahteva da prvo generišemo podatke iz prikazane CRM aplikacije. Dobijeni izveštaj je snimljen u formi *Excel tabela*.

U *prvoj Excel tabeli* koju ćemo koristiti za modelovanje imamo unetih *1207 kreditnih partija* i podatke koje se odnose na ove partije gde svaki atribut ima svoju kolonu u tabeli. Ovi podaci su već obrađeni i nalaze se u bazi podataka banke. Od ponuđenih atributa uzeli smo kreditnu partiju za primarni ključ cele tabele zbog jedinstvenog broja svake kreditne partije. Od podataka za istraživanje neophodno nam je da su uneti podaci u sledeće kolone (*obezbeđenje, stanje duga, dani docnje po kreditnoj partiji, region, rank, status kreditne partije i da li je klijent zainteresovan za restrukturiranje - RST*). Na osnovu podataka iz ove tabele izvršićemo modelovanje i postupak OZP za klasifikaciju i predviđanje zainteresovanosti klijenata za RST. Dobijene rezultate treba proveriti sa podacima koji su prethodno uneti u tabelu i predstavljaju tačne podatke. Na osnovu ovog postupka imaćemo procenu koliko modeli uspešno predviđaju zadatak promenljivu.

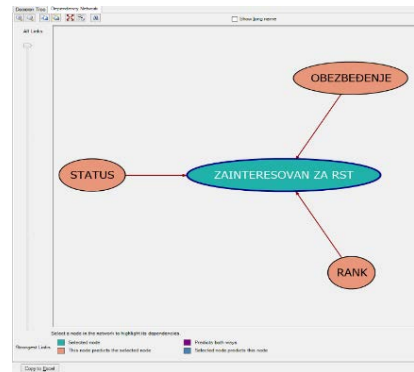
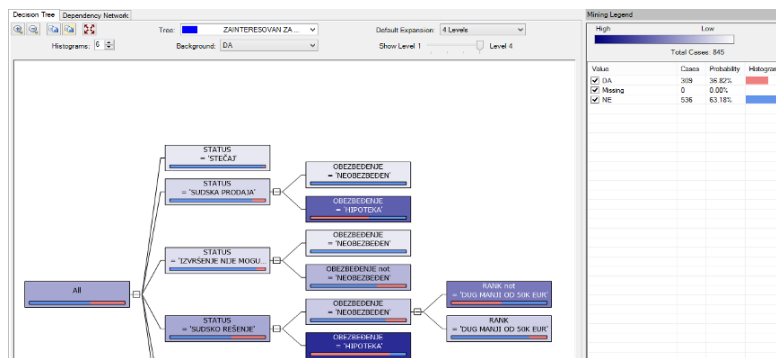
OBEZBEĐENJE	STANJE DUGA	PROVIZIJE	RANK	REGION	STATUS	DANI U DOCNJI	ZAINTERESOVAN ZA RST
HIPOTEKA	11.040.91	2.066.26	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	142	DA
HIPOTEKA	1.733.25	26.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	741	DA
NEOBEZBEĐEN	10.733.98	5.429.63	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	772	NE
NEOBEZBEĐEN	17.479.68	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	930	NE
NEOBEZBEĐEN	7.902.91	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	889	NE
NEOBEZBEĐEN	2.402.16	791.49	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	434	NE
HIPOTEKA	18.419.21	3.254.12	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	399	DA
HIPOTEKA	38.655.43	10.411.57	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	425	DA
NEOBEZBEĐEN	8.975.80	4.865.41	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	982	NE
HIPOTEKA	4.610.66	739.98	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	680	NE
NEOBEZBEĐEN	25.794.54	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	149	NE
NEOBEZBEĐEN	15.655.65	580.38	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	348	NE
NEOBEZBEĐEN	10.154.02	5.625.74	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	484	NE
HIPOTEKA	80.323.36	19.187.70	DUG OD 50K DO 100K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	204	DA
NEOBEZBEĐEN	9.345.02	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	149	NE
HIPOTEKA	13.342.01	2.576.83	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	297	DA
NEOBEZBEĐEN	4.622.81	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	639	NE
NEOBEZBEĐEN	164.03	2.05	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	149	NE
NEOBEZBEĐEN	9.999.03	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	860	NE
HIPOTEKA	14.678.74	2.243.84	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	416	DA
NEOBEZBEĐEN	37.431.47	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	409	NE
NEOBEZBEĐEN	9.633.09	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	879	NE
NEOBEZBEĐEN	20.633.32	15.807.53	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	178	NE
NEOBEZBEĐEN	4.630.69	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	879	NE
NEOBEZBEĐEN	22.977.73	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	NEREŠEN	756	NE
NEOBEZBEĐEN	19.189.97	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	IZVRŠENJE NIJE MOGUĆE	1222	NE
HIPOTEKA	35.636.61	11.474.70	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	IZVRŠENJE NIJE MOGUĆE	1356	DA
NEOBEZBEĐEN	33.840.85	0.00	DUG MANJI OD 50K EUR	BEOGRAD	IZVRŠENJE NIJE MOGUĆE	209	NE

Slika 4. Prva i druga Excel tabela - uneti podaci za NPL kreditne partije

U Excel tabelama smo zbog preglednijeg prikaza podelili kreditne partije na obezbeđene (*ima hipoteku*) i neobezbeđene (*nema hipoteku*) kreditne partije. Promenljiva stanje duga po kreditnoj partiji nam je važna da bismo mogli da klasifikujemo klijente po rangu: klijenti (*visokog prioriteta*), a to su sve kreditne partije gde je stanje duga veće od 100K EUR; klijenti (*srednjeg prioriteta*) su oni koji duguju od 50K do 100K EUR; kao i klijenti koji su (*niskog prioriteta*), a to su oni čiji je dug manji od 50K EUR.

*Druga Excel tabela* na osnovu koje ćemo izvršiti klasifikaciju i predviđanje zainteresovanosti klijenata za RST pomoću tehnika OZP sadrži podatke za *219 jedinstvenih novih kreditnih partija* u docnji. Da bi se uspešno koristio model za OZP, potrebno je učiti na podacima i podeliti podatke u strukturi modela na modele za učenje podataka i proveru. Obično se 70% podataka koristi za učenje, a 30% procenata za testiranje modela (Turban et al. 2011). Nakon toga potrebno je izvršiti proveru rezultata dobijenih na osnovu izabranog modela na celoj strukturi modela. Koristićemo sledeće modele za predviđanje zasnovane na Microsoft algoritimima: *Stabla odlučivanja* i *Veštačke neuronske mreže* (VNM). Pomoću ova dva modela želimo da prikažemo da li su novi klijenti koji se vode kao NPL predmeti zainteresovani za restrukturiranje (RST). Kada je proces za OZP pokrenut dobijamo rezultate modela *MS Stabla odlučivanja* pomoću alata Microsoft SASS. Dalje prikazujemo skup podataka za atribut *Zainteresovan za RST*. Od 845 unetih kreditnih partija model nam prikazuje da se u *309 slučajeva* klijenti svrstavaju u grupu zainteresovani za RST, a *536 slučajeva* u nezainteresovane za RST (Slika. 5).

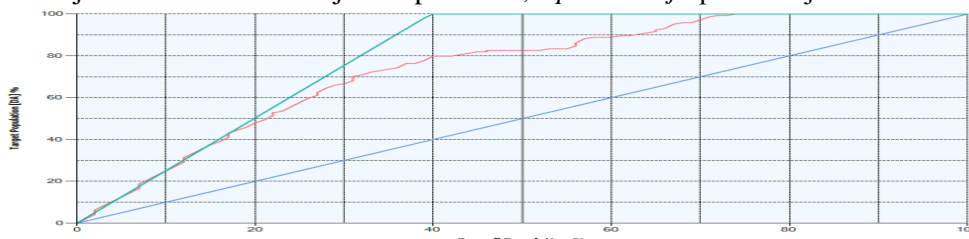




Slika 5. Grafički prikaz rezultata algoritma MS stabla odlučivanja, Slika 6. prikaz najznačajnijih atributa

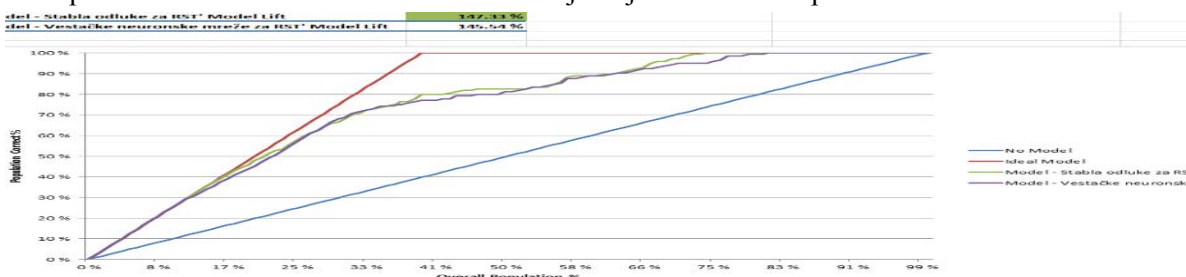
Na (Slika. 6) imamo prikazane atribute: *Status*, *Obezbeđenje* i *Rank* najjače veze koje određuju atribute na osnovu koji se predviđa zainteresovanost klijenata za restrukturiranje (RST).

Podatke za proveru uzećemo na osnovu modela za testiranje slučajeva koje smo predhodno sačuvali u strukturi modela. Koristeći PI alat Microsoft SASS proverićemo validnost predviđanja modela. U opcijama koje nudi Grafik - Lift Chart odabraćemo vrednost predviđanja DA za kolonu *Zainteresovani za RST*. Rezultati nam prikazuju da nam je potrebno da imamo na raspolaganju 74% potpunjenih podataka slučajeva u excel tabeli da prikazani model ima mogućnosti da predviđa tačne rezultate. Sa 50% raspoloživih podataka model daje tačne rezultate predviđanja za 83% slučajeva, što je mnogo bolje nego da nasumično iz tabele biramo slučajeve. *Zelenom bojom* na grafiku prikazana je linija koja predstavlja idealni model, dok *crvena linija* predstavlja rezultate modela koji smo primenili, a *plava linija* predstavlja nasumično izabrane podatke.



Slika 7. Grafik (Lift Chart)

Rezultati analize uspešnosti predviđanja oba modela prikazaćemo na osnovu *Grafika pouzdanosti* na slici (Slika. 8) se vidi tačnost predviđanja modela klasifikacije. Modelom *MS Stabla odlučivanja* potrebno nam je da raspoložemo sa 74% unetih podataka da bi model imao mogućnost da pouzdano predviđa zainteresovanost klijenta za RST. Sa modelom *Veštačke neuronske mreže* (VNM) nam je potrebno 81% podataka. Idealan model zahteva 40% raspoloživih podataka da bi predviđao tačne rezultate. Rezultati pokazuju da modeli mogu uspešno da predviđaju promenljive i da se upotrebom modela dobijaju bolji rezultati nego da se nasumično određuje koji su klijenti zainteresovani za RST. Dobijeni rezultati prikazuju da je model *MS Stabla odlučivanja* za 47% uspešniji u predviđanju zainteresovanosti novih klijenata za RST iz tabele podataka u odnosu na nasumično odabiranje klijenata iz tabele podataka.



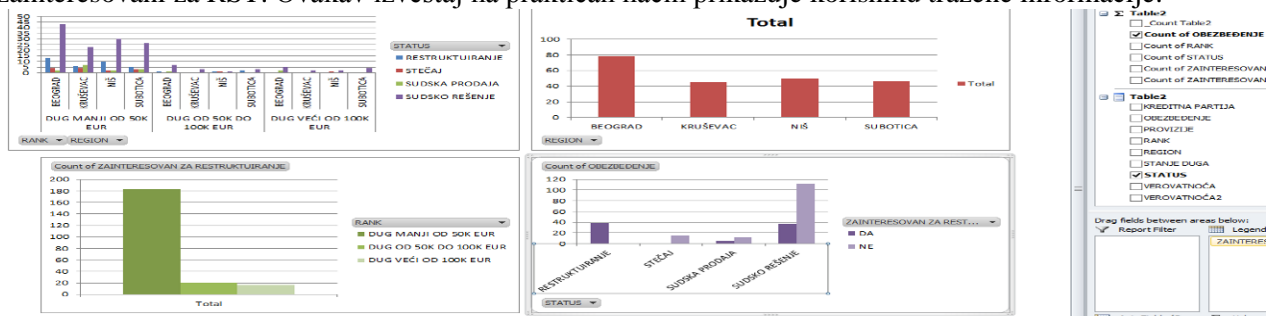
Slika 8. Prikaz grafika pouzdanosti za ocenu validnosti modela

### 5.1. Prikaz rezultata istraživanja

Rezultati ovog istraživanja mogu se prikazati i pomoću sve popularnijeg PI-a alata *PowerPivot-a* koji predstavlja dodatak za program Microsoft Excel. *PowerPivot* je programski dodatak koji se može koristiti sa naprednim funkcijama Microsoft Excel-a.

Ovaj dodatak Microsoft Excel-u nam može pružiti sve pogodnosti pravljenja izveštaja koje bi nam pružile i OLAP kocke i izveštaji koji se generišu na osnovu njihove upotrebe. Prednost izveštavanja pomoću *Power Pivot-a* je ta što je to rešenje koje brzo može da se primeni na tabeli koju smo koristili.

Uz pomoć funkcija *PowerPivot* treba podesiti multidimenzionalno prikazivanje više grafičkih izveštaja u jednom prikazu. Na osnovu podataka iz Excel tabela odabiramo attribute za prikaz koji će se naći u grafičkom izveštaju *Pivot Tabla*. Na sledećoj slici (Slika. 9) Prikazujemo grafičke izveštaje za klijente koji su zainteresovani za RST. Ovakav izveštaj na praktičan način prikazuje korisniku tražene informacije.



Slika 9. Power Pivot izveštaj multidimenzionalni grafički prikaz podataka

## 6. ZAKLJUČAK

Da bi se smanjili troškovi i poboljšala pozicija na tržištu, neophodno je da banke počnu više da se oslanjaju na znanje koje im može pružiti upotreba PI-a u redovnom poslovanju. U cilju uspešnog poslovanja i postizanja konkurentske prednosti na tržištu, savremena banka treba da odgovori na pitanje na koji način je moguće iz mnoštva prikupljenih podataka iz tekućeg poslovanja otkriti i iskoristiti ključno znanje. Kako bi se u banci smanjio rizik od NPL-a i omogućilo efikasno donošenje odluka, potrebno je koristiti rešenja PI-a jer na poziciji višeg menadžmenta rešenja PI-a obezbeđuju podršku za donošenje strateških odluka, dok zaposlenima omogućava efikasnije obavljanje radnih zadataka. Poslovna inteligencija pomaže analitičarima i menadžmentu u analizi promena koje se dešavaju na tržištu, promena u ponašanju klijenata, njihovih potreba i očekivanja, kao i u analizi poslovanja i efikasnosti banke.

Rezultati istraživanja kroz praktičan primer korišćenja tehnika OZP potvrđuju da je primenom tehnika PI-a moguće doći do rešenja koje treba da olakšava poslovanje, utiče na veću produktivnost zaposlenih i povećava zadovoljstvo klijenata uslugama banke.

## LITERATURA

- [1] Berry, M. J. & Linoff, G. S. (2004). Data mining techniques: for marketing, sales, and customer relationship management, John Wiley & Sons
- [2] Berson, A., Smith, S. & Thearling (2000). Building data mining applications for CRM
- [3] Davenport, T. H. (2006). Competing on analytics, Harvard business review, 84(1), 98
- [4] Habul, A. & Pilav-Velic, A. (2010). Business intelligence and customer relationship management, In Information Technology Interfaces (ITI), 2010 32nd International Conference
- [5] Louzis, D. P., Vouldis, A. T. & Metaxas, V. L. (2012). Macroeconomic and bank-specific determinants of non-performing loans in Greece: A comparative study of mortgage, business and consumer loan portfolios. Journal of Banking & Finance, 36(4)
- [6] Messai, A.S. & Jouini, F. (2013). Micro and Macro Determinants of Non-performing Loans. International Journal of Economics and Financial Issues, 3(4), 852-860
- [7] MacLennan, J., Tang, Z. & Crivat, B. (2011). Data mining with Microsoft SQL server 2008. John Wiley & Sons.
- [8] Peppard, J. (2000). Customer relationship management (CRM) in financial services, in European Management Journal, 18(3), 312-327
- [9] Suknović, M. & Delibašić, B. (2010). Poslovna inteligencija i sistemi za podršku odlučivanju, FON, Beograd
- [10] Tsiptsis, K. & Chorianopoulos, A. (2011). Data mining techniques in CRM: inside customer segmentation, John Wiley & Sons
- [11] Turban, E., Sharda, R. & Delen, D. (2011). Decision Support and Business Intelligence Systems, Ninth Edition, Pearson Prentice Hall
- [12] Williams, S. & Williams, N. (2010). The profit impact of business intelligence. Morgan Kaufmann



## **EFEKTI PRIMENE POSLOVNE INTELIGENCIJE U SISTEMU NAPLATE PUTARINE**

### **EFFECTS OF BUSINESS INTELLIGENCE APPLICATION IN TOLLING SYSTEM**

GORDANA RADIVOJEVIĆ<sup>1,2</sup>, BRATISLAV LAZIĆ<sup>2</sup>, GORANA ŠORMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, g.radivojevic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, {bratislav.lazic, gordana.sormaz}@pupin.rs

**Rezime:** *Sistem naplate putarine je kompleksan informaciono-komunikacioni sistem koji obezbeđuje naplatu putarine na deonicama autoputeva. Sistem za nadzor i upravljanje naplatom putarine – TMSS omogućava komunikacionu integraciju svih elemenata sistema, prikupljanje i obradu podataka, i generisanje skupa izveštaja na osnovu kojih se prati rad sistema u on-line i off-line režimu i kontroliše realizacija svih funkcija sistema. TMSS je razvijen na modernoj tehnološkoj platformi koja obuhvata tehnologije Poslovne inteligencije – BI i skladištenja podataka – DWH. Osnovni cilj ovoga rada je da prikaže primenu i efekte tehnologije Poslovne inteligencije u razvoju i eksploataciji TMSS-a.*

**Ključne reči:** *Poslovna inteligencija, Skladištenje podataka, Naplata putarine, Obrada podataka, Analitika i izveštavanje.*

**Abstract:** *Tolling system is a complex information and communication system that provides toll charging on highway sections. Traffic Management and Supervision System – TMSS enables the communication integration of all the elements of the system, data collection and data processing and generation of the set of reports, based on which it is possible to monitor the operation of the system both in on-line as well as in off-line regime and to control the realization of all the functions in the system. TMSS is developed on the modern technological platform which includes the Business Intelligence technology – BI and the Data Warehousing technology – DWH. The main goal of this paper is to show the usage and effects of the Business Intelligence technology in the TMSS development and exploitation.*

**Keywords:** *Business Intelligence, Data Warehousing, Tolling System, Data Processing, Analytics and Reporting.*

#### **1. UVOD**

Sistem za naplatu putarine je kompleksan sistem koji, sa jedne strane omogućava naplatu putarine na deonicama autoputeva, a sa druge strane korisnicima obezbeđuje brzo i kvalitetno korišćenje autoputa. Za državu – vlasnike autoputeva je veoma važno da imaju dobar i pouzdan sistem, koji omogućava kvalitetno funkcionisanje naplate putarine na svim deonicama. Vozači – korisnici autoputeva žele da se procesi naplate putarine obavljaju brzo i pouzdano, uz mogućnost različitih modaliteta plaćanja. Zato je neophodno obezbediti integrisano upravljanje i nadzor sistemom naplate putarine.

Cilj ovoga rada je da opiše efekte primene Poslovne inteligencije (engl. Business Intelligence – BI) u razvoju i eksploataciji Sistema za nadzor i upravljanje naplatom putarine – TMSS. Rad obuhvata pet celina. U prvom delu je opisan sistem naplate putarine. Drugi deo obuhvata opis TMSS-a i njegovih osnovnih modula. U trećem delu rada je opisana primena Poslovne inteligencije u razvoju TMSS-a a u četvrtom su dati efekti primene. Peti deo rada su zaključna razmatranja.

#### **2. SISTEM ZA NAPLATU PUTARINE**

Proces naplate putarine se realizuje na naplatnim stanicama koje se nalaze na jednoj ili više deonica autoputa. Svaka naplatna stanica ima jednu ili više traka na kojima se obavlja: fizički protok vozila (ulazak i izlazak vozila na autoput), proces naplate putarine, evidentiranje svih podataka o vozilu, upravljanje perifernom opremom i komunikacija sa stanicama. Stanica je povezana sa svim pripadajućim trakama i ona: obezbeđuje komunikaciju sa trakama, prikuplja podatke sa traka i generiše skup dnevnih izveštaja o radu. Sa druge strane, stanica je u komunikaciji sa Centrom gde šalje podatke o radu svih traka. Centar prikuplja, obrađuje i čuva podatke, omogućava nadzor i monitoring naplate putarine (Radivojević et al. 2013).

Sistem za naplatu putarine je kompleksan informacijski sistem koji obuhvata hardverske i softverske komponente. U organizacionom smislu, sistem naplate putarine obuhvata tri hijerarhijska nivoa: nivo trake (NT), nivo stanice (NS) i Centralni nivo (Institut Mihajlo Pupin, 2012). Sva tri nivoa sistema su u on-line ili off-line komunikaciji. Na Centralnom nivou se radi prijem, čuvanje i obrada svih podataka o naplati putarine. Osnovna uloga Centralnog nivoa je povezivanje nižih nivoa u jedinstveni sistem, veza sa eksternim sistemima, nadzor i upravljanje kompletnim sistemom naplate putarine. Na Centralnom nivou se prikupljaju podaci sa nižih nivoa (NS, NT) i distribuiraju im se svi potrebni sistemski parametri. Centralni nivo je povezan i sa eksternim sistemima sa kojima razmenjuje različite skupove podataka. Pod eksternim sistemima se podrazumevaju: poslovni informacijski sistem (ERP), banke (obrada platnih kartica), prodajna mesta medijuma za plaćanje putarine (TAG-ovi i kompanijske kartice – KK), i dr. (Radivojević et al. 2013).

### 3. SISTEM ZA NADZOR I UPRAVLJANJE NAPLATOM PUTARINE

TMSS (Toll Management and Supervision System) je Sistem za nadzor i upravljanje naplatom putarine. Osnovni ciljevi pri razvoju TMSS-a bili su:

- Razvoj modernog sistema koji će omogućiti on-line praćenje procesa naplate na svim NS i NT na autoputu,
- Dobre performanse rada sistema u realnom vremenu,
- Rad sa velikim količinama podataka i paralelno izvršavanje različitih funkcionalnosti bez ugrožavanja performansi, i
- Mogućnost proširenja sistema novim funkcionalnostima u toku eksploatacije.

Na početku projektovanja sistema napravljen je pregled osnovnih funkcionalnosti koji je u toku razvoja proširivan u skladu sa potrebama procesa i zahtevima korisnika. Početni skup funkcionalnosti je realizovao sledeće zadatke:

- Povezivanje svih elemenata na različitim hijerarhijskim nivoima u jedinstven sistem;
- Povezivanje sa eksternim sistemima (ERP, banke, prodajna mesta, i dr.);
- Prikupljanje podataka sa nižih nivoa sistema u realnom vremenu (on-line);
- Mogućnost importovanja podataka sa nižih nivoa posle zastoja u komunikaciji (off-line);
- Distribucija skupa sistemskih parametara nižim nivoima sistema;
- Praćenje procesa naplate u realnom vremenu;
- Praćenje stanja opreme na svim NT i NS;
- Generisanje izveštaja o radu svih segmenata sistema;
- Distribucija izveštaja različitim grupama korisnika; i dr.

Za realizaciju ovakvog skupa zadataka bilo je neophodno primeniti savremenu i modernu tehnologiju koja omogućava brzo, kvalitetno i pouzdano projektovanje baza podataka, komunikacionih protokola, web aplikacija, izveštaja i analitike, uz visoke performanse njihove eksploatacije.

TMSS je implementiran na Oracle Fusion Middleware tehnološkoj platformi, koja se sastoji od Oracle WebLogic aplikativnog servera i Oracle BI (Business Intelligence) platforme za skladištenje podataka (Data Warehousing – DWH) i analitička izveštavanja. Sloj podataka je implementiran kao mešavina transakcionog (Online Transaction Processing – OLTP) i analitičkog (Online Analytical Processing – OLAP) modela. Podaci se čuvaju u Oracle 11g bazi podataka (Oracle, 2012). Pristup svim podacima i funkcijama u sistemu je zaštićen definisanjem uloga neposrednih korisnika.

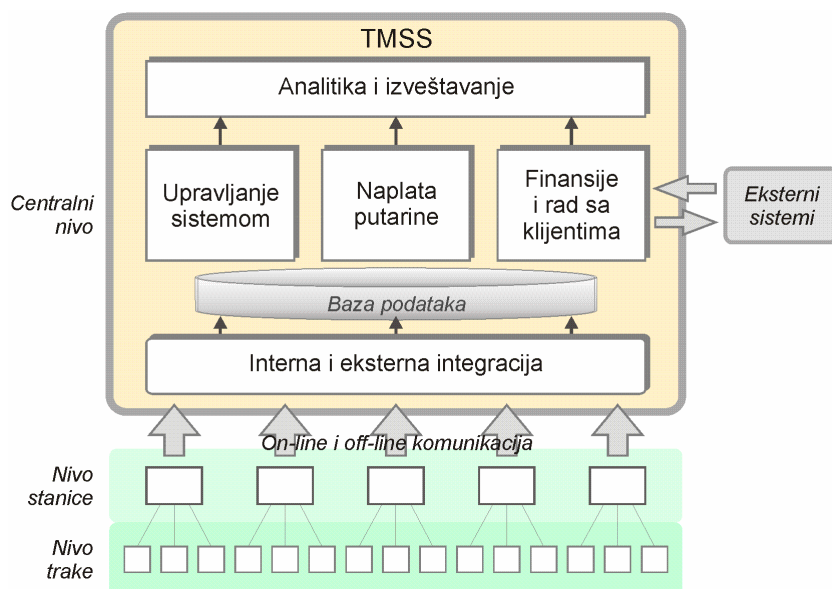
TMSS je projektovan kao skup integrisanih modula koji odgovaraju organizacionoj strukturi sistema naplate. Svaki modul obuhvata grupu funkcionalnosti koje se odnose na pojedine segmente rada. Osnovni moduli TMSS-a su (slika 1):

- Interna i eksterna integracija,
- Upravljanje sistemom,
- Naplata putarine,
- Rad sa klijentima, i
- Analitika i izveštavanje.

**Interna i eksterna integracija** omogućavaju informaciono povezivanje i razmenu podataka između svih nivoa u okviru sistema naplate putarine (NT, NS i Centar) i sa eksternim sistemima – ERP, banke, prodajna mesta TAG-ova i KK, i drugim sistemima. Razmena podataka se obavlja na nivou poruke primenom IMP TCP protokola i SOAP web servisa. Protokol adapteri podržavaju on-line i off-line prenos podataka.

**Upravljanje sistemom** omogućava celokupan nadzor i fizičku konfiguraciju sistema i monitoring stanja opreme u sistemu. Ovaj modul obuhvata: upravljanje konfiguracijom sistema, kontrolu i nadgledanje sistema, upravljanje održavanjem, bezbednošću i korisnicima, i upravljanje testiranjem.





**Slika 1:** Arhitektura sistema TMSS

Modul **Naplata putarine** obuhvata obradu svih podataka, koji se odnose na fizički proces naplate putarine a koji dolaze sa hijerarhijski nižih nivoa. Osnovne komponente modula su: upravljanje poslovnim parametrima, obrada transakcija naplate, praćenje rada inkasata i upravljanje predmagnetisanim karticama.

**Rad sa klijentima** obuhvata obradu svih podataka o klijentima TAG-ova i KK, njihovim računima i ugovornim odnosima. Ovaj modul obuhvata: upravljanje finansijama i računima, klijentima i prodajom, upravljanje pojedinačnim TAG-ovima i KK, formiranje sivih i crnih lista medijuma i dr.

**Analitika i izveštavanje** obuhvataju obradu podataka i generisanje skupa izveštaja o radu sistema naplate putarine. Analitika se zasniva na DWH arhitekturi a izveštavanje je realizovano primenom Oracle BI tehnologije. DWH i BI omogućavaju generisanje izveštaja za velike količine podataka uz visoke performanse rada sistema.

#### 4. PRIMENA POSLOVNE INTELIGENCIJE

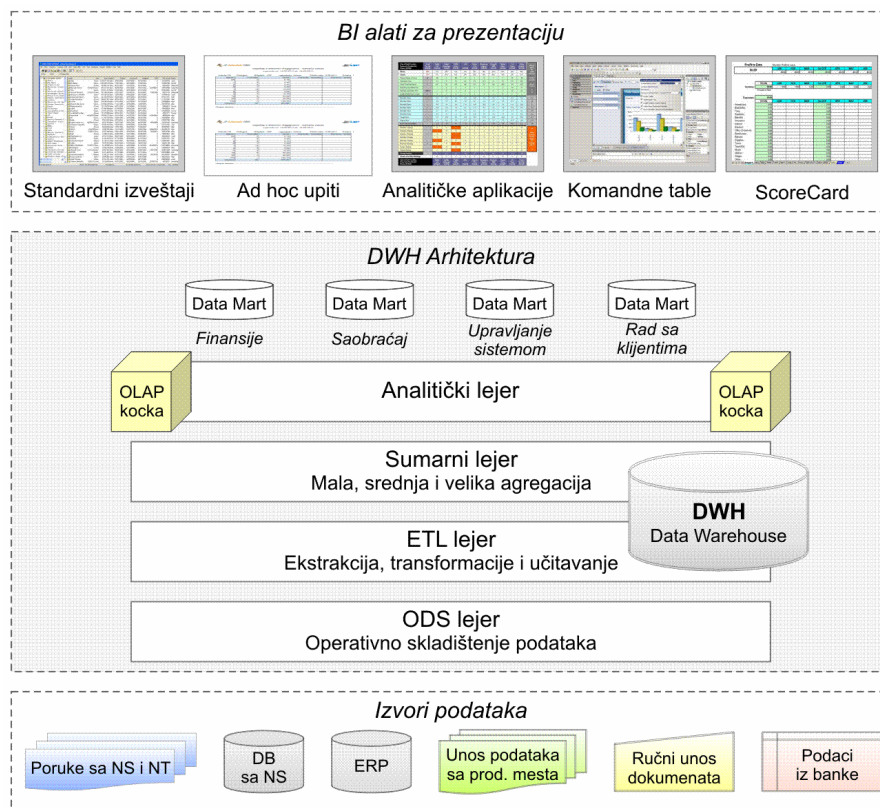
Poslovna inteligencija (Business Intelligence – BI) je skup metodologija, procesa, arhitektura i tehnologija koji transformišu sirove podatke u smislene i korisne informacije i znanje. BI je savremena tehnologija prikupljanja, čuvanja i obrade velikih količina podataka. Podaci se prikupljaju iz različitih izvora, čuvaju i obrađuju prema zahtevima poslovnog sistema, uz visoke performanse rada u realnom vremenu. BI obezbeđuje poslovne informacije i različite analize ključnih poslovnih procesa, donošenje kvalitetnih odluka na različitim upravljačkim nivoima i poboljšanje performansi u poslovnom sistemu. BI aplikacije obuhvataju različite forme izveštavanja kako bi korisnicima obezbedili kvalitetne i pravovremene informacije o ključnim poslovnim procesima u realnom ili skoro realnom vremenu.

BI tehnologija je korišćena u razvoju TMSS-a iz više razloga:

- Prikupljanje podataka iz različitih izvora (NT, NS, prodajna mesta TAG-ova i KK, banke, ERP, i dr.),
- Podaci se prikupljaju u realnom vremenu i/ili importuju off-line režimu,
- Obrada velike količine podataka koji se mogu odnositi na bilo koji istorijski period,
- Monitoring različitih poslovnih procesa na nižim nivoima (NS i NT),
- Izveštavanje o svim poslovnim procesima na različitim nivoima detaljnosti,
- Distribucija izveštaja korisnicima u odgovarajućim formatima prema konkretnim zahtevima,
- Zaštita podataka u sistemu i dobre performanse rada svih funkcionalnosti u realnom vremenu, itd.

U okviru TMSS-a projektovani su DWH i skup BI aplikacija koje realizuju funkcije modula Analitika i izveštavanje. DWH je savremena tehnologija baza podataka koja predstavlja osnovu za razvoj i primenu BI aplikacija namenjenih različitim analitičkim i izveštajnim funkcionalnostima.

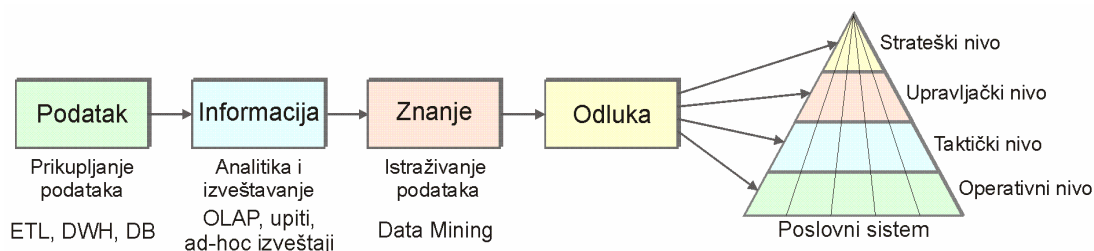
Sa sistemskog aspekta, DWH odgovara organizacionoj šemi poslovnog sistema, od nivoa izvora podataka do nivoa donošenja odluka. Sa tehnološkog aspekta, DWH je skup lejera koji obezbeđuju prijem, transformacije, obradu i on-line analitičke obrade podataka. DWH sistemi omogućavaju čuvanje i obradu velikih količina podataka iz integrisanih heterogenih izvora u optimizovanim višedimenzionalnim šemama podataka. DWH arhitektura TMSS-a je prikazana na slici 2.



Slika 2: DWH arhitektura

Podaci se u DWH prikupljaju iz različitih internih i eksternih izvora: transakcione poruke sa NS i NT, import podataka iz baze podataka NS za off-line režim, podaci koji se dobijaju iz ERP sistema, transakcione poruke i off-line unos podataka sa prodajnih mesta TAG-ova i KK, ručni unos podataka sa dokumenata, import podataka iz banke, i dr. ODS (Operational Data Storage) lejer prima i operativno čuva sve podatke iz internih i eksternih izvora. ETL (Extraction, Transformation and Loading) lejer radi proveru konzistentnosti podataka u skladu sa definisanim pravilima, uspostavlja relacije integriteta podataka i puni šeme podataka u DWH. U sumarnom lejeru se vrši agregiranje podataka na različitim nivoima detaljnosti (po satu, smeni, danu, ili bilo kom periodu) u skladu sa potrebama analitičkih obrada podataka. Analitički lejer obuhvata skup modela podataka, koji su osnova za generisanje različitih izveštaja, definisanih u poslovnom sistemu. OLAP kocka (OLAP Cube) su modeli podataka projektovani u skladu sa potrebama on-line obrade podataka. Data mart je logički podskup DWH-a definisan prema specifičnim potrebama poslovnog procesa ili grupe korisnika, u cilju dobijanja različitih poslovnih izveštaja koji podržavaju donošenje konkretnih odluka. U TMSS-u su Data mart-ovi projektovani prema osnovnim modulima sistema (Finansije, Saobraćaj, Upravljanje sistemom i Rad sa klijentima).

BI alati za prezentaciju omogućavaju razvoj BI aplikacija koje izvršavaju osnovne funkcionalnosti TMSS modula Analitika i izveštavanje – izveštavanje o svim segmentima naplate putarine u skladu sa potrebama poslovnih procesa. Menadžeri i korisnici TMSS-a na različitim upravljačkim nivoima, preko skupa izveštaja prate rad sistema naplate putarine u on-line i off-line režimu i kontrolišu realizaciju svih funkcija sistema. BI obezbeđuje poslovne informacije i analize ključnih poslovnih procesa, donošenje kvalitetnih odluka na različitim upravljačkim nivoima i poboljšanje performansi u poslovnom sistemu. Uloga BI aplikacija u procesu donošenja poslovnih odluka prikazana je na slici 3.



Slika 3: Uloga BI aplikacija u procesu odlučivanja

Primenom Oracle BI tehnologije je razvijeno više od 40 izveštaja koji su grupisani prema segmentima sistema na koji se odnose (Radivojević et al. 2012): Naplata putarine (finansijski i saobraćajni izveštaji), Primena TAG-ova i KK, Upravljanje sistemom, i Rad sa klijentima. Svi izveštaji se mogu dobiti na različitim nivoima detaljnosti, u zavisnosti od zadatih ulaznih parametara (put, stanica, inkasant, period, medijum, klijent, i dr.).

BI platforma omogućava razvoj različitih tipova aplikacija u zavisnosti od načina obrade podataka, kompleksnosti, interakcije sa korisnikom i forme prikazivanja informacija. U TMSS-u su razvijeni sledeći tipovi BI aplikacija:

- Standardni izveštaji – unapred definisani izveštaji, koji koriste podatke iz DWH sistema preko razvijenih modela podataka. Oni omogućavaju interakciju sa korisnikom preko unosa određenih parametara kojima se definiše obim izveštavanja (put, stanica, traka, period, inkasant, klijent). Ovaj tip izveštaja je razvijen za funkcionalnosti koje su neophodne u svakodnevnom radu korisnika sistema (finansijski i saobraćajni izveštaji, izveštaji o klijentima, itd.).
- Ad hoc upiti i izveštaji – omogućavaju korisnicima pretraživanje podataka preko višedimenzionih modela podataka (OLAP kocka). Ad hoc izveštaji daju tabelarni prikaz rezultata, rade se po potrebi i predstavljaju odgovor na trenutne zahteve korisnika.
- Analitičke aplikacije – kompleksni izveštaji koji kombinuju različite skupove poslovnih informacija izdvojenih po određenim karakteristikama, sa jednim ili više pristupa za analizu informacija. Ove aplikacije se odnose na analitiku poslovnih procesa i aktivnosti (izveštaji o crnim i sivim listama TAG-ova i KK, saobraćajna slika kretanja vozila, izveštaj o plaćanju i prolascima vozila sa TAG-ovima i KK, i dr.).
- Kontrolne table i Scorecards – predstavljaju najnapredniju varijantu BI aplikacija, jer obuhvataju veliki skup podataka koji se odnose na različite poslovne procese, i vizuelizaciju rezultata na način koji korisniku najbrže prezentira nove informacije i znanja. Kontrole table se primenjuju za nadzor i upravljanje procesima i aktivnostima, obezbeđujući praćenje promena u realnom vremenu (pregled stanja sistema, pregled stanja opreme, i dr.). Balanced Scorecards omogućava praćenje poslovnih performansi sa različitih aspekata u realnom vremenu i upozorenje na buduće promene (praćenje rada Optical Character Recognition – OCR i Video Surveillance – VS sistema, komunikacija svih nivoa sistema i praćenje podataka o dolaznim/odlaznim porukama, i dr.).

Sve razvijene BI aplikacije mogu imati različite formate izlaznih podataka (doc, pdf, ppt, html, xml, xls), koji se mogu prikazivati na ekranu, štampati, slati korisnicima preko email-a ili faksa, ili čuvati u repozitorijumu. Aplikacije se mogu izvršavati na zahtev korisnika, automatski u zadatim vremenskim terminima, ili posle određenih događaja u poslovnom sistemu. Na primer, izveštajne aplikacije koje se svakodnevno izvršavaju za rukovodeće korisnike, računi i fakture za plaćanje TAG-ova i KK koji se na početku meseca dostavljaju klijentima preko email-a, analitičke aplikacije koje se izvršavaju kada se crne i sive liste TAG-ova i KK distribuiraju naplatnim stanicama, kontrolne table koje izveštavaju o radu opreme na naplatnim trakama, i dr.

BI aplikacije opisuju funkcionisanje određenih poslovnih aktivnosti i procesa, mogu biti na različitim nivoima detaljnosti i u skladu sa time su namenjene različitim upravljačkim nivoima sistema naplate putarine. Na osnovu ovako definisanih izveštaja, na svakom nivou se mogu doneti kvalitetne odluke koje se odnose na pojedinačne poslovne procese, grupu procesa, ili odnose sa eksternim sistemima (banke, provajderi TAG-ova i KK, specijalni korisnici, i dr.). Odluke koje se donose u poslovnom sistemu mogu se odnositi na:

- Fizičku konfiguraciju sistema (određivanje broja i tipa ulaznih i izlaznih traka, definisanje radnih smena),
- Tarifnu politiku (cenovnici putarine, tarifni paketi za TAG-ove i KK, liste izuzeća i besplatnih prolaza),
- Stimulaciju primene TAG-ova i KK (proširenje mreže prodajnih mesta, bonusi i popusti kod plaćanja za izabrane klijente),
- Upravljanje odnosima sa korisnicima (praćenje stanja računa klijenata i sivih i crnih lista, uvođenje dodatnih web servisa), i dr.

## 5. EFEKTI BI U TMSS

Prednosti primene BI tehnologije su velike, kako za poslovni sistem tako i za njegove klijente. Prema nekim istraživanjima BI omogućava precizniji uvid u podatke i informacije, bolje razumevanje poslovnih promena, bolje planiranje i donošenje odluka na svim nivoima (Russom 2011).

Efekti primene BI u razvoju i eksploataciji TMSS-a se mogu posmatrati sa više aspekata:

- DWH je savremena tehnologija baza podataka neophodna za primenu BI, koja omogućava čuvanje velikih količina podataka prikupljenih iz različitih izvora. Dobro projektovan DWH sistem obezbeđuje jednostavan pristup podacima na različitim nivoima agregacije i povezivanje podataka iz različitih poslovnih procesa.
- BI omogućava projektovanje različitih aplikacija, od standardnih unapred definisanih izveštaja, do kontrolnih tabli koje se koriste za praćenje performansi i funkcionisanja poslovnih procesa u realnom vremenu. U aplikacijama je moguće definisati različite nivoe interakcije sa korisnicima, oblike vizuelizacije informacija, formate izlaznih rezultata i vreme izvršavanja.
- BI aplikacije se veoma brzo izvršavaju za velike količine podataka i najkompleksnije izveštaje. Dosadašnja eksploatacija TMSS-a je pokazala da se najveći broj aplikacija izvršava skoro trenutno a neke kompleksne analitičke aplikacije se izvršavaju za manje od 10 s.
- Aplikacije za nadzor i upravljanje opremom i procesima naplate putarine u realnom vremenu omogućavaju povezivanje različitih internih sistema (OCR, VS, transakcija naplate) i dobru vizuelizaciju procesa, koja korisnicima poboljšava uslove nadgledanja i pravovremenog reagovanja.
- BI tehnologija obezbeđuje obradu svih podataka o sistemu naplate putarine i njihovu transformaciju u kvalitetne i pouzdane informacije koje predstavljaju osnovu za donošenje odluka na svim upravljačkim nivoima.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je opisana primena BI u Sistemu za nadzor i upravljanje naplatom putarine – TMSS. Dosadašnja eksploatacija sistema ukazuje na pozitivne efekte BI tehnologije, koji se mogu posmatrati kroz:

- Poboljšanje operativnog funkcionisanja poslovnih procesa – BI aplikacije koje obezbeđuju monitoring, izveštavanje i analitiku osnovnih poslovnih procesa; pravovremeno reagovanje u kritičnim situacijama; donošenje operativnih i taktičkih odluka.
- Poboljšanje procesa upravljanja u poslovnom sistemu – strateške aplikacije koje obezbeđuju izveštavanje i analitiku kao podršku donošenju upravljačkih i strateških odluka; merenje, praćenje, kontrola i planiranje poslovnih performansi.

BI tehnologija je novi način razmišljanja i metodologija projektovanja DWH sistema i različitih tipova BI aplikacija, koji odgovaraju organizacionoj strukturi poslovnog sistema od nivoa izvora podataka do nivoa korišćenja novih informacija i znanja.

### Napomena

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva nauke Republike Srbije, u okviru projekta TR 36005 – Nove tehnologije u inteligentnim transportnim sistemima – primena u gradskim i prigradskim uslovima (2011-2014).

### LITERATURA

- [1] Oracle (2012). [on line] Oracle Event Processing, Dostupno na: [www.oracle.com/technetwork/middleware/complex-event-processing/overview/complex-event-processing-088095.html](http://www.oracle.com/technetwork/middleware/complex-event-processing/overview/complex-event-processing-088095.html) [Pristupano: 22.09.2013.]
- [2] Institut Mihajlo Pupin (2012). Projekat "Sistem naplate putarine u Federaciji Bosne i Hercegovine – deonica autoputa Jošanica-Kakanj", Beograd, Srbija.
- [3] Radivojević, G., Lazić, B., Šormaz, G. & Kostić, P. (2013). "Informacioni sistem za nadzor i upravljanje naplatom putarine", Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2013, Zlatibor, 08-12. septembar 2013.
- [4] Radivojević, G., Šormaz, G., Kostić, P., Lazić, B. & Šenborn, A. (2012). Data Analytics and Reporting in Toll Management and Supervision System – Case study Bosnia and Herzegovina, Proceedings on CD of The 2nd International Conference on Supply Chain, 5 & 6 October 2012, Katerini, Greece. Editors: D. Folinas and D. Aidonis.
- [5] Russom, P. (2011). Big Data Analytics, TDWI best practices Report, Dostupno na: <http://tdwi.org/research/list/tdwi-best-practices-reports.aspx>, [Pristupano: 15.09.2013.]



## THE SELECTION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR ACHIEVING OPERATIONAL EXCELLENCE IN BANKING USING ANP METHODOLOGY

VESNA TORNJANSKI<sup>1</sup>, NIKOLAOS KOULOMPOUROS<sup>2</sup>, NENAD LALIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eurobank a.d. Belgrade, vtornjanski@gmail.com

<sup>2</sup> Eurobank a.d. Belgrade, Nikolaos.Koulompouros@eurobank.rs

<sup>3</sup> University of Bijeljina, Faculty of Education, nenad.lalic@yahoo.com

**Abstract:** *This paper deals with the application of multi-criteria decision-making method based on the analytic network process (ANP) in the selection of key performance indicators (KPIs), as integral part of a holistic strategy for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia. The proposed methodology provides a comprehensive, objective and accurate assessment of the all effects that influence defined objective through quantification of tangible and intangible alternatives and factors in decision-making in complex conditions. Findings indicate the possibility of practical implementation of ANP methodology in the banking sector, given that this method enables decision-makers to better understand complex relations of relevant attributes and their dependences when making decisions, which further implies improvement of reliability of the made decision. As a result of applied ANP methodology, this paper presents a conceptual model for selection of KPIs aiming to achieve operational excellence in banking.*

**Keywords:** *Multi-criteria decision-making, analytic network process (ANP), key performance indicators (KPIs), operational excellence, banking sector of Serbia, conceptual model for KPIs selection.*

### 1. INTRODUCTION

In the condition of a dynamic business environment and intense competition, the incorporation of the operational excellence concept into the focus of strategic management is not only an option, but a necessity for gaining competitive advantage, and a key to business success in the banking sector (Asif et al. 2010, Sarkar 2007). According to Tyndall et al. (1998), recent research and experience show that shareholders' value increases significantly when the company achieves a higher level of operational excellence. Thus, operational excellence has been recognized as an integral part of designing and implementing successful business strategies for profitable growth and increased shareholders' value.

In order to achieve operational excellence in banking in today's complex operating conditions, it is necessary to integrate "lean" management into the organization (Davies 2003, Delgado et al. 2010), to establish a continuous monitoring, measuring and managing business performances (Austin 2013) and to consolidate business processes toward the set strategic goals, which further implies the development of smart processes focussed simultaneously on the efficiency and effectiveness of banking operations (Taylor 2013).

An effective performance measurement system is based on the inclusion of qualitative and quantitative key performance indicators that influence business processes, overall business goals, and thus the overall performance of the organization (Weber and Thomas 2005, Barbuio 2007, Parmenter 2010). Cable et al. (2005) argue that measuring performances by establishing key performance indicators (KPIs) is the underlying foundation of strategic management in making important decisions. Key performance indicators suggest to the strategic management what is needed to be done to significantly improve business performances (Parmenter 2010). Given their importance in decision-making, the selection of an appropriate set of key performance indicators is one of the major challenges that managers face today (Carlucci 2010). A careful selection of key performance indicators can very accurately identify shortcomings in doing business (Weber and Thomas 2005, Marr 2012). Otherwise, a wrong selection can lead to suboptimal results (Bauer 2004).

The selection of the key performance indicators for achieving operational excellence in the banking sector can be interpreted as a multi-criteria decision-making problem involving a large number of factors and the corresponding correlation between the elements. To this end, this paper will present the application of a method based on the analytic network process (ANP) when deciding on a set of KPIs, as an integral part of a holistic strategy for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia.

## 2. DECISION-MAKING IN BANKING BY USING ANALYTIC NETWORK PROCESS

Today's complex and dynamic environment, in which banks operate, implies a high level of uncertainties and risks in decision-making (Čupić and Suknović 2010, Eiselt and Marianov 2014). Due to the huge amount of information and data, often conflicting alternatives and multiple priorities, the adoption of appropriate business decisions becomes a complex, multicriteria and multidimensional problem that causes a change in the way of decision-making. Hence, there was a need for the development of contemporary approaches, methodologies and software to support appropriate decision-making in complex operating conditions (Cook et al. 2012, Čupić and Suknović 2010).

Taking this into account, effective decision-making involves a cognitive process that is based on the development of a systematic and logical approach based on the integration of internal and external factors, all available information and alternatives, as well as on the use of appropriate tools and decision support systems (Drucker 1967, Čupić and Suknović 2010, Heizer and Render 2010, Wood and Bandura 1989, Tornjanski et al. 2014).

After the extensive use of the method based on analytic hierarchy process (AHP) in different areas of business (Saaty 1999), and due to the increasing complexity of circumstances in decision-making, the need for the creation of new methods in the decision-making process appears. In addition, it was understood that a large number of problems in complex conditions could not be represented by a hierarchical structure on which the AHP method is based (Sadeghi et al. 2012). For this purpose, Thomas Saaty has developed a new method that is based on the analytic network process - ANP method (Saaty 2001) as an upgrade of AHP (Saaty 2005).

### 2.1. Methodological basis of ANP method

The analytic network process is a newer, multi-criteria method that provides comprehensive quantification and objectification of any significant, tangible and intangible factors and the inclusion of all the influences between the relevant criteria and alternatives in decision-making in complex operating conditions (Saaty 2005a, Jharkharia and Shankar 2007, Saaty 2008, Tornjanski et al. 2014).

The analytic network process (ANP) is a method based on the development of a network, thus extending the hierarchical concept of the analytic hierarchy process (AHP) to the situations in which there are interdependence and feedback (Saaty 1999). Although both methods, AHP and ANP, are based on priority performance by pairwise comparison of elements of decision-making by Saaty's nine-point scale (Saaty 1986), there are still some differences between them (Saaty 2005a, Saaty 2008).

The principal difference of the ANP method compared to the AHP is its ability to interact and report a feedback inside and between the components in the clusters (inner dependency), as well as between the clusters (outer dependency). In addition to inner and outer dependency, it is possible to connect the whole clusters (Saaty 2004, Saaty 2008).

Besides, the ANP method is a model with non-linear structure, whereas the AHP method is based on hierarchical and linear structure in which the target is located at the top of the hierarchy, while the alternatives are located at the lowest level of the hierarchical structure (Saaty 1999a, Saaty 2008).

The use of model in decision-making based on the analytic network process consists of five basic steps (Saaty 2001): a) Decomposition of the decision problem, b) Clustering for evaluation, c) Structuring the ANP model, d) Pairwise comparison and prioritization, e) Sensitivity analysis of results.

According to research conducted by Sipahi and Timor (2010), the concept of ANP method has proven to be successful with the simultaneous use of expert knowledge and experience. Moreover, the authors estimate that the implementation of ANP method will achieve greater popularity in comparison to the AHP method once the benefits of this method are better understood (Sipahi and Timor 2010).

Thus, ANP represents a generalization of the AHP method that is based on modeling of complexity and arises from the feedback connections between the elements of structured decision-making problems. This method allows modeling of functional interactions of criteria and alternatives in the model, resulting in greater accuracy in obtaining results and can be used in two ways: using a network model (system) or BOCR model (controlled hierarchy) (Tornjanski et al. 2014). This paper implements a network model of the ANP method.



### 3. APPLICATION OF ANP METHOD IN BANKING

This chapter presents the applications of multi-criteria decision-making method based on the analytic network process with the aim to precisely assess all the effects that influence the selection and definition of appropriate set of key performance indicators for operational excellence in the banking sector of Serbia. A decision problem is decomposed into the network structure in which the connection of different types of relations between the corresponding groups of elements is incorporated, as well as between the elements relevant to the decision.

The assessment was made based on the expert knowledge and professional experience of the authors of this paper, while for solving problem the software solution „Super Decisions”<sup>1</sup> was used.

#### 3.1. Development of ANP model for selection of KPIs in banking

The main objective of application of the ANP method is to propose a set of key performance indicators for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia, as a necessity for gaining competitive advantage, profitable growth and maximizing shareholders' value.

Setting a holistic strategy for the selection of key performance indicators implies the determination of significant internal and external factors that influence the selection of a set of KPIs. In the model shown in Figure 1, the internal factors are presented in five groups of critical success factors (CSFs), related to the financial aspect, customers aspect, learning and growth, satisfaction of employees, and the aspect of internal processes. All groups of critical success factors contain a set of more specific CSFs that influence the selection of an appropriate set of key performance indicators for operational excellence in banking. Competition and innovations are significant external factors in the developed ANP model.

The financial aspect includes the following CSFs: Optimization of revenue from profitable customers, reduction of operating costs and the value of new business.

The customer aspect involves three critical success factors: increased customer satisfaction, increased excellence in all aspects of banking services and the development of new products / services for key customers of the bank.

Learning and growth implies the following CSFs: increasing the empowerment of employees, creating an organizational culture for continuous learning, a multiple support for employment growth and development.

From the perspective of employees' satisfaction the following CSFs are identified: rewarding and recognizing existing employees, increase the level of satisfaction of employees and the support in life-work balance of employees.

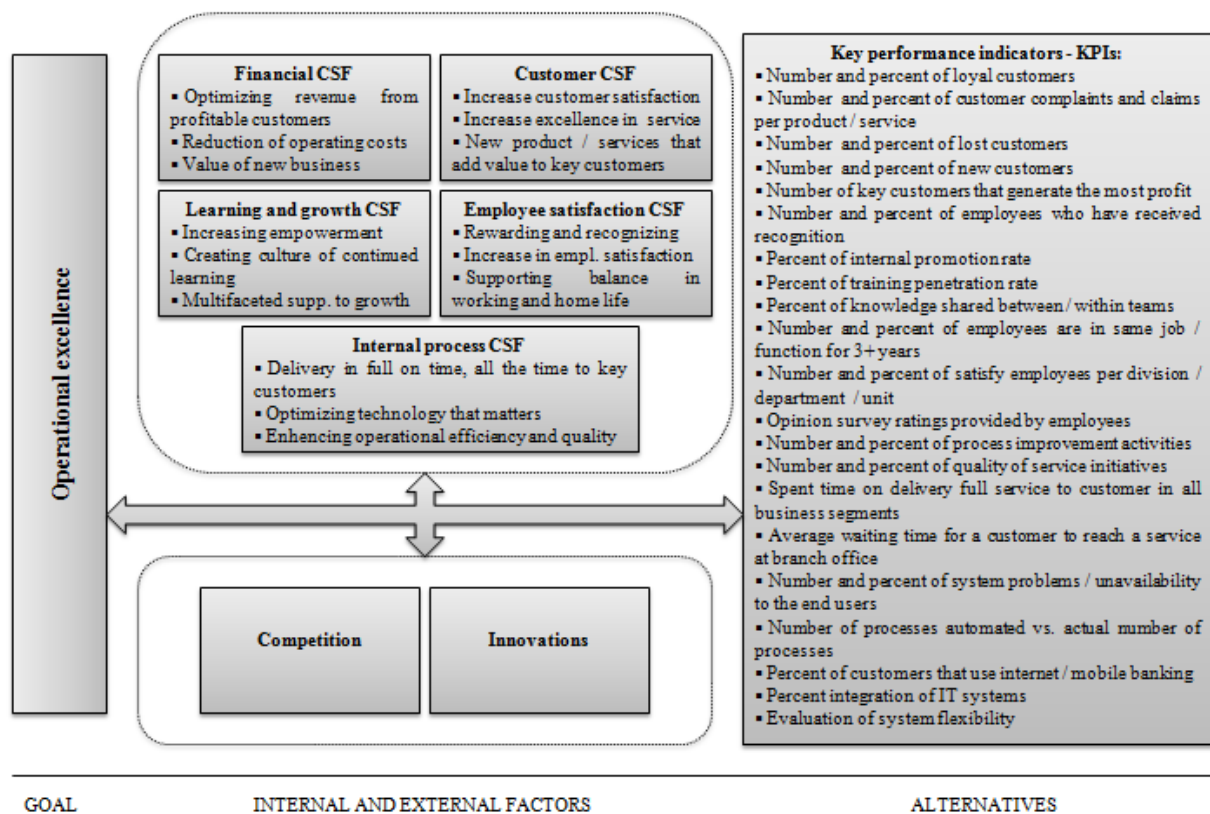
Within the group of internal processes, there are three CSFs: delivery in full, on time and always to the key customers, optimization of relevant technology, as well as improving operational efficiency and service quality.

Operational excellence in the banking sector of Serbia can be achieved if we recognize the important key performance indicators that represent a set of measures focusing on those aspects of organizational performance that are the most critical to the vitality and business success of an organization.

Key performance indicators, presented in the model, are derived from the scientific literature and consist of the following alternatives: the number and percentage of loyal customers, the number and percentage of customer complaints and claims per product / service, the number and percentage of lost customers, the number and percentage of new customers, the number of key customers who generate the most of profit, the number and percentage of employees who have received recognition, the percentage of internal promotion of employees, the percentage of training penetration rate, the percentage of shared knowledge between and within teams, the number and percentage of employees in the same job for more than 3 years, the number and percentage of satisfied employees per division / department / unit, opinion survey ratings provided by employees, the number and percentage of business process improvement activities, the number and percentage of initiatives in the quality of services, time spent on a full service to customers in all business segments, the customer average waiting time in branches, the number and percentage of system problems / unavailability of the system to end users, the number of automated processes versus actual number of processes, the percentage of customers who use the internet and mobile banking services, the percentage of integration of IT systems, and evaluation of system flexibility.

---

<sup>1</sup> [www.superdecisions.com](http://www.superdecisions.com)



**Figure 1:** Conceptual ANP model for the selection of KPIs for achieving operational excellence in banking (Source: Authors)

The „Super Decisions“ software solution uses the network model for solving decision problem.

#### 4. ANALYSIS OF RESULTS

Based on the results shown in Table 1, the authors maintain that for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia, strategic management of each bank should be focused on employees' satisfaction, having in mind that continuous employees' satisfaction significantly influence the delivery of superior value to the customers, which further implies the increase of profitability. In parallel, loyal customers, key customers who generate the most profit, time spent on a full service delivery to customers in all business segments, as well as the average waiting time for a customer to get a service at a branch office should be in the spotlight of every customer-centric organization.

**Table 1:** The final priorities of alternatives for decision-making

Alternatives	Designation	Normalized	Idealized	Priority
Number and percent of satisfy employees per division / department / unit	A11	0.09570	1.00000	1
Number and percent of loyal customers	A1	0.09128	0.95384	2
Number of key customers that generate the most profit	A5	0.08539	0.89223	3
Spent time on delivery full service to customer in all business segments	A15	0.06751	0.70542	4
Number of processes automated vs. actual number of processes	A18	0.06482	0.67734	5
Average waiting time for a customer to reach a service at branch office	A16	0.06380	0.66669	6
Number and percent of system problems / unavailability to the end users	A17	0.06032	0.63029	7
Number and percent of process improvement activities	A13	0.05576	0.58262	8
Number and percent of quality of service initiatives	A14	0.05470	0.57159	9
Percent of training penetration rate	A8	0.05146	0.53767	10
Percent of knowledge shared between / within teams	A4	0.05075	0.53035	11
Percent integration of IT systems	A20	0.04589	0.47948	12
Number and percent of new customers	A9	0.04248	0.44384	13
Number and percent of customer complaints and claims per product / service	A2	0.03549	0.37080	14
Percent of internal promotion rate	A7	0.02957	0.30901	15
Number and percent of lost customers	A3	0.02494	0.26056	16
Evaluation of system flexibility	A21	0.02260	0.23620	17
Number and percent of employees are in same job / function for 3+ years	A10	0.01576	0.16471	18
Number and percent of employees who have received recognition	A6	0.01475	0.15410	19
Opinion survey ratings provided by employees	A12	0.01417	0.14807	20
Percent of customers that use internet / mobile banking	A19	0.01287	0.13452	21



Further, as information technology plays a vital role in the banking sector, the automation of processes, IT system integration, and the overall efficiency of the technology should be properly measured and monitored to provide an effective service to end users. In addition, the improvement / redesign of existing business processes, as well as initiatives for the development of quality services represent important indicators for reaching operational excellence in banking. Moreover, the focus on employees' development through appropriate training and the creation of an organizational culture of undisturbed sharing of knowledge within / between teams is an important factor in the conceptual model for the effective development, measuring and monitoring of the organizational performance.

The authors of the paper deem that the first twelve alternatives are the most important elements necessary for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia. Also, the authors are of the opinion that each bank should adjust the priority of key performance indicators for the achievement of operational excellence based on the current state of the organization, and in accordance with pre-defined strategic and / or operational objectives, both at the organization and at the division, department or unit level.

## 5. CONCLUSION

This paper presents the application of the ANP method in multi-criteria decision-making, that is used to carry out a quantitative analysis of alternatives and their relative weights in relation to major internal and external factors, which led to a precise selection of key performance indicators for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia, as an imperative need for gaining competitive advantage, profitable growth and maximizing shareholders' value.

In the proposed conceptual model, the internal factors are presented in five groups of critical success factors related to the financial aspect, the aspect of customers, learning and growth, satisfaction of employees, and the aspect of internal processes. Competition and innovations are important external factors in the developed ANP model.

The authors of the paper claim that the first twelve alternatives are the most important elements that are necessary for achieving operational excellence in the banking sector of Serbia. Also, the authors are of the opinion that each bank should design their own business metrics for assessing the factors that are crucial to the vitality and the success of an organization.

Based on the obtained results, the paper demonstrates the possibility of using ANP network model, given that this methodology provides a comprehensive, objective and accurate assessment of all the effects that influence defined objective through the quantification of tangible and intangible elements in decision-making in complex conditions, thus improving the reliability of decisions.

The authors' subjective assessment of the evaluation of key performance indicators represents a potential limitation of the paper.

However, the paper provides an effective framework to guide managers in identifying key performance indicators for achieving operational excellence. Also, the paper can contribute to the theorists and managers in the fields of decision-making, business decision-making, as well as to the managers in the banking sector.

Future research should include testing of combined use of the ANP methodology with other qualitative and quantitative methods in order to further develop approaches and techniques for effective decision-making in complex business circumstances.

## REFERENCES

- [1] Asif, M., Fisscher, O. A., de Bruijn, E. J. & Pagell, M. (2010). Integration of management systems: A methodology for operational excellence and strategic flexibility. *Operations Management Research*, 3(3-4), 146-160.
- [2] Austin, R. D. (2013). *Measuring and managing performance in organizations*. Addison-Wesley.
- [3] Barbuio, F. (2007). *Performance measurement: a practical guide to KPIs and benchmarking in public broadcasters*. Measurement, 1-24.
- [4] Bauer, K. (2004). KPIs—the metrics that drive performance management. *DM Review*, 14(9), 63-64.
- [5] Cable, J. H., Davis, J. S., Hoc, F. F. C. A. & Council, F. F. (2005). *Key Performance Indicators for Federal Facilities Portfolios: Federal Facilities Council Technical Report Number 147 (Vol. 147)*. National Academies Press.
- [6] Carlucci, D. (2010). Evaluating and selecting key performance indicators: an ANP-based model. *Measuring Business Excellence*, 14(2), 66-76.

- [7] Cook, M., Noyes, J. & Masakowski, Y. (2012). *Decision making in complex environments*. Ashgate Publishing, Ltd.
- [8] Čupić, M. & Suknović, M. (2010). *Odlučivanje*. Belgrade, Faculty of Organizational Sciences.
- [9] Davies, R. (2003). *Applying lean and six sigma for operational excellence in financial services*. bmw williamsf1 team, 6, 96.
- [10] Delgado, C., Ferreira, M. & Branco, M. C. (2010). The implementation of lean Six Sigma in financial services organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(4), 512-523.
- [11] Drucker, P. F. (1967). The effective decision. *Harvard Business Review*, 45(1), 92-98.
- [12] Eiselt, H. A. & Marianov, V. (2014). Multicriteria decision making under uncertainty: a visual approach. *International Transactions in Operational Research*.
- [13] Heizer, J. & Render, B. (2010). *Operations Management*. 10th edn. Prentice Hall.
- [14] Jharkharia, S. & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274-289.
- [15] Marr, B. (2012). *Key Performance Indicators (KPI): The 75 measures every manager needs to know*. Pearson UK.
- [16] Parmenter, D. (2010). *Key performance indicators (KPI): developing, implementing, and using winning KPIs*. John Wiley & Sons.
- [17] Saaty, T. (1986). Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, 32(7), 841-855.
- [18] Saaty, T. (1999). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world (Vol. 2)*. RWS publications.
- [19] Saaty, T. (1999a). Seven pillars of the Analytic Hierarchy Process. *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*.
- [20] Saaty, T. (2001). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS publications.
- [21] Saaty, T. (2004). Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network. *Journal of Systems science and Systems engineering*, 13(2), 129-157.
- [22] Saaty, T. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys* (pp. 345-405). Springer New York.
- [23] Saaty, T. (2005a). *Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS publications.
- [24] Saaty, T. (2008). The analytic network process. *Iranian Journal of Operations Research*, 1(1), 1-27.
- [25] Sadeghi, M., Rashidzadeh, M. A., & Soukhakian, M. A. (2012). Using Analytic Network Process in a Group Decision-Making for Supplier Selection. *Informatica*, 23(4), 621-643.
- [26] Sarkar, D. (2007). *Lean for Service Organizations and Offices: a holistic approach for achieving operational excellence and improvements*. ASQ Quality Press.
- [27] Sipahi, S. & Timor, M. (2010). The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. *Management Decision*, 48(5), 775-808.
- [28] Taylor, J. (2013). *Driving Operational Excellence with Business Analytics*.
- [29] Tornjanski, V., Marinković, S. & Lalić, N. (2014). Application of ANP method based on a BOCR model for decision-making in banking. *Proceedings of the XIV International Symposium SymOrg: New business models and sustainable competitiveness (SYMORG 2014)*, Zlatibor, Serbia.
- [30] Tyndall, G., Gopal, C., Partsch, W. & Kamauff, J. (1998). *Supercharging Supply Chains. New Ways To Increase Value Through Global Operational Excellence*.
- [31] Weber, A. & Thomas, R. (2005). *Key performance indicators. Measuring and Managing the Maintenance Function*, Ivara Corporation, Burlington.
- [32] Wood, R. & Bandura, A. (1989). Impact of conceptions of ability on self-regulatory mechanisms and complex decision making. *Journal of personality and social psychology*, 56(3), 407-415.

**PRIMENA  
OPERACIONIH  
ISTRAŽIVANJA U  
ODBRANI**



## **UTVRĐIVANJE MEĐUSOBNOG ODNOSA PERSPEKTIVA SISTEMA ODBRANE PRIMENOM DEMATEL METODE**

### **DETERMINATION OF MUTUAL RELATIONS DEFENSE SYSTEM PERSPECTIVES USING DEMATEL METHOD**

SRĐAN DIMIĆ<sup>1</sup>, MILAN KANKARAŠ<sup>1</sup>, DRAGAN KOSTADINOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uprava za stratezijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, {srdjan.dimic, milan.kankaras}@mod.gov.rs

<sup>2</sup> Mešovita artiljerijska brigada, Niš, kotoza@beotel.net

**Rezime:** *Izbor perspektiva sistema odbrane, kao neprofitne organizacije, nosi određene specifičnosti koje dobrim delom proizilaze iz njegovih misija i zadataka. S obzirom da su neprofitne organizacije usmerene na zadovoljenje klijenata u skladu sa definisanom misijom i ciljevima, bez akcenta na finansijsku dobit, neophodno je modifikovati klasičnu arhitekturu Balanced Scorecard. Kod ovih organizacija značajnija su nefinansijska merila performansi. Stoga je ovim organizacijama potreban sveobuhvatan sistem adekvatno odabranih i izbalansiranih nefinansijskih i finansijskih merila performansi, koji se razlikuje od sistema merenja komercijalnih, profitno orijentisanih organizacija. U radu je prikazan mogući način utvrđivanja međusobnog odnosa perspektiva sistema odbrane, primenom DEMATEL metode.*

**Ključne reči:** *DEMATEL metoda, perspektive, sistem odbrane.*

**Abstract:** *The choice of defence system perspectives, as a non-profit organization, is specific because their choices depend on defence system mission and objectives. Considering that non-profit organizations there are focus on customer satisfaction in accordance with a defined mission and goals, without emphasis on financial gain, it is necessary to modify the classical architecture of the Balanced Scorecard. For those organizations are important usage non-financial performance measures. Therefore, these organizations need a comprehensive system of appropriately selected and balanced non-financial and financial performance measures. This system of measurement is different from the measurement system of profit-oriented organizations. This paper presets a way of determining relationship between defence system perspectives, using the DEMATEL method.*

**Keywords:** *DEMATEL method, perspectives, defence system.*

## **1. UVOD**

Balanced scorecard (u daljem tekstu: BSC) je relativno nov koncept koji ima veoma važnu ulogu u formulisanju i implementaciji strategije. Glavni problem stratezijskog upravljanja nije u formulisanju strategije, koliko je u njenoj implementaciji. Balanced Scorecard je okvir koji omogućava da strategija bude operacionalizovana, da organizacija bude prilagođena strategiji i u krajnjem da strategija postane svakodnevni posao i kontinuirani proces.

Osnovu BSC čini ideja da performanse organizacije ne treba pratiti samo putem finansijskih indikatora, jer su finansijski indikatori tzv. odložena merila performansi. To znači da se finansijski indikatori formiraju sa određenim vremenskim kašnjenjem u odnosu na konkretne faktore koji su te finansijske indikatore proizveli. Balanced scorecard kao matrica uravnoteženih pokazatelja daje indikatore o uspehu organizacije na više polja tako da se dobija predstava o tome kako unaprediti veštine i znanja zaposlenih, prodaju, proizvodnju, unutrašnju organizaciju i motivaciju zaposlenih.

Balanced scorecard je originalno bio namenjen profitnim organizacijama, ali je ubrzo kao uspešan sistem modifikovan i za organizacije javnog sektora i neprofitne organizacije. S obzirom da su te organizacije usmerene na zadovoljenje klijenata u skladu sa definisanom misijom i ciljevima, bez akcenta na finansijsku dobit, neophodno je klasičnu arhitekturu BSC modifikovati kako bi se zamenili prioriteti. Dok profitne organizacije pokušavaju da definišu i uspostave strategiju, neprofitne se okreću kreiranju planova i programa za obezbeđenje budžeta. Kao rezultat toga neprofitne organizacije su fokusirane prevashodno na interna

merjenja efikasnosti i kvaliteta u okviru raspoloživih sredstava pa je stoga misija kod njih kao najvažniji pokretač stavljena na vrhu BSC.

## 2. DEMATEL METODA

Metod DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) predstavlja sveobuhvatan metod za projektovanje i analiziranje strukturnog modela sa uzročnim odnosima između kompleksnih faktora (Wu and Lee 2007). Kao rezultat primene metode dobijaju se ukupni direktni i indirektni uticaji svakog faktora predati na ostale faktore, ali i primljeni od ostalih faktora.

Korišćenjem DEMATEL metode razmatraju se zavisni faktori i utvrđuje se stepen zavisnosti između njih. Metod je zasnovan na teoriji grafa, omogućavajući vizuelno planiranje i rešavanje problema tako da se relevantni faktori mogu podeliti na uzročne i posledične u cilju boljeg razumevanja međusobnih odnosa. Ovaj metod omogućava bolje razumevanje kompleksne strukture razmatranog problema i određuje veze između faktora, veze između nivoa strukture i jačine uticaja faktora (Li and Tzeng 2009).

Postupak izračunavanja intenziteta međusobnih uticaja faktora, odnosno pokazatelja DEMATEL metodom realizuje se u pet koraka (Sumrit and Anuntavoranich 2013):

**Korak 1:** Pod pretpostavkom da postoji  $m$  eksperata u posmatranom istraživanju i  $n$  faktora koji se posmatraju, svaki ekspert treba da odredi stepen uticaja faktora  $i$  na faktor  $j$ . Uporedna analiza para  $i$ -tog i  $j$ -tog faktora od strane  $k$ -tog eksperta označava se sa  $x_{ij}^k$ , pri čemu je:  $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, n$ ;  $k=1, \dots, m$ . Vrednost svakog para  $x_{ij}^k$  uzima jednu celobrojnu vrednost sa sledećim značenjem: 0 - nema uticaja; 1 - mali uticaj; 2 - srednji uticaj; 3 - veliki uticaj; 4 - veoma veliki uticaj. Odgovor  $k$ -tog eksperta prikazuje se nenegativnom matricom ranga  $n \times n$ , a svaki element  $k$ -te matrice u izrazu  $\mathbf{X}^k = [x_{ij}^k]_{n \times n}$  označava ceo nenegativan broj  $x_{ij}^k$ , pri čemu je  $1 \leq k \leq m$ . Prema tome, matrice  $\mathbf{X}^1, \mathbf{X}^2, \dots, \mathbf{X}^m$  su matrice odgovora svakog od  $m$  eksperata. Dijagonalni elementi matrice odgovora svih eksperata uzimaju vrednost nula jer isti faktori nemaju uticaja. Na osnovu postavljenih matrica odgovora  $\mathbf{X}_k = [x_{ij}^k]_{n \times n}$  od strane svih  $m$  eksperata može se izračunati matrica prosečnih odgovora  $\mathbf{Z} = [z_{ij}]_{n \times n}$ , koja predstavlja srednju vrednost mišljenja svih  $m$  eksperata za svaki element matrice  $\mathbf{Z}$  na sledeći način:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

pri čemu je:

$$z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x_{ij}^k \quad (2)$$

Matrica  $\mathbf{Z}$  prikazuje početne efekte koje određeni faktor prouzrokuje, ali i početne efekte koje dobija od ostalih faktora.

**Korak 2:** Na osnovu matrice  $\mathbf{Z}$  izračunava se normalizovana matrica prosečne percepcije –  $\mathbf{D}$ , izraz (3).

$$\mathbf{D} = \mathbf{Z} / s \quad (3)$$

gde je:

$$s = \max \left( \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}; \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) \quad (4)$$

Suma svakog  $i$ -tog reda matrice  $\mathbf{Z}$  predstavlja ukupne direktne efekte koje je faktor  $i$  omogućio ostalim faktorima, a suma svake  $j$ -te kolone matrice  $\mathbf{Z}$  predstavlja ukupne direktne efekte koje je faktor  $j$  dobio od ostalih faktora. Matrica  $\mathbf{D}$  se dobija kada se svaki element  $z_{ij}$  matrice  $\mathbf{Z}$  podeli sa izrazom  $s$ , pri čemu svaki element  $d_{ij}$  matrice  $\mathbf{D}$  uzima vrednost između nule i jedan.

**Korak 3:** Izračunava se matrica ukupnih uticaja –  $\mathbf{T}$  ranga  $n \times n$  prema izrazu (6), gde element  $t_{ij}$  predstavlja direktan uticaj faktora  $i$  na faktor  $j$ , a matrica  $\mathbf{T}$  odražava ukupne odnose između svakog para faktora.

$$T = D(I - D)^{-1}, \quad (5)$$

gde je  $I$  jedinična matrica ranga  $n \times n$ .

$$T = [t_{ij}]_{n \times n}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

**Korak 4:** U matrici ukupnih uticaja  $T$  suma redova i suma kolona predstavljena je vektorima  $R$  i  $C$  ranga  $n \times 1$ , odnosno:

$$R = [r_i]_{n \times 1} = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (7)$$

$$C = [c_j]_{1 \times n} = \left[ \sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n} \quad (8)$$

Vrednost  $r_i$  predstavlja sumu  $i$ -tog reda matrice  $T$ , i prikazuje ukupne direktne i indirektne efekte koje je faktor  $i$  omogućio ostalim faktorima. Vrednost  $c_j$  predstavlja sumu  $j$ -te kolone matrice  $T$ , i prikazuje ukupne direktne i indirektne efektne koje je faktor  $j$  dobio od ostalih faktora. U slučaju kada je  $i=j$ , onda izraz  $(r_i + c_i)$  predstavlja značajnost faktora, a izraz  $(r_i - c_i)$  označava intenzitet uticaja faktora u odnosu na ostale (Tzeng et al. 2007).

**Korak 5:** Određivanje praga vrednosti –  $\alpha$ , koji predstavlja aritmetičku sredinu elemenata matrice  $T$ , i izračunava se pomoću izraza (9). Cilj izračunavanja praga vrednosti jeste eliminisanje uticaja manje značajnih elemenata u matrici  $T$ .

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (9)$$

gde je  $N$  ukupan broj elemenata matrice  $T$ .

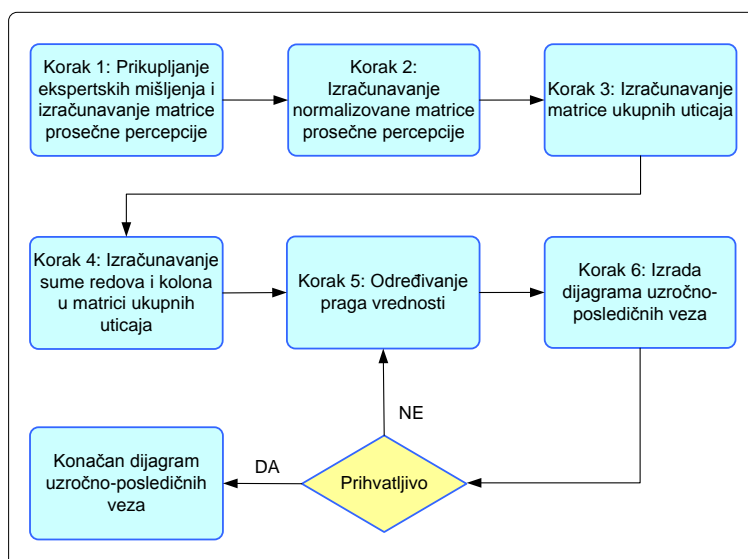
### 3. PRIMENA DEMATEL METODE ZA UTVRĐIVANJE MEĐUSOBNOG ODNOSA PERSPEKTIVA SISTEMA ODBRANE

Upravljanje sistemom odbrane, kao složenim organizacionim sistemom, zahteva primenu savremenih modela i metoda u cilju povećanja njegove efikasnosti i efektivnosti. Radi unapređenja procesa upravljanja sistemom odbrane, započet je rad na uspostavljanju modela upravljanja performansa sistema odbrane kao podrške upravljanju, a posebno strategijskom planiranju. Model je zasnovan na konceptu „Balanced Scorecard”, koji su razvili Kaplan i Norton.

Prva faza upravljanja performansama sistema odbrane podrazumeva izradu strateške mape. Strateška mapa se može definisati kao grafički prikaz onoga što se mora dobro uraditi u svakoj perspektivi kako bi se uspešno sprovedla strategija (Niven 2006). Proces izrade strateške mape započinje izborom perspektiva. Originalni model Kaplana i Nortona podrazumeva četiri perspektive: finansijska perspektiva, perspektiva kupaca, perspektiva internih procesa i perspektiva učenja i rasta, koje „treba smatrati obrascem, a ne kalupom” (Kaplan and Norton 2001).

U skladu sa tim, a uvažavajući specifičnosti i potrebe sistema odbrane, u procesu izrade strateške mape sistema odbrane mogu se izabrati sledeće perspektive: *ishodi*, *resursi*, *proces* i *razvoj* (Kankaraš et al. 2014). Pre daljeg razvoja strateške mape potrebno je odrediti međusobni odnos perspektiva u smislu shvatanja uzročno-posledičnog odnosa.

Primena DEMATEL metode, pored navedenih pet koraka podrazumeva i izradu dijagrama uzročno-posledičnih veza (Slika 1).



**Slika 1:** Primena DEMATEL metode (Sumrit and Anuntavoranich 2013)

Za utvrđivanje međusobnog odnosa između predloženih perspektiva sistema odbrane, primenjen je opisani DEMATEL metod. Na osnovu percepcije eksperata o uticajima perspektiva sistema odbrane i primenjenog izraza (2) dobijena je matrica prosečne percepcije međuzavisnosti utvrđenih perspektiva - *A* (Tabela 1).

**Tabela 1:** Matrica prosečne percepcije međuvrednosti utvrđenih perspektiva - *A*

Perspektiva	Ishod	Resursi	Procesi	Razvoj
Ishod	0,000	4,000	2,750	3,000
Resursi	2,250	0,000	2,500	2,500
Procesi	2,000	2,750	0,000	2,250
Razvoj	1,750	2,250	2,000	0,000

Na osnovu matrice *A* (tabela 1) izračunata je, prema izrazu (5), matrica ukupnih uticaja perspektiva - *T* (Tabela 2).

**Tabela 2:** Matrica ukupnih uticaja perspektiva - *T*

Perspektiva	Ishod	Resursi	Procesi	Razvoj
Ishod	0,674	1,212	0,999	1,057
Resursi	0,717	0,721	0,817	0,850
Procesi	0,685	0,919	0,596	0,815
Razvoj	0,606	0,803	0,695	0,553

Primenom izraza (7) i (8) na elemente matrice *T* izračunavaju se ukupni predati i primljeni efekti perspektiva (Tabela 3).

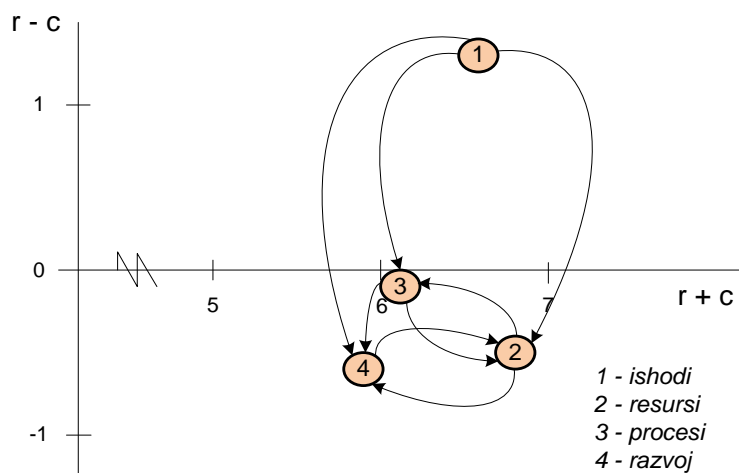
**Tabela 3:** Ukupni predati i primljeni efekti perspektiva

Perspektiva	$r_i$	$c_j$	$r_i + c_j$	$r_i - c_j$
Ishod	3,942	2,682	6,624	1,260
Resursi	3,105	3,655	6,760	-0,550
Procesi	3,015	3,107	6,122	-0,092
Razvoj	2,657	3,275	5,932	-0,618

Kada je izračunata matrica ukupnih uticaja perspektiva vrši se određivanje praga vrednosti prema izrazu (9). U datom slučaju vrednost  $\alpha$  iznosi 0,795.

Na osnovu izračunatih ukupnih međusobnih odnosa perspektiva, najznačajnija perspektiva je *resursi* sa najvećom vrednošću ( $r+c$ ), dok je najmanje značajna perspektiva *razvoj* sa najmanjom vrednošću ( $r+c$ ). Perspektiva koja najviše utiče na ostale perspektive je *ishod*, sa najvećom vrednošću ( $r-c$ ), dok je perspektiva koja je pod najvećim uticajem svih ostalih perspektiva *resursi*, sa najnižom vrednošću ( $r-c$ ).

Na osnovu sprovedenog postupka utvrđivanja efekata perspektiva sistema odbrane i dobijenih rezultata, na Slici 2 prikazan je međusobni uticaj perspektiva sistema odbrane.



**Slika 2:** Međusobni odnos perspektiva sistema odbrane

## 5. ZAKLJUČAK

Balanced Scorecard je alat za implementaciju strategije i njeno operacionalizovanje. Zahvaljujući strategijskom mapiranju dobija se jasna slika uzročno-posledičnih veza između pojedinih elemenata strategije. Sa druge strane, BSC sistem merenja ostvarenja ciljeva stvara mogućnost praćenja progressa, što značajno olakšava upravljanje. Osnovna potreba za uvođenjem Balanced Scorecard sistema ogleda se u mogućnosti da menadžeri sagledaju svoje poslovanje jasnije, iz više perspektiva i da na taj način budu u mogućnosti da donose kvalitetnije strateške odluke.

Iako su perspektive BSC modela naizgled odvojene, ipak se radi o sistemu koji povezuje i usklađuje zavisna područja delovanja. Može se reći da se perspektive nadovezuju i dopunjuju jedna drugu, pri čemu postoji lanac uzroka i posledica koji se proteže kroz sve četiri perspektive.

Primenom opisanog modela utvrđen je međusobni odnos perspektiva sistema odbrane. Nadogradnjom opisanog modela moguće je za svaku perspektivu sistema odbrane odrediti ključne indikatore koji pokazuju u kojoj meri je sistem uspešan, da li je njegovo izvršenje u skladu sa planiranim, da li ga i na koji način treba poboljšati. Uvođenjem BSC ne može se smatrati da su problemi trajno rešeni, već se samo kombinacijom i stalnim usavršavanjem sve četiri perspektive u budućnosti mogu očekivati dobri rezultati u funkcionisanju sistema odbrane.

Primenom opisanog modela moguće je izraditi stratešku mapu u celini, čime bi se dobila sveobuhvatna slika odnosa između indikatora, perspektiva i ciljeva sistema odbrane. Kombinacijom metoda DEMATEL i Analytic Network Process, moguće je pored utvrđivanja odnosa između indikatora i perspektiva utvrditi i njihove relativne težine, koje bi predstavljale intenzitete različitih međusobnih uticaja.

## LITERATURA

- [1] Kankaraš, M., Stojković, D. & Kovač, M. (2014). Application of the balanced scorecard in defence performance management, Međunarodni simpozijum SYMORG, Zlatibor, 1357-1362.
- [2] Kaplan, R. S. & Norton, D. P. (2001). Transforming the Balanced Scorecard from Performance Measurement to Strategic Management: Part I, Accounting Horizons, March, 87-104.
- [3] Li, C. W. & Tzeng, G. H. (2009). Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximummean de-entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. Expert Systems with Applications, 36 (6), 9891-9898.
- [4] Niven, P. (2006), Balanced scorecard korak po korak – drugo izdanje, Masmedia, Zagreb.
- [5] Sumrit, D. & Anuntavoranich, P. (2013). Using DEMATEL Method to Analyze the Casual Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms, International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies, 81-103.
- [6] Tzeng, G. H., Chiang, C. H. & Li, C. W. (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: a novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. Expert systems with Applications, 32 (4), 1028-1044.
- [7] Wu, W.-W. & Lee, Y.-T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. Expert Systems with Applications, 32 (2), 499-507.



## UTVRĐIVANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA VATRENE OSPOSoblJENOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA ZA PODRŠKU PRIMENOM FAKTORSKE ANALIZE

### DETERMINATION OF THE BASIC CHARACTERISTICS OF THE FIERY COMPETENCES OF ARTILLERY SUPPORT UNITS BY USING FACTOR ANALYSIS

SAMED KAROVIĆ<sup>1</sup>, RANKO LOJIĆ<sup>2</sup>, VLADIMIR RISTIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, karovic.samed@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, {ranko.lojic, vladimir.ristic}@mod.gov.rs

**Rezime:** U radu se objašnjavaju elementi vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku i njihova neposredna implikacija na uspešnost artiljerijske vatrene podrške u borbenim operacijama. Procena značaja uticaja pojedinih oblika osposobljenosti obavljena je posredstvom subskale koja se odnosi na osposobljenost artiljerijskih jedinica za podršku u užem smislu reči. Identifikovanje faktora vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku izvršeno je primenom faktorske analize.

**Ključne reči:** faktorska analiza, vatrena osposobljenost, artiljerijske jedinice za podršku, borbene operacije.

**Abstract:** Elements of the fiery competences of the artillery support units and their straightforward implications for the success of artillery fire support in combat operations are explained in this paper. Evaluation of significance of the impact of certain forms of competences was carried out through the subscales that are related to the competence of artillery support units in the narrow sense of the word. Identifying factors of fiery competences of the artillery support units was performed by using factor analysis.

**Keywords:** factor analysis, fiery competencies, artillery support units, combat operations.

## 1. UVOD

Efikasnost upotrebe artiljerijskih jedinica za podršku u savremenim operacijama uslovljena je nizom činilaca, između kojih i stepenom vatrene osposobljenosti koja bitno utiče na mogućnost njenog ostvarenja. Problem organizovanja komandovanja, taktičke upotrebe i upravljanja i rukovanja vatrom osnovni su elementi osposobljenosti i izraz njene efikasnosti u vatrenoj podršci borbenih operacija.

Faktorskom analizom moguće je utvrditi osnovne faktore vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku u ostvarivanju vatrene podrške u borbneim operacijama. Imajući u vidu uslove u kojima će artiljerijske jedinice izvršavati zadatke i potrebu za efikasnom i neprekidnom artiljerijskom vatrenom podrškom, implicitno nameće zahtev za minimiziranje vremenskih normi i preciznosti u radu svih struktura u artiljerijskim jedinicama. Taj zahtev podrazumeva visok nivo vatrene osposobljenosti jedinica kojima se obezbeđuje efikasnost vatrene podrške. Od stepena vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica vatrene podrške zavisice efikasnost ukupne vatrene podrške u borbenim operacijama, a time i upornost izvođenja operacije prema početnoj zamisli.

## 2. FAKTORSKA ANALIZA

Faktorska analiza predstavlja skup statističko-matematičkih postupaka pogodnih za analizu podataka o međusobnoj povezanosti među posmatranim pojavama gde se u istraživanjima istovremeno pojavljuje veći broj varijabli koje stoje u međusobnim korelacijama i gde se zahteva utvrđivanje osnovnih izvora kovarijacije među podacima. Metod multivarijacione analize koji se koristi za opis međusobne zavisnosti velikog broja promenljivih korišćenjem manjeg broja osnovnih, ali neopažljivih slučajnih promenljivih poznatih kao faktori, naziva se faktorska analiza (Kovačić 1994).

Faktori koji su krajnji rezultat faktorske analize, linearne su kombinacije manifestnih varijabli ili kompozitne (složene) varijable i nazivaju se latentnim (prikrivenim) varijablama jer ih faktorskom analizom

tek treba otkriti. Faktori su takođe varijable jer ispitanici imaju rezultate na faktorima kao i na manifestnim varijablama (faktorski rezultati) (Mejovšek 2008).

Faktorska analiza usmerena je na proučavanje povezanosti manifestnih varijabli koje predstavljaju pojave (obeležja ispitanika), a utvrđivanje povezanosti pojava i uzroka povezanosti pojava osnovni su ciljevi naučnih istraživanja. Faktori se mogu smatrati uzrokom kovarijance manifestnih varijabli. Oni daju objašnjenje za povezanost pojava koje ispituju manifestne varijable (Kovačić 1994).

### 3. ARTILJERIJSKA VATRENA PODRŠKA

Artiljerijska vatrena podrška predstavlja deo vatrene podrške koji se izvodi po planu operacije. Istovremeno čini i skup planiranih i pripremljenih vatri i raketnih udara artiljerijskih jedinica vatrene podrške po neprijateljevim snagama radi podrške dejstva sopstvenih snaga u izvršenju misije. Izvođenje artiljerijske vatrene podrške je složen deo sadržaja borbenih dejstava i traži maksimalno naprezanje ljudi i tehnike (Hallada 1987).

Efikasnost upotrebe artiljerijskih jedinica vatrene podrške uslovljena je nizom činilaca, između kojih i stepenom vatrene osposobljenosti svih njenih podsistema. To ističe i značaj vatrene osposobljenosti u njihovom organizovanju i upotrebi u borbenim operacijama, a time i postojećih rešenja u vatrenom osposobljavanju artiljerijskih jedinica za izvršenje misije.

Izvođenje artiljerijske vatrene podrške nameće problem njenog ostvarivanja i traži odgovore na najznačajnija pitanja vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku koja opredeljuju njene mogućnosti za izvršenje misije. Problem organizovanja, komandovanja, taktičke upotrebe i upravljanja i rukovanja vatrom, osnovna su određenja osposobljenosti i izraz efikasnosti artiljerijske vatrene podrške.

### 4. UTVRĐIVANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA VATRENE OSPOSOBLJENOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA ZA PODRŠKU

Kao polazni kvantitativni podaci u analizi korišćene su procene kojima su ispitanici vrednovali uticaj opisanih oblika vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku na izvođenje vatrene podrške u borbenim operacijama. Procene su obavljene na skupu od 36 manifestna oblika vatrene osposobljenosti jedinica, da bi se identifikovali osnovni faktori, kao latentne strukture, koji imaju značenje osnovnih dimenzija vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku (Karović 2003).

Na osnovu Gutman-Kajzerovog kriterijuma za određivanje broja faktora, izdvojeno je devet faktora vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku u borbenim operacijama. Vrednosti karakterističnih korenova za tih devet faktora iznose: 12.622, 2.620, 2.328, 1.825, 1.740, 1.530, 1.376, 1.349 i 1.164. Oni obuhvataju 70,4 odsto kumulativne proporcije varijanse (Tabela 1).

**Tabela 1:** Faktorska struktura vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku (Karović 2003)

Manifestni oblici uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Izviđenje elemenata b/r	0.076	0.135	-0.136	0.710	0.000	-0.067	-0.110	-0.130	0.021
Organizacija grupisanja za izvršenje. zadat.	0.222	0.111	-0.166	0.455	-0.359	0.149	-0.016	-0.311	0.228
Način posedanja elemenata b/r	0.161	0.825	0.189	-0.058	0.038	-0.018	-0.121	0.171	-0.071
Organizovan rad u posedanju elem. b/r	-0.137	0.785	-0.181	0.021	0.031	0.038	-0.050	-0.091	0.054
Organizacija telekom. i komandovanja	0.046	0.403	-0.270	0.120	0.305	0.146	-0.063	-0.158	0.250
Preduzimanje mera borb. obezbeđenja	0.009	0.614	0.119	0.261	-0.181	0.184	0.262	-0.231	-0.054
Inženjersko uređenje elemenata b/r	-0.024	0.240	0.154	0.039	-0.127	0.159	-0.126	-0.577	0.027
Preduzimanje mera maskiranja	0.053	0.488	0.202	-0.081	0.141	-0.074	0.146	-0.398	0.147
Izrada lažnih vatrene položaja	0.264	0.123	-0.014	0.053	0.125	-0.160	-0.222	-0.587	-0.073
Pravilnost grupisanja jedinica	0.044	0.029	-0.046	0.136	-0.098	0.166	-0.058	-0.479	0.395
Topografsko-geodetska priprema	-0.038	0.010	0.037	0.386	0.452	0.201	-0.137	-0.236	0.013
Izbor zrna, upaljača i punjenja za gađ.	0.027	-0.011	-0.028	-0.116	0.087	0.878	0.075	0.142	0.091
Način otvaranja vatre	-0.092	0.099	0.067	-0.103	-0.071	0.774	-0.176	-0.079	-0.061
Osmatranje neprijat. rasporeda	0.300	0.317	-0.116	0.212	-0.063	0.215	-0.290	0.101	0.077
Dejstvo sa nepotpunim poslugama	-0.080	0.005	0.803	0.047	0.059	0.038	-0.131	0.158	0.096
Dejstvo sa smanjenim brojem teh. sred.	0.157	0.087	0.744	-0.232	-0.114	0.016	-0.043	-0.229	0.031
Dejstvo sa promenom pravca gađanja	0.039	-0.036	0.294	0.237	-0.073	0.106	-0.687	0.042	0.034
Dejstvo sa promenom načina gađanja	0.062	-0.062	0.180	0.341	0.065	0.122	-0.663	0.030	-0.048
Dejstvo sa brzom promenom VP	0.047	0.137	0.013	-0.228	0.039	0.020	-0.731	-0.187	0.164
Tačnost elementa za gađanje	0.072	0.299	-0.087	-0.117	0.530	0.056	-0.122	0.017	0.257
Brzina prenosa elem. za gađ. na oruđe	0.245	0.100	-0.018	-0.045	0.025	0.080	-0.075	0.198	0.665
Korektura u sopstvenoj pozadini	-0.135	-0.122	0.410	0.398	0.175	0.205	-0.127	-0.233	-0.202
Korišćenje meteo-balist. podataka	0.130	-0.126	-0.016	0.151	0.549	0.448	0.115	-0.150	0.017

Korišćenje elemenata korekt. oruđa	0.091	-0.114	0.037	0.499	0.320	0.141	-0.277	-0.072	0.008
Dubina izvidanja neprijatelja	0.102	0.168	0.219	0.391	0.233	-0.133	-0.005	0.154	0.297
Mogućnost koncentracije vatri	0.247	0.042	0.102	0.650	-0.071	-0.022	0.038	0.144	0.206
Gađanje u složenim uslovima	-0.173	-0.052	0.295	0.353	-0.061	0.077	0.021	0.024	0.688
Otvaranje vatre u kratkom vremenu	-0.181	0.116	0.085	0.303	0.298	0.015	-0.262	0.080	0.499
Sposobnost gađanja pokret. ciljeva	0.064	-0.001	-0.044	-0.133	0.058	0.058	-0.126	-0.249	0.700
Sposobnost gađanja ciljeva malih dimenzija	0.332	-0.104	0.206	-0.030	0.266	0.004	0.174	-0.344	0.354
Jednovremeno gađanje divizionom	0.672	0.222	0.104	0.163	0.304	0.044	0.199	0.097	-0.116
Realizacija vatri prema tak.sit.	0.413	0.005	0.039	0.121	-0.023	0.521	0.013	0.043	0.000
Sposobnost iznenadnog udara	0.639	-0.053	-0.095	0.112	-0.061	0.068	-0.173	-0.198	0.124
Osmatranj. efekata dejstva vatre	0.498	-0.097	-0.006	-0.095	0.213	0.123	-0.320	-0.122	0.124
Brzo premeštanje elemenata b/r	0.562	0.069	-0.046	-0.028	0.012	0.086	-0.274	-0.166	0.139
Manevar vatrom po dubini	0.542	0.061	0.228	0.141	-0.263	0.132	-0.080	-0.042	0.128

Interpretacija faktora polazi od matrice faktorske strukture nakon provedene rotacije faktora i identifikovanja varijabli koje imaju visoka apsolutna opterećenja na isti faktor. Opterećenje faktora više je bazirano u vezi sa sa praktičnom značajnošću. To je opšte načelo koje se često koristi, kao način vršenja preliminarnog ispitivanja faktorske matrice.

Za faktorska opterećenja veća od  $\pm 0,30$  se smatra da zadovoljavaju minimalni nivo, opterećenja od  $\pm 0,40$  se smatraju važnijima, a ako su opterećenja  $\pm 0,50$  ili veća, smatraju se praktično značajnima. Što je veća apsolutna veličina faktorskog opterećenja, to je važnije opterećenje u interpretaciji faktorske matrice. Pošto je faktorsko opterećenje korelacija varijable i faktora, kvadrirano opterećenje je obim ukupne varijanse varijable, koji taj faktor objašnjava. Stoga, opterećenje od 0,30 se prevodi približno u objašnjenje od 10%, a opterećenje od 0,50 označava da faktor objašnjava 25% varijanse. Opterećenje mora da pređe 0,70 da bi faktor objasnio 50% varijanse (www.efak.kg.ac.rs)

Može se zaključiti da su devet izdvojenih faktora te pripadajuće varijable karakteristika vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica vatrene podrške za svaki pojedini faktor i njihova faktorska opterećenja kako sledi:

*Prvi faktor* (Tabela 2) značajno definišu varijable koje se odnose na izvršenje vatrenih zadataka po ciljevima. Navedeni faktor je dominantno određen pozicijama vektora indikatora osposobljenosti jedinica za izvođenja iznenadnog udara divizionom i brzim premeštanjem borbenog rasporeda. Najvišu projekciju ima varijabla "jednovremeno gađanje divizionom", a najnižu projekciju varijable "osmatranje neprijatelja i gađanje malih ciljeva". Značajnu projekciju na faktor imaju varijable osposobljenosti jedinici za manevar vatrom u realizaciji zadataka prema taktičkoj situaciji.

**Tabela 2:** Struktura prvog faktora (F1)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Jednovremeno gađanje divizionom	0.672
2.	Sposobnost iznenadnog udara	0.639
3.	Brzo premeštanje elemenata borbenog rasporeda	0.562
4.	Manevar vatrom po dubini	0.542
5.	Osmatranje efekata dejstva vatre	0.498
6.	Realizacija vatri prema takt. situaciji	0.413
7.	Sposobnost gađanja malih ciljeva	0.332
8.	Osmatranje neprijatelj. rasporeda	0.300

S obzirom na prirodu ovih varijabli latentna dimenzija koju one manifestuju može se označiti kao "osposobljenost jedinice za izvršenje vatrenih zadataka po ciljevima".

*Drugi faktor* (tabela 3) definišu varijable čija varijansa zavisi od taktičke osposobljenosti jedinice u posedanju elemenata operativnog rasporeda i preduzimanje mera borbenog obezbeđenja.

**Tabela 3:** Struktura drugog faktora (F2)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Način posedanja elemenata operativnog rasporeda	0.825
2.	Organizovan rad u posedanju elemenata borbenog rasporeda	0.785
3.	Preduzimanje mera borb. obezbeđenja	0.614
4.	Preduzimanje mera maskiranja	0.488
5.	Organizacija telekomunikacija i komandovanja	0.403
6.	Osmatranje neprijateljevog rasporeda	0.317

Navedeni faktor dominantno je određen pozicijama vektora indikatora osposobljenosti jedinice za posedanje elemenata operativnog rasporeda.

Najnižu projekciju ima varijabla osposobljenosti za osmatranje neprijatelja. Značajnu projekciju na ovaj faktor imaju varijable osposobljenosti za izvođenje borbenog obezbeđenja i maskiranja.

Shodno tome, zajednička latentna osnova može se definisati kao *"osposobljenost jedinice za posjedanje elemenata operativnog rasporeda"*.

Treći faktor (Tabela 4) dominantno je određen pozicijom vektora indikatora vatrene osposobljenosti jedinica za dejstvo sa nepotpunim poslugama i sa smanjenim brojem oruđa.

Najvišu projekciju ima izvršenje zadatka sa nepotpunim poslugama, a najnižu, varijabla osposobljenosti za izvršenje korekture u sopstvenoj pozadini.

**Tabela 4:** Struktura trećeg faktora (F3)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Dejstvo sa nepotpunim poslugama	0.803
2.	Dejstvo sa smanjenim brojem tehn. sredstava	0.744
3.	Korektura u sopstvenoj pozadini	0.410

Značaj projekcije svih varijabli uslovljen je uslovima u kojima će jedinice izvršavati zadatak vatrene podrške. Ovaj faktor može se jedinstveno označiti kao *"osposobljenost jedinica u ostvarivanju vatrenih zadataka sa smanjenim brojem posluga i tehničkih sredstava"*.

Četvrti faktor (tabela 5) definišu oblici osposobljenosti jedinice za izviđanje elemenata operativnog rasporeda, grupisanje za izvršenje zadataka i izvođenje korekture.

**Tabela 5:** Struktura četvrtog faktora (F4)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Izviđanje elemenata operativnog rasporeda	0.710
2.	Mogućnost koncentracije vatre	0.650
3.	Korišćenje elemenata korekt. oruđa	0.499
4.	Organizacija grupisanja za izvrš. zadataka	0.455
5.	Korektura u sopstvenoj pozadini	0.398
6.	Dubina izviđanja neprijatelja	0.391
7.	Topografsko-geodetska priprema	0.386
8.	Gađanje u složenim uslovima	0.353
9.	Dejstvo sa promenom načina gađanja	0.341
10.	Otvaranje vatre u kratkom vremenu	0.303

U strukturi ovog faktora dominiraju vektori indikatora osposobljenosti jedinice za izviđanje elemenata operativnog rasporeda i grupisanja za koncentraciju vatre. Najvišu projekciju ima varijabla osposobljenosti za izviđanje elemenata operativnog rasporeda. Značajnu projekciju imaju varijable osposobljenosti za korišćenje elemenata korekturnog oruđa i korekturu u sopstvenoj pozadini.

Najnižu projekciju imaju znanja za izvođenje gađanja u složenim uslovima i dejstvom sa promenom načina gađanja. Ovaj faktor se definiše kao *"osposobljenost jedinice u grupisanju za izvršenje zadatka i izviđanje elemenata operativnog rasporeda"*.

Peti faktor (tabela 6) definišu varijable čija je zajednička karakteristika osposobljenost jedinice za izvršenje organizovano-tehničkih priprema za izvršenje vatrenog dejstva.

**Tabela 6:** Struktura petog faktora (F5)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Korišćenje meteo-balističkih podataka	0.549
2.	Tačnost elemenata za gađanje	0.530
3.	Topografsko-geodetska priprema	0.452
4.	Organizacija grupisanja za izvrš. zadataka	0.359
5.	Korišćenje elemenata korekt. oruđa	0.320
6.	Organizacija veze i komandovanja	0.305
7.	Jednovremeno gađanje divizionom	0.304

Navedeni faktor dominantno je određen pozicijom vektora indikatora stručne osposobljenosti starešina i uvežbanosti komandnih delova jedinica u korišćenju meteo-balističkih podataka i tačno izračunavanje elemenata za gađanje. U strukturi ovog faktora najvišu projekciju ima varijabla korišćenja meteo-balističkih podataka, a najnižu varijabla osposobljenosti za organizaciju veze i komandovanje i jednovremeno gađanje divizionom.

Ovaj faktor može se definisati kao *"osposobljenost jedinice i organizaciono-tehničkim pripremama za izvršenje vatrenih zadataka"*.

Šesti faktor (Tabela 7) reprezentuju oblici osposobljenosti jedinice koji se može označiti kao znanja koja se odnose na neposrednu pripremu i ostvarivanje vatre prema taktičkoj situaciji.

**Tabela 7:** Struktura šestog faktora (F6)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Izbor zrna, upaljača i punj. za gađanje	0.878
2.	Način otvaranja vatre	0.774
3.	Realizacija vatri prema takt. situaciji	0.521
4.	Korišćenje meteo-balističkih podataka	0.448

Navedeni faktor dominantno je određen pozicijom vektora indikatora osposobljenosti izvršioca gađanja za brzu i preciznu realizaciju vatrenih zadataka prema taktičkoj situaciji. Najveću projekciju ima varijabla osposobljenosti za izbor zrna, upaljača i punjenja za gađanje, a najnižu, varijabla korišćenja meteo-balističkih podataka.

Značajnu projekciju imaju stručna znanja izvršioca gađanja u određivanju načina otvaranja vatre, a nešto nižu, praćenje borbene situacije i ostvarivanje vatrenih zadataka.

Polazeći od zajedničkih karakteristika navedenih varijabli, ovaj faktor se može definisati kao "*osposobljenost jedinice za neposrednu realizaciju vatrenih zadataka*".

Sedmi faktor (Tabela 8) određen je osposobljenošću jedinice koje reprezentuju način ostvarivanja vatrenih zadataka, u kome dominiraju varijable uvežbanosti jedinica za dejstvo sa brzom promenom vatrenog položaja.

**Tabela 8:** Struktura sedmog faktora (F7)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Dejstvo sa brzom promenom vatrenog položaja	0.731
2.	Dejstvo sa promenom pravca gađanja	0.687
3.	Dejstvo sa promenom načina gađanja	0.663
4.	Osmatranje efekata dejstvom vatre	0.320

Značajnu projekciju na faktor imaju varijable osposobljenosti jedinica za izvršenje vatrenih zadataka sa promenom pravca i načina gađanja.

Najvažniju projekciju ima varijabla osposobljenosti za osmatranje efekata dejstva. Ovaj faktor se može jedinstveno definisati kao "*osposobljenost jedinice za različite načine izvršenja vatrenih zadataka*".

Osmi faktor (tabela 9) reprezentuje manifestne varijable koje se odnose na osposobljenost jedinice za inženjersko uređenje elemenata za operativnog rasporeda, maskiranje i izradu lažnih vatrenih položaja.

**Tabela 9:** Struktura osmog faktora (F8)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Izrada lažnih vatrenih položaja	0.587
2.	Inženjersko uređenje elemenata operativnog rasporeda	0.577
3.	Pravilnost grupisanja jedinica	0.479
4.	Preduzimanje mera maskiranja	0.398
5.	Sposobnost gađanja malih ciljeva	0.344
6.	Organizacija grupisanja za izvršenje. zadat.	-0.311

Navedeni faktor dominantno je određen pozicijom vektora indikatora osposobljenosti jedinice za inženjersko uređenje elemenata operativnog rasporeda i izradu lažnih vatrenih položaja. Najveći nivo povezanosti sa faktorom ima varijabla izrada lažnih vatrenih položaja, a najnižu organizacija grupisanja za izvršenje. zadataka.

Značajnu projekciju ima varijabla osposobljenosti starešine za pravilno grupisanje jedinice. U skladu sa ovakvim manifestnim odredbama, ovaj faktor se može definisati kao "*osposobljenost jedinice za inženjersko uređenje elemenata operativnog rasporeda*".

Deveti faktor (tabela 10) reprezentuju oblici osposobljenosti jedinice za dejstvo na različite ciljeve u složenim uslovima.

**Tabela 10:** Struktura devetog faktora (F9)

Red. broj	Manifestne varijable uticaja vatrene osposobljenosti jedinica	Koeficijent povezanosti s faktorom
1.	Sposobnost gađanja pokretnih ciljeva	0.700
2.	Gađanje u složenim uslovima	0.688
3.	Brzina prenosa elemenata za gađ. na oruđe	0.665
4.	Otvoravanje vatre u kratkom vremenu	0.499
5.	Pravilnost grupisanja jedinica	0.395
6.	Sposobnost gađanja malih ciljeva	0.354

Ovaj faktor dominantno je određen pozicijama vektora indikatora osposobljenosti jedinica za gađanje pokretnih ciljeva u složenim uslovima. Najveći koeficijent povezanosti ima varijabla gađanje pokretnih ciljeva, a najniži, osposobljenost jedinica za gađanje malih ciljeva.

U strukturi varijabli, vrlo značajnu projekciju na faktor imaju varijable osposobljenosti za otvaranje vatre u kratkom vremenu, što je u vezi sa varijablom uvežbanosti jedinice za brzo prenošenje elemenata za gađanje. Ovaj faktor je u direktnoj korelaciji sa uslovima koje nameću savremena borbena dejstva i zahtevi za osposobljenošću koji su definisani prethodnim faktorima. Taj faktor je definisan kao "*osposobljenost jedinice za ostvarivanje vatrenih zadataka u složenim borbenim uslovima*".

Može se zaključiti da dobijeni faktori, u širem smislu imaju svoju osnovu u doktrinarnim stavovima osposobljenosti i borbenim pravilima koji regulišu upotrebu artiljerijskih jedinica za podršku. U užem smislu dobijeni empirijski rezultati predstavljaju osnovu za formulisanje zahteva za definisanje ciljeva osposobljenja i kriterijuma ocenjivanja osposobljenosti shodno osnovnim dimenzijama fizionomije savremenih borbenih dejstava.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da vatrena osposobljenost artiljerijskih jedinica vatrene podrške primenom faktorske analize determinisana je u znatnoj meri: (1) osposobljenosti jedinice za izvršenje vatrenih zadataka po ciljevima; (2) osposobljenosti jedinica za posjedanje elemenata borbenog rasporeda; (3) osposobljenosti jedinica u ostvarivanju vatrenih zadataka sa smanjenim brojem posluga i tehničkih sredstava; (4) osposobljenosti jedinica u grupisanju za izvršenje zadatka i izviđanje elemenata borbenog rasporeda; (5) osposobljenosti jedinica u organizaciono-tehničkim pripremama za izvršenje vatrenih zadataka; (6) osposobljenosti jedinica za neposrednu realizaciju vatrenih zadataka; (7) osposobljenosti jedinica za različite načine izvršenja vatrenih zadataka; (8) osposobljenosti jedinica za inženjersko uređenje elemenata borbenog rasporeda i (9) osposobljenosti jedinica za ostvarivanje vatrenih zadataka u složenim borbenim uslovima.

Vatrena osposobljenost artiljerijskih jedinica određena je: (1) osposobljenošću jedinica u dovođenju, razvoju i posjedanju elemenata borbenog rasporeda, (2) osposobljenošću u pripremi za izvršenje vatrenih zadataka i (3) osposobljenošću u ostvarivanju vatrenih zadataka. Između ovih elemenata postoji znatna korelacija i uslovljenost.

U užem smislu dobijeni empirijski rezultati predstavljaju osnovu za formulisanje zahteva za definisanje ciljeva osposobljenja i kriterijuma ocenjivanja osposobljenosti shodno osnovnim dimenzijama fizionomije borbenih operacija.

## 5. ZAKLJUČAK

Primenom multivarijantne statističke tehnike, faktorskom analizom strukture međuodnosa (korelacija) među velikim brojem varijabli vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica za podršku, identifikovani su faktori kao zajedničke osnovne dimenzije vatrene osposobljenosti. Empirijskim istraživanjem karakteristika vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica vatrene podrške i primenom faktorske analize na prikupljenim podacima nastojalo se veći broj karakteristika svesti na manji broj osnovnih karakteristika vatrene osposobljenosti. Saznanja o osnovnim karakteristikama vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica vatrene podrške korisna su i za planiranje uspešnog izvršenja artiljerijske vatrene podrške u borbenim operacijama, posebno pri planiranju operacija, da bi se što efikasnije realizovala artiljerijska vatrena podrška.

Navedeni rezultati upućuju na to da vatrena osposobljenost artiljerijskih jedinica za podršku u borbenim operacijama determinisana je u znatnoj meri: (1) osposobljenošću jedinica u dovođenju, razvoju i posjedanju elemenata operativnog rasporeda, (2) osposobljenošću u pripremi za izvršenje vatrenih zadataka i (3) osposobljenošću u ostvarivanju vatrenih zadataka. Istovremeno predstavljaju osnovu za evaluaciju vatrene osposobljenosti artiljerijskih jedinica u savremenim operacijama.

## LITERATURA

- [1] Hallada, Raphael, J. (1987). Fire Support Modernization: A Major Step Towards Deterrence, Military Review, 69, No, 8, p. 4-14.
- [2] Karović, S. (2003). Magistarski rad, Vojna akademija, Beograd.
- [3] Kovačić, J. Z. (1994). Multivarijaciona analiza, [http://www.fonforum.org/download/treca/LINS/MVA\\_Knjiga.pdf](http://www.fonforum.org/download/treca/LINS/MVA_Knjiga.pdf)
- [4] Mejovšek, M. (2008). Metode znanstvenog istraživanja, NAKLADA SLAP, Zagreb.
- [5] <http://www.ekfak.kg.ac.rs/sites/default/files/nastava/PhD/I%20godina/Kvantitativne%20metode/Materijali/Faktorska%20analiza-seminarski%20rad.doc>.



## **OPTIMIZACIJA SNAGA LOVAČKE AVIJACIJE ZA RATIŠTE REPUBLIKE SRBIJE**

### **REPUBLIC OF SERBIA BATTLESPACE'S FIGHTER FORCE OPTIMIZATION**

MLADEN KOSTIĆ

Ministarstvo odbrane-Vojska Srbije, rockymladenkotic@gmail.com

**Rezime:** U radu je dat kratak osvrt na teorijske postavke optimizacije snaga lovačke avijacije za ostvarivanje prevlasti u vazдушnom prostoru na ratištu Republike Srbije. Osnovu primene operacionih istraživanja daju borbene mogućnosti lovačkog aviona. Optimizacija snaga lovačke avijacije bazira na utvrđivanju uslovnosti borbenih mogućnosti, odnosno, šta može i šta ne može lovac u borbi za prevlast u vazдушnom prostoru sa jedne strane i cene koštanje pojedinih lovaca, kako bi se došlo do optimalnih snaga lovačke avijacije za ratište Republike Srbije.

**Ključne reči:** *Borbene mogućnosti, parametri optimizacije, verovatnoća uništenja cilja, matematički model dejstva lovačke avijacije, Lagranževovi množitelji, matematičko očekivanje broja uništenih neprijateljskih aviona.*

**Abstract:** *This paper provides a brief overview of the theoretical concepts of Republic of Serbia battlespace's fighter force optimization. Basic concept for Operational research implementation is fighter's combat capabilities. Fighters force optimization basis on mutual influence of fighter's combat capabilities and fighter purchase price on fighter force building and achieving air supremacy over Serbian battlefield.*

**Keywords:** *Combat capabilities, optimization factors, target destroying capabilities, mathematical model of fighter combat, Lagrange multiplication factors, enemy fighter's mathematical destruction expectation.*

#### **1. UVOD**

Lovačka avijacija (LA), kao vrsta avijacije, nalazi se u sastavu vazduhoplovnih snaga Vojske Srbije. Predstavlja jedan od osnovnih elemenata vatreneog sistema protivvazduhoplovne odbrane (PVO) i osnovnu manevarsku snagu, sa obzirom da raspolaže visokim manevarskim i borbenim mogućnostima. Efekat dejstva lovačkog aviona određuje se njegovom sposobnošću da uništi cilj u vazduhu. Pri celishodnom korištenju sposobnosti LA, osnova na kojoj se zasniva proračun ili procena verovatnoće uništenja cilja u vazduhu su njegove borbene mogućnosti (b/m) (Durov 1975).

Da bi uspešno izvršavala svoje zadatke i ostvarila svoju namenu, lovačka avijacija mora da poseduje odgovarajuće tipove aviona u svom naoružanju. Izbor odgovarajućeg tipa, koji će moći da ostvari zadanu verovatnoću izvršenja zadatka, odnosno, očekivani broj uništenih neprijateljskih ciljeva u vazдушnom prostoru (VaP), predstavlja izuzetno složen problem. Težina problema se ogleda u postojanju velikog broja, često protivrečnih faktora koji utiču na izvršenje zadatka, za čije sagledavanje nije dovoljno „stručno“ mišljenje, već je potrebno primeniti odgovarajuće naučne metode.

Primena operacionih istraživanja nudi veći broj primenljivih metoda za uspešno rešavanje ovog problema.

#### **2. OPŠTI OPIS PROBLEMA OPTIMIZACIJE SNAGA LOVAČKE AVIJACIJE ZA RATIŠTE REPUBLIKE SRBIJE**

Osnovna namena lovačkog aviona je borba za prevlast u vazдушnom prostoru. Svoju namenu LA ostvaruje izvođenjem ofanzivnih i defanzivnih operacija protivvazduhoplovne odbrane: presretanjem, čišćenjem vazdušnog prostora i praćenjem drugih vrsta avijacije.

Presretačko dejstvo počinje podizanjem lovaca iz pripravnosti na zemlji ili iz zone očekivanja (ZO). Vreme poletanja se određuje na osnovu prostornih i vremenskih mogućnosti konkretnog lovca, u odnosu na neprijatelja, kada dođe do linije podizanja lovaca (LPL). Lovac poleće na znak uzbune, koja se daje na onovu identifikacije cilja kao neprijateljskog ili planski, u ZO prema očekivanom naletu neprijatelja. Lovac vrši presretanje optimalnim režimom leta, u odnosu na potrošnju goriva i vreme potrebno da stigne do zadane tačke, koja se određuje linijom ulaska u borbu (LUB). LUB se definiše u zavisnosti od karakteristika

naoružanja lovca (mogućnost dejstva iz prednje ili samo iz zadnje polusfere), kao i neprijateljevog ofanzivnog naoružanja. Lovac vodi borbu u VaP-u i dejstvuje po neprijateljskom cilju do linije izlaska iz napada (LIN), u skladu sa prostornim mogućnostima ARJ PVO, odnosno, zonom njihovog vatrenog dejstva (Stevan, Milojević and Petje 1984).

Čišćenje vazdušnog prostora se izvodi iznad neprijateljske teritorije ili „ničije“ zemlje sa ciljem uvlačenja u borbu i uništenja neprijateljskih lovaca ili drugih vazdušnih ciljeva. Ova misija se planira sa ciljem ostvarivanja prevlasti u VaP-u, onemogućavanjem neprijatelju da koristi VaP, a da istovremeno omogući nesmetanu upotrebu sopstvenih snaga.

Praćenje drugih vrsta avijacije podrazumeva raspored lovaca zaštite svuda oko štice udarne grupe. Osnovni problem koji mora da se reši planiranjem borbe za ovaj način upotrebe LA je borbeni poredak (b/p) lovaca pratnje oko udarne grupe koja se štiti. Optimalna pozicija za pratnju zavisi od mogućnosti sopstvenih i neprijateljskih lovaca i taktike izvodjenja napada. Idealno raspoređena pratnja omogućava otkrivanje i dejstvo po neprijatelju, pre nego on dejstvuje po udarnoj grupi koja se štiti. Ono što se razmatra je oblast mogućih napada i gađanja neprijatelja, manevarske mogućnosti lovaca pratnje i ograničenje oružja.

Hipotetički napad na neprijatelja i simultano izvođenje ofanzivno-defanzivne operacije PVO može pojasniti kako različita taktička rešenja, združeno, deluju u praksi. Ovo je primer modeliranja b/d, koje može poslužiti da istakne dobre i loše strane svakog od navedenih načina dejstava.

Udarne grupa prati zadatu liniju marš-rute ulaska u lažni napad i izlaska iz lažnog napada na jedan od aerodroma, tako što upravo blizu aerodroma, na nekoj zadatoj daljini, skreće ka pravom objektu dejstva (OD), a zatim se upućuje na aerodrom sletanja. Kako bi povećali jačinu obmane, LA za čišćenje VaP-a je poslata da izvede lažni napad potpuno drugom rutom na isti aerodrom. Ova grupa ima zadatak da odvuče neprijateljske presretače iz borbenog dežurstva (BD) na zemlji, umanjujući potencijal odbrane. Cilj je da se neprijatelj odvuče prostorno i vremenski od udarne grupe, koja prolazi kroz ovu zonu.

Za to vreme, udarna grupa, koja se sastoji od lovaca-bombardera i lovaca odvojene i bliske pratnje, nastavlja kretanje duž ulazne rute. Nekoliko minuta pre toga prethodi grupa lovaca dalje pratnje, sastavljena iz nekoliko delova, a čiji zadatak je da očiste marš-rutu od neprijateljskih lovaca u BD na zemlji i vazduhu u zonama patroliranja.

Nastavljajući dalje prema OD udarni ešelon se razdvaja, a lovci dalje pratnje se raščlanjuju za izvršenje posebnih zadataka. Centralna grupa LA dalje pratnje nastavlja ka OD, radi izvršenja napada u ulozi grupe za neutralisanje neprijateljske PVO ili lovaca presretača. Druge grupe lovaca dalje pratnje se dele na podgrupe za napad i odvlačenje neprijateljskih lovaca iz zone patroliranja (ZP) ili za blokiranje očekujućih pravaca naleta neprijateljskih lovaca.

Kada udarna grupa stigne na poziciju za dejstvo po OD, lovci dalje pratnje mogu biti zamenjeni lovcima odvojene ili bliske pratnje, a oni sami mogu dejstvovati u ulozi lovaca za čišćenje VaP-a i čistiti VaP duž marš-rute povratka. Za to vreme lovci za čišćenje VaP-a ostaju bez goriva i kreću nazad na aerodrom sletanja. U isto vreme lovci prihvatne pratnje ulaze u borbu sa eventualnim neprijateljevim lovcima za čišćenje VaP-a, koji mogu poleteti sa aerodroma blizu marš-rute povratka udarne grupe.

Nakon dejstva udarne grupe i njenog kretanja povratnom marš-rutom, lovci dalje i bliske pratnje joj se pridružuju, a lovci prihvatne pratnje formiraju ZP, štiteći povratak udarnog ešelona. Nakon prolaska udarnog ešelona, povlače se i lovci prihvatne pratnje. Njihovo vreme povlačenja se podešava tako da čine zaštitni "zid", štiteći na taj način ostale elemente b/p. Ovaj zadatak mogu izvršavati kombinovano postavljanjem ZP, blokiranjem aerodroma ili čišćenjem VaP-a i dejstvom po neprijateljskim aerodromima.

Pre sletanja udarne grupe i lovaca pratnje, lovci u BD na zemlji, ostavljeni kao rezerva, mogu poleteti u ZP da bi štitili povratak i sletanje ostalih elemenata udarnog ešelona od neprijateljskih lovaca za čišćenje VaP-a i pojedinačnih udarnih aviona, koji nastoje da se provuku kroz prezasićen VaP.

Pravi problem, koji oslikava realnu borbu u vazdušnom prostoru, nastaje kada su obostrana dejstva masovna, sa determinisanim zadacima unutar borbenog poretka snaga, što iziskuje da i sistem PVO ima više elemenata. Neprijateljski vazduhoplovi manevrišu i primenjuju sredstva pasivne i aktivne zaštite, kao i dejstvo raketnim i vatrenim naoružanjem po LA (Shaw 1985).

Uspeh u ovako složenom i izuzetno dinamičnom sukobu zavisi od sinergetičkog efekta, koji se postiže kompleksnom primenom snaga različitog sastava i efikasnosti svih posebnih elemenata sistema PVO, od kojih će se razmatrati elmenat koje čini LA.

### **3. PARAMETRI (FAKTORI) OPTIMIZACIJE SNAGA LOVAČKE AVIJACIJE RATIŠTA REPUBLIKE SRBIJE**

Borbene mogućnosti (b/m) lovačke avijacije predstavljaju kvantitativne pokazatelje koje određuju očekivani rezultat borbenih dejstava, a takodje i prostor i vreme u čijim oblastima taj rezultat može biti ostvaren.



Pojam borbene mogućnosti obuhvata sve karakteristike koje čine sposobnost lovca da izvršava različite borbene zadatke. Pokazatelji mogu biti delimični i opšti. Delimični pokazatelji izražavaju matematičko očekivanje rezultata dejstva na jednom delu izvršenja borbenog zadatka, dok opšti prikazuju rezultate izvršenja zadatka u celini.

Pravilan način određivanja b/m daje odgovor na pitanje ne samo šta može, a šta ne može da ostvari lovac u borbi za prevlast u VaP-u, već i koji avion odabrati za tu namenu i kako ga najefikasnije upotrebiti itd.

Na sposobnost lovca i uspeh vođenja borbe u VaP-u utiču mnogi faktori. U nastojanju da se izdvoje najvažniji od njih i da se poređaju po značaju, a na osnovu istraživanja, koristiće se parametri grupisani u četiri faktora, koji se odnose, pre svega, na vatrene mogućnosti: faktor elektronike u funkciji napada, faktor naoružanja, faktor manevarskih karakteristika i faktor zaštite (Ončevski 1986).

Elektronske mogućnosti sredstava za detekciju i dejstvo po neprijateljskim ciljevima opredeljuje radarska oprema, termovizijska, televizija niskog nivoa osvetljenosti, laserska oprema, itd. a izražavaju se:

- verovatnoćom otkrivanja i dejstva po neprijatelju na većim daljinama (30 do 100km) (Rs),
- verovatnoćom otkrivanja i dejstva na manjim daljinama (do 30km) (Rmd).

Mogućnosti vođenog raketnog naoružanja na većim i manjim daljinama:

- verovatnoća pogotka i uništenja cilja naoružanjem na daljinama van vizuelnog dometa (Psr),
- verovatnoća pogotka i uništenja cilja naoružanjem na bliskim daljinama (Pm).

Manevarske mogućnosti lovca za izvođenje napadnih i odbrambenih dejstava objedinjava tri elementa na koja utiču aerodinamika i pogonska gupa aviona: odnos potiska i mase (P/G), specifično opterećenje krila (G/S) i efekat mehanizacije krila (M). Parametri ovog faktora se karakterišu:

- verovatnoćom napada (Mn) (za male daljine),
- verovatnoćom preživljavanja (Mpr) (za male daljine i izbegavanje raketa manevrom leta).

Zaštita se karakteriše stepenom oklopljenosti aviona, čvrstoćom i pouzdanošću sklopova, dupliranjem sistema, efikasnost elektronskih i IC ometača, karakteristike nevidljivosti, veličinom aviona itd.

- verovatnoća individualne zaštite (Em).

Zadnji parametar, koji ne spada u b/m, ali je vrlo bitan za optimizaciju snaga LA, jeste cena za različite tipove aviona u lovačkoj nameni (Cj).

Zbirno, pregled pomenutih parametara je dat tabelom 1 (Jane's aircraft, 2004; Military ballance 2001/02, 2001).

Četiri navedena faktora se mogu grupisati i izraziti ukupnom verovatnoćom uništenja cilja (P) za svaki lovački avion posebno. Ukupna verovatnoća se dobija sumom verovatnoća uništenja cilja na većim daljinama (Pus) i manjim daljinama (Pum).

$$P = Pus + Pum \cdot (1 - Pus), \quad (1)$$

$$Pus = Psr \cdot Rs \cdot Em, \quad (2)$$

$$Pum = Pm \cdot Rm \cdot Mn \cdot Mpr \quad (3)$$

**Tabela 1:** Pregled parametara

Tip aviona	Cj (mil. €)	Rs	Rmd	Psr	Pm	Mn	Mpr	Em
F-16C	24 x 10 <sup>6</sup>	0,9	0,9	0,9	0,8	0,3	0,75	0,5
MIG-29A	30 x 10 <sup>6</sup>	0,8	0,85	0,8	0,95	0,3	0,95	0,3
Euro fighter	110 x 10 <sup>6</sup>	0,9	0,9	0,95	0,9	0,8	1	0,8
JAS-39 Gripen	55 x 10 <sup>6</sup>	0,9	0,9	0,95	0,9	0,27	0,93	0,7
MIG-21	1,5 x 10 <sup>6</sup>	0	0,3	0	0,8	0,2	0,8	0,2

**Tabela 2:** Ukupne verovatnoće uništenja P za svaki avion posbno

Tip aviona	Pus	Pum	P
F-16C	0,40	0,16	0,5
MIG-29A	0,20	0,23	0,38
Euro fighter	0,68	0,65	0,8
JAS-39 Gripen	0,6	0,20	0,76
MIG-21	0	0,04	0,04

#### 4. MATEMATIČKI MODEL DEJSTVA LA U OPERACIJAMA PVO

Zadatak koji treba rešiti sastoji se u određivanju tipa i broja lovačkih aviona, koje treba nabaviti pri ograničenim finansijskim sredstvima, tako da se protivniku nanese maksimalni gubici, ne manji od zadatih.

Opšti izgled matematičkog modela bi bio sledeći:

$$\max P(x) = \max \sum_{j=1}^n P_j(x) = \max \sum_{j=1}^n 1 - q_j^{x_j}, \quad (4)$$

pri ograničenju:

$$C(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = C_0; \quad (5)$$

$$x_j \geq 0, (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

U okviru opšteg modela matematičkog problema promenljive koje se pojavljuju su:

$x_j$  – broj lovačkih aviona koji su na raspolaganju za PVO teritorije,

$P_j$  – verovatnoća da će cilj biti uništen,

$q_j$  – verovatnoća da cilj neće biti uništen, a dobija se na sledeći način:  $q_j = (1 - p_j)$ ,

$c_j$  – cena koštanja svakog pojedinačnog aviona,

$C_0$  – raspoloživa sredstva za kupovinu odgovarajućeg broja aviona.

Značenje matematičkog modela je sledeće: izborom odgovarajućeg tipa i broja aviona ( $x_j$ ) teži se maksimalnoj verovatnoći uništenja protivničkih ciljeva (P), čime se ostvaruje zadatak – prevlast u VaP. Pri ovome je ograničavajući faktor veličina novčane mase ( $C_0$ ) iz budžeta Ministarstva odbrane, namenjena za nabavku sredstava PVO, u ovom slučaju LA.

Za ovako postavljen zadatak funkcija cilja je nelinearna, dok je ograničenje linearno. To implicira da se problem mora rešavati jednom od metoda nelinearnog programiranja (NP). Neki algoritmi, u određenim zadacima NP, čak i kada se ima u vidu primena računara, nisu uvek primenljivi. Ta primena zavisi od više faktora, a naročito od karaktera i dimenzije matematičkog modela zbog čega se većina zadataka NP, u izvesnom smislu tretiraju kao istraživački, a ne kao rutinski zadaci i zbog tih razloga primeniće se metoda optimalnog rezervisanja.

Sistem kao objekat koji se izučava primenom metoda optimizacije podrazumeva se da je sastavljen od (n) nezavisnih (u smislu pouzdanosti) podsistema pri čemu otkaz bilo kog od (n) podsistema dovodi do otkaza celog sistema. Pokazatelj pouzdanosti sistema u celini, predstavlja određenu funkciju, koja zavisi od vrednosti pokazatelja pouzdanosti podsistema, odnosno, broja elemenata svakog od podsistema (Petrić and Petrić 1974).

Zato se može napisati da je:

$$(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = P((P_1(x_1), P_2(x_2), \dots, P_n(x_n))) \quad (7)$$

Za rešavanje zadataka optimalnog rezervisanja postoji više metoda, ali kako se kod ovog, konkretnog modela optimizacije snaga LA za ratište R. Srbije radi o jednom ograničenju, biće primenjena metoda Lagranževih množitelja.

Metoda Lagranževih množitelja omogućuje da se za definisanu funkciju cilja  $F(x)$  i skup ograničenja L odredi rešenje  $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , koje može da obezbedi da  $F(x)$  dobije ekstremnu vrednost. Drugim rečima, ako treba naći minimum ili maksimum funkcije  $F(x)$  koja zavisi od (n) promenljivih  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , koje su međusobno povezane nekim dopunskim uslovima ili:

$$A_i(x) = B_i, (i = 1, 2, \dots, k), \quad (8)$$

koji predstavljaju skup ograničenja (L) i određuju oblast dopustivih rešenja, potrebno je uvesti (k) neodređenih množitelja i posmatrati funkciju:

$$F^*(X, \Lambda) = F(x) + \sum_{j=1}^k \lambda_j A_j(x), \quad (9)$$

koja ima  $n + k$  promenljivih, gde je:

$$\Lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k). \quad (10)$$

Potrebni uslovi da funkcija  $F^*(X, \Lambda)$  dobije ekstremnu vrednost izvode se iz sistema  $n + k$  jednačine oblika:

$$\frac{\delta}{\delta x_j} F^*(X, \Lambda) = 0, (j = 1, 2, \dots, n), \quad (11)$$

$$A_i(x) = B_i, (i = 1, 2, \dots, k), \quad (12)$$

čijim se rešavanjem mogu naći određene vrednosti:

$$(X, \Lambda) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k), \quad (13)$$

pri čemu, za nađeni sistem rešenja  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , funkcija cilja  $F(x)$  može da dobije ekstremnu vrednost.

Metoda Lagranževih množitelja može da se primeni samo na one matematičke modele kod kojih je skup ograničenja (L) zadat u vidu jednačina:

$$A_i(x) = B_i, \quad (14)$$

pri čemu se argumenti ( $x_i$ ) javljaju kao kontinualne promenljive. Zbog toga sistem nejednačina u sklopu ograničenja (L) treba pre primene metode Lagranževih množitelja pretvoriti u sistem jednačina (Petrić, Šarenac and Kojić 1988).

## 5. REŠAVANJE KONKRETNOG NUMERIČKOG PROBLEMA

Nakon rešavanja ručnim postupkom, problem je rešen i na računaru korištenjem programa „Mathlab“ u „Windows“ okruženju. Aktiviranjem programa dobijaju se istovetni rezultati sa ručnim postupkom.

Na osnovu rezultata iz tabela rešenja, optimalni rezultat je  $X_{10} = (3, 2, 0, 2, 38)$ , odnosno: 3 x F-16, 2 x MIG-29, 2 x JAS-39 i 38 x MIG-21, za koje treba izdvojiti 299.000.000€.

Značenje rešenja može se videti na sledećem primeru: izvodi se ofanzivna operacija PVO kojom se napada neprijateljski aerodrom. Avioni F-16 i JAS-39 Gripen vrše čišćenje VaP na marš-ruti i neutralisanje PVO u zoni aerodroma, nakon čega udarne snage udarnih aviona, u pratnji lovaca MIG-29, vrše napad na aerodromsku infrastrukturu. Nakon napada, naše snage se izvlače, dok ih prihvataju i štite lovci MIG-21, koji se smenjuju u ZO i prate do sletanja. Na osnovu poznate verovatnoće izvršenja zadatka  $P(x)$  i broja aviona koji učestvuju u borbi ( $N_c$ ), ukupan broj očekivanih oborenih ciljeva neprijatelja ( $M_c$ ) iznosi:

$$\max P(X_{10}) = 1 - Q(x) = 1 - 0,765 = 0,235 \quad (15)$$

$$M_c = N_c \cdot P(x) = 16 \cdot 0,235 = 3,76 \quad (16)$$

Znači da će biti uništeno između 3 i 4 neprijateljskih aviona (nakon zaokruženja), što će činiti oko 25% angažovanih snaga neprijatelja, a u krajnjem, da će zadatak odbrane biti izvršen jer ovaj broj prelazi dopustive gubitke.

## 6. ZAKLJUČAK

Određivanje b/m i borbene efikasnosti nikada nije samo po sebi cilj, već služi kao osnova za nalaženje optimalnih rešenja, kao što je izbor određenog tipa i optimalnog broja lovaca za PVO teritorije.

U ovom radu je korištena nešto izmenjena metoda optimalnog rezervisanja, kojom se dobija tip i broj aviona, koje treba nabaviti ograničenim sredstvima pretpostavljenog budžeta, da bi se dobila najveća verovatnoća uništenja neprijatelja. Na osnovu ove verovatnoće, prikazano je praktičnim primerom preko matematičkog očekivanja, koliko bi bilo uništenih aviona neprijatelja.

Dati problem je za potrebe ovog rada izuzetno uprošten, tako da se može steći utisak da je lako rešiv, međutim, ovo su samo neki od parametara koje treba sagledati, a kojih bi, u pravom problemu, bilo znatno više, kao i ograničenja koja bi uslovljavala optimizaciju.

Pored primenjene metode optimalnog rezervisanja, moguće je primeniti i pomenute metode nelinearnog programiranja, a takođe i metode višekriterijumske optimizacije. Opređenjenje za optimalno rezervisanje je uslovljavala jednostavnost rešavanja u odnosu na nelinearno programiranje i potreba za maksimalnu objektivnost, odnosno, nepostavljnje određenih preferencija za neki tip aviona, a kojih bi, u stvarnom problemu, verovatno bilo, u skladu sa politikom zemlje.

Dobijeno rešenje, sa stanovišta logistike je neracionalno zbog problema održavanja različitih tipova aviona, tako da bi se u realnom problemu moralo povesti računa i o ceni održavanja. Uzimajući u obzir logistiku, kao i da u našem naoružanju već postoji određen broj aviona tipa MIG-21, verovatno rešenje bi se tražilo između nabavke aviona treće i četvrte generacije npr. F-16 i JAS-39 Gripen.

U svakom slučaju, pri ovakvom izboru je obavezna primena jedne od metoda operacionih istraživanja, jer se time obezbeđuje naučan, objektivni pristup problemu i samo tako se može očekivati dobijanje optimalnog rešenja problema.

## LITERATURA

- [1] Dr. Dajović, V. (1964). Matematika, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd
- [2] Durov, V.R. (1975). Borbena primena i efikasnost lovaca presretača, VIZ Beograd
- [3] Jane's aircraft (2004).
- [4] Military ballance 2001/02 (2001).
- [5] Ončevski, A. (1986). Lovački avioni juče, danas, sutra..., VINC Beograd
- [6] Petrić, J. & Petrić Z. (1974). Operaciona istraživanja u vojsci, VIZ Beograd
- [7] Petrić, J., Šarenac L. & Kojić Z. (1988). Operaciona istraživanja, zbirka rešenih zadataka, Knjiga II, Naučna knjiga Beograd
- [8] Shaw, R. J. (1985). Fighter Combat: Tactics and Maneuvering, US Naval Insitute Annapolis, Maryland
- [9] Stevan, R., Milojević, M. & Petje, J. (1984). Taktika lovačke avijacije, VIZ Beograd



## **PRIMENA LANČESTEROVIH JEDNAČINA U ISTRAŽIVANJU POJAVA, PROCESA I SUKOBA U ORUŽANOJ BORBI**

### **APPLICATION OF LANCHESTER'S EQUATIONS IN RESEARCH OF PHENOMENA, PROCESSES AND CONFRONTATIONS IN ARMED COMBAT**

MITAR KOVAČ<sup>1</sup>, DALIBOR PETROVIĆ<sup>1</sup>, BRANKICA POTKONJAK-LUKIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ministarstvo odbrane, Beograd, mitar.kovac@mod.gov.rs

**Rezime:** U istraživanjima pojava, procesa i sukoba u oružanoj borbi veoma je bitno koristiti modelovanje dinamike borbe. Cilj ovog rada je da pokaže da rezultati analize borbe koji su dobijeni primenom modela dinamike borbe, imaju veliki značaj u procesu reorganizacije vojske, njenog razvoja, modernizacije i nabavci naoružanja, kao i u definisanju taktike upotrebe borbenih sredstva u skladu sa savremenim tendencijama ratovanja.

**Ključne reči:** Lančesterove jednačine, analitički model, borbene snage, protivoklopna borba, protivartiljerijsko-raketna borba.

**Abstract:** Using of combat dynamics modelling in research of phenomena, processes and confrontations in armed combat is very important. The aim of this paper is to show that the results of combat analysis obtained by the application of combat dynamics model are of great importance in the process of reorganizing the armed forces, its development, modernization and procurement of weapons, as well as defining the tactics for engaging the combat assets in accordance with contemporary tendencies of warfare.

**Keywords:** Lanchester's equations, analytical model, combat forces, antiarmor combat, antiartillery-rocket combat.

## **1. UVOD**

Svaka vojska u svetu čini veštački, otvoren, složen i nestacionaran dinamički sistem. Taj sistem, kao celina, i njegovi delovi (podsistemi različitog nivoa opštosti), uspostavlja mnoštvo relacija sa užim i širim okruženjem.

U radu se razmatra izračunavanje primarne relacije sukoba sa protivnikom u oružanoj borbi, kroz borbena dejstva. Nosioци borbenih dejstava su „borbeni sistemi“. Ciljevi dejstva „borbenih sistema“ se ostvaruju u oružanoj borbi obavljanjem zadataka, kroz različite funkcije (radnje, delatnosti), iz domena komandovanja, dejstva - protivdejstva i obezbeđenja jedinica.

Ubrzani razvoj tehnologije, a samim tim i borbenih sistema, uslovio je brzu reorganizaciju vojske, sposobne da odgovori savremenim vojnim doktrinama i strategijama. U današnje vreme osnovna obeležja savremenih vojnih doktrina su maksimalna ofanzivnost i visoki intenzitet borbenih dejstava za sve vreme trajanja rata. Iz ovakve doktrine proističu nove tendencije koje se ogledaju u sledećem:

1) "ubrzanje" izvođenje borbenih dejstava do te mere da se teži ka tome da se vojni sukob završi u jednoj, početnoj bici (da početni period bude i završni period rata). U toj tendenciji nije teško prepoznati okvire kvalitativno novog modela strategije "munjevitog rata";

2) uticaj oružja ne treba ceniti odvojeno od mogućnosti stvaranja protivoružja i novih sredstava zaštite.

## **2. PRIMENA MATEMATIČKOG MODELOVANJA BORBE**

Neizvesnost ishoda oružanog sukoba, koja je prisutna u matematičkom modelovanju borbe, smatrana je suviše visokom. Ona je proizilazila iz činjenice da na ishod borbe u realnim uslovima utiče veliki broj kako kvalitativnih tako i kvantitativnih faktora, kao što su: ljudstvo, komandni kadar, moral, obuka i obrazovanje, strategija i taktika, teren, meteorološki uslovi (vreme) i osvetljenost, koji se u matematičkim modelima borbe veoma teško i retko modeliraju. Iz tog razloga je vladalo mišljenje da modelovanje borbe nema nikakvu praktičnu vrednost, kada se radi o pouzdanom predviđanju borbenih ishoda u realnim situacijama, međutim sasvim je sigurno da je modelovanje borbe nezamenljiv alat u donošenju odluka u vezi sa rešavanjem

problema koji se odnose na: dugoročno planiranje, nabavku sistema oružja i senzora, nabavku sistema za komandovanje, kontrolu i informacione sisteme, razvoj novih vojnih koncepata i doktrina i optimizaciju logističkih sistema.

U današnje vreme, modelovanje borbe je generalno prihvaćeno kao praktično sredstvo za vojne donosiocel odluka. Modelovanje borbe može da bude korisno za vojne donosiocel odluka kao podrška sumiranju, obradi i zaključivanju na osnovu relevantnih i raspoloživih informacija.

### 3. TIPOVI MODELA BORBE

Razvoj oružja (borbene tehnike) oduvek je značajno uticao na obim i sadržaj borbenih dejstava u domenu taktike, operatike i strategije. S druge strane, ratna veština je stalno postavljala zahteve "tehnicel i tehnologijel" u vezi sa usavršavanjem postojećeg oružja ili razvoja novih vrsta, kako bi se ostvarila prednost u borbenim dejstvima sa aspekta efikasnosti dejstva. Taj međusobni uticaj doveo je do obostranog razvoja i pozitivnog interakcijskog odnosa. Da bi se adekvatno mogao sagledati uticaj tehnike na funkcijel borbenih dejstava, neophodno je izvršiti simulacijel borbe primenom determinističkih modela.

Danas postoji širok spektar mogućih tipova matematičkih modela, koji mogu da obezbede teorijsku osnovu za modelovanje borbe. Ono što je karakteristično za svaki od ovih tipova modela je niz specifičnih pretpostavki, ograničenja i mogućnosti. Tradicionalno modelovanje borbe zasnovano je na Lančesterovim modelima. U ovim modelima se pretpostavlja verovatnoća pojedinačnog pogotka za svaki ispaljeni projektil, a brzina vatre se definiše brzinom oružja kojim se raspolaže. Ovi modeli retko uzimaju u obzir fundamentalne pretpostavke, već se usvaja sukob naoružanja, čijel se efekat meri dejstvom na pojedinačne činioce i objekte, tako da ishod može da se razlikuju od „istinitog“ srednjeg kakav obično želimo da dobijemo primenom ovih modela.

Deterministički modeli mogu se opravdati jedino ukoliko su u stanju da proizvedu ishod borbe koji je blizu ili je jednak nekoj „istinitoj“ srednjoj vrednosti.

Naravno, vreme je glavni faktor za modelovanje borbe i ono mora da bude predstavljeno u okviru modela. Imajući u vidu činjenicu da se događajel u ratu koji su relevantni za modelovanje borbe, mogu javiti bilo kada, za modelovanje borbe se, u tom slučaju, primenjuju vremenski kontinuirani modeli. Međutim, u praksi se koriste i diskretni modeli, jer su posebno odgovarajući kada su u pitanju diskretna numerička izračunavanja. Ali, u principu, upotreba vremenski diskretnih modela uvodi grešku, upravo zato što je u okviru modela isforsirano da se događajel javljaju samo u diskretnim tačkama vremena, onima koje model dozvoljava.

U praksi, modelovanje borbe je veoma često zasnovano na deskriptivnim, determinističkim, vremenski kontinuiranim i u pogledu stanja kontinuiranim tipovima modela. Obično, to je niz diferencijalnih jednačina tipa Lančester.

#### 3.1 LANČESTEROV KVADRATNI MODEL (LANCHESTER SQUARE MODEL)

Postojanje dejstava - protivdejstava (sredstva - protivsredstva) i "večitel borba" između njih u tehnološkom i empirijskom smislu izraz su hipotetičke zakonitosti u oružanoj borbi po opštoj uprošćenoj simetriji zakona u fizici (sila akcije i sila reakcije). Ovom zakonu od svih klasičnih Lančesterovih modela najviše odgovara Lančesterov kvadratni model. On opisuje borbu između dveju homogenih snaga (homogena snaga jeste snaga koja uključuje samo jedan tip vojnih jedinica, na pr. tenkovske), pri čemu se obe snage bore pod pretpostavkom da imaju potpunu taktičku informaciju, to jest da je neka proizvoljna operativna jedinica u svakom trenutku u stanju da otkrije najmanje onoliko protivničkih operativnih jedinica koliko je u stanju da uništi.

Glavna pretpostavka modela je da su sve operativne jedinice na svakoj od strana u stanju da u potpunosti učine dostupnim sve svoje informacije i koordiniraju vatrena dejstva po protivničkim operativnim jedinicama. U stvari, vatrena moć je jedini ograničavajući faktor. Sposobnosti za otkrivanje i koordinaciju smatraju se dovoljnim za izvođenje vatrene dejstva.

Ovaj model je pogodan za modeliranje: protivvazduhoplovnih (Petrović 2013), oklopnih (Kovač 2011) i protivoklopnih dejstava (Petrović 2011), kao i bilo koji sukob istorodnog naoružanja.

Lančesterov kvadratni model je i vremenski i po stanju kontinuiran model i u praksi je često smatran vrstom modela srednje vrednosti i dat je u sledećem obliku (Przemieniecky 2000):

$$\frac{dm_p}{dt} = -\alpha_c m_c \quad m_p(0) = M_p$$

$$\frac{dm_c}{dt} = -\alpha_p m_p \quad m_c(0) = M_c$$

Ovde su:

$M_p$  – broj borbenih jedinica plavih na početku borbe,

$M_c$  – broj borbenih jedinica crvenih na početku borbe,

$\alpha_p$  – efektivna brzina gađanja borbene jedinice plavih i

$\alpha_c$  – efektivna brzina gađanja borbene jedinice crvenih.

$$\alpha_p = \lambda_p p_p$$

$$\alpha_c = \lambda_c p_c$$

Gde su:

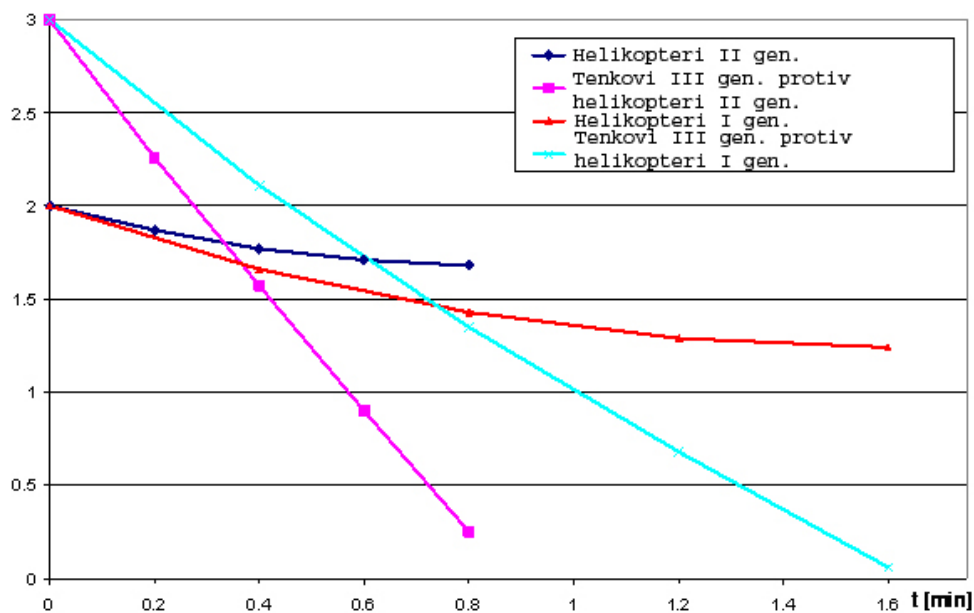
$p_p, p_c$  – verovatnoća gađanja plavih, crvenih,

$\lambda_p, \lambda_c$  – Puasonova gustina gađanja plavih, crvenih.

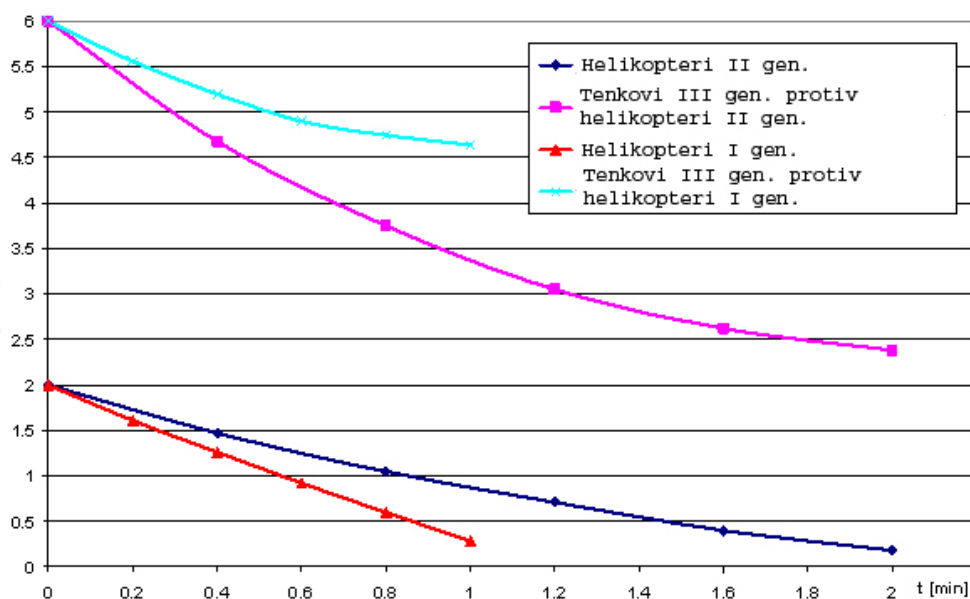
Primer (Kovač 2009): U sukobu koji bi se vodio između 3 tenka treće generacije i dva helikoptera naoružana raketnim sistemom I ili II generacije (sl. 1), nadmoćnost bi bila na strani helikoptera, s tom razlikom što bi kod helikoptera koji su naoružani sistemima II generacije bila veća verovatnoća preživljavanja, kao i sa većim gubicima nanetim protivničkoj strani, za 50% kraće vreme u odnosu na helikoptere naoružane sistemima I generacije.

Rezultati na slici 2, koji prikazuju sukob između 6 tenkova treće generacije i dva helikoptera naoružana raketnim sistemom I ili II generacije, prikazuju da je nadmoćnost na strani tenkova.

Iz primera proizilazi tvrdnja da je “kvantitet važniji od kvaliteta”, po svojoj prilici izvedena iz ovog modela.



Slika 1: Borba između 3 tenka III generacije i 2 helikoptera sa raketnim sistemom I ili II generacije



Slika 2: Borba između 6 tenkova III generacije i 2 helikoptera sa raketnim sistemom I ili II generacije

### 3.2 GERILSKI MODEL (GUERRILLA MODEL)

Sledeći veoma popularan model borbe tipa Lančester je model koji bi se mogao nazvati “gerilski model”. Ovaj model, takođe, opisuje borbu između dve homogene snage. Jedno od mogućih tumačenja ovog modela jeste da je svaka od snaga u stanju da uništi sve protivničke operativne jedinice koje su otkrivene.

U stvari, ovaj model opisuje neku borbenu situaciju u kojoj je istinito tvrđenje „Ako su te videli, mrtav si”. Ovo bi moglo da bude validno za borbu između dveju gerilskih snaga koje na terenu tragaju jedna za drugom.

Jedini ograničavajući faktor je odnos otkrivanja. Vatrena moć i sposobnost koordinacije su dovoljni za uništenje svih otkrivenih protivničkih jedinica.

Sa pretpostavkom validnom za “gerilski model”, kvalitet i kvantitet su očigledno od jednakog značaja.

Ovaj tip modela se, takođe, koristi za opisivanje ishoda koji su rezultat borbe u kojoj se koristi indirektna vatra, odnosno, za ishode koji su relevantni kada svaka od dveju artiljerijskih snaga nasumice gađa teritoriju koju je okupirao onaj drugi.

“Gerilski model” je, takođe, i vremenski i po stanju kontinuiran model i u praksi je često smatran vrstom modela srednje vrednosti i dat je u sledećem obliku (Przemieniecky 2000):

$$\frac{dm_p}{dt} = \frac{-\alpha_c m_c m_p}{M_p} \quad m_p(0) = M_p$$

$$\frac{dm_c}{dt} = \frac{-\alpha_p m_p m_c}{M_c} \quad m_c(0) = M_c$$

Ovde su:

$\alpha_p$  –odnos otkrivanja jedne operativne plave jedinice protiv proizvoljne operativne crvene jedinice

$\alpha_c$  –odnos otkrivanja jedne operativne crvene jedinice protiv proizvoljne operativne plave jedinice

### 3.3 MEŠOVITI MODEL BORBE (MIXED COMBAT MODEL)

Mešoviti model borbe tipa Lančester je model koji se sastoji iz kombinacije kvadratnog modela borbe i gerilskog modela borbe (Przemieniecky 2000):

$$\frac{dm_p}{dt} = -\alpha_c m_c \quad m_p(0) = M_p$$



$$\frac{dm_c}{dt} = \frac{-\alpha_p m_p m_c}{M_c} \quad m_c(0) = M_c$$

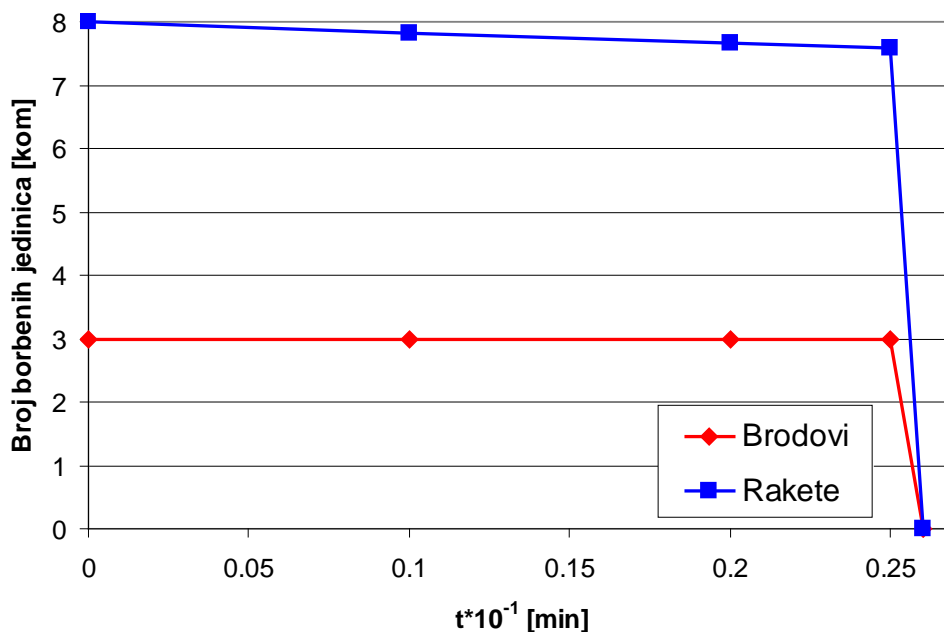
Ovde su:

$\alpha_c$  – efektivna brzina gađanja borbene jedinice crvenih.

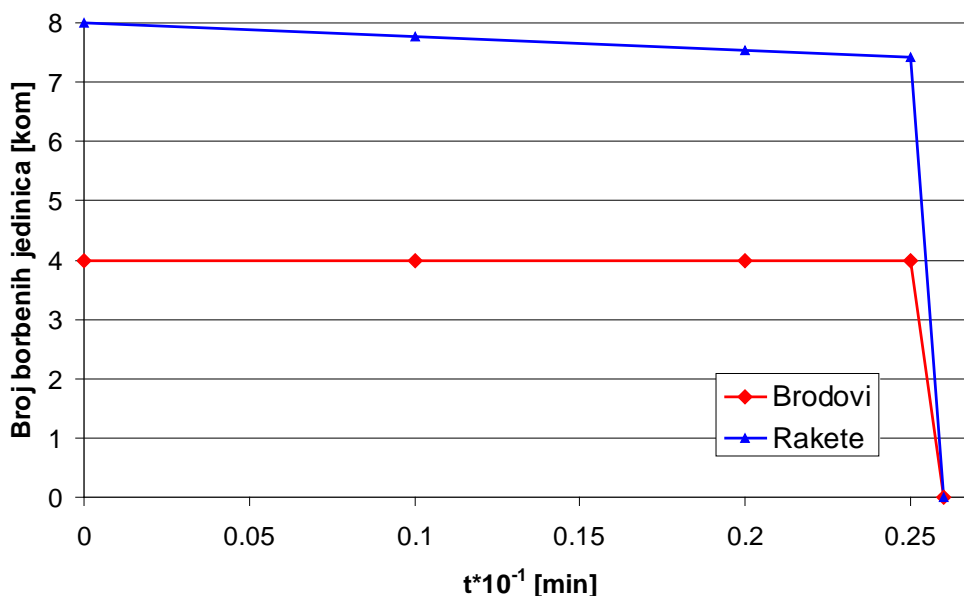
$\alpha_p$  –odnos otkrivanja jedne operativne plave jedinice protiv proizvoljne operativne crvene jedinice

Ovaj model opisuje borbu između dveju homogenih snaga. Tumačenje bi moglo da bude da crvene snage napreduju preko otvorenog terena u potrazi za plavim i boreći se protiv njega. Plavi uzvraća borbu sa sakrivenih i maskiranih položaja (Group of authors 1998).

Primer (Milinović 2013): Ovaj model je pogodan za analizu efikasnosti krstarećih raketa (plavi) koje vrše udar na protivnika iz dubine teritorije kao gerilski napad, a protivnik (crveni) kad ih otkrije dejstvuje na njih direktnom nepripremljenom vatrom.



Slika 3: Borba između 3 broda napadnuta sa 8 krstarećih raketa



Slika 4: Borba između 4 broda napadnuta sa 8 krstarećih raketa

Odnos otkrivanja je jedini ograničavajući faktor za crvenog, a vatrena moć je jedini ograničavajući faktor za plavog.

Pod ovim pretpostavkama koje su validne za mešoviti model, kvalitet je značajniji nego kvantitet za crvenog, dok su i kvalitet i kvantitet jednako važni za plavog.

Ovo je i po vremenu i po stanju kontinuirani model, u praksi često smatran vrstom modela srednje vrednosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

Zbog znatno većih vatrenih mogućnosti, brzine manevra i dejstva, danas su suprotstavljene strane u stanju da radikalno menjaju odnos snaga na najvažnijim pravcima i da obavljaju zadatke za mnogo kraće vreme i na većim daljinama. To znači da su karakteristike borbenih dejstava i njihov sadržaj (funkcije) uslovljeni, pre svega, novim razvojem tehnologije i borbene tehnike, kao i borbenim mogućnostima jedinica. Da bi se celishodno sagledale mogućnosti jedinica naoružanih određenim sredstvom, u ambijentu sukoba, mogu se upotrebiti razmatrani determinističkih modeli borbe tipa Lančester. Modeli su zasnovani na određenim krucijalnim pretpostavkama koje su ugrađene u ove modele.

Na osnovu sistemskog pristupa virtuelnoj oružanoj borbi i funkcionalne analize borbenih dejstava, nakon potpune funkcionalne analize borbenih dejstava moguće je pristupiti globalnom projektovanju organizacije koja će realizovati funkcije borbenih dejstava.

#### LITERATURA

- [1] Group of authors (1998). Lightning over water, Rapid reaction forces study, RAND Corporation, MR1198.
- [2] Kovač, M., Petrović, D. & Pekić, N. (2009). Analitički model protivoklopne borbe protivoklopnog helikoptera i tenkofske jedinice. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2009), Ivanjica, 507-510.
- [3] Kovač, M., Petrović, D. & Milinović, M. (2011). Relevances of MB Tank, Fcs, in the Group Model of Shooting Efficiency, 4th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH 2011), Belgrade.
- [4] Milinović, M., Kovač, M., Petrović, D. & Jeremić, O. (2013). Capabilities Modeling of Nlos-Missiles in Modular Unit of Guard Forces Battle Team. Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 3013), Zlatibor, 559-568.
- [5] Przemieniecky, J.S. (2000 ). Mathematical methods in defense analyses, Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA
- [6] Petrović, D., Kovač, M. & Čabarkapa, O. (2011). Rezultati analize protivoklopne borbe između tenkova druge i treće tehnološke generacije i uticaj organizovanja odbrane na ishod borbe. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011), Zlatibor, 611-614.
- [7] Petrović, D., Milinović, M., Kovač, M. & Jeremić, O. (2013). Determinističko modeliranje kvaliteta vatrene moći vazduhoplova naoružanog VBR lanserima nevedenih raketa. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor, 718-723.

## **OCENA MODELA ZA IZRADU MINSKIH POLJA PRIMENOM ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA**

### **EVALUATION MODEL FOR MAKING MINEFIELDS BY APPLYING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS**

ALEKSANDAR MILIĆ<sup>1</sup>, SAMED KAROVIĆ<sup>1</sup>, RADE SLAVKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, {milickm5, karovic.samed, bgor4s}@gmail.com

**Rezime:** U radu je predstavljena mogućnost primene metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), kao podrška odlučivanju za ocenu modela izrade protivoklopnih minskih polja. Istovremeno su identifikovani relevantni kriterijumi koji imaju presudan uticaj na ocenu modela izrade protivoklopnih minskih polja, prvenstveno imajući u vidu karakter savremenih operacija i misija u kojima se upotrebljavaju inženjerske jedinice

**Cljučne reči:** analitički hijerarhijski proces (AHP), protivoklopno minsko polje, savremene operacije.

**Abstract:** In this paper presents the possibility of application of the Analytic hierarchy process (AHP), a decision support model for assessing the making antitank minefields. At the same time identified the relevant criterias which have a crucial influence on the evaluation of model making antitank minefields, especially taking into mind the character of modern operations and missions which employ engineer units

**Keywords:** analytic hierarchy process (AHP), antitank minefield, contemporary operations.

#### **1. UVOD**

Jedinice inženjerije imaju značajno mesto i ulogu prilikom izvođenja borbenih operacija. Deo dejstava i protivdejstava čine inženjerska dejstva i protivdejstva. Inženjerskim dejstvima se neprijatelju nanose gubici, sprečava, usporava i kanališe njegovo kretanje i manevar snaga, a izvode se zaprečavanjem objekata, rejonu i pravaca (Doktrina Vojske Srbije 2010).

Osnovni način izvršavanja zadataka, iz sadržaja zaprečavanja, jeste izrada različitih vrsta prepreka, u kojima prednjače minskoeksplozivne prepreke. U okviru minskoeksplozivnih prepreka veliku primenu i naročit efekat postižu minska polja (Pravilo Zaprečavanje i savlađivanje veštačkih prepreka 1989). Za potrebe rada orijentacija je na izboru načina izrade protivoklopnih (PO) minskih polja u savremenim operacijama.

Izrada protivoklopnih minskih polja, u zavisnosti od stepena opremljenosti savremenim sredstvima, vrši se: ručno, mašinski, kombinovano i sredstvima za daljinsko miniranje (korištenjem vazduhoplova, artiljerijsko-raketnih sistema, artiljerije i modularnih pakovanja koja se mogu montirati na: oklopna borbeno i motorna vozila ili se ručno prenositi).

U radu se razmatra primena metode analitičkog hijerarhijskog procesa, kao sistema za podršku odlučivanju o modelu zaprečavanja, koji se u najvećem obimu oslanja na izradu PO minskih polja. Težište primene je usmereno na aspekt određivanja značaja relevantnih kriterijuma koji imaju ključnu ulogu u izboru efikasnosti izrade i funkcionisanja sistema zaprečavanja.

#### **2. ANALITIČKI HIJERARHIJSKI PROCES**

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je metoda pomoću koje se nalaze rešenja višeatributnog donošenja odluka, tj. rešenje problema izbora najbolje alternative iz skupa raspoloživih alternativa. Zasnovana je na principu donošenja odluka, ljudskom znanju i podacima kojima donosioci odluka raspolažu u procesu odlučivanja (Saaty 1990).

Koristi se za iznalaženje rešenja široke klase upravljačkih problema koji se kreću u rasponu vrlo jednostavnih do vrlo složenih (Saaty 1980).

Odlučivanje pomoću AHP metode realizuje se u dve faze. Prva faza je hijerarhijsko strukturiranje problema, a druga je procena.

**Hijerarhijsko strukturiranje problema** zahteva izuzetno znanje i iskustvo o problemu. To nedvosmisleno ukazuje na timski pristup u obe faze metode AHP kako bi se ostvario konsenzus u odlučivanju.

Na osnovu raspoloživih podataka donosilac odluke **procenjuje** relevantne odnose važnosti svakog para razmatranih elemenata odgovarajući na pitanje da li je i koliko jedan element bolji od drugog u razmatranom paru elemenata. Vrednost relativnog odnosa važnosti elemenata se procenjuje pomoću Satijeve skale relativnog značaja (Tabela 1).

**Tabela 1:** Satijeva skala relativnog značaja

Intezitet značaja	Definisane
1	Isti značaj
3	Mala prednost
5	Velika prednost
7	Vrlo velika prednost
9	Ekstremno velika prednost
2,4,6,8	Međuvrednosti

Važnost svakog elementa u AHP metodi određuje se pomoću metode sopstvenog vektora. Hijerarhijsko strukturiranje problema omogućava donosiocu odluke da napravi procenu na jednom hijerarhijskom nivou za razmatrani par elemenata nezavisno od ostalih hijerarhijskih nivoa (Karović et al. 2011).

Problemi koji se postavljaju pred donosiocima odluka i zahtevi okruženja (situacije) za brzim reagovanjem su elementi koji se ne mogu usaglasiti bez računarske podrške procesa odlučivanja. To implicira postojanje softverskih rešenja ili softverskih alata koji se koriste u toku procesa odlučivanja kao podrška. Takvi alati omogućavaju analiziranje problema, procene alternativnih rešenja, ukazivanje na optimalno rešenje i sl. U sušini, za potrebe podrške odlučivanju koriste se još i izvršni informacioni sistemi, ekspertni sistemi, hibridni sistemi itd.

Sistemi za podršku odlučivanju koriste se kada je donosiocu odluke potrebna računarska podrška u procesu rešavanja polustrukturiranih ili strukturiranih problema karakterističnih za komandovanje i rukovođenje.

Sistemi, koji se danas koriste, konstruisani su tako da korisniku izgledaju što jednostavnije. Korisnik po pokretanju programa dobija prazan ekran na koji može da upiše kriterijume koji su od uticaja na posmatrani problem (generiše hijerarhiju) i definiše skup alternativnih rešenja. Procena kriterijuma izvodi se na više načina (numerički, kvalitativnom ocenom, "fuzzy" logikom), a prilagođena je tako da donosilac odluke izabere način koji mu se čini najlakšim. Po unosu podataka sistem daje rezultate analize, gde donosilac odluke može da napravi izbor među rangiranim alternativnim rešenjima. U radu je korišćen sistem za podršku odlučivanju Expert choice 2000 (Karović et al. 2011).

### 3. REŠENJE PROBLEMA OCENE MODELA ZA IZRADU MINSKIH POLJA

Glavni problem predstavlja rangiranje definisanih kriterijuma za ocenu modela za izradu minskih polja u borbenim operacijama, posebno imajući u vidu da oni nemaju isti značaj u određenoj vrsti operacije, što je uslovalo posebno rangiranje za svaku vrstu operacije. Konkretno, neophodno je bilo odrediti kriterijume, a zatim njihov značaj u odnosu na napadnu, odbrambenu i protivterorističku operaciju. U radu se razmatra samo odbrambena operacija.

#### Definisanje problema

Rešava se problem ocene modela za izradu minskih polja u odbrambenoj operaciji, prikazanih u tabeli 2.

**Tabela 2:** Kriterijumi za ocenu modela

R.br.	Naziv kriterijuma	Alternative			
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
1.	Fizičke karakteristike minskog polja	Izrada PO minskog polja ručno	Izrada PO minskog polja mašinski (minopolagačem)	Izrada PO minskog polja kombinovanim načinom (mašinski i ručno)	Izrada PO minskog polja sredstvima za daljinsko miniranje na kratkim daljinama do 300m
2.	Karakteristike ugrađenih PO mina				
3.	Potrebni resursi za izradu minskog polja				
4.	Ograničenja u izradi minskog polja				
5.	Stepen zaštite ljudstva prilikom izrade minskog polja				
6.	Brzina izrade minskog polja				
7.	Namena minskog polja				

U konkretnom slučaju, ekspertskim načinom određeno je sedam vrsta kriterijuma relevantnih za ocenu modela izrade minskih polja. Svi navedeni kriterijumi se mogu dekomponovati na određne podkriterijume, tako da su:

K1 – Fizičke karakteristike minskog polja (gustina, dubina, širina, mogućnost preciznog definisanja granica m/p, težina otkrivanja m/p, mogućnost ostavljanja prolaza u m/p, trajnost – životni vek, količina ugrađenih PO mina);

K2 – Karakteristike ugrađenih PO mina (mogućnosti ojačavanja PO mina, težina razminiranja, vreme bojeve sposobnosti, mogućnost samolikvidacije, mogućnost aktiviranja na daljinu);

K3 – Potrebni resursi za izradu minskog polja (vreme, ljudstvo, broj sredstava i transportni kapaciteti);

K4 – Ograničenja u izradi minskog polja (uticaj karakteristika zemljišta, uticaj doba dana, uticaj atmosferskih pojava, uticaj faze operacije, uticaj borbenog rasporeda jedinica u čijem rejonu se izrađuje m/p, uticaj kontaminiranog zemljišta, uticaj neprijatelja i uticaj raspoloživih sredstava);

K5 – Stepem zaštite ljudstva prilikom izrade minskog polja (stepan zaštite u različitim uslovima organizovanja odbrane, stepen zaštite pri izvršavanju dopunskog miniranja i zaštita u toku odstupanja);

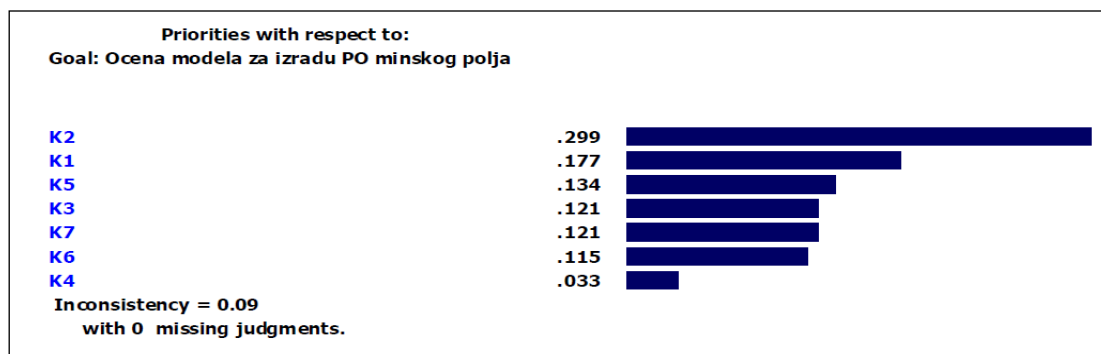
K6 – Brzina izrade minskog polja (rapoloživo vreme, način izrade, opremljenost jedinice tehničkim sredstvima, uticaj neprijatelja, tehničke karakteristike uređaja za miniranje), i

K7 – Namena minskog polja (zaustavljanje, usmeravanje, kanalisanje, blokiranje kretanje i mogućnosti za izradu lažnog m/p).

U radu, zbog ograničenog obima sadržaja problematike, razmatrani su samo kriterijumi prvog nivoa. Podaci iz tabele 2 poslužili su kao polazni podaci u određivanju značaja određenog kriterijuma za odbrambene operacije i grupnim odlučivanjem, na ekspertskom nivou, uz primenu softvera Expert choice 2000, određene su težine i značaj kriterijuma za ocenu modela izrade protivoklopnog minskog polja u odbrambenim operacijama koji su bitni za izbor kursa akcije u procesu donošenja vojnih odluka.

## Rešenje problema

S obzirom da program Expert choice podržava sve korake karakteristične za primenu AHP metode, te i u konkretnom slučaju obezbeđuje strukturiranje hijerarhije modela, poređenje u parovima i odlučivanje na više načina, obezbedilo se da dobijeni rezultati potpuno odražavaju realnost situacije i obezbeđuju analizu osetljivosti dobijenih rezultata (Karović et al. 2011).



Slika 1: Težinske vrednosti kriterijuma

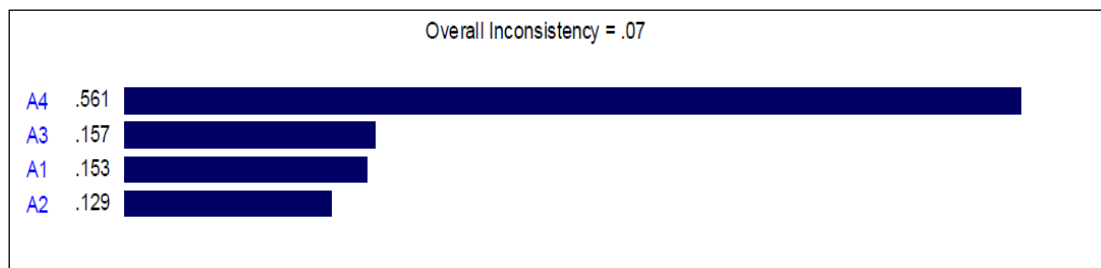
Proračun težinskih vrednosti kriterijuma ukazao je na izrazito odstupanje težine kriterijuma K<sub>2</sub> (Karakteristike ugrađenih PO mina) u odnosu na druge kriterijume. Ovakav odnos je očekivan, imajući u vidu da je kvalitet izrađenog PO minskog polja uslovljen samim karakteristikama PO mina koje su, u tehničkim karakteristikama, uznapredovale veoma mnogo. Istovremeno, kriterijum K<sub>4</sub> (Ograničenja u izradi minskih polja) ima najmanju vrednost što upućuje na zaključak da se radi o manje značajnom, ali ne i zanemarljivom kriterijumu. Ovakav odnos uslovljen je realnošću uslova u kojima se izvršavaju zadaci izrade minskih polja pri zaprečavanju zone operacije. Istovremeno, vrednost kriterijuma K<sub>1</sub> (Fizičke karakteristike m/p) dokazuje važnost svih karakteristika m/p na odlučivanje o izboru načina izrade minskog polja.

Iskazana težinska vrednost kriterijuma K<sub>5</sub> (Stepen zaštite ljudstva prilikom izrade minskih polja) potvrđuje dodeljenu pažnju pitanju zaštite ljudstva u uslovima vođenja savremenih operacija. Dobijena težinska vrednost (treća u redosledu važnosti) upozorava da se u uslovima primene različitog naoružanja poslednjih generacija i tehničke opremljenosti ostalih savremenih sredstava pitanju zaštite ljudstva mora posvetiti značajna pažnja. Ovom pitanju se pristupa krajnje pažljivo imajući u vidu da se borbenim dešavanjima u zoni izvođenja operacija povećava rizik po celokupno ljudstvo.

Identične težinske vrednosti kriterijuma  $K_3$  (Potrebni resursi za izradu m/p) i  $K_7$  (Namena minskih polja) upućuju na zaključak tesne korelacije angažovanja maksimalno raspoloživih resursa zarad ostvarivanja namene minskih polja.

Izračunata težinska vrednost kriterijuma  $K_6$  (Brzina izrade minskog polja), iako se po vrednosti svrstava u donji deo redosleda, nikako nije zanemarljiv kriterijum. Upravo brzina izrade m/p u velikoj meri opredeljuje uspešnost organizovanja i izvršenja odbrane.

Rezultati dobijeni u određivanju težinskih vrednosti - značaja kriterijuma za ocenu modela izrade PO minskog polja u odbrambenoj operaciji, slika 1, pokazuju da je prioritet dat na karakteristikama ugrađenih PO mina, i fizičkim karakteristikama minskog polja, dok ograničenja u izradi minskog polja i brzina izrade minskog polja zauzimaju najmanji udeo. To je verovatno posledica koncepta shvatanja odbrambene operacije kao više statičnog elementa u okviru dejstva. Krajnje vrednosti po svakoj alternativivi prikazane su na slici 2.



Slika 2: Ukupne vrednosti definisanih alternativa

Dobijeni rezultati ponuđenih alternativa upućuju da je model izrade minskog polja korišćenjem sredstava za daljinsko miniranje na kratkim daljinama do 300m pri zaprečavanju značajno dominantan u odnosu na ostale alternative.

Prikazani model je na naučnim osnovama potvrdio ono što većina lica, koja se bave ovom problematikom, i pretpostavlja da je korišćenje sredstava za daljinsko miniranje daleko ispred ostalih načina izrade PO minskih polja. Takođe, potvrđeno je da postoji značajna prednost u izradi PO minskih polja daljinskim miniranjem u odnosu na ostale načine izrade.

### 3. ZAKLJUČAK

U radu se došlo do konkretnih pokazatelja da se analitički hijerarhijski proces, kao metoda operacionih istraživanja, može uspešno primeniti u procesu ocena modela izrade minskih polja u odbrambenoj operaciji, posebno u sferi rangiranja kriterijuma i njihovog značaja kao elementa ocena modela. To je posebno važno za komandanta i komande, koji su akteri ovih procesa, jer daju osnovne vrednosti izražene u kvantifikaciji određenih kriterijuma, što predstavlja korak napred ka donošenju realnih odluka kojim se mogu ostvariti definisani ciljevi.

Konkretna važnost primene analitičkog hijerarhijskog procesa, u kombinaciji sa drugim metodama, pokazuje neophodnost uvažavanja kvantifikovanih podataka kao pokazatelja pri izboru kursa akcije u procesu odlučivanja o oceni modela izrade minskog polja, u odbrambenoj operaciji. To je posebno karakteristično u savremenim uslovima, jer bez ovakvog pristupa neće biti moguće realno sagledati sve aspekte koji prate određene procese i rizike u operacijama, koje su izuzetno kompleksne i složene i od komandanta zahtevaju veliki spektar poznavanja relevantnih kriterijuma u procesu odlučivanja.

### LITERATURA

- [1] Doktrina Vojske Srbije. (2010). Beograd: Medija centar „Obrana“.
- [2] Karović, S., Pušara, M., Ristić, V. & Komazec, N. (2011). Analitički hijerarhijski proces kao podrška odlučivanju angažovanja snaga u odbrambenoj operaciji. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011), Zlatibor, 588-591.
- [3] Pravilo Zaprečavanje i savlađivanje veštačkih prepreka. (1989). Beograd: SSNO, UI-2/3, VINC.
- [4] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- [5] Saaty, T. L. (1990). Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publications.



## PROJEKTI MENADŽMENT I MANEVARSKI ELEMENTI VOJNIH OPERACIJA

### PROJECT MANAGEMENT AND MANEUVERING ELEMENTS OF MILITARY OPERATIONS

SPASOJE MUČIBABIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN ĆIRKOVIĆ<sup>2</sup>, KSENIJA KELEMENIS<sup>3</sup>, IGNJAT JURIŠIĆ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ministarstvo odbrane, spasojemucibabic@yahoo.com

<sup>2</sup> Uprava za planiranje i razvoj (J-5) GŠ VS, dragan.cirkovic@vs.rs

<sup>3</sup> Nacionalna banka Grčke, kelemenis.ksenija@nbg.gr

<sup>4</sup> Fakultet organizacionih nauka Beograd - PDS, goldeng@eunet.rs

**Rezime:** U ovom radu dat je kratak osvrt na teorijske postavke projektnog menadžmenta i njihovu primenljivost na oblast vojnih operacija, sa posebnim osvrtom na manevarske elemente vojnih operacija Vojske Srbije. Pored toga razmatrani su mogući načini praćenja realizacije projekta vojne operacije i značaj pravilnog definisanja kriterijuma uspeha u menadžmentu i komandovanju operacijom.

**Ključne reči:** Projektni menadžment, vojne operacije, manevarski elementi vojnih operacija, praćenje realizacije, kriterijumi za uspeh.

**Abstract:** This paper provides a brief overview of the theoretical concepts of project management and their applicability to the area of military operations, with special reference to the maneuver elements of military operations of the Army of Serbia. In addition, they discussed possible ways of monitoring the implementation of the project military operations and the importance of proper definition of success criteria in the management and control operation.

**Keywords:** Project management, military operations, maneuver factors of military operations, monitoring of execution, criterion of success.

#### 1. UVOD

„Kapaciteti Vojske Srbije koriste se u skladu sa dodeljenim misijama. Upotreba Vojske Srbije realizuje se izvođenjem operacija. ...“<sup>1</sup>

Prema Doktrini operacija, vojne operacije su organizovane sa recipročnim nivoom primene sile u odnosu na političke zahteve i njihov uspeh „zahteva integraciju svih instrumenata nacionalne moći u kojima vojni element svoj zadatak realizuje u čvrstoj povezanosti sa drugim elementima sistema odbrane“.

Novi sistem planiranja vojnih operacija, koji se primenjuje u Vojsci, jedinstven je na svim nivoima organizovanja, od Generalštaba, kao strategijskog nivoa, do jedinica ranga samostalnog bataljona-diviziono-eskadrile. Proces operativnog planiranja definisan je Uputstvom za operativno planiranje i rad komandi u Vojsci Srbije i, pored interoperabilnosti sa zemljama partnerima, treba da obezbedi i unutrašnju interoperabilnost, odnosno jedinstveno razumevanje procesa planiranja operacija Vojske na svim nivoima.

Međutim, ovakav proces operativnog planiranja, koji se koristi u planiranju operacija Vojske, ne primenjuje se na nivoima iznad Generalštaba Vojske Srbije, a to su nivoi koji treba da odobre planove, za čiju izradu je Generalštab nadležan, i da obezbede resurse za pripremu i izvođenje vojnih operacija.

Zbog toga možemo reći da u sistemu odbrane, po pitanju planiranja vojnih operacija ne postoji potpuna unutrašnja interoperabilnost, odnosno da sistemski nije obezbeđeno da svi govore istim stručnim jezikom, što može da rezultira neadekvatnim razumevanjem zahteva Vojske u vezi sa izgradnjom potrebnih operativnih sposobnosti.

Posmatranjem vojne operacije kao projekta i primenom teorije projektnog menadžmenta u oblasti planiranja i izvođenja operacija, posebno u delu vezanom za praćenje realizacije plana operacije, mogla bi se obezbediti jednoznačna komunikacija između Generalštaba kao najvišeg nivoa planiranja operacija u Vojsci Srbije i subjekata sistema odbrane izvan Generalštaba.

<sup>1</sup> Doktrina operacija, Generalštab Vojske Srbije, 2011 (str. 6-7)

## 2. POJAM PROJEKTOG MENADŽMENTA I POJAM VOJNIH OPERACIJA

Projektni menadžment je koncept primene odgovarajućih znanja, veština, metoda i tehnika u cilju racionalnog usklađivanja svih potrebnih aktivnosti i resursa neophodnih da bi se određeni projekat završio na efikasan i efektivan način.

Projekat je jednokratni i neponovljiv poslovni poduhvat koji je usmeren konačnom cilju u budućnosti, a izvodi se sa ograničenim ljudskim i materijalnim resursima.

Projekat se definiše i kao skup aktivnosti međusobno povezanih i organizovanih na takav način da vode ka ostvarenju unapred definisanog cilja.

Vojne operacije u oružanim sukobima predstavljaju osnovni oblik upotrebe oružane sile ili pretnje upotrebe oružane sile radi nametanja sopstvene volje i ostvarenja određenih ciljeva.

Procesom upravljanja projektom postiže se ispunjenje postavljenih ciljeva projekta, odnosno završetak projekta u planiranom vremenu i sa predviđenim troškovima i kvalitetom.

Komandovanje i rukovođenje je proces usmeravanja jedinica i pojedinaca u izvršavanju zadataka i ostvarenju postavljenih ciljeva. Komandovanje i rukovođenje se realizuje u organizacijskoj strukturi snaga, sredstvima i procedurama koje komandant koristi za potrebe planiranja, usmeravanja, koordinacije i kontrole snaga i aktivnosti.<sup>2</sup>

Planiranje je kreativan posao rukovodioca kojim se utvrđuju sadašnji i budući pravci akcije da bi se postavljeni ciljevi ostvarili i da bi budućnost bila onakva kakva se želi.

Plan projekta je dokument kojim se utvrđuju specifične tehnike, resursi i nizovi aktivnosti (poslova), potrebnih za postizanje ciljeva projekta.

## 3. POJAM VOJNIH OPERACIJA I UPRAVLJANJE (KOMANDOVANJE I RUKOVOĐENJE) VOJNIM OPERACIJAMA

Operacija je skup borbenih i/ili neborbenih aktivnosti, pokreta i drugih akcija, koje se preduzimaju po jedinstvenoj zamisli radi ostvarivanja opšteg cilja različitog značaja. ...U osnovi, operacija predstavlja složen, planiran i pripremljen proces u kojem se raspoloživim resursima za određeno vreme i jedinstvenoj zamisli ostvaruju ciljevi različitog značaja.

Ako vojne operacije posmatramo sa stanovišta teorije projekt menadžmenta, uočavamo da one imaju sve karakteristike projekta. Naime, operacija jeste jednokratni i neponovljiv poduhvat koji je usmeren konačnom cilju u budućnosti, a izvodi se sa ograničenim ljudskim i materijalnim resursima.

Specifičnost vojne operacije je u tome što su rizik i neizvesnost naglašeniji u odnosu na ostale vrste projekata, pa je u definisanju elemenata, predviđanju i odlučivanju dat poseban značaj, a planira se, priprema i izvodi u složenim uslovima i pod uticajem različitih okolnosti i faktora koji skupa predstavljaju operativno okruženje.

Planiranje operacija (komandovanje i rukovođenje operacijama), slično kao i upravljanje projektima, predstavlja koncept primene odgovarajućih znanja, veština, metoda i tehnika u cilju racionalnog usklađivanja svih potrebnih aktivnosti i resursa neophodnih da bi se operacija izvela na efikasan i efektivan način.

Plan operacije (operativni plan) - dokument kojim se utvrđuju specifične tehnike, resursi i zadaci, koje potrebno realizovati za postizanje ciljeva operacije i predstavlja predlog za izvršenje komandantove odluke. On je osnova za pripremu komande za buduće ili predviđene operacije. Komanda ga koristi za vođenje operacije.

Naređenje je pisana ili usmena komunikacija koja usmerava dejstva. Zasniva se na planovima ili prijemu novog zadatka.<sup>3</sup>

Elementi projekta vojne operacije po metodologiji projekt menadžmenta bi bili: opis projekta; ciljevi projekta; obuhvat projekta; projektni menadžment i organizaciona struktura; plan realizacije projekta: vreme, resursi i troškovi.

**Opis** projekta obuhvata najvažnije podatke o projektu. U prvom delu opisa projekta pod nazivom „projekat“ daju se u sažetoj formi ključni podaci o projektu koji sadrže informacije o tome šta projekat predstavlja, koji su razlozi za njegovo pokretanje i koje uslove treba ispuniti da bi se projekat smatrao uspešnim. Ako govorimo o vojnoj operaciji kao projektu, ovom delu opisa projekta analogan je iskaz misije.

Opis projekta dalje sadrži podatke o korisnicima projekta, odnosno ko će biti uključen u realizaciju projekta, koji su mogući rizici i koji resursi su na raspolaganju. Za projekat vojne operacije to bi bili podaci o sopstvenim snagama, podaci o neprijatelju i podaci o mogućim rizicima u realizaciji projekta.

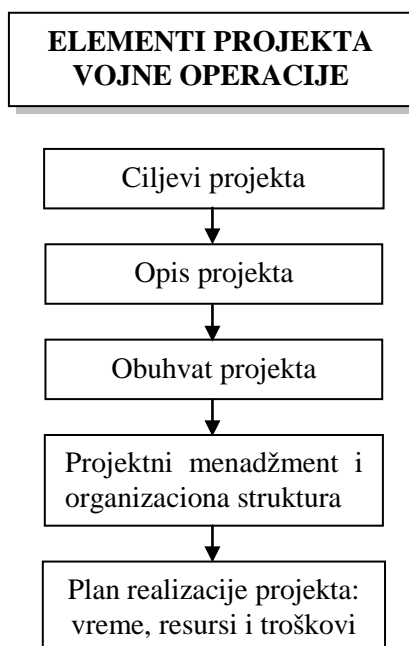
<sup>2</sup> Doktrina operacija Vojske Srbije, Generalštab VS, Beograd 2011 (str. 42)

<sup>3</sup> Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u Vojsci Srbije, nacrt, Uprava za planiranje i razvoj (J-5) GŠ VS, 2012 (str. 182)



Potrebna znanja i veštine za realizaciju projekta različita su za različite projekte. Kada je u pitanju vojna operacija, potrebna znanja i veštine, odnosno potrebne sposobnosti, definišu se kroz proces operativnog planiranja, u formi Iskaza o potrebnim sposobnostima.

Mogući članovi tima, odnosno sastav Grupe za operativno planiranje i Grupe za komandovanje definiše se u zavisnosti od vrste i nivoa operacije.



Šema 1: Elementi projekta vojne operacije po metodologiji projekt menadžmenta

**Ciljevi** projekta obuhvataju viziju, specifične ciljeve i kritične faktore uspeha.

Komandantove smernice za planiranje kao formalni dokument, služe štabu kao osnova za nastavak planiranja, a potčinjenim jedinicama može poslužiti i kao inicijalni dokument za početak planiranja. Tri ključna opšta elementa ovih smernica su: idejna zamisao komandanta, njegova vizija i misija. Vizija treba da opiše željeno krajnje stanje koje predstavlja skup uslova koji, prema odluci, treba da vladaju u zoni operacije po završetku operacije i u direktnoj je vezi sa ciljevima operacije.

U vojnim operacijama, cilj je rezultat, odnosno stanje koje se želi ostvariti operacijom. U procesu operativnog planiranja ciljevi operacije definišu se nakon shvatanja željenog krajnjeg stanja i kriterijuma za okončanje operacija. Ciljevi i željeni efekti stvaraju osnovu za identifikovanje zadataka.<sup>4</sup>

Strategijski vojni ciljevi definišu ulogu vojnih snaga u kontekstu širih nacionalnih ciljeva. Definisane strategijskih vojnih ciljeva je aktivnost koja prethodi modelovanju operacija. Priroda političkih namera, izvori nacionalne moći kao i slabosti, razmatraju se u odnosu na snagu i slabosti neprijatelja i druge faktore u operativnom okruženju, što ima za rezultat definisanje ostvarivih strategijskih vojnih ciljeva.

Ciljevi na operativnom i taktičkom nivou su najčešće povezani sa objektom dejstva. U tom kontekstu, cilj može biti deo prostora, koji treba zauzeti ili braniti, a može biti i jedinica ili sposobnost čijim se uništenjem eliminiše neprijatelj.

Definisane ciljeva podrazumeva njihovu direktnu povezanost sa jednim ili više ciljeva na višem nivou i jasnu iskazanost, pri čemu se ne iskazuju načini i sredstva kojima se dostižu.<sup>5</sup>

Kritični faktori uspeha odnose se na bitne preduslove koji moraju biti ispunjeni kako bi realizacija projekta bila uspešna.

U procesu operativnog planiranja u vojnim operacijama, u fazi orijentacije, u okviru utvrđivanja ograničenja u planiranju, identifikuju se preduslovi za uspeh. Veoma je važno da se identifikuju one okolnosti koje su izvan kontrole komandanta, a koje se smatraju suštinskim i bez kojih operacija ne može biti uspešno izvedena.

<sup>4</sup> Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u VS, nacrt, Uprava za planiranje i razvoj (J-5) GŠ VS 2012

<sup>5</sup> Isto

**Obuhvat projekta** opisuje probleme koje bi projekat mogao da reši ili izmeni, daje osnovu za početak procesa planiranja i razvoja projekta i daje informacije za prioritizaciju projekata. Ovaj deo plana projekta sadrži i najvažnija ograničenja vezana za projekat i zainteresovane strane – učesnike (stejkholdere) projekta.

Definisanje obuhvata projekta sadrži kratak opis projekta koji rešava prepoznat problem; njegov kontekst i opravdanost; vezu sa programom, kao i predloženo rešenje, koje sadrži korisnike, vremenski okvir, okvirna sredstva i pretpostavke.

Pretpostavke su spoljni faktori koji mogu da utiču na projekat, koje morate da uzmete u obzir, ali nad kojima nemate kontrolu. Preduslovi su “pretpostavke” koje treba da se dese pre nego što implementacija projekta može da počne.

Najvažnija ograničenja vezana za projekat definiše naručilac projekta, a najčešće se odnose na finansijska sredstva i vremenska ograničenja.

U procesu operativnog planiranja u vojnim operacijama, u fazi iniciranja, između ostalog, utvrđuju se opšta planska usmerenja, kao i ograničenja u planiranju. Ograničenja je potrebno jasno definisati u vidu onoga šta se ne sme preduzeti - zabrane, odnosno onoga šta se mora preduzeti - obaveze, kao i preduslove za uspeh. Preduslovi za uspeh su one okolnosti koje su izvan kontrole komandanta, a koje se smatraju suštinskim i bez kojih operacija ne može biti uspešno izvedena. Zabrane, obaveze i preduslovi za uspeh se definišu u inicijalnoj direktivi, ali dodatne preduslove za uspeh može utvrditi i grupa za operativno planirawe (GOP) u toku faze razvoja koncepta.<sup>6</sup>

Zainteresovane strane - učesnici projekta (stejkholderi<sup>7</sup>) su pojedinci ili grupe koji su indirektno ili direktno zainteresovani za ostvarivanje ciljeva organizacije.

U zavisnosti od toga gde se nalaze u odnosu na organizaciju, zainteresovane strane - učesnici projekta (stejkholderi) se dele na interne (zainteresovane strane unutar organizacije) i eksterne (zainteresovane strane izvan organizacije).

Što je projekat obimniji to je i lista zainteresovanih strana - učesnika (stejkholdera) projekta duža. Analiza zainteresovanih strana - učesnika (stejkholdera) projekta vrši se da bi se svi identifikovali, odredio njihov značaj i uticaj na projekat.

**Organizaciona struktura (strukturni dijagrami)** - u ovom delu plana projekta vrši se identifikacija delova projekta koji predstavljaju zasebne celine i aktivnosti u njima.

Organizaciono tehnička struktura projekta – WBS (Work Breakdown Structure), definiše se kao: “isporučujuće usmereno grupisanje elemenata projekta koji organizuju i definišu ukupan obim projekta. Svaki opadajući nivo reprezentuje povećanje detaljnosti definisanja komponenti projekta.”

Reč je o važnom delu plana projekta koji ilustruje kako svaki pojedini deo projekta doprinosi celokupnom projektu u smislu performansi, odgovornosti, budžeta i terminskog plana. On može sadržavati detaljnu specifikaciju radnih aktivnosti, identifikaciju neophodnih hardvera i softvera koji će se koristiti, identifikaciju ukupnih resursa, može služiti kao baza za izradu procene troškova ili procenu vremenskog trajanja pojedinih aktivnosti.

RACI matrica prikazuje odgovornosti projektnih timova u odnosu na svaki pojedini deo projekta koje se unose tabelu u vidu matrice (redovi su pojedini delovi projekta, a kolone funkcije, redni brojevi aktivnosti koje su vezane za pojedine delove projekta i projektni timovi). RACI matrica se izrađuje za ceo projekat, kao i za izradu plana projekta.

**Plan realizacije projekta** - ključni događaji su prelomne tačke u realizaciji plana projekta i najčešće predstavljaju početak ili završetak jednog elementa projekta. Pravilno identifikovanje ključnih događaja neophodan je preduslov za izradu plana praćenja i praćenje realizacije projekta.

Rizični događaji – upravljanje rizicima je bitan element projekta jer je rizik svojstven svakom projektu i predstavlja mogućnost da se cilj/ciljevi projekta ne postignu zbog nepredviđenih događaja.

Radi smanjenja negativnih posledica rizičnih događaja potrebno je identifikovati moguće rizike, proceniti njihov potencijalni uticaj na projekat i izraditi i sprovoditi planove. Rezultat identifikacije je lista rizičnih događaja koji se mogu desiti tokom realizacije projekta i negativno uticati na njegov ishod. Pogodan način prikazivanja rezultata analize rizika je tabela u koju se unose: tip rizika, opis rizika, verovatnoća nastupanja, uticaj i plan reagovanja.

Potrebni resursi. U ovom delu plana projekta, na osnovu analize svake pojedinačne aktivnosti, određuju se ukupni resursi neophodni za realizaciju projekta. Naručiocu projekta (donosiocu odluke) ukazuje šta je potrebno obezbediti da bi se projekat uspešno realizovao.

<sup>6</sup> Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u VS, naert, Uprava za planiranje i razvoj (J-5) GŠ VS, 2012 (str. 34-35)

<sup>7</sup> Od engleskih reči „stake“ = interes, „holder“ = držalac

Aktivnosti, troškovi i odgovornosti. Ovaj deo plana projekta objedinjava analize i omogućava praćenje realizacije projekta, kako po stepenu realizacije aktivnosti, tako i po utrošku finansijskih sredstava i nosiocima aktivnosti. Najpogodniji način prikaza je u vidu tabele u koju se za svaku aktivnost navode troškovi, odgovornost i tip odgovornosti.

Terminski plan realizacije predstavlja raspoređivanje vremena odvijanja aktivnosti u projektu. Najčešće primenjivanje tehnike koje to omogućavaju su:

- Gantogrami ili grafikoni;
- Grafikoni ključnih događaja i
- Mrežne tehnike: Tehnika evaluacije i revizije programa (PERT); Metod kritičnog puta (CPM); Dijagram prethodnih događaja (PDM); Tehnika grafičke evaluacije i pregleda (GERT).

Praćenje i kontrola projekta vrši se kroz sve faze životnog ciklusa projekta, a odnosi se na stanje resursa i troškove.

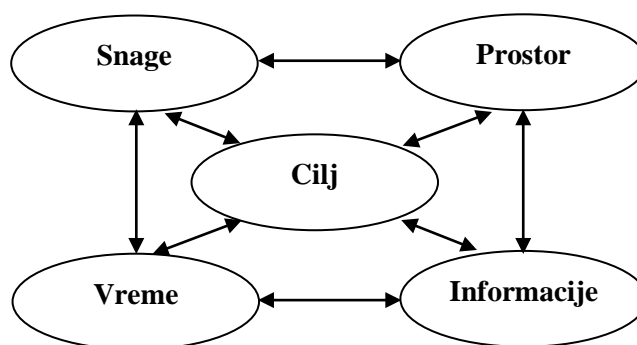
Svi pristupi upravljanju projektom (komandovanju i rukovođenju vojnom operacijom) predlažu i koriste tehniku mrežnog planiranja i gantograma u planiranju, praćenju i kontroli realizacije projekta (izvođenja vojne operacije).

Korišćenje mrežnog planiranja u upravljanju realizacijom projekta je nezamenljivo, jer omogućava, pored grafičkog predstavljanja i praćenja projekta, pribavljanje velikog broja potrebnih informacija koje su neophodne za upravljanje realizacijom projekta<sup>8</sup>.

#### 4. MANEVARSKI ELEMENTI VOJNIH OPERACIJA

Upotreba Vojske Srbije obuhvata mirnodopske aktivnosti i planiranje, pripreme i izvođenje operacija. U borbenim operacijama Vojska Srbije je nosilac, a u neborbenim operacijama je podrška drugim snagama sistema odbrane.<sup>9</sup>

Elementi (činioći) operacija su cilj, snage, prostor, vreme i informacije.



Šema 2: Elementi (činioći) operacija

Oni dimenzioniraju i oblikuju vojnu operaciju i planski se povezuju u jedinstvenu celinu usmerenu ka ostvarenju postavljenog cilja.

Snage koje planiraju, pripremaju i izvode borbene operacije organizuju se u: snage za komandovanje; borbene snage; snage za borbenu podršku i snage za obezbeđenje.

Snage za komandovanje planiraju i usmeravaju borbena dejstva i omogućavaju neprekidno komandovanje. Bobene snage su sastavljene od jedinica rodova čiji je zadatak da korišćenjem vatre i manevra u direktnoj borbi poraze neprijatelja. Snage za borbenu podršku čine jedinice Vojske Srbije čiji je zadatak da obezbede vatrenu i operativnu podršku borbenim snagama. Snage za obezbeđenje čine jedinice Vojske Srbije čiji je zadatak da stvore uslove za izvođenje borbenih dejstava i komandovanje snagama.

Manevar čini skup radnji i postupaka kojima se snage u operacijama, radi ostvarenja cilja, dovode u povoljniji položaj od neprijatelja. Nosioći manevra na kopnu su pešadijske i oklopne jedinice, u vazдушnom prostoru posebno opremljene i naoružane avijacijske i helikopterske jedinice, a u zahvatu unutrašnjih plovnih puteva – rečne jedinice. Važnu ulogu u ostvarivanju manevra borbenih snaga imaju dejstva specijalnih jedinica.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Mrežne tehnike obezbeđuju osnovu za pribavljanje činjenica koje treba da posluže u procesu odlučivanja i omogućavaju kontrolu celokupnog programa; vrednovanje alternativa; proveru napredovanja projekta; pokazuju međuzavisnost aktivnosti; omogućavaju simulaciju tipa "šta ako", identifikuju najduži put ili kritične puteve i dobra su pomoć u analizi rizika, sa aspekta terminskog plana.

<sup>9</sup> Doktrina Vojske Srbije, Medija centar "Odbrana", 2010 (str. 61)

<sup>10</sup> Isto (str. 98-99)

Borbene snage koje ostvaruju manevar su najznačajniji elemenat vojnih operacija jer utiču na ukupan ishod i doprinose ostvarenju cilja operacije.

Radi pravilnog definisanja kriterijuma uspeha, posebnu pažnju treba posvetiti ovim snagama, a praćenjem realizacije zadataka ovih snaga može se oceniti uspeh realizacije projekta vojne operacije. Navedene karakteristike izdvajaju ove snage kao poseban elemenat koji se uslovno može nazvati *manevarski elementi vojne operacije*.

U svim fazama operacije, od pripreme, preko izvođenja i stabilizacije, do dezangažovanja, manevarski elementi vojne operacije zauzimaju centralno mesto. Zbog toga je, prilikom izrade plana projekta vojne operacije, veoma bitno analizirati sve elemente vojne operacije, njihov značaj i međusobni uticaj, uticaj svakog na ishod operacije, kriterijume za uspeh, kao i moguće rizike.

Iz prikaza elemenata plana projekta po metodologiji projektnog menadžmenta uočljivo je da postoji visok stepen kompatibilnosti sa strukturom i sadržajem plana projekta vojne operacije (operativnog plana) koji se izrađuje u procesu operativnog planiranja u Vojski Srbije.

Neki elementi, kao što su analiza zainteresovanih strana - učesnika (stejkholdera), strukturni dijagrami, terminski plan realizacije, kao i korišćenje tehnike mrežnog planiranja i gantograma u planiranju, praćenju i kontroli realizacije projekta, mogli bi se više primenjivati u Vojski Srbije.

## 5. ZAKLJUČAK

Projektni menadžment kao naučna disciplina nije u menadžmentu u odbrani posebno obrađen, već je sadržan u okviru drugih naučnih disciplina i njegovi principi se primenjuju u realizaciji zadataka koje izvršavaju snage odbrane. Projektni menadžment u odbrani je specifičan jer projektni timovi - delovi komande rade projekat za poznate snage i sredstva - resurse.

Projektovanje u projektnom menadžmentu u odbrani prati veliki stepen neizvesnosti, prvenstveno vezan za postupke protivnika, zbog čega je donošenju odluka - odlučivanju dat veliki značaj i verifikuje se korak po korak - fazno. Jedna od osnovnih karakteristika projektnog menadžmenta je što se razmatra više varijanti realizacije, zavisno od mogućih kurseva akcije protivnika i mogućih odgovora sopstvenih snaga na te kurseve.

U projektnom menadžmentu u odbrani sada nisu dovoljno primenjene savremene metode i alati i stepen iskorišćenosti informacionih tehnologija može biti veći. Imajući u vidu iznete stavove i argumente, bilo bi dobro da se uoči potreba i donese odluka o uvođenju projektnog menadžmenta u odbrani, kao posebnog predmeta u vojnom školstvu, uvažavajući opšte principe projektnog menadžmenta i specifičnosti sistema odbrane.

U razradi projektnog menadžmenta u odbrani potrebno je posebno uvažiti činjenicu da se projektni timovi formiraju iz postojeće strukture komandi, a učesnici u projektu su poznati. Zbog činjenice da se protivničku stranu karakteriše visok stepen neizvesnosti, odlučivanje mora da se realizuje korak po korak i uz korišćenje naučnih metoda predviđanja.

Jedna od potreba je razmatranje (planiranje) više varijanti i izbor optimalne, uz korišćenje metoda operacionih istraživanja, razrađenih softvera iz odlučivanja i simulacionih modela (upoređivanje kurseva akcije – ratne igre).

## LITERATURA

- [1] Doktrina Vojske Srbije, Medija centar "Odbrana", 2010.
- [2] Doktrina operacija Vojske Srbije, Generalštab VS, Beograd 2011.
- [3] Jovanović, P., Živković, D. & Jovanović, F.: Menadžment i projektni menadžment, Visoka škola za projektni menadžment, Beograd, 2008.
- [4] Jovanović, P.: Upravljanje projektom, Grafoslog, Beograd, 1999.
- [5] Kendrick, T.: The project Management Toolkit - Second Edition -100 Tips and Techniques for Getting the Job Done Right American Management Association, 2010.
- [6] Lewis, J.: Fundamentals of Project Management - Third Edition, American Management Association
- [7] Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u VS, nacrt, Uprava za planiranje i razvoj (J-5) GŠ VS, 2012.



## PRIMENA FAZI LOGIKE U PROCENI MOGUĆNOSTI SISTEMA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN PROCESS OF EVALUATION THE POSSIBILITY OF AIR DEFENSE SYSTEM

IVAN PETROVIĆ<sup>1</sup>, VESKO LUKOVAC, MIROSLAV TERZIĆ

<sup>1</sup>Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, ivanpetrovic1977@gmail.com

**Rezime:** U radu je dat prikaz mogućnosti modelovanog sistema protivvazduhoplovne odbrane u zavisnosti od snage vazduhoplovnog ugrožavanja države. Imajući u vidu dinamičnost vođenja vazduhoplovnih i protivvazduhoplovnih dejstava za procenu mogućnosti sistema protivvazduhoplovne odbrane izabrana je fazi logika. Saopštenje se, pored uvoda i zaključka, sastoji iz modela konfliktne situacije i vrednovanja modela sistema protivvazduhoplovne odbrane primenom fazi logike.

**Ključne reči:** Fazi logika, sistem protivvazduhoplovne odbrane, vazduhoplovna pretnja

**Abstract:** The scientific article presents the possibility of modeled air defense system, depending on the strength of the air force threat to the state. The dynamics of conducting air force and air defense combat action to evaluate the possibility of air defense system was chosen fuzzy logic. The article consists of: introduction, conclusion, the model of conflict situation and valuation model of air defense system with fuzzy logic.

**Keywords:** Fuzzy logic, Air defense system, air threats.

### 1. UVOD

Imajući u vidu da su pojave, procesi i događaji, koji predstavljaju konkretne forme postojanja objektivne stvarnosti u sistemu protivvazduhoplovne odbrane (PVO) kvalitativni, kao i da se u biti izražavaju pomoću stavova, čija saznajna vrednost u zavisnosti od različitih vrednosti determinanantnih uslova konfliktne situacije (sistema PVO sa jedne, odnosno, neprijateljevih vazduhoplovnih sofisticiranih snaga sa druge strane), može višestruko varirati u granicama između 0 i 1, to jest, da je njihovo merenje stvar procene, proizilazi da je moguća spoznaja primenom fazi logike. Za potrebe rada primenjena je metoda trougla ("three angle set method"), dok je defazifikacija izvršena pomoću metode tezista ("method centroid").

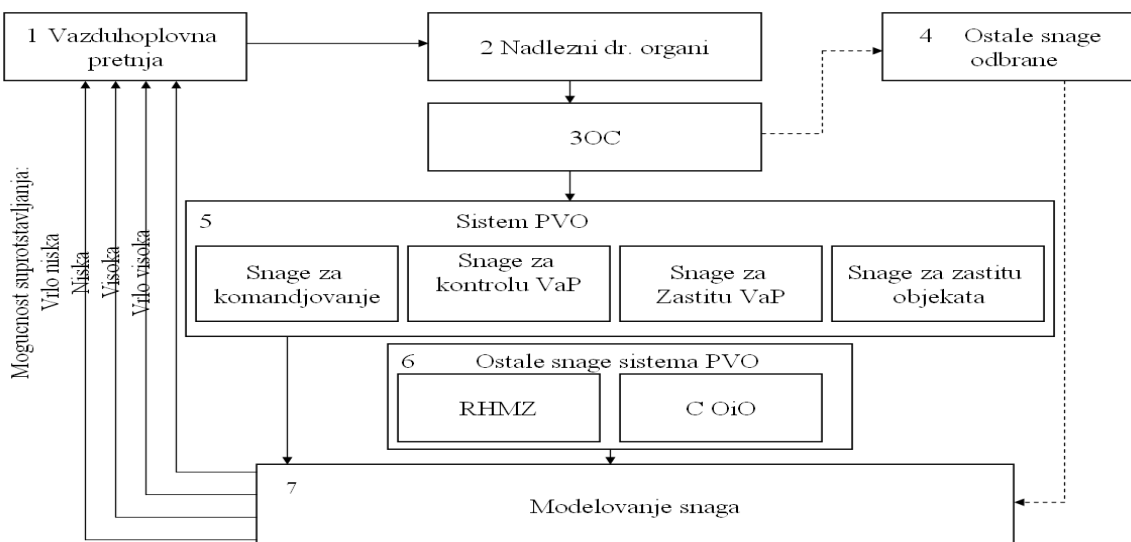
### 2. MODEL KONFLIKTNE SITUACIJE

Protivvazduhoplovna odbrana predstavlja civilizacijsku tekovinu XX veka. Ona je posledica razvoja nauke i tehnologije i tehnoloških rešenja namenjenih za vođenje vazduhoplovnih dejstava. Potpun primat u vođenju borbenih dejstava dobija na kraju XX i početkom XXI veka (Zalivski ratovi, oruzani sukob u SRJ 1999., oruzani sukob u Libiji 2011. godine). Na osnovu iskustava iz navedenih oruzanih sukoba savremena vazduhoplovna i protivvazduhoplovna dejstva predstavljaju promociju modela ratovanja u XXI veku.

U takvim uslovima potrebno je pre prikaza konfliktne situacije pojmovno se odrediti prema sistemu PVO u skladu sa savremenim trendovima. Pomocu sistemskog pristupa problemu sistem PVO se definiše kao sistem sastavljen od skupa (kompozicije) snaga, obrazovanih od njegovih podsistema, čija je organizacija, sastav, oružje i oprema prilagođenja za realizaciju kontrole i zaštite vazdusnog prostora i objekata na drzavnoj teritoriji od svih oblika vazduhoplovnog ugrožavanja.

Izvedeni model sistema PVO prezentovan je na bazi postojećih naučno - teorijskih i drugih saznanja i svrstava se u red elastičnih i otvorenih modela, koji se može korigovati, dorađivati i unapređivati. Zato je on u ovom radu određen kao početni, osnovni model. Za izradu simulacije na računaru korišćen je programski jezik Java i njegovo razvojno okruženje "NRC FuzzyJ Toolkit".

Algoritmom (Slika 1) su predstavljene varijable u simulacionom modelu. One su predstavljeni po blokovima. Svaki blok dijagrama prikazuje promenljive, koje opisuju teorijski sistem PVO (konceptualni model, koji je prilagođen izradi simulacionog modela) koji je razmatran.



**Slika 1:** Algoritam konfliktne situacije

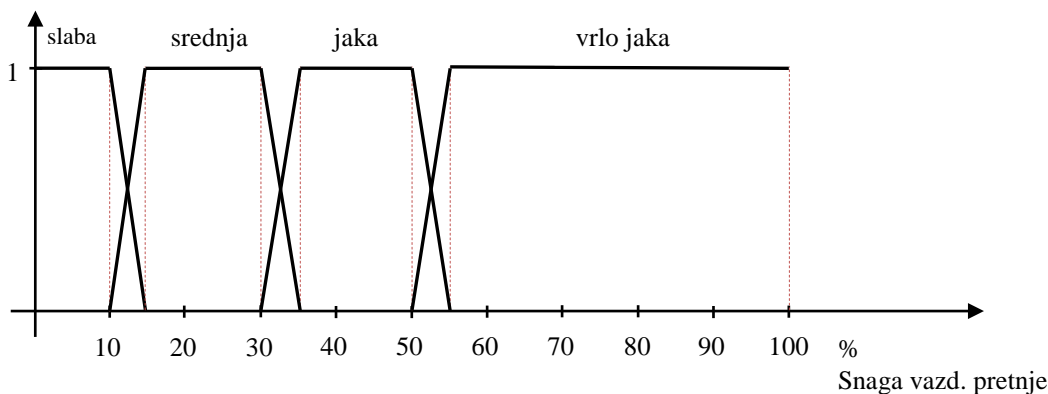
Za izradu simulacionog modela urađen je algoritam u čijem se sastavu nalaze: pretnja vazduhoplovnog ugrožavanja bezbednosti, upravni organi, snage modelovanog sistema PVO (snage za komandovanje, snage za kontrolu vazdusnog prostora (VaP), snage za zaštitu VaP i snage za zaštitu objekata od vazduhoplovnog ugrožavanja), ostale osnage uključene u kontrolu i zaštitu VaP (Centar za osmatranje i obaveštavanje, RHMZ), ostale snage sistema odbrane.

U algoritmu je prikazano da su modelovane snage reagovala na bezbedonosnu pretnju iz VaP u cilju njenog neutralisanja. Mogućnost suprotstavljanja teorijskog modela sistema PVO vazduhoplovnom ugrožavanju može biti vrlo visoka, visoka, niska i vrlo niska.

### 3. SIMULACIJA MOGUĆEG ODGOVORA SISTEMA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE

U simulaciji mogućnosti suprotstavljanja sistema PVO modelovan je kompleksan fazi ekspertni sistem. Model pruža mogućnost da se analiziraju mogući oblici ugrožavanja bezbednosti države, modelovanje strukture podsistema sistema PVO kroz ukupnu ocenu snaga u funkciji procene mogućeg odgovora.

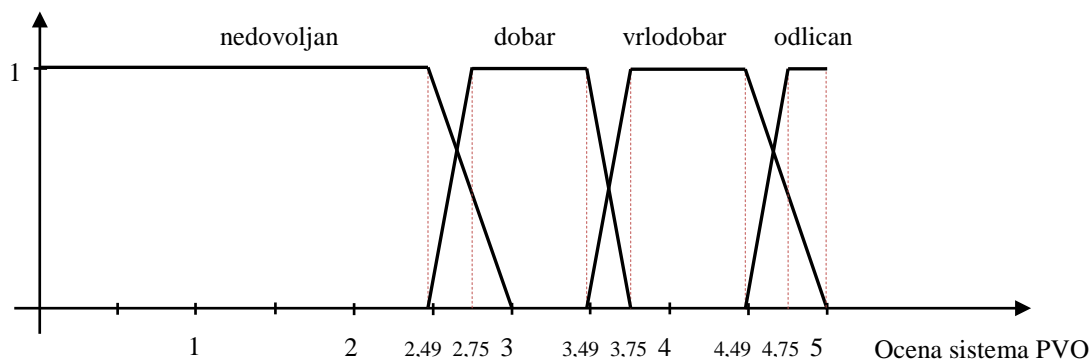
U modelu je predviđena mogućnost razrade svakog od oblika vazduhoplovnog ugrožavanja, koji se po intezitetu manifestuju kao (grafik broj 1): asimetrična pretnja iz VaP – snaga vazduhoplovnog ugrožavanja slaba, do 10 %, oružano ugrožavanje iz VaP vazduhoplovnim snagama jedne države – snaga vazduhoplovnog ugrožavanja srednja, 10% do 30%, oružano ugrožavanje iz VaP vazduhoplovnim snagama do tri države – snaga vazduhoplovnog ugrožavanja jaka, 30% do 50% i oružano ugrožavanje iz VaP vazduhoplovnim snagama MNS – snaga vazduhoplovnog ugrožavanja vrlo jaka, preko 50%.



**Slika 2:** Oblici vazduhoplovnog ugrožavanja po intezitetu

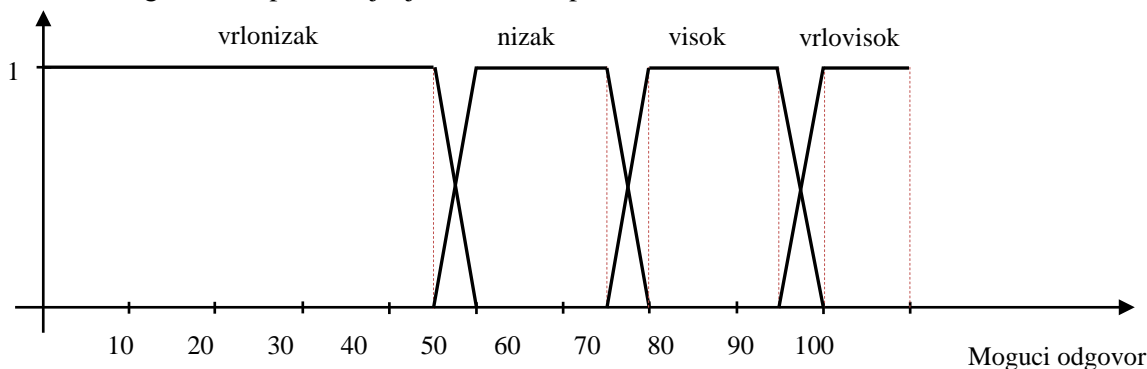
Ocena sposobnosti sistema PVO je: nedovoljan od 0 do 2,49; dobar od 2,50 do 3,49; vrlo dobar od 3,50 do 4,49 i odličan od 4,50 do 5,00 (Slika 2). Ocena sposobnosti je aritmetička sredina sledećih elemenata:

spособnost snaga za komandovanje, sposobnost snaga za kontrolu VaP, sposobnost snaga za zaštitu VaP, sposobnost snaga za zaštitu objekata od vazduhoplovnog ugrožavanja. Ocene sposobnosti navedenih snaga se izračunavaju na isti način kao i sistema PVO pomoću odgovarajućih elemenata.



**Slika 3:** Ocena sposobnosti sistema PVO

Mogućnost suprotstavljanja sistema PVO može biti (Slika 3): mogućnost suprotstavljanja vrlo nizak, ispod 50%; mogućnost suprotstavljanja nizak, od 50% do 70%; mogućnost suprotstavljanja visok, od 70% do 90%; mogućnost suprotstavljanja vrlo visok, preko 90%.



**Slika 4:** Mogućnost suprotstavljanja sistema PVO

Sagledavanje veza i relacija između promenljivih u strukturiranom simulacionom modelu za posledicu ima potrebu definisanja sledećih baza pravila koja se odnose na snagu ugrožavanja bezbednosti iz VaP, ukupnu ocenu spremnosti snaga sistema PVO i mogućih odgovora koji proizilaze kao rezultat:

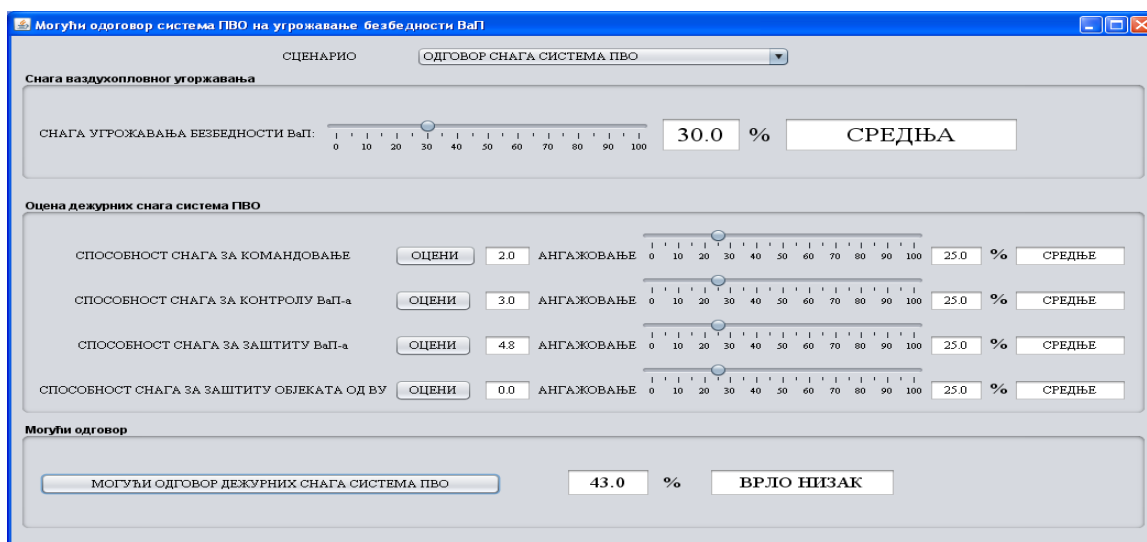
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO nedovoljna THEN mogući odgovor vrlo nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO vrlo dobra THEN mogući odgovor visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO vrlo dobra THEN mogući odgovor vrlo visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti slaba ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor vrlo visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti srednja ^ ocena sistema PVO nedovoljna THEN mogući odgovor vrlo nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti srednja ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti srednja ^ ocena sistema PVO vrlo dobra THEN mogući odgovor visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti srednja ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti srednja ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor vrlo visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO nedovoljna THEN mogući odgovor vrlo nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor vrlo nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO vrlo dobra THEN mogući odgovor nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor nizak;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti jaka ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor visok;
- IF snaga ugrožavanja bezbednosti vrlo jaka ^ ocena sistema PVO nedovoljna THEN mogući odgovor vrlo nizak;

IF snaga ugrožavanja bezbednosti vrlo jaka ^ ocena sistema PVO dobra THEN mogući odgovor vrlo nizak;  
 IF snaga ugrožavanja bezbednosti vrlo jaka ^ ocena sistema PVO vrlo dobra THEN mogući odgovor vrlo nizak;

IF snaga ugrožavanja bezbednosti vrlo jaka ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor vrlo nizak;  
 IF snaga ugrožavanja bezbednosti vrlo jaka ^ ocena sistema PVO odlična THEN mogući odgovor nizak.

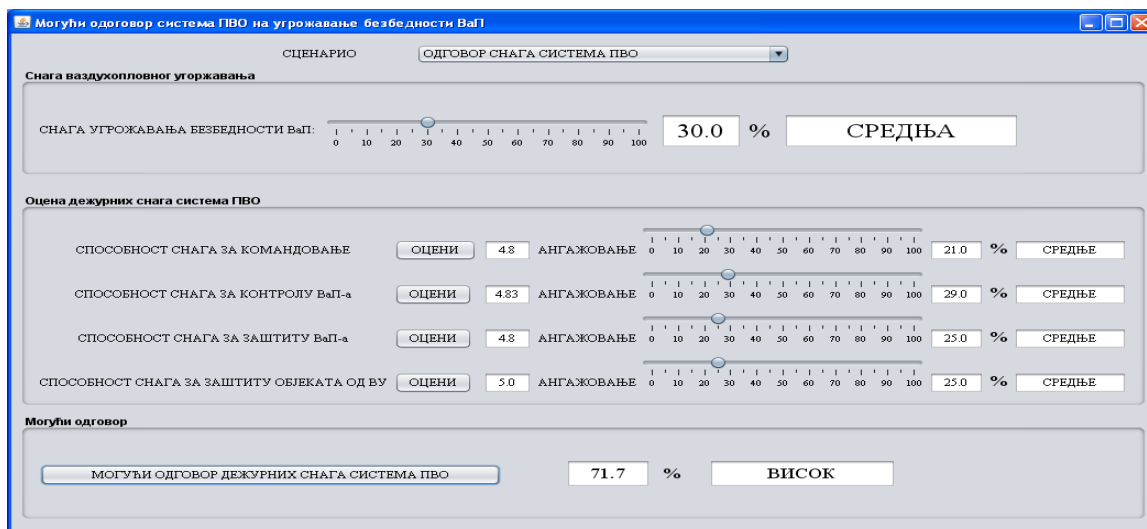
Na sličan način su određena i fazi pravila za snage za komandovanje, kontrolu i zaštitu VaP, kao i snaga za zaštitu objekata koja se odnose na: ocenu sposobnosti navedenih snaga, obim njihovog angažovanja i ukupnu ocenu snaga. Baza pravila su izvedena na osnovu izvršene obrade podataka prikupljenih tehnikom intervjuisanja 54 eksperata Vazduhoplovstva i PVO Vojske Srbije. U postupku sređivanja i analize rezultata, prikupljenih intervjuisanjem, primenjena je statistička metoda. Nakon sređivanja i klasifikovanja, obrada prikupljenih podataka izvršena je primenom pozicione srednje vrednosti – modusa. Opravdanost primene pozicione srednje vrednosti je posledica malog centra rasturanja prikupljenih podataka.

Simulacioni model u istraživanju potencijalnog sistema PVO sastoji se od: grafičkog - korisničkog interfeja i matematičko - programerskog dela (programski kod). Modelovanje snaga je izvršeno u odnosu na dve varijable: snagu ugrožavanja bezbednosti iz VaP i ukupnu ocenu snaga sistema PVO. Na osnovu ove dve varijable određuje se obim angažovanja snaga modelovanog sistema PVO što determiniše iznalaženje optimalne procene odgovora sistema PVO. Na grafičko – korisničkom interfejsu, na slici broj 2 prikazan je način određivanja snage vazduhoplovnog ugrožavanja bezbednosti (u ovom slučaju "srednja") i način ocenjivanja sposobnosti modelovanog sistema PVO.



**Slika 5:** Snaga vazduhoplovnog ugrožavanja i ocena sposobnosti sistema PVO

Na sledećoj slici je prikazan način modelovanja snaga i procenjeni odgovor sistema PVO srednjoj snazi vazduhoplovnog ugrožavanja.

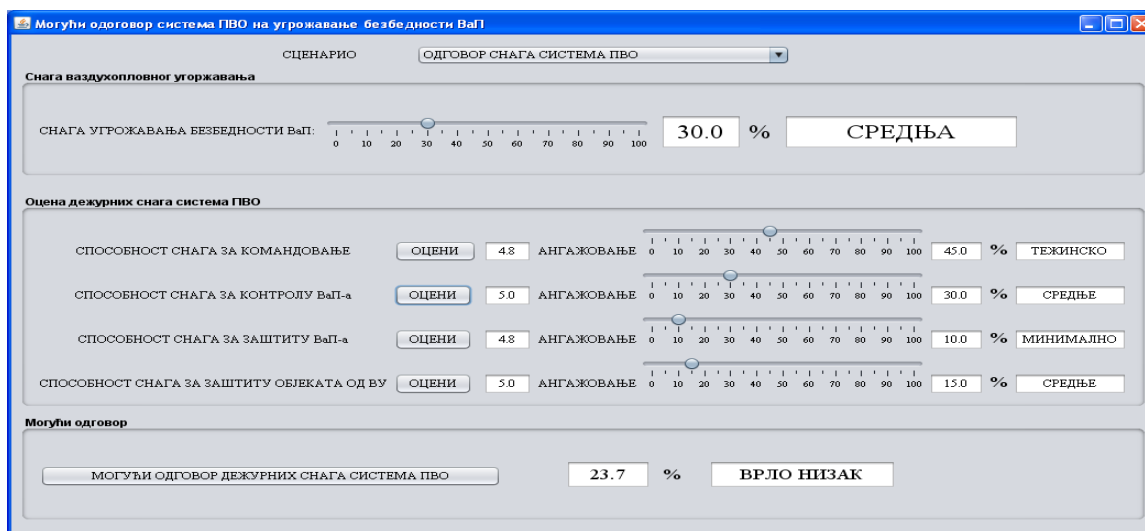


**Slika 6:** Modelovanje snaga i mogući odgovor sistema PVO



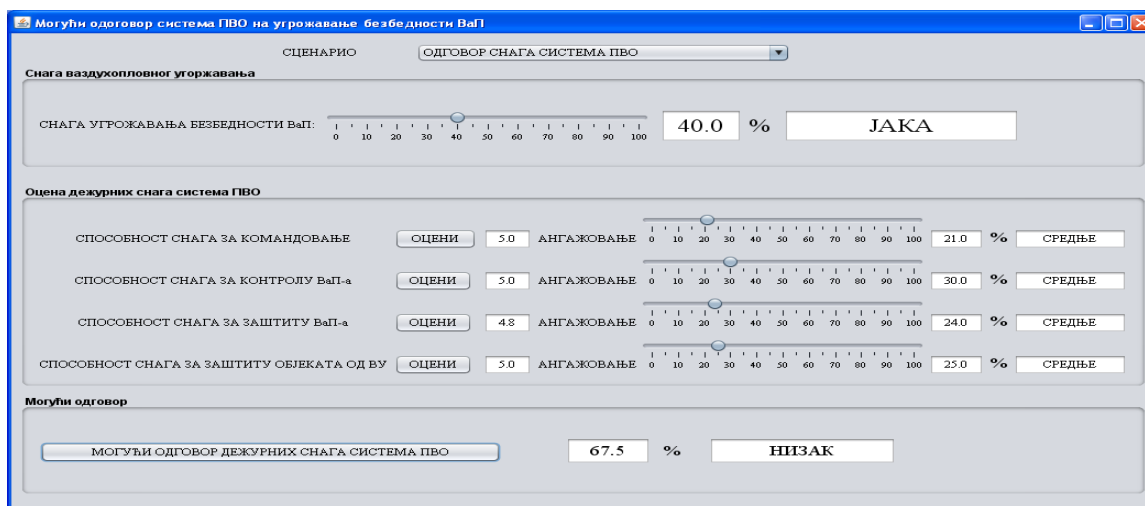
Na osnovu dobijenih rezultata, zaključuje se da u slučaju odlične ukupne ocene sposobnosti sistema PVO, kao i pravilnog angažovanja snaga sistema (prema unapred zadatim baza pravilima), simulacioni model podržava procenjenu mogućnost suprotstavljanja modelovanog sistema PVO. Naime, snaga ugrožavanja bezbednosti iz primera, odgovara vazduhoplovnom ugrožavanju jedne države u regionu, dok mogući odgovor je ekvivalentan visokoj mogućnosti suprotstavljanja modelovanog sistema PVO.

Uticaj promene načina angažovanja snaga, kao i ukupne ocene sistema PVO, u uslovima iste snage vazduhoplovnog ugrožavanja, na mogućnost odgovora (mogućnost suprotstavljanja modelovanog sistema PVO) dat je u primeru prikazanom na Slici 7.



**Slika 7:** Uticaj modelovanja snaga na mogući odgovor sistema PVO

U sledećem primeru (Slika 8) je prikazana mogućnost suprotstavljanja modelovanog sistema PVO snazi vazduhoplovnog ugrožavanja, klasifikovanoj kao jakoj.



**Slika 8:** Могући одговор система PVO на jakу снагу угрожавања безбедности из ВаП

Na osnovu dobijenog rezultata, uočeno je da simulacioni model podržava odgovore iz intervjuа u slučaju jakog inteziteta ugrožavanja bezbednosti iz ВаP.

#### 4. ZAKLJUČAK

Primenom fazi logike na konceptualnom modelu sistema PVO date su teorijske osnove objašnjenja povezanosti mogućnosti funkcionisanja sistema PVO u zavisnosti od oblika vazduhoplovnog ugrožavanja. Na osnovu primene ove naučne metode zaključuje se da je odnos mogućnosti modelovanog sistema PVO stohastičan u zavisnosti od inteziteta vazduhoplovnog ugrožavanja. Međutim, potpuno objašnjenje na nivou povezanosti pojava je moguće samo u stvarnim konfliktnim borbenim situacijama, imajući u vidu spektar činilaca koji utiču na kvalitet izvođenja realnih borbenih dejstava.

## LITERATURA

- [1] Saaty, T. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. (1st ed.). RWS Publications.
- [2] Brule, J. F. (1985). Fuzzy logic – A tutorial, this paper won the "Most Original Paper" Award of Merit at the First Annual Hartford Graduate Center Computer Science Conference.
- [3] Gordić, M. & Petrović, I. (2014). Uloga raketnih sistema za protivvazduhoplovna dejstva u odbrani malih država.MC "ODBRANA".
- [4] Radenković, B., Stanojević, M. & Marković, A. (1999). Računarska simulacija.FON. SF. Beograd.
- [5] Krčevinac, S., Čangalović, M., Kovačević – Vujčić, V., Matrić, M. & Vujošević, M. (2004). Operaciona istraživanja. FON. Beograd.
- [6] Matematičko modelovanje - elektronski radni materijal (2008). VA vazdušno – kosmičke odbrane Maršal Žukov. Tver.

## DEGRADACIJA KARAKTERISTIKE TEKUĆE VATRENE MOĆI VAZDUHOPLOVNE PLATFORME TOKOM DEJSTVA VBR-OM

### DEGRADATION OF AIRCRAFT CURRENT FIRE POWER IN SUPPORT OPERATION BY MLRS

DALIBOR PETROVIĆ<sup>1</sup>, MOMČILO MILINOVIĆ<sup>2</sup>, OLIVERA JEREMIĆ<sup>2</sup>, NENAD KAPOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, dalibor.petrovic@mod.gov.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, mmilinic@mas.bg.ac.rs

**Rezime:** Osnovni koncept vazduhoplovne vatrene podrške za operacije kopnenih snaga je da realizuju zaprečnu vatru. Različiti tipovi naoružanih vazduhoplova analiziraju se Lanchester-ovim i Dinner-ovim jednačinama determinističkih modela boja. Relativne vatrene mogućnosti vazduhoplovne platforme se takođe razmatraju kao degradirane u rafalnoj raketnoj vatri dejstvom sopstvenih rafala. Rad upoređuje uticaj relativnih vatrenih mogućnosti nevođenih raketnih lansera ugrađenih na vazduhoplovne platforme na degradaciju borbenih mogućnosti platforme i njenu efikasnost delovanja na površinske ciljeve.

**Cljučne reči:** Lanchester-ove i Dinner-ove jednačine, modeliranje boja, poligonske vazduhoplovne snage, borbene snage, vazduhoplovna podrška.

**Abstract:** The basic concept of aircraft fire for land forces support in operations is to realise suppressive fire. Different types of armed aircrafts are analysed in considerations of Lanchester and Dinner deterministic models equations. Relative fire power performances of aircraft platforms are also considered in the light of self-degradation of rockets ripple fire. Paper comparatives influences of relative fire power capabilities of rocket launchers mounted on the aircraft platforms on the combat power degradation and their effectiveness on the surface targets attack.

**Keywords:** Lanchester and Dinner equations, battle modeling, unit air fire power, combat forces, air support.

#### 1. UVOD

U konceptu zadataka neposredne vazduhoplovne podrške najčešće se koristi metod gađanja ciljeva na kopnu po tkz., pozivu ili kao prethodna borbena priprema neke od strana u sukobu (Milinović 2013, Tyler 2006). Tehnološke mogućnosti vazduhoplovstva za takve zadatke analiziraju se, generalno po osnovu sledeća dva pitanja: (1) Da li je racionalnije koristiti helikopterske, vazduhoplovne ili kombinovane borbene platforme (u novije vreme i bespilotne naoružane borbene letelice) (European 2008), ili borbeni zadatak rešiti artiljerijskim raketnim jedinicama ukoliko to domet artiljerijskih oruđa dozvoljava? (2) Da li u taktičkom razmatranju vatrene moći i efikasnosti delovanja iz vazduha ima smisla izvršiti unifikaciju vatrenog dejstva po tipu municije i brzini vatre?

Prvo pitanje nije tema ovog rada, dok se drugo, obično ocenjuje odgovarajućim matematičkim modelima od kojih su, između ostalih mogući i deterministički modeli boja za dve ili više strana u sukobu (Petrić 1976, Przemieniecky 2000). Ovi modeli (Przemieniecky 2000, Vencelj 1973, Valcourt 2009), zasnovani na Lanchester-ovim diferencijalnim jednačinama, razrađeni su za veliki broj taktičkih supozicija strana u sukobu. Takođe, modifikovani modeli Dinner-a (Petrić 1976) namenjeni oceni dejstva na prostorne ciljeve, mogu se razrađivati taktički za različite supozicije strana u sukobu. Parametri kao što su verovatnoća pojedinačnog pogotka, svakog ispaljenog projektila i učestanost ispaljenih projektila, definišu brzinu vatre oružja sa kojim se raspolaze i njegovu efikasnost na cilj. U novije vreme (Bracken 1995) ovakvi modeli su osnova za analizi ranjivosti ciljeva i pojedinačnih borbenih platformi, pa su u Americi razvijeni čitavi koncepti ovakvih studija pozanatih kao PEXPOT, LEVPOT, DYNPOT (Bracken 1995) itd. čija je suština da je ranjivost funkcija vlastite vatrene moći i parametara vlastitih vatrenih sposobnosti. Kvalitet naoružanja se teško može oceniti u boju samo takozvanom vatrenom moći, kroz brzinu vatre i verovatnoću pogotka pojedinačnog ili grupe projektila (Valcourt 2009), to jest determinističkim modelima. Zbog toga je korisno

formirati inovirane kombinovane modele čiji bi cilj u početnoj fazi bio, istraživanje funkcije za opštu ocenu borbenih mogućnosti jedne naoružane borbene platforme, namenjene jednom tipu vatrenog dejstva, na iste tipove ciljeva redukovanjem njene raspoložive vatrene moći. Takva ocena bi mogla biti bolji reprezent borbenih mogućnosti same platforme i njene efikasnosti raspoloživim naoružanjem. Time se specifičnost modeliranja boja svodi na pitanja: šta je realno očekivati u taktičko-tehničkom smislu od raspoloživog naoružanja na borbenoj platformi i koliko uticaji, kao na primer vreme trajanja boja, mogu da menjaju njene vatrene kapacitete. Kao pogodan primer za ovakvo modeliranje može se usvojiti vazduhoplovna platforma naoružana za neposrednu vatrenu podršku kopnenim snagama. Njeno dejstvo na površinske ciljeve saobrazno je sa artiljerijskim jedinicama, ali po kapacitetu vatrene moći do sada nije celovito i potpuno upoređivana. U ovom radu biće sproveden približni postupak za ocenu redukovane borbene mogućnosti jednog vazduhoplova naoružanog višecevnim bacačima raketa istog kalibra i iste jedinične efikasnosti u dejstvu na površinske ciljeve u neposrednoj vazduhoplovnoj podršci KoV u. Analiza bi bila osnov za moguće opšte studije kompatibilnog planiranja združene vatrene moći vazduhoplovstava za podršku sa artiljerijom u odabranim taktičkim situacijama (Petrović 2013, Milinović 2011).

## **2. MATEMATIČKI MODEL, USVOJENE HIPOTEZE I SCENARIO**

Naoružanje vazduhoplova za neposrednu vatrenu podršku koje čine u ovom slučaju više raketnih lansera kalibra 128mm (odnosno 122mm ) smeštenih na vazduhoplovnu platformu, nije moguće razdvojiti na broj oruđa uništenih i preostalih u toku boja. Zbog toga će se vazduhoplov, tretirati kao jedinična borbena platforma sa više oruđa jednorodnog tipa sa ukupnom integrisanom vatrenom moći na osnovu koje se vrši procena njene borbene moći. Naoružan vazduhoplov ima stvarni broj raketa sa kojima raspolaže u skladu sa deklarisanom kapacitetom nosivosti. Međutim, u toku boja vazduhoplov degradira svoju vatrenu moć dejstvom na ciljeve, redukujući na taj način i svoju borbenu moć. Degradiranje vatrene moći vazduhoplova posmatra se preko tekuće relativne vrednosti vatrene moći jedne rafalne vatre ali, takođe i preko tekuće ukupne relativne vrednosti vatrene moći svih uzastopnih rafala. Time se uspostavlja zavisnost pojedinačnih, rafalnih i rezultujućih ukupnih gubitka vatrene moći realizovanih kroz sve izvršene rafale. To je osnova za ocenu uticaja na borbenu moć naoružanog vazduhoplova VBR raketnim lanserima odgovarajućeg vatrenog kapaciteta. Odnos broja raketa sa kojima vazduhoplov ostvaruje rafalnu vatru u avio naletu, u toku i na početku rafala predstavlja relativnu vatrenu moć vazduhoplova merenu u tom rafalu. Relativna vatrena moć vazduhoplova svakog od rafala smatra se kao stoprocentna na početku svakog avio naleta i degradira se od te vrednosti na manju. Relativna degradacija realizovana u rafalu preračunava se u novi ekvivalentni broj raketa sa kojom vazduhoplov raspolaže, kao početnom vrednošću za sledeći avio nalet. Stepenn degradiranosti relativne vatrene moći u svakom rafalu procenjuje se matematičkim modelom Lanchestera (Przemieniecky 2000) nepripremljenog boja. Usvojeni model je proporcionalno zavistan od brzine vatre vazduhoplova i obrnuto proporcionalan relativnoj vatrenoj moći svedenoj na, ekvivalentni početni broj preostalih raketa. Takođe, nakon svakog od rafala ukupna relativna vatrena moć vazduhoplova se smanjuje u sledećem rafalu kao posledica ukupnih degradacija ostvarenih u prethodnim rafalima. Ovo se uzima kao kumulativni gubitak proporcionalan prethodnim vrednostima ostvarenim na kraju svakog rafala i može se tretirati kao element za ocenu redukovanih borbenih mogućnosti. U jednom avio naletu na ciljeve, vazduhoplov ispali rafal sa istim, normiranim brojem raketa. Normirani broj raketa u rafalu je definisan vremenom trajanja rafala. Usvaja se da je to vreme uvek manje ili jednako graničnom vremenu koje vazduhoplov može da provede iznad cilja u toku koga funkcija degradacije vatrene moći ne prelazi zadatu vrednost. Vrednost funkcije degradacije izražena je u procentima u odnosu na stoprocentnu, sa kojom vazduhoplov ulazi u dejstvo preko relativne vatrene moći. Uticaj pojedinačnih i rezultujućih gubitka vatrene moći na uništenje ciljeva modelira se Dinner-ovim jednačinama spregnutim sa relativnom vatrenom moći vazduhoplova. Dakle, druga strana u sukobu u Dinner-ovim jednačinama je sam vazduhoplov čija se relativna vatrena moć degradira. Pošto je relativna vatrena moć svedena na početne vrednosti ukupne vatrene moći naoružanja, to ona predstavlja ekvivalentat degradacije broja projektila u odnosu na raspoložive početne vrednosti sa kojima je vazduhoplov stupio u dejstvo i na taj način iskazuje uticaj početnog naoružavanja na degradaciju vatrene moći dejstvom na cilj, dakle, degradaciju efikasnosti. Vazduhoplov gađa površinske ciljeve modelom nepripremljene vatrene podrške nevođenim raketnim projektilima. Vazduhoplovni cilj u horizontalnom naletu je površina i ima širinu ukupne Gausove raspodele greške po pravcu verovatnog skretanja ispaljenih raketa, a dužinu jednaku putu koji pređe vazduhoplov tokom vremena naleta približno konstantnom brzinom. Verovatnoća pogađanja raketa biće stoprocentna pošto dimenzije površinskog cilja odgovaraju slici pogodaka u koji upadaju sve ispaljene rakete. Greške ovakvog modeliranja slične su kao i u ostalim zadacima diferencijalne verovatnoće (Nikolic 2012) i ne utiču na kvalitativnu ocenu modela. U prvoj aproksimaciji, ciljevi se prekrivaju ubojnim dejstvom na radijusima uništenja svih raketa jednog normiranog rafala, bez preklapanja pogodaka. Time se

definiše osnovna efikasnost uništenja cilja rafalnom vatrom koja se umanjuje uticajem degradacije vatrene moći vazduhoplova. Matematičko očekivanje relativne degradacije jednog vazduhoplova može se tretirati kao funkcija kojom se iskazuje smanjenje efikasnosti njegovog naoružanja u toku borbene upotrebe, dejstvom u vremenu vlastitom brzinom i verovatnoćom vatre. Sličan pristup upotrebljen je u radu (Petrović 2013) za proračun funkcije rizika, ranjivosti, kao i proračuna veka borbenog preživljavanja.

Dve determinističke jednačine, opisuju model boja sa jednim učesnikom u sukobu. Prva je jednačina relativne degradacije vazduhoplova koji vrši rafalno raketiranje i glasi:

$$\frac{d\mu_{p_i}}{dt} = -\alpha_p \frac{1}{\mu_{p_i} m_{p(i-1)}^2}, \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

Druga je jednačina, efikasnosti njegovog delovanja na ciljeve koji ne odgovaraju na njegovu vatru i glasi

$$\frac{d\mu_{c_i}}{dt} = -U_i \mu_{p_i} \mu_{c_i}, \quad 0 < t < \Delta t \quad (2)$$

gde su:

$m_{p(0)} = M_{p_0}$  - početni broj municijskog ekvivalenta ukupne vatrene moći vazduhoplova,

$m_{p_i} = m_{p_i}(t)$  - tekuća vrednost ekvivalenta vatrene moći u toku  $i$ -tog rafala,

$m_{p(i-1)} = m_{p(i-1)}(\Delta t)$  - početni broj municijskog ekvivalenta vatrene moći za  $i$ -ti rafal nakon degradacije u  $i-1$  rafalu,

$\mu_{p_i} = \mu_{p_i}(t) = \frac{m_{p_i}(t)}{m_{p(i-1)}}$  - relativna (tekuća) vrednost degradacije vatrene moći u  $i$ -tom rafalu,

$\mu_{c_i}(t) = 1 - \frac{S_i(t)}{S_{(i-1)}^c}$  - relativna tekuća preostala površina cilja tokom  $i$ -tog rafala,

$S_i(t)$  - tekuća veličina uništenog cilja u svakom  $i$ -tom rafalu,

$S_{(i-1)}^c$  - početna površina cilja na početku  $i$ -tog rafala,

$0 < t < \Delta t$  - interval vremena svakog  $i$ -tog rafala,

$U_i = \lambda p \frac{8\sigma}{S_{(i-1)}^c}$  - vatrena moć normiranog rafala od 8 raketa, (Petrić 1976)

$\sigma$  - površina uništenja jednom raketom bez preklapanja [ $m^2$ ],

$\lambda$  - brzina raketne vatre [1/s],

$\alpha_p = \lambda p$  - koeficijent atricije (brzina verovatne vatre),

Obe diferencijalne jednačine imaju rešenja u analitičkom obliku, i to:

za relativnu vrednost degradacije vatrene moći, uz početnu vrednost u svakom  $i$ -tom rafalu

$$\mu_{p_i}(t=0) = 1, \quad \mu_{p_i}(t) = \sqrt{1 - \frac{2\alpha_p}{m_{p(i-1)}^2} t} \quad (3)$$

kao i za relativnu tekuću neuništenu površinu cilja tokom  $i$ -tog rafala, uz početni uslov  $\mu_{c_i}(t=0)$ ,

$$\mu_{c_i}(t) = \mu_{c_i}(t=0) e^{\frac{U_i m_{p(i-1)}^2 (\mu_{p_i}^3 - 1)}{3\alpha_p}} \quad (4)$$

Ukupna vrednost relativne degradacije vatrene moći u bilo kom trenutku  $t$ , koji odgovara sumarnom merenju u nekom intervalu  $i$ -tog rafala,  $(i-1)\Delta t < t < i\Delta t$ , ostvarenog nakon,  $i-1$ , rafala predstavlja tekuću degradaciju borbene moći vazduhoplova (redukovana borbena moć), i glasi:

$$\mu_p(t) = \mu_{p_i}(t) \prod_{j=1}^{i-1} \mu_{p(j)}, \quad (5)$$

uz uslov da je  $\prod_{j=1}^{i-1} \mu_{p(j)} = 1$  za  $i = 1$ .

Na osnovu ovako formiranih jednačina ispitane su neke karakteristike degradacije borbene moći vazduhoplova preko smanjenja njegove ekvivalentne vatrene moći i ocenjeno je ponašanje dejstva na cilj.

### 3. OSNOVNE TAKTIČKO - TEHNIČKE HIPOTEZE I PODACI ZA SIMULACIJU

U ovom radu biće razmotren vazduhoplov, naoružan municijskim paketom višecevni bacača raketa kalibra (127mm ili 128mm alternativno 122mm), karakterističnog za vatrenu podršku kopnenim snagama dejstvom avijacije. Potreban broj projektila u rafalu određen je normativom rafalne vatre (Milinović 2011). Verovatnoće pogađanja, prilagođene su greškama rafalne vatre i brzinama leta normiranim za dejstvo iz vazduha u horizontalnom letu. Normirani i hipotetički pretpostavljeni podaci dati su u tabeli T1.

U simulaciji se razmatraju dva modela uništenja ciljeva i to:

A. model čiji su početni uslovi za relativnu površinu uništenog cilja tokom  $i$ -tog rafala uvek stoprocentni u

obliku  $\mu_{c_i}(0) = 1 - \frac{S_i(0)}{S_{(i-1)}^c} = 1$ , ali je početna površina cilja,  $S_{(i-1)}^c$ , redukovana prethodnim rafalom a

početna vatrene moć  $U_i = \lambda p \frac{8\sigma}{S_{(i-1)}^c} \neq const$ , u svakom rafalu raste.

B. model čiji su početni uslovi za relativnu površinu uništenog cilja tokom  $i$ -tog rafala relativne vrednosti dobijene iz prethodnog  $\mu_{c_i}(t=0) = \mu_{c_i(i-1)} < 1$ , ali je početna površina cilja u svim rafalima ista i

početna vatrene moć se ne menja  $U_i = \lambda p \frac{8\sigma}{S_{(i-1)}^c} = const$

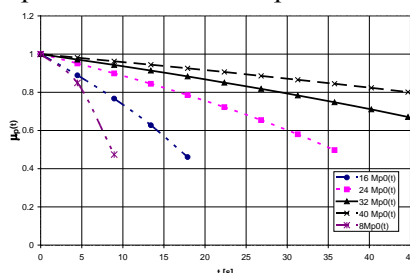
Simulacijom je ispitana degradacija sa rafalnom i kontinualnom vatrom do očekivane vrednosti  $\mu_{p_i} = 0.5$ , što odgovara degradaciji borbene moći vazduhoplova na nivo 50% od ekvivalentom početne vatrene moći. Model je proveren za različiti broj oruđa (lansera) i raketa na vazduhoplovu u skladu sa tabelom T1 (Priručnik 1980).

**Tabela 1:** Karakteristike razmatranog naoružanja na primeru vazduhoplova za podršku dejstvom nevođenim raketama

Varijanta naoružanja vazduhoplova	Naziv naoružanja	Broj raketa u lanseru	Broj lansera	Broj raketa na vazduhoplovu	Brzina vatre $\lambda$ [1/s]	Brzina leta vazduhoplova $V_a$ [m/s]	Veličina cilja $\times 10^4$ [m <sup>2</sup> ]	Rc [m]	Jedinična uništena površina $\sigma$ [m <sup>2</sup> ]	Broj pogodaka po cilju $\omega$
1	Vazduhoplovni višecevni bacač raketa	4	2	8	2	141	1,7	12.62	4200	8
2		4	4	16	2	141	1.7	12.62	4200	8
3	VVBR128m (alter. 127 HVAR)	4	6	24	2	141	1.7	12.62	4200	8
4		4	8	32	2	141	1.7	12.62	4200	8
5	S13 (122mm)	5	8	40	2	141	1.7	12.62	4000	8

### 4. REZULTATI SIMULACIJE

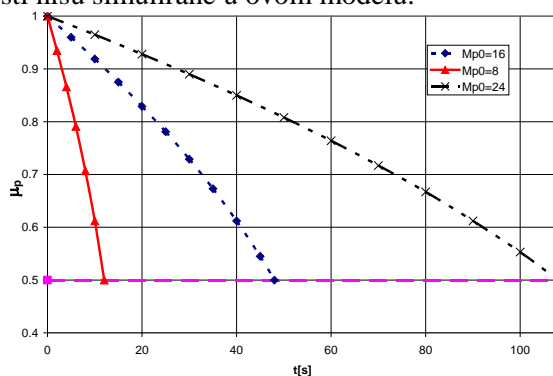
Dijagrami degradacija vatrene moći dejstvom na površinske ciljeve rafalnom vatrom iz vazduha dati su na slici 1. za različito početno naoružanje i početnu vatrene moć prema tabeli T-1.



**Slika 1:** Dijagram degradacije vatrene moći  $\mu_p$  za početni broj raketa na svim lanserima vazduhoplova od 8, 16, 24, 32, 40 računat prema parcijalnim rafalima u horizontalnom naletu

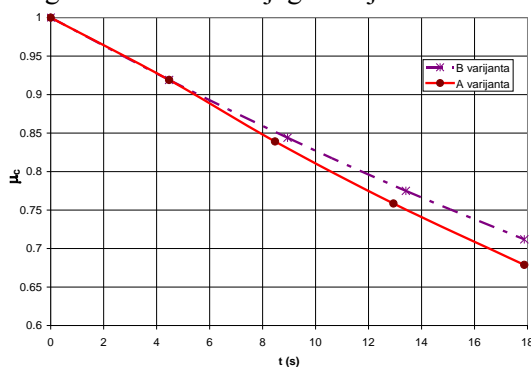
Na osnovu postavljenog modela jednačine 1 i njenog rešenja za rafalnu vatru, jednačine 3, kao i na osnovu navedenih početnih uslova i podataka u tabeli T1, izvedena je simulacija softverskim paketom Mathcad. Dijagram pokazuje značajno smanjenje gradijenta degradacije ukupne vatrene moći i time sporije smanjenje redukovane borbene moći za bolje naoružane vazduhoplove sa većim brojem raketa. Iako je simulacija vršena do nivoa ukupne degradacije do 0,5, odnosno 50%, vidi se da vazduhoplov sa 8 raketa najbrže degradira borbenu moć ukupnim smanjenjem vatrene moći sa samo dva normirana rafala po vremenu.

Na dijagramu datom na slici 2, prikazana je degradacija vatrene moći u kontinualnom delovanju jednim rafalom, a u skladu sa jednačinom 3 čime je pokazano vreme degradacije vatrene moći do željene vrednosti 50%. Razlika između degradacije vatrene moći u rafalnoj vatri kumulativnim smanjenjem posle svakog rafala i kontinualnim smanjenjem do iste vrednosti u jednom rafalu slika 1 i 2, merena po vremenu iznose približno: 1,5 puta za 8 raketa na vazduhoplovu, 2,2 puta za 16 raketa na vazduhoplovu i 3 puta za 24 rakete na vazduhoplovu. Ostale vrednosti nisu simulirane u ovom modelu.



**Slika 2:** Dijagram degradacije vatrene moći  $\mu_p$  pri uzastopnom naletu VBR raketama normiranim rafalom na isti cilj za  $M_{p0}=8,16,24$  rakete računat prema kontinualnom rafalu sa brojem manjim od raspoloživog

Na slici 3 data je simulacija uništenja cilja, kao funkcija promenljive vatrene moći vazduhoplova tokom rafala i zavisno od početnog broja raketa, za modele unistenja cilja, A i B. Uočava se razlika brzine i gradijenta uništenja ciljeva dakle efikasnost gađanja za vazduhoplove sa različitim početnim uslovima. Zanimljivo je uočiti da početni broj raketa utiče na relativno uništenje cilja samo brojem ponovljenih rafala a ne i brzinom uništenja. Dakle, činjenica koja je logična, potvrđuje se složenim modelom u kome različito naoružani vazduhoplovi menjaju gradijent degradacije svoje vatrene moći ali se efikasnost delovanja na cilj iskazuje samo normiranjem broja ispaljenih rafala. Vatrenu moć i njen uticaj na efikasnost unistenja cilja logičnije je tretirati modelom varijante A sa redukovanjem početne vatrene moći. Taj model pokazuje brže uništenje cilja od modela sa fiksnom vatrenom moći (varijanta B). To ukazuje na činjenicu da vazduhoplov kod koga se unapred razmatra površina uništenog cilja kao element njegove promenljive početne vatrene moći u svakom rafalu, uzima u obzir u toku rafala, ne samo redukciju sopstvene vatrene vrednosti kao borbene platforme. već i snagu svakog rafala iskazanu njegovim jediničnim delovanjem svake od raketa.



**Slika 3:** Dijagram uništenja cilja pri uzastopnom naletu vazduhoplovom dejstvom VBR raketama normiranim rafalom na isti cilj za  $M_{p0}=8,16,24$  rakete (varijanta A na redukovanu neuništenu površinu u svakom rafalu, varijanta B na ukupnu površinu u svakom rafalu)

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu je pokazana mogućnost primene spregnutih Lanchester-ovih i Dinner-ovih jednačina boja jedne naoružane platforme za dejstvo na površinske ciljeve. Demonstrirana je degradacija vatrene moći vazduhoplova u rafalnim dejstvima raketama sa normiranim brojem i normiranim vremenom. Ispitan je uticaj različitog raspoloživog kapaciteta naouruzanja višecevni vazduhoplovnih nevođenih raketa na gradijente i brzinu degradacije po predloženom modelu. Predložen je model degradacije vatrene moći vazduhoplova u rafalnim dejstvima i ocenjen mogući zbirni uticaj takvog dejstva, kao efekat redukcije borbene moći vazduhoplova. Usvojeni model je proporcionalno zavistan od brzine vatre vazduhoplova i obrnuto proporcionalan relativnoj vatrenoj moći svedenoj na, ekvivalentni početni broj preostalih raketa u svakom od rafala. Vatrene moć proverena je na relativnoj efikasnosti uništenja normiranog površinskog cilja prema dva modela i to za različite početne uslove na cilju i za promenljive, uvećane početne vatrene moći koje slede iz degradacije uništenja proizvedene u prethodnim rafalima. Ovakvo hipotetičko razmatranje ima ulogu ocene funkcije degradacije borbene moći vazduhoplovne platforme. Model je izveden upotrebom Lanchester-ove jednačine boja sa jednim učesnikom u sukobu čija se efikasnost iskazuje Dinner-ovim jednačinama dejstva na površinski cilj normiranom rafalnom vatrom.

## ZAHVALNOST

Ovaj rad je deo istraživanja na projektu III 47029 MNTRS u 2014 godini.

## LITERATURA

- [1] Valcourt, D. P., Lieutenant General, U.S. Army, Deputy Commanding General (2009). The army capstone concept, Tradoc pam. 525-3-0, Department of the Army Headquarters, United States Army Training and Doctrine Command Fort Monroe.
- [2] European Defence Agency (2008). European armaments co-operation strategy, Brussels.
- [3] Tyler Gabriel, J., Bartel, M., Grashawn, J., Dorrrough, B., Leo Paiz, Peters, B., Savage, M. & Nordgran, S. (December 2006), Joint fire support in 2020: Development of a Future Joint Fires Systems Architecture for Immediate, Unplanned Targets, Report, Wayne E. Meyer Institute of Systems Engineering, Naval Postgraduate School 777 Dyer Road, Monterey, CA 93943-5100, USA.
- [4] Przemieniecky, J.S. (2000). Mathematical methods in defense analyses, Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA.
- [5] Milinovic, M., Jeftic, Z., Forca, B., Miscevic, T. & Jeremic, O. (2013): Contribution of European initiatives for battle teams integrations based on initial technology capabilities, Technics Technoloies Education Management (TTEM-Journal), March 2013, ISSN: 1840-1503.
- [6] 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, ISBN 978-86-81123-50-8.
- [7] Nikolic, N., Milinovic, M., Jeremic, O. & Jankovic, R. (2012). Error reduction in simulation of transient behavior of queueing systems under critical traffic conditions, Transport & Logistics international journal, Vol.12, Issue 22, pp.1-8.
- [8] Priručnik RV i PVO 1980, Beograd SSNO.
- [9] Petrić, J. (1976). Operaciona istraživanja, knjiga druga. Savremena administracija, Beograd.
- [10] Vencelj, J. (1973). Introduction in to the Operational Research. VVŠ, Belgrade (in Serbian).
- [11] Bracken, J., Kress, M. & Rosenthal., R.E. (1995). Warfare modeling, MORS, USA.
- [12] Petrović, D., Milinović, M., Kovač, M. & Jeremić, O. (2013). Determinističko modeliranje kvaliteta vatrene moći vazduhoplova naoružanog vbr lanserima nevođenih raketa. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor.
- [13] Milinović, M., Kovač, M., Petrović, D. & Jeremić, O. (2013). Capabilities Modeling of Nlos-Missiles in Modular Unit of Coast Guard Batle Team, (BALCOR 2013), Beograd, Zlatibor.



## SNABDEVANJE MINOBACAČKIH JEDINICA MUNICIJOM

### SUPPLYING MORTAR UNITS WITH AMMUNITION

ACA RANĐELOVIĆ<sup>1</sup>, TUGOMIR KOKELJ<sup>2</sup>, OLGICA LAZAREVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, aca.r0860.ar.@gmail.com

<sup>2</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, tugomir.kokelj@sbb.rs

<sup>3</sup> Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd, olgica.lazarevic@va.mod.gov.rs

**Rezime:** *Snabdevanje minobacačkih jedinica municijom predstavlja realan problem vojno organizacionog sistema u planiranju i izvođenju borbenih dejstava, koji je moguće rešiti transportnim problemom. Primenom metode transportnog problema, pronađen je optimalan plan prevoza municije iz skladišta do rejona razmeštaja minobacačkih jedinica. Ovim planom obezbeđeni su minimalni troškovi transportna u odnosu na zadatu saobraćajnu mrežu i raspoloživa transportna sredstva.*

**Ključne reči:** *Operaciona istraživanja, Transportni problem, Minimizacija troškova*

**Abstract:** *In this paper is presented the model of ammunition supply for mortar units through the resolve of transportation problem, as a part of complex task of military organized system at combat conditions. The optimal schedule of ammunition transportation is developed, from storage to battlefied position of mortar units, by applying model of transportation problem. The applied solution provides the minimal costs of transportation that depends on defined traffic network and provided transportation vehicles.*

**Keywords:** *operational research, transportation problem, minimizing the costs*

#### 1. UVOD

Transportnim problemom određuju se optimalni troškovi pri poznatoj strukturi transporta (lokaciji, transportnoj mreži i zavisnosti troškova od količina koje se transportuju). To je specifičan slučaj zadataka linearnog programiranja. Ta specifičnost ogleda se u skupu ograničenja  $L$  gde se pojavljuju izvesna uprošćenja koeficijentata matrice  $A$  skupa ograničenja, koji se, za razliku od drugih slučajeva, izražavaju sa vrednostima nula ili jedan.

Analitičke metode transporta u najvećem broju slučajeva vezuju se za izbor najpovoljnije varijante transporta, koja obezbeđuje da troškovi transporta budu minimalni u odnosu na određenu saobraćajnu mrežu i transportna sredstva.

Rešavanje transportnih problema sastavljeno je od: pristupa problemu, formiranja matematičkog modela, izbora metode rešavanja i implementacije.

#### 2. PRISTUP PROBLEMU I FORMIRANJE MATEMATIČKOG MODELA TRANSPORTNOG PROBLEMA

Minobacačke jedinice namenjene su za vatrenu podršku jedinica pešadije, organizovane su u odeljenja i vodove i nalaze se u formacijskom sastavu četa i bataljona. Naoružane su minobacačima 120 mm i 82 mm. U borbenim dejstvima načelno formiraju četnu i bataljonsku vatrenu grupu koje predstavljaju jedan od elemenata borbenog rasporeda jedinice višeg ranga.

Za uspešno izvršavanje vatrene zadatka, pravovremeno snabdevanje minobacačkih jedinica municijom je od izuzetne važnosti i predstavlja jedan od prioriteta (Ratković 1981). Zbog toga od izuzetne važnosti je iznalaženje plana transporta čiji će troškovi, u odnosu na mrežu saobraćajnica i raspoloživa transportna sredstva biti minimalni.

Navedeni problem rešava se na osnovu polazne matrice (Tabela 1) a preko matematičkog modela (Tabela 2) čija je funkcija cilja minimizacija troškova transporta, odnosno određivanje najpre početnog a zatim i optimalnog rešenja (Petrić 1989).

**Tabela 1:** Polazna matrica za rešavanje problema snabdevanja municijom

	Vod-1	Vod -2	Vod -3	Vod -4	Kapacitet skladišta
Skladište broj 1	1560,00	1820,00	1860,00	1756,00	2500
Skladište broj 2	1660,00	1400,00	1990,00	1790,00	2500
Skladište broj 3	1450,00	1750,00	1870,00	1580,00	2500
Skladište broj 4	1300,00	1920,00	2010,00	1654,00	2100
Potrebe jedinice	6000	1200	1200	1200	

**Tabela 2:** Matematički model transportnog problema

Realan sistem	
Upravljačke odluke: <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ količina mina koja se transportuje od skladišta S-1, S-2, S-3 i S-4 do lokacija na kojoj se nalaze MB jedinice L-1, L-2, L-3 i L-4</li> </ul>	$x_{ij}, i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4$
Kriterijum upravljanja: <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ ukupni troškovi transporta</li> </ul>	
Cilj: <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ minimizacija</li> </ul>	$(\min)f(x) = 1560x_{11} + 1820x_{12} + 1860x_{13} + 1756x_{14} + 1660x_{21} + 1400x_{22} + 1990x_{23} + 1795x_{24} + 1450x_{31} + 1750x_{32} + 1870x_{33} + 1580x_{34} + 1300x_{41} + 1920x_{42} + 2010x_{43} + 1645x_{44}$
Matematički model	
Ograničavajući faktori: <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ raspoloživa količina municije u skladištu S-1</li> <li>☒ raspoloživa količina municije u skladištu S-2</li> <li>☒ raspoloživa količina municije u skladištu S-3</li> <li>☒ raspoloživa količina municije u skladištu S-4</li> <li>☒ potrebna količina municije na lokaciji L-1</li> <li>☒ potrebna količina municije na lokaciji L-2</li> <li>☒ potrebna količina municije na lokaciji L-3</li> <li>☒ potrebna količina municije na lokaciji L-4</li> <li>☒ prirodno ograničenje</li> </ul>	$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 2500$ $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 2500$ $x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 2500$ $x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 2100$ $x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 6000$ $x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 1200$ $x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 1200$ $x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 1200$ $x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4$

### 3. IZBOR METODE REŠAVANJA

Definisani problem predstavlja specijalni oblik problema linearnog programiranja – transportni problem, koji se rešava pronalaženjem polaznog dopustivog i optimalnog dopustivog rešenja problema, i to nakon utvrđivanja da li je transportni problem "zatvoren" ili "otvoren".

U definisanom slučaju utvrđeno je da je transportni problem zatvoren što se dokazuje izrazom:

$$\sum_{i=1-4} Si = 9600 = \sum_{j=1-4} Lj = 9600 \Rightarrow \quad (1)$$

Za pronalaženje polaznog dopustivog rešenja upotrebljena je Vogelova aproksimativna metoda, čiji je osnovni princip izračunavanje najvećih razlika između dva najmanja koeficijenta cena u svakom redu i svakoj koloni matrice cena (Tabela 3).

**Tabela 3:** Određivanje polazno dopustivog rešenja

Tražnja Ponuda	6000(3900,1400) L <sub>1</sub>	1200 L <sub>2</sub>	1200 L <sub>3</sub>	1200(100) L <sub>4</sub>	Razlika reda
2500	1560,00	1820,00	1860,00	1756,00	<del>1756-1560=196</del>
S <sub>1</sub>	<u>2500</u>				
2500(1300)	1660,00	1400,00	1990,00	1790,00	<del>1660-1400=260</del> <del>1795-1660=130</del> <del>1990-1795=195</del>
S <sub>2</sub>		<u>1200</u>	<u>1200</u>	<u>100</u>	
2500(1100)	1450,00	1750,00	1870,00	1580,00	<del>1580-1450=130</del> <del>1870-1580=290</del>
S <sub>3</sub>	<u>1400</u>			<u>1100</u>	
2100	1300,00	1920,00	2010,00	1654,00	<del>1645-1300=345</del>
S <sub>4</sub>	<u>2100</u>				
Razlika kolone	<del>1450-1300=150</del> <del>1560-1450=110</del> <u>1660-1450=210</u>	<del>1750-</del> <u>1400=350</u>	<del>1870-</del> <del>1860=10</del> 1990- 1870=120	<del>1645-</del> <del>1580=65</del> 1756- 1580=176	

Iz tabele proizilazi polazno dopustivo rešenje:  $x_b^0 = x_{11}^0, x_{22}^0, x_{23}^0, x_{24}^0, x_{31}^0, x_{34}^0, x_{41}^0$

Ukupni troškovi:

$$F_0 = 1.560,00 \cdot 2.500 + 1.400,00 \cdot 1.200 + 1.990,00 \cdot 1.200 + 1.790,00 \cdot 100 + 1.450,00 \cdot 1.400 + 1.580,00 \cdot 1.100 + 1.300,00 \cdot 2.100 = 3.900.000 + 1.680.000 + 2.388.000 + 179.000 + 2.030.000 + 1.738.000 + 2.730.000 = 14.645.000 \text{ dinara} \quad (2)$$

Nakon pronalaženja polaznog dopustivog rešenja transportnog problema proverava se da li je rešenje optimalno, što se realizuje u drugoj fazi transportnog problema. Za određivanje optimalnog rešenja konkretnog transportnog problema korišćena je metoda potencijala, čijom primenom se došlo do potrebnih parametara (Tabela 4), vrednosti jedinačnih promena troškova (Tabela 5) i boljeg susednog dopustivog rešenja (Tabela 6).

**Tabela 4:** Transportna simpleks tabela

Za baznu promenljivu $d_{ij} = 0$	Za nebaznu promenljivu $d_{ij} \neq 0, x_{ij} \neq 0$
$c_{ij}$ <u><math>x_{ij}</math></u>	$c_{ij}$ $d_{ij}$

**Tabela 5:** Vrednost jediničnih promena troškova

Tražnja Ponuda	6000 L <sub>1</sub>	1200 L <sub>2</sub>	1200 L <sub>3</sub>	1200 L <sub>4</sub>	Y <sub>i</sub>
2500 S <sub>1</sub>	1560,00 <u>2500</u>	1820,00 485	1860,00 <u>-25</u>	1756,00 66	1560
2500 S <sub>2</sub>	1660,00 <u>-5</u>	1400,00 <u>1200</u>	1990,00 <u>1200</u>	1790,00 <u>100</u>	1660
2500 S <sub>3</sub>	1450,00 <u>1400</u>	1750,00 525	1870,00 95	1580,00 <u>1100</u>	1450
2100 S <sub>4</sub>	1300,00 <u>2100</u>	1920,00 845	2010,00 385	1654,00 224	1300
v <sub>j</sub>	<b>0</b>	- 225	325	130	

**Tabela 6:** Bolje susedno dopustivo rešenje

Tražnja Ponuda	6000 L <sub>1</sub>	1200 L <sub>2</sub>	1200 L <sub>3</sub>	1200 L <sub>4</sub>	Y <sub>i</sub>
2500 S <sub>1</sub>	1560,00 <u>1300</u>	1820,00 0	1860,00 <u>1200</u>	1756,00 66	1560
2500 S <sub>2</sub>	1660,00 <u>1200</u>	1400,00 <u>1200</u>	1990,00 30	1790,00 <u>100</u>	1660
2500 S <sub>3</sub>	1450,00 <u>1400</u>	1750,00 40	1870,00 120	1580,00 <u>1100</u>	1450
2100 S <sub>4</sub>	1300,00 <u>2100</u>	1920,00 360	2010,00 410	1654,00 224	1300
v <sub>j</sub>	<b>0</b>	260	300	130	

Dobijeni rezultati pokazuju da je za sve nebazne promenljive  $d_{ij} > 0$ , što dovodi do zaključka da je dobijeno rešenje optimalno.

Primenom matrice:

$$x^* = \begin{bmatrix} 1300 & 0 & 1200 & 0 \\ 1200 & 1200 & 0 & 100 \\ 1400 & 0 & 0 & 1100 \\ 2100 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

dolazi se do optimalnog rešenja (vektor vrednosti baznih promenljivih):

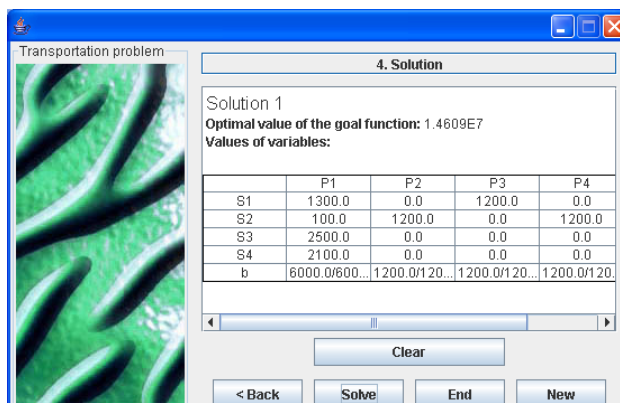
$$x^* = x_{11}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{24}, x_{31}, x_{34}, x_{41} = (1300, 1200, 1200, 1200, 100, 1400, 1100, 2100) \quad (4)$$

na osnovu kojeg se izračunavaju ukupni troškovi:

$$F_0 = 1.560,00 \cdot 1.300 + 1.860,00 \cdot 1.200 + 1660,00 \cdot 1200 + 1.400,00 \cdot 1.200 + 1.790,00 \cdot 100 + 1.450,00 \cdot 1.400 + 1.580,00 \cdot 1.100 + 1.300,00 \cdot 2.100 = 2.028.000 + 2.232.000 + 1.992.000 + 1.680.000 + 179.000 + 2.030.000 + 1.738.000 + 2.730.000 = 14.609.000 \text{ dinara} \quad (5)$$

Dobijeni rezultat ukazuje na smanjenje ukupnih troškova za 36.000,00 dinara.

Pored prikazanog načina, postavljeni model se može rešiti i upotrebom adekvatnog softvera. Za rešavanje konkretnog problema linearnog programiranja – transportnog problema u praktičnoj upotrebi je softver transportnog problema (Slika 1):



4. Solution

Solution 1  
Optimal value of the goal function: 1.4609E7  
Values of variables:

	P1	P2	P3	P4
S1	1300.0	0.0	1200.0	0.0
S2	100.0	1200.0	0.0	1200.0
S3	2500.0	0.0	0.0	0.0
S4	2100.0	0.0	0.0	0.0
b	6000.0/600...	1200.0/120...	1200.0/120...	1200.0/120...

Buttons: < Back, Solve, End, New

**Slika 1:** Rezultat obrade podataka u softveru transportnog problema

Uporednom analizom rezultata dobijenih ručnim izračunavanjem i automatskom obradom podataka upotrebom adekvatnog softvera, uočava se da je on identičan, sa bitnom razlikom koja se ogleda u vremenu. Naime, nakon formiranja matematičkog modela za ručno izračunavanje je potrebno 20 – 30 minuta, a softver iste podatke obradi za 2-3 minuta računajući i potrebno vreme za unos podataka. Opremanjem komandi potrebnom računarskom opremom i adekvatnim softverima, vreme za donošenje odluke bi se skratilo i do deset puta.

Rešavanjem prikazanog transportnog problema došlo se do zaključka o popuni minobacačkih jedinica na sledeći način:

- Vod – 1 popuniti municijom iz skladišta broj 1 sa 1300 mina, skladišta broj 2 sa 1200 mina, skladišta broj 3 sa 1400 mina i iz skladišta broj 4 sa 2100 mina,
- Vod – 2 popuniti sa 1200 mina iz skladišta broj 2,
- Vod – 3 popuniti sa 1200 mina iz skladišta broj 1 i
- Vod – 4 popuniti sa 100 mina iz skladišta broj 2 i sa 1100 mina iz skladišta broj 3.

Nakon zaključka vrši se provera podataka:

- ako se iz skladišta broj 1 popuni vod-1 sa 1300 mina i vod-3 sa 1200 mina kapaciteti skladišta broj 1 biće utrošeni, a vod-2 popunjen u potpunosti,
- ako se iz skladišta broj 2 popuni vod-1 sa 1200, vod-2 sa 1200 i vod-4 sa 100 mina kapaciteti skladišta broj 2 biće utrošeni, a vod-2 popunjen u potpunosti,
- ako se iz skladišta broj 3 popuni vod-1 sa 1400 mina i vod-4 sa 1100 mina kapaciteti skladišta broj 3 biće utrošeni, a vod-4 popunjen u potpunosti
- ako se iz skladišta broj 4 popuni vod-1 sa 2100 mina kapaciteti skladišta broj 4 biće utrošeni, a vod-1 popunjena u potpunosti i
- proračunati troškovi transporta iznosiće 14.609.000 dinara što je za 30.000 dinara manje nego u polaznom dopustivom rešenju.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je istaknut značaj transportnog problema u iznalaženju optimalnih rešenja prilikom snabdevanja borbenih jedinica municijom u rejonu razmeštaja. Primenom transportnog problema na modelu snabdevanja municijom minobacačkih jedinica prikazan je postupak kojim se došlo do optimalnog plana prevoza municije uz minimalne troškove prevoza. Navedeni postupak moguće je primeniti i na modelima snabdevanja drugih jedinica sistema odbrane, a dobijene rezultate upotrebiti u funkciji sagledavanja realnih problema u obezbeđivanju jedinica municijom i kvalitetnijeg donošenja odluke u borbenim dejstvima. Ovakvim pristupom datog problema dobijena rešenja bi bila objektivnija, realnija i matematički proverena.

**LITERATURA:**

- [1] Petrić, J. (1989). Operaciona istraživanja. (IX izdanje). Beograd: Naučna knjiga.
- [2] Ratković, B. (1981). Vojni leksikon. Beograd: Vojnoizdavački zavod.



## PRIMENA BENČMARKING ANALIZE U EKONOMIJI ISHRANE VOJSKE SRBIJE

### THE BENCHMARKS ANALYSIS IN SERBIAN ARMY NUTRITION ECONOMY

BRANKO TEŠANOVIĆ,<sup>1</sup> SAŠA JOVIĆ<sup>2</sup>, SLAVISA ARSIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vojna akademija/Univerzitet odbrane, Beograd, brate@verat.net

<sup>2</sup> Vojna ustanova „Morović“, Beograd, sudimnja@gmail.com

<sup>3</sup> Vojna akademija/Univerzitet odbrane, Beograd, arsic.slavisa@gmail.com

**Rezime:** U cilju poboljšanja ekonomije ishrane u Vojsci Srbije (u daljem tekstu VS) primenjen je metod benčmarking analize šest mikroekonomskih proizvodnih subjekata. Upoređivanjem strukture cene koštanja (u daljem tekstu CK) dnevnog obroka (u daljem tekstu d/o) hrane ukazaće se na neophodne kvalitativne promene, koje je potrebno preduzeti, radi opstanka vojničkih restorana (u daljem tekstu VR) u sistemu odbrane.

**Ključne reči:** ekonomija ishrane, benčmarking analiza, cena koštanja, dnevni obrok hrane.

**Abstract:** In order to improve the economy of nutrition in the Army of Serbia (hereinafter referred to as AS) method was applied benchmarking microeconomic analysis of six manufacturing companies. By comparing the cost (hereafter C) daily ration (hereinafter referred to as d/r) feed will point out the necessary qualitative changes that need to be taken, for the soldiers' survival restaurants (hereafter SR) in the defense.

**Keywords:** Economy diet, benchmarking analysis, cost, daily food ration.

#### 1. UVOD

Kako bi se utvrdila efikasnost i ekonomičnost proizvodnje i distribucije hrane u organizaciji VS, primenjen je metod benčmarking analize mikroekonomskih proizvodnih subjekata. Primenom ovog metoda, mogu se poboljšati kvaliteti ekonomije preduzeća (Figar 2003).<sup>1</sup> Primenom kvantitativnih (finansijskih) pokazatelja može se izvršiti upoređenje sopstvene firme sa tržišnim liderom u posmatranoj delatnosti pružanja catering usluga, kroz utvrđivanje razloga postojanja razlika u performansama.

Primenom metode upoređivanja, kroz vremensko i prostorno upoređivanje, obezbediće se kvantitativno jednako merenje, a posebno kod VR, Studentskog centra (u daljem tekstu) SC Niš i d.o.o Sellco Nomine - Vršac. Posmatranjem predmeta analize u istom vremenskom periodu (broj pripremljenih d/o hrane na godišnjem nivou), a u različitim prostorima (objekti pripremanja hrane), sagledaće se elementi analize koji imaju iste karakteristike (elementi CK d/o hrane), koji su kvalitativno izraženi istim jedinicama mere, koje imaju istu vrednost.

Korišćenjem kvantitativne statičke ekonomske analize u istraživanju sagledaće se i ukazati na neophodne kvalitativne promene, koje je potrebno preduzeti, radi uključivanja VR u domaće tržište proizvodnje hrane ili pak ukazati na potrebu prelaska na catering usluge (Tešanović and Jović 2012).

Dobijeni rezultati istraživanja mogu poslužiti menadžmentu InSI kao nezamenljivo oruđe u procesu poslovne ekonomije i donošenja odluka za preduzimanje mera u daljem razvoju VR radi njihovog opstanka u sistemu odbrane. Upoređivanjem navedenih rezultata može se doći do podataka koji ukazuju na nedostatke u sopstvenom poslovanju i organizaciji rada, čime se može uticati na povećanje ekonomičnosti i efikasnosti u budućem poslovanju. Upravljanjem objektivnim i subjektivnim faktorima utiče se na kvalitete ekonomije preduzeća.

<sup>1</sup> Faktori ekonomije preduzeća su svi činiooci koji utiču na proces reprodukcije u preduzeću. Objektivne faktore čine: društveni (tržište i mere ekonomske politike), tehnički (tehnološki proces, sredstva za rad) i prirodni (klima, sastav zemljišta). Subjektivne faktore čine mere organizacione prirode koje se preduzimaju u cilju povećanja kvaliteta ekonomije. Kvalitet ekonomije preduzeća predstavljen je odnosom između inputa i outputa.

## 2. FINANSIJSKA STRUKTURA DNEVNOG OBROKA HRANE

Privredni subjekti koji su posmatrani su: VR, Vojna ustanova (u daljem tekstu VU) „Dedinje“, d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad, d.o.o. „Naša kuća“ – Iriški venac, SC Niš i d.o.o. Sellco Nomine - Vršac.

Sagledavanjem svih relevantnih elemenata na osnovu kojih je izrađena kalkulacija prikazana je CK pružanja usluge proizvodnje i distribucije hrane kod šest analiziranih subjekata privrede (Figar 2003).<sup>2</sup> Cene koštanja d/o hrane kod analiziranih privrednih subjekata prikazani su u *Tabeli 1*, a alokacija troškova je izvršena prema mestima nastanka (Tešanović 2012).

**Tabela 1:** Kalkulacija CK d/o hrane

Elementi CK		Vojska	VU „Dedinje”	d.o.o. „Održavanje i usluge”	d.o.o. „Naša kuća”	SC Niš	d.o.o. Sellco Nomine
Prehrambeni proizvodi po Planu utroška u VS	Евро	3,99	3,20	4,52	4,85	2,25	2,96
	%	42,84	78,52	60,00	61,80	60,60	51,26
Voda	Евро	0,03	0,02	0,03	0,08	0,19	0,03
	%	0,28	0,08	0,48	1,06	5,3	0,51
Električna energija	Евро	0,66	0,53	0,06	0,75	0,25	0,26
	%	7,10	4,4	0,82	9,62	6,8	4,54
Grejanje	Евро	0,36	0,29	0,07	0,19	0,13	0,03
	%	3,88	3,13	1,01	2,51	3,65	0,46
Amortizacija i održavanje objekata i opreme	Евро	0,66	0,53	0,40	0,37	0,34	0,07
	%	7,08	0,25	5,19	4,82	9,25	1,26
Ostali zavisni troškovi	Евро	1,18	1,95	-	-	0,24	0,17
	%	12,70	2,31	-	-	6,45	2,95
Troškovi radne snage	Евро	2,43	0,95	1,05	0,35	0,11	1,98
	%	26,12	11,31	13,92	4,51	3,15	34,26
Troškovi dopremanja (gorivo i ostali troškovi)	Евро	-	-	0,80	0,55	-	-
	%	-	-	10,72	7,10	-	-
Profit	Евро	-	-	0,6	0,67	0,17	0,27
	%	-	-	7,86	8,58	4,80	4,76
UKUPNO	Евро	9,32	7,48	7,54	7,84	3,72	5,77
	%	100	100	100	100	100	100

Otežavajuće okolnosti, prilikom sprovođenja istraživanja predstavljali su sledeći faktori: nepostojanje mernih instrumenata za očitavanje utroška energetske i komunalnih usluga kod dva subjekta analize (VR i VU); nepostojanje profitne orijentisanosti kod jednog subjekta analize (VR); delimično ili potpuno oslanjanje na budžetski sistem poslovanja i nepostojanje troškova distribucije hrane kod tri subjekta analize (VR, VU i SC Niš); nepostojanje svih elemenata CK d/o hrane kod analiziranih subjekata. Međutim, i pored navedenih problema, dobijeni podaci mogu poslužiti kao relevantni pokazatelji za dobijanje validne slike poslovanja ovih privrednih subjekata.

## 3. BENCĀMARKING ANALIZA SUBJEKATA PROIZVODNJE I DISTRIBUCIJE HRANE

Primena eksternog benčmarking metoda (Đuričić et al. 2010)<sup>3</sup> doprinosi povećanju konkurentne sposobnosti preduzeća kroz: unapređenje kvaliteta proizvoda i usluga, unapređenje poslovnih procesa, snižavanje troškova poslovanja, povećanje zadovoljstva kupaca, otvaranje novih poslovnih mogućnosti, usmeravanje na

<sup>2</sup> Kalkulacija predstavlja postupak utvrđivanja CK i prodajne cene. Strukturu CK čine: troškovi materijala za izradu, troškovi tuđih usluga (usluge korišćenja energenata), troškovi rada izrade (radne snage), amortizacija, opšti troškovi upravno-prometne režije (ostali zavisni troškovi). Za obračun CK d/o hrane primenjen je metod kalkulacije pune CK, kojim su obuhvaćeni svi gore navedeni troškovi.

Nadica Figar (2003): Troškovi preduzeća, str. 259. – 261.

<sup>3</sup> Proces benčmarkinga čini: definisanje problema i prikupljanje podataka, analizu prikupljenih podataka, odluka o najboljem rešenju, primena rešenja. Benčmarking predstavlja jednu od mogućih tehnika upravljanja troškovima preduzeća. Eksterni konkurentski benčmarking obuhvata upoređivanje organizacije sa njenim direktnim i najjačim konkurentima ili organizacijama na drugim tržištima koje se bave istom delatnošću.



postizanje maksimuma u poslovanju, postizanje konkurentne prednosti, povećanje kreativnosti unutar organizacije, povećanje profita.

Kod ispitanika posmatrano po elementima koji ulaze u kalkulaciju cena procenat troškova se kretao po sledećem:

1. Troškovi prehrambenih proizvoda (u daljem tekstu PP) - kreće se u rasponu od 42,84 % do 78,5 %.

Pri tome najniži iznos troškova imao je VR, a najviši – VU „Dedinje“. VU „Dedinje“ nabavke PP realizuje bez primene Zakona o javnim nabavkama (u daljem tekstu ZJN) (SG RS 2012) te su cene po kojima isti realizuje nabavke primarnih PP znatno više u odnosu na ostale konkurente. Iznos troškova PP koji je prikazao d.o.o. Sellco Nomine, a koji iznosi oko 51,26 % ukupne cene usluge pripremanja hrane, može smatrati najpribližniji realnim tržišnim uslovima, obzirom da ovaj privredni subjekat realizuju snabdevanje PP primenom ZJN. Time se kod ovog subjekata privrede ostvaruju pozitivni efekti ekonomije obima, jer je reč o velikim nabavkama koje omogućuju postizanje povoljnijih nabavnih cena.

2. Utrošak energenata – vode, električne energije i grejanja - kreće se u rasponu od 2,3 % do 15,75 %.

Najniži iznos troškova energenata u kalkulaciji cene d/o hrane prikazao je privredni subjekt d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad, a najviši iznos – SC Niš. Osnovni razlog niskog udela utroška energenata u ukupnoj kalkulaciji CK d/o hrane je u korišćenju tečnog naftnog gasa kao osnovnog izvora energije, ali i u malom broju obroka koji se dnevno priprema.

Obzirom da d.o.o. Sellco Nomine i SC Niš poseduju merne instrumente za učitavanje utroška energenata, može se sa sigurnošću reći da je procentualni udeo njihovog utroška najpribližniji objektivnoj kalkulaciji CK d/o hrane. Pri tom ne sme se izgubiti iz vida da je razlika procentualnog udela utroška i troškova energenata prouzrokovana cenom energenata koja se razlikuju od jednog do drugog naseljenog mesta, kao i vrstom energenata koji se koriste u pružanju usluge.

Posmatrano po vrstama energenata utrošak vode kreće se u rasponu od 0,08 % do 5,3 %. Pri tom VU „Dedinje“ je prikazalo najniži, a SC Niš najviši utrošak vode. Osnovni razlog prikazanog raspona kod ova dva subjekata privrede, je u nepostojanju mernih instrumenata za precizno očitavanje njihovog utroška kod prvog i postojanje mernog instrumenta kod drugog subjekta. Niskom procentu utroška vode kod d.o.o. Sellco Nomine doprinosi upotreba savremene tehnike i tehnologije proizvodnje hrane.

Utrošak električne energije kod šest analiziranih privrednih subjekata kretao se u rasponu od 0,8 % do 7,1 % ukupne CK d/o hrane. SC Niš i VR prikazali su utrošak od 6,8 % odnosno 7,1 %, pa se ovi podaci mogu smatrati najobjektivnijim, obzirom na broj d/o hrane koji pripremaju. Utrošak električne energije kod VU „Dedinje“ rezultat je paušalnog određivanja na osnovu sklopljenih ugovora sa nosiocima logistike. Na utrošak električne energije u velikoj meri utiče i upotreba savremene tehnike i tehnologije u proizvodnji hrane, usled energetske efikasnosti iste, koja značajno utiče na smanjenje potrošnje električne energije.

Procentualni udeo učešća grejanja u CK d/o hrane kreće se od 0,46 % kod d.o.o. Sellco Nomine do gotovo 3,8 % kod VR. Navedeni raspon rezultat je grejne površine objekata u kojima se relizuje priprema hrane, cene grejanja po jedinici merne površine po posmatranim naseljenim mestima i nastojanja osvajanja što većeg tržišnog udela.

3. Amortizacija objekat i opreme kreće se u rasponu od 0,2 % kod VU „Dedinje“ do 9,2 % kod SC Niš.

Visok procenat amortizacije kod SC Niš uslovljen je nabavkom proizvodne tehnike novijeg datuma, sa kraćim vekom upotrebe i većim procentom godišnjeg otpisa sredstava radi bržeg završavanja i praćenja savremenih tehnologija u oblasti proizvodnje i distribucije hrane. Suprotno tome kod VU „Dedinje“ je period završavanja tehnike znatno duži, a ista je starijeg godišta proizvodnje, sa višim procentom utroška električne energije i češćim kvarovima. Amortizacija objekata i opreme kod ostalih analiziranih subjekata kreće se u rasponu od 3 % do 5 % ukupne CK d/o hrane.

4. Troškove distribucije hrane prikazala su dva analizirana subjekta i to d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad i d.o.o. „Naša kuća“ – Iriški venac.

Dva navedena subjekta analize, koji se bave tržišnim poslovanjem, prijavili su se za realizaciju catering usluge na teritoriji opštine Novi Sad za 48 pripadnika Vojske lociranih na sedam izdvojenih objekata. Kod prvog pomenutog subjekta ovi troškovi činili su 10 % ukupne CK d/o hrane, a kod drugog 7 %. Preostala četiri subjekta analize nisu prikazali troškove distribucije hrane kako sastavni deo CK d/o hrane. Zavisno od konkretnog slučaja i udaljenosti od mesta pripreme do mesta krajnje podele kao i broja lokacija na kojima je potrebno doturiti hranu ovi troškovi mogu činiti prema proceni autora rada od 5 % do 10 % ukupne CK d/o hrane.

5. Troškovi radne snage – kreću se u rasponu od 3,1 % kod SC Niš do gotovo 34,26 % kod d.o.o. Sellco Nomine.

Niskom procentu učešća troškova radne snage u CK d/o hrane u SC Niš u velikoj meri doprinosi subvencionisanje proizvodnje hrane u iznosu od čak 76 %. Približno isto učešće ovih troškova (4,1 %) u

strukturi CK d/o hrane ostvaruje i d.o.o. „Naša kuća“ – Iriški venac, dok kod VU „Dedinje“ i d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad ono čini oko 11 % pomenute kalkulacije. Navedene troškove radne snage VR ostvaruje usled prevelikog broja zaposlenih koji premašuje stvarne potrebe.

6. Ostali zavisni troškovi kreću se u rasponu od 2,31 % kod VU „Dedinje“ do 12,70 % kod VR.

Ovim troškovima obuhvaćen je utrošak potrošnog materijala (papirni ubrusi, hemijska sredstva za čišćenje i održavanje higijene, usluge iznošenja smeća i sl.). Dva privredna subjekta nisu prikazali ove troškove kao posebnu stavku u kalkulaciji cene d/o hrane, a obzirom da se radi o malim preduzećima koji imaju nizak procenat tržišnog učešća, isti ne utiču na objektivnost prikazanih troškova.

7. Profit predstavlja poslednju stavku u kalkulaciji CK d/o hrane. Njegov iznos kreće se od 4,76 % kod d.o.o. Sellco Nomine do 8,6 % kod d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad.

U okviru svoje kalkulacije CK d/o hrane VR i VU „Dedinje“ nisu prikazali ovaj elemenat. Iznos koji je prikazao SC Niš može se prepisati ostvarenju ekonomije obima usled iskorišćenosti kapaciteta te se na bazi nižeg iznosa uračunatog profita, a većeg broja obroka želi ostvariti veće tržišno učešće, kao i značajnom udelu budžetskih subvencija. Bez učešća budžetskih subvencija, d.o.o. Sellco Nomine prikazao je realnu strukturu CK d/o hrane. S druge strane mali privredni subjekti kao što su preostala dva subjekta u svojoj kalkulaciji obračunavaju veće učešće profita jer su tržišno nekonkurentni, a s obzirom na mali broj obroka hrane koji pripremaju za potrebe distribucije na većem broju lokacija i nezainteresovanost drugih tržišnih konkurenata mogu uračunati veći iznos profita bez bojazni da će izgubiti posao pružanja catering usluga.

Na osnovu iznetih podataka, kao i sagledavanjem broja d/o hrane koji se pripremaju, može se ustanoviti da su d.o.o. Sellco Nomine (bez budžetskih subvencija) i SC Niš (sa značajnim udelom budžetskih podsticaja) dali najrealnije kalkulacije CK proizvodnje hrane, uz prikazivanje gotovo svih elemenata kalkulacije, potrebnih za izradu pune CK, izuzev troškova distribucije hrane, koji bi mogli uvećati prikazanu strukturu troškova za 5 % do 10 %. Imajući u vidu razliku u veličini obima proizvodnje analiziranih privrednih subjekata, možemo reći da se kompetentnost upoređivanja može sagledati kod d.o.o. Sellco Nomine, SC Niš i VR (korisnik budžetskih sredstava).

Evidentno je da d.o.o. Sellco Nomine i SC Niš predstavljaju tržišne lidere u oblasti pružanja usluge proizvodnje i distribucije hrane, te nam ista mogu poslužiti za upoređivanje sopstvene organizacije sa istim radi iznalaženja najbolje poslovne prakse čime će se osigurati dugoročna konkurentna prednost. Upoređivanjem sa tržišnim liderima kakvi su d.o.o. Sellco Nomine i SC Niš u oblasti catering usluga potrebno je povećati efikasnost poslovanja uz uspostavljanje efikasnije organizacione strukture.

Iskorišćenost kapaciteta VR, kreće se u iznosu od od 3,3 % u garnizonu Šabac do 62,5 % na aerodromu Batajnica u garnizonu Beograd, što daje mogućnost sniženja troškova u budućem periodu ukoliko bi se povećao broj obroka hrane koji se priprema (Tešanović and Jović 2012). Ukoliko uporedimo isti pokazatelj sa podacima SC Niš, možemo videti, da je on zastupljen sa oko 50 %. Obzirom da se u VR Vojske priprema oko 3.000 d/o hrane i da isti nemaju profitnu orijentaciju, ne možemo govoriti o ostvarenim prihodima. Iznos prosečno ostvarenih rashoda prema prikazanoj kalkulaciji iznosi 7,49 € po obroku odnosno dnevno 29.904,25 € Isti pokazatelji za SC Niš iznose 3,72 € po obroku odnosno dnevno 11.135,52 € - prihod, odnosno 3,54 € po obroku odnosno dnevno 10.596,70 € - rashod, što po d/o stvara profit od 0,18 € odnosno na dnevnom nivou ukupno od 538,81 € Pokazatelji za d.o.o. Sellco Nomine iznose 5,77 € po obroku odnosno dnevno 17.338,57 € - prihod, odnosno 5,50 € po obroku odnosno dnevno 16.513,60 € - rashod, što po d/o stvara profit od 0,27 € odnosno na dnevnom nivou ukupno od 824,96 €

**Tabela 2:** Uporedni podaci strukture troškova VR sa SC Niš i d.o.o. Sellco Nomine

Elementi CK		SC Niš	d.o.o. Sellco Nomine
PP po Planu utroška	Po obroku	- 0,95 €	+ 0,24 €
	Na dnevnom nivou	- 2.852,22 €	+ 743,33 €
Energenti (Voda, Električna energija i Grejanje)	Po obroku	- 0,25 €	- 0,52 €
	Na dnevnom nivou	- 767,31 €	- 1.574,22 €
Amortizacija i održavanje objekata i opreme	Po obroku	- 0,18 €	- 0,47 €
	Na dnevnom nivou	- 556,60 €	- 1.372,70 €
Ostali zavisni troškovi	Po obroku	- 0,71 €	- 0,78 €
	Na dnevnom nivou	- 2.136,94 €	- 2.345,03 €
Troškovi radne snage	Po obroku	- 1,84 €	+ 0,02 €
	Na dnevnom nivou	- 5.520,70 €	+ 67,08 €

\* Oznaka (+) odnosi se na viši, a oznaka (-) na niži trošak u odnosu na VR

Ukoliko uporedimo pojedinačno elemente koji čine sastavni deo strukture troškova ishrane između ova tri konkurenta – predstavnika korisnika, delimičnog korisnika i nekorisnika budžetskih sredstava, može se na osnovu podataka prikazanih u *Tabeli 2* ustanoviti da VR na dnevnom nivou ima za 11.833,73 € viši trošak u odnosu na SC Niš odnosno za 5.318,10 € viši trošak u odnosu na d.o.o. Sellco Nomine.

Prikazana finansijska merila, koja pripadaju kategoriji tradicionalnih merila preduzeća, bazirana su na računovodstvenim informacijama. Analizom navedenih izdataka može se uočiti mogućnost smanjenja troškova u VR, ukoliko se preduzmu odgovarajuće promene organizacione strukture, veće upošljavanje instaliranih tehničkih kapaciteta, brže znavljanje tehnike za proizvodnju hrane kroz obračunavanje višeg stepena amortizacije, sertifikovanje VR u skladu sa zahtevima Zakona o bezbednosti hrane, instaliranje alternativnih izvora energije (električna energija, TNG, foto ćelije i sl.).

Infrastruktura kojom raspolažu VR predstavljena je velikim objektima čije površine prevazilaze potrebe u dnevnom broju obroka hrane koji se pripremaju. Tehnika u objektima je zastarela, ista se često kvari, pa njeno održavanje dodatno uvećava troškovnu komponentu proizvodnje hrane.

Formiranjem dobrog radnog kolektiva, kroz povećanje broja radnika koji su zaposleni na određeno vreme, a smanjenje broja stalno zaposlenih radnika, kao i zapošljavanjem lica sa skraćenim radnim vremenom, stvaraju se dodatne mogućnosti za snižavanjem troškova radne snage u VR. Stručnim usavršavanjem zaposlenih u formi dodatnog osposobljavanja za poslove kuvara, mesara i sl. nivo veština i znanja stručnog osoblja VR se podiže na viši nivo, pa se sa istim brojem zaposlenih može proizvesti i podeliti veći broj d/o hrane.

Ukoliko apriori možemo smatrati da je usluga proizvodnje i distribucije hrane za pripadnike VS osnovna delatnost postojanja VR, potrebno je radi povećanja kvaliteta ekonomije istih, dodatno uposliti postojeće a neiskorišćene kapacitete, te obezbediti pružanje ove usluge i zainteresovanim tržišnim subjektima u formi sporedne delatnosti. Izradom ekonomske računice potrebno je u budućem radu VR utvrditi u postojećem lancu vrednosti koje aktivnosti zadržati u sklopu primarnih, a koje realizovati primenom outsourcing – a. Proširenjem broja delatnosti postiže se optimalni portfolio poslova, što je ekonomski najopravdanije, jer poslovi u tom slučaju nisu ni preterano diversifikovani niti suviše fokusirani.

Jedna od mogućnosti, koje mogu dovesti do sniženja ukupnih troškova VR, jeste ustupanje usluge proizvodnje i distribucije hrane za potrebe pripadnika VS odgovornim pravnim subjektima poput d.o.o. Sellco Nomine, koji poseduju zahtevane međunarodne i domaće standarde bezbednosti hrane, iznajmljivanjem proizvodnih objekata koji su opremljeni potrebnim sredstvima za rad, uz kompenzaciju, u vidu pripreme određenog broja d/o hrane i fakturisanje troškova energenata. Time bi se smanjio iznos potrebnih ulaganja za uvođenje HACCP, snizili troškovi energenata i povećala bezbednost ishrane pripadnika Vojske.

Potrebno je iskoristiti komparativne prednosti kojima VR raspolažu: veliki kapacitet sredstava za rad, veliki obim proizvodnje, kompetentnost zaposlenog osoblja, atraktivne lokacije (veliki broj VR nalazi se u centru grada), niži troškovi i izdaci usled realizacije nabavki u većim partijama i sl. Sve ove navedene vrste ekonomije obima dovode do snižavanja troškova nabavke, proizvodnje i prodaje.

S druge strane možemo zaključiti da male firme, poput gore navedenih, preuzimaju poslove kateringa hrane u onim delovima tržišta gde nisu zainteresovane za učešće veliki privredni subjekti, usled razuđenosti lokacija na kojima se distribuira hrana kao i malog broja potencijalnih korisnika usluga. Primena ekonomskih kriterijuma u odlučivanju menadžmenta opšte logistike je u sve većoj meri prisutna, o čemu svedoči i prepuštanje poslova proizvodnje i distribucije hrane, civilnim ugostiteljskim preduzetnicima, uz zadržavanje obaveze sanitarnog nadzora i redovne kontrole tehnološkog procesa pripremanja, prevoza i podele hrane.

## 5. ZAKLJUČAK

U cilju poboljšanja ekonomije ishrane u VS primenjen je metod benčmarking analize šest mikroekonomskih proizvodnih subjekata - VR, VU „Dedinje“, d.o.o. „Održavanje i usluge“, d.o.o. „Naša kuća“, SC Niš i d.o.o. Sellco Nomine. Primenom finansijskih pokazatelja izvršeno je upoređenje CK d/o hrane VR sa tržišnim liderima u delatnosti pružanja katering usluga.

Kod ispitanika posmatrano po elementima koji ulaze u kalkulaciju cena učešće troškova se kretalo po sledećem: troškovi PP - u rasponu od 42,84 % do 78,5 %; utrošak energenata – vode, električne energije i grejanja - u rasponu od 2,3 % do 15,75 %; amortizacija objekat i opreme u rasponu od 0,2 % kod VU „Dedinje“ do 9,2 % kod SC Niš; troškovi distribucije hrane u rasponu od 7,1 % do 10,72 %; troškovi radne snage – u rasponu od 3,1 % kod SC Niš do 34,26 % kod d.o.o. Sellco Nomine; ostali zavisni troškovi u rasponu od 2,31 % kod VU „Dedinje“ do 12,70 % kod VR; profit u rasponu od 4,76 % kod d.o.o. Sellco Nomine do 8,6 % kod d.o.o. „Održavanje i usluge“ – Novi Sad.

D.o.o. Sellco Nomine i SC Niš su tržišni lideri u oblasti pružanja usluge kateringa hrane sa kojima je izvršeno upoređivanje. VR na dnevnom nivou ima za 11.833,73 € viši trošak u odnosu na SC Niš odnosno za 5.318,10 € viši trošak u odnosu na d.o.o. Sellco Nomine. Pojedinačnim upoređivanjem elemenata koji čine strukturu troškova ishrane dolazimo do sledećih pokazatelja na dnevnom nivou u odnosu na VR: utrošak novčanih sredstava za potrebe nabavke PP je u SC Niš niži za 2.852,22 €, odnosno u d.o.o. Sellco Nomine je viši za 743,33 €; utrošak novčanih sredstava za potrebe isplate utrošenih energenata je u SC Niš niži za 767,31 € odnosno u d.o.o. Sellco Nomine je niži za 1.574,22 €; iznos novčanih sredstava koji se otpisuje na ima amortizacije objekata i opreme je u SC Niš niži za 556,60 € odnosno u d.o.o. Sellco Nomine je niži za 1.372,70 €; utrošak novčanih sredstava namenjenih za isplatu ostalih zavisnih troškova je u SC Niš niži za 2.136,94 €, odnosno u d.o.o. Sellco Nomine je niži za 2.345,03 €; utrošak novčanih sredstava namenjenih za isplatu troškova radne snage je u SC Niš niži za 5.520,70 €, odnosno u d.o.o. Sellco Nomine je viši za 67,08 €

Analizom izdataka uočavaju se mogućnosti smanjenja troškova u VR: veće upošljavanje instaliranih tehničkih kapaciteta, brže završavanje tehnike za proizvodnju hrane, sertifikovanje VR u skladu sa zahtevima Zakona o bezbednosti hrane, instaliranje alternativnih izvora energije, neophodnost dodatnog upošljavanja kapaciteta, upotreba komparativnih prednosti kojima VR raspolažu (veliki kapacitet sredstava za rad, veliki obim proizvodnje, kompetentnost zaposlenog osoblja, atraktivne lokacije).

Ustupanje usluge proizvodnje i distribucije hrane za potrebe pripadnika VS odgovornim privrednim subjektima koji se bave kateringom, uz iznajmljivanje postojećih VR – a u formi rentiranja, doprinelo bi smanjivanju ulaganja za uvođenje HACCP u objektima ishrane u VS, sniženju troškovi ishrane i povećanju bezbednost hrane pripadnika VS.

## LITERATURA

- [1] Figar Nadica (2003): Troškovi preduzeća, SVEN, Niš, 259–261.
- [2] Đuričić, Z., Jovanović, K. & Đuričić, R. (2010): Benčmarking kao instrument savremenog menadžmenta, 137–142.
- [3] Tešanović, B. & Jović, S. (2012): Benchmarking analysis of food catering subjects, časopis Economics&Law, Alfa University FORKUP, Vol. 2, No. 5 2012 ISSN 2217-5504, Novi Sad, 128–135.
- [4] Tešanović, B. (2012): Mikroekonomija, Medija centar „Odbrana“, Beograd, 12-13.
- [5] Zakon o javnim nabavkama, SG RS 124/2012.



## **ODREĐIVANJE MAKSIMALNOG TAKTIČKOG RADIJUSA NAORUŽANOG TURBO-ELISNOG AVIONA, PROGRAM "KOBACPERF"**

### **ESTIMATION OF MAXIMUM RANGE FOR ARMED LIGHT TURBOPROP AIRPLANE, COMPUTER PROGRAM "KOBACPERF"**

KOSTA VELIMIROVIĆ<sup>1</sup>, NEMANJA VELIMIROVIĆ<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Vojno-tehnički institut, Beograd, kolevelimirovic@yahoo.com

<sup>2</sup> YUGOIMPORT-SDPR, Beograd, velimirovicnemanja@yahoo.com

**Rezime:** U radu je prikazan jedan metod proračuna optimalnog taktičkog radijusa turbo-elisnog naoružanog aviona. Kao osnova računarskog programa za proračun performansi poslužio je optimizacioni postupak totalne energije nelinearnog modela. Metod optimizacije je nelinearno programiranje. Metoda i rezultati ilustrovani su numeričkim primerom.

**Ključne reči:** Performanse turbo-elisnog aviona, Taktički radijus, Nelinearno programiranje.

**Abstract:** The method for estimation of the light armed turboprop aircraft optimal range is presented in this paper. Nonlinear model total energy method optimization procedure served as the computer programme basis for performance calculation. Method of optimization is nonlinear programming. Method and its results are illustrated by numerical example.

**Keywords:** Light turboprop aircraft performances, Tactical range, Nonlinear programming

## **1. UVOD**

Pri projektovanju novog aviona posebna pažnja posvećuje se proračunu letnih performansi. Zadatak proračuna je da se odrede optimalne i maksimalne letne performanse aviona. U ovom radu prikazan je postupak određivanja maksimalnog taktičkog radijusa jednog turbo-elisnog "COIN" (counter insurgency) aviona (Slika 1) korišćenjem metoda nelinearnog programiranja. U procesu optimizacije koristi se namenski razvijen program "KOBACPERF" (KP).



**Slika 1:** Razmatrani avion

## **2. COIN AVIONI**

COIN avioni su laki borbeni, protivgerilski avioni, opremljeni streljačkim, raketnim i bombarderskim naoružanjem. Namenjeni su prvenstveno za dejstva po zemaljskim i pomorskim ciljevima, a mogu biti uspešni i u borbenim dejstvima protiv helikoptera. Vrlo su efikasni nakon uspostavljanja prevlasti u vazduhu nakon dejstva aviona visokih sposobnosti - aviona prve borbene linije.

Prilikom sagledavanja potreba i zadataka koji se postavljaju pred borbeno vazduhoplovstvo treba uočiti da raspoloživi vazuhoplovi treba da adekvatno pokrivaju ceo domen dejstava po brzini i visini leta teritorije koju kontrolišu i brane. Potrebno je raspolagati pogodnim avionima (klipna avijacija) za relativno male

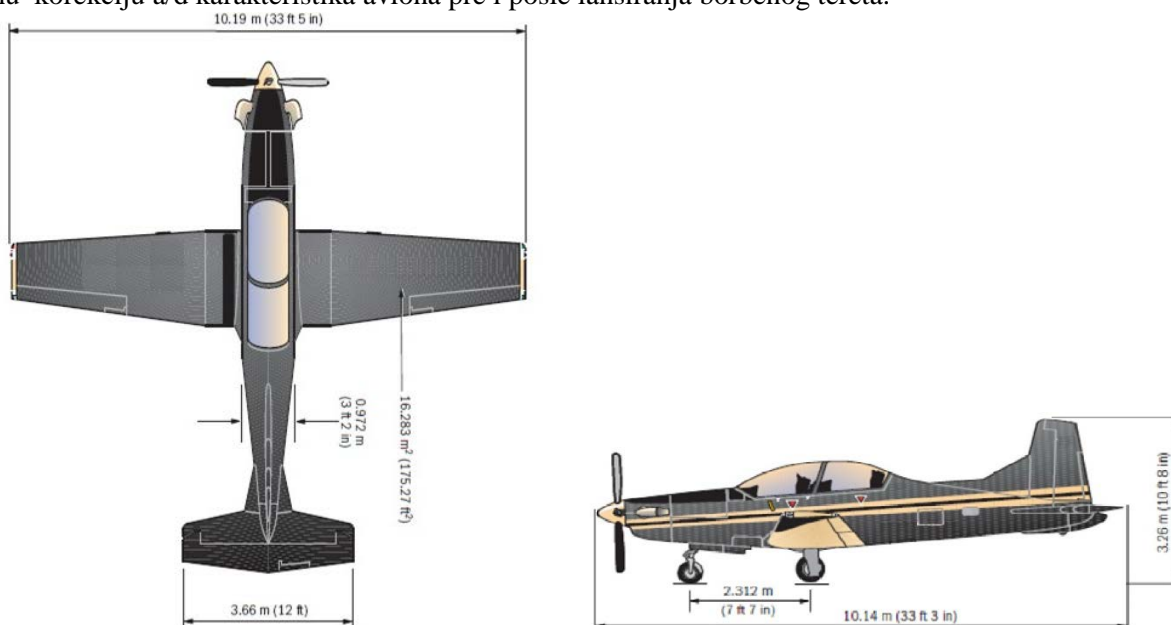
brzine i visine, sposobnih da ulaze u letne evolucije izrazito malih poluprečnika. Avioni ove kategorije moraju da imaju mogućnost leta na malim visinama uz praćenje konfiguracije terena. Sposobnost poletanja sa pripremljenih i nepripremljenih poletno-sletnih staza je neophodna. Za "srednje" visine i brzine uz mogućnost nošenja većih masa ubojnih sredstava optimalno rešenje su turboelisni avioni. Domen većih visina i visoko podzvučne brzine kao i visine preko 12000 m i brzine  $M=2+$  pokrivaju turbo mlazni avioni visokih sposobnosti. COIN avioni uglavnom pokrivaju opseg kako klipnih tako i turbo-elisnih borbenih aviona.

COIN avion je pogodno projektovan vazduhoplov koji se koristi u naoružanoj konfiguraciji i kao platforma za nošenje specifičnog korisnog tereta kao što su kamere, senzori, komunikaciona ili neka druga oprema. Pored spomenutog korisnog tereta, avioni (ove kategorije) većeg gabarita sa snažnijom propulzorskom grupom mogu uporedo da nose i borbeni teret: mitraljeze (kontejneri), topove (kontejneri), vođene rakete, nevođene rakete, gravitacione i laserski vođene bombe

Korišćenje COIN aviona podiže nivo borbenih sposobnosti snaga na terenu. Upotreba poboljšava kvalitet i pravovremenost prikupljenih podataka tako da komandnoj strukturi olakšava donošenje optimalnih rešenja. Značajna je uloga COIN aviona u izviđanju, praćenju, nadgledanju potencijalnih ciljeva u borbenoj zoni kao i u obaveštajnim zadacima pre i posle oružanih dejstava. Policijske snage razvijenih i bogatih zemalja koriste ih u borbi protiv terorizma, krijumčarenja, kontroli granica i drugim sličnim zadacima.

### 3. RAČUNARSKI PROGRAM "KOBACPERF"

Program KP proračunava osnovne i specijalne performanse razmatranog turbo-elisnog COIN aviona (slika 2). Program sadrži više modula, koji izvršni deo programa snabdevaju potrebnim podacima. Modul „Avion“, na osnovu učitanih podataka: raspoloživog goriva, postavljenog podvesnog naoružnja, broja pilota i ostalih podataka određuje ukupnu masu aviona. Modul „Aerodrom“ na osnovu učitanih podataka o trenutnoj meteorološkoj situaciji izračunava „visinu“ aerodroma. U modul „Aerodrom“ potrebno je uneti i podatke o brzini čeonog vetra, nagiba poletno-sletne staze kao i karakteristike same poletno-sletne staze: beton, trava, tvrda zemlja, vlažno-suvo, sneg, led itd. Modul „Atmosfera“ određuje parametre atmosfere na visini leta za sve klimatske uslove, od tropskih do polarnih. Modul „Aerodinamičkih (a/d) karakteristika“ na osnovu učitanih aerodinamičkih karakteristika aviona priprema potrebne podatke za dalji proračun. U modulu su učitane a/d karakteristike „čistog aviona“, kao i konfiguracije u poletanju i sletanju (Bajović i ostali 2009). Na osnovu unete informacije o vrsti postavljenog podvesnog naoružanja, modul priprema dodatnu korekciju a/d karakteristika aviona pre i posle lansiranja borbenog tereta.



Slika 2: Razmatrani avion - projekcije

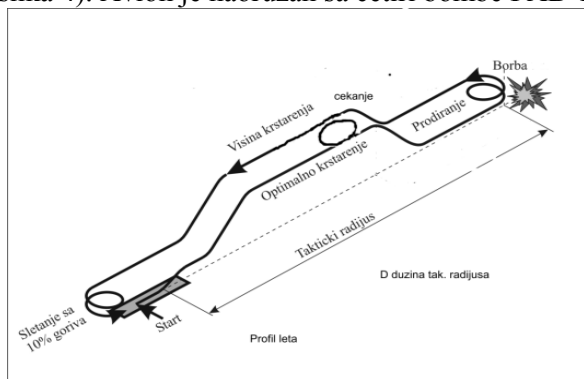
U modulu „Motor“ smešteni su fabrički podaci o snazi i potrošnji goriva u funkciji režima rada, brzine, i visine leta. Ovaj modul učitava i podatke o dodatnim gubicima kao i o gubicima usled odvođenja snage za potrebe pojedinih agregata. U modulu su učitani podaci za motor PT6A-62. Modul „Elisa“ sadrži fabričke a/d podatke za elisu HARTZEL HC-D4N-2A/D9512. Podaci iz ovog modula koriste se za proračun vučne sile instalisane elise. Modul „Osnovne performanse“ proračunava minimalne brzine, brzine pri najboljem



penjanju kao i maksimalne brzine (Smetana 2001, Rendulić 1987). Za zadate visine izračunavaju se brzine i vreme penjanja, kao i teoretski i praktični plafon leta. Modul „Zaokret“ određuje parametre horizontalnog zaokreta aviona. Moduli „Poletanje“ i „Sletanje“ proračunavaju karakteristične: dužine, vremena i brzine aviona pri poletanju odnosno sletanju. Moduli proračunavaju i potrošeno gorivo. Modul „Krstarenje“ za zadati režim rada pogonske grupe i visinu leta proračunava maksimalni prelet. Modul proračunava i parametre krstarenja za zadatu brzinu leta. Modul „Čekanje“ za zadati broj obrtaja motora i visinu leta proračunava optimalni režim za maksimalnu istrajnost leta. Modul proračunava i parametre čekanja aviona za zadatu brzinu leta. Modul „Prodiranje“ proračunava parametre leta pri prodiranju aviona zadatom brzinom na zadatoj visini leta u okviru proračuna taktičkog radijusa. Moduli: „Start“, „Taksiranje“ i „Borba“ proračunavaju za zadato vreme rada, broj obrtaja i režima, potrošeno gorivo za: startovanje motora, taksiranje od stajanke do poletno-sletne staze kao i tokom borbe u okviru profila leta Modul „Taktički radijus“ je najsloženiji modul u okviru ovog paketa programa, jer poziva sve nabrojane module da bi proračunao zadati profil leta (slika 3). Jedan tipičan borbeni profil leta koji proračunava ovaj program sastoji se iz sledećih faza: startovanje motora, taksiranje aviona do poletno-sletne staze, poletanje, optimalno penjanje na zadatu visinu, optimalno krstarenje, optimalno čekanje, planiranje na zadatu visinu prodiranja, prodiranje određenom brzinom na određenoj visini, borba određenog trajanja, prodiranje u povratku, penjanje na zadatu visinu, optimalno krstarenje i planiranje sa sletanjem. Ovaj modul tokom više iteracija određuje optimalnu raspodelu potrošenog goriva za sve faze profila leta obezbeđujući i potrebnu rezervu goriva pri povratku na polazni aerodrom (Velimirović and Velimirović 2012, 2013). Izlazni rezultat proračuna u ovom modulu je maksimalna dužina i trajanje taktičkog radijusa aviona sa određenim borbenim teretima. Korišćenjem ovog modula određuju se maksimalne mogućnosti aviona kada je u pitanju dužina taktičkog radijusa (Velimirović and Velimirović 2010, 2013).

### 3. NUMERIČKI PRIMER

U numeričkom primeru prikazana je optimizacija profila leta - taktičkog radijusa (slika 3) naoružanog aviona (slika 4). Avion je naoružan sa četiri bombe FAB-100 M80 (slika 5).



Slika 3: Profil leta - taktički radijus



Slika 4: Čeona projekcija naoružanog aviona



Slika 5: Бомба FAB-100 M80

Tabela 1: Бомба FAB-100 M80 podaci

Бомба FAB-100 M80	
Пречник (калибар)	230 mm
Дужина	1490 mm
Маса бомбе	117 kg
Маса бојеве главе	39 kg (TNT)

Funkcija cilja, čiji se maksimum određuje, je dužina taktičkog radijusa ( $D$ ) (slika 2). Avion je naoružan sa četiri bombe FAB-100 M80 i ima 526 litara utrošivog goriva. Funkcija cilja određena je potpunim polinomom drugog reda. Pogodnim i optimalnim variranjem nezavisnih parametara određeni su koeficijenti polinoma koji opisuje funkciju cilja. Funkcija cilja predstavljena je zavisnošću od šest parametara: režim rada pogonske grupe (PG) u penjanju 1 ( $percclmb1$ ), visina krstarenja 1- odlazak ( $hcr1$ ), režim rada PG u krstarenju 1 ( $perccr1$ ), režim rada PG u penjanju 2 ( $percclmb2$ ) visina krstarenja 2 - povratak ( $hcr2$ ) i režim rada PG u krstarenju 2 ( $perccr2$ ). Vrednosti nezavisnih parametara kreću se u okviru postavljenih ograničenja:

$$93\% \leq percclmb1 \leq 100\%$$

$$0m \leq hcr1 \leq 5000m$$

$$88\% \leq perccr1 \leq 100\%$$

$$93\% \leq percclmb2 \leq 100\%$$

$$0m \leq hcr2 \leq 5000m$$

$$88\% \leq perccr2 \leq 100\% \quad D_{\max}(percclmb1, hcr1, perccr1, percclmb2, hcr2, perccr2) = ?$$

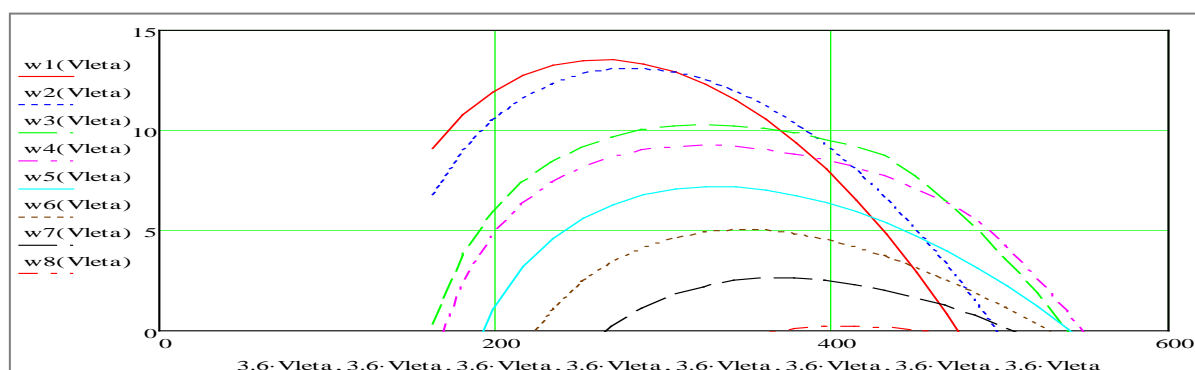
Optimalno rešenje dobijeno nelinearnim programiranjem (gradijentnom metodom u okviru MATHCAD 14) je:  $percclmb1 = 99.1\%$ ,  $hcr1 = 5000m$ ,  $perccr1 = 91.3\%$ ,  $percclmb2 = 98.6\%$ ,  $hcr2 = 4970m$

$$perccr2 = 90.1\%$$

$$D_{\max} = 555.41 * km$$

Izlazni dokument programa "KOBACPERF" sa rezultatima proračuna optimalnog taktičkog radijusa dat je u tabeli 2.

Dijagrami na slici 6 prikazuju maksimalnu brzinu penjanja u funkciji visine (režim rada PG 100%).



**Slika 6:** Zavisnosti specifičnog viška snage - brzine penjanja  $w$  (m/s) u funkciji brzine leta  $Vleta$  (km/h) za visine  $h = 0, 1500, 4000, 4500, 6000, 7500, 9000, 10500$  m konfiguracija: podvesni teret 4 x bomba FAB-100 M80

#### Podaci o profilu leta

$hkrstarenjab1 = 5 \times 10^3 m$	barometarska visina krstarenja 1
$hcekanjab1 = 5 \times 10^3 m$	barometarska visina cekanja
$hprodiranjab1 = 300m$	barometarska visina prodiranja 1
$Lprodiranja1 = 100 km$	dužina prodiranja 1
$hcombatb = 300m$	barometarska visina borbe
$hprodiranjab2 = 300m$	barometarska visina prodiranja 2
$Lprodiranja2 = 80 km$	dužina prodiranja 2
$hkrstarenjab2 = 4.97 \times 10^3 m$	barometarska visina krstarenja 2



**Tabela 2:** Rezultati proračuna optimalnog taktičkog radijusa

	Masa letelice	Potrošeno goriva	Potrošeno vreme
Start	$m_1 = 2.774 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_1 = 11.765 \text{ kg}$	$t_1 = 5 \cdot \text{min}$
Tax	$m_2 = 2.762 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_2 = 5.889 \text{ kg}$	$t_2 = 5 \cdot \text{min}$
Poletanje 1	$m_3 = 2.756 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_3 = 1.368 \text{ kg}$	$t_3 = 0.292 \cdot \text{min}$
Penjanje 1	$m_4 = 2.755 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_4 = 27.867 \text{ kg}$	$t_4 = 7.293 \cdot \text{min}$
Krsterenje 1	$m_5 = 2.727 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_5 = 100.297 \text{ kg}$	$t_5 = 51.926 \cdot \text{min}$
Cekanje	$m_6 = 2.627 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_6 = 18.86 \text{ kg}$	$t_6 = 10 \cdot \text{min}$
Planiranje 1	$m_7 = 2.608 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_7 = 5.036 \text{ kg}$	$t_7 = 12.087 \cdot \text{min}$
Prodiranje 1	$m_8 = 2.603 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_8 = 41.09 \text{ kg}$	$t_8 = 13.136 \cdot \text{min}$
Borba	$m_9 = 2.562 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_9 = 22.82 \text{ kg}$	$t_9 = 5 \cdot \text{min}$
Prodiranje 2	$m_{10} = 2.071 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{10} = 32.016 \text{ kg}$	$t_{10} = 10.28 \cdot \text{min}$
Penjanje 2	$m_{11} = 2.039 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{11} = 17.3 \text{ kg}$	$t_{11} = 4.356 \cdot \text{min}$
Krsterenje 2	$m_{12} = 2.021 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{12} = 97.997 \text{ kg}$	$t_{12} = 58.806 \cdot \text{min}$
Planiranje 2	$m_{13} = 1.921 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{13} = 6.354 \text{ kg}$	$t_{13} = 15.25 \cdot \text{min}$
Sletanje	$m_{14} = 1.915 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{14} = 0.083 \text{ kg}$	$t_{14} = 0.351 \cdot \text{min}$
Rezerva	$m_{15} = 1.915 \times 10^3 \text{ kg}$	$f_{15} = 42.396 \text{ kg}$	
<b>Suma</b>		$mg_{\text{start}} = 431.139 \text{ kg}$	$t_{\text{kupno}} = 198.777 \cdot \text{min}$

	Predjeni put (km)	Instrm. brz. u letu (km/h)	Rezim rada P.G. (%)	broj obrtaja (o/min)
Start	---	---	$n_1 = 90$	$o_1 = 2 \times 10^3$
Tax	---	---	$n_2 = 85$	$o_2 = 2 \times 10^3$
Poletanje 1	$l_3 = 0.518 \cdot \text{km}$	$v_3 = 173.03 \cdot \text{kph}$	$n_3 = 100$	$o_3 = 2 \times 10^3$
Penjanje 1	$l_4 = 36.466 \cdot \text{km}$	$v_{41} = 264.357 \cdot \text{kph}$ $v_{42} = 246.864 \cdot \text{kph}$	$n_{41} = 99.1$ $n_{42} = 99.1$	$o_4 = 2 \times 10^3$
Krsterenje 1	$l_5 = 351.163 \cdot \text{km}$	$v_5 = 314.44 \cdot \text{kph}$	$n_5 = 91.3$	$o_5 = 2 \times 10^3$
Cekanje	---	$v_6 = 310.981 \cdot \text{kph}$	$n_6 = 91$	$o_6 = 2 \times 10^3$
Planiranje 1	$l_7 = 58.272 \cdot \text{km}$	$v_{71} = 234.874 \cdot \text{kph}$ $v_{72} = 250.266 \cdot \text{kph}$	$n_7 = 84$	$o_7 = 2 \times 10^3$
Prodiranje 1	$l_8 = 100 \cdot \text{km}$	$v_{10} = 460 \cdot \text{kph}$	$n_8 = 92.334$	$o_8 = 2 \times 10^3$
Borba	---	$v_9 = 355.456 \cdot \text{kph}$	$n_9 = 100$	$o_9 = 2 \times 10^3$
Prodiranje 2	$l_{10} = 80 \cdot \text{km}$	$v_{10} = 460 \cdot \text{kph}$	$n_{10} = 92.219$	$o_{10} = 2 \times 10^3$
Penjanje 2	$l_{11} = 20.852 \cdot \text{km}$	$v_{111} = 258.018 \cdot \text{kph}$ $v_{112} = 238.369 \cdot \text{kph}$	$n_{111} = 100$ $n_{112} = 100$	$o_{11} = 2 \times 10^3$
Krsterenje 2	$l_{12} = 401.458 \cdot \text{km}$	$v_{12} = 317.913 \cdot \text{kph}$	$n_{12} = 90.1$	$o_{12} = 2 \times 10^3$
Planiranje 2	$l_{13} = 62.609 \cdot \text{km}$	$v_{131} = 202.9 \cdot \text{kph}$ $v_{132} = 222.634 \cdot \text{kph}$	$n_{13} = 84$	$o_{13} = 2 \times 10^3$
Sletanje	$l_{14} = 0.625 \cdot \text{km}$	$v_{14} = 143.281 \cdot \text{kph}$	$n_{14} = 81$ $n_{141} = 81$	$o_{14} = 2 \times 10^3$ $o_{141} = 2 \times 10^3$

## 5. ZAKLJUČAK

Izlazni rezultati koje priprema program "KOBACPERF" prilagođeni su prvenstveno za potrebe eksploatacije aviona jer izlazni rezultati koji se odnose na letne performanse i taktički radijus su instrumentalna brzina, barometarska visina u odnosu na polazni aerodrom i režim rada pogonske grupe koje pilot postavlja i kontroliše. Paralelno se daju i stvarne brzine, visina leta u standardnoj atmosferi itd. što je bliže inženjerskim potrebama.

U programu "KOBACPERF" pri proračunu se koristi metoda totalne energije uz primenu varijacionog računa. Avion se posmatra kao materijalna tačka promenljive mase. Diferencijalne jednačine kretanja aviona rešavaju se uglavnom numerički. U postupcima optimizacije naročito pri proračunu taktičkog radijusa koriste se gradijentna metoda nelinearnog programiranja koju pruža programski paket MATHCAD 14. Korišćenje programa "KOBACPERF" pruža niz pogodnosti od kojih se izdvajaju sledeće:

1. Znatno olakšana priprema leta za planiranu borbenu misiju.
2. Korišćenje programa omogućava uštedu goriva i produženi radni vek motora.
3. Korisniku daje informacije o maksimalnim ostvarljivim performansama aviona - profilu leta za više vrsta podvesnih borbenih tereta.
4. Rezultati dobijeni korišćenjem ovog programa pored toga što mogu da se koriste u inženjerskim razmatranjima mogu da upotpunjuju deo "uputa pilotu" koji se odnosi na letne karakteristike.

Korišćenje metoda nelinearnog programiranja prilikom definisanja geometrije profila leta i režima rada pogonske grupe u pojedinim fazama leta dobijaju se rešenja koja su i 35% povoljnija u odnosu na referentne vrednost (Velimirović 2014).

## LITERATURA

- [1] Smetana, F. (2001). Flight vehicle performance and aerodynamic control. Air Force Institute of Tehnology, Wright-Patterson Air Force Base. Ohio
- [2] Rendulić, Z. (1987). Mehanika leta. Vojnoizdavački i novinski centar. Beograd
- [3] Bajović, M., Velimirović, K., Molović V. & Velimirović, N. (2009). Analiza aerodinamčkih koeficijenata na osnovu aerotunelskih i letnih ispitivanja, Oteh 2009 Vojnotehnički institut, Beograd.
- [4] Velimirović, K. & Velimirović, N. (2013). Flight performance determination of the turboprop aircraft. Theoretical and Applied Mechanics, Vrnjačka Banja
- [5] Velimirović, K. & Velimirović, N. (2010). Određivanje maksimalnog taktičkog radijusa naoružanog klipno-elisnog aviona, program SWALLOW. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2010), Tara 2010
- [6] Velimirović, K. (2014). Avion sa turboelisnom pogonskom grupom: proračun performansi leta, kumulativna naučno-tehnička informacija, Vojnotehnički institut, Beograd.
- [7] Velimirović, K. & Velimirović, N. (2013). Određivanje maksimalnog taktičkog radijusa klipno-elisne taktičke bespilotne letelice, program Beli Orao, (SYM-OP-IS 2011) Tara
- [8] Velimirović, K. & Velimirović, N. (2012). Tactical UAV PEGASUS with in flight adjustable propeller, computer program WHITE EAGLE, Oteh 2012 Vojnotehnički institut, Beograd

# **RUDARSTVO I GEOLOGIJA**

## **ODLUČIVANJE U USLOVIMA SEGMENTNOSTI PROCESA U RUDARSTVU**

### **DECISION MAKING IN THE MINING PROCESSES SEGMENTATION SETTING**

ZORAN BARTULOVIĆ<sup>1</sup>, MILINKO RADOSAVLJEVIĆ<sup>2</sup>, IGOR MILJANOVIĆ<sup>3</sup>, NENAD RADOSAVLJEVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, zbartulovic@itnms.ac.rs

<sup>2</sup> Rudarski institut, Beograd

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

**Rezime:** *Donošenje odluka u rudarstvu je u principu složen, ne retko i zadatak sa izvesnim rizikom. Ovi atributi odlučivanja u rudarstvu rezultat su promenljivosti i multivarijabilnosti internih i okružujućih uslova, i segmentne sistemske strukture o kojoj je reč u ovom radu.*

**Ključne reči:** *rudarstvo, odlučivanje, segmentna struktura.*

**Abstract:** *Making decision in mining is generally complex, often even task with certain risk. These decision making attributes in mining are the result of variability and multivariability of internal and the surrounding conditions and segment structure discussed in this paper.*

**Keywords:** *mining, decision making, segment structure.*

#### **1. UVOD**

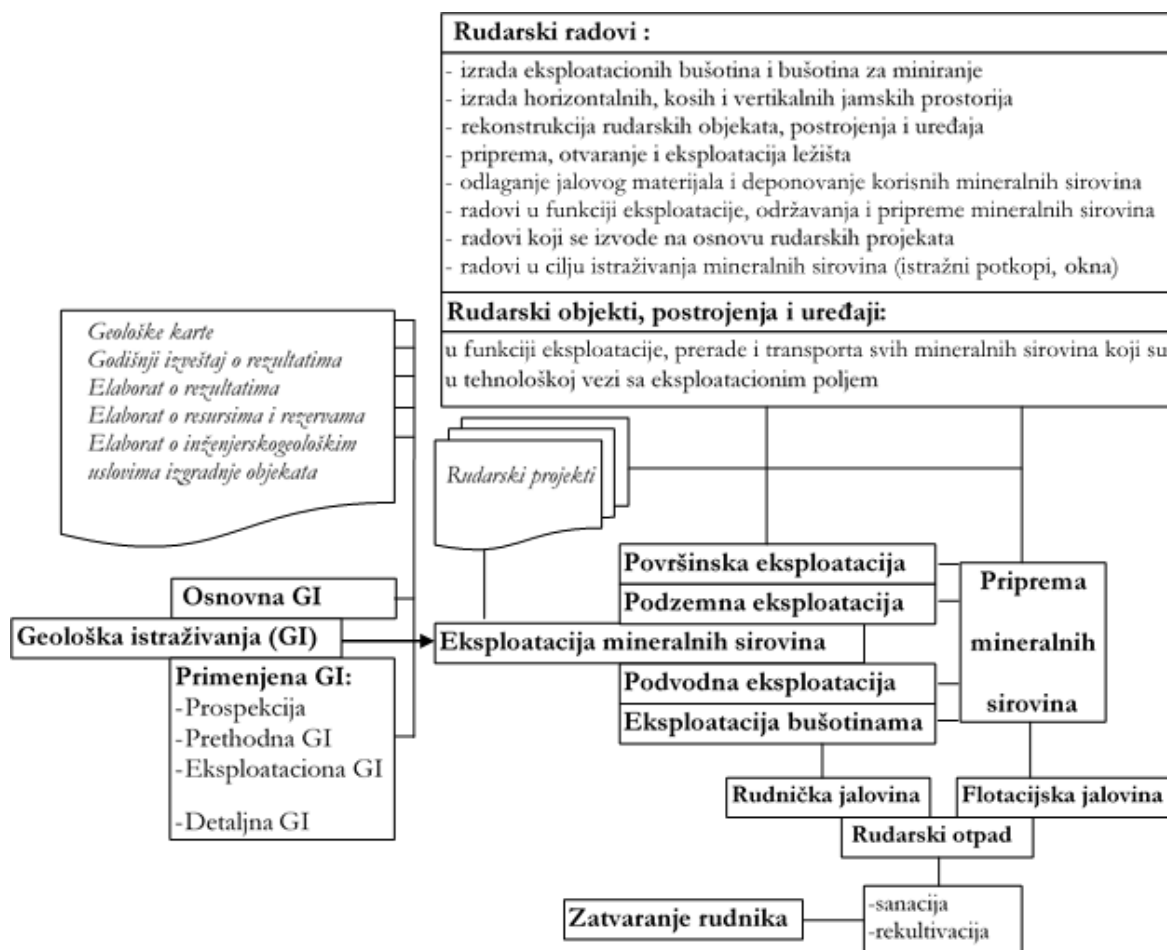
Strukturalna složenost rudarskih sistema može se sagledati ako se pogleda šematski prikaz najosnovnijih segmenata procesa u rudarstvu (vidi sl.). Svaki od ovih segmenata se sastoji od manjeg ili većeg broja aktivnosti kod kojih se javlja potreba za odlučivanjem uz prisustvo više kriterijuma.

Mineralni resursi su geološki resursi, utvrđeni adekvatnim primenjenim geološkim istraživanjima u određenom prostoru – ležištu, u ili na zemljinoj kori, koji se javljaju u takvom obliku, sa takvim kvalitetom i u takvoj količini da potencijalno postoje racionalni izgledi za njihovu ekonomsku eksploataciju. Mineralni resursi obuhvataju resurse čvrstih mineralnih sirovina (metalične, nemetalične i energetske mineralne sirovine) i tečnih i gasovitih mineralnih sirovina (nafta, kondenzati i prirodni gas). Prema stepenu geološke istraženosti čvrsti mineralni resursi se dele (klasifikuju) na pretpostavljene, indicirane i izmerene. Geološka istraživanja su kompleksan proces i niz aktivnosti koji obuhvata primenu odgovarajućih metoda i tehničkih sredstava, a izvodi se sa ciljem da se upoznaju razvoj, sastav i građa zemljine kore (utvrde litostratigrafski članovi, geološke strukture i njihovi tektonski odnosi), pronadu, prouče, ispituju i geološko-ekonomski ocene geološki resursi, istraže i utvrde resursi i rezerve mineralnih sirovina, utvrde i ocene geološke, inženjerskegeološke i geotehničke, inženjersko-seizmološke, hidrogeološke i hidrološke odlike terena koji se istražuje, posebno sa aspekta održivog korišćenja geoloških resursa, prostornog i urbanističkog planiranja, projektovanja i izgradnje objekata, odnosno utvrde i eliminišu štetni uticaji geoloških i tehnogenih procesa na geološku i životnu sredinu, prirodna i kulturna dobra. Geološka istraživanja se dele na osnovna i primenjena. Osnovna geološka istraživanja su skup procesa i aktivnosti koji se izvode radi utvrđivanja opšte geološke građe (sastava, sklopa, starosti i geneze) i vrednovanja ukupnih geoloških potencijala određenog prostora sa aspekta održivog korišćenja geoloških resursa i valorizacije geološke sredine kao prostora za izgradnju. Primenjena geološka istraživanja su skup procesa i aktivnosti koji se izvode radi otkrivanja i dobijanja relevantnih podataka o geološkoj građi, genezi, kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama ležišta geoloških resursa, prostornog i urbanističkog planiranja, projektovanja i izgradnje građevinskih, rudarskih i drugih objekata, hidrogeoloških, inženjersko-geoloških i geotehničkih karakteristika i geodinamičkih svojstava sredine, odnosno izdvojenih delova terena od posebnog interesa.

#### **2. SEGMENTI RUDNIČKIH PROCESA**

**Eksploatacijom mineralnih sirovina** podrazumeva se izvođenje rudarskih radova na pripremi, otvaranju, razradi, bušenju i miniranju, otkopavanju, transportu, odlaganju, održavanju, odvodnjavanju, provetranju, kao i izvođenje drugih rudarskih radova u Zemljinoj kori i na njenoj površini. **Površinskom eksploatacijom**

smatraju se metode izvođenja rudarskih radova na pripremi, otvaranju, bušenju i miniranju, otkopavanju, transportu, odlaganju, odvodnjavanju, provetravanju, pripremi mineralnih sirovina i rekultivaciji na površinskim kopovima i odlagalištima, uz pridržavanje mera bezbednosti i zdravlja na radu i mera zaštite radne i životne sredine.



Slika 1: Osnovni segmentni procesi rudarstva

**Podzemnom eksploatacijom** smatraju se metode izvođenja rudarskih radova na otvaranju, razradi, pripremi, otkopavanju, bušenju i miniranju, izradi podzemnih prostorija, transportu, izvozu, provetravanju u podzemnim prostorijama i na otkopima, odvodnjavanju uz pridržavanje mera bezbednosti i zdravlja na radu i mera zaštite radne i životne sredine. **Podvodna eksploatacija** obuhvata metode izvođenja rudarskih radova na pripremi, otvaranju, otkopavanju, transportu, odlaganju, odvodnjavanju i rekultivaciji na kopovima pod vodom i pripadajućim odlagalištima, uz pridržavanje mera bezbednosti i zdravlja na radu i mera zaštite radne i životne sredine. **Eksploatacijom bušotinama** smatraju se metode izvođenja rudarskih radova na pripremi, izradi eksploatacionih bušotina za eksploataciju svih mineralnih sirovina, eksploataciji i transportu.

**Priprema mineralnih sirovina** obuhvata procese: usitnjavanja mineralnih sirovina (drobljenje, prosejavanje, mlevenje, klasiranje), koncentracije i/ili separacije korisnih minerala od jalovine (ručno ili automatsko odabiranje, gravitacijska, flotacijska, magnetska i elektrostatička koncentracija, luženje mineralnih sirovina i iskopina i dalje pripremanje rastvora u cilju koncentracije korisnih komponenti), odvodnjavanje proizvoda koncentracije odnosno separacije (zgušnjavanje, filtriranje i sušenje). Pod pripremom mineralnih sirovina smatraju se i svi procesi hidrottransporta pulpe, pepela i/ili koncentrata i okrupnjavanja mineralnih sirovina i koncentrata (peletizacija i briketiranje), separacije peska, šljunka i kamena, kao i procesi primarne pripreme ukrasnog i drugog kamena.

**Rudarskim radovima** smatraju se radovi: na izradi eksploatacionih bušotina i bušotina za miniranje; na izradi horizontalnih, kosih i vertikalnih jamskih prostorija; na rekonstrukciji rudarskih objekata, postrojenja i uređaja; na pripremi, otvaranju i eksploataciji ležišta; na odlaganju jalovog materijala i deponovanju korisnih mineralnih sirovina; i svi radovi na eksploatacionom polju koji su u funkciji eksploatacije, održavanja i

pripreme mineralnih sirovina; kao i radovi koji se izvode na osnovu rudarskih projekata i drugih projekata koji su sastavni deo rudarskih projekata i rudarski radovi koji se obavljaju u cilju istraživanja mineralnih sirovina (istražni potkopi, okna). Takođe, rudarskim radovima smatra se i izvođenje radova pri procesu odvodnjavanja u okviru eksploatacije mineralnih sirovina, geotermalne energije, nafte i zemnih gasova, radovi na separaciji nafte i gasa, pripremi nafte i gasa za transport i uskladištenje, izdvajanje prirodnih tečnih gasova (etan, propan, butan i prirodni gazolin) u degazolinažama i sličnim postrojenjima na eksploatacionom polju, kao i transport ovih sirovina sabirnim naftovodima i gasovodima kada su u tehnološkoj vezi sa eksploatacionim poljima. Rudarskim radovima smatraju se i radovi van eksploatacionog polja na izradi tunela za regulaciju i izmeštanje vodotokova iz eksploatacionog polja, na izradi tunela za smeštaj transportnih sistema za transport mineralnih sirovina ili jalovine, na izradi podzemnih instalacija za hidraulički transport (cevovoda) koji povezuje određene dislocirane delove rudarskih tehnoloških celina. **Rudarskim objektima, postrojenjima i uređajima**, smatraju se objekti, postrojenja, mašine i uređaji koji su u funkciji eksploatacije, prerade i transporta svih mineralnih sirovina i koji su u tehnološkoj vezi sa eksploatacionim poljem.

**Rudarski otpad** je otpad nastao pri istraživanju, eksploataciji i skladištenju mineralnih sirovina, kao i otpad dobijen u procesu pripreme mineralnih sirovina koji podrazumeva mehanički, fizički, biološki, toplotni ili hemijski postupak (izmena dimenzija, separacija, izluživanje, preradu ranije odbačenog otpada) ili kombinaciju tih postupaka, isključujući topljenje, spaljivanje, termo procese proizvodnje (osim pečenja krečnjaka) i metalurške procese.

**Obustava radova-zatvaranje rudnika** (planirano, neplanirano i privremeno), je jedan od segmenata rudarskog procesa, a potrebno ga je obaviti prema savremenim standardima koji propisuju ekološke uslove i uslove samoodrživosti ekosistema. Za formatiranje nabiranja koristiti ikonu "Nabiranja", kao što je prethodno prikazano u ovom uputstvu.

### 3. UTICAJ SEGMENTNOSTI NA ODLUČIVANJE

Donošenja odluke, u principu svodi se na zadatak donosioca odluke da izabere najbolje od mogućih rešenja. Donošenje odluke u rudarstvu zbog prirode procesa koji ima uslovljene prelaze između segmenata i zbog često nepredvidljivih događanja i promena u rudničkim sistemima i okruženju, odlučivanje čini zahtevnim zadatkom. Postoji realna mogućnost da donosioc odluke i pored korektnog izbora rešenja za date uslove, ipak pogreši i dovede rudnički sistem u nepovoljnu situaciju (Hudej 2014). Ovaj rizik pri odlučivanju i upravljanju u rudarstvu nemoguće je eliminisati, ali se potencijalne posledice mogu znatno ublažiti primenom adekvatnog i efikasnog pristupa u odlučivanju i upravljanju (Vujić et al. 1999). Rudarstvo odlikuju brojne različite situacije u kojima se odlučuje, ali to ne znači da nije moguća sistematizacija (klasifikacija) odlučivanja i upravljanja prema nekim zajedničkim svojstvima. Ovo nije formalno već je suštinsko važno pitanje, koje omogućava selekciju matematičko-modelskih pristupa za donošenje odluka (Vujić 2004). U literaturi je najprisutnija klasifikacija odlučivanja prema određenosti stanja realnog sistema:

1. Odlučivanje u uslovima determinisanosti,
2. Odlučivanje u fazilogičkim uslovima;
3. Odlučivanje u uslovima rizika;
4. Odlučivanje u uslovima konflikta;
5. Odlučivanje u uslovima segmentnosti (sekvencijalnosti).

Odlučivanje i upravljanje u uslovima sekvencijalnosti (Bajesov pristup), je odlučivanje kada postoji interaktivni niz situacija i stanja u kojima se sistem može nalaziti. Za modelovanje problema sekvencijalnog odlučivanja i upravljanja koristi se u principu tehnika stabla odlučivanja bazirana na Bajesovoj statistici, i formalizovana na principima (2014):

- Analize strukture i formiranje dijagrama toka odlučivanja;
- Analize verovatnoća;
- Analize koristi i vrednosti informacija;
- Proračunu vrednosti čvorova;
- Sintetičkom prikazu rezultata.

Bajesov pristup se svodi na „igru” DO sa realnim sistemom i uvođenja verovatnoća pojave izvesnih stanja u sistemu.

#### 4. ZAKLJUČAK

U procesu odlučivanja ključnu ulogu ima donosioc odluke, ali iza ponuđenog rešenja u principu ne stoji donosioc odluke već stručnjak ili stručni tim za podršku odlučivanju, oni predlažu rešenje za donošenje odluke. Zato je veoma važno da stručni tim u pristupu problemu podjednako dobro poznaje strukturu i tehnološku funkciju segmenata procesa sa jedne, a sa druge strane metode koje bi mogle biti primenjene u rešavanju problema. Svakako, uz ova dva, postoji i treći zahtev, a to je analitičnost i kritičnost prema ponuđenom rešenju.

#### LITERATURA

- [1] Hudej M., Multivarijabilni modeli upravljanja u rudarstvu, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, doktorska disertacija, 2014, str. 142.
- [2] Vujić S, i dr., Mathematical model of spatial planning the system of active mines having homogeneous production, Proceedings: VIII Balkan Mineral Processing Conference, Vol. 2, Belgrade, 1999, p. 631-636.
- [3] Vujić S., A comparative multi-criterion analysis of possible technologies used for selective mining, conveyance and dumping of solum at coal open pit mines of the Electric Power Industry of Serbia, Annual of University of Mining and geology "St. Ivan Rilski", Part II: Mining and mineral processing, Vol. 47, Sofia, Bulgaria, 2004, p. 197-200.
- [4] Vujić S., Hudej M. i dr., Results of the PROMETHEE method application in selecting the technological system at the Majdan III open pit mine, Archives of Mining Sciences, Polish Academy of Sciences, Committee of Mining, Krakow, Issue 4, 2013, p.11.
- [5] Zak, J., Application of Operations Research Techniques to the Redesign of the Distribution Systems, Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics, Proceedings 8th International Heinz Nixdorf Symposium, IHNS 2010, Paderborn, Germany, Springer Berlin Heidelberg, 2010, p. 57-72.





## RIZICI EKSPLOATACIJE I IZBOR METODA OTKOPAVANJA KREČNJAKA NA POVRŠINSKOM KOPU MUTALJ

### RISKS IN MINING AND LIMESTONE EXCAVATION METHOD SELECTION AT THE MUTALJ OPEN PIT MINE

BRANKA JOVANOVIĆ<sup>1</sup>, ŽELJKO PRAŠTALO<sup>1</sup>, SIMEUN MARIJANAC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudarski institut Beograd, {povrsinska, zeljko.prastalo, simeun.marijanac}@ribeograd.ac.rs

**Rezime:** Površinski kop krečnjaka Mutalj deo je Lafarge Beočinske fabrike cementa i u funkciji je snabdevanja fabrike krečnjakom, kao jednom od sirovina u spravljanju cementa. Tema ovog članka jeste izbor metoda otkopavanja krečnjaka, kojim se rizici eksploatacije i kontinualnog snabdevanja fabrike krečnjakom, svode na minimum.

**Ključne reči:** krečnjak, Mutalj, Lafarge, metoda

**Abstract:** Mutalj open pit mine is a part of the Lafarge Beocin cement factory, delivering the limestone, as one of the materials used in the technological process of cement production to the factory. The subject of the paper is the selection of limestone excavation method in order to keep risks of mining and continual delivery of limestone to the factory at minimum.

**Keywords:** limestone, Mutalj, Lafarge, method

## 1. UVOD

Beočinska fabrika cementa (BFC) je najstarija cementara na Balkanu a od 2002. godine francuski Lafarge, kao jedan od svetskih lidera u industriji građevinskog materijala, postao je većinski vlasnik ove fabrike. Pored fabrike cementa u Beočinu, deo Lafarge BFC jesu i dva aktivna površinska kopa na kojima se eksploatišu krečnjak i laporac, kao osnovne sirovine za dobijanje cementa: 1) površinski kop krečnjaka "Mutalj" i 2) površinski kop laporca "Filijala".

Površinski kop krečnjaka Mutalj nalazi se na južnim padinama Fruške Gore i sa fabrikom u Beočinu povezan je asfaltnim putem dužine oko 19 km.



**Slika 1:** Površinski kop Mutalj



## 2. METODE ODKOPAVANJA KREČNJAKA

Odvajanje krečnjaka od masiva na površinskom kopu Mutalj vrši se primenom 3 metode:

- I osnovnom metodom – bagerovanjem, hidrauličnim bagerom Liebherr R 984 C,
- II metodom - ripovanjem i naguravanjem, buldozerom Cat D9R i
- III metodom - bušačko-minerskim radovima.

### I OSNOVNA METODA – ODKOPAVANJE KREČNJAKA HIDRAULIČNIM BAGEROM LIEBHERR R 984 C

Osnovnom metodom otkopavanja krečnjaka, radom hidrauličnog bagera Liebherr R 984 C, otkopava se oko 70% krečnjaka na površinskom kopu Mutalj. Bager otkopava sloj krečnjaka dubinskim radom, u bloku širine 11m i visine 12m. Sila kopanja hidrauličnog bagera kod dubinskog rada dvostruko je veća u odnosu na visinski rad.



Slika 2: Hidraulični bager LIEBHERR R 984 C

Karakteristike bagera LIEBHERR 984C

- težina bagera 115 t
- zapremina kašike 4,7 m<sup>3</sup>
- dužina nosača kašike 3,4 m
- dužina katarke 7,8 m
- širina gusenica 0,75 m
- dubina kopanja max 8 m
- radijus kopanja max 14 m

Prosečan časovni kapacitet hidrauličnog bagera Liebherr R 984 C iznosi

$$Q_h = 420 \text{ t/h.}$$

Dnevni kapacitet bagera (dve smene po 6h efektivnog rada) iznosi

$$Q_{dn} = 5000 \text{ t/dan.}$$

Optimalna dubina kopanja bagera Liebherr utvrđena je probnim radom i iznosi 4m. Na osnovu toga usvojena je visina etaže od 12m koja se otkopava u 3 podetaže visine 4m.

### II METODA – ODVAJANJE KREČNJAKA OD MASIVA RIPOVANJEM I PRIGURIVANJEM BULDOZEROM CAT D9R

Pomoćna metoda odvajanja krečnjaka od masiva, ripovanjem i prigrivanjem buldozerom CAT D9R, primenjuje se u slučaju zastoja u radu hidrauličnog bagera i kada postoji potreba za otkopavanjem na 2 lokacije (zahtevi za kvalitetnijim krečnjakom). Na godišnjem nivou, ova metoda se prosečno primeni na količini krečnjaka od oko 25%.

Ripovanjem i prigrivanjem krečnjak se odvaja od masiva, u slojevima

- visine  $h=0,7\text{m}$  i širine  $b=1,8\text{m}$
- i na dužini od oko  $L=100\text{m}$ .

Kapacitet buldozera iznosi: - na ripovanju  $Q_R = 1887 \text{ t/h}$

- na prigrivanju  $Q_{PR} = 436 \text{ t/h}$

- dnevni (2 smene po 6 h efektivnog rada)  $Q_d = 4.250 \text{ t/dan krečnjaka,}$

- prosečni, časovni  $Q_h = 354 \text{ t/h.}$



**Slika 3:** Metoda ripovanja i prigrivanja krečnjaka buldozerom CAT D9R

### Tehničke karakteristike buldozera CAT D9R

- snaga motora	302 kW
- radna težina	48.310 kg
- širina gusenica	610 mm
- pritisak na tlo	110,8 kPa
- dubina ripovanja	798 mm
- Nož 9U : - širina	4,645 m
- Broj ripera	3 kom.
- visina ripera	1,934 m
- Rastojanje između ripera	600 mm

### III METODA – ODVAJANJE KREČNJAKA OD MASIVA PRIMENOM BUŠAČKO-MINERSKIH RADOVA

Bušačko-minerski radovi se primenjuju na delovima ležišta Mutalj sa očvrslim partijama krečnjaka koji se ne mogu odvojiti od ležišta drugim metodama (bagerovanjem ili ripovanjem).

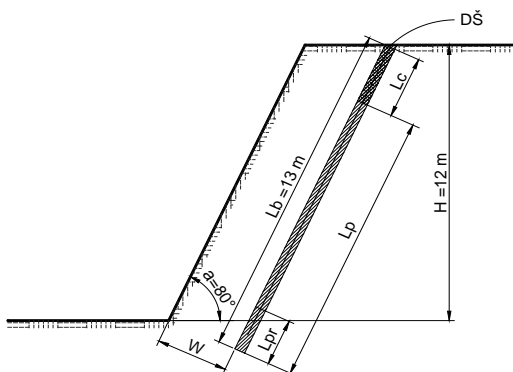
Dosadašnja iskustva su pokazala da očvrsele partije krečnjaka koje se moraju minirati iznose, prosečno oko 5%.

Bušotine se izvode udarno-rotacionom bušilicom tipa "Atlas Copco B 53L" sa kompresorom PZ-360. Primenjen eksploziv jeste "Anfeks-P" i "Amoneks-3".

Bušotine se izvode rasporedom u 2 reda sa rastojanjem između bušotina i redova  $a = 3\text{m}$  i  $b = 3\text{m}$



**Slika 4:** Izgled očvrslih lajtovačkih krečnjaka ležišta Mutalj



**Slika 5:** Minska bušotina

- Legenda  
 Lb - Dužina bušotine  
 Lp - Dužina punjenja  
 DŠ - Detonirajući štapin  
 a - Nagib bušotine i etaže  
 H - Visina etaže  
 Lpr - Dužina probušenja  
 Lc - Dužina čepa  
 W - Linija najmanjeg otpora

Vrednosti parametara bušačko-minerskih radova jesu:

- prečnik bušenja  $\varnothing 89$
- nagib bušotine  $\alpha = 80^\circ$  - linija najmanjeg otpora
- $W = 3,0$  m - dužina čepa bušotine
- $l_c = 2,0$  m - potrošnja eksploziva
- $P = 68,2$  kg/buš

- $q = 0,315$  kg/t kreč
- količina izminiranog krečnjaka po bušotini
- $V = 108$  m<sup>3</sup>čm/buš

## **ZAKLJUČAK**

Osnovna metoda otkopavanja krečnjaka na površinskom kopu Mutalj - hidrauličnim bagerom Liebherr R 984 C, pokazala se dobro prilagođenom ležišnim uslovima, efikasnom i ekonomičnom.

Rizici eksploatacije i kontinualnog snabdevanja fabrike cementa krečnjakom usled otkaza bagera, zahteva za kvalitetnijim krečnjakom sa udaljenih lokacija i pojava očvrsljih partija krečnjaka, svedeni su na minimum, uvođenjem pomoćnih metoda odvajanja krečnjaka od masiva iz ležišta,

## **LITERATURA**

- [1] Rudarski institut Beograd: Tehnički projekat eksploatacije krečnjaka i otkrivke na p.k. Mutalj, 2014.
- [2] Branka Jovanović, Miodrag Pribičević, Željko Praštalo, Simeun Marijanac: Tehnologija rada bagera Liebher R 984 C na otkopavanju krečnjaka na površinskom kopu "Mutalj", Zbornik radova V Balkanmine-Ohrid 2013.

## GENERALNI PRISTUP UPRAVLJANJU RIZIKOM U VANREDNIM SITUACIJAMA U RUDARSTVU

### GENERAK APPROACH TO RISK MANAGEMENT IN EMERGENCY CONDITION IN MINING

SNEŽANA KIRIN<sup>1</sup>, IGOR MILJANOVIĆ<sup>2</sup>, ALEKSANDAR MILUTINOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar mašinskog fakulteta, Beograd, snezanakirin@yahoo.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, imiljan@rgf.bg.ac.rs

**Rezime:** Tradicionalni pristupi upravljanja rizikom, na osnovu statičkih procena rizika koji dovode do kontrole koje su uspostavljene pre pokretanja rizične aktivnosti, ne odgovaraju veoma dinamičnom razvoju i brzom promeni okruženja, naročito u vanrednim situacijama. U radu su izloženi problemi upravljanja rizikom vezani za utvrđivanje trajektorije incidenta. Složenost upravljanja rizikom u vanrednim situacijama proističe iz problema donošenja odluka u složenim situacijama, uz nedostatak informacija i kratak vremenski rok što zahteva permanentno prevazilaženje ograničenja postojećih tehnika za procenu rizika.

**Cljučne reči:** upravljanje rizikom, trajektorija incidenta, rudarstvo

**Abstract:** Traditional risk management approaches, based on the static risk assessment leading to control established before the risk activity has occurred are not suitable for the dynamic development and rapid changes in the environment, particularly in emergency conditions. The paper presents risk management problems related to the determination of incident trajectory. The complexity of risk management in emergency condition is a consequence of decision making in complex situation, with information lacking and in short time frame, which is demanding that the existing risk management techniques are surpassed.

**Keywords:** risk management, incident trajectory, mining.

#### 1. UVOD

Tradicionalni pristupi upravljanja rizikom, na osnovu statičkih procena rizika koji dovode do kontrole koje su uspostavljene pre pokretanja rizične aktivnosti, ne odgovaraju veoma dinamičnom razvoju i brzom promeni okruženja. To se pogotovo odnosi na vanredne situacije, kada se lanac događaja odvija brzo i kada reagovanje na njih zahteva adekvatno donošenje odluka i reagovanje.

Rizici koji imaju malu verovatnoću i velike posledicame su posebno područje u izučavanju rizika jer mogu da dovedu do nesreća koje rezultiraju ozbiljnim ili katastrofalnim posledicama. Praksa zahteva da se odredi ravnoteža između ublažavanja ovih rizika i izbegavanje investicija za zaštitu od rizika koje se odnose na opasnosti koje možda nikada ne pojavljuju.

#### 2. SLOŽENOST SISTEMA I RIZIK

Ubrzan tehnološki razvoj u XX i XXI veku doveli su do povećanih rizika u svim vidovima poslovanja. Novi rizici nastaju iz inovacija (novih tehnologija, procesa i organizacije), iz novih aplikacija postojećih tehnologija i od nepredviđenih konteksta ili događaja. Sa rastom broja rizika i kompleksnosti tehnološko-humanih sistema raste i broj potencijalno ugroženih ljudi, životne sredine i materijalnih resursa.

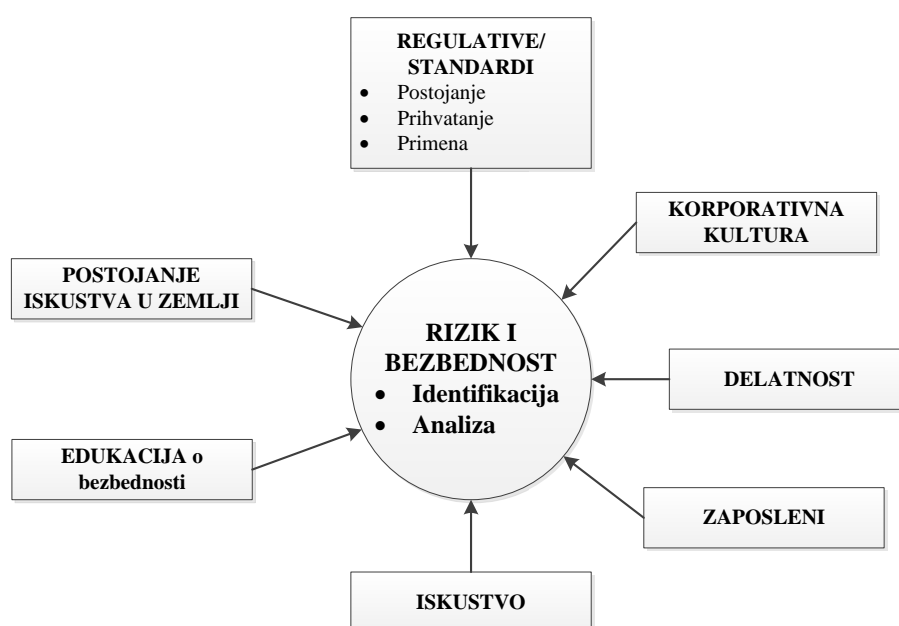
Svi sistemi treba da budu u stanju da prežive propuste delova i jedinica, tako da incidenti ne postanu nesreće. Međutim, kompleksni sistemi nisu samo prosti zbir njihovih delova, već uključuju njihove interakcije i u stvari predstavljaju dinamičan skup povratnih veza. Labavo spregnuti sistemi imaju prednost da se svi mehanizmi za takav opstanak ne moraju da planiraju unapred. U mnogim slučajevima, dizajneri labavo spregnutih sistema imaju više prednosti u projektovanju jer su bezbedne karakteristike očiglednije i jednostavnije. Dizajneri čvrsto spregnutih sistema moraju uložiti mnogo truda, znanja i imaginacije u predviđanje režima neuspeha i obezbeđenje sigurnosnih karakteristika i mogućnosti da sistem opstane i oporavi se brzo nakon incidenta sa minimalnim štetnim posledicama.

Složenosti savremenih sistema mogu dovesti do nastajanja novih kategorija nesreća. Savremena analiza rizika mora da razlikuje kompleksne naspram linearnih interakcija delova sistema. Kao okvir za analizu rizika moraju se razlikovati tesne međusobne sprege nasuprot labavih veza pojedinih podsistema.

Kada se posmatraju industrijski sistemi, može se napraviti njihova klasifikacija u odnosu na veličinu posledice dešavanja neke neželjene situacije. Perrow (1984) istražuje „normalne nesreće“ u sistemima visokog rizika. Karakteristike ovakvih sistema su interaktivna složenost i čvrste veze. Visokorizičan sistem obuhvata postojanje rizika „za operatere, prolaznike i za buduće generacije“. Perrow definiše kada preduzeća imaju katastrofalne potencijal, tj. sposobnost da se odjednom unište životi stotina ljudi ili da se povrede hiljade ljudi. Perrow smatra da konvencionalni inženjering pristup za osiguranje bezbednosti savremenih sistema visokog rizika ne uspeva zato što kompleksnost sistema čini propuste neizbežnim tj. dovodi do „neizbežne nesreće“. Normalne nesreće u određenom sistemu mogu biti uobičajene ili retke .

Čvrsto spregnuti sistemi mogu opstati u slučaju kvarova pod uslovom da je kvar predviđen u originalnom dizajnu procesa. Labavo spojeni sistemi mogu često lakše da prime kvarove.

Slika 1 prikazuje kompleksnost uticaja na procenu rizika i bezbednosti. Na stabilnost privrednog sistema u odnosu na rizik utiču sem delatnosti sistema koja može biti sama po sebi više ili manje osetljiva na rizik i postojeće državne i kompanijske regulative, korporativna kultura, postojeće iskustvo o određenim tipovima rizika u zemlji i kompaniji, edukacija o bezbednosti i sami radnici.



Slika 1: Faktori koji utiču na bezbednost sistema

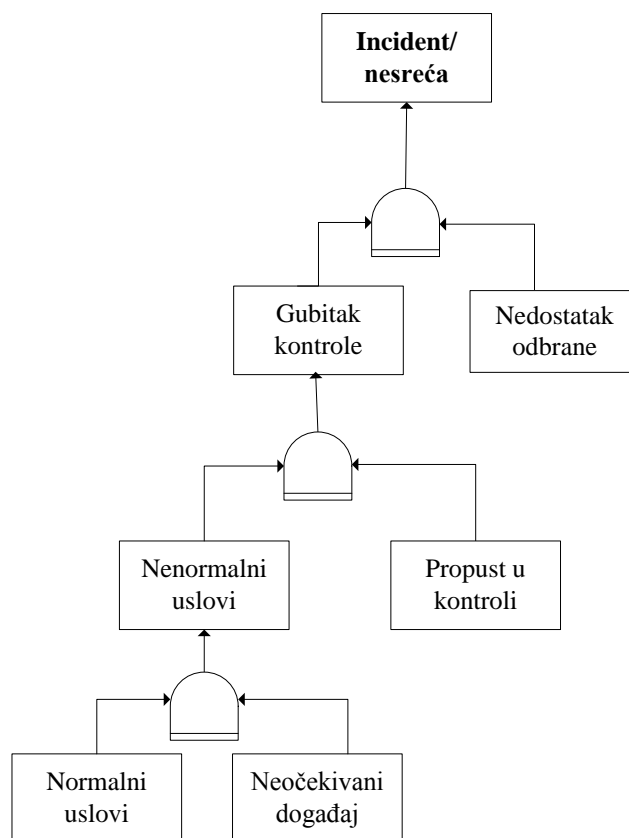
### 3. TRAJEKTORIJA INCIDENTA

Anatomija incidenta na slici 2 pokazuje transformaciju normalnih uslova rada koji uz neočekivani događajem prelaze u nenormalne uslove rada. Ukoliko tada dođe do propusta u kontroli, ili analiza mogućih hazarda nije predvidela takav scenario, dolazi do gubitka kontrole nad radnim procesom. U slučaju da je odbrana sistema nedovoljna ili je uopšte nema dolazi do nesreće sa posledicama koje ona izaziva.

Obično na prvom nivou incidenta dolazi do oštećenja delova kao što su ventili ili merači. Na drugom nivou su oštećenja složenijih jedinica, koje predstavljaju skupove delova koji obavljaju određenu funkciju u okviru podsistema, kao što su na primer, parni kotlovi. Događaji čiji poremećaji su ograničeni na jednu ili deo jedinice se obično nazivaju "incidenti". Treći nivo su podsistemi, sastavljeni od više jedinica. Na primer, sekundarni podsistem hlađenja obuhvata generator pare, pumpe, cevovode, itd. Četvrti nivo su kompletni sistemi, sastavljen od više desetina (stotina) podsistema. Događaji čiji se poremećaji prošire na podsistema ili sisteme nazivaju se "nesreće".

Incident može zahtevati isključenje ili smanjen rad sistema u celini. Razlika je u tome da li se nesreća ili oštećenja odnose na nivo podsistema ili sistema. Sigurnosne karakteristike dizajna (npr. pumpe, ventili) se često nalaze na granici između jedinica i podsistema, a samim tim i otkazivanje ili nepredviđena ponašanja takvih bezbednosnih delova često igraju značajnu ulogu u tome da li je događaj manji incident ili nesreća.





**Slika 2:** Trajektorija incidenta

#### 4. RIZIK OD NEŽELJENIH DOGAĐAJA SA MALOM VEROVATNOĆOM I VELIKIM POSLEDICAMA

Rizik se uobičajeno definiše preko verovatnoće dešavanja neželjenog događaja i njegove posledice. Praksa je pokazala da su neželjeni događaji sa većom verovatnoćom oni koji dovode do lakših profesionalnih oboljenja i koji se generalno ne smatraju katastrofalnim. Obično se katastrofe dešavaju u području rizika koji se odnosi na male verovatnoće dešavanja. Neželjeni događaji sa malom verovatnoćom i velikim posledicama su nesreće koje se dešavaju retko i neočekivane su kada se pojave. Kada se dese rezultiraju ozbiljnim ili katastrofalnim posledicama u smislu gubitaka ljudskih života, teškim povredama ljudi i / ili oštećenju životne sredine. Za jedno preduzeće ili organizaciju može biti teško da u potpunosti razumeju, upravljaju i potpuno ublaže rizike ovakvih događaja sa samo nekoliko istorijskih podataka na raspolaganju. Tipična organizacija nema dovoljno mogućnosti za učenje o ovakvim događajima u cilju da poboljša upravljanje rizikom

Neželjeni događaji sa malom verovatnoćom i velikim posledicama su neočekivani jer su obično rezultat raspada brojnih kontrola ili barijera, a šansa da se desi kvar kod velikog broja barijera u isto vreme je mnogo manja od verovatnoće neispravnosti jedne zaštitne barijere. Zato što se ovakvi događaji dešavaju retko, i zato što su oni obično rezultat brojnih propusta u više kontrola, ne postoji jedan univerzalan merljiv sistem koji se može generalno koristiti za upravljanje performansama procesa sa aspekta bezbednosti. To je razlog zašto je potrebno izraditi portfolio merljivih sistema za bolje predviđanje i sprečavanje ovakvih događaja..

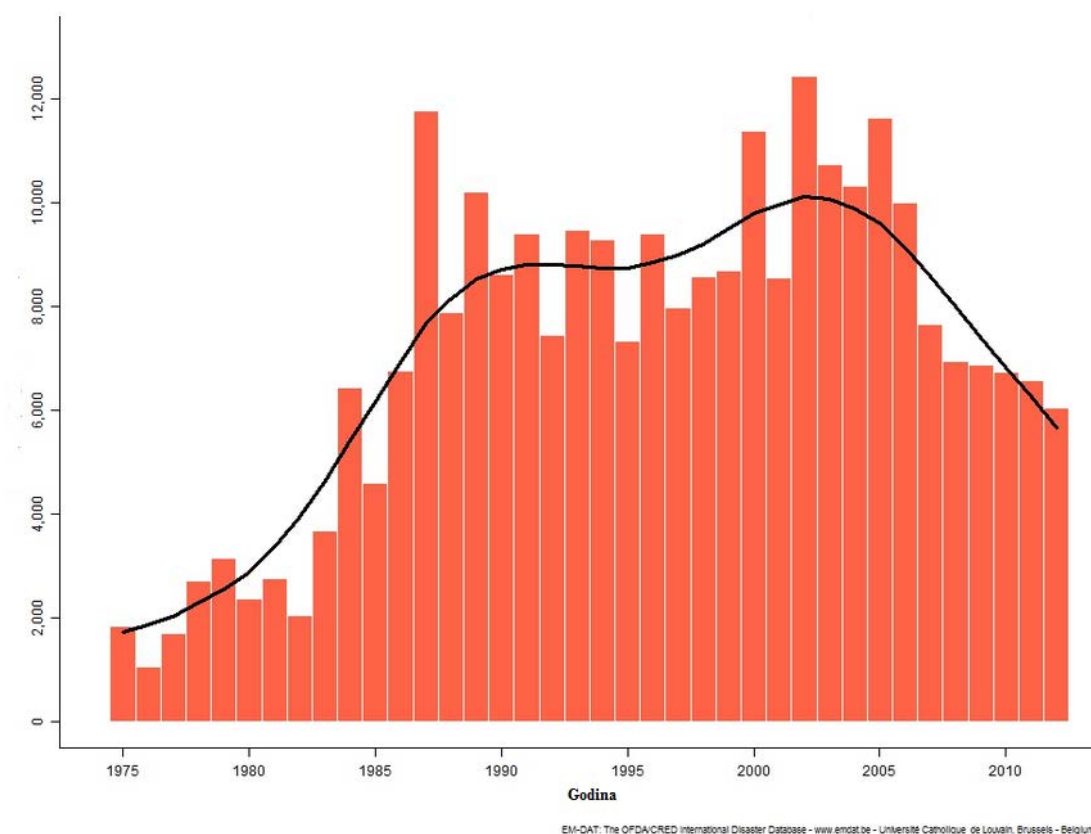
Hopkins (2009) navodi da "istraživanje je pokazalo da su velikim nesrećama uvek prethodili znaci upozorenja, ali da oni iz jednog ili drugog razloga nisu prepoznati "

Znači da je preporuka nauke praćenje i unapređenje implementacije prioritarnih korektivnih mera kao metrike za smanjenje rizika od događaja sa niskom verovatnoćom i visokim posledicama. Bezbednosne performanse, zasnovane na kvantitativnoj proceni korektivnih mera su u upotrebi od strane samo nekih firmi, ali to nije široko prihvaćen standard u industriji.

Donošenja odluka kao odgovora na probleme u vanrednim situacijama je obično rizično i neizvesno zbog ograničenih podataka i mogućeg dešavanja progresa scenarija katastrofe.

Vanredne situacije su najčešće prouzrokovane prirodnim katastrofama, industrijskim incidentima i često prouzrokuju gubitke života ili povrede, oštećenja imovine, socijalne i ekonomske poremećaje ili degradaciju

životne sredine. Slika 3 prikazuje podatke iz međunarodna baza podataka o katastrofama o broju smrtno stradalih ljudi u tehnološkim nesrećama od 1975-2012 godine.



**Slika 3:** Broj smrtno stradalih u tehnološkim nesrećama u periodu 1975-2012.

Može se primetiti da je broj stradalih najviši između 2000 i 2005 i da od tada pada, a jedan od razloga za to je i taj što se danas sve više stručnjaka bavi nastojanjima za iznalaženjem modela za upravljanje rizikom u kompleksnim sistemima visokih tehnologija.

Praksa zahteva da se odredi ravnoteža između obezbeđivanja procene rizika u ranoj fazi razvoja tehnologije i izbegavanje investicija u zaštitu od rizika koje se odnose na opasnosti koje možda nikada ne pojavljuju.

## 5. ZAKLJUČAK

Složenost upravljanja rizikom u vanrednim situacijama proističe iz problema donošenja odluka u složenim situacijama, uz nedostatak informacija i kratak vremenski rok. To zahteva permanentno prevazilaženje ograničenja postojećih tehnika za procenu rizika i indikatora rizika i iznalaženje novih načina organizovanja rada i implementaciju sistema za praćenje bezbednosti kako privrednog sistema, tako i okruženja.

## LITERATURA

- [1] Perrow, Ch. (1984) *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*, ISBN: 9781400828494 | Hardcover published in 1984 by Basic Books
- [2] Lijing, W., Yanlong, W., Qiyang, C., Xiaodong, L., Jinquan, L. & Xinwen, Wu (2013). A framework for human error risk analysis of coal mine emergency evacuation in China, DOI:10.1016/j.jlp.2014.05.007, : *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
- [3] <http://www.emdat.be/result-country-profile>
- [4] Hopkins, A. (2009). 'The Problem of Defining High Reliability Organisations', in Andrew Hopkins (ed.), *Learning from High Reliability Organisations*, CCH Australia Ltd, Australia, pp. 5-16.

## REAGOVANJE NA VANREDNE SITUACIJE U RUDARSTVU

### REACTION TO EMERGENCY CONDITION IN MINING

ALEKSANDAR MILUTINOVIĆ<sup>1</sup>, SNEŽANA KIRIN<sup>2</sup>, GROZDANA GAJIĆ<sup>3</sup>, VLADIMIR ČEBAŠEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, amilutinovic@rgf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar mašinskog fakulteta, Beograd, snezanakirin@yahoo.com

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd, grozdana.gajic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu su razmatrani aspekti reagovanja na vanredne situacije u rudarstvu, obzirom da zbog prirode svojih aktivnosti rudnici predstavljaju privredne sisteme visokog rizika i složenosti. Razmatraju se i pitanja određivanja relevantnih kriterijuma prihvatljivosti za nove rizike i obezbeđivanje efikasne komunikacije o njima, kontinuiranog poboljšanja donošenja odluka na bazi stalnog dobijanja novih informacije koje treba uzeti u obzir itd. S obzirom na prirodu problema koji se tiču bezbednosti, njihovo rešavanje zahteva multidisciplinarni pristup.

**Ključne reči:** upravljanje rizikom, vanredne situacije, rudarstvo.

**Abstract:** This paper considers the aspects of reaction to emergency condition in mining. Additionally, issues related to the relevant criteria of acceptability for new risks and ensuring the efficient communication, continual improvement of decision making based on the permanent acquisition of new information to be considered, etc. Having in mind the nature of the problem concerning safety, their solution demands a multidisciplinary approach.

**Keywords:** risk management, emergency condition, mining

#### 1. PRINCIPI UPRAVLJANJA VANREDNIM SITUACIJAMA

Kod upravljanja rizikom percepcija rizika od strane donosioca odluka i njegova procena opasne aktivnosti i/ili tehnologije su od suštinskog značaja. Praksa pokazuje da percepcija rizika ima značajnu ulogu u donošenju bezbednosnih politika, obezbeđujući osnovu za razumevanje i predviđanje adekvatnih odgovora na potencijalne opasnosti. Percepcija rizika je bitan faktor u poboljšanju komunikacije i informacija o riziku između tehničkih stručnjaka i donosilaca odluka.

Upravljanje odgovorom na vanredne situacije se dešava u uslovima izmenjene stvarnosti i predstavlja naporan i složen poduhvat koji se mora intenzivno oslanjati na sisteme za upravljanje znanjem.

Uspešno upravljanje vanrednim situacijama je veoma zavisno od dobre pripremljenosti za hitne slučajeve. Ovo zahteva planiranje odgovora na sve uobičajene i moguće rizike, uz obezbeđenje dovoljno fleksibilnosti u planovima reagovanja, tako da se mogu prilagoditi tako da odgovaraju specifičnim okolnostima.

Uspešno upravljanje vanrednim situacijama je veoma zavisno od dobre pripremljenosti za hitne slučajeve. Ovo zahteva planiranje odgovora na sve uobičajene i moguće incidenata, ali u isto vreme osiguravajući da planovi reagovanja omogućavaju dovoljno fleksibilnosti, tako da se mogu prilagoditi tako da odgovaraju specifičnim okolnostima.

Centralizacija i procedure su od suštinske važnosti za kontrolu čvrsto povezanih sistema; ipak vanredne situacije imaju tendenciju da postanu novi događaji za koje ove mere nisu uvek adekvatne. Uloga ljudskog operatora je da povрати kontrolu u uslovima koji odstupaju od normalnih i za koje automatske sigurnosne funkcije nisu obezbeđene, jer dizajneri sistema ne mogu predvideti sve scenarije neuspeha. Problem je što se ljudi ne mogu trenirati za nezamislive i u potpunosti nove vanredne situacije. Sledeći principi i prioriteti će se primeniti kao odgovor na sve incidente i vanredne situacije:

Raznovrsnost i složenost brojnih zadataka koji se javljaju pri vanrednim situacijama, kao i neophodnost njihovog brzog rešavanja, zahtevaju sisteme upravljanja specifičnih karakteristika. Ovi sistemi za upravljanje vanrednim situacijama imaju niz karakteristika koje ih razlikuju od klasičnih sistema upravljanja, a koje se odnose na: režim funkcionisanja sistema, organizacionu strukturu, karakter informacija, ciljeve i kriterijume upravljanja (Živković 2010).



**Tabela 1:** Reagovanje u vanrednim situacijama

Prioritet		Princip
1.	Obezbeđivanje bezbednosti	Sačuvati živote, sprečiti povrede i pružiti prvu pomoć i / ili organizovati medicinsku pomoć kada je to potrebno.
2.	Zaštita životne sredine	Smanjiti (eliminirati) uticaj događaja po životnu sredinu.
3.	Zaštita imovine	Zaštiti imovine od oštećenja i aktivnosti u cilju da se ograniči dalji uticaj opasnih događaja.
4.	Vraćanje infrastrukture	Vraćanje osnovne infrastrukture ili obezbeđivanje alternativnog pristupa osnovnoj infrastrukturi.
5.	Vraćanje funkcionalnosti objekata	Obezbeđivanje funkcionalnosti objekata

## 2. NESREĆE U RUDNICIMA

Zbog prirode svojih aktivnosti rudnici predstavljaju privredne sisteme visokog rizika i složenosti. Poslednja velika nesreća u rudniku desila se u Turskom gradu Soma, 13. maja 2014., kada je u rudniku došlo do eksplozija dok je pod zemljom bilo 787 radnika. U nesreći je poginuo 301 radnik. U Srbiji je ugalj značajan prirodni i ekonomski resurs i zauzima veoma važnu ulogu u nacionalnoj ekonomiji. Zbog toga su bezbednost rudnika sa ciljem eliminisanja najvećih fatalnih nesreća od najveće nacionalne važnosti.

Savremene studije nesreća u rudnicima dele katastrofe rudnika u tri nivoa hitnosti, a evaluacioni model nesreća uključuje tri osnovna faktora:

1. Nedostatak informacija,
2. Hitnost (kratak vremenski rok) i
3. Složenosti situacije.

U planiranju reakcije na nesreće u podzemnim rudnicima se analiziraju mogući scenariji sa sledećim faktorima:

- 1 Inicijator incidenta
- 2 Posledice
- 3 Vremenske prilike
- 4 Doba dana
- 5 Struktura zaposlenih pod zemljom
- 6 Iskustvo zaposlenih koji su pod zemljom
- 7 Upoznatost sa poslom
- 8 Složenost posla
- 9 Nivo kritičnosti
- 10 Lokacija pojedinca
- 11 Broj ljudi pod zemljom

Kod procene nivoa ozbiljnosti rudarske katastrofe mora se posmatrati progres katastrofe, odnosno lanac dešavanja nakon inicijalnog događaja. Uspešna evakuacija radnika zavisi od raspoloživih materijalnih resursa i efikasnosti akcija spasavanja .

Postupak evakuacije uključuje faze detekcije, početka evakuacije i privremenog utočišta, tabela 2.

**Tabela 2:** Postupak evakuacije

Postupak evakuacije u hitnim slučajevima	
Faza evakuacije	Akcija evakuacije
Detekcija	Uključivanje alarma
	Procena ozbiljnosti
	Vraćanje procesne opreme u bezbedno stanje
	Slušati i slediti uputstva dobijena putem razglasa
Početak evakuacije	Oceniti potencijalne puteve izlaska i izabrati put
	Premeštanje duž trase
	Pomaganje drugima ukoliko je potrebno
	Utvrđiti da li nastaviti evakuaciju ili ne
Privremeno utočište	Proceniti i izabrati moguće sklonište
	Proceniti bezbednosne uslove situacije
	Odrediti resurse za preživljavanje
	Poslati poruku za pomoć (SOS) i čekati spasioce

### 3. KATASTROFALNE NESREĆE U SRBIJI

U tabelama 3 i 4 su prikazani podaci o uticaju nesreća izazvanih prirodnim uzrocima<sup>1</sup> na život ljudi u Srbiji u proteklih 5 godina. Može se videti, tabela 3, da je najviše ljudi stradalo u poplavama ove godine, koje predstavljaju rizičan događaj sa malom verovatnoćom dešavanja. Tabela 4 pokazuje broj ljudi na koje vanredne situacije utiču i može se videti da je najveći broj ljudi ugrožen zbog izlaganja ekstremnim temperaturama.

**Tabela 3:** Podaci o stradalim u katastrofalnim nesrećama u Srbiji (Živković 2010)

Nesreća	Datum	Broj smrtno stradalih
Poplave	13-15.05.2014.	51
Ekstremne temperature	28.1.2012	10
Ekstremne temperature	6.1.2012	9
Ekstremne temperature	7.12.2012	6
Ekstremne temperature	28.1.2010	3
Poplave	17.5.2010	2
Zemljotres	3.11.2010	2
Ekstreme temperature	19.12.2010	2

**Tabela 4:** Podaci o ljudima na koje su uticale nesreće u Srbiji

Nesreća	Datum	Broj ljudi na koje je nesreća uticala
Poplave	13-15.05.2014	25070
Ekstremne temperature	28.1.2012	70000
Zemljotres	3.11.2010	27030
Ekstremne temperature	6.1.2012	18234
Poplave	25.11.2007	12370
Poplave	6.11.2009	3210
Poplave	1.3.2010	3150
Ekstremne temperature	feb.14	3000
Poplave	14.3.2013	2670
Poplave	3.12.2010	1750
Ekstremne temperature	15.1.2009	500

Poplave, maja 2014. godine, su zahvatile ne samo pojedina naselja već i područja na kojima se nalaze rudnici uglja i termoelektrana Nikola Tesla, najveća termoelektrana u Srbiji, koja daje skoro 50% električne energije u Srbiji. Međutim, ona je ostala nepotopljena zahvaljujući dobrim intervencijama, koja strujom snabdeva najveći deo Srbije. Naselje Obrenovac je bilo najteže pogođeno poplavama, a procenjeno je da je 90% naselja potopljeno. Celo naselje od oko 8700 stanovnika je evakuisano. Šteta izazvana poplavama u Rudarskom basenu Kolubara procenjuje se na preko 100 miliona evra. Termoelektrana Kostolac, koja daje 11% električne energije Srbije, je bila ugrožena izlivanjem reke Mlave. Dva prestana džakova sa peskom je bilo probijeno, ali voda nije probila poslednju liniju odbrane.

Prve reakcije na katastrofu su smeštanje ljudi na sigurne lokacije i obezbeđivanje pomoći u vidu lekova, hrane, odeće i osnovnih uslova za život. Zatim se preduzimaju aktivnosti za povratak u normalno stanje u cilju obezbeđivanja funkcionisanja važnih institucija i određivanje uslova za normalizaciju životnih uslova posle katastrofe. Ovo podrazumeva određivanje ili izgradnju privremenog smeštaja i postizanje određenog nivoa životnog komfora.

Rekonstrukcija ili ponovna izgradnja predstavljaju dugoročnu reakciju na efekte katastrofe. U ovoj fazi obnavlja se infrastruktura, ekosistemi i uslovi života.

U savremenom globalno povezanom svetu bezbednost procesa i proizvoda zauzimaju najvažnije mesto. U cilju podsticanja transnacionalne saradnje, finansiraju se evropski projekti, poput SAFERE u kom učestvuje i Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije koji unose dinamiku u istraživanju bezbednosti u Evropi promovisujući saradnju u istraživačkim programima i podsticanje lateralno razmišljanje, kao i favorizovanje inovacije.

<sup>1</sup> Podataka o tehnološkim nesrećama u Srbiji nema u Međunarodnoj bazi podataka jer ona registruje samo katastrofalne nesreće po unapred definisanim kriterijuma.



**Slika 1:** Ciklus katastrofalnih događaja

#### 4. ZAKLJUČAK

Složenost upravljanja rizikom u vanrednim situacijama proističe iz problema donošenja odluka u složenim situacijama, uz nedostatak informacija i kratak vremenski rok. To zahteva permanentno prevazilaženje ograničenja postojećih tehnika za procenu rizika i indikatora rizika i iznalaženje novih načina organizovanja rada i implementaciju sistema za praćenje bezbednosti kako privrednog sistema, tako i okruženja.

Upravljanje rizicima je zbog svoje složenosti aktuelna tema istraživanja u naučnom i poslovnom savremenom svetu. Pitanja na koja u budućnosti treba naći odgovore tiču se određivanja relevantnih kriterijuma prihvatljivosti za nove rizike i obezbeđivanje efikasne komuniciraju o njima, kontinuiranog poboljšanja donošenja odluka na bazi stalnog dobijanja novih informacije koje treba uzeti u obzir, merenje uticaja ljudskog faktora na rizik, rešavanje problema komunikacije i razvoj i evaluacija praktičnih metodologija / alata. S obzirom na prirodu problema koji se tiču bezbednosti, njihovo rešavanje zahteva multidisciplinarni pristup.

#### LITERATURA

- [1] Živković, A. (2010). Sistem upravljanja i planiranja u vanrednim situacijama, (koautor), Zbornik radova Međunarodne naučne konferencije, Menadžment 2010, Kruševac, Srbija 17-18, mart 2010. 451-457
- [2] EM-DAT: OFDA / CRED, Međunarodna baza podataka o katastrofama, <http://www.emdat.be/result-country-profile>.
- [3] [http://sr.wikipedia.org/sr/Поплаве\\_на\\_Балкану\\_2014](http://sr.wikipedia.org/sr/Поплаве_на_Балкану_2014).
- [4] Vujić, S., Kirin, S., Miljanović, I. & Josipović Pejović, M. (2012). Upravljanje rizicima u rudarstvu-površinska eksploatacija uglja“ Zbornik radova 39 simpozijuma o operacionim istraživanjima, SYMOPIS 2012.
- [5] Miljanović, I., Milutinović, A., Kirin, S. & Gajić, G. (2013). Predlog novog koncepta za algoritamski pristup upravljanju rizicima u površinskoj eksploataciji Zbornik radova XL simpozijuma o operacionim istraživanjima,, SYMOPIS 2013, 757 -762
- [6] Kirin, S. & Milutinović, A. (2013). Savremene metode i pristupi upravljanju rizikom u rudarstvu, Zbornik radova XL simpozijuma o operacionim istraživanjima, SYMOPIS 2013, 768-773



## RIZICI POMERANJA TLA NA POVRŠINSKOM KOPU ĆIRIKOVAC

## GROUND MOVEMENT RISKS AT THE OPEN PIT MINE ĆIRIKOVAC

ŽELJKO PRAŠTALO<sup>1</sup>, DRAGAN MILOŠEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudarski institut, Grupa za pov. ekspl. uglja, metala i nemetala, Beograd, zeljko.prastalo@ribeograd.ac.rs

**Rezime:** Odluka o prestanku eksploatacije uglja i namena predmetnog prostora unutrašnjeg odlagališta PK „Ćirikovac“, definisana je izgradnjom deponije za odlaganje pepela i šljake iz termoelektrane „Kostolac B“. Prvenstveno je bilo predviđeno da se odlaganje vrši sa severne strane i u tom kontekstu planirani su svi neophodni objekti za tehnološki postupak istakanja i odlaganja pepela i šljake. Međutim, nakon pojave nestabilnosti i pokreta jalovinskih masa na severnoj kosini PK „Ćirikovac“, nemionovno je bilo izvršiti sanaciju terena u funkciji izgradnje objekata, a zatim i predvideti novo projektno rešenje za buduću deponiju. Dinamička uslovljenost istakanja pepela iz termoelektrane, zahtevala je hitnost u rešavanju nastalih promena.

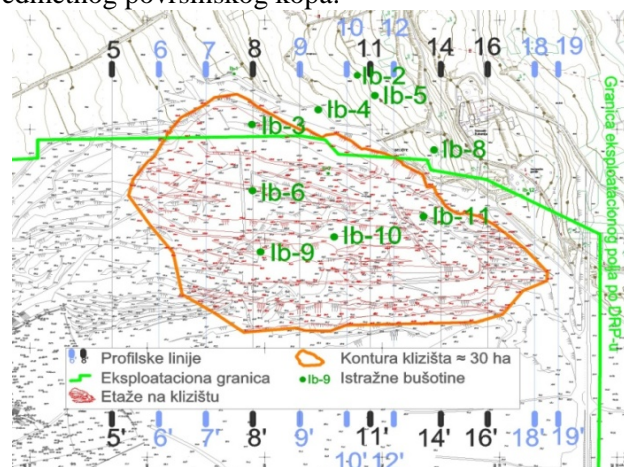
**Ključne reči:** klizanje, pomeranje tla, stabilnost

**Abstract:** Decision on termination of coal mining and the purpose of the internal disposal location at the OPM „Ćirikovac is defined by the construction of thermal power plant “Kostolac B” fly ash and bottom ash disposal location. At first, it was intended to dispose material on the north side and all the necessary facilities for the technological procedure of fly ash and bottom ash disposal were planned consequentially. However, after instability and movement of waste masses at the northern slope of OPM “Ćirikovac” occurred, it was necessary to accomplish surface recovery, and after that to plan new solution for the future disposal location. The dynamic causality of fly ash delivery from thermal power plant demanded urgency in solving these new deviations.

**Keywords:** sliding, ground movement, stability

### 1. UVOD

Tehnološki postupak trajne obustave eksploatacije uglja i buduće namene otkopnog prostora PK „Ćirikovac“ definisan je kao jedinstvena celina u cilju nesmetanog rada termoelektrane „Kostolac B“ odlaganjem pepela i šljake u otkopani prostor predmetnog površinskog kopa.



Slika 1. Površine zahvaćene klizištem

Nakon prestanka eksploatacije uglja na PK “Ćirikovac”, početkom aprila 2009.god., nastavljeno je sa već započetim radovima na pripremi i uređenju terena za potrebe izgradnje i montaže objekata u funkciji odlaganja pepela i šljake.

Krajem aprila meseca, tačnije, 21.04.2009. god. na severnoj kosini površinskog kopa „Ćirikovac“ evidentirane su prve pukotine. Do značajnih pokreta masa došlo je 01.05.2009. godine. Kretanje masa evidentirano je po kliznim subvertikalnim i vertikalnim površinama, kaskadno, s tim da je maksimalna visina pucanja i klizanja u severnom delu iznosila oko 25 m dok je u horizontalnom pravcu u južnom području klizišta zabeleženo kretanje do 30 m. Površine obuhvaćene klizištem iznose oko 30 ha.

## 2. SLOŽENOST SISTEMA I RIZIK

Nastanak nestabilnosti severne kosine prouzrokovao je analizu o daljem nastavku izvođenja radova, mogućnosti stabilizacije terena kao i dinamičkom planu pripreme prostora u funkciji buduće namene.

Na pouzdanost postojećih podataka i za analizu mogućih rešenja stabilizacije terena uticali su:

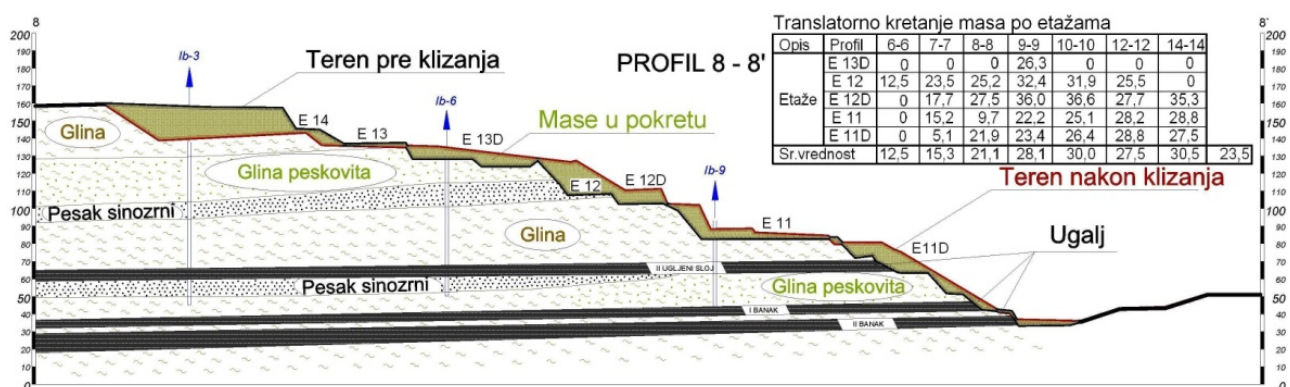
- Izostanak rezultata istražnog bušenja, koje je predviđeno u cilju dobijanja parametara u funkciji stabilizacije terena;

- Vremenska raspoloživost kapaciteta kasete za odlaganje pepela;
- Izbor vrste opreme, na osnovu nosivosti podloge, u cilju uređenja površina zahvaćenih klizištem.

Tehnološki postupak stabilizacije terena definisan je u zavisnosti od više faktora od kojih treba istaći:

- Aktuelna situacija stanja radova na površinskom kopu;
- Namena unutrašnjeg odlagališta otkopnog prostora površinskog kopa;
- Analiza geomehaničkih parametara;
- Prioritet poslova u funkciji buduće namene površinskog kopa;
- Dinamika izvođenja radova, odnosno izgradnje objekata;
- Raspoloživa oprema – mehanizacija – operativa na kopu i
- Raspoloživi ljudski resursi.

Na narednoj slici data je geološka interpretacija po profilskoj liniji 8-8' pre nastanka klizanja i stanje na terenu, nakon ažurirane situacije, odnosno izolinja terena nakon pokretanja masa na severnoj kosini površinskog kopa „Ćirikovac“, kao i pozicije projektovanih istražnih bušotina.



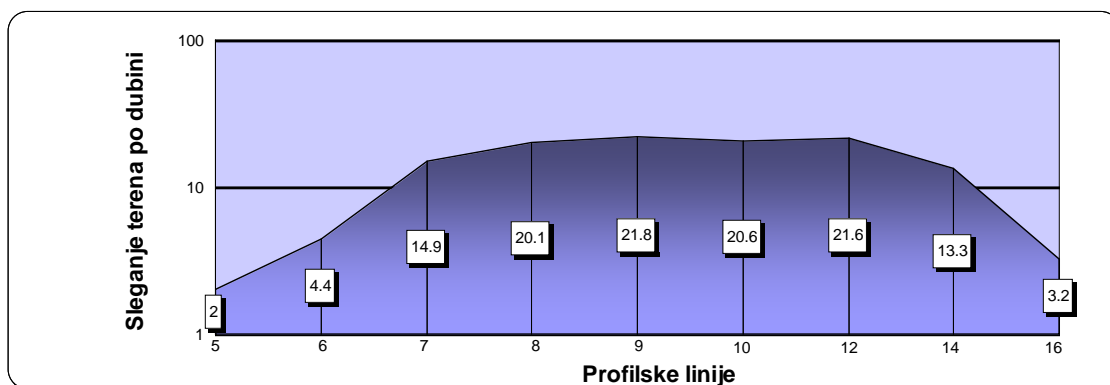
Slika 2. Prikaz terena pre i nakon nastanka klizišta na profilskoj liniji 8-8'

## 3. TRAJEKTORIJA INCIDENTA

Na osnovu obrađenih podataka, uočljivo je najintenzivnije translatorno kretanje u zoni od 9-9' do 14-14' profila a proračunata srednja vrednost translatornog pomeranja masa iznosi 23,5 m. Upoređujući proračunate parametre kretanja masa po x-y osi, na površinskom kopu „Ćirikovac“ najnestabilniju zonu predstavlja središnji deo istog, odnosno područje od 9-9' do 14-14' profila.

Tabela 1: Sleganje etaža po profilima

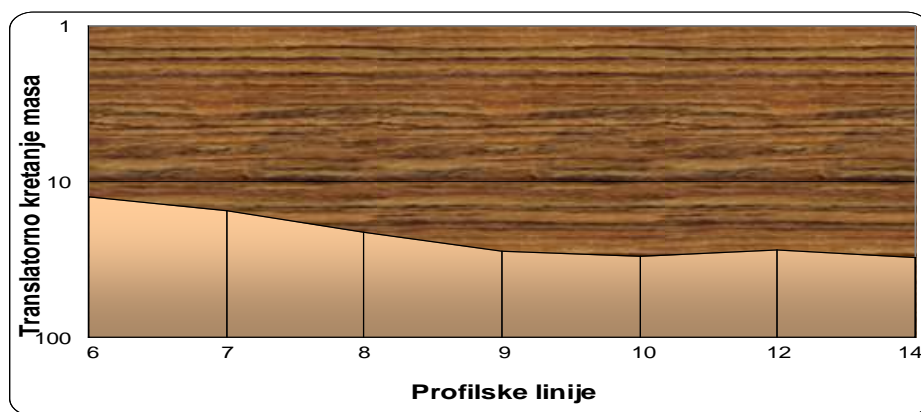
Profil	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	10-10'	12-12'	14-14'	16-16'	Sr.vrednost
Sleganje (m)	2,0	4,4	14,9	20,1	21,8	20,6	21,6	13,3	3,2	13,5 m



Slika 3. Sleganje terena po dubini

Na osnovu izmerenih vrednosti vertikalnog kretanja vršne etaže po profilskim linijama, prosečna dubina sleganja je 13,5 m. Sagledavajući parametre nastalih pokreta, ukupna količina masiva u pokretu iznosi oko 4.000.000 m<sup>3</sup>.

Kretanje masa pored verikalnog manifestovalo se i u horizontalnom pravcu, što je prikazano i dato na slici 2. Na osnovu prikazanih vrednosti, uočljivo je najintenzivnije translatorno kretanje u zoni od 9-9' do 14-14' profila a proračunata srednja vrednost translatornog pomeranja masa iznosi 23,5 m. Upoređujući proračunate parametre kretanja masa po x - y osi, najnestabilniju zonu predstavlja središnji deo istog, odnosno područje od 9-9' do 14-14' profila.



Slika 4. Translatorno kretanje masa

#### 4. RIZIK OD NEŽELJENIH DOGAĐAJA SA MALOM VEROVATNOĆOM I VELIKIM POSLEDICAMA

Površine zahvaćene nastankom nestabilnosti terena, izazvane klizanjem jalovinskih masa na prostoru severne kosine PK „Ćirikovac“ analizirane su na osnovu:

- Površina koje se moraju sanirati, a koje su zahvatile prostor u severnom obodu površinskog kopa van eksploatacionih granica;
- Položaja Manastira Rukumija, kao i položaja Bradaračkog groblja;
- Stanja radova na kosinama zahvaćenim završnom konturom van zone klizišta;
- Masa koje su predviđene za izgradnju vetrozaštitnog pojasa.

#### 5. ZAKLJUČAK

Stabilnost terena je u zavisnosti od niza parametara, koji u radu površinskih kopova moraju biti predmet kontinualnog sistema praćenja i analiza.

Neadekvatna kontrola podloge, tokom tehnološkog procesa rada na površinskim kopovima je potencijalni uzrok nastanka opisanih pojava i predstavlja rizik koji se mora pratiti sistemom međusobno zavisnih parametara koji definišu stabilnost tla.

Pouzdanost rada tokom eksploatacije na površinskim kopovima ciljano se mora inkorporirati u tehnološki sistem rada, kako bi se izbegle sve potencijalne okolnosti koje dovode do neželjenih događaja a koje su sastavni deo procesa proizvodnje.

Analizirajući stanje terena i svih parametara koji imaju uticaj na isti, moguće je blagovremeno otklanjanje svih uzročnika koji nose rizik i na taj način održavati „radnu atmosferu zdravom“.

## **LITERATURA**

- [1] Uprošćeni rudarski projekat sanacije klizišta na otkopnom frontu PK „Ćirikovac“, Rudarski institut, Beograd, 2010. god.
- [2] Dopunski rudarski projekat trase cevovoda guste hidromešavine i odlaganja pepela i šljake TE "Kostolac B" u otkopani prostor PK „Ćirikovac“, Varijanta jug, Rudarski institut, Beograd, 2011. god.
- [3] Glavni rudarski projekat trajne obustave radova na površinskom kopu "Ćirikovac"- Kostolac, Rudarski institut, Beograd, 2012. god.



## IZBOR FLOTACIJSKOG KOLEKTORA PRIMENOM TEORIJE GRUBIH SKUPOVA

### FLOTATION COLLECTOR SELECTION BY APPLICATION OF ROUGH SET THEORY

ZORAN ŠTIRBANOVIĆ<sup>1</sup>, ZORAN MARKOVIĆ<sup>1</sup>, IGOR MILJANOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, zstirbanovic@tf.bor.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

**Rezime:** Flotacijski kolektori imaju veoma veliki uticaj na uspešnost procesa flotacijske koncentracije. Iz tog razloga izbor odgovarajućeg kolektora je od izuzetnog značaja ali je postupak izbora složen zbog velikog broja uticajnih faktora. U radu je prikazano da se primenom teorije grubih skupova može uspešno izvršiti izbor odgovarajućeg flotacijskog kolektora.

**Ključne reči:** Flotacijski kolektori, Teorija grubih skupova, Izbor.

**Abstract:** Flotation collectors have a very large impact on the success of flotation concentration process. For this reason, selection of suitable collector is very important but also complex procedure because of the large number of influencing factors. This paper describes how the selection of appropriate flotation collector by application of rough set theory can be successful.

**Keywords:** Flotation collectors, Rough set theory, Selection.

#### 1. UVOD

Kolektori su velika grupa organskih hemijskih jedinjenja koja se razlikuju po hemijskom sastavu i funkciji. Osnovna namena kolektora je da selektivno formiraju hidrofobni sloj na datoj mineralnoj površini u flotacijskoj pulpi i time obezbede uslove za vezivanje hidrofobnih čestica vazдушnih mehurića i njihovo iskorišćenje u peni (Bulatovic 2007).

Iako određeni minerali imaju prirodnu flotabilnost (Heyes and Trahar 1977), postupak flotacije je gotovo nemoguć bez upotrebe kolektora.

Izbor odgovarajućeg kolektora je od suštinske važnosti za efikasnost procesa flotacije (Kawatra). Pojedini minerali imaju slične osobine u pogledu flotabilnosti, pa je potrebno izabrati odgovarajući kolektor koji ima selektivno dejstvo i koji omogućava njihovo efikasno razdvajanje (Ignatkina 2011). Iskorišćenje korisnih komponenti kao i brzina flotacije su takođe prepoznati kao bitni parametri prilikom izbora kolektora (Ackerman et al. 1987, Ackerman et al. 1987 i Ackerman et al. 1987). S obzirom da su kolektori organska jedinjenja njihov uticaj kako na zdravlje ljudi tako i na životnu sredinu može biti veoma veliki (Chen et al. 2011, Chockalingam et al. 2003, Deo and Natarajan 1998), pa je potrebno imati u vidu i taj aspekt prilikom izbora odgovarajućeg kolektora. Cena i potrošnja kolektora uvek imaju uticaja prilikom odabira jer je ekonomska isplativost jako bitna.

Kao što se može videti postoji veliki broj faktora koji imaju uticaja i o kojima treba voditi računa prilikom izbora optimalnog kolektora koji će se koristiti u flotaciji neke određene mineralne sirovine. Upravo iz tih razloga je potrebno primeniti neku od metoda koja će olakšati postupak izbora najpovoljnijeg kolektora, kao što je npr. teorija grubih skupova.

Teorija grubih skupova nudi efektivne metode koje se mogu primeniti u najrazličitijim granama industrije, ali i života, počev od veštačke inteligencije, preko medicine, ekonomije, prirodnih nauka, pa sve do tehničkih nauka kao što su građevinarstvo, elektrotehnika, rudarstvo, itd (Rissino and Lambert-Torres 2009, Wu et al. 2004). Ona dozvoljava karakterizaciju skupa objekata u pogledu vrednosti atribura, pronalaženje potpunih ili delimičnih zavisnosti između atributa, redukciju suvišnih atributa, određivanje značaja atributa i pronalaženje pravila odlučivanja. Primena teorije grubih skupova omogućava rešavanje složenih problema, te je stoga bila veoma interesantna istraživačima u poslednjih nekoliko godina i uspešno se primenjuje u mnogobrojnim zahtevnim oblastima kao soft computing metoda.



## 2. ODREĐIVANJE KRITERIJUMA

Postupak izbora flotacijskih reagenasa, posebno kolektora je veoma složen, upravo iz razloga velikog broja bitnih kriterijuma o kojima treba voditi računa. Ovaj postupak je obično praćen obimnim istraživanjima, međutim i pored toga odluka o najpovoljnijem kolektoru može da bude teška.

Kriterijumi koji se će biti korišćeni prilikom izbora kolektora pomoću teorije grubih skupova su izabrani na osnovu njihovog značaja za sam proces flotacije, a imajući u vidu iskustva istraživača. Izabrani kriterijumi su prikazani u tabeli br 1.

**Tabela 1:** Kriterijumi za izbor flotacijskog kolektora

Kriterijum	Opis kriterijuma
1. Iskorišćenje korisne komponente	Odabrani kolektor mora biti takav da obezbedi što veće iskorišćenje korisne komponente koju želimo da izdvojimo postupkom flotacije.
2. Selektivnost	Selektivnost kolektora mora da bude takva da se u procesu flotacije izvrši razdvajanje jednih vrsta minerala od drugih, odnosno da u koncentratu dominantno budu prisutni minerali komponente koju smo želeli da izdvojimo.
3. Brzina flotacije	Brzina procesa flotacije je bitna iz razloga što sa povećanjem brzine dolazi i do povećanja kapaciteta, tako da izabrani kolektor mora da obezbedi što veću brzinu.
4. Potrošnja	Količina kolektora koja se koristi, odnosno njegova potrošnja u procesu flotacije bi trebalo da bude što manja iz ekonomskih razloga.
5. Cena	Takođe i cena kolektora kao i potrošnja imaju veliki uticaj na ekonomsku isplativost, te bi i ona trebalo da bude što niža.
6. Uticaj na okolinu	Kolektori kao organska jedinjenja mogu da imaju veliki negativan uticaj kako na zdravlje radnika koji su zaposleni u pogonu, tako i na životnu sredinu kada putem jalovine dospeju u prirodno okruženje. Iz tog razloga je veoma bitno da njihov uticaj bude što manji.

Iz tabele 1 se može videti da postoji šest kriterijuma koji utiču na odabir najpovoljnijeg kolektora. Svi ovi kriterijumi imaju podjednak uticaj na sam postupak odabira. Ukoliko izabrani kolektor nije u stanju da obezbedi odgovarajuće iskorišćenje, selektivnost, kao i brzinu flotacije može se reći da nije pogodan, isto kao i ako ima preveliku cenu koštanja ili potrošnju. Uticaj na životnu sredinu naravno uvek treba da bude u propisanim granicama, odnosno kolektor koji nema uticaja ili koji ima mali uticaj na životnu sredinu bi trebalo da ima prednost u odnosu na kolektor sa velikim uticajem.

## 3. VREDNOVANJE FLOTACIJSKIH KOLEKTORA PRIMENOM TEORIJE GRUBIH SKUPOVA

Da bi se izvršilo vrednovanje flotacijskih kolektora primenom teorije grubih skupova potrebno je kriterijumima iz tabele 2, koji istovremeno predstavljaju i attribute uslova, dodeliti vrednosti koje će za sobom vući odgovarajuću vrednost atributa odluke koja može da bude pozitivna ili negativna. Vrednosti atributa su izražene lingvistički.

U tabeli 2 su predstavljene vrednosti atributa uslova.

**Tabela 2:** Vrednosti atributa uslova pri izboru flotacijskog kolektora

Atribut uslova	Vrednost atributa uslova
1. Iskorišćenje korisne komponente	a) visoko 81 – 100 %
	b) srednje 51 – 80 %
	c) malo 0 – 50 %
2. Selektivnost	a) dobra
	b) loša
3. Brzina flotacije	a) zadovoljavajuća
	b) nezadovoljavajuća
4. Potrošnja	a) mala

	b) velika
5. Cena kolektora	a) niska
	b) srednja
	c) visoka
6. Uticaj na okolinu	a) nema uticaja
	b) mali uticaj
	c) veliki uticaj

Atribut odluke jeste Odgovarajući kolektor i on ima dve vrednosti: a – da, b – ne.

Na osnovu datih kriterijuma izvršena je analiza i ocena osam različitih flotacijskih kolektora. Kolektori su prikazani oznakama od  $K_1$  do  $K_8$ .

U tabeli 3 su prikazani rezultati analize i ocene flotacijskih kolektora.

**Tabela 3:** Analiza i ocena flotacijskih kolektora

Kolektor	Atribut uslova						Atribut odluke: Odgovarajući kolektor
	1	2	3	4	5	6	
$K_1$	b	b	a	a	b	b	b
$K_2$	a	a	a	a	a	a	a
$K_3$	b	a	a	a	a	a	a
$K_4$	a	a	a	a	b	a	a
$K_5$	c	b	b	b	a	a	b
$K_6$	b	a	a	a	a	c	b
$K_7$	b	a	a	a	b	a	b
$K_8$	b	a	b	b	c	b	b

Iz tabele 3 se može videti da tri flotacijska kolektora ( $K_2$ ,  $K_3$  i  $K_4$ ) imaju pozitivnu vrednost atributa odluke Odgovarajući kolektor, odnosno mogu se koristiti u procesu flotacijske koncentracije.

Kolektori sa pozitivnom vrednošću atributa odluke ( $K_2$ ,  $K_3$  i  $K_4$ ) generišu sledeća pravila odlučivanja:

1. Kolektor  $K_2$ : ako (Iskorišćenje korisne komponente, visoko 81 – 100 %) i (Selektivnost, dobra) i (Brzina flotacije, zadovoljavajuća) i (Potrošnja, mala) i (Cena kolektora, niska) i (Uticaj na okolinu, nema uticaja)  $\Rightarrow$  onda (Odgovarajući kolektor, da).

2. Kolektor  $K_3$ : (Iskorišćenje korisne komponente, srednje 51 – 80 %) i (Selektivnost, dobra) i (Brzina flotacije, zadovoljavajuća) i (Potrošnja, mala) i (Cena kolektora, niska) i (Uticaj na okolinu, nema uticaja)  $\Rightarrow$  onda (Odgovarajući kolektor, da).

3. Kolektor  $K_4$ : (Iskorišćenje korisne komponente, visoko 81 – 100 %) i (Selektivnost, dobra) i (Brzina flotacije, zadovoljavajuća) i (Potrošnja, mala) i (Cena kolektora, srednja) i (Uticaj na okolinu, nema uticaja)  $\Rightarrow$  onda (Odgovarajući kolektor, da).

Posmatrajući samo ova tri kolektora može se izvući zaključak da atributi uslova: Iskorišćenje korisne komponente i Cena kolektora, nemaju jedinstvene vrednosti koje imaju pozitivnu vrednost atributa odluke. Naime, za vrednosti atributa uslova Iskorišćenje korisne komponente: a) visoko 81 – 100 % i b) srednje 51 – 80 %, vrednosti atributa odluke su pozitivne. Slično, za vrednosti atributa uslova Cena kolektora: a) niska i b) srednja, imamo pozitivne vrednosti atributa odluke. Imajući u ovo u vidu, može se reći da je tabela odlučivanja nekonzistentna zato što se u slučaju kolektora  $K_7$  generišu sledeća pravila odlučivanja: (Iskorišćenje korisne komponente, srednje 51 – 80 %) i (Selektivnost, dobra) i (Brzina flotacije, zadovoljavajuća) i (Potrošnja, mala) i (Cena kolektora, srednja) i (Uticaj na okolinu, nema uticaja)  $\Rightarrow$  onda (Odgovarajući kolektor, da), odnosno vrednosti atributa uslova, pojedinačno, su iste kao i u slučaju kolektora  $K_3$  i  $K_4$  koji imaju pozitivnu vrednost atributa odluke dok kolektor  $K_7$  ima negativnu vrednost.

Sve ovo dodatno usložnjava izbor najpovoljnijeg kolektora za proces flotacije zato što nam tabela odlučivanja nije dala odgovor na pitanje koji je od predloženih osam kolektora najpovoljniji. Prema tome potrebno je dodatno ograničiti vezu između vrednosti atributa uslova i vrednosti atributa odluke. U tabeli 4 su prikazane vrednosti atributa uslova i njima odgovarajuće vrednosti atributa odluke.

**Tabela 4:** Vrednosti atributa uslova i atributa odluke pri izboru flotacijskog kolektora

Atribut uslova	Vrednost atributa uslova	Odgovarajući kolektor
1. Iskorišćenje korisne komponente	a) visoko 81 – 100 %	a) da
	b) srednje 51 – 80 %	b) ne
	c) malo 0 – 50 %	b) ne
2. Selektivnost	a) dobra	a) da
	b) loša	b) ne
3. Brzina flotacije	a) zadovoljavajuća	a) da
	b) nezadovoljavajuća	b) ne
4. Potrošnja	a) mala	a) da
	b) velika	b) ne
5. Cena kolektora	a) niska	a) da
	b) srednja	b) ne
	c) visoka	b) ne
6. Uticaj na okolinu	a) nema uticaja	a) da
	b) mali uticaj	b) ne
	c) veliki uticaj	b) ne

Iz tabele 4 se može videti da je za svaku pojedinačnu vrednost atributa uslova dodeljena tačno određena vrednost atributa odluke (pozitivna ili negativna). Na ovaj način se može izbeći da neke vrednosti atributa uslova imaju u jednom slučaju pozitivnu a u drugom negativnu vrednost atributa odluke. Sa tim u vezi, potrebno je ponovo izvršiti analizu i ocenu predloženih kolektora.

U tabeli 5 su prikazani rezultati ponovne analize flotacijskih kolektora.

**Tabela 5:** Ponovna analiza i ocena flotacijskih kolektora

Kolektor	Atribut uslova						Atribut odluke
	1	2	3	4	5	6	
<b>K<sub>1</sub></b>	b	b	a	a	b	b	b
<b>K<sub>2</sub></b>	a	a	a	a	a	a	a
<b>K<sub>3</sub></b>	b	a	a	a	a	a	b
<b>K<sub>4</sub></b>	a	a	a	a	b	a	b
<b>K<sub>5</sub></b>	c	b	b	b	a	a	b
<b>K<sub>6</sub></b>	b	a	a	a	a	c	b
<b>K<sub>7</sub></b>	b	a	a	a	b	a	b
<b>K<sub>8</sub></b>	b	a	b	b	c	b	b

Na osnovu ponovne analize predloženih flotacijskih kolektora, prema uslovima prikazanim u tabeli 4, se može videti da samo kolektor **K<sub>2</sub>** zadovoljava sve kriterijume kao najpovoljniji flotacijski kolektor.

#### 4. ZAKLJUČAK

Flotacijski kolektori, organska jedinjenja koja se koriste su procesu flotacijske koncentracije, predstavljaju jednu od ključnih karika u lancu za uspešno odvijanje samog procesa. Samim tim, izbor odgovarajućeg kolektora je veoma bitan. Međutim, proces izbora flotacijskog kolektora može biti složen usled velikog broja uticajnih faktora. Kako bi smo u izvesnoj meri pojednostavili proces izbora primenili smo teoriju grubih skupova koja se pokazala kao efektivna metoda u rešavanju složenih problema iz različitih oblasti.

Primenom teorije grubih skupova izvršili smo analizu i ocenu osam različitih flotacijskih kolektora. Tokom analize primetili smo da su iste vrednosti pojedinih atributa uslova u nekim slučajevima imale pozitivnu vrednost atributa odluke a u drugim slučajevima negativnu što je dodatno komplikovalo proces izbora, te je bilo potrebno izvršiti ograničenja u pogledu pravila odlučivanja, odnosno svakoj vrednosti atributa uslova dodeliti odgovarajuću vrednost atributa odluke. Nakon toga izvršena je ponovna analiza svih osam kolektora sa ovako definisanim pravilima odlučivanja. Rezultati te ponovne analize su pokazali da je moguće uspešno izvršiti izbor flotacijskog kolektora primenom teorije grubih skupova.

## LITERATURA

- [1] Ackerman, P.K., Harris, G.H., Klimpel, R.R. & Aplan, F.F. (1987). Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, I. Common Sulfhydryl Collectors, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 21, 105-127.
- [2] Ackerman, P.K., Harris, G.H., Klimpel, R.R. & Aplan, F.F. (1987). Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, II. Non-Sulfhydryl Collectors, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 21, 129-140.
- [3] Ackerman, P.K., Harris, G.H., Klimpel, R.R. & Aplan, F.F. (1987). Evaluation of Flotation Collectors for Copper Sulfides and Pyrite, III. Effect of Xanthate Chain Length and Branching, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 21, 141-156.
- [4] Bulatovic, S. M. (2007). *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice, Volume 1: Flotation of Sulfide Ores*, Elsevier,.
- [5] Chen, S., Gong, W., Mei, G., Zhou, Q., Bai, C. & Xu, N. (2011). Primary biodegradation of sulfide mineral flotation collectors, *Minerals Engineering*, Vol. 24, 953–955.
- [6] Chockalingam, E., Subramanian, S. & Natarajan, K.A. (2003). Studies on biodegradation of organic flotation collectors using *Bacillus polymyxa*, *Hydrometallurgy*, Vol. 71, 249 – 256.
- [7] Deo, N. & Natarajan, K.A. (1998). Biological removal of some flotation collector reagents from aqueous solutions and mineral surfaces, *Minerals Engineering*, Vol. 11, No. 8, 717–738
- [8] Heyes, G.W. & Trahar, W.J. (1977). The natural flotability of chalcopyrite, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 4, 317—344.
- [9] Ignatkina, V. A. (2011). Selection of Selective Collectors for Flotation of Minerals with Similar Flotation Properties, *Russian Journal of NonFerrous Metals*, Vol. 52, No. 1, 1–7.
- [10] Kawatra, S. K., *Flotation Fundamentals*,  
[http://www.chem.mtu.edu/chem\\_eng/faculty/kawatra/Flotation\\_Fundamentals.pdf](http://www.chem.mtu.edu/chem_eng/faculty/kawatra/Flotation_Fundamentals.pdf)
- [11] Rissino, S. & Lambert-Torres, (2009). G.Rough Set Theory – Fundamental Concepts, Principals, Data Extraction, and Applications, In: J. Ponce, A. Karahoca (Eds.), *Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications*, I-Tech, Vienna, 35–58.
- [12] Wu, C., Yue, Y., Li, M. & Adjei, O. (2004). The rough set theory and applications, *Engineering Computations*, Vol. 21 No. 5, 488–511.

**SAOBRAĆAJ,  
TRANSPORT I  
KOMUNIKACIJE**



## PRICE DISPERSION IN DEREGULATED MARKET – CASE STUDY: WARSAW AIRPORT

DANICA BABIĆ<sup>1</sup>, SLAVICA DOŽIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, {d.pavlovic, s.dozic}@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *This paper examines the existence of dispersion in prices charged to passengers on the same route in the European air transport market. The price dispersion is measured on the routes served from the Warsaw Airport using the Gini index as a proxy of price discrimination. The factors influencing price dispersion are recognized and indicate that the price dispersion may result from increasing competition coming from low cost carriers.*

**Keywords:** *Price Dispersion, Gini index, Competition.*

### 1. INTRODUCTION

Airline pricing after deregulation of air transport is significantly different compared to the regulated period. Under regulation, there were many government constraints that curtailed airline's freedom in establishing prices. Prices were set primarily on the basis of the kilometres flown and were the product of air service agreements signed between governments. After deregulation, airlines experienced more flexibility in their pricing strategies, but this raised new problems.

Pricing in airline industry is one of the most complex processes for airlines because of the structure of the demand for their services. Air travel demand is characterized by fluctuations (daily, weekly and seasonal variations), consumer heterogeneity (in travel behaviour and willingness to pay) and uncertainty related to passenger's departure date or even the ultimate destination of the journey (Cento 2009). On the other hand, airline supply is limited by aircraft capacity and has a very perishable nature (the unsold seats cannot be sold after the flight is departed). To overcome this problem almost all airlines nowadays adopted some kind of yield management techniques to allocate limited and highly perishable resources among differentiated consumers.

For better understanding of the complex airline pricing system, one cannot overlook the influence of the airline costs on the prices. Cost factors are often used to explain the high level of business class prices, having in mind that this kind of product is very expensive to produce (more seating comfort, improved cabin service, etc.). This kind of cost justification is much more difficult to find for the different prices charged to passengers in the economy class. All passengers sit in the same type of seat and receive the same in-flight service. The differences between the products available to the passengers of full economy price and the promotional price are that the former permits flexibility when booking is made and when the journey is undertaken, as well as ticket cancellation and re-booking. In this case, price discrimination<sup>1</sup> could be used as more explanatory for price differentiation.

Many authors tried to explore the drivers of the price dispersion in the airline industry. Borenstein and Rose (1994) use the Gini index to measure the inequality of prices as a proxy of price discrimination. They find that price dispersion cannot be explained only by cost differences, but with market structure, too. Moreover, they find that market competition has a positive impact on the price dispersion possibly reflecting a pattern of discrimination against customers who are less willing to switch to alternative flights or airlines. Hayes and Ross (1998) extend the model of Borenstein and Rose (1994) by using more measures of price dispersion. They find that price dispersion is influenced by more competition on routes and peak-load pricing. Stavins (2001) supports the earlier findings of positive correlation between market concentration and price discrimination by examining the effects of ticket restrictions on prices. Dana (1999) and Gerardi and Shapiro (2007) provide an alternative explanation of the Borenstein and Rose's (1994) findings arguing that market competition has inverse influence on the price dispersion. Chi et al. (2009) explore price dispersion in the U. S. airline industry by highlighting individual airline's price discrimination strategies. They find that operating cost, demand and market power characteristics are important determinants of price dispersion.

<sup>1</sup> Price discrimination occurs when a firm sells the same or almost the same products at different prices to different customers.

Also, they find that a single airline uses different pricing strategies depending on conditions of the segment market (existence of low cost carriers (LCC), hub airport, tourism areas etc.). Tan (2013) studies incumbent price response to the entry by LCC in U. S. airline industry. He finds that incumbent airlines decrease their mean price, 10<sup>th</sup> percentile price and 90<sup>th</sup> percentile price before and after the entry by LCC. The entry by LCC does not ultimately affect price dispersion.

All these studies are based on the data from the U. S. airline industry. In contrast to the numerous empirical studies regarding the price dispersion in U. S. airline industry, the empirical evidence with respect to the price dispersion on the routes in Europe is still limited. Obermeyer et al. (2013) investigate the influence of competition on price dispersion on European airline markets by conducting a cross-sectional analysis. They confirm an inverse U-shaped relationship between the degree of competition and magnitude of price dispersion for economy class flights. To add to the evidence of the price dispersion in the European airline industry, this paper examines whether the similar pattern of price dispersion could be observed in the European air transport market. We measure the price dispersion on the routes served from the Warsaw Airport using the Gini index as a proxy of price discrimination.

The paper is organized as follows. After the introduction and literature review, the research methodology is presented. In the third section, the data related to Warsaw Airport are described, followed by a detailed analysis of the research's main findings. Finally, section 4 concludes the research.

## 2. THEORETICAL FRAMEWORK

Different measures can be used to quantify the level of price dispersion. The most common are coefficient of variance, standard deviation, Gini index and entropy measures (e.g. the Theil Index and the Atkinson index, Obermeyer et al. 2013). According to Borenstein and Rose (1994), the Gini index is an appropriate measure of price dispersion because it is easy to identify the routes with high variation in airline prices. The Gini index measures the inequality among values of a frequent distribution. In this case – the inequality among prices paid by the passengers traveling on the same route. The Gini index is adjusted for the purpose of this research and it is defined by (1):

$$G = 1 - \sum_{i=1}^n \left[ \frac{Pax_i}{TotalPax} \cdot \left( \sum_{j=1}^i \frac{Pax_j \cdot Fare_j}{Total Revenue} + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{Pax_j \cdot Fare_j}{Total Revenue} \right) \right] \quad (1)$$

The prices are ranked in the non-increasing order. The variable  $Pax_i$  represents the number of passengers who bought the ticket at  $i$ -th price.  $TotalPax$  represents the total number of passengers on the route concerned.  $Fare_i$  represents the ticket at  $i$ -th price.  $TotalRevenue$  is the sum of the product of  $i$ -th price and the number of passengers who bought the ticket at  $i$ -th price.

The range of Gini index is between 0 and 1. A Gini coefficient of 0 expresses perfect equality (everyone bought the ticket at the same price). A Gini coefficient of one expresses maximal inequality among values (all passengers bought their tickets at different prices). It is evident from the (1) that Gini cannot reach its theoretical maximum value of 1 in this case, because number of passengers is always greater than the number of prices offered to the passengers on the same route. However the maximum value of Gini index will vary depending on the number of prices offered to the passengers on the same route.

The Gini index is twice the area between 45 degree line (the line of absolute equality in prices) and the Lorenz curve. The Lorenz curve is defined as the proportion of total revenues contributed by the bottom  $x$  proportion of passengers,  $x \in (0,1)$  and passengers are ranked in non-increasing order by prices they paid. It is the generally accepted interpretation of Gini index that multiplying the Gini index by two gives the expected absolute difference in prices as a proportion of the mean price for two passengers drawn at random from a population (Borenstein and Rose 1994). This means that Gini index of 0.15 will imply that two prices drawn at random would vary by 30% of the mean price on that route. Besides price dispersion, the Gini index could be used to compare diverse routes and market structures, as well as different business models among airlines on the same route. Many authors found evidence of decreasing price dispersion with increasing market concentration (increasing dominance of one airline). To determine market concentration on the route, we use the Herfindahl-Hirschman index (HHI) defined by (2), (ICCSAI, 2008):

$$HHI = \sum_{j=1}^n s_j^2 \quad (2)$$

where  $n$  is the number of airlines operating on the particular route and  $s_j$  is airline's  $j$  share (%) of the total traffic on that route. The airline's share of total traffic on the route is measured by airline weekly capacity

expressed through the weekly number of seats offered on that route. The HHI has a maximum value of 10000 which implies the presence of only one airline on the route (with 100% share). The minimum value of the HHI implies that all airlines present on the route have equal shares of traffic and depends on the number of competitors on the route.

### 3. CASE STUDY

This case study presents an analysis of price dispersion on the routes from the *Frederic Chopin* International Airport in Warsaw, the Republic of Poland. The price dispersion is expressed by Gini index and together with HHI index; this paper analyzes the impact of market power and market structure on the price dispersion on the routes from Warsaw Airport.

The Republic of Poland is a country in Central Europe and a member of the European Union from the year 2004. Population in Poland stands at about 38.4 million which puts it in the top ten countries with the highest population in Europe. According to the World Bank data for Poland, GDP for the year 2013 was 498 billion of USD, and together with the GDP growth rate of 1.6%, Polish economy is recognized as one of the fastest growing within the Central-East Europe.

The air transport market in Poland was closed since the Open Sky Agreement was signed in January 2001. The liberalization of air market and emergence of LCCs in Poland were the main drivers for fast air traffic development, (Huderek 2008). Airport network in Poland consist of one central airport located in capital city – Warsaw and eleven regional airports. Under regulation air traffic was centralized and more than 80% of flights in Poland were realized from central Warsaw airport. The regional airports were mostly used for domestic flights operated by LOT. After liberalization in air transport market LCCs started to operate from regional airports. The effect of LCCs is seen especially in the passenger traffic growth at the regional airports. Regional airports market share in traffic did not exceed 25% until 2004, while their share exceeded 50% in 2007, (Huderek 2008).

In 2012 total number of air passengers in Poland counts nearly 22 million (Eurostat 2014). The main hub airport in Poland is *Frederic Chopin* International Airport in Warsaw (9.6 million of air passengers in Poland use flights from/to this airport). It is, at the same time, the base airport for LOT Polish Airlines which serves 75% of all international flights to/from Poland. There are in average 300 daily flights operated by 33 airlines (5 LCCs and 28 traditional airlines) from the Chopin Airport to different domestic, international and intercontinental destinations. LOT Polish Airlines is a national airline, and the largest Polish airline. Its fleet consists of 36 aircraft operating on 50 routes from the Chopin Airport to Europe, Middle East, North America and Asia.

#### 3.1. Data

For the case study presented in this paper, data related to routes from the Chopin Airport are used. All routes that directly connect Warsaw with other airports according to timetable for summer 2014 are considered (78 routes). We divide all routes according to their length into three sets of routes. There are 34 short (up to 1000 km), 38 medium (1000-3000 km) and 6 long haul routes (more than 3000 km) connecting the Chopin Airport with other domestic and international airports.

Due to the fact that the data relating to the realized traffic were not available, the numbers of passengers who have paid ticket price concerned are generated randomly by using Microsoft Excel. The data are generated for weekly traffic on each route. An airline's average load factor is used to define the number of passengers that pay the ticket on selected flight operated by that airline. It is assumed that 5% of them fly in the business class. They are subtracted from the total number of passengers, because it is decided to analyze only passengers flying in economy class. This assumption is reasonable, because of the fact that price differentiation is very low within business class. Also, business class entails significantly different quality of service that raises airline costs and affects prices to go up, leaving little or no space for price discrimination.

Different ticket prices for return flight that will be performed within a month are taken from airlines' official web sites for each destination from the Chopin Airport. In order to cover all different prices offered to the passengers the authors considered all the flights that are close to departure and arrival date ( $\pm 7$  days). The authors also considered only direct flights due to the fact that indirect flights (one or more stops) means different kind of service and incurs additional costs. The ticket prices on the routes with competition are consolidated in one data set enabling calculation of the Gini index on the route considered. The calculation is done according to equation (1).

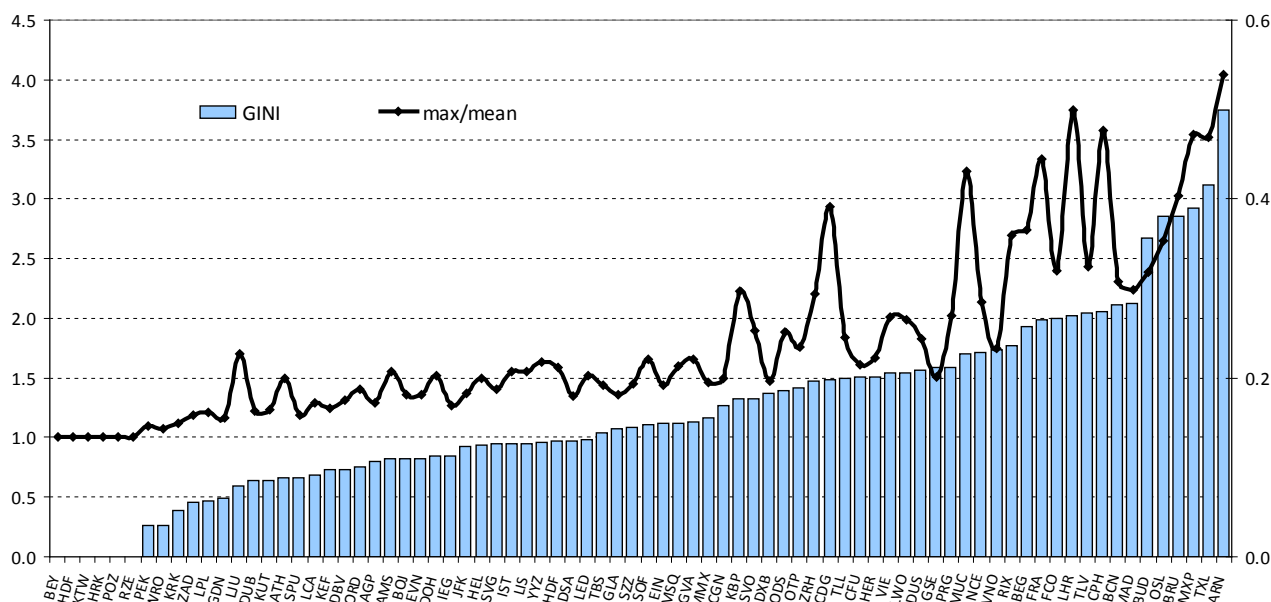


### 3.2. Price Dispersion Analysis

It should be mentioned that some of considered routes are monopolistic (52 routes), while competition can be perceived on the other (26) routes. LCCs operate 15 monopolistic routes, while the rest of routes (37) are operated by traditional carriers. As a competitor LCC appears on 12 routes. The number of ticket prices offered to passengers varies from minimal 1 on 6 routes (3 domestic and 3 international) to the maximal 52 on the route to Copenhagen.

The data reveals substantial dispersion in the prices that an airline charges to different passengers on the same route. The value of Gini index varies from 0 to 0.499 across the routes (Figure 1). The mean value is equal to 0.163, with standard deviation of 0.102 (Table 1). The mean value of 0.163 corresponds to an expected absolute price difference of 32.6% of the mean price for two passengers selected at random on a given route. The value of 0 corresponds to those routes with only one ticket price offered to passengers. The main characteristic of those routes is that they are served by one airline only (monopoly). The high value of Gini appears on the routes with the existence of high inequality of ticket prices offered to passengers. The maximum value of Gini (0.499) corresponds to the route from Warsaw to Stockholm. There are 22 different ticket prices on this route ranging from €28 to €777 (mean price is €192). It is a short route and it is served by two airlines, one is traditional, and the other one is a LCC, *LOT* and *Wizzair* respectively.

Although differentiation of ticket prices does not influence Gini, it is perceived that the ratio of maximal and mean ticket price on the considered route and Gini index are positively correlated (Figure 1). The correlation coefficient is equal to 0.88 and it points to the strong connection of these indicators.



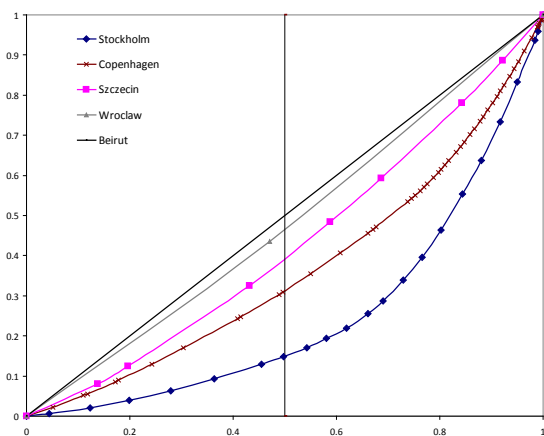
**Figure 1:** The values of Gini index and the ratio of maximal and mean ticket price on the routes

Comparison is made between the Gini indices at particular positions in the Gini index distribution, having Gini indices ranked in the non-decreasing order. The Lorenz curves that present minimum, 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup> and maximum percentile Gini indices are illustrated in Figure 2. Perfect equality (Gini index equals to zero) is when 50% of the passengers contribute with 50% of the revenue. On the route with 10<sup>th</sup> percentile Gini, the bottom half of passengers contribute with 46% of total revenues, while in the market with the 50<sup>th</sup> percentile Gini, the bottom half of passengers contribute with 39% of total revenues. Further on this contribution drops to 31% in the route with the 90<sup>th</sup> percentile Gini and reaches 15% in the route with the maximum Gini index.

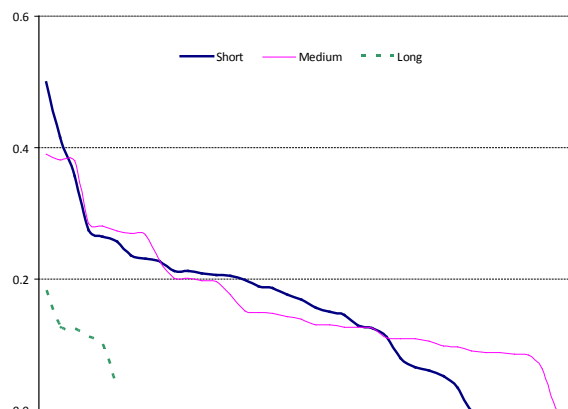
In order to analyse the effect of route concentration on price dispersion, routes with monopoly are separated from routes served by two or more airlines. Moreover, the HHI index is used as a measure of market concentration and its relationship with Gini index is analysed.

On the routes with monopoly, the Gini index varies from 0 to 0.416, with the mean value of 0.120 and standard deviation of 0.076 (Table 1). The exception in the monopoly set of routes is the route Warsaw – Berlin with the highest value of Gini index (0.416). Without this route, the maximum value of Gini index would be reduced almost by half (0.231). This could be explained with the fact that this route is served by *Air Berlin* which is a hybrid airline i.e. neither traditional nor LCC. This kind of airline business model usually results in highly differentiated ticket prices offered to passengers. In this particular case the range of

prices is €9-€120 with the mean price of €18. The distribution of Gini indices on monopoly routes without this route is more realistic and consistent with the earlier results from the literature which suggests that price dispersion due to discriminatory pricing may increase as airline markets become more competitive, (Borenstein and Rose 1994).



**Figure 2:** Gini index by percentiles



**Figure 3.** The values of Gini by route length

In addition, this claim is supported by the results obtained for Gini index on the routes with competition. The range of Gini index on these routes is from 0.088 to 0.499 (Table 1). The mean value (0.250) is higher in comparison to the mean value on the monopoly routes by 108% showing that there is an inverse relationship between price dispersion and market concentration. This result is confirmed by high correlation between Gini index and HHI (-0.61).

**Table 1:** Descriptive statistics for Gini index

Descriptive statistics	All routes	Monopoly routes	Competitive routes	Short routes	Medium routes	Long routes
Count	78	52	26	34	38	6
Mean	0.163	0.120	0.250	0.172	0.164	0.114
St. Deviation	0.102	0.076	0.095	0.115	0.096	0.048
Range	0.499	0.416	0.411	0.499	0.390	0.148
Minimum	0	0	0.088	0	0	0.035
Maximum	0.499	0.416	0.499	0.499	0.390	0.183

Analyzing the values of Gini index by route length, it could be observed that the price dispersion decreases with the increase of route length (Figure 3). As it can be seen in Table 1 the lowest mean value of Gini index appears on the long routes (0.114). The long routes are also characterized by existence of monopoly which further decreases the value of Gini index. The highest mean value of Gini index appears on the short routes (0.172). This could be explained by the fact that economy class passengers might be expected to be price sensitive because driving is another travel option on short haul routes. If an airline is able to identify price sensitive passengers through ticket restrictions, it would offer discounted fares to fill unsold seats on flights that might otherwise fly empty.

All short routes are further split into two subsets: one consisting of routes served only by traditional airline(s), and another one consisting of routes served by at least one LCC. The results show that on the monopoly routes served by LCCs appear the lowest mean prices (€5-€60) and the range of their Gini index is between 0.156 and 0.212. All short haul routes with at least one LCC are international ones. On the monopoly routes served by traditional airlines, the mean prices are between €4 and €15 and the range of their Gini index is between 0 and 0.231. These routes consist of domestic and international ones. Domestic routes served by one traditional airline are characterized by low mean prices (€4-€32), while for the international routes served by one traditional airline mean prices are significantly higher (€18-€15). Analyzing short routes by Gini index it can be observed that there is higher price dispersion on the international ones.

The results for competitive routes show lower mean prices (€187-€220) and higher price dispersion (in the range from 0.209 to 0.499) when the route is served by LCC and traditional airline together compared to the mean prices (€167-€435) and price dispersion (in the range from 0.150 to 0.274) when the route is served

by traditional airlines only. It is worth noting that the competitive routes without LCCs are served only by two airlines, while the routes with LCCs are served with two or more airlines. In addition, it can be observed from the results above that when the route is served by two traditional airlines there is no influence on the price dispersion as compared to the case when the route is served by one traditional airline. The only influence that can be noticed is that competition leads to lowering the mean prices.

The similar pattern appears on the medium routes. The lowest price dispersion is on the monopoly routes (served by LCC: 0-0.201; served by traditional: 0-0.229) and the highest is on the competitive routes with LCC (0.198-0.390). Again, on the routes served by traditional airlines, competition leads to lowering the mean prices, but does not have influence on price dispersion. All long haul routes are monopolies with lower Gini indices (0-0.183). This result suggests that entry of LCCs tends to decrease the mean price offered to the passengers on the route, as well as to increase price dispersion i.e. forcing traditional airlines to offer additional, lower prices.

#### **4. CONCLUSION**

The study in this paper supports the existence of significant price dispersion in the prices charged on the selected routes in the deregulated markets within the Europe. The results from the study imply that there is a strong influence of the market structure on the level of price dispersion for economy class flights on the particular route. The route concentration affects price dispersion in the way that higher route share by a particular airline leads to lower price dispersion. Entering the route by LCC leads to lowering the mean price and increasing price dispersion. Also, the results from the study imply that the price dispersion decreases with increasing of route length.

This study provides only preliminary results about the existence of price dispersion on the selected routes in Europe and is not exhaustive. Many factors that influence the price dispersion on the routes (route length, LCC existence, etc.) are only recognised but, because of the insufficient data and space limitation, are not fully tested and presented. The presented findings could be a useful guide for future research.

#### **Acknowledgement**

This research has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, as part of the project TR36033 (2011-2015).

#### **REFERENCES**

- [1] Borenstein, S. & Rose, N. L. (1994). Competition and price dispersion in the U.S. airline industry. *Journal of Political Economy*, 102, 653-683.
- [2] Cento, A. (2009). *The airline industry, challenges in the 21<sup>st</sup> Century*. Physica-Verlag, A Springer Company
- [3] Chi, J., Koo, W. W. & Lim, S. H. (2009). Carriers' price dispersion in the U.S. airline industry. *Journal of Transportation Research Forum*, 48(3), 38-58.
- [4] Dana, J. (1999). Equilibrium price dispersion under demand uncertainty: the roles of costly capacity and market structure. *The RAND Journal of Economics*, 30(4), 632-660.
- [5] Gerardi, C. & Shapiro, A. H. (2007). Does competition reduce price discrimination? New evidence from the airline industry. Working paper in Federal Reserve Bank of Boston, 07-7
- [6] Hayes, K. J., & Ross, L. B. (1998). Is airline price dispersion the result of careful planning or competitive forces? *Review of Industrial Organization*, 13, 523-541.
- [7] Huderek, S. (2008). Socio-economic impact of Low Cost Carriers on the Central-Eastern European market. Exemplification of Poland. G.A.R.S. Junior Researchers Workshop, Hogeschool van Amsterdam
- [8] ICCSAI Fact Book 2008 – Air Transport in Europe, International Center for Competitiveness Studies in the Aviation Industry, (2008).
- [9] Obermeyer, A., Evangelinos, C. & Puschel, R. (2013). Price dispersion and competition in European airline markets. *Journal of Air Transport Management*, 26, 31-34.
- [10] Stavins, J. (2001). Price discrimination in the airline market: the effect of market concentration. *Review of Economics and Statistics*, 83, 200-202.
- [11] Tan, K. M. (2013). Incumbent response to entry by low cost carriers in the U.S. airline industry. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2006471> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2006471>



## MATEMATIČKI MODEL SIMULTANOG FORMIRANJA VIŠEGRUPNIH VOZOVA

## MATHEMATICAL MODEL FOR SIMULTANEOUS MULTIGROUP TRAINS FORMATION

IVAN BELOŠEVIĆ<sup>1</sup>, MILOŠ IVIĆ<sup>1</sup>, MILAN MARKOVIĆ<sup>1</sup>, ALEKSANDAR MARKOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, i.belosević@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, aca@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu biće prikazan model binarnog celobrojnog programiranja za simultano formiranje višegrupnih teretnih vozova. Predloženi model je namenjen kao pomoć u fazi planiranja tehnologije rada i projektovanja kolosečnih kapaciteta. U radu je izvršeno poređenje matematičkog modela i tradicionalne metode simultanog formiranja zasnovano na realnim uslovima rada ranžirnih stanica. Sprovedene analize potvrdile su opravdanost primene tradicionalne metode u određenim slučajevima, a pokazale i mogućnost da ponuđeni model da rešenja koja su značajno bolja za kompleksnije slučajeve.

**Ključne reči:** matematičko modeliranje, eksploatacija železnica, planiranje kapaciteta železničkih stanica.

**Abstract:** This paper considers binary integer programming approach to simultaneous multigroup freight train formation. Proposed model is intended as a tool for the planning phase of technology and track sidings layout. Also, the paper presents a computational comparison of mathematical model and traditional simultaneous formation method based on realistic working conditions in marshalling yards. The comparison confirmed the validity of traditional method in certain cases, and ability of model to find out better solutions for complex cases.

**Keywords:** mathematical modeling, railway operations, railway station capacity planning.

### 1. UVOD

Za efikasno funkcionisanje železničkog saobraćaja stanice imaju ključnu ulogu. U njima se javlja čitav niz problema iz oblasti dimenzionisanja infrastrukturnih kapaciteta i planiranja tehnologije rada, a koji ujedno predstavljaju i osnovne optimizacione probleme u železničkom saobraćaju.

Formiranje višegrupnih vozova jedan je od problema optimizacije rada železničkih stanica. Ova kategorija vozova formira se od dve ili više grupa kola, koje su posebno, svaka za sebe, izranžirane i uvrštene u voz prema odredištima za koje se upućuju. Formiranjem višegrupnih vozova omogućava se koncentracija manevarskog rada na manji broj stanica, što dovodi do racionalizacije kapaciteta u usputnim i odredišnim stanicama gde se manevrisanje svodi na izdvajanje već formiranih grupa kola.

Nastojanje železničkih uprava da izvrše koncentraciju manevarskog rada na što manji broj stanica i otpočinu primenu „čvrstog reda vožnje i u teretnom saobraćaju aktuelizuje razmatranje primene metode simultanog formiranja višegrupnih vozova. Simultana metoda pruža mogućnost jednovremenog formiranja više višegrupnih vozova, čime se ublažava zavisnost ukupnog vremena formiranja od broja vozova za otpremu.

Počeci primene simultanog formiranja višegrupnih vozova zabeleženi su u radovima (Bourgeois and Valette 1940, Pentiga 1959). U radu (Daganzo 1986) izvršena je matematička formulacija, dok su simulacioni modeli metoda formiranja višegrupnih vozova predstavljali temu radova (Marton 2005, Belošević *et al.* 2012). U ovim radovima izvršena je analiza efekata primene metoda u realnim uslovima rada menjanjem različitih parametara okruženja.

U istraživanjima (Eggermont *et al.* 2009, Jacob *et al.* 2011, Boysen *et al.* 2012) pokazano je da problem simultanog formiranja višegrupnih vozova pripada klasi NP teških problema. U radu (Jacob *et al.* 2011) predložen je efikasan način interpretacije višefaznog procesa sortiranja kola u toku formiranja vozova u formi binarnih kodova. Ovaj način kodiranja iskorišćen je u radu (Maue and Nunkesser 2009) za formulisanje modela matematičkog programiranja koji iznalaze mape kretanja kola u procesu njihovog sortiranja u cilju minimiziranja ukupnog broja pomeranja kola. U pomenutom radu izvršena je optimizacija sortiranja kola za konkretne uslove rada ranžirne stanice *Lausanne Triage* u Švajcarskoj.

Za razliku od pomenutih radova u kojima je predmet istraživanja korišćenje već izgrađenih ranžirnih stanica, u ovom radu predstaviće se model namenjen fazi planiranja tehnologije rada i projektovanja

kolosečnih kapaciteta. U dosadašnjim istraživanjima nije bilo posvećeno dovoljno pažnje istovremenom sagledavanju eksploatacionih uslovima i uslova projektovanja ranžirnih postrojenja koji, u nekim slučajevima, dovode u pitanje mogućnost realizacije teorijski formuliranih planova formiranja. Model je, poput prethodnih, baziran na pomenutom kodiranju i zadat u formi binarnog celobrojnog programiranja.

## 2. OPIS PROBLEMA SIMULTANOG FORMIRANJA VIŠEGRUPNIH VOZOVA

Za završno formiranje višegrupnih vozova u praksi se pretežno koriste metode uzastopnog formiranja vozova. Ove metode se nazivaju klasičnim metodama formiranja i kod njih se po završetku formiranja jednog voza prelazi na formiranje narednog. Simultana metoda se koristi za jednovremeno formiranje više višegrupnih vozova i može umnogome poboljšati parametre rada stanice. Specifičnost simultane metoda se pre svega odražava u primenjenoj tehnologiji nakupljanja kola prema redosledu pripadajućih uputnih stanica, odnosno prema grupama kola koja pripadaju uputnim stanicama istog indeksa za različite vozove, a ne prema vozovima. Ovo dovodi do razlike u angažovanim kolosečnim kapacitetima, a samim tim i u efektima izvršenja celokupnog procesa formiranja.

Detaljan opis metode dat je u radu (Ivić *et al.* 2013). Veza između maksimalnog broja uputnih stanica u nekom od vozova  $g_{\text{ups}}^{\text{max}}$  i potrebnog broja ranžirnih koloseka  $K_{\text{nak}}$  na kojima se obavlja nakupljanje kola i njihovo sortiranje prema rednim brojevima uputnih stanica data je relacijom (1), a opšta zakonitost nakupljanja kola na kolosecima relacijom (2).

$$K_{\text{nak}} = \lceil \log_2 (g_{\text{ups}}^{\text{max}} + 1) \rceil \quad (1)$$

$$g_{ki} = 2^{k-1} + 2^k(i-1), \quad k = 1, \dots, K_{\text{nak}}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

## 3. MATEMATIČKO MODELIRANJE SIMULTANOG FORMIRANJA VIŠEGRUPNIH VOZOVA

Matematičko formulisanje procesa sortiranja kola u toku simultanog formiranja višegrupnih vozova se zasniva na binarnom sistemu kodiranja izloženom u radu (Jacob *et al.* 2011). Za ovu binarnu interpretaciju potrebno je grupisati kola prema redosledu uputnih stanica, odnosno formirati kolski tok  $W = \{1, \dots, N\}$  koji je potrebno sortirati prema uputnim stanicama na raspoloživim kolosecima  $t_j, j = \{1, \dots, n_k\}$ . U postojećoj formi simultanog formiranja, koloseci se koriste tačno jednom za izvlačenje kola u procesu sortiranja, pa će se i u ovoj formulaciji pretpostaviti da je broj izvlačenja jednak broju koloseka  $h_j = t_j, j = \{1, \dots, n_k\}$ .

Model celobrojnog programiranja koristi binarnu formulaciju, gde promenljive  $h_j$  predstavljaju realizaciju  $j$ -tog izvlačenja,  $x_j^i$  stanje kola  $i$  u trenutku  $j$ -tog izvlačenja i  $y_j^i$  angažovanje koloseka  $j$  od strane kola  $i$ . Kako potreban broj koloseka nije unapred poznat u modelu će se postaviti virtuelan broj raspoloživih koloseka  $\eta$  koji predstavlja gornju granicu broja koloseka, a samim tim i izvlačenja u modelu. Ovako definisan model ima matematičku formulaciju u obliku:

$$\min \Xi a \sum_{j=1}^{\eta} h_j + b \sum_{j=1}^{\eta} \sum_{i=1}^N x_j^i + c \sum_{j=1}^{\eta} \sum_{i=1}^N y_j^i \quad (3)$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{j=1}^{\eta} 2^{j-1} x_j^i \geq 1, \quad i = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{\eta} 2^{j-1} x_j^i - \sum_{j=1}^{\eta} 2^{j-1} x_j^{i-1} \geq 1, \quad i \in F \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{\eta} 2^{j-1} x_j^i - \sum_{j=1}^{\eta} 2^{j-1} x_j^{i-1} \geq 0, \quad i \in W \setminus F \quad (6)$$

$$h_j - x_j^i \geq 0, \quad j = \{1, \dots, \eta\}, i \in W \quad (7)$$

$$y_j^i - x_j^i \geq 0, \quad j = \{1, \dots, \eta\}, i \in W \quad (8)$$

$$h_j - h_{j+1} \geq 0, \quad j = \{1, \dots, \eta - 1\} \quad (9)$$

$$q_{sr} \sum_{i=1}^N x_j^i \leq Q_{max}, \quad j = \{1, \dots, \eta\} \quad (10)$$

$$l_{sr} \sum_{i=1}^N y_j^i \leq \vartheta L_{max}, \quad j = \{1, \dots, \eta\} \quad (11)$$

$$l_{sr} \sum_{i=1}^N y_j^i - l_{sr} \sum_{i=1}^N y_{j'}^i \leq M(1 - h_j) + k, \quad j = \{1, \dots, \eta\}, j' = \{1, \dots, \eta\} \quad (12)$$

$$x_j^i, y_j^i, h_j \in \{0, 1\}, \quad j = \{1, \dots, \eta\}, i \in W \quad (13)$$

gde su:

$i$  – indeks kola koja učestvuju u procesu formiranja vozova,  $i \in W$

$j$  – indeks izvlačenja (koloseka) u toku sortiranja kola,  $j = \{1, \dots, \eta\}$

$\eta$  – virtuelni broj raspoloživih koloseka

$a, b$  – normativni koeficijenti vremena formiranja

$c$  – koeficijent angažovanja kolosečnih kapaciteta

$F$  – podskup kolskog toka  $W$ , u kojem se nalaze kola čiji se indeks uputne stanice razlikuje od indeksa prethodnih kola

$Q_{max}$  – maksimalna dozvoljena masa sastava pri izvlačenju

$L_{max}$  – maksimalna dužina koloseka izražena u broju kola koja se može nakupiti na njima

$q_{sr}$  – prosečna masa jednih kola

$l_{sr}$  – prosečna dužina jednih kola

$M$  – „big M“, veliki prirodan broj,

$h_j$  – realizacija  $j$ -tog izvlačenja

$x_j^i$  – stanje kola  $i$  u trenutku  $j$ -tog izvlačenja

$y_j^i$  – angažovanje koloseka  $j$  od strane kola  $i$ .

Primaran deo funkcije cilja (3) predstavlja ukupno vreme trajanja formiranja i ono je u funkcionalnoj zavisnosti od broja izvlačenja  $h_j$  i broja pomeranja kola  $x_j^i$ . Koeficijenti  $a$  i  $b$  se dobijaju na osnovu normiranja ukupnog vremena trajanja svih manevarskih i tehnoloških operacija jednog ciklusa izvlačenja kola sa ranžirnog koloseka na ranžirni breg. Sekundarni deo doprinosi racionalnom korišćenju koloseka, odnosno smanjenju dužina koloseka. Ukupne dužine koloseka su predstavljene preko sume angažovanja koloseka  $j$  od strane kola  $i$ , pri čemu koeficijent  $c$  predstavlja „penal“ angažovanja jedinične dužine koloseka.

Ograničenja (4), (5) i (6) definišu redosled sortiranja kola i u skladu su sa osnovnim principima binarnog predstavljanja kretanja kola (teorema 1 rada (Jacob *et al.* 2011)). Tehnološka pravila za izvršavanje simultanih metoda su ugrađena u ograničenja (7), (8) i (9). Ova ograničenja imaju sledeće značenje:

- Izvlačenje kola sa koloseka obavlja se ukoliko postoje barem jedna kola čiji kod kretanja u toku sortiranja predviđa dato izvlačenje (7).
- Potreba za angažovanjem dodatne jedinične dužine koloseka  $j$  predstavlja rezervisanje jedinične dužine za nakupljanje kola  $i$  na koloseku  $j$  (8).
- Svako izvlačenje odnosno novo angažovanje koloseka je prema redosledu koloseka u kolosečnoj grupi (9).

Ograničenja sa stanovišta eksploatacije i projektovanja ranžirnih postrojenja su sadržana u ograničenjima (10), (11) i (12). Kako je vreme izvlačenja u linearnoj zavisnosti od broja kola koja se izvlače dobija se da je



najcelishodinija strategija objedinjenog izvlačenje svih kola sa koloseka. Iz tog razloga ukupna masa kola koja se nakupljaju na jednom koloseku ne sme preći maksimalnu dozvoljenu masu sastava  $Q_{max}$ . Ovo ograničenje je iskazano preko prosečne mase jednog vagona i broja kola u sastavu koji se izvlači (10). Da bi kola stizala do kraja koloseka, bez dodatnog manevarskog rada, dužine koloseka treba da budu u skladu sa visinom ranžirnog brega, jer svaka neusklađenost povećava troškove izgradnje, održavanja i ranžiranja. Zbog toga je dato ograničenje dužine koloseka do celishodne dužine nakupljanja  $L_{max}$  kola (11), a da bi se omogućilo međusobno racionalno povezivanje koloseka njihove dužine moraju biti ujednačene (12).

#### 4. TESTIRANJE MODELA

U cilju testiranja predloženog matematičkog modela izvršeno je njegovo poređenje sa tradicionalnom formulacijom metode simultanog formiranja višegrupnih vozova. Računarski modeli izgrađeni za potrebe ovog rada projektovani su da se dobiju pokazatelji koji odgovaraju realnim uslovima pri primeni simultanih metoda. Ulazni podaci koji su korišćeni pri testiranju modela prikazani su u tabeli 1. Neophodno vreme za sortiranje kola prema uputnim stanicama normirano je na osnovu statističkog uzorka koji je dobijen sprovedenim snimanjima na mreži pruga Železnica Srbije. Maksimalna dužina jednog koloseka  $L_{max}$  usvojena je na osnovu preporuka za projektovanje ranžirnih stanica i analize postojećih visina ranžirnih bregova u stanicama regiona. Maksimalna dozvoljena masa sastava pri izvlačenju  $Q_{max}$  dobijena je na osnovu vučnih karakteristika manevarskih lokomotiva koje se koriste u pomenutim ranžirnim stanicama.

Sprovedenim testiranjem vršena je promena kako veličine kolskog toka koji treba jednovremeno formirati, tako i broja uputnih stanica u višegrupnim vozovima. Analizirani su kolski tokovi u rasponu od 50 do 150 kola po ciklusu formiranja. Testiranje uticaja broja uputnih stanica u formiranim vozovima je menjanjan u rasponu od 5 do 10, pri čemu je pretpostavljena ravnomerna raspodela kola po grupama.

**Tabela 1:** Ulazni parametri

Parametar	Vrednost
Vreme trajanja tehnološkog ciklusa koraka sortiranja	$T^c = 19.1 + 0.7x^{sas}$ [min]
Maksimalna dužina koloseka $L_{max}$ (izražena u broju kola)	50
Maksimalna dozvoljena masa sastava pri izvlačenju $Q_{max}$	1900 [t]
Dozvoljeno odstupanje u dužinama koloseka $k$ (izražena u broju kola)	10

U okviru analize rezultata predstavljeni su izlazni rezultati koji su značajni za kvalitet rada stanica, odnosno funkcionisanje sistema u slučajevima primene posmatranih metoda simultanog formiranja višegrupnih vozova. Za potrebe ovog rada analizirano je:

- vreme potrebno za formiranje svih vozova i
- angažovanje koloseka.

Vreme potrebno za formiranje svih vozova se odnosi na vreme od trenutka kada počinje prvo izvlačenje kola ili grupa kola koja su nakupljena, pa do trenutka kada su sastavi sortirani i formirani prema redosledu uputnih stanica u vozovima. U tabeli 2 date su dobijene vrednosti trajanja formiranja višegrupnih vozova.

**Table 1:** Vremena formiranja vozova

Broj grupa	Metoda	Kolski tok				
		50	75	100	125	150
5	Tradicionalna	109	151	192	241	283
	BIP model	106	136	160	183	200
6	Tradicionalna	112	149	220	252	280
	BIP model	109	140	177	196	219
8	Tradicionalna	134	173	244	280	314
	BIP model	128	154	180	219	239
10	Tradicionalna	139	175	243	290	338
	BIP model	132	160	188	226	258

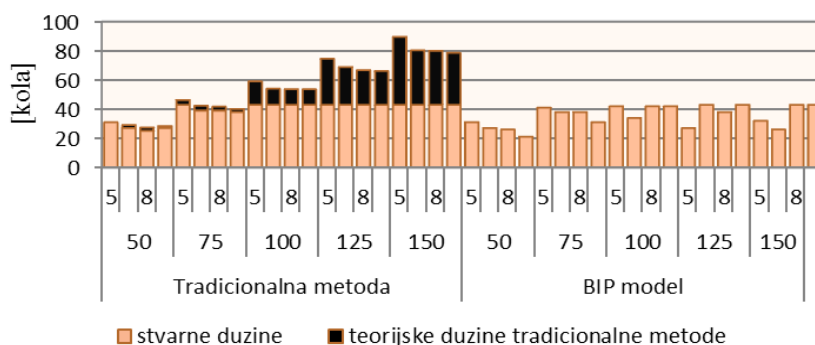
Na osnovu jednačine vremena formiranja vozova koja se sastoji iz sabiranja tehnoloških ciklusa pojedinačnih koraka sortiranja (tabela 1), dolazi se do direktne zavisnosti vremena formiranja od broja kola sa kojima treba obaviti rad, ali i od broja izvlačenja. U realnim uslovima rada pri primeni tradicionalne

metode broj izvlačenja ne zavisi u tolikoj meri od broja uputnih stanica kao u teorijskoj formulaciji, što se posebno odnosi na slučajeve rada sa većim brojem kola.

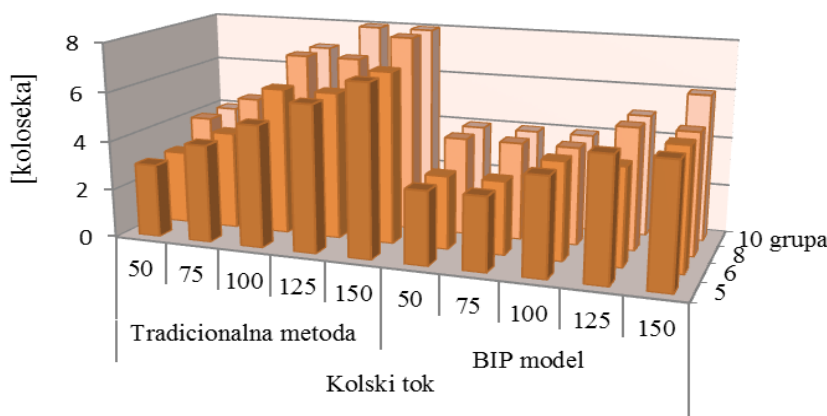
Poređenje dobijenih vrednosti matematičkog modela i tradicionalne metoda pokazuje da za male kolske tokove tradicionalna metoda daje dobre rezultate, ali da u slučajevima većih kolskih tokova (preko 100 kola) i većeg broj grupa (preko 8 grupa) dobijena vremena formiranja imaju znatna odstupanja u odnosu na vrednosti matematičkog modela. Dobijeni rezultati pokazuju da primena predloženog matematičkog modela može dovesti do znatnih ušteda u vremenu formiranja vozova.

U pokazatelje angažovanja kolosečnih kapaciteta pre svega spadaju broj i dužine koloseka potrebnih za realizaciju procesa formiranja. Analizom maksimalnih dužina koloseka (slika 1) dobijenih na osnovu teorijske formulacije tradicionalne metode uočava se da u uslovima većih kolskih tokova (preko 100 kola) dužine koloseka prevazilaze maksimalnu dozvoljenu dužinu. To za posledicu ima povećanje potrebnog broja koloseka adekvatnih dužina. Granična eksploataciona vrednost je dobijena na osnovu ograničenja sa stanovišta maksimalne mase sastava i projektovanja ranžirnih koloseka iskazanih u tabeli 1. Matematički model angažuje kraće koloseke, čije dužine ne prevazilaze graničnu vrednost. Sve dužine su izražene u broju kola koja se mogu smestiti na kolosek.

Na slici 2 prikazan je potreban broj koloseka za sortiranje kola u toku formiranja višegrupnih vozova. Zbog dodatnog uvećanja u slučaju prekoračenja granične eksploatacione dužine koloseka, potreban broj koloseka u slučaju primene tradicionalne metode nije u tolikoj meri zavisn od broja grupa koliko od veličine kolskog toka i veći je u odnosu na matematički model. Po pitanju angažovanja koloseka uočava se da matematički model dovodi do znatnih ušteda, angažujući manji broj kraćih koloseka.



Slika 1: Maksimalne dužine koloseka



Slika 2: Potreban broj koloseka

## 5. ZAKLJUČAK

Dosadašnje tehnološko planiranje i projektovanje železničkih stanica se najčešće vršilo odvojeno bez detaljnog sagledavanja njihovih međusobnih uslovljenosti. To je dovelo do toga da su se tek u procesu



eksploatacije uočavali eventualni nedostaci izgrađenih stanica. Ti nedostaci su se najviše ogledali u neusaglašenosti primenjene tehnologije rada i kapaciteta stanice. Za razliku od postojeće prakse, u ovom radu predložen je matematički model simultanog formiranja višegrupnih vozova koji povezuje i objedinjava tehnološko planiranje i projektovanje ranžirnih stanica u cilju optimizacije ranžirnog sistema još u ranoj fazi planiranja.

Analiza efekata primene predloženog matematičkog modela i tradicionalne metode simultanog formiranja višegrupnih vozova pokazala je ograničene mogućnosti tradicionalne metode u odnosu na matematički model. U slučajevima većeg broja kola i broja grupa matematički model daje rešenja koja su značajno bolja u odnosu na dosadašnji pristup simultanog formiranja višegrupnih vozova.

Formulisanjem i testiranjem matematičkog modela uočena je mogućnost daljeg rada na njegovom usavršavanju. Predloženi matematički model je moguće dodatno usavršiti razradom funkcije cilja i postavljanjem ograničenja u skladu sa potrebama operativnog, taktičkog ili strateškog nivoa planiranja.

Testiranjem matematičkog modela uočeno je da se povećavanjem broja kola i broja grupa problem brzo usložnjava, a time i ograničava mogućnost primene egzaktnih metoda rešavanja. Još na nivou prosečnih dimenzija problema uočila se potreba za primenom neke od heurističkih metoda. U tom smislu dalja istraživanja treba usmeriti i u pravcu izrade heurističkih algoritama, čija bi „optimizirana“ rešenja trebalo uporediti po pitanju realnih pokazatelja rada sa rezultatima kako matematičkog modela tako i postojeće tradicionalne metode.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan uz podršku Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta, evidencioni broj 36012: „Istraživanje tehničko-tehnološke, kadrovske i organizacione sposobnosti Železnica Srbije sa aspekta sadašnjih i budućih zahteva Evropske unije“.

## LITERATURA

- [1] Belošević, I., Ivić, M., Kosijer, M. (2012). Conditions for simultaneous formation of multigroup freight trains. *Građevinar*, 64, 7, 553-563.
- [2] Bourgeois, M., Valette, M. (1940). Formation des trains de detail par la methode de la formation simultanée. *Revue générale des Chemins de fer*, 3-4, 131.
- [3] Boysen, N., Fliendner, M., Jaehn, F., Pesch, E., (2012). Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications. *European Journal of Operation Research*, 220, 1-14.
- [4] Daganzo, C.F. (1986). Static blocking at railyards: Sorting implications and track requirements. *Transportation Science*, 20, 3, 189-199.
- [5] Eggermont, C., Hurkens, C., Modelski, M., Woeginger, G. (2009). The hardness of train rearrangements. *Operations Research Letters*, 37, 2, 80-82.
- [6] Jacob, R., Márton, P., Maue, J., Nunkesser, M. (2011). Multistage methods for freight train classification. *Networks*, 57, 1, 87-105.
- [7] Ivić, M., Belošević, I., Milinković, S., Kosijer, M., Pavlović, N. (2013). Track properties for formation of pick-up trains. *Građevinar*, 65, 2, 53-63.
- [8] Márton, P. (2005). Experimental evaluation of selected methods for multigroup train formation. *Communications*, 2, 5-8.
- [9] Maue, J., Nunkesser, M. (2009). Evaluation of computational methods for freight train classification schedules. *ARRIVAL*, Technical report TR-0184.
- [10] Pentiga, K.J. (1959). Teaching simultaneous marshalling. *The Railway Gazette*, 590-593.



## ODREĐIVANJE ZNAČAJA VIDOVA SAOBRAĆAJA ZA BEOGRAD PRIMENOM HIBRIDNE METODE

### DEFINING THE PRIORITY OF TRANSPORT MODES FOR BELGRADE BY APPLYING HYBRID METHOD

NENAD BOJOVIĆ<sup>1</sup>, DRAGANA MACURA<sup>1</sup>, NEBOJŠA BOJOVIĆ<sup>1</sup>, DRAGUTIN KOSTIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {d.macura, nb.bojovic, d.kostic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U vremenu koje karakteriše velika ekonomska neizvesnost od posebnog značaja je pitanje koje se odnosi na ulaganja u ključne privredne grane. S toga, investiranje u saobraćaj predstavlja veoma složen zadatak, čije su posledice od dugoročnog i višestrukog uticaja na razvoj ne samo jednog grada i zemlje već čitavog regiona. Donošenje odluka za razvoj saobraćaja je višekriterijumski proces, na koji pored ostalog utiču političko stanje u regionu, ekonomska situacija u zemlji, postojeći nivo i intenzitet saobraćaja, i zaštita čovekove sredine. U ovom radu prikazan je jedan kompleksan pristup rešavanja problema rangiranja vidova saobraćaja, na osnovu diferenciranih kriterijuma, i u tu svrhu primenjena je hibridna višekriterijumska metoda.

**Ključne reči:** Saobraćajne investicije, Vidovi saobraćaja, Višekriterijumsko odlučivanje, Hibridna metoda

**Abstract:** In times of great economic uncertainty, investments in key industries are of paramount importance. Investing in transport is an especially complicated task, which consequences are long-lasting and valuable to, not only the city and country, but to the whole region. Decision making for traffic development is a multi-criteria process, which is among other things effected by the political situation in the region, economic situation in the country, current level and volume of the traffic, and environmental issues. In this paper, we are presenting a complex approach of solving the problem of ranking transport modes based on differentiated criteria, and for that purpose a hybrid multi-criteria method is applied.

**Keywords:** Transport investments, Transport modes, Multicriteria decision making, Hybrid method

## 1. UVOD

Saobraćajni sistem predstavlja jedan od najznačajnijih elemenata privrede i ekonomije i esencijalni je segment svakodnevnih potreba ljudi i dobara. Određivanje značaja vidova saobraćaja je zadatak koji treba da obezbedi optimalne transportne uslove kako bi se povećao kvaitet života u urbanim alglomeracijama. Beograd zbog svog geografskog položaja, pozicioniran na dve dominantne reke, na raskršću puteva, pruga i koridora, ima značajnu ulogu u povezivanju Evrope i Bliskog Istoka. Imajući u vidu da privreda, a onda i saobraćaj kao jedan njen važan element, je podvrgnuta uslovima visokog rizika i neizvesnosti. Donošenje odluka u ovoj oblasti je veoma složen zadatak, zbog uticaja velikog broja faktora. Promene, kao jedino stalno stanje tržišta, na transportnom tržištu donose nove mogućnosti, ali i određene rizike. Definisanje značaja svakog vida saobraćaja u okviru jednog grada, predstavlja kompleksan, višekriterijumski problem.

U ovom radu primenjen je model za poređenje vidova saobraćaja za region grada Beograda. Na osnovu relevantnih kriterijuma, kao što su: ekonomski razvoj, podesni troškovi, izvodljivost, zaštita životne sredine, socijalna zaštita, energetska efikasnost i politička klima; rangirana su četiri vida saobraćaja: železnički, drumski, vazdušni i vodni. Primenjeni su višekriterijumski pristupi: DEMATEL, ANP, VIKOR i SAW. Izlaz iz DEMATEL metode je ulaz za ANP pristup. Nakon primene ANP pristupa, primenjuju se VIKOR i SAW, čiji se rezultati međusobno porede, radi provere robustnosti rešenja modela.

Rad je organizovan na sledeći način. Posle Uvoda, dat je kraći opis korišćenih višekriterijumskih pristupa. Zatim, u trećem poglavlju prikazan je razvijen model za definisanje značaja vidova saobraćaja za područje grada Beograda. U četvrtom poglavlju predstavljeni su rezultati i diskusija. Konačno, poslednje poglavlje posvećeno je zaključnim razmatranjima.

## 2. HIBRIDNA METODA

Višekriterijumske metode koje koriste kombinaciju metoda radi podrške donosiocima odluka nazivaju se hibridnim metodama. U ovom radu primenjene su četiri višekriterijumske metode, i to: DEMATEL, ANP, VIKOR i SAW.

DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) je metoda testiranja i ocenjivanja odluka. DEMATEL metoda se može koristiti za grafički prikaz mape međuzavisnosti mrežnih uticaja između kriterijuma. Na ovaj način bolje se razumeju kompleksne strukture problema određivanja veza između faktora i jačine njihovih uticaja, kao i veze između nivoa.

ANP (Analytic Network Process) je višekriterijumski pristup za rešavanje problema koji imaju mrežnu strukturu. Thomas Saaty (Saaty 1996) je razvio ANP pristup da bi prevazišao problem neizvesnosti i povratne sprege između elemenata sistema koji se pojavljuju u realnom problemima.

VIKOR (višekriterijumska optimizacija i kompromisno rešenje) je metoda za određivanje kompromisnih ocena sa datim težinama za višekriterijumsku optimizaciju komplikovanih sistema (Oprićević 1998). Ovaj algoritam kompromisnog rangiranja predstavlja indeks višekriterijumskog rangiranja koji je zasnovan na meri blizine idealnom rešenju (Oprićević and Tzeng 2007).

SAW (Simple additive method) je tradicionalna, jednostavna i najčešće korišćena metoda, koja omogućava komparaciju težina kriterijuma. SAW se smatra najintuitivnijom i najlakšom metodom za rešavanje višekriterijumskih problema. Linearna aditivna funkcija koja se koristi u ovoj metodi predstavlja preference donosioca odluke.

U ovom radu primenjena je hibridna metoda za definisanje značaja vidova saobraćaja za region Beograda. Model je detaljno predstavljen u narednom poglavlju.

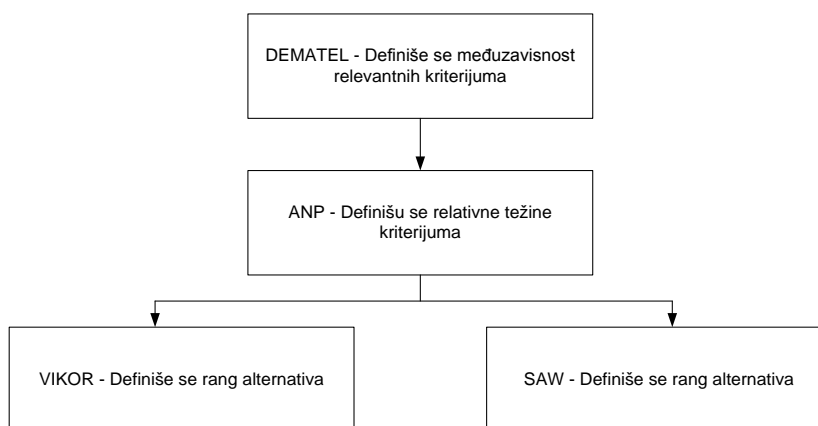
## 3. MODEL

Na osnovu metodologije primenjene u radu (Kuo and Chen 2012) razvijen je model za određivanje značaja vidova saobraćaja za region grada Beograda. Korišćene su sugestije (Kuo and Chen 2012) za formiranje elemenata modela, a relativni značaj diferenciranih kriterijuma definisali su domaći saobraćajni eksperti.

Primenjene su sledeće metode (slika 1):

- DEMATEL – koristi se za određivanje međuzavisnosti između kriterijuma koji imaju relevantan uticaj na saobraćaj u regionu grada Beograda;
- ANP – upotrebljava se za definisanje težina kriterijuma;
- VIKOR – primenjuje se za rangiranje vidova saobraćaja;
- SAW – koristi se za rangiranje vidova saobraćaja.

Rezultati dobijeni SAW metodom se porede sa izlaznim veličinama generisanim nakon primene VIKOR metode.



Slika 1: Primenjena hibridna metoda

Pokazano je u literaturi da je saobraćajni sistem generalno podvrgnut uticaju velikog broja kriterijuma te da je njegova priroda pluralna. Jeko veliki broj kriterijuma može u velikoj meri učiniti praktičnu primenu

DEMATEL i ANP pristupa veoma delikatnim iz razloga što je broj odgovora koji se traži od eksperata proporcionalan kvadratu broja kriterijuma.

U radu (Kuo and Chen 2012) definisana su 24 atributa i potom kondezovana u 8 relevantnih kriterijuma.

- C<sub>1</sub> Ekonomski razvoj - lokalni ekonomski razvoj, razvoj turizma, mogućnost zaposlenja;
- C<sub>2</sub> Podesni troškovi - vrednost investicija, troškovi održavanja, adekvatno vreme putovanja;
- C<sub>3</sub> Dostupnost saobraćaja - prava građana, ravnomeran razvoj, masovan javni transport;
- C<sub>4</sub> Socijalna zaštita – bezbednost, pouzdanost, pristupačnost, smanjenje mogućnosti nesreća;
- C<sub>5</sub> Zaštita životne sredine - zaštita prirodnih i ekoloških resursa;
- C<sub>6</sub> Energetska efikasnost - zeleni transport, smanjenje zagađenosti, održiv razvoj, potrošnja goriva;
- C<sub>7</sub> Politička klima - ciljevi vlade, uticajne grupe, javno mnjenje;
- C<sub>8</sub> Izvodljivost – odgovarajuće inženjerske tehnologije, zakoni i regulative koji se tiču izgradnje.

Nakon što su određeni svi elementi sistema, primenjena je DEMATEL metoda u cilju utvrđivanja međuzavisnosti kriterijuma u sistemu.

Sledeći korak je primena ANP pristupa za određivanje relativnih težina kriterijuma. Zatim, za definisanje ranga alternativa primenjene su dve višekriterijumske metode, VIKOR i SAW, u cilju provere stabilnosti konačnog rešenja.

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

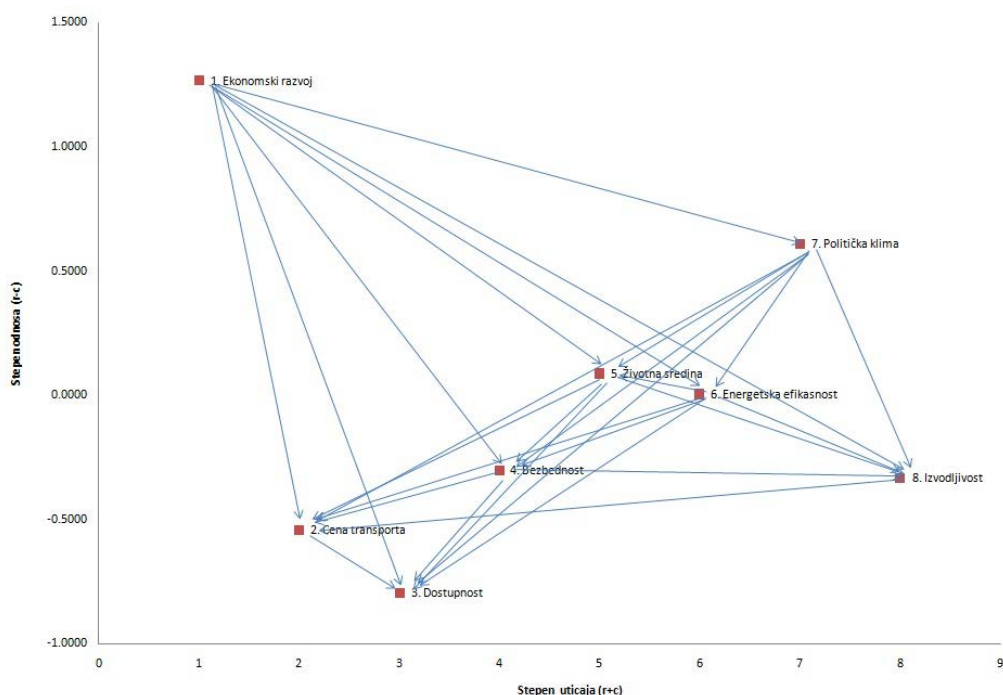
Nakon primene razvijene hibridne metode, za problem definisanja prioriteta među različitim vidovima saobraćaja za region grada Beograda, dobijenu su sledeći rezultati.

ANP pristupom dobijaju se tražene težine alternativa, na osnovu uzoraka dobijenih od 15 lokalnih eksperata. Prema ovim rezultatima se vidi da najveći uticaj imaju kriterijumi: Politička klima (C<sub>7</sub>), Ekonomski razvoj (C<sub>1</sub>), Podesni troškovi (C<sub>2</sub>), Zaštita životne sredine (C<sub>5</sub>).

**Tabela 1:** Ocene kriterijuma nakon primene ANP pristupa

Alt.	ANP	Žel. saob.	Drum. saob.	Vazd. saob.	Vodni saob.	Rang
C <sub>1</sub>	0,19286	4,2	3,9	3,5	2,8	2
C <sub>2</sub>	0,13978	4	4,2	3,3	2,4	3
C <sub>3</sub>	0,02916	2,6	4,2	2,4	1,9	8
C <sub>4</sub>	0,11995	3,7	2,1	4,2	4	5
C <sub>5</sub>	0,13799	3,4	3,1	2,9	2,8	4
C <sub>6</sub>	0,06811	3,4	2,8	3,3	2,4	6
C <sub>7</sub>	0,28051	4	3,8	3,7	1,9	1
C <sub>8</sub>	0,03164	2,4	3,4	3,3	1,8	7

Sledeća slika je grafički prikaz mreže odnosa između kriterijuma, tzv. NRM (Net relationship map).



Slika 2: NRM - Grafik odnosa između kriterijuma

VIKOR metodom, a na osnovu ocena četiri vida saobraćaja koje su dali eksperti, i težina dobijenim ANP pristupom, računaju se ocene performansi svakog vida saobraćaja i upoređuju se sa rezultatima SAW metode. U tabeli 2 predstavljeni su finalni rezultati (Bojović 2013).

Tabela 2: Rezultati VIKOR i SAW metode

	$S_j$	$R_j$	$Q_j$ za $v=1$		$Q_j$ za $v=0,5$		$Q_j$ za $v=0$		SAW	Rang
Žel. saob.	4,63409	1,80869	0	1	0	1	0	1	3,78746	1
Drum. saob.	6,52761	2,1	0,16119	2	0,22752	2	0,29385	2	3,50558	2
Vazd. saob.	8,75974	2,41666	0,35121	3	0,48225	3	0,61330	3	3,47728	3
Vodni saob.	16,38095	2,8	1	4	1	4	1	4	2,55042	4

Model predstavljen u ovom radu pruža način za izbor vida transporta uz pomoć udaljenosti dobijenih rezultata od idealnog rešenja. Ovaj model može istovremeno koristiti maksimalnu korisnost  $S_j$ , i maksimalno individualno žaljenje  $R_j$ . U tabeli 2, indeks  $v$  može da ima različite vrednosti u zavisnosti od strategije koja se primenjuje ( $v=1$  za strategiju grupne korisnosti,  $v=0$  strategiju minimalnog individualnog žaljenja).

Vidovi saobraćaja su ocenjeni po značaju, respektivno: 1) Železnički saobraćaj, 2) Drumski saobraćaj, 3) Vazdušni saobraćaj, 4) Vodni saobraćaj. SAW metoda potvrđuje rešenje dobijeno VIKOR metodom (tabela 2).

Može se zaključiti da su za i DEMATEL i ANP najuticajniji sledeći kriterijumi, po ocenama lokalnih eksperata: Politička klima (C7), Ekonomski razvoj (C1), Podesni troškovi (C<sub>2</sub>), Zaštita životne sredine (C<sub>5</sub>). Železnica, koja je najbolje ocenjen vid saobraćaja, je najbolje ocenjena za sva tri kriterijuma, što pokazuje stabilnost konačnog ranga razmatranih vidova saobraćaja.

## 5. ZAKLJUČAK

Savremeni saobraćajni sistemi su jako kompleksni po svojoj prirodi, i njihov dalji razvoj predstavlja veliki izazov. Od načina funkcionisanja saobraćaja zavisi razvoj jednog grada, države, regiona. Veliki broj kriterijuma, koji utiču na saobraćaj, usmeravaju na to da rešenje ovog problema leži u višekriterijumskoj analizi donošenja odluka. DEMATEL metodom bliže opisujemo uticaj kriterijuma jednih na druge, ANP pristupom dobijamo rešenje uticaja kriterijuma u odnosu na zadati vid saobraćaja, a SAW i VIKOR metodama ocenjujemo svaki vid saobraćaja u odnosu na kriterijume.

U ovom radu primenjen je model za ocenu vidova saobraćaja za region grada Beograda. Razmatrano je ukupno osam kriterijuma, među kojima su najvažniji: Politička klima, Ekonomski razvoj, Podesni troškovi i Zaštita životne sredine. Vidovi saobraćaja za region grada Beograda su rangirani na sledeći način: železnički saobraćaj, drumski saobraćaj, vazdušni i vodni saobraćaj.

## LITERATURA

- [1] Bojović, N. (2013). Određivanje značaja vidova saobraćaja za region grada Beograda korišćenjem hibridne MCDM metode. Diplomski rad, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [2] Kuo, S-Y. & Chen, S-C. (2012). Transportation policy making using hybrid MCDM model the case of Hualien, pp.1-19 (available: [http://2012cit.ncku.edu.tw/files/paper/\(2\)/](http://2012cit.ncku.edu.tw/files/paper/(2)/))
- [3] Opricovic, S. & Tzeng, G. H. (2007). Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, vol. 156, pp. 445 – 455.
- [4] Opricovic, S. (1998). Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade
- [5] Saaty, Th. (1996). Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process, ISBN 0-9620317-9-8, RWS



## MERENJE EFIKASNOSTI SISTEMA USLUGA U VAZDUŠNOJ PLOVIDBI KORIŠĆENJEM DEA METODE

## MEASURING THE EFFICIENCY OF AIR NAVIGATION SERVICES SYSTEM BY USING DEA METHOD

MARA ČUJIĆ<sup>1</sup>, MILICA JOVANOVIĆ<sup>2</sup>, GORDANA SAVIĆ<sup>2</sup>, MAJA LEVI JAKŠIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kontrola letenja Srbije i Crne Gore SMATSA, Beograd, mara.cujic@smatsa.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, {milica.jovanovic, gordana.savic, majal}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu se ispituje mogućnost merenja performansi trenutnog sistema usluga u vazdušnoj plovodbi (Air Navigation Services – ANS) u Evropi i primenjuje se analiza obavijanja podataka (Data Envelopment Analysis – DEA) kao alat za merenje efikasnosti sistema menadžmenta ANS-a. Izmerena je efikasnost 36 organizacionih jedinica ANS sistema i prikazana su ograničenja i prednosti ovakvog modela za merenje efikasnosti. U zaključku su date smernice budućeg istraživanja.

**Ključne reči:** Usluge u vazdušnoj plovodbi, Troškovna efikasnost, Analiza obavijanja podataka, Merenje performansi.

**Abstract:** This paper examines the possibilities for measuring performance of current Air Navigation Services (ANS) system in Europe and Data Envelopment Analysis (DEA) is applied as a tool for performance measurement of an integrated management system of ANS. Effectiveness of 36 units of ANS system is measured and the limitations and benefits of this kind of performance model are presented. In the conclusion, guidelines for further research are given.

**Keywords:** Air Navigation Services, Cost-efficiency, Data Envelopment Analysis, Performance measurement.

### 1. UVOD

Prostor vazdušnog saobraćaja iz godine u godinu postaje sve zagušeniji zbog povećanog broja letova, složenosti vazdušnog prostora i operativne složenosti. Danas, vazdušni prostor Evrope nije konkurentan kao ranije, ukoliko ga uporedimo sa vazdušnim prostorom Sjedinjenih Američkih Država, i donekle se smatra skupim i neefikasnim. Kako je primećeno u ATM master planu (SESAR, 2012), fragmentacija i organizacija vazdušnog prostora, suprotstavljena pravila i operativne procedure imaju negativan uticaj na troškovnu efikasnost vazdušnog prostora. Štaviše, povećanja kašnjenja letova i troškova provizije imaju direktan uticaj na troškovnu efikasnost i produktivnost, što su glavni uzroci promena u evropskom vazduhoplovstvu. Zbog toga se postavlja pitanje šta pružaoци usluga treba da urade kako bi poboljšali svoju efikasnost. Trenutno se merenje i poređenje efikasnosti pružalaca usluga u vazdušnoj plovodbi objavljuje u okviru godišnjih izveštaja *Performance Review Unit (PCU)* koje sadrže brojne indikatore koji služe za poređenje pozicije efikasnosti jednog provajdera u odnosu na druge (Eurocontrol, 2014). U ovom radu će biti predstavljena DEA metoda kao alternativa PCU metodologiji za merenje efikasnosti jedinica vazdušnog prostora, koristeći odabrane indikatore ove metodologije kao ulaze i izlaze.

### 2. IDENTIFIKACIJA PROBLEMA

Poboljšanje troškovne efikasnosti je sve važniji zadatak za pružaoce usluga u vazdušnom sistemu i postaje sve veći izazov da se uz što niže troškove ostvari zadovoljstvo korisnika usluga. Pošto su faktori kojima se ta efikasnost meri veoma različiti, a mogu se i klasifikovati na ulazne i izlazne parametre, ovaj problem je veoma primenljiv za rešavanje pomoću DEA metode zbog njene prirode da može da koristi raznorodne ulaze i izlaze (Savić 2012). Analiza obavijanja podataka je metoda koja je pogodna za poređenje efikasnosti sistema koji posluju u istim uslovima, gde za uzornu jedinica uzima neka iz posmatranog skupa. Takođe, ono što DEA metodu čini još pogodnijom za primenu u oceni efikasnosti ANS jedinica jeste činjenica da je sistem izveštavanja svih ANSP u Evropi integrisan i da su podaci o njihovim performansama

standardizovani na godišnjem nivou, što ih čini pogodnim za poređenje. DEA je u nekim radovima (Button and Neiva 2013, Button and Neiva 2014) već korišćena za procenu efikasnosti za period od 2002. do 2009. godine. Ta istraživanja su se bavila ispitivanjem uticaja udruživanja ANS jedinica u funkcionalne blokove na efikasnost ANSP, i merenjem relativne efikasnosti ANSP za period od 2002-2009. godine.

Primena DEA metode za rešavanje ovog problema je vrlo pogodna, jer omogućava procenu snaga i slabosti svake jedinice, kao i projekcije za poboljšanja koje jedinica treba da napravi kako bi poboljšala svoju efikasnost. U ovom radu se meri efikasnost 36 ANS provajdera<sup>1</sup> (ANSP) na osnovu podataka iz godišnjih izveštaja o troškovnoj efikasnosti ATM (*ATM Cost-effectiveness Reports - ACE*) iz 2009., 2010. i 2011. godine (PRU 2011, PRU 2012, PRU 2013). Podaci obuhvataju operativne i tehničke indikatore, finansijske podatke, podatke o zaposlenim, indikatore i relevantne racije izračunate na osnovu metodologije Komisije za ocenu performansi (*Performance Review Commission - PRC*) a smatraju se esencijalnim za procenu efikasnosti ANSP-a. Podaci iz izveštaja su analizirani i odabrani su indikatori koji su pogodni za primenu DEA metode kako bi se procenila efikasnost jedinica (PRC&FAA, 2013). Za potrebe ove analize korišćen je DEA model sa nepoželjnim izlazima koji klasifikuje izlazne podatke na „dobre“ (poželjne) i „loše“ (nepoželjne) sa premisom da se poželjni izlazi maksimizuju, dok se nepoželjni izlazi minimizuju (Kumar-Mantri 2008).

Iako je inicijalno za merenje efikasnosti je odabrano 9 parametara, zbog visokih korelacija među pojedinim parametrima, kao i zbog neuporedivih veličina pojedinih parametara koje zavise od veličine vazdušnog prostora (npr. Broj operativnih jedinica), za dobijanje skora efikasnosti je odabrano sledećih 5 parametara: *Troškovi kontrolora avio saobraćaja (TKAS)*, *Ukupni troškovi bez TKAS*, *Kašnjenje letova*, *Kompozitni sati letenja* i *Ukupni prihodi*. Nakon odabira podataka, izvršeno je merenje efikasnosti za trogodišnji period: 2009., 2010. i 2011. godinu.

### 3. REZULTATI PRIMENE DEA MODELA

Rezultati primene DEA metode (Tabela 1) pokazuju da je u posmatranom periodu postojalo postepeno poboljšanje u prosečnoj oceni efikasnosti, ali i povećanje broja efikasnih jedinica, koji je dostigao najviši nivo u 2011. godini, kada je broj efikasnih jedinica bio 12, za razliku od 5 efikasnih jedinica u 2009. godini. Drugim rečima, broj efikasnih jedinica je više nego udvostručen. Bez obzira na to, među posmatranim jedinicama postoje velike razlike u ostvarenim skorovima efikasnosti, te se, uprkos boljoj prosečnoj efikasnosti, postoji i dalje veliki broj ANSP koje su i dalje neefikasne. Prema rezultatima analize, jedinica koja se najčešće pojavljivala kao uzorna je EANS, 31 put u 2009. godini i po 20 puta u naredne dve godine. Ovaj rezultat se poklapa sa PRC metodologijom koja se takođe fokusira na troškovnu efikasnost. Ostvareni skorovi efikasnosti posmatranih 36 jedinica pokazuju određene promene u trogodišnjem periodu. Neke jedinice su ostvarivale slične rezultate, međutim bilo je i značajnih poboljšanja kao i pogoršanja skorova efikasnosti. Takođe, težine dodeljene ulazima i izlazima se značajno razlikuju iz godine u godinu. Štaviše, u većini slučajeva su vrednosti pondera dobile vrednost 0 i time su se određeni ulazi i izlazi isključili iz formiranja skora efikasnosti. Ukoliko posmatramo strukturu skorova efikasnosti, može se primetiti da su *Kompozitni sati letenja* i *Kašnjenja letova* najčešće zanemarivani dodeljivanjem težine vrednosti 0. Ipak, postoji veliki broj jedinica gde su svi ulazni i izlazni parametri uključeni u formiranje skora.

Što se tiče efikasnih jedinica, *EANS*, *LGS*, *MoldATSA* i *NATA Albania* su u svim godinama posmatranog perioda bile efikasne i osim *Kašnjenja letova*, koje su *LGS* i *MoldATSA* zanemarile, svi ostali parametri su bili uključeni u formiranje skora efikasnosti, što ukazuje na to da su po svim parametrima ove jedinice ostvarile dobru vrednost. Što se neefikasnih jedinica tiče, svoju efikasnost je najviše povećala *Aena* (pozitivne promene su obeležene zelenim u Tabeli 1), koja je sa 35. mesta poboljšala svoju poziciju za 9 i postala 26. jedinica u posmatranom uzorku. Ukoliko pogledamo u Tabeli 2 dodeljene težinske koeficijente, možemo zaključiti da je do ovakve promene efikasnosti došlo usled povećanja *Kompozitnih sati letenja* i smanjenja *Kašnjenja letova*, pošto su ovo jedina dva parametra koje je DEA koristila za rangiranje ove jedinice. Kada je u pitanju najveće pogoršanje efikasnosti (promene obeležene crvenim u Tabeli 2), svoju poziciju je najviše promenila jedinica *M-NAV*, koja je od efikasne jedinice u 2010. godini, postala jedinica na 19. mestu u posmatranom skupu. Do ove promene je došlo usled smanjenja *Ukupnih prihoda* ove jedinice i *Kompozitnih sati letenja*.

---

<sup>1</sup> Iako postoji 37 ANSP, u ovom radu se rangiralo 36 jedinica, jer je jedna od jedinica, MUAC, isključena iz rangiranja zbog različitog načina organizovanja u odnosu na ostale jedinice, kao i zbog ekstremno visokih vrednosti ulaza i izlaza, te bi bila neuporediva sa ostalim jedinicama.



**Tabela 1:** Skorovi efikasnosti i rangovi ANSP jedinica

ANSP	Skor efikasnosti			Rang		
	2009.	2010.	2011.	2009.	2010.	2011.
Aena	0,3210	0,4124	0,55647	35	35	26
ANS CR	0,5543	0,5721	0,63527	15	20	24
ARMATS	0,9894	1,0000	1,00000	6	1	1
Austro Control	0,4189	0,4589	0,46202	31	33	35
Avinor (Continental)	0,5257	0,5390	0,54656	18	25	28
Belgocontrol	0,3023	0,3357	0,38314	36	36	36
BULATSA	0,6174	0,7857	0,78872	11	13	16
Croatia Control	0,5427	0,5667	0,55093	16	23	27
DCAC Cyprus	0,6282	0,6304	0,69993	9	16	20
DFS	0,4263	0,4685	0,49052	30	32	33
DHMI	0,8600	1,0000	1,00000	7	1	1
DSNA	0,4398	0,4695	0,52964	29	30	29
EANS	1,0000	1,0000	1,00000	1	1	1
ENAV	0,4099	0,4785	0,47866	32	29	34
Finavia	0,4606	0,4885	0,52556	26	28	30
HCAA	0,4764	0,5579	0,60323	22	24	25
HungaroControl	0,5571	0,6428	1,00000	13	15	1
IAA	0,5250	0,6086	0,85955	19	18	14
LFV	0,5168	0,4920	1,00000	20	27	1
LGS	1,0000	1,0000	1,00000	1	1	1
LPS	0,4735	0,5111	0,67608	23	26	21
LVNL	0,3700	0,4199	0,52170	34	34	31
MATS	0,4492	0,5924	1,00000	28	19	1
M-NAV	0,7876	1,0000	0,70054	8	1	19
MoldATSA	1,0000	1,0000	1,00000	1	1	1
NATA Albania	1,0000	1,0000	1,00000	1	1	1
NATS (Continental)	0,5351	0,5696	1,00000	17	22	1
NAV Portugal (Continental)	0,4516	1,0000	1,00000	27	1	1
NAVIAIR	0,4783	0,5703	0,65712	21	21	22
Oro Navigacija	0,5762	0,7363	0,90817	12	14	13
PANSA	0,5543	0,6106	0,64908	14	17	23
ROMATSA	0,4631	1,0000	1,00000	25	1	1
Skyguide	0,4713	0,4686	0,51745	24	31	32
Slovenia Control	0,4089	1,0000	0,72479	33	1	18
SMATSA	0,6272	0,7991	0,76741	10	12	17
UkSATSE	1,0000	0,8280	0,82207	1	11	15

**Tabela 2:** Težinski koeficijenti ulaza i izlaza

Ulazi/ Izlazi	Troškovi kontrolora avio saobraćaja			Ukupni troškovi bez TKAS			Kašnjenje letova			Kompozitni sati letenja			Ukupni prihodi		
	2009.	2010.	2011.	2009.	2010.	2011.	2009.	2010.	2011.	2009.	2010.	2011.	2009.	2010.	2011.
Aena	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,03	0,15	0,20	0,26	-	-	-
ANS CR	0,50	0,83	0,50	-	-	-	0,03	0,03	0,11	0,26	0,27	0,30	-	-	-
ARMATS	1,06	0,91	0,50	0,84	0,68	2,88	-	-	0,01	0,47	0,47	0,48	1,41	1,11	2,91

Austro Control	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,20	0,22	0,22	-	-	-
Avinor	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,25	0,26	0,26	-	-	-
Belgocontrol	0,50	0,87	0,88	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,14	0,16	0,18	-	-	-
BULATSA	0,94	0,81	0,82	-	-	-	-	-	0,04	0,29	0,37	0,37	-	0,90	0,93
Croatia Control	0,50	0,50	0,50	0,50	-	-	0,03	0,03	0,03	0,26	0,27	0,26	-	-	-
DCAC Cyprus	0,50	0,50	0,81	0,50	0,50	0,50	0,03	0,03	0,03	0,33	0,30	0,33	-	-	0,71
DFS	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,20	0,22	0,23	-	-	-
DHMI	0,50	1,45	1,61	-	-	-	0,04	0,20	0,05	0,57	0,48	0,79	-	-	-
DSNA	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,03	0,21	0,22	0,25	-	-	-
EANS	0,50	1,28	0,50	0,50	0,50	1,43	-	0,05	0,42	0,53	0,82	0,47	0,47	1,01	1,87
ENAV	-	-	-	-	-	-	0,02	0,13	0,18	0,19	0,23	0,23	-	-	-
Finavia	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	-	0,02	0,02	0,03	0,22	0,23	0,25	-	-	-
HCAA	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03	0,03	0,23	0,26	0,29	-	-	-
HungaroCont.	0,50	0,50	0,50	-	-	2,01	0,03	0,03	-	0,26	0,31	0,48	-	-	2,03
IAA	0,50	0,50	0,50	-	-	2,36	0,03	0,10	0,07	0,25	0,29	0,41	-	-	2,38
LFV	-	-	-	-	-	7,93	0,03	0,02	0,39	0,25	0,23	0,48	-	-	8,35
LGS	0,69	1,55	0,50	0,50	0,61	0,50	-	-	-	0,47	1,68	0,48	0,72	0,47	0,52
LPS	0,66	0,85	0,50	0,50	0,50	1,03	0,02	0,03	-	0,22	0,24	0,32	-	0,64	0,88
LVNL	0,59	0,86	1,15	-	-	-	0,02	0,02	0,03	0,18	0,20	0,25	-	-	-
M-NAV	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,69	-	-	-	0,21	0,28	0,71	0,24	0,31	0,47
MATS	0,65	0,69	0,50	0,50	0,50	0,86	0,04	-	-	0,37	0,48	0,33	0,60	0,71	0,73
MoldATSA	1,24	1,08	1,00	1,13	0,90	0,50	-	-	-	0,48	0,48	0,47	1,89	1,51	1,02
NATA Albania	0,50	0,64	0,89	4,28	0,92	1,42	0,05	0,20	0,09	0,48	0,47	0,47	4,35	1,28	1,92
NATS	-	-	5,61	-	-	6,06	0,03	0,03	0,05	0,25	0,27	0,48	-	-	11,25
NAV Portugal	0,50	0,50	3,00	-	111,3	12,41	0,02	0,05	0,05	0,21	0,47	0,48	-	111,3	14,98
NAVIAIR	0,50	0,50	0,50	-	-	-	0,02	0,03	0,03	0,23	0,27	0,31	-	-	-
Oro Navigacija	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,82	-	-	-	0,27	0,35	0,43	0,30	0,39	0,80
PANSA	0,50	0,50	0,50	-	-	-	0,03	0,03	0,03	0,26	0,29	0,31	-	-	-
ROMATSA	0,50	0,50	18,70	-	14,71	36,76	-	-	-	0,22	0,48	0,48	-	14,74	54,98
Skyguide	0,50	-	1,09	-	-	-	0,02	0,02	0,03	0,22	0,22	0,25	-	-	-
Slovenia Control	0,50	0,50	0,50	0,50	4,15	1,78	0,02	0,12	0,08	0,19	0,48	0,34	-	4,30	1,75
SMATSA	0,50	0,50	0,66	-	-	-	0,03	0,04	0,04	0,30	0,38	0,36	-	-	-
UKSATSE	1,37	1,08	1,07	-	-	-	0,05	0,04	-	1,42	0,39	0,39	-	-	-

#### 4. ZAKLJUČAK

Evropski vazdušni prostor će u skorijem vremenu zasigurno pretrpeti određene organizacione promene. Do tih promena će doći usled potrebe za sveukupnim poboljšanjem performansi. Ovaj rad je se bavi ispitivanjem dodatnih alata za merenje efikasnosti ANSP jedinica. Prilikom merenja efikasnosti, mora se pažljivo odrediti koji će se parametri koristiti za njeno izračunavanje, a u slučaju DEA metode, potrebno je pažljivo odrediti ulazne i izlazne parametre, kao i model koji će se koristiti za određivanje efikasnosti. U radu je korišćen DEA model sa nepoželjnim izlazima, pošto je problem specifičan zbog postojanja parametra Kašnjenje letova, koje se može smatrati izlazom koji treba minimizovati. Rezultati su pokazali da se prosečna efikasnost jedinica u trogodišnjem periodu povećala. Broj efikasnih jedinica se povećao i nekoliko jedinica je poboljšalo svoju efikasnost. Do poboljšanja efikasnosti je došlo usled promena u upravljanju troškovima u okviru ovih organizacija, ali je takođe i posledica smanjenja kašnjenja letova, koje se smanjilo usled smanjenog obima saobraćaja. Zbog toga je za otkrivanje stvarnih uzroka poboljšanja efikasnosti potrebno uraditi detaljnije analize. Takođe, budući rad bi trebalo da se usmeri u pravcu korišćenja drugih DEA alata koji služe za merenje efikasnosti tokom vremena (Window DEA analiza i Malmkvistovi indeksi) kako bi se ispitala promene u učinku ANSP jedinica, kao i u pravcu korišćenja dodatnih ulaznih i izlaznih parametara koji nisu obuhvaćeni ovom analizom (npr. broj osoblja). Usled određenih neusaglašenosti kod posmatranih jedinica, u vidu veličine vazdušnog prostora, ukupnih troškova i prihoda, analizu obavljanja podataka bi trebalo sprovesti nad jediničnim ulazima i izlazima. Analiza sprovedena za potrebe ovog rada pokazuje da je, uz određene korekcije i poboljšanja, DEA metod veoma pogodan za rešavanje problema merenja efikasnosti jedinica vazdušnog prostora i u budućnosti bi trebalo učiniti određene napore kako bi se ovaj alat usavršio za korišćenje u menadžmentu performansi u sektoru vazduhoplovstva.

## LITERATURA

- [1] Button, K. & Neiva, R. (2013). Single European Sky and the Functional Airspace Blocks: Will they improve economic efficiency? *Journal of Air Transport Management* , pp. 73-80.
- [2] Button, K. & Neiva, R. (2014). Economic Efficiency of European Air Traffic Control Systems. *Journal of Transport Economics and Policy* , pp. 65-80.
- [3] Eurocontrol. (2014, 01). *Performance Review Unit*. Retrieved 01 2014, from [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int): <http://www.eurocontrol.int/articles/performance-review-unit>
- [4] Kumar-Mantri, J. (2008). *Research Methodology on Data Envelopment Analysis (DEA)*. Boca Raton, Florida, USA.
- [5] PRC&FAA. (2013). *Comparison of Air Traffic Management-Related Operational Performance: US/Europe*. Eurocontrol&FAA.
- [6] PRU. (2011). *ATM Cost-Effectiveness (ACE) 2009 Benchmarking Report with 2010-2014 outlook*. Eurocontrol.
- [7] PRU. (2012). *ATM Cost-Effectiveness (ACE) 2010 Benchmarking Report with 2011-2015 outlook*. Eurocontrol.
- [8] PRU. (2013). *ATM Cost-Effectiveness (ACE) 2011 Benchmarking Report with 2012-2016 outlook*. Eurocontrol.
- [9] Savic, G. (2012). *A Comparative Analysis of the efficiency in the Financial Sector*. Fakultet organizacionih nauka (FON), Univerzitet u Beogradu.
- [10] SESAR. (2012). *European ATM Master Plan-The roadmap for sustainable Air Traffic Management*. Eurocontrol.



## NEURO-FAZI ALGORITAM ZA UPRAVLJANJE RAMP METERINGOM

### NEURO-FUZZY CONTROL ALGORITHM FOR RAMP METERING

BRANKO DAVIDOVIĆ<sup>1</sup>, DUŠKO LETIĆ<sup>2</sup>, ALEKSANDAR JOVANOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija, Kosovska 8, 34000 Kragujevac, iwbtg@beotel.net, caki1987@gmail.com

<sup>2</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički Fakultet "M. Pupin", Đ. Đakovića 6b, 23000 Zrenjanin, dletic@open.telekom.rs

**Rezime:** "Ramp meter" je uređaj koji pomoću svetlosnih signala (samo crveno i zeleno svetlo) reguliše ulivni tok na glavnu saobraćajnicu u odnosu na trenutnu saobraćajnu situaciju. Ovakvim upravljanjem treba smanjiti zagušenja u glavnom toku, povećati brzinu saobraćajnog toka i kapacitet glavne saobraćajnice. U radu je predložen model koji bliske rampe stavljaju u jedan funkcionalan sistem. Model se bazira na podacima sa detektora koji se analiziraju kroz odnos saobraćajnih zahteva i kapaciteta. Ovi podaci predstavljaju ulaz u ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Izlaz iz predloženog modela predstavlja vreme za koje je rampa "otvorena" i vozila se ulivaju u glavni tok sa svake od rampi. Kako se radi o upravljanju u realnom vremenu, nove upravljačke odluke se donose posle svakih 15 min sa "update" podacima. Model je testiran na primeru i rezultati su prikazani u radu.

**Ključne reči:** Saobraćajnica, hibridni ekspertski sistem, ramp metering, neuronska mreža, fazi logika.

**Abstract:** "Ramp meter" is a device that uses light signals (red and green) to regulate the pouring stream on the main road relative to a current traffic situation. Such management should reduce congestion in the main stream, increase the speed of traffic flow and the capacity of the main road. The paper proposes a model that closely ramps are placed in a functional system. The model is based on data from the detector to analyze the ratio of traffic demand and capacity. This data is input to the ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Get out of the proposed model represents the time that the ramp "open" and vehicle flow into the main stream of each of the ramps (metering rate). Since this is a real-time control, a new control decisions are made after every 15 minutes from "update" information. The model was tested on the example and the results are shown.

**Keywords:** Roads, hybrid expert system, ramp metering, neural networks, fuzzy logic.

## 1. UVOD

Zemlje širom sveta ulažu znatna sredstva u pokušaju smanjenja zagušenja na glavnim gradskim arterijama zbog negativnog uticaja na bezbednost saobraćaja, životnu sredinu i uopšte na kvalitet života ljudi (buka, stres). Kako izgradnja novih saobraćajnica nije uvek moguće rešenje zbog urbanističkih i ekonomskih ograničenja, potrebno je iznaći neka druga rešenja.

Ramp metering ima za zadatak da poboljša uslove odvijanja saobraćaja tako što reguliše ulazne tokove na rampama u cilju povećanja Nivoa Usluge (LOS) na saobraćajnicama visokog ranga. Ramp metering može da vrši upravljanje na osnovu istorijskih podataka za određeni period dana (jutarnji vršni čas, popodnevni vršni čas, i sl.). Postoji i upravljanje na osnovu podataka sa detektora postavljenih u zonama rampi, gde je reč o upravljanju u realnom vremenu.

Ovaj rad se bavi povećavanjem efikasnosti rada ramp meteringa kroz razvijanje i analizu modela baziranom na aproksimativnom rezonovanju (neuronske mreže i fazi logika). Sve dok saobraćajni zahtevi na svim delovima glavne saobraćajnice ne pređu njen kapacitet i dok nije narušen osetljiv odnos saobraćajnih zahteva i kapaciteta na delu glavne saobraćajnice neposredno posle ulazne rampe, ramp metering je ispunio svoj zadatak. Model razvijen u ovom radu uzima u obzir uticaj bliskih rampi na glavnu saobraćajnicu i ima za zadatak da jedan takav sistem, koji je komplikovan sa upravljačkog aspekta, stavi u funkcionalno stanje. Ovakav slučaj je, pre svega, karakterističan za glavne saobraćajnice u velikim gradovima.

Različit broj modela upravljanja ramp meteringom je razvijen od strane brojnih istraživača. Upravljanje pomoću detektora u realnom vremenu moguće je naći u većem broju radova, čiji se modeli baziraju na strategiji odnosa zahteva i kapaciteta: (Masher et al. 1975, Papageorgiou et al. 1991, 1998, Zhang et al. 1996, Kotsialos et al. 2002, Hegyi et al. 2002, Smaragdis and Papageorgiou 2003, Smaragdis et al. 2004).

Pristup aproksimativnim rezonovanjem u upravljanju ramp meteringom moguće je naći u sledećim radovima: (Chen1990, Meldrum and Taylor 1995, Taale et al.1996, Wei and Wu 1996, Zhang and Ritchie 1997, Vukanović and Ernhofer2006, Taylor et al. 2007).

Jedan širi pregled modela moguće je naći u preglednom radu (Papageorgiou and Papamichail 2008).

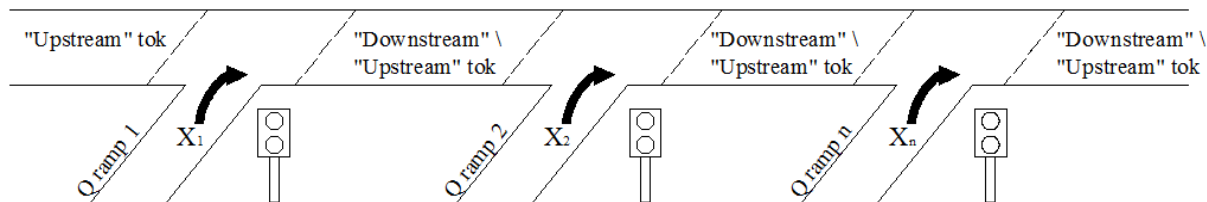
Ovaj rad je organizovan na sledeći način: Prvo poglavlje bavi se uvodnim razmatranjima i prikazom dosadašnjih istraživanja iz predmetne oblasti. Drugo poglavlje, koje predstavlja glavni doprinos rada, je posvećeno razvijanju modela za upravljanje ramp meteringom. U njemu je definisan problem ramp meteringa, kao i ulazne i izlazne veličine za model koji se predlaže. U trećem poglavlju model je testiran na numeričkom primeru. Četvrto poglavlje se bavi zaključnim razmatranjima, diskusijom dobijenih rezultata i pravcima budućih istraživanja.

## 2. MODEL ZA UPRAVLJANJE RAMP METERINGOM

Upravljanje saobraćajem pomoću ramp meteringa nije nova ideja. Još ranih 60tih godina prošlog veka su korišćene razne varijante ove ideje u Detroitu, Njujorku i Čikagu. Razvojem novih matematičkih aparata proširile su se i mogućnosti za efikasnije upravljanjem ovim sistemom.

Za dobijanje prilagodljivog hibridnog Sistema aproksimacije korišćenje kombinacijaneuronskemreže i fazilogike. Prednost ovakvog pristupa je izbegavanje nedostataka svakog od pojedinačnih sistema aproksimativnog rezonovanja. Sjednestrane, fazilogika daje odličan način predstavljanja eksperetskog znanja u formi "ako - onda" pravila. Međutim, "usko grlo" fazi Sistema je njegova zavisnost od uspostavljanja dobrih pravila od strane eksperata. Neuronskemreže, sadruge strane, pokušavaju da oponašaju sposobnost i učenje koju poseduju biološke vrste, alinije uvek moguće izvući i rastumačiti prave podatke iz naučenog. Spajanje ova dva sistema se zove neuro-fazi system kojipokušava da iskoristi mogućnosti i prednosti oba pristupa. Jedan od najpopularnijih sistema ovog tipa se naziva ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) (Jang 1993).

U cilju razrade predloženog modela glavna saobraćajnica je podeljena u više zona u odnosu na položaj i broj rampi. Zona pre dolaska na prvu rampu predstavlja "upstream" tok. Zona između prve i druge rampe u nizu za prvu rampu predstavlja "downstream" tok, dok za drugu rampu predstavlja "upstream" tok (slika 1.). Ovakva vrsta zavisnosti omogućava upravljanje sistemom više lokalnih rampi, stavljajući ih u jednu funkcionalnu celinu.



Slika 1: Ulazne i izlazne promenljive kod koncepta problema ramp meteringa

Kapacitet glavne saobraćajnice se računa pomoću novoklasičnog postupka, prema kome je:

$$C = V_C \cdot g_C \quad (1)$$

gde su: C-kapacitet saobraćajnice;  $V_C$ -brzina saobraćajnog toka pri kapacitetu;  $g_C$ -gustina saobraćajnog toka pri kapacitetu.

Kako bi se dobio kapacitet saobraćajnice u realnom vremenu sa detektora se prikupljaju podaci o brzini saobraćajnog toka. Iz toga sledi da je:

$$C_{real} = V_{det} \cdot g_C \quad (2)$$

gde su:  $C_{real}$ -kapacitet saobraćajnice u realnom vremenu;  $V_{det}$ -brzina saobraćajnog toka dobijena na osnovu podataka sa detektora.

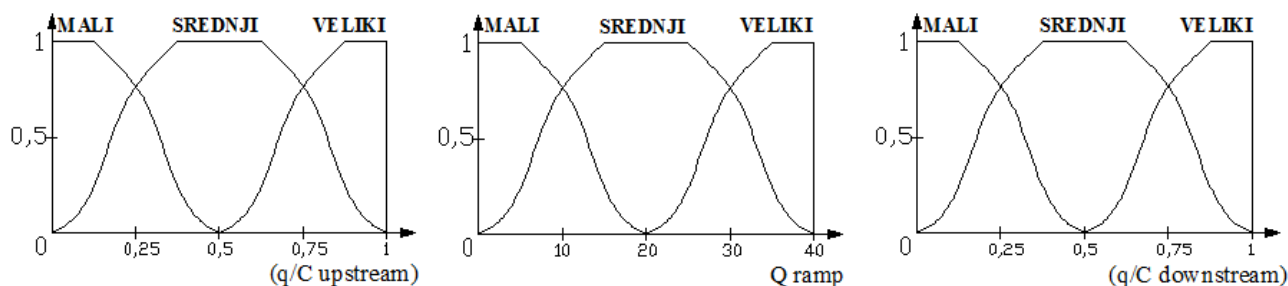
Odnos toka ("upstream" i "downstream") i kapaciteta glavne saobraćajnice u realnom vremenu ( $q/C_{real}$ ) predstavljaju prve dve ulazne veličine. Treću ulaznu veličinu predstavlja broj vozila koja čekaju da se uključe u glavni tok ( $Q_{ramp}$ ). Izlazna veličina je određena vremenom za koje se vozila ulivaju u glavni tok sa svake od rampi.

### 2.1. Primena ANFIS na upravljanje ramp meteringom

Kompleksna struktura za upravljanje, koju čini sistem saobraćajnica visokog ranga, odlikuje se nelinearnošću i nestacionarnim stanjima, što je čini teškom za modelovanje. Tradicionalni modeli su u

tolikoj meri dobri koliko jedan nelinearan problem mogu da svedu na linearan. Neuro-fazi logika se čini veoma pogodnom pri rešavanju problema upravljanja ramp meteringom.

Uspostavljanje fazi logičkog sistema u funkciji problema ramp meteringa sastoji se iz tri glavne faze. Prvi blok unutar fazi logičkog kontrolera je fazifikacija. Definisana su tri fazi skupa ( $q/C$  “upstream”,  $q/C$  “downstream” i  $Q_{ramp}$ ) kao ulazne veličine i jedan parametarski skup kao izlazna veličina ( $Z$ ). Svaki od fazi skupova poseduje po tri lingvističke promenljive (mali, srednji i veliki) sa svojim stepenima pripadnosti koji su određeni gausovim funkcijama (slika 2.). Druga faza podrazumeva formiranje baze fazi pravila (tabela 1.), koja predstavlja “srce” fazi logičkog sistema. Poslednja faza, defazifikacija, kao izlazni rezultat daje veličinu koja nije fazi.



**Slika 2:** Ulazne veličine u fazi logički sistem

Ulazne promenljive  $q/C$  uzimaju opseg od 0 do 1, kako saobraćajni zahtevi ne bi prelazili kapacitet saobraćajnice. Ukoliko dođe do toga da  $q/C$  uzme vrednost veću od jednice, rampe se “zatvaraju” i nema puštanja vozila. Moguće je i povećati opseg veličina  $q/C$  preko 1 (npr. do 1,2) ukoliko je potrebno ne zaustavljati ulivanje tokova sa rampi. Broj vozila na rampi, koja čekaju da se uliju u glavni tok, u primeru koji je dat u sledećem poglavlju kreću se od 0 vozila do 40 vozila, a vremena za koja se propuštaju vozila sa rampadata su kao parametarske vrednosti od 10 % do 80 % vrednosti ciklsa. Naravno, u skladu sa realnim saobraćajnim uslovima, moguća je kalibracija ovih vrednosti. Vrednost ciklusa predstavlja sumu zelenog i crvenog vremena, tj. sumu vremena kada je rampa zatvorena i otvorena.

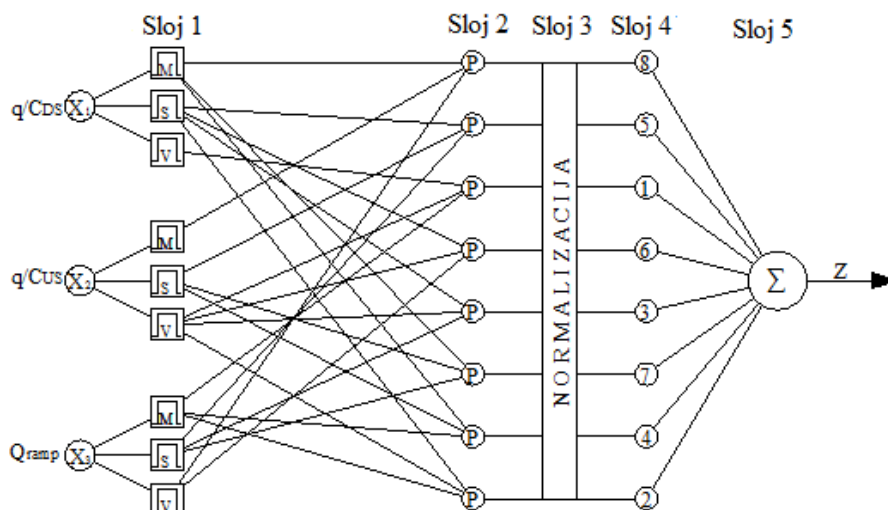
**Tabela 1:** Baza fazi pravila

No	ako je $q/c^{US}$	i $q/c^{DS}$ je	i $Q_{ramp}$ je	onda je $Z$
1	mali	mali	veliki	mf8 (80 %)
2	srednji	srednji	srednji	mf5 (50 %)
3	veliki	veliki	mali	mf1 (10 %)
4	srednji	veliki	veliki	mf6 (60 %)
5	srednji	veliki	srednji	mf3 (30 %)
6	mali	srednji	srednji	mf7 (70 %)
7	mali	srednji	mali	mf4 (40 %)
8	srednji	veliki	mali	mf2 (20 %)

Razvijen je neuro-fazi logički sistem u programskom jeziku “MATLAB” (Version: 7.10), odnosno korišćenjem: “Fuzzy logic toolboxes – ANFIS EDITOR GUI”. Podaci za obučavanje neuronske mreže čine 100 parova podataka sa identičnim ulaznim i izlaznim veličinama kao u slučaju uspostavljanja fazi logičkog sistema. Neuronsku mrežu potrebno je stalno obučavati novim podacima, čime se stvara jedna kontrolna strategija zasnovana na podacima iz sistema u realnom vremenu. Ovakva strategija kako vreme prolazi postaje sve sposobnija da upravljanje “ramp meteringom” dovede u željeno stanje.

Kao algoritam za obučavanje koristi se “backpropagation”, koji računa grešku (izvodi kvadratnu grešku uzimajući u obzir izlazne funkcije svakog od čvorova mreže) rekurzivno, počevši od izlaznog sloja pa unazad do ulaznog sloja (slika 1.).





Slika 1. Odgovarajuća ANFIS arhitektura

Svaki od čvorova mreže u istom sloju izvršavaju funkciju istog tipa. Sa  $O_i^j$  označeni su izlazi  $i$ -tog čvora u  $j$ -tom sloju. Slede objašnjenja uloge svakog od sloja mreže.

*Sloj 1.* Svaki čvor u ovom sloju generiše jednu funkciju pripadnosti lingvističke promenljive (malo, srednje, itd.). Na primer,  $i$ -ti čvor generiše Gausovu funkciju, koja se može matematički izraziti na sledeći način:

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \text{Gaussian}(x, c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (3)$$

Gde su:  $x$ -ulazna veličina u čvor  $i$ ;  $A_i$ -funkcija pripadnosti lingvističke promenljive povezana sa čvorom;  $\{c, \sigma\}$ -grupa parametara za promenu oblika funkcije pripadnosti i odnose se na premisu pravila (AKO deo).

*Sloj 2.* Svaki čvor u ovom sloju računa težinske koeficijente pravila preko množenja, koji se mogu izraziti u sledećem obliku:

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x_1) \cdot \mu A_i(x_2) \cdot \mu A_i(x_3), \quad i = 1, 2, 3. \quad (4)$$

*Sloj 3.* Čvor  $i$  u ovom sloju računa odnos težinskog koeficijenta  $i$ -tog pravila i sume svih težinskih koeficijenata. Taj odnos se može izraziti:

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

*Sloj 4.* Čvor  $i$  u ovom sloju računa udeo  $i$ -tog pravila, u celokupnom izlazu iz sistema. Ovo se matematički može opisati sledećom funkcijom:

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i x_3 + s_i) \quad (6)$$

Gde su:  $\bar{w}_i$ -izlaz iz trećeg sloja mreže;  $\{p_i, q_i, r_i, s_i\}$ -grupa parametara koja se odnosi na konsekvencu pravila (ONDA deo).

*Sloj 5.* Jedan jedini čvor u ovom sloju računa celokupan izlaz kao sumirani doprinos svakog od pravila:

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

Može se zaključiti da je izlazna funkcija iz neuro-fazi sistema u linearnoj zavisnosti od parametara iz konsekvenci fazi pravila:

$$Z = \bar{w}_1 \cdot f_1 + \bar{w}_2 \cdot f_2 + \bar{w}_3 \cdot f_3 \quad (8)$$

Kako izlazna promenljiva definiše samo zeleno vreme, potrebno je i odrediti vreme ciklusa. Vreme ciklusa se, u ovom slučaju, sastoji samo iz zbira zelenog i crvenog vremena. Dakle, tokom zelenog vremena vozila se ulivaju u glavni tok (izlazna veličina:  $Z$ ), dok su tokom crvenog vremena zaustavljena na rampi. Kada se dobije izlazna veličina, vrednost ciklusa se proračunava na osnovu kriterijuma broja zaustavljanja.

Broj zaustavljanja se računa na sledeći način, po uzoru na proračun broja zaustavljanja na individualnoj signalisanoj raskrsnici:

$$H_i = 0.9 \cdot Q_i \cdot \left( \frac{1 - Z / C_i}{1 - Q_i / S_i} \right) \quad (9)$$

gde su:  $H_i$ -broj zaustavljenih vozila;  $Q_i$ -protok na rampi na nivou jednog časa;  $S_i$ -vrednost zasićenog toka;  $C$ -vrednost vremena ciklusa.

Iz izraza (9) je jasno da što je manja vrednost ciklusa i broj zaustavljanja će biti proporcionalno manji. Dakle, potrebno je usvojiti neku vrednost ciklusa:  $C_{min}$ .

Na ovaj način došlo se do konačnog rešenja i doneta je trenutna upravljačka odluka. Na svakih 15 min algoritam se dopunjuje skupom novih podataka na osnovu kojih se donose nove upravljačke odluke.

### 3. NUMERIČKI PRIMER

U ovom poglavlju, na numeričkom primeru, biće testiran model predložen u ovom radu. Ulazni podaci za testiranje dati su tabeli 2. Podaci su izabrani tako da uzmu u obzir kako ekstremne slučajeve u kojima se sistem može naći (grupe podataka 1 i 3), tako i onaj koji predstavljaju neku sredinu između ekstrema (grupa podataka 2). Vrednost ciklusa je usvojena na  $C_{min} = 60$  s. Sa  $R$  je označeno crveno vreme.

Model je testiran na primeru dve uzastopne i bliske rampe. U skladu sa tim podrazumeva se da segment glavne saobraćajnice posle 1 rampe ujedno predstavlja “downstream” tok za prvu rampu i “upstream” tok za drugu rampu. Izlazni rezultati dati su u tabeli 3.

**Tabela 2.** Ulazni podaci za testiranje modela

Grupa podataka	1	2	3
$q/C_{upstream 1}$	0,13	0,52	0,83
$q/C_{downstream 1}$ $q/C_{upstream 2}$	0,16	0,61	0,90
$q/C_{downstream 2}$	0,21	0,79	0,97
$Q_{ramp 1}$ (voz)	30	18	28
$Q_{ramp 2}$ (voz)	27	20	15

**Tabela 3.** Izlazni rezultati

Grupa podataka	Izlaz	ANFIS		
		$Z (s)$	$R (s)$	$C (s)$
1	rampa 1	47	13	60
	rampa 2	43	17	60
2	rampa 1	29	31	60
	rampa 2	21	39	60
3	rampa 1	19	41	60
	rampa 2	9	51	60

Diskusija dobijenih rezultata, kroz prednosti i nedostatke modela, mogućnosti njegovog poboljšanja i upotrebe u realnim uslovima biće predmet razmatranja u sledećem poglavlju.

### 4. ZAKLJUČAK I DISKUSIJA REZULTATA

Cilj ovog rada bio je da se poboljša upravljanje ramp meteringom. U tom smislu razvijen model je baziran na hibridnom ekspertskom sistemu fazi logike i neuronskih mreža. Model je opisan i testiran na 3 grupe ulaznih podataka. Dat je i kraći pregled literature, koja se odnosi na razmatrani problem.

Veliki broj parametara koji figurišu u saobraćajnim problemima imaju karakteristike neizvesnosti, subjektivnosti, dvosmislenosti, ili čak impresije. Takav je i razmatrani problem upravljanja ramp meteringom. Neuro-fazi logika se pokazala kao veoma pogodna pri rešavanju predmetnog problema.

Model ostavlja mogućnost kalibracije kako ulaznih tako i izlaznih parametara u skladu sa konkretnom saobraćajnom situacijom na području primene. Neuronska mreža ima osobinu da tokom vremena uči na podacima i poboljšava samu sebe. Kako vreme prolazi i mreža se “hrani” sve većim brojem podataka, može se očekivati da će model konstantno poboljšavati upravljanje ramp meteringom.

U ovom radu, kriterijum za izbor vremena ciklusa bio je broj vozila koja se zaustavljaju na rampama. U budućim istraživanjima kriterijumska funkcija bi u sebi mogla da sadrži prosečne vremenske gubitke vozila



u glavnom toku, prosečne vremenske gubitke svih vozila u sistemu, prosečnu brzinu glavnog toka, ili neku od kombinacija ovih veličina. Dakle, moguća je jedna složena analiza izbora vremena ciklusa.

U test primeru u obzir je uzeto upravljanje dve bliske rampe, ali model pruža i mogućnost upravljanja sa više rampi. Bilo bi korisno videti razlike između predloženog modela u ovom radu i nekih drugih, koji su u primeni u praksi. Drugi pravac budućih istraživanja mogao bi biti razvoj jednog novog hibridnog modela fazi logike i nekog od metaheurističkih algoritama (genetski algoritmi, algoritmi zasnovani na inteligenciji grupe, itd.), ukoliko bi se problem upravljanja ramp meteringom mogao svesti na problem kombinatorne optimizacije.

## LITERATURA

- [1] Masher, D.P. et al. (1975). Guidelines for design and operating of ramp control systems. Stanford Research Institute, SRI, Menid Park, CA.
- [2] Papageorgiou, M.et al.(1991). ALINEA: a local feedback control law for on-ramp metering. Transportation Research Record 1320, 58–64.
- [3] Papageorgiou, M. et al.(1998). ALINEA local ramp metering: summary of field results. Transportation Research Record 1603, 90–98.
- [4] Smaragdis, E. and Papageorgiou, M.(2003). A series of new local ramp metering strategies. Transportation Research Record 1856, 74–86.
- [5] Smaragdis, E.et al.(2004). A flow-maximizing adaptive local ramp metering strategy. Transportation Research B 38 (3), 251–270.
- [6] Kotsialos, A.et al. (2002). Coordinated and integrated control of motorway networks via nonlinear optimal control. Transportation Research C 10 (1), 65–84.
- [7] Hegyi, A.et al. (2003). MPC-based optimal coordination of variable speed limits to suppress shock waves in freeway traffic. In: Proceedings of the 2003 American Control Conference, Denver, Colorado, USA.
- [8] Zhang, H. et al. (1996). Some General Results on the Optimal Ramp Control Problem. Transportation Research C 4 (2), 51-69.
- [9] Meldrum, D. R. and Taylor, C. E. (1995). Freeway traffic data prediction using artificial neural networks and development of a fuzzy logic ramp metering algorithm. Final technical report. National Technical Information Service, 5301 Shawnee Road Alexandria, VA 22312 USA, 118 p.
- [10] Taylor, C.et al.(2007). Fuzzy Ramp Metering: Design Overview and Simulation Results. Transportation Research Record 1634, 10-18.
- [11]Chen. L.L.(1990). Freeway ramp control using fuzzy set theory for inexact reasoning. Transportation Research A 24 (1), 15-25.
- [12]Vukanović, S. and Ernhofner, O. (2006). Field evaluation of the fuzzy logic based ramp metering algorithm ACCEZZ. In: Preprints 11th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, Delft, The Netherlands.
- [13]Papageorgiou, M. and Papamichail, I.(2008). Overview of Traffic Signal Operation Policies for Ramp Metering. Transportation Research Board 2047, 28-36.
- [14]Wei, C.H. and Wu K.Y.(1996). Applying an Artificial Neural Network Model To Freeway Ramp Metering Control. Transportation Planning Journal 25 (3), 335-355.
- [15]Zhang, H. and Ritchie, S.G. (1997). Freeway Ramp Metering Using Artificial Neural Networks. Transportation Research C 5 (5), 273-286.
- [16]Taale, H.et al. (1996). The Assessment of Ramp Metering Based on Fuzzy Logic; 3<sup>rd</sup> ITS World Congress in Orlando.
- [17]Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. Systems, Man and Cybernetics 23 (3), 665-685.



## INTELEKTNO MODELOVANJE ZAVISNOSTI BRZINE I GUSTINE SAOBRAĆAJNOG TOKA

### INTELLIGENT MODELING OF THE RELATION BETWEEN SPEED AND DENSITY OF TRAFFIC FLOW

BRANKO DAVIDOVIĆ<sup>1</sup>, MIROSLAV BOŽOVIĆ<sup>1</sup>, ALEKSANDAR JOVANOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija, Kragujevac, Srbija, iwbtg@beotel.net, {borjanin, caki1987}@gmail.com

**Rezime:** Dijagram zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka ima nekoliko svojih varijanti, počevši od teorijskog, preko razvijenih empirijskih modela i modela zasnovanih na realnim istraživanjima saobraćajnih tokova. Funkcionalna zavisnost dobija se primenom Sugeno-fazi logičkog sistema, gde su kao parametri izlaznih funkcija pripadnosti usvojene reprezentativne vrednosti predložene u HCM 2010. Potom se na osnovu realnih podataka saobraćajnog toka obučava neuronska mreža, koja podešavanjem funkcija pripadnosti fazi logičkog sistema daje izlazni oblik osnovnog dijagrama saobraćajnog toka. Primećeno je da primenom "subtractive clustering" (grupisanje podataka) metode na podacima za obučavanje neuronske mreže, ovaj hibridni ekspertski sistem daje bolje izlazne rezultate. Na kraju, model je testiran na nekoliko grupa ulaznih podataka, i prikazan je grafički oblik zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka.

**Ključne reči:** Osnovni dijagram saobraćajnog toka, neuro-fazilogika, "subtractive clustering".

**Abstract:** The speed-traffic flow density interdependence diagram has a number of variations, starting with the theoretical model, through various empirical models that were developed and models based on actual research done on traffic flow. The functional interdependence is obtained using the Sugeno fuzzy logic system, where representative values proposed in HCM 2010 have been adopted as parameters of output association functions. Subsequently the neural network is trained based on actual traffic flow data, which by adjusting the association function of the fuzzy logic system yields an output form of the basic traffic flow diagram. It was noticed that this hybrid expert system produces better output results by applying the "subtractive clustering" method on data that are used for training a neural network. Finally, the model was tested on several input data groups, and the interdependence between speed and traffic flow density is shown in graphical form.

**Keywords:** Basic traffic flow diagram, traffic flow theory, neuro-fuzzy logic, subtractive clustering.

## 1. UVOD

Raniji pokušaji da se proceni kapacitet puta doveli su do prvih zakonitosti kada je reč o vezi između brzine i protoka, pa je tokom dvadesetih i tridesetih godina prošlog veka publikovan izvestan broj radova na ovu temu, najviše u Engleskoj, Nemačkoj i Sjedinjenim Državama. Teško je odrediti koji je rad prvi publikovan, ali prema literaturi, ta čast bi pripala (Schaar 1925). Jedan širi pregled teorijskih krivi, koje su u tom vremenu bile razmatrane, kao i neki savremeniji pristupi dati su u sledećim radovima (Greenshields 1935, Greenberg 1959, Underwood 1961, Drake et al. 1967, Prigogine and Herman 1971, Gerlough and Huber 1975), dok se u radu (Castilo and Benitez 1995) mogu naći osnovni principi teorije odnosa brzine i gustine saobraćajnog toka.

Tokom poslednjih decenija razvijen je izvestan broj modela koji se mogu naći kod sledećih autora: (Chien et al. 1997, Vandaele et al. 2000, Jiang et al. 2002, Kriso et al. 2002, Geroliminis and Daganzo 2008).

Novi model osnovnog dijagrama saobraćajnog toka u funkciji homogenih stanja, koji je potvrđen na istraživanjima koja su sprovedena na autoputevima Nemačke, predstavlja jedan od najznačajnijih radova u novijoj istoriji proučavanja teorije saobraćajnog toka (Wu 2002).

U ovom radu predlažen je model koji se bazira na neuro-fazi logici, gde će se kao osnova koristiti Sugeno-fazi logički sistem implementiran u programskom jeziku "MATLAB" (Sushmita and Yoichi 2000, Sivanandam et al. 2007).

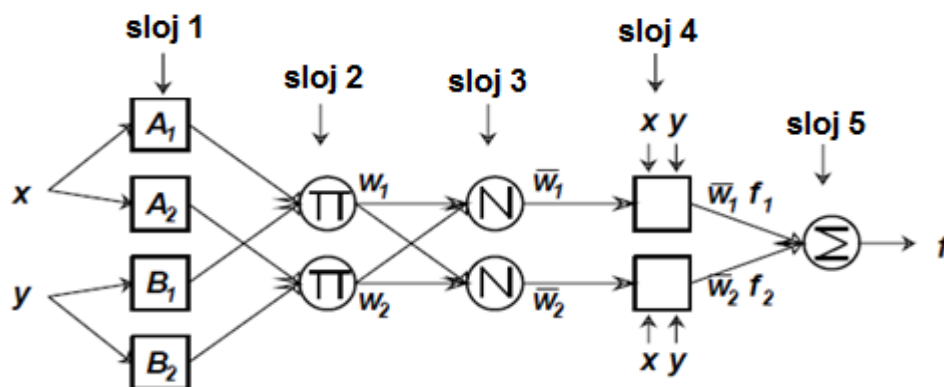
Kao izlazne (reperne) orijentacione vrednosti za modeliranje zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka usvajaju se one koje su predložene u HCM 2010.

U drugom delu rada biće reči o neuro-fazi logici. U trećem delu rada će biti prikazan predloženi model baziran na neuro-fazi logičkom sistemu, kao i na primenjenoj metodi grupisanja podataka za obučavanje

neuronske mreže. Podaci za obučavanje neuronske mreže preuzeti su iz rada (Wu 2002), koji su dobijeni merenjem na autoputevima Nemačke.

## 2. NEURO - FAZI LOGIKA

Kod fazi logičkog sistema Sugeno tipa izlazne funkcije pripadnosti mogu biti date kao konstante ili u linearnom obliku (Shing and Jang 1993, Shing and Jang 1995).



Slika 1. Odgovarajuća ANFIS arhitektura

Svaki od čvorova mreže u istom sloju izvršavaju funkciju istog tipa. Sa  $O_i^j$  označeni su izlazi  $i$ -tog čvora  $uj$ -tom sloju. Slede objašnjenja uloge svakog od sloja mreže.

*Sloj 1.* Svaki čvor u ovom sloju generiše jednu funkciju pripadnosti lingvističke promenljive (malo, srednje, itd.). Na primer,  $i$ -ti čvor generiše funkciju pripadnosti zvonastog oblika, koja se može matematički izraziti na sledeći način:

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (2.1)$$

Gde je  $x$  ulazna veličina u čvor  $i$ ;  $A_i$  je funkcija pripadnosti lingvističke promenljive povezana sa čvorom,  $\{a_i, b_i, c_i\}$  su grupa parametara za promenu oblika funkcije pripadnosti  $i$  i odnose se na premisu pravila (AKO deo).

*Sloj 2.* Svaki čvor u ovom sloju računa težinske koeficijente pravila preko množenja, koje se može izraziti u sledećem obliku:

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y), \quad i = 1, 2. \quad (2.2)$$

*Sloj 3.* Čvor  $i$  u ovom sloju računa odnos težinskog koeficijenta  $i$ -tog pravila i sume svih težinskih koeficijenata. Taj odnos se može izraziti:

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2. \quad (2.3)$$

*Sloj 4.* Čvor  $i$  u ovom sloju računa udeo  $i$ -tog pravila, u celokupnom izlazu iz sistema. Ovo se matematički može opisati sledećom funkcijom:

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.4)$$

Gde je  $\bar{w}_i$  izlaz iz trećeg sloja mreže, i  $\{p_i, q_i, r_i\}$  je grupa parametara koja se odnosi na konsekvencu pravila (ONDA deo).

*Sloj 5.* Jedan jedini čvor u ovom sloju računa celokupan izlaz kao sumirani doprinos svakog od pravila:

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.5)$$

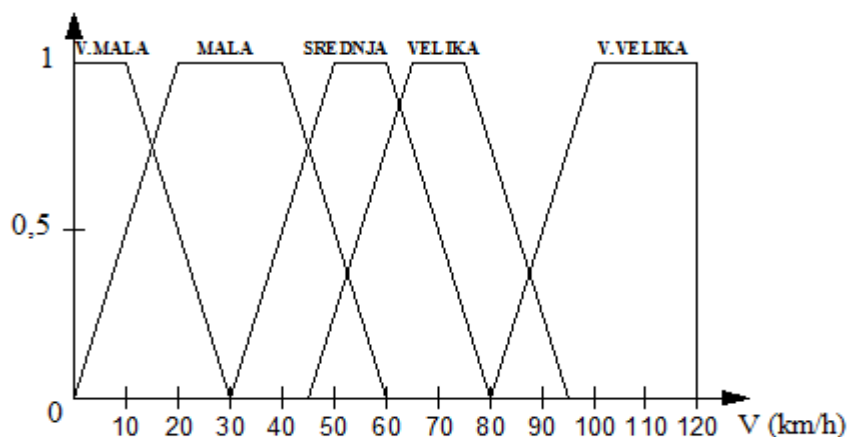
Može se zaključiti da je izlazna funkcija iz neuro-fazi sistema u linearnoj zavisnosti od parametara iz konsekvenci fazi pravila:

$$f = \overline{w_1} \cdot f_1 + \overline{w_2} \cdot f_2 = (\overline{w_1} \cdot x) \cdot p_1 + (\overline{w_1} \cdot y) \cdot q_1 + (\overline{w_1}) \cdot r_1 + (\overline{w_2} \cdot x) \cdot p_2 + (\overline{w_2} \cdot y) \cdot q_2 + (\overline{w_2}) \cdot r_2 \quad (2.6)$$

Kao algoritam za obučavanje koristi se “backpropagation”, koji računagrešku (izvodi kvadratnu grešku uzimajući u obzir izlazne funkcije svakog od čvorova mreže) rekurzivno, počevši od izlaznog sloja pa unazad do ulaznog sloja (slika 1.).

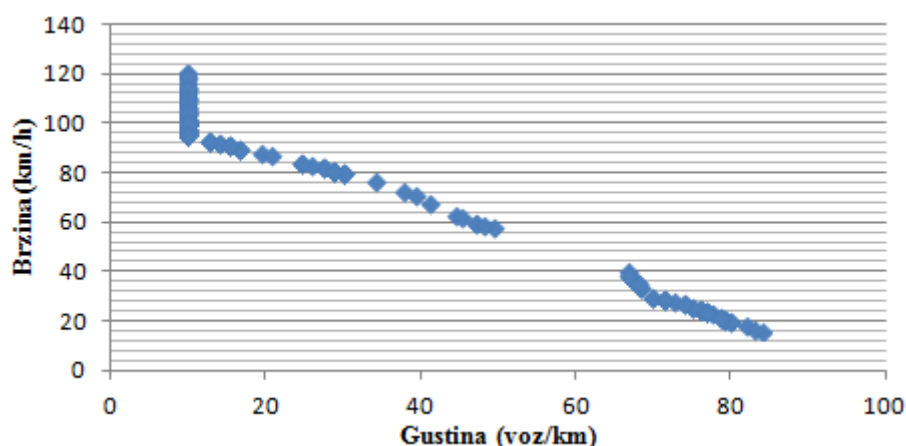
#### 4. PRIMENA ANFIS NA V-g DIJAGRAM SAOBRAĆAJNOG TOKA

Ideja primene fazi logike u ovom radu je da se iz ulaznih podataka (vrednosti brzine saobraćajnog toka) predlože vrednostivezane za gustinu saobraćajnog toka. Opravdanost jednog ovakvog pristupa leži u tome da je gustina toka parametar koji je teško izmeriti ili proračunati. Na osnovu ovih pretpostavki formiranje ulazufazi logički sistem Sugeno tipa, dok suizlazne (reperne) vrednosti usvojene na osnovu onih koje su preporučene u HCM 2010. Na slici 2. dat je prikaz fazi skupova koji su korišćeni u modelu.



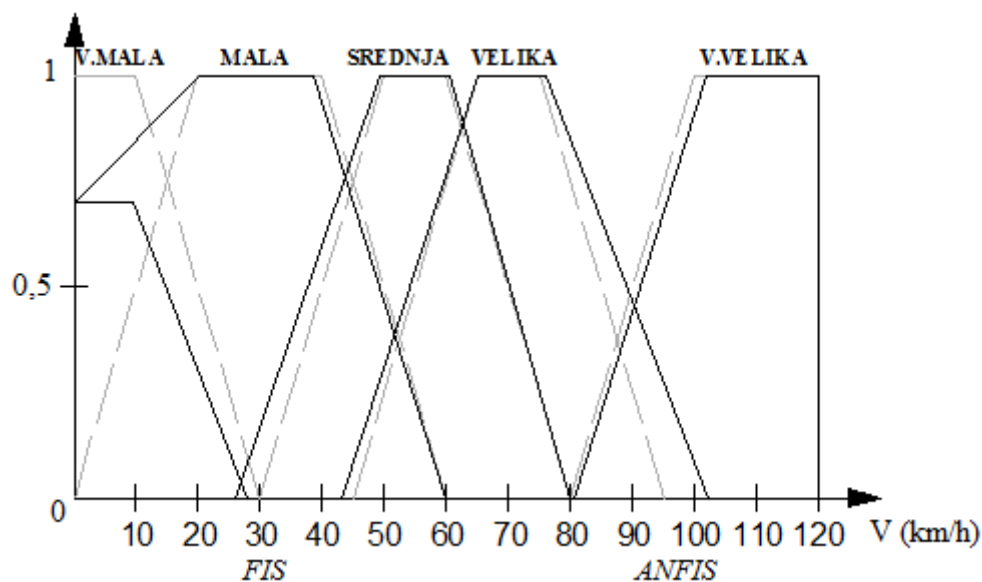
Slika 2. Fazi skupovi kao ulazna veličina Sugeno fazi logičkog sistema

Modeli zasnovani na fazi logici se sastoje od fazifikacije, formiranje baze “ako - onda” pravila, i na kraju od izbora vrednosti izlazne promenljive-defazifikacije. Izlazne funkcije mogu biti linearnog ili konstantnog tipa. U ovom radu usvojeno je da izlazne funkcije budu konstantnog tipa. Na slici 3. predstavljena je kriva koja pokazuje zavisnost brzine i gustine toka. FIS je testiran na 212 ulaznih podataka, koji predstavljaju vrednosti brzine saobraćajnog toka izmerene na autoputevima Srbije. Ovim su prikazani izlazni rezultati fazi logičkog sistema bez uključivanja neuronske mreže.



Slika 3. Kriva zavisnosti brzina i gustine toka kao izaz is FIS

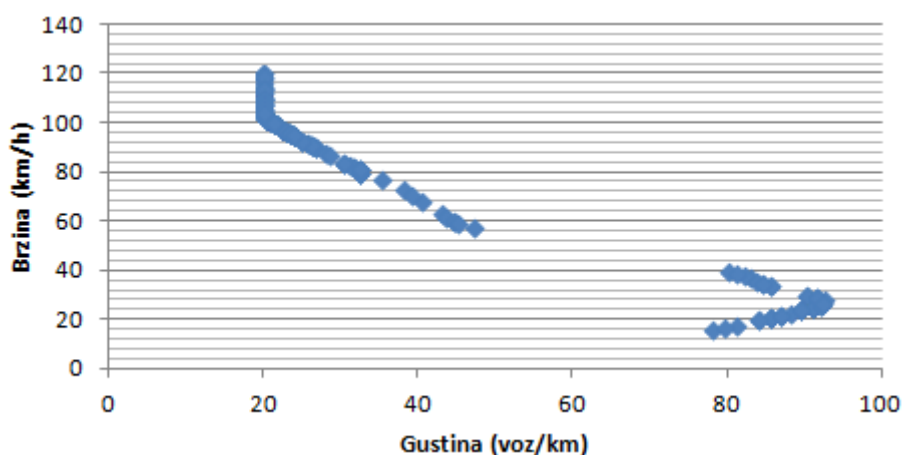
Kao podaci za obučavanje neuronske mreže korišćeni su podaci iz rada (Wu 2002), koji su dobijeni merenjem na autoputevima Nemačke. Podaci za obučavanje neuronske mreže su se sastojali od 411 parova podataka (vrednosti brzine i gustine toka). Kao algoritam za obučavanje mreže primenjena je kombinacija “backpropagation” algoritma i metode najmanjeg kvadrata. Na slici 4. prikazane su funkcije pripadnost ulazne promenljive odgovarajućeg ANFIS modela.



**Slika 4.** Prilagođene funkcije pripadnosti ANFIS modela

Slika 5. prikazuje krivu zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka kao izlaz iz hibridnog sistema. ANFIS model testiran je na istim ulaznim podacima kao i FIS model (iste vrednosti brzine toka).

Poslednja mera poboljšanja modela zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka je grupisanje ulaznih podataka, gde će se funkcije pripadnosti ponovo promeniti (njihova druga promena). Principi grupisanja podataka detaljnije su prikazani u sledećim radovima: (Pal and Chakraborty 2000, Velthuizen et al. 1997).

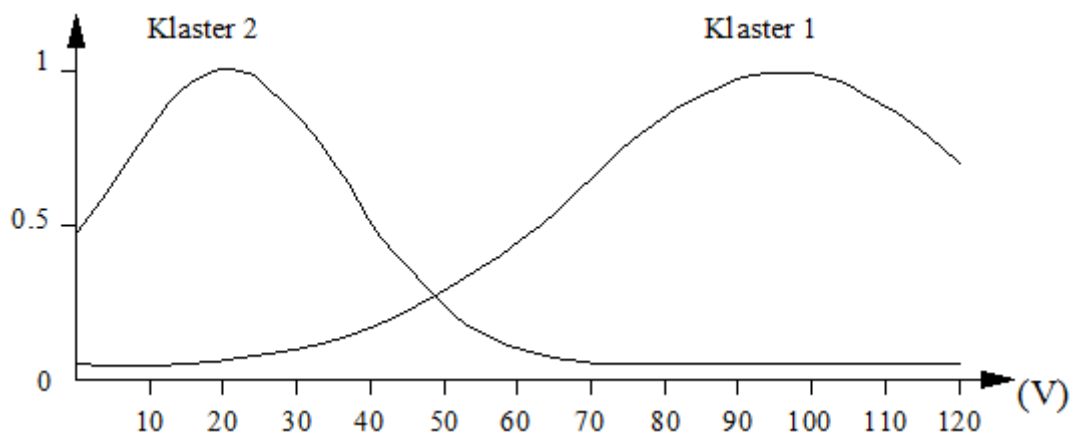


**Slika 5.** Kriva zavisnosti brzina i gustine toka kao izlaz is ANFIS

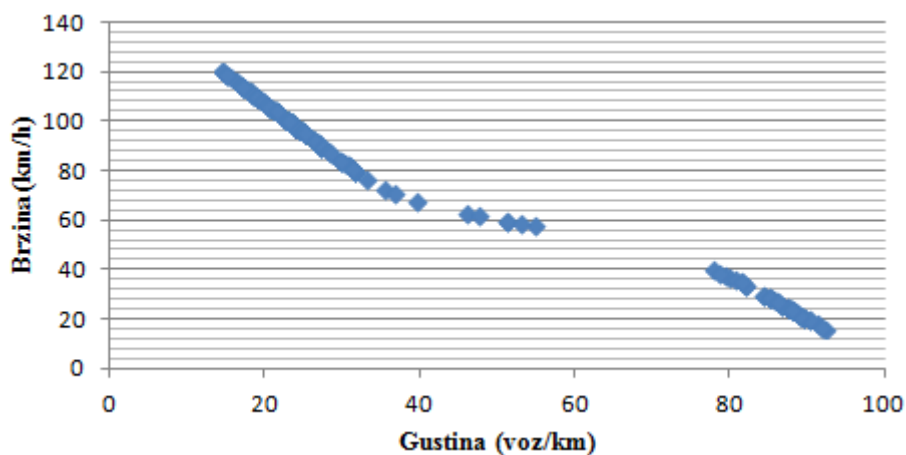
Po izvršenom grupisanju ulaznih podatka, metodom “subtractiveclustering”, došlo je do značajne promene izgleda funkcija pripadnosti (slika 6.). Treba napomenuti da su podaci kojima je obučavana neuronska mreža različiti od onih kojima su testirani modeli. Dakle, grupisanje je izvršeno na podacima kojim je obučavana neuronska mreža (411 parova), a modeli su testirani na nezavisnim podacima (212 vrednosti brzine saobraćajnog toka).

Ostali parametri primenjenog ANFIS modela sa grupisanjem podataka su sledeći:

- Broj linearnih parametara: 4
- Broj nelinearnih parametara: 4
- Broj fazi pravila: 2
- Broj epoha: 800



Slika 6. Funkcije pripadnosti ANFIS modela posle grupisanja podataka



Slika 7. Kriva zavisnosti brzina i gustine toka kao izlaz is ANFIS sa grupisanjem podataka

Slika 7. predstavlja izlaz iz predloženog modela i prikazuje zavisnost brzine i gustine saobraćajnog toka.

## 5. DISKUSIJA REZULTATA

Kriva zavisnosti gustine i brzine toka prikazana na slici 3. predstavlja skup izlaznih rešenja koji je dobijen primenom FIS bez uključivanja neuronske mreže kao dela hibridnog sistema. Ona predstavlja aproksimativnu vrednost gustine samo na osnovu baze fazi pravila i parametarskih vrednosti koje su usvojene kao ulazi u FIS.

Kriva zavisnosti prikazana na slici 5., u delu kada su brzine manje od 20 km/h, tj. kada vladaju uslovi prezasićenog (forsiranog) saobraćajnog toka, pokazuje razlike u odnosu na teorijske modele, pa i u odnosu na model dobijen iz Sugeno fazi logičkog sistema. Treba još jednom napomenuti da je ANFIS model obučavan na osnovu realnih podataka dobijenih na autoputevima Nemačke (Wu 2002). Jedan od zaključaka koje je autor, u tom radu izveo, jeste da rastojanje sledenja nije u funkciji brzine, pa se paradoks na slici 5. može time objasniti.

Iako kriva prikazana na slici 5., koja predstavlja izlaz iz ANFIS modela bez grupisanja podataka, ima svojih specifičnosti, kao izlazni rezultat iz celog modela uzima se kriva zavisnosti brzine i gustine saobraćajnog toka prikazana na slici 7. Kao što se vidi, ovaj model pokazuje da se područje zasićenog toka javlja pri brzini od 40 km/h do 50 km/h, što predstavlja očekivane vrednosti kada je reč o saobraćajnicama visokog ranga, za koje ovaj model daje aproksimaciju.

## 6. ZAKLJUČAK I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Aproksimacija neprekidne, nelinearne funkcije određene preko ulazno/izlaznog skupa podataka je široko rasprostranjen problem. Primena FIS na sistemu za koji već postoje ulazno/izlazni podaci (a koje treba upotrebiti za modelovanje) najbolje se realizuje korišćenjem ANFIS, jer se ne može baš uvek tačno zaključiti kako funkcije pripadnosti treba da izgledaju samo jednostavnim posmatranjem ulazno/izlaznih podataka. Korišćenje njegovih neuro-prilagodljivih tehnika učenja obezbeđuje se da odabrane funkcije pripadnosti i njihovi parametri najbolje odgovaraju ulazno/izlaznim podacima.

Iako je manje poznata i primenjivana tehnika, neuro-fazi zaključivanje se može koristiti i u svrhe prognoziranja, kao osnovni pristup i/ili kao provera rezultata dobijeni klasičnim metodama prognoziranja.

Primena ANFIS na osnovnom dijagramu saobraćajnog toka dala je model koji je predstavljen u radu, i svoju primenu ima u aproksimaciji gustine saobraćajnog toka, kao parametra saobraćajnog toka koji je teško utvrditi. Dobijena je zavisnost pomoću podataka koji su prikupljeni sa autoputeva Nemačke, tako da je model najpogodnije koristiti za aproksimaciju gustine toka kod saobraćajnica najvišeg ranga.

Logiku, koja je primenjena u radu, moguće je primeniti i na odnos protoka i brzine, gde bi u tom slučaju protok figurirao kao ulazna veličina. Naravno, potrebno bi bilo obučavati model i na podacima sa nižih kategorija puteva ili gradskih sredina, pa uporediti razlike koje ovaj model može da ponudi u odnosu na tradicionalne pristupe. Kao posebno zanimljivo za dalja istraživanja bilo bi proučiti kako se ponaša osnovni dijagram saobraćajnog toka kod uskih grla, ili objekata na putu (tuneli, mostovi itd.) kada se na njih primeni model predložen u ovom radu.

## LITERATURA

- [1] Castilo, J.M. and Benitez, F.G.(1995). On the functional form of the speed - density relationship. *General theory. Transportation Research B*298, 5, 373-389.
- [2] Chien, C.et al. (1997). Traffic Density Control for Automated Highway Systems. *Automatica* 33, 7, 1273-1285.
- [3] Drake, J. S., Schafer, J. L. and May, A. D.(1967). A Statistical Analysis of Speed-Density Hypotheses. In *Vehicular traffic Science.Proceedings of the Third International Symposium on the Theory of Traffic Flow*, New York, 112-117.
- [4] Geroliminis, N.and Daganzo, F.C. (2008). Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings. *Transportation Research Part B* 42, 9, 759-770.
- [5] Gerlough, D. L. and Huber, M. J.(1975). *Traffic Flow Theory - A Monograph*. Transportation Research Board 165, pp. 222.
- [6] Greenberg, H.(1959). An Analysis of Traffic Flow. *Operation Research* 7, 1, 79-85.
- [7] Greenshields, B. D.(1935). A Study in Highway Capacity.*Transportation Research Board* 14, 1, 448-477.
- [8] Jiang, R.et al.(2002). A new continuum model for traffic flow and numerical tests. *Transportation Research Part B* 36, 5, 405-419.
- [9] Kriso, S.et al.(2002). Reconstruction of dynamical equations for traffic flow. *Physics Letters A*, 299, 2-3, 287-291.
- [10] Pal, N.R. and Chakraborty, D.(2000). Mountain and subtractive clustering method: improvements and generalization. *International Journal of Intelligent Systems*15, 4, 329-341.
- [11] Prigogine, I. and Herman, R.(1971). *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*. Elsevier, New York.
- [12] Schaar (1925). Die Leistungsfähigkeit einer Strade für den Kraftverkehr. *Verkehrstechnik*, 23.
- [13] Shing, J. and Jang, R.(1993). ANFIS: Adaptive Network - Based Fuzzy Inference System. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics* 23, 3, 665-685.
- [14] Shing, J. and Jang, R.(1995). Neuro - fuzzy modeling and control. *The proceeding of the IEEE* 83, 3, 378-406.
- [15] Sivanandam, S. N.et al.(2007). *Introduction to Fuzzy Logic using Matlab*. Springer-Verlag, Berlin.
- [16] Sushmita, M.and Yoichi, H.(2000). Neuro-Fuzzy Rule Generation: Survey in Soft Computing Framework. *IEEE transactions on neural networks* 11, 3, 748-768.
- [17] Underwood, R. T. (1961). *Speed, Volume and Density Relationships, Quality and Theory of Traffic Flow*. Yale Bureau of Highway Traffic, New Haven, Connecticut, 141-188.
- [18] Vandaele, N.et al.(2000). A queueing based traffic flow model. *Transportation Research D* 5, 2,121-135.
- [19] Velthuisen, R.P. et al.(1997). An investigation of mountain method clustering for large data sets. *Pattern Recognition* 30, 7, 1121-1135.
- [20] Wu, N.(2002). A new approach for modeling of Fundamental Diagrams. *Transportation Research A* 36,10, 867-884.





## REVIEW OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN AIR TRANSPORT SYSTEM

NIKOLA IVANOV<sup>1</sup>, FEĐA NETJASOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {n.ivanov, f.netjasov}@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *The term Decision Support System (DSS) is widely, though inconsistently used, but in its essence it stands for any kind of “system” which provides valuable information necessary to support decision making (DM) process. These systems are much appreciated in highly complex environments where problems or tasks have varying degrees of structure, majority of them being unstructured or semi-structured. As being safety-critical human-in-the-loop distributed and complex system Air Transport system is for sure such an environment and very fertile soil for the application of various DSS. Through the literature review, the aim of the research described in this paper is to present the usage and application of DSS in air transport system, with the main focus on Air Traffic Management, Airports and Airline field. Further intention is to provide some insights about major historical trends, i.e. how DSS evolved, the problems that have been tackled and the models and techniques used to solve them, as well as to give potential direction for further development of DSS and its application.*

**Keywords:** *Decision support system, Air Transport, Air Traffic Management, Airport, Airline.*

### 1. INTRODUCTION

Air transport system (ATS) is usually defined as complex system with high level of inter and intra relations between its subsystems: Air Traffic Management (ATM), Airports and Airlines (Janić 2000). From ever growing and changing ATS, a number of global players emerged (like major airlines, airport operators and air traffic network managers), as well as many regional and local ones (for example, regional airlines and airports, Functional Airspace Blocks) which also play important role in the system. Overall global growth, uneven though, globalization, changes of regulations and information technology development are some of the most influential factors which have shaped air transport system.

But it is the constant need to satisfy end-users of ATS, i.e. passengers and cargo shippers (demand), thus to fulfill own goals, that kept Airlines, Airports and at the end ATM (supply) “riding on a rollercoaster” of changes and improvement, regardless if they were profit seeking (private sector) or trying to maximize output-welfare (public sector). To produce and maintain high volume of quality and versatile services to end-users, ATS makes use of sophisticated technology, equipment and facilities operated and managed by trained and skilful personnel.

On the other hand, these costly resources have to be utilized in such a manner to balance between level and quality of service to end-users and fulfilling company’s goals. Road to this goal is covered by various challenges which should be tackled by means of analytical methods, modeling, planning and management to come up with decisions and actions to overcome them. Decision-making (DM) process is not always straightforward: not only to choose between alternatives, but to come up with them.

No matter the size of an Airline, Airport, Air Navigation Service Provider or Network Manager, they all face similar problems, the scopes being different, in day-to-day operations, short-, mid- and long-term planning, scheduling, and so forth, so having “a system” to support DM process is highly appreciated by managers and planners. These so-called Decision Support Systems (DSS) come in handy to decision makers not only for providing alternatives, but also for data collection and analysis, visualization, validation, etc.

The aim of this review is to present application of such DSS in ATS, namely, in the fields concerning ATM, Airports and Airlines. Being safety-critical human-in-the-loop distributed and complex system ATS could be recognized as a very fertile soil for the application of various DSS. The origins, definition and categorization of DSS are discussed in Chapter 2. The definition of DSS used in this research and criteria for an article inclusion in the review is given in Chapter 3. Discussion and conclusions are left for the last chapter (Chapter 4).



## 2. DSS: ORIGINS, DEFINITION AND CLASSIFICATION

Although the field of DSS is already mature (detailed historical timeline is provided by Power 2007), there is still an ongoing debate on the origins of DSS, DSS classification and at the end, definition of DSS.

Majority of researchers agree that DSS came along with first computers. Apparently, some of the first decision support systems came from Carnegie Institute of Technology, where researchers were conducting “theoretical studies of organizational decision making” and MIT project on “interactive computer systems” in the late 1950s and early ‘60s (Keen and Morton 1978). Pioneering papers in this area were published in the mid and late ‘60s (e.g. Morton and Stephens 1968; Morton and McCosh 1968; Ferguson and Jones 1969), but it seems that the first use of the term “decision support system” was in Gorry and Morton’s article (Gorry and Morton 1971; Power 2007). Shim et al. (2002) also stated that the original concept of DSS was first “clearly defined by Gorry and Morton who integrated Anthony’s (Anthony 1965) categories of management activity and Simons’s (Simon 1960) description types”.

The 1970s could be referred as the beginning of progressive theoretical and practical development in this field. In their three consecutive surveys (Eom et al. 1990, 1998, 2006), covering period from 1971 to 2001, Eom and others provided detailed information on the DSS articles published: distribution of DSS application in different research fields and in time, underlying techniques used, classification of DSS, etc. A recent review, with DSS origins discussion as well, is Arnott and Pervan (2005).

One of the first definitions of decision support system came from Little (1970), when he defined decision calculus as “a model-based set of procedures for processing data and judgments to assist a manager in his decision making”. He also argued that for a successful system there are some prerequisites: a system needs to be simple, robust, easy to control, adaptive and complete on important issues (conflicts with simplicity), which are desirable features of a DSS even nowadays.

Also, one early definition of DSS, by Keen and Morton (1978), states that DSS is about pairing the best characteristics of man and machine to improve the quality of decisions: “It is a computer-based support system for management decision makers who deal with semi-structured problems”.

Bonczek et al. (1981) defined a DSS as a computer-based system consisting of three interacting components: a language system, a knowledge system and a problem-processing system. According to Turban and Aronson (2001) the central purpose of a DSS is supporting and improving DM process. In practice, decision support system is referred a “tool” when it is packed, and usually, installed on a computer.

One of early DSS classifications is so called Alter’s taxonomy (Alter 1980). He grouped DSS according to generic decision support operations that can be completed by such systems:

- **File drawer systems** – deal with data on a basic level.
- **Data analysis systems** – add possibility for analysis of data.
- **Analysis information systems** – data from databases is used to “feed” models.
- **Accounting and financial model** – usually used for “what-if” analysis in accounting and finance.
- **Representational models** – scenario analysis using simulation models.
- **Optimization models** – given the constraints and criterion function provide optimal solution.
- **Suggestion models** – provide a number of alternatives and suggest actions.

Frequently cited classification is also Power’s taxonomy (Power 2002). He differs, on conceptual level, between:

- **Data-driven DSS** (first three categories of Alter’s taxonomy),
- **Model-driven DSS** (second three categories of Alter’s taxonomy),
- **Knowledge-driven DSS** (basically the same as Suggestion DSS),
- **Communication-driven DSS** (collaborative work and DM process) and
- **Document-driven DSS** (handling unstructured data and information).

Obviously, there is no consensus on the origins, definition and classification of DSS. Although widespread use of the term “Decision Support System” may cause some inconsistencies and ambiguity, in its essence it stands for any kind of “system” which provides valuable information necessary to support DM process (for example, see Sprague and Carlson 1982).

## 3. DSS IN AIR TRANSPORT SYSTEM

Eom et al. in three consecutive surveys have provided useful insight into early application of DSS (Eom et al. 1990, 1998, 2006). Based on their selection criteria and available resources (databases) for article searching, they examined 203 articles published from 1971 to April 1988, 271 published from May 1988 till December 1994 and 210 articles from 1995 until 2001. In the first survey 5 of 203 articles were from ATS

field, 7 of 271 were from ATS field in the second survey and from 210 articles in the third survey, 9 came from some of ATS fields.

Granted, it seems like that there were very few applications of DSS in ATS field, and the reason for this could lie in the criteria for paper inclusion in their surveys:

- a description of semi-structured or unstructured decision,
- a description of the human-machine interface and the nature of the computer-based support for human decision makers' intuitions and judgments; and
- a description of a data-dialogue model system.

Also, they restricted their search to peer reviewed journals only. Authors themselves were aware that the rigorous criteria setting would cut down the number of articles in their survey and in their words it was: "a trade-off between the quality and the quantity".

For the purpose of the research presented in this paper, DSS is defined as a system to support and improve DM which contains the three subsystems (at least at conceptual level):

- **data subsystem** - a some kind of database attached or clearly identified data required as input,
- **model subsystem** - a mechanism for processing the data (this could be models, rules, agent-based subsystem or some other techniques) and
- **user interface subsystem** - DSS should be capable of receiving and acting on requests from users (e.g. the user might request the detail that allowed a specific recommendation to be formed in order to see for himself if it is justified) or at least a description of user interface.

Criteria for the paper inclusion in this review are less rigid than in abovementioned surveys, but the restriction to articles from peer reviewed journals stands. The objective of the research was not to have an exhaustive review, but rather to present the application of DSS in ATS field for daily operations and short- and medium-term planning mostly and to focus on the major topics (issues).

#### 4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This research provides an insight into application of decision support systems in air transport system, i.e. in its subsystems: Air Traffic Management, Airports and Airlines. Details of the research can be found in (Ivanov and Netjasov 2014)<sup>1</sup>. Here some resulting insights would be presented.

**Concerning DSS application in ATM**, this review concentrated on ATFM problem, probably one of the most studied problems in ATM field of research. A number of optimization models to establish balance between traffic demand and airspace (airport) capacity have been proposed. However, based on DSS selection criteria, only ES based on neural networks and agent-based DSS made a cut. Evidently, for large-scale real-life problems heuristics, soft-computing and artificial intelligence techniques should be considered as candidates for DSS model. Collaborative decision making is also present in ATM with the aim to improve ATFM through increased information exchange among aviation community stakeholders and should be also considered a potential solid ground for DSS application.

A global tendency in ATM could easily be summed up in one word: automation. According to Parasuraman et al. (2000), automation could be simply defined as "partial or complete replacement of function previously carried out by the human operator". Wickens et al. (1998) identified three factors for automation in ATM: the need to improve safety and efficiency, the availability of the technology and the need to support the controller. This support could be discussed through "levels of automation" of decision and action selection, which basically tells "the share" of computer involvement in decision making. In the lowest level (1) of the Wickens' scale, computers offer no assistance and human must take all the decisions and actions, whereas in the highest level of automation (10) computer decides everything, ignoring the human. In between are levels of varying degree of human and computer involvement in DM process. DSS reviewed in this research are somewhere between level 3 where the set of decisions/actions are narrowed to a few for human to choose and up to level 6 where human have a restricted time to cancel or alter the decision before the system itself executes it.

**Regarding DSS application in airports** it was found that aircraft gate assignment and allocation of resources for ground handling, as closely coupled problems with high complexity, draw significant attention of DSS practitioners. Due to operational requirements for timely decision-making, reviewed articles propose support systems (expert systems - ES) for both problems, by applying heuristics, expert's knowledge and artificial intelligence to promptly deliver necessary information. The need for timely information is evident especially in the cases when disturbances occur. For airport planning, a number of simulation and modeling tools are used in practice for "what-if" analysis and as a support for DM.

---

<sup>1</sup> Due to paper length constraint, details of the research are not presented in this paper.

**Table 1:** Levels of Automation (Wickens et al. 1998)

Scale	Description
10	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human.
9	informs the human only if it, the computer, decides to
8	informs the human only if asked, or
7	executes automatically, then necessarily informs the human, and
6	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
5	executes that suggestion if the human approves, or
4	suggests one alternative, and
3	narrows the selection down to a few, or
2	The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
1	The computer offers no assistance: the human must take all decisions and actions.

Total airport management (TAM) concept for airport planning started with integration of airside elements and is evolving into airside-landside fully integrated platform, even taking into account ground access to the airport. This could be a promising field for application of integrated decision support solutions.

Airports are most obvious joint for the three ATS subsystems. With ever increasing traffic and delay figures, the need for closer coordination between all three subsystems has grown along. Although a decade old, airport collaborative decision making (A-CDM) concept still represents state-of-the-art initiative in Europe. The concept of sharing data and work experience between all the parties involved opens the door for collaborative DSS to facilitate communication, data sharing and increased situational awareness.

**Regarding DSS application in airlines**, attention was mostly on scheduling problems, both crew and flights. Both problems require strategic (seasonal schedule, number of crew members required), tactical (monthly and weekly schedules) and operational planning (daily planning, reaction to disturbances) schedules. For crew (staff) scheduling, DSS were used for operational planning mostly, but also for some “what-if” analysis regarding longer term planning. Underlying models for problem (set partitioning) solving were based on linear (with relaxations) programming, integer programming and heuristics. For flight scheduling, DSS were applied to solve disturbances in daily operations, to evaluate planned flight schedules and for manipulation of already existing flight schedules. Techniques used for DSS models are based on heuristics (depth-first search), mixed integer programming and network optimization. All these DSS could be considered as model-driven, except of management information systems reviewed, which could fall in data-driven model category.

Even from the modest sample of reviewed DSS application in Airline industry, the impression is that major evolution happened in data and information systems, which evolved from pure repositories into powerful business intelligence systems. State-of-the-art information technology enables data mining of big data and “extraction” of useful information for decision making purposes. Airlines benefit from increased efficiency of in-house operations and also through increased revenues by tailoring their products and services to customers (customer-centric).

Having in mind many worldwide and regional initiatives (such as Next GEN in USA, SESAR in Europe, CARATS in Japan) emphasizing the need for system-wide information sharing, supporting the business trajectory and other novel concepts, along with ever increasing complexity of ATS itself, it seems that DSS will remain more than necessary for human operators in the future. It is expected that working environment will significantly change (requiring highly interactive interfaces) and probably DSS with real-time big data processing capabilities and possibility of high integration with other DSS will be necessary. Also, it is reasonable to expect that current issues will remain in future (scheduling, assignment, flow management, etc.), but also that some new will emerge, demanding the development of the new models for finding solution.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was conducted with support from the two Projects: Project 36033 commissioned by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia and Project IZ74Z0\_137352 commissioned by the Swiss National Science Foundation.

## LITERATURE

- [1] Alter, S. (1980). *Decision support systems: current practice and continuing challenge*. Reading: MA: Addison-Wesley.
- [2] Anthony, R. N. (1965). *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis*. Cambridge, MA: Harvard University Graduate School of Business Administration.
- [3] Arnott, D. & Pervan, G. (2005). A critical analysis of decision support systems research. *Journal of Information Technology*, 20(2), 67-87.
- [4] Bonczek, R. H., Holsapple, C. & Whinston, A. (1981). *Foundations of decision support systems*. New York: Academic Press.
- [5] Eom, H. & Lee, S. M. (1990). A survey of decision support system application (1971 - April 1988). *Interfaces*, 20(3), 65-79.
- [6] Eom, S. & Kim, E. (2006). A survey of decision support system applications (1995-2001). *Journal of the Operations Research Society*, 57(11), 1264-1278.
- [7] Eom, S., Lee, S., Kim, E. & Somarajan, C. (1998). A survey of decision support system applications (1988-1994). *Journal of the Operational Research Society*, 49(2), 109-120.
- [8] Ferguson, R. L. & Jones, C. H. (1969). A Computer Aided Decision System. *Management Science*, 15(10), B550-B562.
- [9] Gorry, A. & Morton, M. (1971). A framework for information systems. *Sloan Management Review*, 13(1), 56-79.
- [10] Ivanov N. & Netjasov, F. (2014). Review of Decision Support Systems in Air Transport System. 2014 Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, Bordeaux, France, 2014.
- [11] Janić, M. (2000). *Air Transport System Analysis and Modelling (Vol. 16)*. Australia: Gordon and Breach Science.
- [12] Keen, P. G. & Morton, S. (1978). *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading: MA: Addison-Wesley, Inc.
- [13] Little, D. C. (1970). Models and managers: the concept of a Decision Calculus. *Management Science*, 16(8), 466-485.
- [14] Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 30(3), 286-297.
- [15] Power, D. (2002). *Decision support systems: concepts and resources for managers*. Westport: CT: Greenwood/Quorum.
- [16] Power, D. (2007). A brief history of decision support systems, 4.0. Retrieved February 3, 2014, from DSSResources.com, World Wide Web: <http://DSSResources.com/history/dsshistory.html>
- [17] Morton, M. S. & McCosh, A. M. (1968). Terminal Costing for Better Decisions. *Harvard Business Review*, 147-156.
- [18] Morton, M. S. & Stephens, J. A. (1968). The impact of interactive visual display systems on the management planning process. *IFIP Congress*, 2, 1178-1184.
- [19] Simon, H. A. (1960). *The New Science of Management Decision*. New York: Harper Brothers.
- [20] Shim J., Warkentin M., Courtney J., Power D., Sharda R. & Carlsson C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems* 33 (2002) 111 – 126.
- [21] Sprague, R. & Carlson, E. (1982). *Building effective decision support system*. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hal.
- [22] Turban, E. & Aronson, J. (2001). *Decision support systems and intelligent systems, sixth Edition (6th ed)*. Hong Kong: Prentice Hall.
- [23] Wickens, C., Mavor, A. Parasuraman, R. & McGee, J. (1998). *The future of air traffic control: Human operators and automation*. Washington, DC, USA: National Academies Press.

**PRMENA METODE VIKOR U PLANIRANJU REKONSTRUKCIJE ŽELEZNIČKE PRUGE****USAGE OF VIKOR METHOD IN PLANNING RAILROAD RECONSTRUCTION**MILANA KOSIJER<sup>1</sup>, MILOŠ IVIĆ<sup>1</sup>, IVAN BELOŠEVIĆ<sup>1</sup><sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, i.belosević@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je prikazna metodologija izbora varijante trase železničke pruge u procesu planiranja njene rekonstrukcije. Predložena metodologija omogućava celovito i sistemsko rešavanje ovog problema, a konačni rezultat je predlog najpovoljnije varijante za rekonstrukciju u skladu sa usvojenim kriterijumima i realnim ograničenjima. Razvijena metodologija je bazirana na metodi kompromisnog programiranja (VIKOR). Testiranje metodologije je izvršeno na primeru četiri varijante rekonstrukcije trase postojeće jednokolosečne železničke pruge Panevropskog Koridora X, na deonici između stanica Indija i Novi Sad. Dobijeni rezultati su pokazali ispravnost i upotrebljivost ove metodologije.

**Ključne reči:** železnička pruga, planiranje, višekriterijumsko odlučivanje, metoda VIKOR

**Abstract:** The paper presents a methodology for route selecting in the planning railroad reconstruction based on the multi criteria decision making. The proposed methodology provides a complete and systematic solution to this problem. Result of the methodology is the most suitable alternative in accordance with the adopted criteria and existing constraints. The developed methodology is based on the compromise programming method VIKOR. Evaluation is performed in selection of one track railway route of four alternatives on the Pan-European Corridor X, on the section between stations Indija and Novi Sad. The results confirm validity and usefulness of this methodology.

**Keywords:** railway route, planning, multi-criteria decision making, VIKOR method

**1. UVOD**

Železničke pruge su složeni infrastrukturni objekti i njihova izgradnja ili rekonstrukcija zahteva velika investiciona ulaganja. Zato je veoma važno da se u procesu planiranja novih ili rekonstrukcije postojećih trasa železničkih pruga izabere najpovoljnije rešenje. Izabrano rešenje mora da ispuni zahteve koji se postavljaju savremenoj saobraćajnoj infrastrukturi, a to su: kvalitet prevozne usluge, zaštita životne sredine i racionalno korišćenje svih prirodnih resursa. Za ispunjenje ovih zahteva predlaže se primena nove metodologije (Kosijer 2014). Predložena metodologija se zasniva na sistemskom pristupu i iterativnom optimizacionom procesu. S obzirom da železničke pruge pripadaju skupu diskretnih sistema tada će se ovaj kompleksan iterativni proces odvijati preko sledećih aktivnosti: formiranje skupa realnih varijanata trase, vrednovanje dobijenih varijanti u skladu sa usvojenim opštim ciljem i kriterijumima, rangiranje varijanti, odlučivanje i izbor najpovoljnije varijante trase. Najpovoljnija varijanta može biti konačna ili suženi skup rešenja. Samo donošenje konačne odluke treba da bude objektivno i potpuno dokumentovano.

U ovom novopredloženom metodološkom procesu gde postoji više varijanti trase železničke pruge primenjuje se više kriterijuma (finansijsko-ekonomski, tehničko-tehnološki, saobraćajni, prostorni i ekološki) za njihovo vrednovanje. Ovi kriterijumi su često konfliktni, a zbog nesaglasnosti njihovih mernih jedinica, varijante se ne mogu upoređivati. Tada se izbor najpovoljnije varijante trase može realizovati samo primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. U tom smislu, u ovom radu je za potrebe izbora trase u procesu planiranja železničke pruge izabrana metoda VIKOR.

Predložena metodologija testirana je na primeru procesa planiranja rekonstrukcije železničke pruge, odnosno izbora jedne od četiri varijante rekonstrukcije trase postojeće jednokolosečne pruge Koridora X, na deonici između stanica Indija i Novi Sad. Dobijeni rezultati potvrđuju ispravnost i praktičnu upotrebljivost ove metodologije u rešavanju posmatranog problema.

## 2. METODOLOGIJA IZBORA TRASE REKONSTRUKCIJE ŽELEZNIČKE PRUGE

U okviru novodefinisane metodologije izbora trase u procesu planiranja rekonstrukcije železničke pruge sprovodi se iterativni optimizacioni proces preko sledećih karakterističnih aktivnosti:

1. Definisanje osnovnih programskih uslova za planiranje rekonstrukcije trase železničke pruge,
2. Generisanje mogućih varijanti rekonstrukcije trase železničke pruge,
3. Preliminarno odlučivanje – izbor dopustivih varijanti rekonstrukcije trase,
4. Utvrđivanje funkcionalnih pokazatelja varijanata rekonstrukcije trase,
5. Vrednovanje varijanata rekonstrukcije trase,
6. Rangiranje varijanata rekonstrukcije trase,
7. Finalno odlučivanje – izbor i donošenje konačne odluke o najpovoljnijoj varijanti rekonstrukcije trase železničke pruge.

Iterativni optimizacioni proces je formiran iz činjenice da železničke pruge pripadaju skupu **diskretnih sistema** (Opricović 1998). Za njihov opis se ne može formulirati sveobuhvatni matematički model, nego se mora generirati više varijanti trase železničke pruge. Sam izbor najpovoljnije trase u matematičkom smislu znači da je za opšti usvojeni cilj, kriterijume i odgovarajuće kriterijumske funkcije potrebno odrediti njihove ekstremne vrednosti. Ovo je veoma složen postupak i zahteva veliki broj iteracija, različitih faza i nivoa. Finalno odlučivanje se ostvaruje na osnovu usvojene liste posebnih ciljeva i kriterijuma i uz primenu izabrane metode višekriterijumskog odlučivanja.

### 2.1. Vrednovanje i rangiranje varijanata rekonstrukcije trase

Metodologija izbora trase rekonstrukcije železničke pruge pretpostavlja formiran skup dopustivih varijanti trase  $V_i$  ( $V_1, V_2, \dots, V_m$ ) i usvojenu listu relevantnih posebnih ciljeva, kriterijuma i kriterijumskih funkcija za vrednovanje ovog skupa. Ova lista posebnih ciljeva i kriterijuma se dobija na osnovu opšteg cilja koji obuhvata: ekonomski, tehničko-tehnološki, saobraćajno-eksploatacioni i prostorno-ekološki aspekt korišćenja železničke pruge. Usvojenu listu posebnih ciljeva  $C_j$  ( $j=1, \dots, 5$ ), koja je prikazana u tabeli 1., čini skup od: kvantitativno-ekonomskih, kvantitativno-tehničkih i kvalitativnih posebnih ciljeva kao i odgovarajućih kriterijumskih funkcija  $f_j$  ( $j=1, \dots, 5$ ).

**Tabela 2:** Lista posebnih ciljeva i kriterijumskih funkcija za vrednovanje

Posebni ciljevi	Kriterijumske funkcije	Dimenzije
$C_1$ - Investiciona ulaganja za rekonstrukciju	$f_1 = \sum I_k \rightarrow \min$	monetarane jedinice
$C_2$ - Troškovi upravljanja i održavanja	$f_2 = \sum T_k \rightarrow \min$	monetarne jedinice/godina
$C_3$ - Kvalitet saobraćajne usluge	$f_3 = \sum T_i \rightarrow \min$ $f_3^* = N \rightarrow \max$	časova/godina broj vozova
$C_4$ - Posledice na prostorni razvoj	$f_4 = \sum P_k \rightarrow \min$	bodovi
$C_5$ - Uticaj na životnu sredinu	$f_5 = \sum U_k \rightarrow \min$	bodovi

Upotrebljene oznake su:  $I_k$  – pojedinačne vrednosti investicionih ulaganja potrebne za rekonstrukciju stabilnih postrojenja železničke pruge,  $T_k$  – pojedinačne vrednosti troškova za upravljanje i održavanje stabilnih postrojenja i pratećih sadržaja železničke pruge,  $T_i$  – pojedinačne vrednosti vremena koje određuju vreme putovanja vozova,  $N$  – propusna moć trase železničke pruge,  $P_k$  – pojedinačne vrednosti posledica rekonstrukcije trase železničke pruge na prostorni razvoj,  $U_k$  – pojedinačne vrednosti uticaja rekonstrukcije trase na životnu sredinu.

Od navedenih kriterijumskih funkcija,  $f_1$  i  $f_2$  su iskazane monetarnim jedinicama,  $f_3$  i  $f_3^*$  su iskazane nemonetarnim jedinicama, dok su  $f_4$  i  $f_5$  iskazane kvalitativnim jedinicama (bodovi u rasponu od 1 do 10). U ovom poretku vrednost kriterijumske funkcije  $f_3^*$  treba maksimizirati, a ostale vrednosti kriterijumskih funkcija  $f_1, f_2, f_3, f_4$  i  $f_5$  treba minimizirati.

Sledeća aktivnost u metodologiji izbora trase rekonstrukcije železničke pruge je pojedinačno vrednovanje svake varijante trase prema svakom kriterijumu, odnosno za svaku varijantu  $V_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) se utvrđuje vrednost kriterijumske funkcije  $f_j$  ( $j=1, \dots, 5$ ). Izračunate vrednosti  $f_{ij}$  (vrednost  $j$ -te kriterijumske funkcije za  $i$ -tu varijantu) formiraju početnu matricu za odlučivanje tipa  $m \times n$  ( $m$ –varijante,  $n$ –kriterijumi; ( $m \geq 2$  i  $n \geq 2$ )). Poslednja aktivnost u metodologiji izbora trase rekonstrukcije železničke pruge je rangiranje varijanti rekonstrukcije. Rezultat rangiranja je rang lista koja daje poredak vrednovanih varijanata. Ako postoji više scenarija, tada se prilikom rangiranja za svaki scenario dobija odgovarajuća rang lista. Na osnovu rang liste

se vrši izbor i donosi konačna odluka o najpovoljnijoj varijanti rekonstrukcije trase železničke pruge. Najpovoljnija varijanta rekonstrukcije može biti konačna ili pak suženi skup rešenja.

## 2.2. Metoda VIKOR

Iterativni proces izbora trase rekonstrukcije železničke pruge pretpostavlja formiran skup dopustivih varijanta rekonstrukcije i usvojenu listu od više kriterijuma za njihovo vrednovanje. Ovi kriterijumi su često konfliktni, a zbog nesaglasnosti njihovih mernih jedinica, varijante se ne mogu porediti. Tada se izbor najpovoljnije varijante trase rekonstrukcije može realizovati samo primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. U tom smislu u ovom radu izabrana je metoda VIKOR. Ova metoda višekriterijumskog odlučivanja pripada grupi metoda za višeatributivno odlučivanje (Borović i Nikolić 1996, Opricović 1998). Ove metode rešavaju višekriterijumske probleme kod diskretnih sistema izborom najbolje alternative-akcije iz skupa predhodno definisanih.

Metoda VIKOR (*VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje*) određuje rešenje iz skupa dopustivih rešenja koje je najbliže idealnom u prostoru kriterijumskih funkcija. Rešenje koje je najbliže idealnom, naziva se **kompromisnim** rešenjem na osnovu usvojene mere rastojanja. Kao mere rastojanja od idealne tačke koriste se "granične" metrike  $L_p$  iz metode kompromisnog programiranja. Algoritam metode VIKOR (Opricović 1998, Opricović and Tzeng 2004) sastoji se iz sledećih koraka:

**Korak 1:** Formiranje početne matrice odlučivanja za varijante ( $V_1, V_2, \dots, V_m$ ) prema usvojenim kriterijumskim funkcijama ( $f_1, f_2, \dots, f_n$ ). Element matrice  $f_{ij}$  predstavlja vrednost  $j$ -te kriterijumske funkcije za  $i$ -tu varijantu.

**Korak 2:** Normalizacija vrednosti početne matrice u cilju svodjenja vrednosti na bezdimenzionu veličinu.

**Korak 3:** Određivanje relativne težine vrednosti kriterijuma, odnosno težinskih koeficijenata ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ ).

**Korak 4:** Utvrđivanje mere rastojanja  $S_j$  i  $R_j$  varijanti od idealnih rešenja (1).

$$S_j = \frac{\sum w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad R_j = \max_i \frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (1)$$

**Korak 5:** Utvrđivanje mere rastojanja  $Q_j$  varijanti od idealnih rešenja (2).

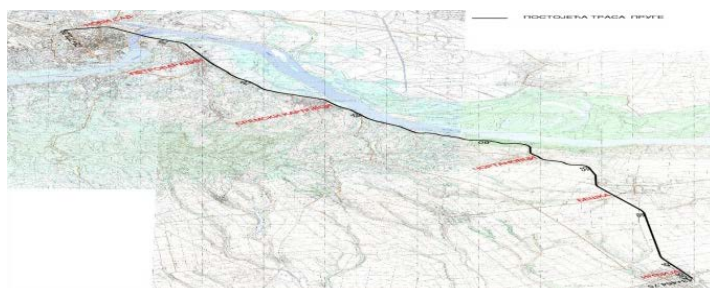
$$Q_j = v \quad Q^+ (1 - v) Q_j, \quad j \in 1 \dots m \quad Q_j = \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} \quad \text{if } Q_j \leq R^* \quad \text{and} \quad Q_j = \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*} \quad \text{if } Q_j > R^* \quad (2)$$

**Korak 6:** Rangiranje varijanti se vrši po opadajućim vrednostima mere rastojanja  $Q_j$  na rang listi. Kao najbolje varijantno rešenje, pored prve pozicije na rang listi treba da zadovolji i uslove „dovoljne prednosti“ i „dovoljne stabilnosti“, odnosno uslov  $U1$  i uslov  $U2$ .

## 3. PRIMER IZBORA NAJPOVOLJNIJE TRASE REKOSTRUKCIJE ŽELEZNIČKE PRUGE PRIMENOM METODE VIKOR

Izložena metodologija testirana je na primeru planiranja rekonstrukcije postojeće jednokolosečne pruge Koridora X, koji prolazi kroz Republiku Srbiju, (slika1), odnosno izbora jedne od četiri varijante rekonstrukcije trase na deonici između stanica Inđija ( $km\ 43+454,75$ ) i Novi Sad ( $km\ 78+772,91$ ) (Grupa autora 1991, Kosijer 1997). Očekivano povećanje dinamike i obima saobraćaja u budućnosti nameće potrebu za povećanjem brzine na ovoj deonici, a to se može postići, jedino, njenom rekonstrukcijom. Osnovni princip rekonstrukcije, koji je primenjen u formiranju varijantnih rešenja i ovom testiranju je:

- promena tehničkih parametara kod pojedinih elemenata trase (korekcija većeg broja manjih poluprečnika horizontalnih krivina i neadekvatnih dužina prelaznih krivina koji predstavljaju ograničavajuće faktore za realizaciju nove planirane brzine kretanja),
- sprovođenje neophodnih radova na donjem i gornjem stroju, sa ciljem povećanja brzine kretanja,
- maksimalno iskorišćenje postojeće infrastrukture, odnosno minimiziranje investicionih ulaganja za rekonstrukciju.



**Slika 1:** Situacioni prikaz postojeće trase pruge Indija – Novi Sad od km 43+454,75 do km 78+772,91

### 3.1. Generisanje i vrednovanje varijantnih rešenja rekonstrukcije

S obzirom na terenske karakteristike, prostorni raspored, stepen izgrađenosti (postojeća naselja, Nacionalni park "Fruška gora" i reka Dunav) lokalne geološke pokazatelje i željeno povećanje brzine na ovoj deonici, ukazala se mogućnost formiranja četiri varijantna rešenja rekonstrukcije postojeće trase železničke pruge Indija i Novi Sad  $V_j$  ( $j = 1, \dots, 4$ ):

- Varijantno rešenje  $V_1$  je varijanta rekonstrukcije za brzinu **80 km/h**,
- Varijantno rešenje  $V_2$  je varijanta rekonstrukcije za brzinu **100 km/h**,
- Varijantno rešenje  $V_3$  je varijanta rekonstrukcije za brzinu **120 km/h**,
- Varijantno rešenje  $V_4$  je varijanta rekonstrukcije za brzinu **120-160 km/h**.

Osnovne karakteristike ovih rešenja date su u tabeli 2, a rezultati procene vrednosti predloženih varijantnih rešenja  $V_j$  ( $j=1, \dots, 4$ ), izvršenih u skladu sa usvojenim posebnim ciljevima i kriterijumskim funkcijama (tabela 1), koji čine elemente početne matrice za odlučivanje  $F_{ij}$ , prikazani su u tabeli 3. Podaci u tabeli 3 pokazuju da nema varijante trase kod koje su sve vrednosti kriterijumskih funkcija najbolje. Iz tih razloga i zbog različitih mernih jedinica kriterijumskih funkcija, izvršena je normalizacija polazne matrice za odlučivanje  $F_{ij}$ , a rezultati su dati u tabeli 4.

**Tabela 2:** Prikaz karakteristika varijantnih rešenja rekonstrukcije

Karakteristike trase	Pos. stanje	Varijantna rešenja			
		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
Dužina trase (km)	35,319	35,007	35,001	34,878	34,836
Broj krivina	47	43	36	35	26
Dužina za rekonstrukciju (km)	-	4,550	8,700	12,560	15,475

**Tabela 3:** Početna matrica za odlučivanje

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_3^*$	$f_4$	$f_5$
	(mil €)	(mil €/god)	(min/dan)	(broj vozova)	(bodovi)	(bodovi)
	min	min	max	min	min	min
$V_1$	14,968	8,8044	2944,00	106,00	48,30	34,50
$V_2$	19,680	9,2814	2863,40	126,00	52,50	39,00
$V_3$	26,128	9,5700	2832,40	128,00	70,30	52,20
$V_4$	31,527	9,8051	2730,10	168,00	83,50	60,00

**Tabela 4:** Normalizacija početne matrice za odlučivanje

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_3^*$	$f_4$	$f_5$
	(mil €)	(mil €/god)	(min/dan)	(broj vozova)	(bodovi)	(bodovi)
	min	min	max	min	min	min
$V_1$	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000
$V_2$	0,285	0,477	0,623	0,677	0,119	0,176
$V_3$	0,674	0,765	0,478	0,645	0,625	0,694
$V_4$	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	1,000
$f_i^*$	14,968	8,804	2730,10	168,00	48,30	34,50
$f_i^-$	31,527	9,805	2944,00	106,00	83,50	60,00



$D_i$	-16,559	-1,001	-213,90	62,00	-35,20	-25,50
-------	---------	--------	---------	-------	--------	--------

Za realizaciju postupka rangiranja svim kriterijumima su dodeljene relativne težine  $w_j$ , odnosno težinski koeficijenti. U ovoj analizi za definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma koristila se metoda simulacije strukture preferencije, tako da je za vrednosti težinskih koeficijenata predloženo pet scenarija:

- [11] *Scenario I*: svi posebni ciljevi imaju istu važnost, tako da imaju iste težinske koeficijente,  
 [12] *Scenario II*: prednost se daje ekonomskom i saobraćajnom aspektu, tako da je najveća vrednost težinskih koeficijenata dodeljena posebnim ciljevima  $C_1, C_2$  i  $C_3$ , kao i funkcijama  $f_1, f_2, f_3$  i  $f_3^*$ , a najmanja posebnim ciljevima  $C_4$  i  $C_5$ , kao i funkcijama  $f_4$  i  $f_5$ ,  
 [13] *Scenario III*: prednost se daje ekonomskom aspektu, tako da je najveća vrednost težinskih koeficijenata dodeljena posebnim ciljevima  $C_1$  i  $C_2$ , kao i funkcijama  $f_1$  i  $f_2$ , a najmanja posebnim ciljevima  $C_4$  i  $C_5$ , kao i funkcijama  $f_4$  i  $f_5$ ,  
 [14] *Scenario IV*: prednost se daje saobraćajnom aspektu, tako da je najveća vrednost težinskog koeficijenta dodeljena posebnom cilju  $C_3$ , kao i funkcijama  $f_3$  i  $f_3^*$ , a najmanja posebnim ciljevima  $C_4$  i  $C_5$ , kao i funkcijama  $f_4$  i  $f_5$ ,  
 [15] *Scenario V*: prednost se daje ekološkom aspektu, tako da je najveća vrednost težinskih koeficijenata dodeljena posebnim ciljevima  $C_4$  i  $C_5$  kao i funkcijama  $f_4$  i  $f_5$ , a najmanja posebnim ciljevima  $C_1, C_2$ , i  $C_3$ , kao i funkcijama  $f_1, f_2, f_3$  i  $f_3^*$ .

Nonnormalizovane vrednosti težinskih koeficijenata, za predložena scenarija, prikazane su u tabeli 5.

**Tabela 5:** Nenormalizovane vrednosti težinskih koeficijenata za predložena scenarija

Težinski koeficijenti	Scenario				
	SC I	SC II	SC III	SC IV	SC V
$w_1$	1	3	3	2	2
$w_2$	1	3	3	2	2
$w_3$	1	3	2	3	2
$w_4$	1	2	1	1	3
$w_5$	1	2	1	1	3

### 3.2. Rangiranje varijantnih rešenja rekonstrukcije

Na osnovu vrednovanja po kriterijumima i definisanim scenarijima težinskih koeficijenata (na osnovu algoritma metode VIKOR) i usvojene težina strategije odlučivanja "većinom kriterijuma"  $\nu = 0.5$ , dobijene su matrica za odlučivanje na osnovu mera  $Q_j, QS_j$  i  $QR_j$  i rang liste (tabele 6 i 7):

**Tabela 6:** Matrica za odlučivanje na osnovu mera  $Q_j, QS_j$  i  $QR_j$

		V1	V2	V3	V4
SC I	$Q_j$	0,022	0,118	0,662	1,000
	$QS_j$	0,000	0,236	0,773	1,000
	$QR_j$	0,044	0,000	0,551	1,000
SC II	$Q_j$	0,022	0,131	0,678	1,000
	$QS_j$	0,000	0,261	0,806	1,000
	$QR_j$	0,044	0,000	0,551	1,000
SC III	$Q_j$	0,000	0,265	0,720	1,000
	$QS_j$	0,000	0,314	0,793	1,000
	$QR_j$	0,000	0,216	0,648	1,000
SC IV	$Q_j$	0,246	0,128	0,742	1,000
	$QS_j$	0,000	0,257	0,961	1,000
	$QR_j$	0,492	0,000	0,523	1,000
SC V	$Q_j$	0,011	0,107	0,648	1,000
	$QS_j$	0,000	0,214	0,745	1,000
	$QR_j$	0,022	0,000	0,551	1,000

**Tabela 7:** Rang liste varijanti rekonstrukcije trase za predložena scenarija i  $v = 0.5$ 

Rang	Scenarija				
	SC I	SC II	S III	SC IV	SC V
1	$V_1(0,022)$	$V_1(0,022)$	$V_1(0,000)$	$V_2(0,128)$	$V_1(0,011)$
2	$V_2(0,118)$	$V_2(0,131)$	$V_2(0,265)$	$V_1(0,246)$	$V_2(0,107)$
3	$V_3(0,662)$	$V_3(0,678)$	$V_3(0,720)$	$V_3(0,742)$	$V_3(0,648)$
4	$V_4(1,000)$	$V_4(1,000)$	$V_4(1,000)$	$V_4(1,000)$	$V_4(1,000)$

### 3.3. Analiza rezultata

Rezultati sprovedenog rangiranja pokazuju da je varijantno rešenje  $V_1$  u četiri od od ukupno pet predloženih scenarija zauzelo prvu poziciju na

kompromisnoj rang listi, dok je za *Scenario IV* varijantno rešenje  $V_2$  najboljeg ranga. Prvo rangirano varijantno rešenje  $V_1$  je zadovoljilo uslov „dovoljne stabilnosti“, dok je uslov „dovoljne prednosti“ zadovoljen samo za *Scenario III*. Samo u *Scenariju III*, kada se prednost daje saobraćajnom aspektu, varijantno rešenje  $V_1$  može se smatrati dovoljno boljim u odnosu na ostala i proglasiti za **najbolje**.

Kod ostalih scenarija „blizina“ drugoplasiranih varijantnih rešenja ukazuje da se ona moraju uzeti u razmatranje, pa skup kompromisnih rešenja sačinjavaju varijantno rešenje  $V_1$  i  $V_2$ . Ovako dobijeni rezultati u vidu skupa kompromisnih rešenja ponudiće se donosiocima odluke u postupku odlučivanja za najpovoljnije varijantno rešenje rekonstrukcije deonice železničke pruge između stanice Indija i stanice Novi Sad. Koje od ovih rešenja će izabrati donosioci odluke zavisi od dodatnih analiza i ponovljenog rangiranja varijantnih rešenja iz skupa kompromisnih rešenja.

## 4. ZAKLJUČAK

Predložena metodologija omogućava celovito i sistemsko rešavanje problema izbora najpovoljnije trase u procesu planiranja rekonstrukcije železničke pruge. Ovom metodologijom varijante rekonstrukcije trase železničke pruge se vrednuju preko više kriterijumskim funkcija (investicije, troškovi, kvalitet usluge, posledice na prostorni razvoj i uticaj na životnu sredinu). Za rangiranje varijanti je primenjena metoda VIKOR. Definisane težinskih koeficijenata je ostvareno metodom simulacije strukture preferencije. Krajnji rezultat višekriterijumskog odlučivanja je predlog najpovoljnije trase rekonstrukcije. Najpovoljnija trasa rekonstrukcije predstavlja najbolju varijantu rekonstrukcije u skladu sa usvojenim posebnim ciljevima, kriterijumima i realnim ograničenjima. Dobijeni rezultati u prikazanom primeru su pokazali da ova metodologija ima praktičnu upotrebljivost i da predstavlja podršku u odlučivanju u procesu planiranja rekonstrukcije železničke pruge.

**Zahvalnica:** Ovaj rad je realizovan uz podršku Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta, evidencioni broj 36012: „Istraživanje tehničko-tehnološke, kadrovske i organizacione osposobljenosti Železnica Srbije sa aspekta sadašnjih i budućih zahteva Evropske unije“.

## LITERATURA

- [1] Borović, S., Nikolić, I. (1996). Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver. Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije, Beograd.
- [2] Grupa autora. (1991). Studija podobnosti modernizacije železničke pruge Subotica-Beograd-Niš-Dimitrovgrad: Bankarski dosije. Institut CIP, Sofrerail Paris, Beograd.
- [3] Kosijer, M., Ivić, M. (1997). Primena višekriterijumske optimizacije pri izboru optimalnog koridora železničkih pruga. *Železnice*, 7-9, 368-372.
- [4] Kosijer, M. (2014). Optimizacija trase železničke pruge. doktorska disertacija. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [5] Opricović, S. (1998). Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu. Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Belgrade.
- [6] 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, No. 2, 445-455.



## MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS OF INTERCONNECTED TELECOMMUNICATION NETWORKS PERFORMANCES

ALEKSANDRA KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆ<sup>1</sup>, VESNA RADONJIĆ<sup>1</sup>, MIRJANA STOJANOVIĆ<sup>1</sup>, BRANKA MIKAVICA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, a.kostic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *Telecommunication operators are competing with each other in order to obtain new and to keep the old users and by doing so, to gain higher revenue. To achieve this it is necessary to control telecommunication network performances in a way of balancing end-user demands for less charging rate and operator's demands for profit. We suggest a model for optimal combination of traffic routing and interconnection charging in order to achieve better usage of network resources and to gain efficient technical and economical business environment for both network operators and their end-users.. We use multi-criteria analysis to select the best of eight offered combinations. We perform multiple simulations, defined relevant criterions, make judgements and apply AHP procedure.*

**Keywords:** telecommunication traffic routing, network interconnection, decision making, performance analysis

### 1. INTRODUCTION

Interconnection of telecommunications networks has always been of great importance to the business of telecommunication operators. The fact is that, prior to liberalization of the telecommunication market, interconnections was much easier to handle both in the regulatory and financial perspective. As the technology improved and competition increases, various forms of interconnection have been developed that had to be appropriately regulated. With the growing number of operators and providers in the global telecommunications market the issue of network interconnection becomes one of the most pressing areas under discussion for both operators and regulators.

One of the most accurate and very often quoted definition of network interconnection is given in (Directive 2002/19/EC, 2002) and stated that “interconnection means the physical and logical linking of public communications networks used by the same or a different undertaking in order to allow the users of one undertaking to communicate with users of the same or another undertaking, or to access services provided by another undertaking.” The fact that the interconnection of telecommunications networks is relevant for both engineers and economists supports the multidisciplinary research carried out in this area. However, years of our research in this field has shown that the scientific approaches to the network interconnection differ significantly. The engineering approach is based on telecommunication networks analysis in terms of topology, routing, flow control, the network architecture and the architecture of its main segments (Dally and Towles 2004, Duato, Yalamanchili and Ni 2003, Baojun, Feng and Weixing 2006, Chau Xiao and Fu 2005). The economic approach is based on the analysis of interconnection charging methods that are defined between undertakings (Armstrong 1999, Noam 2001, Dewenter and Haucap 2007, ERG 07) 09 2007).

The research presented in this paper seeks to appropriately perform integration of engineering and economical approach of the network interconnection phenomenon. Since routing of telecommunication traffic is the inseparable part of telecommunications network operation, it is clear that a proper selection of routing method is crucial for a network performance improving. Here, the term network performance does not only refer to technical, but also to economic performance. Improving performance of a telecommunications network has the direct consequence of the telecommunication network operator business improvement.

The basic hypothesis tested in this paper is related to the fact that the chosen routing method has a direct impact on of the resource usage in the process of handling users requests. Hence pricing and utilization of these resources are directly related to the routing method in order to meet the required quality of service and to increase economic efficiency. The integration of engineering and economical approaches has another goal: to balance often opposite requirements of interconnected operators while providing some equilibrium

between the operators themselves and between them and their end-users. It is clear that the main goal of an operator is to enlarge its profit by attracting a growing number of users and providing an increasing number of different services, with the ability to avoid investing in expensive network equipment and infrastructure. On the other hand, end users are interested in obtaining as many as possible services at reasonable prices and adequate quality.

The main problem that arises in the case of interconnection is to charge the service of interconnection. There is very large number of approaches used in solving this problem (ERG (07) 09 2007, Berger 2005). The most common are *cost-based* and *bill-and-keep* approach. Besides them, there are *retail minus*, *revenue sharing*, and several other concepts. Although mostly used approach is the *cost-based* as the fairest, since interconnection charges have only to cover costs, it has a big drawback - it is extremely difficult precisely to determine those costs. Numerous models are created and implemented by regulatory agencies around the world in order to simplify the usage of *cost-based* methodology for calculating interconnection costs (Falch 2004, Kostić-Ljubisavljević et al. 2007). They all share one important characteristic - in order to accurately determine the interconnection tariffs that will be as precise as possible related to actual costs, it is necessary to have knowledge about a wide range of data related to the operators, their network resources, finance, traffic and so on. Actually, these data are not always available. As a complete opposite of this approach, in the scientific and professional practice is proposed *bill-and-keep* approach, whose basic characteristics is that there are no charges between operators. The *bill-and-keep* method is the most appropriate in situations where the traffic between operators is in the balance. Otherwise, one of the operators will have revenue losses because of greater traffic termination in its network. It is estimated that the *bill-and-keep*, because of its implementation simplicity, will be applied in next-generation networks (Cadman 2007, DeGraba 2000).

In this paper we test how the optimal combination of dynamic traffic routing methods and interconnection charging can affect performance of interconnected telecommunications network in which coexist several active telecommunications operators (Kostić-Ljubisavljević et al. 2011). We analyse the two most common methods of interconnection charging: *cost-based* and *bill-and-keep*. As for dynamic routing of telecommunications traffic it was the *shortest path routing*, the *three hop routing*, and the *last successful path routing* analyse (Medhi and Ramasamy 2007, Pioro and Medhi 2004). After the first phase of the research we identify some problems in the distribution - "balancing" of traffic load in the network. We propose a new method for traffic routing (Kostić-Ljubisavljević et al. 2011). The new routing method, called the *least used link routing* was analysed and compared within relevant criteria with previously tested methods. After large number of simulations performed we applied the Analytical Hierarchy Process (AHP) in order to achieve optimal combination of interconnection charging method and dynamic routing.

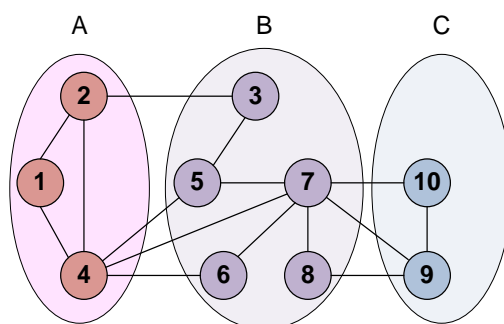
This paper is organised as follows: after the introduction the problem statement is given. Next part of the paper is related to the applied AHP methodology and results we obtained in our research. At the end of the paper are concluding remarks.

### 3. PROBLEM STATEMENT

We assume that certain hypothetical network is made of multiple telecommunication operators' networks. Every operator has its own network resources whose usage can be charged from other telecommunication operators. In order to make a comparison and to find how the optimal combination of dynamic routing methods and interconnection charging affect the performance of the entire network and each network operators in particular, dedicated software was developed (Kostić-Ljubisavljević et al. 2012). Network simulations have been performed with two interconnection charging methods and four dynamic traffic routing. A network is represented by an undirected graph  $N(O_n, L)$ . Here,  $O_n$  is the set of nodes of operator  $n$ , where  $n = 0$  indexes the incumbent operators network and  $n = 1, 2, 3...$  indexes the other operators. Let  $L$  denote the set of undirected links. Each link can be represented by a pair  $(r_i, r_j)$ , where  $r_i$  and  $r_j$  denote the originated and terminated nodes of that link, respectively. A path between each node pair can be represented as a sequence  $P = (r_0, r_2, \dots, r_T)$ , where  $r_0$  and  $r_T$  are the originating and terminating nodes of the path, and  $r_1, \dots, r_{k-1}$  are transit nodes (Kostić-Ljubisavljević et al. 2011).

Let us consider the situation in which three telecommunication operators  $A$ ,  $B$ , and  $C$  are interconnected as shown in Figure 1. The operator's  $A$  network consists of nodes 1, 2 and 4; the operator's  $B$  network of nodes 3, 5, 6, 7 and 8; the operator's  $C$  network of nodes 9 and 10, and corresponding links respectively. The observed network is characterized by the link capacity, the link cost, the node capacity, and the node cost. We assume that all links in the network have equal capacity. The link cost is defined as the cost of the operator for carrying connection that is originated, transited through, or terminated in the network. In this paper, we introduce the "cost factor of interconnection". This factor multiplies the link cost in case when a link is used for carrying traffic originated and/or terminated in other interconnected networks. The node

capacity is considered in this paper as an average number of connection requests that can be generated at any node. The node capacity is normalized to one. If links entering and leaving the node are free, each node can forward all transit traffic. Each node is generating connection requests that are represented by Poisson traffic (Hu 2008, Iversen 2011) with a mean value as the multiple of pre-defined capacity of the node. The node cost is a parameter that represents the cost of forwarding connections through the observed node. Depending on a function of a given node, the cost can be related to generation, transition and termination of a connection. For all nodes, we define that the costs of generating and terminating connections are equal. The cost of transition is the half of generation/termination cost. The term connection is concerned as an end-user request for bundle of services offered by an operator. End-users are grouped around the observed nodes in the network. Bundle of services presents a group of selected broadband services. In (*Strategy of Broadband Development in Republic of Serbia up to 2012*, 2010) the term broadband access, which should be provided to each end-user, means the permanent access to the resources of telecommunications networks with bit rates not less than 4 Mb/s. Duration of the connection is assumed to be a random variable that has an exponential distribution.



**Figure 1:** Network used in the analysis

Every network situation which is determined with certain routing method, interconnection charging concept and multiple of offered traffic, is simulated long enough times in order to get statistically correct data. For every observed parameter (with the same traffic load and the same routing and interconnection charging method) is the mathematical expectation and standard deviation calculated. All parameters are within 95% confidence interval.

#### 4. AHP METHODOLOGY AND RESULTS

With the intention of getting the optimal combination of interconnection charging and traffic routing we apply multi-criteria decision analysis of obtained results. We used Analytical Hierarchy Process (Saaty and Vargas 2006).

AHP is a multi-criteria decision method that uses hierarchical structures to represent a problem and then develop priorities for alternatives based on the judgment of the user. The AHP approach involves decomposing a complex and unstructured problem into a set of components organized in a multilevel hierarchic form. The upper level deals with the goal of the selection process. The next level defines the major factors that are subdivided into their constituents in lower levels of hierarchy. The bottom level contains the alternatives to be analyzed. Local priorities are established for each factor on a given level, with respect to factor on the level immediately above it. This is done by pair-wise comparison between the factors at each level. If  $N$  factors are being compared then  $N(N-1)/2$  pair-wise comparisons are made. These comparisons are the basis for calculation of the relative weight of each factor at each level. The last step of the analysis includes computing the relative score of each alternative with respect to the decision-making goal. Pair-wise comparison is a key step in an AHP model to determine priority weights of factors and provide a rating for alternatives based on qualitative factors. The procedure focuses on two factors at a time and their relation to each other, so decision makers will be more comfortable to offer relative (rather than absolute) preference information. A measurement scale to provide numerical judgments corresponding to verbal judgments rates the relative importance of each factor. Every AHP procedure can be complete in following steps: Defining the unstructured problem; Developing the AHP hierarchy; Pair-wise comparison; Estimating the relative weights; Checking the consistency and obtaining the overall rating

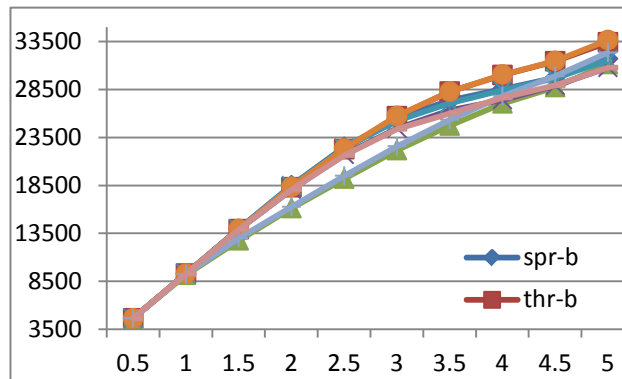
In our research we make selection of the most important criteria and make judgements about 8 possible combinations of interconnection charging and traffic routing. We select four criteria in order to obtain optimal combination of interconnection charging and traffic routing: network revenue, percentage of lost connections, connection costs, and load balancing.

With the term "load balancing" in telecommunication network one can consider the possibility of uniform distribution of traffic load on all possible links in the observed network. For the purposes of adequate and comprehensive analysis that is presented in this paper, it was necessary to correctly define and calculate load balance factor –  $lb$  – of the observed network. In order to so, we derived the expression shown in the equation (1).

$$lb = 1 - \frac{\sigma(u_i^{RI})}{a^{RI}} \quad (1)$$

where  $\sigma$  presents standard deviation of the observed parameter;  $u_i^{RI}$  presents usage of link  $i$  within routing method  $R$  and interconnection charging method  $I$  and  $a^{RI} = \frac{\sum_i^n u_i}{n}$  presents mean value of usage of all the links in the observed network within routing method  $R$  and interconnection charging method  $I$ .

In order to obtain correct judgements we define grade scale related to the known performance data for every criterion. In the Figure 2 is shown one example of data obtained by proper statistical analysis of the output results achieved with our developed software. It shows how the network revenue is changing according to the traffic intensity variations (Kostić-Ljubisavljević, Mladenović and Acimović-Raspopović 2012).



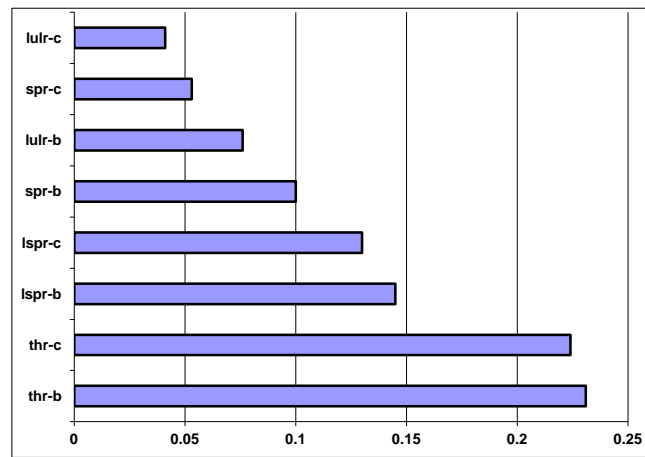
**Figure 2:** One example of data used in multicriteria analysis (network revenue related to traffic intensity variations)

We use data that represent network performances in the largest simulated traffic load. There are two reasons for such a decision: first there are usually no significant differences between data obtained for smaller traffic loads, and the second, the main issue among telecomm operators is how to handle large traffic load. Also, we omit from our research those traffic loads where the percentage of lost connections is greater than 30%. We apply pair-wise comparison of selected data. In order to make correct judgments in this process we create a scale that represents the relationship between difference in related data and proper judgment. One of that scales is presented in Table 1.

**Table 3:** Grade scale for criterion "Network revenue"

grade	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
from	-3000	-2335	-1670	-1005	-340	327	994	1661	2328
to	-2334	-1669	-1004	-339	326	993	1660	2327	2994

The results we obtain are presented in Figure 3. It can be seen that the optimal combination of traffic routing and interconnection charging for observed telecommunication network is the *three-hop-routing* with the *bill-and-keep* interconnection charging.



**Figure 3:** Results of multicriteria decision analysis of optimal combination of interconnection charging and traffic routing

## 5. CONCLUSIONS

With the aim of joining engineering and economical aspects of the telecommunication network interconnection we form the model of optimal interconnection and routing combination, as the result of our long term research in the field of dynamic traffic routing and interconnection charging. In order to get the optimal combination of interconnection charging method and dynamic traffic routing we apply multi-criteria decision analysis. In this paper we define most relevant criterions and make judgements about three different (and well known) routing methods, and one completely new routing method, combining them with two interconnection charging methods. We apply pair wise comparison of all the combinations according to our criterions, applied AHP procedure, and find that combination of *three-hop-routing* method with the *bill-and-keep* interconnection method gives the most optimal network performances.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work is partially supported by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia under No. 36002.

## REFERENCES

- [1] Armstrong, M. (1988) Network Interconnection in Telecommunications. *The Economic Journal*, 108 (448), 545-564
- [2] Baojun, Q., Feng, S. & Weixing, J. (2006). A New Routing Algorithm in Triple-based Hierarchical Interconnection Network. Proc. 1st Int. Conf. on Innovative Computing, Information and Control - ICICIC'06, Beijing, China, 725-728.
- [3] Berger, U. (2005). Bill-and-keep vs. cost-based access pricing revisited, *Economics Letters*, 86, 107–112
- [4] Cadman, R. (2007). NGN interconnection: Charging Principles and Economic Efficiency. Retrieved from [http://www.ngnuk.org.uk/uploads/NGNuk\\_Charging\\_Principles\\_\\_12072007.pdf](http://www.ngnuk.org.uk/uploads/NGNuk_Charging_Principles__12072007.pdf)
- [5] Chau, S.C., Xiao, T. & Fu, A. W. –C. (2005). Routing and Scheduling for a Novel Optical Multistage Interconnection Network. Proc. Euro-Par 2005 Parallel Processing. Lecture Notes in Computer Science. In J. C. Cunha and P. D. Medeiro. (Eds.), Springer-Verlag, 3648, 984-993
- [6] Dally, W. & Towles, B. (2004). Principles and practices of interconnection networks. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann
- [7] Dewenter, R. & Haucap J. (2007). (Eds.), Access Pricing: Theory And Practice. Elsevier
- [8] DeGraba, P. (2000). Bill and Keep at the Central Office As the Efficient Interconnection Regime, OPP Working Paper Series, 33, Retrieved from [http://transition.fcc.gov/Bureaus/OPP/working\\_papers/oppwp33.pdf](http://transition.fcc.gov/Bureaus/OPP/working_papers/oppwp33.pdf)
- [9] Directive 2002/19/EC of the European Parliament and of the Council of 7 March 2002 on access to, and interconnection of, electronic communications networks and associated facilities (2002). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:108:0007:0007:EN:PDF>

- [10] Duato, J., Yalamanchili, S. & Ni, L. (2003). *Interconnection Networks: An Engineering Approach*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann
- [11] Hu, H. (2008). Poisson Distribution and Application. Retrieved from <http://sces.phys.utk.edu/~moreo/mm08/Haohu.pdf>
- [12] Iversen, V.B. (2010). *Teletraffic Engineering and Network Planning*. Retrieved from [ftp://ftp.dei.polimi.it/users/Flaminio.Borgonovo/Teoria/teletraffic\\_Iversen.pdf](ftp://ftp.dei.polimi.it/users/Flaminio.Borgonovo/Teoria/teletraffic_Iversen.pdf)
- [13] Noam, E.M. (2001). *Interconnecting the Network of Networks*. Cambridge, MA: MIT Press
- [14] ERG, Project Team on IP-Interconnection and NGN, "Final report on IP Interconnection", ERG (07) 09, 2007. Retrieved from [http://www.irg.eu/streaming/erg\\_07\\_09\\_rept\\_on\\_ip\\_interconn.pdf?contentId=543123andfield=ATTACHED\\_FILE](http://www.irg.eu/streaming/erg_07_09_rept_on_ip_interconn.pdf?contentId=543123andfield=ATTACHED_FILE)
- [15] Falch, M. (2004). Cost based interconnection charges, competition and investments, WDR Dialogue Theme 2003, Discussion Paper WDR 0308, 2004. Retrieved from <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Document.2918.pdf>
- [16] Kostić-Ljubisavljević, A., Radojčić, V. & Aćimović-Raspopović, V. (2007). An Implementation of Adaptable Bottom-up Model for Calculation Interconnection Costs. in *Proc. XLII Int. Scientific Conf. on Information, Communication and Energy Systems and Technologies - Icest 2007*, Ohrid, Macedonia, 1, 177-180
- [17] Kostić-Ljubisavljević, A., Mladenović, S., Aćimović-Raspopović, V. & Samčović, A. (2011, February). The Analysys of Network Performance with Different Routing and Interconnection Methods, *Electronics and Electrical Engineering*, 2(108), 43-46
- [18] Kostić-Ljubisavljević, A., Radonjić, V., Mladenović, S., Aćimović-Raspopović, V. & Stojanović, M. (2011). Load Balance Routing for Interconnected Next Generation Networks Performances Improvement, *Proc. 34th Int. Conf. on Telecommunications and Signal Processing – TSP*, Budapest, Hungary, 42-46
- [19] Kostić-Ljubisavljević, A., Radonjić, V., Mladenović, S. & Aćimović-Raspopović, V. (2011). An Application of Game Theory for the Selection of Traffic Routing Method in Interconnected NGN. *Proc. Int. Conf. Digital Information Processing an Communications, ICDIPC 2011, Communications in Computer and Information Science*. In V. Snasel, J. Platos and E. El-Qawasmeh (Eds.), Part II, 189 (107-122), Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [20] Kostić-Ljubisavljević, A., Mladenović, S., Radonjić, V. & Janković, S. (2012). Software for Routing and Interconnection Simulation. *Proc. Int. Conf. on Computer Science, Engineering and Technology - ICCSET 2012*, Zurich, Switzerland, 4-13
- [21] Kostić-Ljubisavljević, A., Mladenović, S. & Acimović-Raspopović, V. (2012, December). The Analysis of Telecom Operator's Revenue Dependence on Different Routing and Interconnection Charging Methods, *Technological and Economic Development of Economy*, 18 (4), 608-622
- [22] Medhi, D. & Ramasamy, K. (2007). *Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures*. Elsevier
- [23] Pioro, M. & Medhi, D. (2004). *Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks*. Elsevier
- [24] Strategy of Broadband Development in Republic of Serbia up to 2012 (original in Serbian). (2010). Retrieved from <http://www.mtid.gov.rs/upload/documents/propisi/strategije/Strategija%20i%20akcioni%20plan%20razvoj%20sirokopojasnog%20pristupa.pdf>
- [25] Saaty, T.L. & Vargas, L.G. (2006). *Decision Making With The Analytic Network Process, Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*. Springer





## PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AS A TOOL IN UNDERSTANDING THE AIRLINE CHOICE

JOVANA KULJANIN<sup>1</sup>, MIRA PASKOTA<sup>1</sup>, MILICA KALIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {j.kuljanin, m.paskota, m.kalic}@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** Airlines constantly struggle to secure and preserve their market positions and shares in a highly competitive environment. In order to achieve this, the airlines need to focus their marketing strategies towards understanding and satisfying the passengers' needs. Data from the passenger survey that has recently been conducted at the Airport Nikola Tesla in Belgrade were used for analyzing the importance of the factors presenting different aspects of the airlines service. Principal Component Analysis is a statistical method which enables the researcher to reduce the dimensionality of a dataspace determined by a great number of variables into a space of lower dimensionality, spanned by the linear combinations of the original variables, called the principal components. In this paper Principal Component Analysis was used for gaining the better understanding of the most important aspects of the demand for the airline services.

**Keywords:** Multivariate Analysis, Dimension Reduction, Principal Component Analysis, Airline Passenger Survey

### 1. INTRODUCTION

In recent decades, the airlines in Europe have faced fierce competition, mainly due to the deregulation and increased quality of service offered to passengers in many sectors of the airline business. In order to sustain a profitable growth, it is essential for an airline to understand and meet its customers' needs. Over a long period of time, almost all airlines have tried to encourage people to fly with them using advertising approaches which make unqualified promises of the service excellence (Shaw 2009). Advertising should cover different aspects of the passengers' expectations, the substantial, as well as the insubstantial that can also play a very important role. Therefore, some passengers will highly value the airline that can offer a plausible level of comfort together with the suitable departure and arrival times, while others will be merely interested in flying with the airline that offers lower ticket prices leaving all other factors aside. On the other side, the airlines will not be focused on satisfying the requirements of all segments in the market, but rather on listening to the segments considered to be profitable for them. It is well known that the traditional airlines are more interested in securing the loyalty of business travelers who bring higher yields to the company, while the low-cost companies (LCC) cover the segments of the market that will accept poorer service in return for the cheap air travel.

In the last decade Serbian air passenger travel market has experienced tremendous changes due to instability of the political and economic situation. In the period from 2006 to 2010, four low cost carriers penetrated the Serbian market, offering significantly lower prices than established traditional airlines on the specific routes. Furthermore, the relaxation of the visa regime in the late 2009 enabled Serbian citizens to travel to 25 countries, members of the European Union (except the United Kingdom and Ireland). The LCCs have recognized the potential market in the passengers who could not be reached in the past due to the monopoly of the national flag carrier. Their other advantage was the more competitive fares they can offer. Under these newly established circumstances, traditional airlines were forced by the competition to "listen" to the wants and needs of their passengers and the rest of the potential market in order to be able to tailor their strategies accordingly. According to independent sources, in the past 5 years, the number of passengers carried by low-cost carriers has increased sixfold, while the number of LCCs gradually increased: from a single LCC in 2006 to 2 LCCs in the period between 2007 and 2009; then, 5 LCCs already in the period 2010-2013 to even 7 LCCs in 2014.

Principal Component Analysis (PCA) is seen as a very applicable statistical technique frequently used in the airline industry literature, especially in those parts which investigate the quality of service offered to the passengers. Askoy et al. (2003) evaluate the difference between the airline services marketing of domestic and foreign companies from the customers' point of view. To reduce the number of the variables that are explaining the service expectations of airline passengers, the authors used the dimension reduction, an

important property of the PCA, to lower the number of dimensions from thirty nine variables in the original dataset to only nine factors kept in the analysis. Moreover, PCA is very often combined with other statistical methods in order to improve the performance of the overall model. Thus, Adler and Golany (2001) used Data Envelopment Analysis (DEA) to select the most efficient network configuration in the deregulated Western European airline market. To overcome the difficulties in DEA when there is an excessive number of inputs and outputs, the authors employ PCA to aggregate certain, clustered data.

The aim of this paper is to reveal the major factors that are contributing to the variability in the data concerning the passengers' attitude towards different aspects of service quality when choosing the airlines. The data are obtained by the survey that has been conducted at the Belgrade Airport in year 2013. For this purpose, Principal Component Analysis has been used as an appropriate statistical tool for reducing the dimensionality of the dataset. The rest of the paper is organized as follows. The main concept of the PCA is presented in the Section 2. Section 3 gives the essential information about data used. Analyses and results are given in the Section 4. Section 5 concludes the analysis.

## 2. METHODOLOGY

The central idea of the principal component analysis (PCA) is to reduce the dimensionality of a dataset containing a large number of interrelated variables, while retaining as much as possible of the variation present in the data (Jolliffe 2002). In other words, by applying PCA one can transform the number of observed variables to a smaller number of principal components which account for most of the variance of the observed variables.

Traditionally, PCA is performed on the symmetric covariance matrix or on the symmetric correlation matrix. PCA decomposes a correlation matrix with ones on the main diagonal. The amount of the total variance is equal to the trace of the matrix (the sum of the elements from the main diagonal), which is equal to the number of variables in the analysis.

The final results obtained by PCA are presented by the component scores. The component scores are linear combination of the observed variables  $X_{\mu}$  weighted by the eigenvectors  $e_{\mu\nu}$  (Eq. 1).

$$Y_i = e_i'X = e_{i1}X_1 + e_{i2}X_2 + \dots + e_{ip}X_p, \quad (1)$$

Where

$$e_i' \Sigma e_i \text{ for } i = 1, 2, \dots, p$$

and

$$\text{Cov}(Y_i, Y_k) = \text{Cov}(e_i' \Sigma e_i) = 0 \text{ for } i \neq k \quad (3)$$

In addition to the algebraic interpretation, PCA can also be understood from a geometric point of view. In that case, the objects are represented as a cloud of  $n$  points in a multidimensional space, determined by the  $p$  variables. Objective of the PCA is to transform this  $p$ -dimensional space into a space of lower dimension, determined by the principal components (principal axes) that have the following properties:

- The principal axes are ordered in such a way that the first explains the highest amount of the variability, the second explains the next highest amount of the variability, and so on, with the axis  $p$  explaining the smallest amount of the total variability
- The covariance between each pair of the principal axes is zero (the principal axes are uncorrelated).

During the Multivariate Data Analysis (MVA), PCA is quite frequently carried out as a mid-phase activity, before another statistical analysis such as factor analysis, cluster analysis or regression analysis.

## 3. THE DATA

Division of the Airline Planning and Operations at the Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, conducted the survey at the Belgrade Airport in April and May 2013. The sample consisted of the passengers who travel on the routes where two or more airlines compete and one of them is a LCC. Face-to-face interviews were conducted in the check-in area and in the transit area in front of the departure gates. Due to the security concerns, no access to the gates was granted to the interviewers. A total of 766 responses were collected. Total number of observed routes was seven, flights from Belgrade to Brussels, Copenhagen, Gothenburg, Istanbul, London, Munich and Stuttgart. Two variations of the same questionnaire were designed. The first was for the passengers traveling by a traditional airline and the second was for the passengers traveling by a low-cost airline. Core of both the questionnaires was the same and consists of 22 questions. Some differences were necessary in several questions, depending on the carrier

type. In this way were avoided the questions which were not applicable to the low-cost or traditional airline passengers. Generally, all these questions can be grouped into three variable sets. The first of them is dedicated to revealing the socio-economic characteristics of the interviewed passengers (such as the age, sex, occupation etc.). The second set contains variables related to the travel itself (the type of the airline flown, the frequency of flying, purpose of the trip, the number of checked bags, the number of persons in the group etc.). Finally, the third set is essential for the further analysis and includes the variables presenting the preferences regarding different attributes of the airline service, which may influence choice of the airline.

#### 4. ANALYSIS AND THE RESULTS

Principal component analysis was conducted in order to identify different factors which could influence the choice between a traditional and a low cost airline by the interviewed passengers. For the PCA we initially selected 14 variables, which were considered to be the most appropriate for this kind of analysis. First twelve variables are describing the passengers' attitude toward different factors that may have important influence on the decision about the chosen airline. Each of these factors has been evaluated on a five-point scale, ranging from 'no influence' to 'extremely high influence'. The age of the passengers was selected so we can control for the age group differences in behavior towards the airline services. The last variable in this set, the average number of bags per passenger, was derived from the two basic variables – the number of passengers in the group and total number of checked bags. Although a derivate, by the further analysis this variable has been proven as significant in describing the total variance of the dataset. It is obvious that smaller number of variables will allow for an easier interpretation of the results, which supports the initial idea of using the PCA.

##### 4.1. Preliminary results

As the first step in the analysis, the correlation matrix was inspected in detail before the final decision about the variables relevant for the analysis was made. According to the results from the correlation matrix, it was evident that the variable 'Age of the passenger' should be omitted from the further analysis since it does not correlate with any other variable. Table 1 lists the variables in the initial model with their calculated communalities. Community is the proportion of each variable's variance that can be explained by the principal components and is a good measure of the usefulness of that variable in the model (Kendall 1980). It can be seen that variables such as 'Convenient take-off and landing time', 'Location of the airport at destination', 'Previous experience with the airline' and 'FF program' have relatively low communalities, which leads to the conclusion that these variables are not well-suited for the PCA. By analyzing the unrotated factor loadings along the 3 extracted components from the Component matrix, it was noted that the distribution of two variables' loadings ('Convenient take-off and landing time' and 'Location of the airport at destination') are rather complex. Values of their loadings on the first two extracted components are higher than 0.3, therefore these two variables were excluded from the set. Although the communalities of the variables 'FF program' and 'Previous experience with the airline' are not that high, they are retained in the final set because their loadings are relatively high on the specific components. In this way was selected the final set of eleven variables (Table 1).

**Table 1:** Initial set of the variables selected for the PCA

	<b>Variable</b>	<b>Communality</b>	<b>Selected for the final analysis</b>
1	Price	0.478	Yes
2	Convenient take-off and landing time	0.459	No
3	Punctuality	0.604	Yes
4	Fare flexibility	0.507	Yes
5	Location of the airport at destination	0.458	No
6	Previous experience with the airline	0.454	Yes
7	Service on board (beverage, food)	0.584	Yes
8	Seat comfort, legroom	0.669	Yes
9	Aircraft type	0.566	Yes
10	Online check-in	0.569	Yes
11	Seat selection	0.627	Yes
12	FF program	0.444	Yes
13	Avg number of bags per passenger	0.692	Yes

## 4.2. Final results

After defining the final set of variables, two tests should be performed before conducting the PCA. The first of them is Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy (KMO) which tests whether the partial correlations among the variables are small. The second is Bartlett's test of sphericity which tests whether the correlation matrix is an identity matrix, which would indicate that the factor model is inappropriate. The results of these two test were obtained by using statistical software SPSS and given in the Table 2. In general, value of the KMO measure greater than 0.8 is considered to be very good, i.e. an indication that component analysis of these variables will be useful. Value of the KMO for this model was 0.895. The Chi-square statistics of the Bartlett's test of sphericity was 2536.548 with 55 degrees of freedom and the significance asymptotically converging towards zero, meaning that the null hypothesis should be rejected. The conclusion is that the correlations within the dataset are appropriate for the component analysis. Therefore, both tests are meeting the necessary requirements and are promising relatively high quality of the obtained principal components.

**Table 2:** Results of the KMO and Bartlett's test

Test	Value	
Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy	0.895	
Bartlett's test of sphericity	Approx. Chi-Square	2536.548
	df.	55
	Sig.	0.000

Results of the PCA are given in Table 3. Out of 11 possible components, the first three were extracted because their eigenvalues are greater than 1; they account for 59.643% of the total variance. Interpretation of the results in PCA is done based on the component matrix. However, in the initial solution the factor loadings along the principal components are usually not separated well enough for a high quality interpretation. Usually, the researcher would decide to rotate the obtained space of lower dimension using one of the popular algorithms. In this analysis the Quartimax rotation was used, in order to maximize the variance of the squared component loadings within the variables.

Results of the PCA after the dimension reduction and Quartimax rotation are given in Table 4. It can be noted that the proportions of the explained variability are slightly different, but the total variability explained by the first three dimensions is still the same.

**Table 3:** PCA results before the rotation

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.460	40.545	40.545	4.460	40.545	40.545
2	1.071	9.741	50.285	1.071	9.741	50.285
3	1.029	9.358	59.643	1.029	9.358	59.643
4	0.849	7.718	67.362			
5	0.724	6.579	73.940			
6	0.631	5.737	79.678			
7	0.555	5.047	84.724			
8	0.477	4.334	89.058			
9	0.454	4.126	93.184			
10	0.417	3.793	96.976			
11	0.333	3.024	100.000			

**Table 4:** PCA results after the Quartimax rotation

Component	Initial Eigenvalues			Rotation sum of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.460	40.545	40.545	4.385	39.864	39.864
2	1.071	9.741	50.285	1.130	10.269	50.132
3	1.029	9.358	59.643	1.046	9.511	59.643

The final interpretation of the obtained virtual dimensions was done using the Rotated component matrix (Table 5). As it can be seen, the first principal component is strongly influenced by 9 out of the original 11 variables. The first principal component increases with the increase of ‘Punctuality’, ‘Fare flexibility’, ‘Previous experience with the airline’, ‘Service on board’, ‘Seat comfort’, ‘Aircraft type’, ‘Online check-in’, ‘Seat selection’ and ‘FF program’ scores. This suggests that these nine factors vary together. It seems reasonable to identify the first rotated component as "**Convenience and experience**", since all these variables are describing several aspects of the airline service that travelers are experiencing before and during the flight. The second rotated component is easy to interpret since it is influenced by only one variable, the ticket price, with a very high score. That is the reason this component was named "**Price**". The researchers see it as a very good indicator of the price sensitivity expressed by the passengers. Finally, the third component could be labeled "**Luggage**" because ‘Average number of bags per passenger’ is the only variable influencing it and it has a very high loading.

**Table 5:** Rotated component matrix

	Component 1 (39.864%) <b>Convenience and experience</b>	Component 2 (10.269%) <b>Price</b>	Component 3 (9.511%) <b>Luggage</b>
Price	0.204	0.837	-0.026
Punctuality	0.641	0.322	0.107
Fare flexibility	0.620	0.344	0.103
Previous experience	0.613	0.288	-0.003
Service on board	0.740	-0.104	0.094
Seat comfort, legroom	0.809	-0.045	0.088
Aircraft type	0.736	-0.154	0.031
Online check-in	0.672	0.220	-0.223
Seat selection	0.769	-0.163	0.033
FF programe	0.618	-0.113	-0.211
Avg number of bags per pax	0.054	-0.006	0.954

The results obtained by the PCA provide meaningful and reasonable results. The first component accounts for 39.864% of the total variance and contains variables which describe convenience of the service. This component mainly reveals that there are passengers who highly regard and value the characteristics such as the seat comfort and selection, service on board and on-line check-in. These factors of service are favored compared to the others, and seem to be crucial in the airline choice. Since they are reflecting a good perception of the airline and knowledge of its service, the label "**Convenience and experience**" seems to be appropriate. On the other side, the second component which accounts for 10.269% of the variance is mainly a measure of only one variable – the ticket price, although it is influenced by the ‘Punctuality’ and ‘Fare flexibility’ to a lesser degree. This finding emphasizes the need of some passengers to fly as cheaply as possible. Thus, this component can be viewed as a measure of how important the ticket price is during the passengers’ consideration of the airlines they will fly. The Serbian market is characterized by the low income per capita and low purchasing power, therefore significant number of passengers can afford only the lowest fares offered by the airlines. The LCCs have recognized the potential of this part of the market and have entered it by offering reasonably low fares. They represent major competition for the well established carriers and are forcing them to revise their policies in order to retain their market share.

The third component is highly influenced by the average number of checked bags and accounts for 9.511% of the total variability. In the opinion of the researchers, this variable represents an indirect measure of the length of trip and the purpose of travel. The travelers who are on a business trip usually spend relatively short time at the final destination and tend to carry only cabin luggage. On the contrary, due to the longer stay and not enough experience, the leisure passengers carry more items and consequentially need more space for their belongings. This component is also strongly related to the airline type. LCCs offer no-frill services to their customers charging for each checked bag. In order to save money, passengers who travel with these airlines are reluctant to check the bags, unless necessary. Previous descriptive statistical analysis showed that the mean number of bags per passenger using a traditional airline (0.8493) is significantly higher than the mean number of bags per passenger traveling by a LCC (0.6468), the value of t statistic was 7.1088 with 760 degrees of freedom and the significance asymptotically converging towards zero.

## 5. CONCLUSION

The newly arisen environment in the air travel market of Serbia has allowed for the penetration of low-cost carriers and caused the intense competition between the airlines. In such circumstances, on the specific routes and regarding different criteria, passengers have a choice between different airlines. Therefore, an airline has to meet its customers' expectations which require constant investigation of the market and interaction with the potential customers. The survey at the Belgrade Airport was undertaken at the time of a great change in the Serbian air travel market and indicates that it will provide a very interesting field for a further investigation. We analyzed the group of variables which may have influence on the process of passenger's decision making about the airline choice. The results obtained by PCA indicate that there are three essentially distinct components which explain around 60% of the total variance. The first component, "**Convenience and experience**", points out the importance of comfort in the airline choice. Passengers perceived the comfort throughout several different variables, such as the seat comfort, possibility of seat selection, aircraft type, etc. The second component "**Price**", emphasizes the importance of the ticket price and accounts for approximately 10% of the total variance. Third component, "**Luggage**", reveals the importance of this factor on the choice of the airline.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, as a part of the project TR36033 (2011-2014).

## LITERATURE

- [1] Adler, N. & Golany, B. (2001). Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, 132, 260-273.
- [2] Askoy, S., Atilgan, E. & Akinci, S. (2003). Airline service marketing by domestic and foreign firms: differences from the customers' viewpoint. *Journal of Air Transport Management*, 9, 343-351.
- [3] Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis*. (2nd ed.). Springer
- [4] Kendall, M. (1980). *Multivariate Analysis*, Griffin, 2nd edition.
- [5] Shaw, S. (2004). *Airline Marketing and Management*. (5th ed.). Ashgate.



## MODEL ZA PREDIKCIJU BROJA SPAVAĆIH KOLA U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU PRIMENOM NEURONSKIH MREŽA

### NEURAL NETWORK BASED MODEL FOR ASSESSMENT OF THE NUMBER OF SLEEPING CAR IN RAILWAY TRANSPORT

DRAGANA MACURA<sup>1</sup>, MILICA ŠELMIĆ<sup>1</sup>, MILORAD MILETIĆ<sup>1</sup>, BRANKA DIMITRIJEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {d.macura, m.selmic, b.dimitrijevic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je razvijen sistem za podršku u odlučivanju zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama sa ciljem da se prognozira potreban broj spavaćih kola u železničkom saobraćaju. Ulaz u veštačku neuronsku mrežu su: relacija na kojoj voz saobraća, mesec, vrsta kola, broj posteljina (ponuda), broj polazaka, cena karte, Bruto domaći proizvod, dok je izlaz iz neuronske mreže broj prodatih karata (tražnja). Poređenjem rezultata dobijenih kroz model sa onima koji proizilaze iz istorijskih podataka, utvrđeno je da je razvijeni model veoma kompatibilan sa realnošću. Razvijeni sistem za podršku u odlučivanju može da se koristi u svrhu planiranja potrebnih resursa, jer je za železničkog operatera važno da unapred zna koliko vagona sa spavaćim kolima mora da ima na raspolaganju. Svi podaci korišćeni za obučavanje i testiranje neuronske mreže su realni i dobijeni iz Železnice Srbije.

**Ključne reči:** Veštačke neuronske mreže, prognoziranje, spavaća kola

**Abstract:** A Decision Support System based on Artificial Neural Network is developed to suggest number of sleeping cars in railway transport. The inputs to the system consist of train relation, month, type of sleeping car, number of berths, number of departures, ticket price and GDP. The output of the neural network is number of sold tickets (demand) for sleeping car. By comparing the results obtained through the model with those resulting from historical data, it has been found that the developed model is highly compatible with reality. The developed Decision Support System could be used in planning purposes, because for rail operator it is important to know in advance how many wagons with sleeping car have to be available. All considered data are obtained from Serbian Railways.

**Keywords:** Artificial neural network, forecast, sleeping cars

## 1. UVOD

Tržište železničkog saobraćaja se može razmatrati i kroz teorijski i praktični aspekt. Generalno, glavni problem sa kojim se suočavaju železnice širom sveta je kako da privuku što više putnika uz ispunjenje njihovih specifičnih zahteva, sa jedne strane, i kako da se maksimizira profit kompanije sa druge. U okviru ovog problema, postoji niz podproblema čije rešavanje može da utiče na postizanje ciljeva železničkih prevozlaca. Jedan od ovakvih podproblema je i prognoziranje broja spavaćih i kušet kola.

Spavaća i kušet kola su vid prevoza u železničkom saobraćaju koji može da primi putnike u krevetima raznorodnih vrsta, pre svega za potrebe putovanja noću i na dugim relacijama. Prva takva kola su konfigurisana na američkim prugama još 1880. godine. Jedan tip spavaćih kola predstavlja normalno sedište koje se po potrebi može pretvoriti u spavaći prostor, i ovakva kola se nazivaju evropska kušet kola. Luksuznije vrste imaju privatne sobe koje putnici po želji mogu deliti sa strancima ili ih zakupiti da imaju potpunu privatnost.

Prognoziranje broja prodatih karata za spavaća i kušet kola je veoma značajan problem sa stanovišta železničkih operatera. Pravilnom procenom, moguće je smanjiti troškove koji nastaju usled neiskorišćenosti ponuđenih kapaciteta, ili usled gubitaka koji se dešavaju kada putnici zatraže karte i budu odbijeni jer su kapaciteti spavaćih kola popunjeni. Predviđanje broja potrebnih spavaćih i kušet kola se može uraditi primenom veštačkih neuronskih mreža i korišćenjem realnih, istorijskih podataka. Ulaz u veštačku neuronsku mrežu čine: relacija na kojoj voz saobraća, mesec, vrsta kola, broj posteljina (ponuda), prosečan dnevni broj polazaka, cena karte i Bruto domaći proizvod, dok je izlaz iz neuronske mreže broj prodatih karata (tražnja).

Veštačke neuronske mreže imitiraju način na koji funkcioniše ljudski mozak i predstavljaju sistem za procesiranje informacija. Razvoj veštačkih neuronskih mreža je inspirisan biološkim neuronskim mrežama. Veštačke neuronske mreže mogu da uče iz iskustva, da vrše generalizaciju i da uoče ključne karakteristike u ulaznim podacima koji često sadrže i irelevantne informacije.

Osnovni cilj ovog rada je da istraži mogućnost razvoja sistema za podršku u odlučivanju koji bi mogao poboljšati kvalitet odluka železničkih stručnjaka kada predviđaju broj angažovanih spavaćih kola, tj. broj prodatih karata u spavaćim kolima. Na ovaj način se direktno utiče na prihode koje preduzeće ostvaruje pružajući ovu uslugu.

Rad je organizovan na sledeći način. Kratak pregled relevantne literature je dat nakon uvoda, u drugom poglavlju. Osnovni pojmovi veštačkih neuronskih mreža su prikazani u trećem poglavlju. Neuronska mreža koja se koristi za prognoziranje tražnje za spavaćim kolima je prikazana u četvrom poglavlju. Rezultati i diskusija čine peto poglavlje, i konačno, zaključak je dat u šestom poglavlju.

## 2. PREGLED LITERATURE

Podaci u saobraćaju se uglavnom modeliraju primenom dva različita pristupa, statističkim metodama ili računarskom inteligencijom. Statistički pristupi podrazumevaju prikupljanje podataka, organizaciju i interpretiranje numeričkih podataka. Računarska inteligencija koristi obučavanje, prilagođavanje i evoluciju u cilju kreiranja modela. Sličnosti i razlike ovih pristupa, kao i njihova primena u istraživanjima u oblasti saobraćaja i transporta, detaljno su predstavljani u radu Karlaftis i Vlahigianni (2011).

Neuronske mreže kao jedna savremena metoda računarske inteligencije često se primenjavala za rešavanje saobraćajnih problema. Ova metoda omogućava stvaranje matematičkih modela koji su sposobni za tačno i podesno simuliranje numeričkih komponenti. Neuronske mreže se koriste kao (Haykin 1999): modeli bioloških neuronskih sistema, kao prilagodljivi procesori signala u realnom vremenu, ili kao metode za analizu podataka, što je upravo i najčešći slučaj u oblasti saobraćaja. Prednosti neuronskih mreža su mnogobrojne: sposobnost upravljanja velikim brojem višedimenzionih podataka, fleksibilno modelovanje, sposobnost obučavanja i generalizacije, i naravno sposobnost predviđanja.

U oblasti železničkog saobraćaja, neuronske mreže su se primenjivale za rešavanje različitih problema, kao što su: prognoza broja putnika (Zheng and Wang 2011, Tsai et al. 2009), za upravljanje scenarijima (Wu et al. 2010), za optimizaciju železničkih operacija (Martinelli and Teng 1996), za determinisanje reda vožnje (Dundar and Sahin 2013), za ocenu kvaliteta železničke usluge (Sadeghi and Askarinejad 2012) i sl.

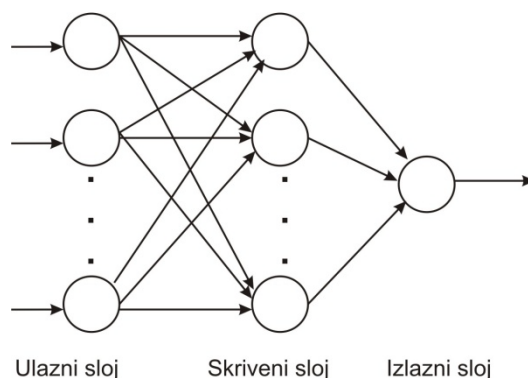
## 3. VEŠTAČKE NEURONSKE MREŽE

Arhitektura veštačkih neuronskih mreža je zasnovana na pojednostavljenom modelu mozga. Procesiranje informacija se vrši pomoću velikog broja neurona (procesnih elemenata). Iako pojedinačni neuroni mogu da vrše jednostavno procesiranje podataka, suštinska snaga neuronskih mreža proističe iz masivne povezanosti neurona i specifičnog kolektivnog ponašanja ovih neurona (Teodorović and Šelmić 2012).

Za razliku od računara u koje se "smeštaju" informacije za kasniju upotrebu, neuronske mreže "pamte" jačine veza (težine grana mreže) pomoću kojih kasnije mogu da reprodukuju zahtevane podatke. Pod učenjem mreže se podrazumeva određivanje težina mreže sa ciljem da se postignu željene odluke u određenim situacijama. Drugim rečima, neuronska mreža se trenira tako što se neprestano tokom faze treninga prilagođavaju jačine veza grana u cilju uočavanja relacija koje postoje između ulaznih i izlaznih podataka.

Neuronske mreže sadrže tri tipa čvorova: ulazne, skrivene i izlazne. Ulazni čvorovi primaju ulazne signale iz izvora koji se nalaze van neuronske mreže. Ulazni i izlazni signali čvorova koji se nalaze u skrivenom sloju nisu "vidljivi". Izlazni čvorovi šalju izlazne signale van mreže. Svaki čvor šalje signale različite jačine susedima sa kojima je povezan. U pojedinim modelima neuronskih mreža svakom čvoru je pridružena funkcija  $f$  kojom se vrši preslikavanje ulaznog u izlazni signal. Često ova funkcija predstavlja prag koji treba da bude dostignut da bi izlazni signal iz čvora bio poslat susedima. Pod strukturom neuronske mreže podrazumeva se broj čvorova i njihova povezanost. Veštačka neuronska mreža je u potpunosti definisana kada je definisana njena struktura, aktivaciona funkcija i način obučavanja (Slika 1).





**Slika 1:** Veštačka neuronska mreža

Veštačke neuronske mreže su u stanju da modifikuju svoje ponašanje u funkciji uslova u okruženju. Ova osobina neuronskih mreža je svakako izuzetno uticala na njihovu široku primenu u različitim oblastima.

Mreže se obučavaju tako što im se prikazuje skup skup ulaznih vrednosti (najčešće sa skupom izlaznih vrednosti) u cilju podešavanja težina grana mreže. Razvijen je veliki broj algoritama obučavanja, pri čemu svaki od njih ima svoje prednosti i nedostatke. Najveći broj algoritama obučavanja može da se klasifikuje prema njihovim karakteristikama vezanim za modeliranje, učenje i validaciju. Karakteristike vezane za modeliranje ukazuju na klasu nelinearnih funkcija koju je mreža u stanju da precizno reprodukuje. Izabrana struktura mreže može da utiče na brzinu konvergencije tokom obučavanja. Takođe, u određenim slučajevima, izabrana struktura utiče na izbor algoritma obučavanja. Pre praktične primene obučene neuronske mreže neophodno je ispitati konvergenciju, stabilnost i tačnost trenirane mreže.

#### 4. PRIMENA VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA NA PROBLEM ODREĐIVANJA BROJA SPAVAČIH I KUŠET KOLA

Veštačke neuronske mreže se najčešće koriste za sledeća četiri tipa problema:

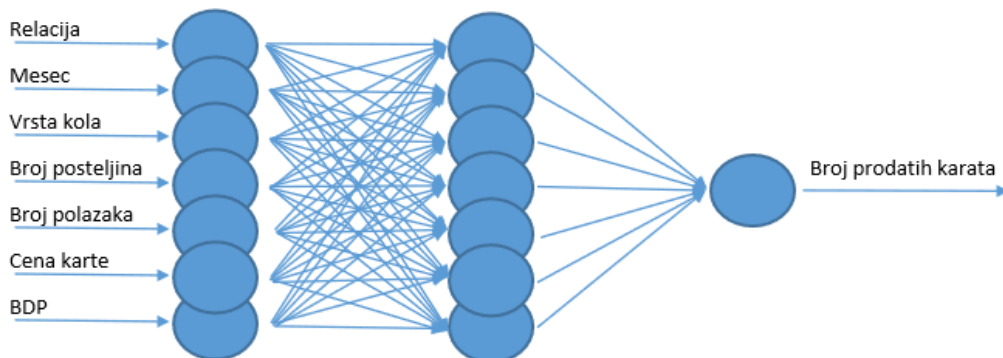
- Klasifikacija
- Predviđanje
- Prepoznavanje
- Optimizacija

Problem razmatran u ovom radu pripada klasi problema predviđanja. Prilikom prognoze, za niz ulaznih podataka, neuronska mreža će predvideti buduće vrednosti izlaza. Tačnost procene zavisi od mnogo faktora, ali najvažniji su broj i relevantnost ulaznih podataka.

U ovom radu ulaz u veštačku neuronsku mrežu čine: relacija na kojoj voz saobraća, mesec, vrsta kola, broj posteljina (ponuda), prosečan dnevni broj polazaka, cena karte i Bruto domaci proizvod, dok je izlaz iz neuronske mreže broj prodatih karata (tražnja) za spavaćim kolima.

Za potrebe prognoziranja korišćena je dvoslojna neuronska mreža. Između ulaza i skrivenog sloja postoji potpuna povezanost. Mreža je obučavana kako bi dala procenu broja prodatih karata za spavaća kola. Ulazni sloj ima 7 čvorova, a izlaz samo jedan čvor.

Predložena je neuronska mreža na Slici 2.



**Slika 2:** Neuronska mreža za procenu broja prodatih karata

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

U radu je analizirana železnička mreža Republike Srbije, tačnije tri relacije: Subotica-Bar, Novi Sad-Bar i Beograd-Bar. Prikupljeni su podaci za period od 2009. do 2013. godine, i to za četiri meseca: jun, jul, avgust i septembar. Razmatrana su tri tipa železničkih kola sa ležajima: kušet kola - kola serije Ac i Bc, i spavaća kola - kola serije WL.



Slika 3: Analizirana pruga

Od ukupno 105 podataka, predložena neuronska mreža je trenirana na 80 skupova podataka, a nakon toga je testirana na preostalih 25 skupova podataka. Svi podaci korišćeni u radu su dobijeni iz Železnice Srbije.

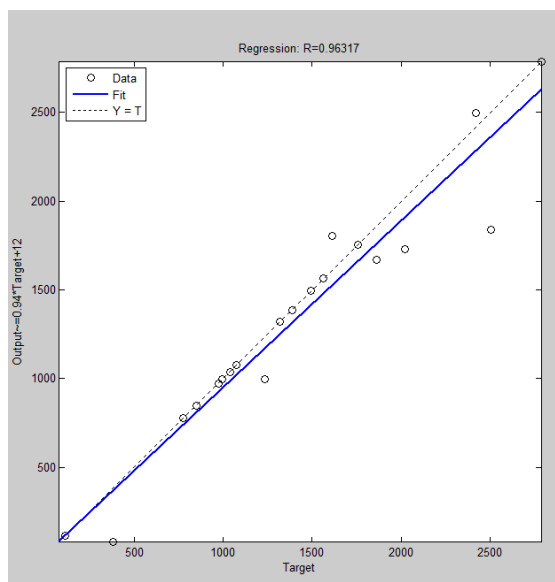
Tokom pripreme neuronske mreže uzeta su u razmatranje tri tipa uzoraka. Prvi tip predstavlja podatke koje su korišćeni za treniranje neuronske mreže, i mreža je naknadno prilagođena prema greškama koje su nastale u ovoj fazi. Drugi skup podataka se koristio za validaciju. Ovi podaci su korišćeni da bi se mreža generalizovala, kao i da bi se zaustavila obuka kada mreža prestane da ostvaruje dalja poboljšanja. Konačno, treći skup podataka je korišćen za testiranje. Ovaj skup podataka nema uticaja na obučavanje, i samim tim predstavlja nezavisnu meru performanse neuronske mreže tokom i nakon obučavanja. U našem kodu u Matlabu ovaj uzorak čini 24% svih podataka.

Karakteristike podataka iz obučavajućeg skupa dati su u Tabeli 1.

Tabela 1: Obučavajući skup podataka

Broj ulaza	Relacija	Mesec	Vrsta kola	Broj posteljina	Broj polazaka	Cena karte	BDP	Broj prodatih karata
1.	Bg-Bar	Jun	WL	5.712	4	10.100	42,9	3.151
2.	Bg-Bar	Jun	Ac	1.988	4	8.200	42,9	864
3.	Bg-Bar	Jun	Bc	2.456	4	5.600	42,9	1.085
:	:	:	:	:	:	:	:	:
104.	NS-Bar	Sept.	WL	1.664	1	12.800	47,1	1.076
105.	NS-Bar	Sept.	Bc	1.836	1	7.270	47,1	849

Tokom faze obučavanja, veštačka neuronska mreža je napravila predikciju o broju prodatih karata koji je u 98% slučajeva oslikavao realnost. Kada su propušteni test podaci, tačna predikcija o broju prodatih karata je bila u svih 96% slučajeva. Prikaz regresije u slučaju test podataka je prikazan na Slici 4. Na  $x$  osi su ciljne vrednosti (broj karata prodat u prošlosti), dok su  $y$  osi izlazne vrednosti (broj karata dobijen predikcijom neuronske mreže).



**Slika 4:** Poklapanje izlaznih podataka sa ciljnim rezultatima

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen model za prognoziranje potrebnog broja spavaćih kola u vozu, tj prognoziranje tražnje za ovom vrstom železničke usluge. Primenjene su veštačke neuronske mreže. Model predstavljen u radu može da posluži da bi se uočile promene tražnje sa promenom ponude jednog transportnog preduzeća. Model sadrži ulazne veličine: relacija na kojoj voz saobraća, mesec, vrsta kola, broj posteljina (ponuda), broj polazaka, cena karte i Bruto domaći proizvod, i jednu izlaznu, broj prodatih karata (tražnja). Razmatrane su tri relacije na železničkoj mreži Republike Srbije. U cilju obučavanja i testiranja neuronske mreže, prikupljeni su realni podaci za četiri meseca u prethodnih pet godina.

Ovakva veštačka neuronska mreža predstavlja pogodan, pomoćni alat menadžerima na železnici u cilju donošenja boljih odluka. Predikcijom tražnje na osnovu podataka koji su se prikupili iz prošlosti moguće je upravljati ponudom, optimizovati resurse, konkretno broj spavaćih i kušet kola, a samim tim i troškove kompanije.

## LITERATURA

- [1] Dundar, S. & Sahin, I. (2013). Train re-scheduling with genetic algorithms and artificial neural networks for single-track railways, *Transportation Research Part C*, Vol. 27, 1-15
- [2] Haykin, S. (1999). *NN: A Comprehensive Foundation*. Macmillan, NY.
- [3] Karlaftis, M.G. & Vlahogianni, E.I. (2011). Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights, *Transportation Research Part C*, Vol. 19, 387-399
- [4] Martinelli, D. & Teng, H. (1996). Optimization of railway operations using neural networks, *Transportation Research Part C*, Vol. 4, No. 1, 33-49
- [5] Sadeghi, J. & Askarinejad, H. (2012). Application of neural networks in evaluation of railway track quality condition, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 26, No. 1, 113-122
- [6] Teodorović, D. & Šelmić, M. (2012) *Računarska inteligencija u saobraćaju*. Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [7] Tsai, T-H., Lee, Ch-K. & Wei, Ch-H. (2009). Neural network based temporal feature models for short-term railway passenger demand forecasting, *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, 3728–3736
- [8] Wu, D., Zhu, G. & Ai, B. (2010). Application of artificial neural networks for path loss prediction in railway environments, "Communications and Networking in China (CHINACOM), 2010 5th International ICST Conference on", 25-27 Aug. 2010, 1-5
- [9] Zheng, D. & Wang, Y. (2011). Application of an artificial neural network on railway passenger flow prediction, "Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on", 12-14 Aug. 2011, 149-152



## RUNWAY-APRON FUNCTIONAL RELATIONSHIP

BOJANA MIRKOVIĆ<sup>1</sup>, VOJIN TOŠIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, {b.mirkovic, v.tosic}@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *In this paper overall airport airside capacity is not identified with the runway system capacity, as usual. Airport airside is observed through the runway system and apron/gate complex, assuming that the taxiway system does not impose the capacity constraint. In order to identify the bottleneck in the system and to determine overall airside capacity this paper analyzes functional relationship between the runway system and apron/gate complex i.e. the relationship between throughputs these airside elements provide, under different demand characteristics. With respect to their role in air transport network, two airport types are observed: origin-destination and hub airports.*

**Keywords:** *airport airside capacity, runway-apron functional relationship, origin-destination airports, hub airports*

### 1. INTRODUCTION

As a reflection of what occurs in the case of major airports worldwide today, the runway system is considered to be the main airside capacity constraint. At the same time, fully developed taxiway systems and huge apron/gate complexes, with a large number of contact stands and additional remote stands, usually operate with spared capacity. This is why airside capacity is usually expressed through the runway system capacity.

However, the air transport network counts dozens of major airports while, at the same time, there are hundreds or even thousands of small-to-medium airports that suffer from different capacity issues. Their main and only concern, until the runway system capacity is reached (if ever), is to expand/modify terminal building, apron/gate complex and taxiway system to meet demand requirements.

The paper does not identify airport airside with the runway system, but it observes it through the runway system (hereinafter: runway) and apron/gate complex (hereinafter: apron). It is assumed that the taxiway system has reached mature phase in its development, and it does not present the capacity constraint. The main issue addressed in this paper is whether overall airside capacity can be determined by comparing runway capacity and apron capacity directly one to another or their relationship has to be taken into account?

Services provided to aircraft on the runway and on the apron(s) are different in nature. The runway is entry/exit point to/from the airside system, where service times are the order of magnitude of a few minutes. At apron(s) aircraft are turned-around which requires service times from 20min to as much as several hours (depending on the aircraft class and type of service). Interaction between arrivals and departures exists at both airside elements, but different flows of arrivals and departures interact at these two, due to difference in service times and the transitional (taxi) times between them. This paper does not address physical runway-apron relationship, i.e. an impact of taxi times on exchange of arrivals and departures between the runway and the apron, but it analyzes their functional relationship, related to specific demand characteristics.

Analytical models express apron capacity in aircraft/h, while runway capacity is expressed in operations/h. The most common relation is to multiply aircraft/h by two to obtain corresponding operation/h, assuming that one aircraft is related to two operations – arrival and departure. Such a calculation is used, for example, in the FAA's graphical method (FAA 1983). De Neufville and Odoni (2003) suggest taking into consideration largest fraction of arrivals in the traffic mix during a certain time interval, instead of applying default 50/50% share of arrivals and departures.

However, this transformation may not be sufficient to capture the connection between apron and runway capacities for different airport types. Their relationship may depend on demand characteristics e.g. dominant market segments (e.g. scheduled, charter, low-cost, general aviation, cargo), and specific traffic patterns (hubbing or point-to-point services, seasonality in demand, etc.). This paper primarily focuses on two airport types, with respect to their role in air transport network: origin-destination (O/D) airports, serving primarily

point-to-point<sup>1</sup> (P2P) traffic (resulting in rather “uniform” traffic distribution during the day, with more or less pronounced peak periods) and hub airports serving primarily coordinated flights<sup>2</sup> concentrated in waves of flights (solely, or in combination with other P2P flights).

Chapter 2 summarizes variables that should be taken into account in estimating apron capacity for different airport types. Based on that, the functional relationship between runway and apron is discussed. Numerical examples are used in Chapter 3 to support discussion. Chapter 4 summarizes the main findings.

## 2. APRON CAPACITY AND ITS DEPENDENCE TO RUNWAY CAPACITY FOR DIFFERENT AIRPORT TYPES

Overview of existing models for apron capacity estimation (Mirkovic and Tomic 2014a) shows that, in general case, apron capacity is derived from the number of aircraft stands (hereinafter only stands) and average stand occupancy times (SOT), taking into account demand structure, not only with respect to aircraft classes (fleet mix), but also apron users (depending on the restrictions that apply on terminal/apron complex: airlines; domestic/international, etc). The minimum of the capacities set by each group of stands<sup>3</sup> is considered as apron capacity:

$$C = \min_i(C_i) \quad (1)$$

The capacity limited by the  $i^{\text{th}}$  group of stands is calculated from the number of stands in  $i^{\text{th}}$  group of stands ( $N_i'$ ) and weighted average stand occupancy time demanded by all aircraft that use stands from the  $i^{\text{th}}$  group ( $\bar{t}_i'$ )<sup>4</sup>:

$$C_i = N_i' / \bar{t}_i' \quad (2)$$

$$N_i' = \sum_{k \geq i} N_k \quad (3)$$

$$\bar{t}_i' = \sum_{k \geq i} p_k \cdot SOT_k \quad (4)$$

$p_k$  – share of aircraft of class  $k$  in the population of aircraft demanding service

$SOT_k$  – average stand occupancy time of the aircraft of class  $k$ .

SOT reflects the time during which a stand is reserved, i.e. blocked, for a particular aircraft regardless whether it physically occupies the stand during entire time. SOT should account for at least the turnaround time (TAT) for different users/aircraft classes and some additional time between two consecutive occupancies of the same stand or apron area. TAT is the reflection of the manufacturer’s requirements, airline requirements, as well as the ground handler’s performance at particular airport and should be derived from the traffic schedules. Additional time between two consecutive occupancies of the same stand or apron area is included in apron capacity models either through utilization factor or through separation time (ST). ST is the time between a departure from a gate position and the next arrival (Bandara and Wirasinghe 1988). It consists of push-out or power-out time, the time required by departing aircraft to clear the apron, and the time required by arriving aircraft to move in from the apron entrance to the gate position. ST depends on the apron and terminal layouts. On the other hand, the utilization factor, determined empirically, is a function of number of stands and existing traffic schedule at the airport where it is estimated. Due to that, ST is considered to be more convenient correction than utilization factor.

The general approach for calculating apron capacity applies only for O/D airports. A hub airports, with aim to increase number (and quality) of indirect connections, the dominant airline/alliance coordinate their flights in time by operating waves (banks) of flights. The structure of a wave (Figure 1) is determined by: the minimum connecting time – MCT, the maximum acceptable connecting time – MaxCT, and the maximum number of flights that can be scheduled per wave – N (Burghouwt and de Wit 2005, Danesi 2006). Usually,

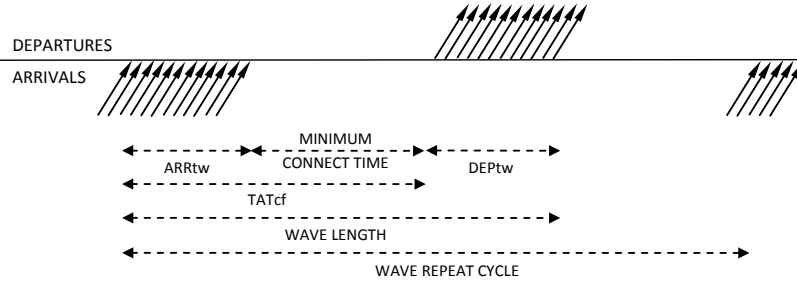
<sup>1</sup> The term “point-to-point” flight/traffic hereinafter refers to non-coordinated aircraft carrying origin-destination passengers rather than transfer passengers.

<sup>2</sup> The term “coordinated” aircraft/flight/traffic hereinafter refers to aircraft carrying primarily transfer passengers. Coordinated aircraft are concentrated in waves, aimed at providing efficient transfers between flights.

<sup>3</sup> Stands are grouped based on the constraints on their use that apply at the airport - by aircraft classes and/or by apron users.

<sup>4</sup> An example with constraints on aircraft class is assumed i.e. stands are allowed to be used by designed aircraft or any smaller than designed aircraft. General formulation is available in Mirkovic (2014)

several waves of flights are scheduled during the day. The time interval between the same points of the consecutive waves is the wave repeat cycle (WRC), and it is characteristics of the airline schedule. MCT depends on the airline, type of connection (domestic, continental, intercontinental, etc.), and airport design and its capacity to process transfer passengers and baggage within and between terminals (Dennis 1994). MaxCT reflect the level of service (LOS) thresholds that keep connections attractive to passengers. It depends on the type of connection (Burghouwt and de Wit 2005, Danesi 2006).



**Figure 2:** Wave-system parameters in the case of split waves ( $WRC \geq WL$ )

In the case of hub airports, under assumption of ideal wave<sup>5</sup>, TAT for coordinated flights ( $TAT_{cf}$ ), and consequently SOT for coordinated flights ( $SOT_{cf}$ ), have to account for the time required for facilitating transfers between connecting flights (MCT) and the duration of the arrival time-window ( $ARR_{tw}$ ). Both  $TAT_{cf}$  and  $SOT_{cf}$  depend on the wave-system parameters (N and MCT) and runway (arrival) capacity<sup>6</sup>.

$$TAT_{cf} = ARR_{tw} + MCT = N / C_{rwy}^{arr} + MCT \quad (5)$$

$$SOT_{cf} = TAT_{cf} + ST = N / C_{rwy}^{arr} + MCT + ST \quad (6)$$

As proposed in Mirkovic (2014) and Mirkovic and Tomic (2014), N is limited either by static apron capacity ( $N_{a/c}$ ) or the “target” level of service (LOS) defined through MaxCT<sup>7</sup> ( $N_{los}$ ):

$$N = \min(N_{a/c}, N_{los}) \quad (7)$$

$$N_{a/c} = \min_i(N_i) = \min_i(N_i' / s_i') \quad (8)$$

$$s_i' = \sum_{k \geq i} p_k \quad (9)$$

$N_i$  - the maximum simultaneous number of aircraft at the apron, limited by the  $i^{th}$  group of stands

$s_i'$  - cumulative share of user/aircraft class combination allowed to use the  $i^{th}$  group of stands

$$N_{los} = (MaxCT - MCT) \cdot C_{rwy}^{arr} / 2 \quad (10)$$

It makes N dependent to: number of stands in each group of stands and demand structure (if static apron capacity is more constraining); or the wave-system parameters (MCT and MaxCT) and runway capacity (if N is constrained by LOS).

If we observe pure hub airports, which serve only coordinated flights, apron capacity can be derived from the maximum number of aircraft per wave (N) and the time during which a stand is blocked for the next user (Mirkovic 2014, Mirkovic and Tomic 2014b). Theoretical apron capacity ( $C_T$ ) assumes an exchange of aircraft on stands after  $SOT_{cf}$ . But, that applies only when  $ARR_{tw}$  of the new wave overlaps with  $DEP_{tw}$  of the previous wave<sup>8</sup>. In general case, an exchange of aircraft on the same stand in pure hub case occurs only after WRC. WRC should be used as stand blocking time to derive utilized apron capacity ( $C_U$ ) for coordinated

<sup>5</sup> Arrival time-window ( $ARR_{tw}$ ) and departure time-window ( $DEP_{tw}$ ) are of the same length and sequence of aircraft in arrival flow is the same as the sequence of aircraft in departure flow.

<sup>6</sup> Depending on the runway operating mode it can be either runway arrivals only capacity, or arrival capacity in mixed mode operations (assuming alternating arrivals and departures).

<sup>7</sup> Derived from the condition that wave length of the ideal wave should not be larger than MaxCT:  $MaxCT = 2 \cdot ARR_{tw} + MCT$

<sup>8</sup> In this particular case runway operates in mix-mode.

flights. Theoretical capacity is nothing but the special case when utilized capacity reaches its maximum, i.e. when  $WRC = SOT_{cf}$ .

$$C_T = N / SOT_{cf} \quad (11)$$

$$C_U = N / WRC \quad (12)$$

Hub airports mainly do not operate as pure hubs, but in addition to coordinated flights there are also other non-coordinated P2P flights operating on strong origin-destination markets on the borders of waves, or in off-wave periods. In the mixed hub case two different assignment strategies may apply. Exclusive use case assumes that group of stands for coordinated flights (e.g. contact stands) are exclusively used by coordinated flights, while P2P flights use only other (e.g. remote) stands. Preferential use case assumes that stands for coordinated flights are also available for other flights when they are not used by coordinated flights.

In the case of mixed hubs, in order to catch interaction between two main flight types (coordinated and other flights), WRC period is observed. Apron capacity for mixed hub cases are defined as the minimum of the capacities set by the group of stands for coordinated flights and the group of stands for other flights (Mirkovic 2014, Mirkovic and Tosic 2014b). It means that it relies on all factors that affect both apron capacity for O/D airports and pure hub airports. The main difference between these two cases is in the time during which group of stands for coordinated flights (contact stands) is blocked for other flights. In preferential use case exchange of aircraft on group of stands for coordinated flights is allowed after  $SOT_{cf}$ , which makes them available to other users in off-wave periods. In exclusive use case, an exchange of aircraft on group of stands for coordinated flights is allowed only after WRC, which makes them blocked all the time for other flights i.e. available only for coordinated flights.

Table 1 summarizes variables that should be taken into account in determining apron capacity for different airport types with respect to nature of traffic at the airport.

**Table 4:** Factors that may affect apron capacity for different types of airports

variables/ apron capacity	O/D airport	static apron capacity	max.no. of a/c per wave due to LOS	pure HUB (only coordinated flights)		mixed HUB (coordinated + P2P flights)	
				theoretical	utilized	preferential	exclusive
Number of stands (by a/c class, by apron user, by flight type)	*	*		*	*	*	*
Demand structure (by a/c class, by apron user, by flight type)	*	*		*	*	*	*
Turn-Around Time	*					*	*
Separation Time	*			*		*	*
Max acceptable Connecting Time			*	*	*	*	*
Minimum Connecting Time			*	*	*	*	*
Wave Repeat Cycle					*	*	*
<b>Runway Capacity</b>			*	*	*	*	*

In O/D case, runway capacity does not have any impact on apron capacity. Due to that, for O/D airports capacities provided by the apron and the runway can be calculated independently and compared to each other to identify the bottleneck in the airside system and the conditions under which it switches from one element to another. The only matter is to “transform” aircraft /h into operations/h in order to compare them, as it was explained earlier.

On the other hand, in hub cases, the relationship between apron capacity and runway capacity is not as simple as comparing one to another, because apron capacity estimates already include runway capacity in the calculation. It means that, together with runway capacity, apron capacity can also change, which is not the case with O/D airports.

Numerical examples are used in Chapter 3 to support discussion about runway-apron relationship.

### 3. EXAMPLES AND DISCUSSION

Let us observe single-runway airport with 30 aircraft stands on the apron. Runway capacity is: 35 arrivals/h in arrivals-only mode and 33 arrivals/h (66 operations/h) in mixed mode, assuming alternating arrivals and departures. Apron consists of 22 contact stands (of which 12 for class 2, and 10 for class 3 aircraft) and 8 remote stands (of which 5 for class 1, and 3 for class 2 aircraft).



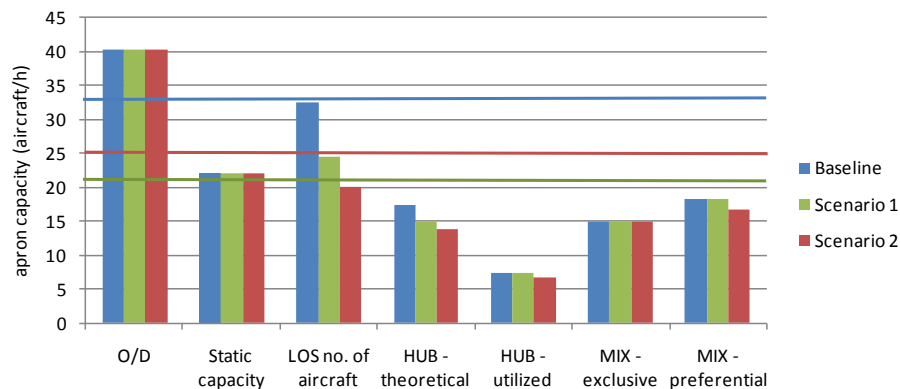
Demand structure for coordinated flights is: 20% class 1, 60% class 2, and 20% class 3 aircraft. In mixed case demand structure is 40% ( $s_i$ ) coordinated flights (of which again 20% class 1, 60% class 2, and 20% class 3 aircraft) and 60% other flights (of which 60% class 1, and 40% class 2 aircraft). In order to make the O/D case comparable to hub (mainly preferential) cases, the overall fleet mix for exclusive/preferential cases applies for the O/D case. Demand structure for pure hub, hub with mixed coordinated and P2P flights and O/D airport are summarized in Table 2.

**Table 5:** Demand structure for pure hub, hub with additional P2P traffic and O/D airport

type of flight	a/c class	pure HUB	mixed HUB excl./pref.	O/D
coordinated	1	0.2	0.08	0
	2	0.6	0.24	0
	3	0.2	0.08	0
other	1	0	0.36	0.44
	2	0	0.24	0.48
	3	0	0	0.08

Wave-system parameters for hub cases are: WRC 180min; MCT 30min and MaxCT 150min. TATs for non-coordinated flights are: 30 min for class 1, 45 min for class 2, and 60 min for class 3 aircraft. ST of 5 min applies for all stands.

In order to show the sensitivity of apron capacity to runway capacity, Baseline case is compared to two other scenarios which assume only decrease in runway capacity. Due to larger separation requirements between arriving and/or departing aircraft, runway capacity decreases to 25 arrivals/h in Scenario 1 and to 21 arrivals/h in Scenario 2 (in both operating modes). In Figure 2, the blue, green and red lines represent runway capacity (arrivals/h) in mix mode, for Baseline scenario, Scenario 1 and Scenario 2, respectively. In all three scenarios airside capacity is limited by runway capacity for the O/D case and by apron capacity for hub cases.



**Figure 3:** Apron capacity for different airport types and for different runway capacities

In the O/D case apron capacity remains the same regardless of runway capacity, only the difference between the two is higher in Scenario 1, and even more in Scenario 2, than in Baseline scenario.

In hub cases, runway capacity affects apron capacity, but in some cases this impact can be concealed. This is due to fact that not all variables, apron capacity is derived from, are necessarily dependent to runway capacity.

The maximum number of aircraft scheduled in a wave of flights, limited by the maximum acceptable connecting time (LOS no. of aircraft), decreases in Scenario 1 and in Scenario 2, together with runway capacity decrease. In Baseline scenario and Scenario 1 static apron capacity is still more constraining than LOS and it determines the maximum number of coordinated aircraft in a wave. Because of that, hub utilized capacity does not react on changes in runway capacity, being derived from static apron capacity and WRC, where neither of the two is a function of runway capacity. The theoretical capacity of the hub to handle coordinated flights decreases, due to the increase in  $ARR_{tw}$  length, and consequently  $SOT_{cf}$ .

The impact of runway capacity on apron capacity at airports with mixed coordinated and other P2P flights is concealed in Scenario 1, because in these examples the constraining group of stands is not sensitive to them. In the exclusive use case, apron capacity is limited by the capacity of group of stands for P2P-flights/ aircraft-class-2, which operates as O/D case, thus it is not affected by runway capacity. In the preferential use case, capacity is constrained by the (utilized) capacity of the group of stand for coordinated flights (i.e. contact stands), which, as discussed above, does not depend on runway capacity, in this case.



In Scenario 2,  $N_{los}$  becomes more constraining than static apron capacity. It makes the influence of runway capacity on apron capacity visible in all cases (except the case of exclusive use). Both theoretical and utilized capacity of the hub airport serving only coordinated flights is somewhat lower. The impact of the decrease in runway capacity on apron capacity can also be seen for hub airports serving mixed coordinated and P2P traffic in the preferential use case. There, it is constrained by the (utilized) capacity of the group of stand for coordinated flights, and it decreases with decrease in  $N$ , as it is explained earlier. In the exclusive use case, the influence of runway capacity is not visible since apron capacity is limited by the capacity of the group of stands for P2P-flights/aircraft-class-2, which operates on O/D principle.

#### 4. CONCLUSION

This paper shows that, in the process of overall airside capacity analysis, runway-apron functional relationship should be taken into consideration, in the case of hub airports. It should be addressed carefully, because, depending on the prevailing factors, apron capacity may or may not react on changes in runway capacity.

If the number of aircraft per wave is limited by the LOS, not by static apron capacity, this makes apron capacities (both theoretical and utilized) dependant to runway capacity.

If static capacity sets the limit for maximum number of aircraft per wave, then:

- Theoretical apron capacity still depends on runway capacity, because  $SOT_{cf}$  is a function of runway capacity through the length of  $ARR_{tw}$ ;
- Utilized apron capacity does not depend on runway capacity, since it is derived from WRC, which is a characteristic of the demand itself, not a reflection of runway capacity.

In the case of mixed hubs that serve also P2P traffic in addition to coordinated flights, impact of runway capacity can be obvious, but it can also be concealed depending on which apron area is constraining. Until the constraint is on the group of stands for other flights, runway capacity does not affect apron capacity. Once it switches to group of stands for coordinated flights, then the same what is summarized above for pure hub airports applies in mixed hub cases, as well.

#### LITERATURE

- [1] Bandara, S. & Wirasinghe, S.C. (1988). Airport gate position estimation under uncertainty. *Transportation Research Record*, 1199, 41-48.
- [2] Burghouwt, G. & de Wit, J. (2005). Temporal configuration of European airline networks. *Journal of Air Transport Management*, 11, 185-198.
- [3] Danesi, A. (2006). Measuring airline hub timetable coordination and connectivity: definition of a new index and application to a sample of European hubs. *European Transport*, 34, 54-74.
- [4] Dennis, N. (1994). Airline hub operations in Europe. *Journal of Transport Geography*, 2(4), 219-233.
- [5] De Neufville, R. & Odoni, A. (2003). *Airport Systems - Planning, Design and Management*. (1st ed.). McGraw-Hill, New York, United States.
- [6] Federal Aviation Administration, FAA (1983). *Airport Capacity and Delay*. Advisory Circular, AC 150/5060-5.
- [7] Mirkovic, B. (2014). *Airport Airside Balanced Capacity Usage and Planning*. PhD thesis. University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering.
- [8] Mirkovic, B. & Tosic, V. (2014a). Airport apron capacity – estimation, representation and flexibility. *Journal of Advanced Transportation* 48, 97-118.
- [9] Mirkovic, B. & Tosic, V. (2014b). A model to estimate apron capacity at hub airports. 2014 ATRS World Conference, Bordeaux, France, in progress (paper accepted for presentation)



## VALIDATION OF MODEL OF SAFETY CRITICAL AIR TRAFFIC OPERATIONS CASE STUDY: AIRBORNE COLLISION AVOIDANCE SYSTEM

FEDJA NETJASOV<sup>1</sup>, VOJIN TOŠIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {f.netjasov, v.tosic}@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *The aim of the research described in this paper is to develop a systematic validation process that allows building confidence into model of ACAS operations as well as to judge model credibility; and to initially apply this validation process to the newly-developed ACAS model. For that purpose a systematic multilevel validation process is proposed and successfully applied on few historical events. Two validation techniques were used: Historical data validation and Comparison to other models. Such a specific validation approach has not been used previously for the validation of a new ACAS model.*

**Keywords:** *Model validation, Airborne Collision Avoidance System, Petri nets, Safety risk assessment, Safety critical systems.*

### 1. INTRODUCTION

Airborne Collision Avoidance System (ACAS) constitutes a world-wide accepted last-resort means of reducing the risk of mid-air collision (MAC) between aircraft in a Air Traffic Management system (Netjasov et al. 2013). Proper validation of the model of ACAS operations is a prerequisite in order to establish confidence in it for safety assessment purposes. In (Sargent 2009) and (Balci 1998) model validation is defined as “*substantiation that a model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model*”. Following (Balci 1998) the main principles of validation are:

- Validation must be conducted throughout the entire life cycle of a simulation study;
- The outcome of model validation should not be considered as a binary variable where the model is absolutely correct or incorrect; and
- A simulation model is built with respect to study objectives and its credibility is judged with respect to those objectives.

Since a model is an abstraction of a system, perfect representation is never expected. The outcome of the model validation according to (Balci 1998) should be considered as a degree of credibility on a scale from 0 (absolutely incorrect) to 100 (absolutely correct). Among the numerous validation techniques (Sargent 2009), those accepted in this research, i.e. recognised as best suitable for the available data, are the following:

- *Historical data validation:* if historical data for the actual system exists, it is used to determine (test) whether the simulation model behaves as the system does.
- *Comparison to other models:* various outputs of the simulation model being validated are compared to outputs of other simulation models that have been validated.

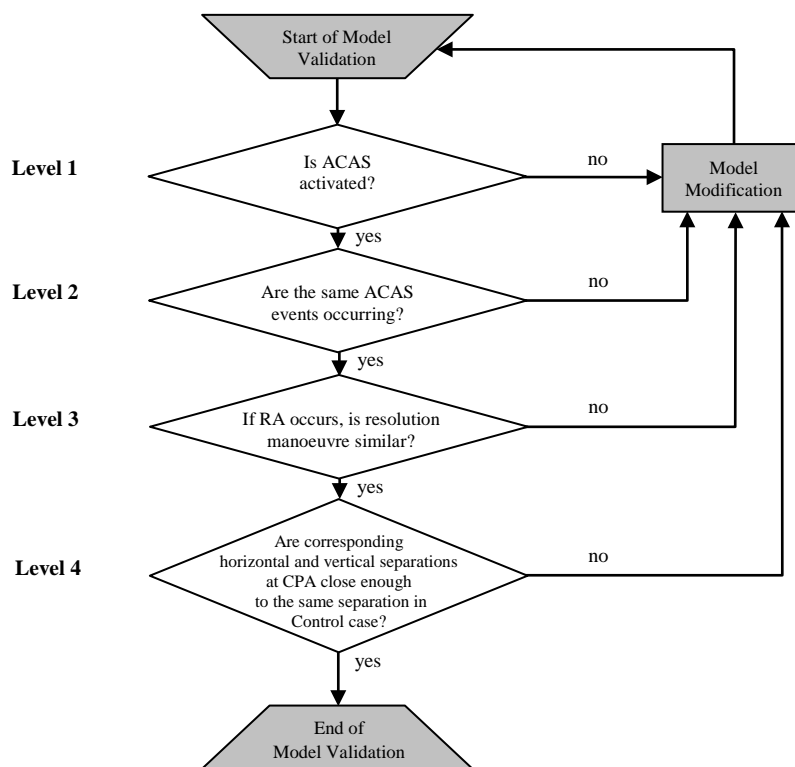
### 2. VALIDATION PROCESS OF ACAS OPERATIONS MODEL

The aim of validation in this research is to provide evidence on how well the developed Stochastically and Dynamically Coloured Petri Nets (SDCPN) model (Netjasov 2010) represents real world ACAS operations, taking into account that the model is developed for the purpose of air traffic operation safety assessment.

In order to validate the developed model, an iterative validation process is proposed in this research, based on the abovementioned thinking. At each validation level (iteration) a modelled case (encounter) is compared with a Control case (which could be from real life (i.e. historical data) or from another model) to determine if the two are sufficiently similar. If the validation results are satisfactory then it is possible to pass on the next validation level. If at one level the validation results are not satisfactory, then a modification of the model might be proposed. The process is applied from the beginning of simulation modelling process and is repeated until the last level is completed (Figure 1, Netjasov 2010; Netjasov et al. 2013).

The process proposed consists of four successive validation levels, i.e. iterations, where each level is represented by a certain question, while successive levels become more detailed. The following questions are asked (Figure 1, Netjasov 2010; Netjasov et al. 2013):

- At Level 1 – Is ACAS activated?
- At Level 2 – Are the same ACAS events occurring?
- At Level 3 – If an Resolution Advisor (RA)<sup>1</sup> occurs, is the resolution manoeuvre similar to that in the control case?
- At Level 4 – Are the horizontal and vertical separations at Closest Point of Approach (CPA) similar to those in the Control case?



**Figure 1:** The proposed validation process (Netjasov 2010; Netjasov et al. 2013)

### 3. COLLECTION OF ACAS ENCOUNTER DATA

The proposed validation process requires as input historical data as well as an already validated simulation model. The historical data collected for this study comprise only seven real life ACAS-on-ACAS encounters involving two aircraft<sup>2</sup>. These encounters have been received from Technical University of Braunschweig (Gottstein and Form 2009).

The already validated simulation model is the Eurocontrol InCAS model (Dean 2007) which has been well-proven across Europe in ACAS encounters analysis (see Table 1 for a comparison with the SDCPN model). As is depicted in Figure 2, the Real Life data served as a basis for the preparation of input data for both the SDCPN model as well as the InCAS model.

Within the validation set-up depicted in Figure 2, for each of the seven encounters, the following outputs were registered for both ACAS models:

- the selected *sense* (up/down) and *strength* (vertical speed) for the issued RA;
- the minimum horizontal distance at CPA as well as the corresponding vertical distance and time.

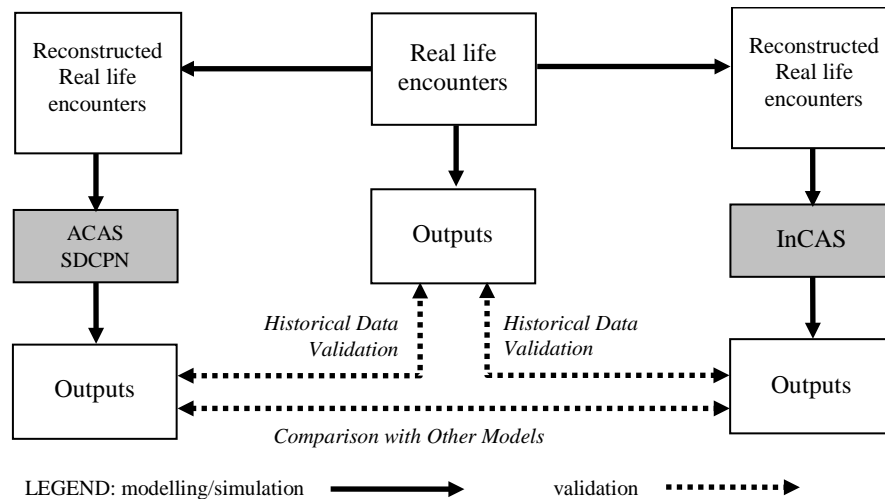
Events at which a Traffic Alerts (TA) or an RA is issued are considered at validation Levels 1 and 2 respectively. Complementary data is used at validation Levels 3 and 4.

<sup>1</sup> During ACAS events, a Traffic Alert (TA) is first issued when the intruder aircraft is discovered, then if situation deteriorates a Resolution Advisor (RA) is issued, and when (if) situation is resolved Clear of Conflict (CoC) is announced.

<sup>2</sup> ACAS events are highly unwanted and very sensitive topic for each Air Navigation Service Provider. That's why is very hard to get any information about them. This fact in turn resulted with such a small number of events for model validation purposes (after author's many unsuccessful attempts with different Air Navigation Service Providers).

**Table 1: Model characteristics (Netjasov et al. 2013)**

	ACAS SDCPN model	InCAS
Model Nature	Stochastic (encounter type model)	Deterministic (encounter type model)
Purpose	Risk and Safety Assessment of ACAS operation	Analysis of ACAS encounters taken from real radar data
ACAS II Logic	Model of ACAS II Logic	Real ACAS II logic, provided by MITRE Co.
Altitude change	Continuous	Step change (quantization of 25ft and 100 ft)
Vertical speed, Ground speed, Magnetic heading	Constant during encounter	In case of recorded radar data they are variable during encounter, otherwise they are constant
Pilot reaction	Included, with randomly delayed reaction (without return to original trajectory or original vertical speed after Clear of Conflict) and with possibility to refuse to act according to issued RA	Included, with delayed reaction and idealised pilot response (with return to original trajectory or original vertical speed after Clear of Conflict)
ATCo role	Included as active (responsible for separation) or passive (when pilot is reacting according to RA). Reaction is randomly delayed.	Not included
Reliability of technical system	Included (failure rates)	Not included



**Figure 2: Validation approach (Netjasov et al. 2013)**

#### 4. ACAS MODEL VALIDATION RESULTS

At Level 1 a simple matrix (Table 2) is constructed. For each of the seven cases considered, and for both the model and the control (i.e. real life case), this table contains the answer to the question – Is ACAS activated? The possible answers are Yes or No.

Table 2 shows the numbers of cases in which specific combinations of “yes/no” answers appear. It would be ideal if the specific combinations of answers are located in the green fields, meaning that a perfect match exists between model and control for the given cases. Values in the red corner denote the numbers of cases in which ACAS was not activated in the model, but was activated in the control. Such a situation is considered as undesirable from the validation point of view as the model does not “recognize” the appropriate severity of the case. Values in the yellow corner denote the numbers of cases in which ACAS was activated in the model but was not activated in the control. In such a situation the model produced a false alarm. This is also not desirable from the validation point of view; however, it is less undesirable than the red corner situation, since at least in the yellow corner case the model is conservative from the safety point of view compared to the control.

Table 2 shows that in 7 out of 7 available cases (encounters) ACAS was activated both in reality and in the SDCPN model (green fields), which indicates that matching results have been obtained in the Level 1 validation (the same result is for InCAS vs. Real Life and SDCPN vs. InCAS, that's why those cases are not shown in separate tables).

**Table 2: Level 1 Validation Results**

		Real Life Encounter Data	
		No	Yes
SDCPN	No	0	0
	Yes	0	7

If the model has passed the Level 1 validation, then at Level 2 the question is more detailed. Table 3 shows the number of times in which a particular combination of answers to the Level 2 question (Are the same ACAS events occurring?) occurred for each pair of model-based case and control case. Situations that are covered in Table 3 are the following:

- No event – the case in which there is no need for either a TA or an RA to be issued.
- TA – the case in which a TA is issued.
- RA – the case in which an RA is issued and is satisfactorily resolved (the vertical separation at CPA is appropriate).
- RA\* – the case in which an RA is issued but is not satisfactorily resolved (the vertical separation at CPA is violated).
- RA<sub>MAC</sub> – the case in which an RA is issued but a MAC still occurs.

Table 3a presents Level 2 validation results for the comparison between the SDCPN model and the Real Life data. This shows that in 6 out of 7 encounters ACAS generated an RA both in reality and in the SDCPN model (results are in the green fields, meaning that satisfactory validation results were obtained). However, in 1 out of 7 encounters the SDCPN model only issued a TA instead of the RA that was activated in reality, placing the combination in a red field.

Additional analysis showed that the trajectories of the aircraft in the given case in reality were not converging or crossing, and that the aircraft were laterally and vertically well separated when the RA was issued. Therefore there is a possibility that in reality this encounter was a false alarm. This is proven in Table 3b where it is shown that InCAS model behave in the same way, as well as in Table 3c where it is shown that both models behave the same (all events are placed in the green diagonal).

Table 4 shows how many times a combination of senses occurred for the pair of model-based case and control case. Since a large number of different sense combinations can appear, it was decided to aggregate them into two groups of similar pairs of senses. It should be noted, though, that aggregation is always a difficult issue and the possibility always exists that some important information and differences between the model and control could remain hidden.

For the RA-related cells in the matrix in Table 3, a further division is made into pairs of senses, which can be ‘u/d’ or ‘d/u’, where the first letter is related to the own aircraft while the second is related to the intruder (Table 4). ‘u/d’ presents situations in which the own aircraft obtains an up or up-level or no-change sense while the intruder aircraft obtains a down or down-level or no-change sense. Something similar applies for the ‘d/u’ combination.

Here, ideally all situations should fall on the upper-left – lower-right diagonal, meaning that manoeuvres (senses) provided both by the control and the model are similar. If the situation does not fall onto the diagonal, this means that the corresponding manoeuvres (senses) differ.

Table 4a presents the results of the Level 3 validation in case of comparison between SDCPN model and Real Life data. It was shown that in 5 out of 6 available encounters (which were placed in the green field at Table 3), the resolution manoeuvre, i.e. the issued sense, in the SDCPN model was similar to the sense in reality.

In one out of 6 encounters the manoeuvre was different (see bold number in Table 4a, for encounter 2). However, it should be considered that there might be more than one solution for certain encounters. E.g. if the own aircraft is descending, typically an RA will force a climb, but it also happens that an RA is forcing a descent with a higher descent rate.

The idea of the validation process in this research is to go into greater detail when we approach deeper levels of validation (from rough to fine information). That is why at Level 4 a graphical comparison of the horizontal and vertical separations at CPA following implementation of the issued RA was chosen instead of a table, i.e. continuous rather than discrete variables. With this, it is not necessary anymore to perform aggregations that will hide some of the results, i.e. information.

Under Level 4 validation, the correspondence between model data (both SDCPN and InCAS) and Real encounter data is presented in Figure 3 (horizontal and vertical separations at CPA are presented in separate graphs).

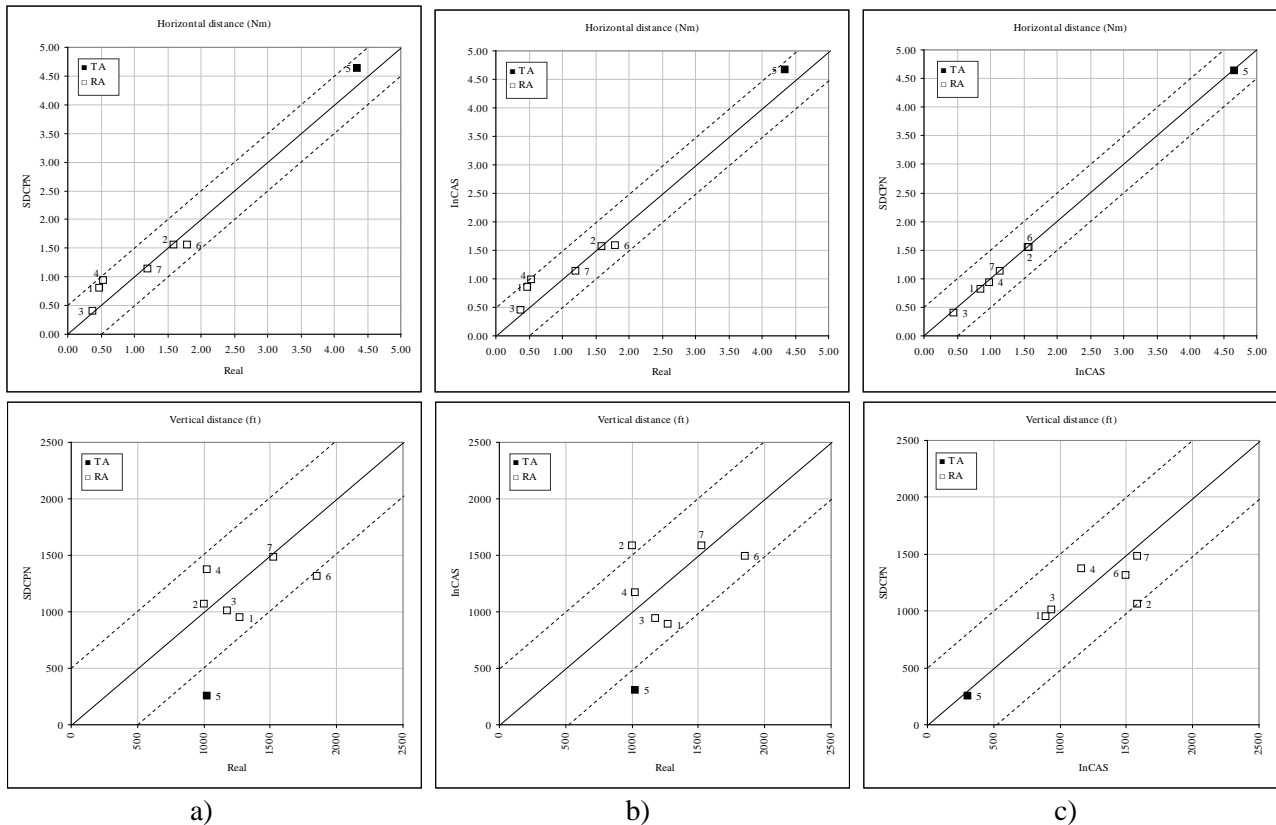
**Table 3: Level 2 Validation Results**

		No event	TA	RA	RA*	RA <sub>MAC</sub>
<b>a) Real Life Encounter Data</b>						
SDCPN	No event	0	0	0	0	0
	TA	0	0	1	0	0
	RA	0	0	6	0	0
	RA*	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	0	0	0	0	0
<b>b) Real Life Encounter Data</b>						
InCAS	No event	0	0	0	0	0
	TA	0	0	1	0	0
	RA	0	0	6	0	0
	RA*	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	0	0	0	0	0
<b>c) InCAS</b>						
SDCPN	No event	0	0	0	0	0
	TA	0	1	0	0	0
	RA	0	0	6	0	0
	RA*	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	0	0	0	0	0

**Table 4: Level 3 Validation Results**

		RA		RA*		RA <sub>MAC</sub>		
		u/d	d/u	u/d	d/u	u/d	d/u	
<b>a) Real Life Encounters Data</b>								
SDCPN	RA	u/d	1	0	0	0	0	
		d/u	1	4	0	0	0	0
	RA*	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0
<b>b) Real Life Encounters Data</b>								
InCAS	RA	u/d	2	0	0	0	0	
		d/u	0	4	0	0	0	0
	RA*	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0
<b>c) InCAS</b>								
SDCPN	RA	u/d	1	0	0	0	0	
		d/u	1	4	0	0	0	0
	RA*	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0
	RA <sub>MAC</sub>	u/d	0	0	0	0	0	0
		d/u	0	0	0	0	0	0

The numbers attached to the small squares represent the corresponding encounters identification. Dashed lines present the range of  $\pm 0.5$  NM in the horizontal plane and  $\pm 500$  ft in the vertical plane. They are introduced only for easy visual comparison. The ideal case would be a situation where both SDCPN data and Control data lay on the diagonal  $y = x$ , meaning that both the Control and the SDCPN model have the same horizontal and vertical separation at CPA.



**Figure 3: Level 4 Validation Results (Netjasov 2010; Netjasov et al. 2013)**

From Figure 3a it can be seen that the horizontal distances obtained using the SDCPN-based ACAS model are within the range of -0.24 NM to +0.39 NM relative to the real situation, i.e. to the diagonal. The range of vertical distances is broader and relative to the real life cases it goes from -773 ft (for encounter 5) where only a TA is recorded in SDCPN model, up to +345 ft (for encounter 4). Generally, the vertical separation in two encounters (2 and 4) is greater than in reality, while for the other encounters it is lower.

The comparison between the InCAS model and Real Life data is represented on Figure 3b. Also in this case differences exist between model and reality. The differences in horizontal separations range between -0.21 NM and +0.44 NM. Differences in vertical separations at CPA range between -719 ft in encounter 5 where a TA is issued, and 585 ft in encounter 2. Generally, the vertical separation in three cases 2, 4, and 7 is equal to or greater than in reality, while in four cases (1, 3, 6 and 5 (the case with a TA issued)) it is lower.

Finally, a mutual comparison between the SDCPN-based ACAS model and the InCAS model was performed. The results are shown on Figure 3c. In the case of horizontal distances the match is almost perfect, while differences in vertical direction do exist; they are in the range of -521 ft (encounter 2) up to +204 ft (encounter 4).

## 5. CONCLUSION

In order to build confidence in the developed model of ACAS operations which aim is to serve for the air traffic operation safety assessment, a systematic multilevel validation process has been proposed. The validation process includes both comparison of outputs of SDCPN model against “real data” and outputs of existing well-tested ACAS simulation model (InCAS). Initial application of this validation process to the SDCPN model of ACAS operations shows that its accuracy of identifying and handling ACAS alerts is similar to that of an existing and already validated ACAS simulation model as well as similar to real-life encounters. Illustration of the validation process shows that developed model after several iterations of refinement shows satisfactory behaviour leading to the judgement that the model could be used for intended purpose.

Some follow-up research activities are foreseen. At this moment the number of real life ACAS encounter data is rather limited. Hence, more real life data will be collected in order to complete the systematic validation. The advantage of working with a larger set of real life encounter data is that at each validation level a statistical hypothesis testing formalism can be used.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was conducted with support from the project “A support to sustainable development of the Republic of Serbia's air transport system” (Project Number 36033), commissioned by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the research programme in technological development in the period 2011–2014.

## LITERATURE

- [1] Balci, O. (1998). Verification, validation and testing. In: Banks, J. (Ed.), *Handbook of Simulation*. John Wiley & Sons, 335–393.
- [2] Gottstein, J. & Form, P. (2009). *Five million flight hours continuous reception of ACAS – communications and reporting of ACAS/ACAS – interventions in the German airspace*. In: Proceedings of EUROCONTROL Safety R&D Seminar, Germany.
- [3] Dean, G. (2007). *TCAS Analysis of Safety Events Using InCAS*, Eurocontrol Experimental Centre (presentation).
- [4] Netjasov, F. (2010). *Risk Analysis and Safety Assessment of Air Traffic Control System: Model of Airborne Collision Avoidance System Operation for Safety Assessment of Air Traffic Control Operational Concepts*. PhD Thesis. Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- [5] Netjasov, F., Vidosavljevic, A., Tomic, V., Everdij, M. & Blom, H.A.P. (2013). Development, validation and application of stochastically and dynamically coloured SDCPN model of ACAS operations for safety assessment purposes. *Transportation Research Part C*, Vol. 33, 167–195.
- [6] Sargent, R. (2009). *Verification and validation of simulation models*. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, USA.





## REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA SA VREMENSKIM INTERVALIMA PRIMENOM OPTIMIZACIJE KOLONIJOM PČELA

### SOLVING THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS BY BEE COLONY OPTIMIZATION

MILOŠ NIKOLIĆ<sup>1</sup>, MILICA ŠELMIĆ<sup>1</sup>, DUŠAN TEODOROVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet {m.nikolic; m.selmic; dusan}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu je rešavan problem rutiranja vozila kada postoje vremenski intervali u kojima se mora izvršiti usluga. Primenjena je metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela. Predloženi algoritam je testiran na skupu poznatih "benchmark" problema. Dobijeni rezultati pokazuju da je navedeni algoritam u stanju da pronađe kvalitetna rešenja.

**Ključne reči:** Rutiranje vozila, Vremenski intervali, Optimizacija kolonijom pčela.

**Abstract:** The vehicle routing problem with time windows is studied in the paper. This problem was solved by the Bee Colony Optimization metaheuristic. The proposed algorithm was tested on the set of well-known benchmark examples. The obtained results show that the presented algorithm can find high-quality solutions.

**Keywords:** Vehicle Routing Problem, Time Windows, Bee Colony Optimization.

#### 1. UVOD

Različite verzije problema raspoređivanja i rutiranja vozila na transportnim mrežama se javljaju u svim oblastima saobraćaja i logistike. Dobro organizovano raspoređivanje i rutiranje vozila može značajno da doprinese smanjivanju transportnih troškova, kao i povećanju kvaliteta usluga.

Brojni radovi u svetskoj literaturi se bave raznorodnim aspektima problema rutiranja vozila. Posebno je značajno istaći pregledne radove Solomon and Desrosiers (1988) i Desrocher et al. (1988). U ovim radovima su analizirane varijacije problema rutiranja, kao i tehnike koje su do sada korišćene za njihovo rešavanje. Pri razmatranju problema rutiranja podrazumeva se da je svakom čvoru pridružen odgovarajući zahtev (količina robe koja je potrebno da bude isporučena, ili količina robe koja je potrebno da bude kupljena iz čvora). Takođe se podrazumeva da su poznate vrednosti koordinata baze ili depoa, kao i samih čvorova, najkraća rastojanja između svih parova čvorova, i nosivost svakog vozila koje pruža usugu. Vozila napuštaju bazu, vrše opslugu čvorova na mreži, i nakon formiranja konačnih ruta, vraćaju se u bazu. Klasičan problem rutiranja vozila podrazumeva pronalaženje skupa ruta tako da se minimiziraju transportni troškovi.

U slučaju problema rutiranja sa vremenskim intervalima (eng. *Vehicle Routing Problem with Time Windows-VRPTW*) postoji i dodatno ograničenje kojim se za svaki čvor definiše i vremenski interval tokom koga čvor mora da bude opslužen (Golden and Assad 1986, Desrochers et al. 1988, Braysy and Gedreau 2005a, 2005b). Vremenski interval podrazumeva postojanje najranijeg i najkasnijeg momenta vremena u kojima je dozvoljen početak opsluge u određenom čvoru. Ovaj problem se javlja u svakodnevnim aktivnostima, kao što su distribucija robe, rutiranje školskih ili radničkih autobusa i sl.

Problem rutiranja sa vremenskim intervalima je veoma složen problem kombinatorne optimizacije. Dobijanje optimalnog rešenja navedenog problema je uslovljeno dimenzijama problema. S druge strane, primena VRPTW u realnom životu veoma često zahteva dobijanje rešenja u razumnom vremenu rada računara. U dosadašnjoj literaturi VRPTW velikih dimenzija je rešavan primenom brojnih heuristika, metaheuristika i hibridnih pristupa (kombinacija heurističkih i egzaktnih tehnika).

U ovom radu je rešavan VRPTW primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela (eng. *Bee Colony Optimization-BCO*) (Lučić and Teodorović 2001, 2002, 2003). Poslednjih godina ova metaheuristika je doživela ekspanziju pri rešavanju složenih zadataka kombinatorne optimizacije. Dosadašnji rezultati do kojih se došlo u primeni ove tehnike, ukazali su na mogućnosti da se BCO tehnika koristi kao alat za rešavanje VRPTW.



Rad je organizovan na sledeći način. Drugo sekcija sadrži implementaciju BCO na problemu rutiranja vozila sa vremenskim intervalima. Rezultati testiranja su predstavljeni u poglavlju 3, dok su zaključna razmatranja data u poslednjem poglavlju.

## 2. OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA ZA REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA VOZILA SA VREMENSKIM INTERVALIMA

Lučić and Teodorović (2001, 2002, 2003) su prvi koji su predstavili metaheuristiku Optimizacija kolonijom pčela. U današnjoj verziji algoritma populacija agenata (veštačkih pčela) koja se sastoji od  $B$  pčela saraduje u potrazi za optimalnim rešenjem. Algoritam se sastoji od dve faze: *leta unapred* i *leta unazad*. Tokom prve faze, pčele istražuju prostor dopustivih rešenja. Let unapred se sastoji od unapred zadatog broja koraka, koji konstruišu ili poboljšavaju rešenje, a sve sa ciljem dobijanja što boljeg konačnog rešenja. Nakon dobijanja novog parcijalnog ili kompletnog rešenja, u zavisnosti da li je u pitanju konstruktivna verzija ili verzija poboljšavanja rešenja, započinje druga faza algoritma, takozvani let unazad. Za vreme leta unazad pčele razmenjuju informacije o kvalitetu ostvarenih parcijalnih/kompletnih rešenja. U prirodi, pčele bi izvodile ples i na taj način informisale ostale pčele u košnici o količini nektara koje su pronašle. U okviru BCO algoritma, vrši se evaluacija svakog parcijalnog/kompletnog rešenja, tj. računaju se vrednosti kriterijumske funkcije nakon generisanja tih rešenja. Za vreme leta unazad, za svaku pčelu se odlučuje, sa određenom verovatnoćom, da li će napustiti do tada ostvareno parcijalno/kompletno rešenje, nastaviti da leti i vrši pretragu bez regrutacije novih pčela ili će regrutovati druge pčele i nastaviti da zajedno sa njima traži bolje parcijalno/kompletno rešenje. Očigledno, pčele sa boljim parcijalnim/kompletnim rešenjem imaju veću verovatnoću da će ostati lojalne sopstvenom rešenju u narednom letu unapred.

S obzirom na prirodu problema rutiranja sa vremenskim intervalima, autori su se odlučili da primene verziju BCO u kojoj se kompletno rešenje poboljšava kroz iteracije (Davidovic et al. 2011). Ulazne veličine u BCO algoritam su:

$B$  – broj veštačkih pčela,

$IT$  – broj iteracija,

$NP$  – broj letova unazad i unapred u jednoj iteraciji,

$NC$  – broj promena u jednom letu unapred.

Izlaz iz algoritma je:

$S$  – najbolje ostvareno rešenje.

Optimizacija kolonijom pčela za rešavanje problema rutiranja vozila sa vremenskim intervalima može da bude opisana sledećim pseudo-kodom:

### *procedura BCOvrptw (in $B, IT, NP, NC, out S$ )*

$S \leftarrow$  forimirati inicijalno rešenje (skup ruta vozila).

**for**  $j = 1$  **to**  $IT$  **do**

**for**  $i = 1$  **to**  $B$  **do**

        pčela  $i \leftarrow S$

**for**  $k = 1$  **to**  $NP$  **do**

**for**  $r = 1$  **to**  $NC$  **do**

**for**  $i = 1$  **to**  $B$  **do**

                Napraviti jednu modifikaciju rešenja pčele  $i$ .

                Poboljšati rešenje pčele  $i$  primenom algoritma za lokalno pretraživanje.

**if** najbolje rešenje generisano od strane svih pčela **bolje** od rešenja  $S$  **then**

$S \leftarrow$  usvojiti kao najbolje rešenje pčela.

        Normalizovati vrednosti kvaliteta rešenja svih pčela.

**for**  $i = 1$  **to**  $B$  **do**

        Odluka da li je pčela  $i$  lojalna ili ne.

**for**  $i = 1$  **to**  $B$  **do**

**if** pčela  $i$  nije lojalna **then**

            Izabrati jednu od lojalnih pčela koju će pčela  $i$  slediti u sledećem letu unapred.

### 2.1. Generisanje početnog rešenja

U radu je korišćena je jednostavna heuristika ubacivanja za generisanje početnog rešenja. Heuristika ubacivanja predstavlja modifikaciju heuristike predložene od strane Baker and Schaffer (1986). U radu Baker and Schaffer (1986) predložena heuristika formira rute sekvencijalnim pristupom (nakon što se prva ruta napravi počinje se sa pravljnjem druge) pri čemu se ubacivanje čvorova vrši u dva koraka. U prvom

koraku se određuje čvor koji će biti ubačen, a u drugom njegovo mesto u ruti. U ovom radu heuristika ubacivanja formira rute simultanim pristupom (u isto vreme se formira veći broj ruta), pri čemu se u svakom koraku određuje čvor koji će da bude uključen, ruta i mesto u ruti gde će čvor da bude ubačen.

Prvi čvor koji će biti ubačen u rutu se određuje na slučajaj način. Nakon toga, svi ostali čvorovi se ubacuju prema tzv. „trošku“ ubacivanja. Ovaj „trošak“ ubacivanja čvora  $u$  između čvorova  $i$  i  $j$  se računa kao:

$$C_{iuj} = d_{iu} + d_{uj} - d_{ij} \quad (1)$$

gde je  $d_{ij}$  najkraće rastojanje između čvorova  $i$  i  $j$ .

Čvor  $u$  sa najmanjim "troškom",  $C_{iuj}$ , se uključuje između čvorova,  $i$  i  $j$ . Ukoliko nijedan od neraspoređenih čvorova ne može biti uključen u neku od postojećih ruta, otvara se nova ruta. Prvi čvor koji će biti dodeljen novoj ruti određuje se na slučajaj način. Proces ubacivanja čvorova se nastavlja sve dok svi čvorovi ne budu uključeni u neku rutu.

## 2.2. Modifikacija rešenja

Pčela modifikuje svoje trenutno rešenje u tri koraka.

Korak 1: Od ukupnog broja ruta pčela bira  $k$  ruta.

Korak 2: Iz svake odabrane rute isključiti sve ili određeni broj čvorova i proglasiti ih za neraspoređene.

Korak 3: Uključiti neraspoređene čvorove u rute primenom prethodno opisane heuristike ubacivanja.

Svaka pčela određuje broj  $k$  (broj ruta koje će biti modifikovane ili ukinute) na slučajaj način na intervalu od 1 do 5 ili do ukupnog broja ruta ukoliko je on manji od 5. Takođe, ukoliko je broj korisnika koji se opslužuju u ruti manji ili jednak 5 ta ruta se briše. U suprotnom, broj čvorova koji se isključuju iz rute se određuje na slučajaj način na intervalu od 1 do 5. U radu je definisano da se uvek isključuju susedni čvorovi, pri čemu se prvi čvor određuje na slučajaj način.

U trećem koraku pčela uključuje neraspoređene čvorove u rute. Pri uključivanju čvorova korišćena je opisana heuristika uvacivanja pri čemu se "trošak" računa na osnovu tipa pčela.

Baker and Schaffer (1986) su predstavili tri različite heuristike ubacivanja u svom radu. Razlike između njih se ogledaju u načinu na koji se računa "trošak" ubacivanja. Sledeći ideju ovih autora o postojanju tri tipa heuristika ubacivanja, autori su u ovom radu angažovali tri tipa veštačkih pčela, pri čemu se one razlikuju samo po načinu na koji računaju "trošak".

Pčele prvog tipa računaju "trošak" na sledeći način:

$$C_{iuj}^1 = d_{iu} + d_{uj} - w d_{ij} \quad (2)$$

gde je  $w$  parametar. U radu je njegova vrednost određivana pri svakom ubacivanju čvora kao slučajaj broj na intervalu od 0 do 1.

Drugi tip pčela "trošak" ubacivanja računa kao:

$$C_{iuj}^2 = w_1 C_{iuj}^1 + w_2 (t(j/u) - t(j)) \quad (3)$$

gde su:

$w_1$  i  $w_2$  težinski koeficijenti ( $w_1 + w_2 = 1$ ). U radu su korišćene vrednosti  $w_1 = 0,1$  i  $w_2 = 0,9$ ,

$t(j)$  – vreme dolaska u čvor  $j$  pre ubacivanja čvora  $u$  u rutu između čvorova  $i$  i  $j$ ,

$t(j/u)$  – vreme dolaska u čvor  $j$  nakon ubacivanja čvora  $u$  u rutu između čvorova  $i$  i  $j$ .

Veštačke pčele trećeg tipa računaju "trošak" ubacivanja na sledeći način:

$$C_{iuj}^3 = w_1 C_{iuj}^1 + w_2 (t(j/u) - t(j)) + w_3 (f(u) - t(u)) \quad (4)$$

gde su:

$f(u)$  – vremenski trenutak kada usluga počinje u čvoru  $u$ ,

$w_1$ ,  $w_2$  i  $w_3$  su težinski koeficijenti ( $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ ). U radu su korišćene vrednosti  $w_1 = 0,1$ ,  $w_2 = 0,45$  i  $w_3 = 0,45$

### 2.3. Let unazad

Pri povratku u košnicu vršeno je poboljšavanje rešenja svake pčele. Za poboljšavanje rešenja korišćena je heuristički algoritam zasnovan na lokalnom pretraživanju koji može biti predstavljen sledećim pseudokodom:

**procedura AlgoritamLokalnogPretraživanja ()**

$L \leftarrow N \setminus \{0\}$

**boolean** poboljšanje  $\leftarrow$  true

**while**(poboljšanje)

$Q \leftarrow$  kvalitet rešenja

**for each**  $n$  **in**  $L$

$r \leftarrow$  pronaći rutu u kojoj je čvor  $n$  uključen

        ukloniti čvor  $n$  iz rute  $r$

**if** čvor može biti ubačen u neku od postojećih ruta **then**

            ubaciti čvor  $n$  u rutu  $i$  na mesto gde je to dozvoljeno a gde su troškovi minimalni

**else**

            ubaciti čvor  $n$  u novu rutu

    Izračunati kvalitet rešenja.

**if** kvalitet rešenja **bolji** od  $Q$  **then**

        poboljšanje  $\leftarrow$  true

**else**

        poboljšanje  $\leftarrow$  false

Nakon poboljšanja rešenja vrši se evaluacija i poređenje rešenja ostvarenih od strane pčela. Ukupna dužina svih ruta karakteriše kvalitet kompletnog rešenja svake pčele. Označimo sa  $O_i$  normalizovanu vrednost ukupne dužine svih ruta generisanih od strane pčele  $i$ :

$$O_i = \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (5)$$

gde su:

$T_i$  – vrednost funkcije cilja (ukupna dužina svih ruta) generisane od strane pčele  $i$ ,

$T_{\max}$  – najveća vrednost funkcije cilja generisane od strane svih pčela ( $T_{\max} = \max_{i=1,n} \{T_i\}$ ),

$T_{\min}$  – najmanja vrednost funkcije cilje generisane od strane svih pčela ( $T_{\min} = \min_{i=1,n} \{T_i\}$ ).

Verovatnoća da će  $i$ -ta pčela na početku novog leta unapred ostati lojalna svom do tada generisanom rešenju se računa na sledeći način:

$$p_i = e^{-(O_{\max} - O_i)} \quad (6)$$

gde  $O_{\max}$  predstavlja maksimum od svih normalizovanih vrednosti ( $O_{\max} = \max_{i=1,n} \{O_i\}$ )

Pčele koje su odlučile da postanu neopredeljene biraju među opredeljenim pčelama koju će da slede. Verovatnoća da će se neopredeljena pčela pridružiti  $i$ -toj opredeljenoj pčeli u narednom letu jednaka je:

$$p_i = \frac{O_i}{\sum_{k \in L} O_k} \quad (7)$$

gde je  $L$  skup pčela koje su ostale lojalne svom rešenju.

Po izvlačenju slučajnih brojeva utvrđuje se za svaku pčelu iz skupa neopredeljenih sa kojom pčelom iz skupa opredeljenih bi trebalo da započne novi let unapred.

### 3. NUMERIČKI REZULTATI

U cilju testiranja performansi BCO metaheuristike na teškom problemu kao što je VRPTW, autori su koristili poznate Solomonove benchmark primere. Parametri koji su korišćeni pri implementaciji BCO metaheuristike su:

- Broj iteracija:  $IT = 100$ ,
- Broj letova:  $NP = 20$ ,
- Broj modifikacija u prvom letu unapred:  $NC=1$ ,
- Broj pčela:  $B = 60$  (po 20 pčela od svakog tipa).

Svi primeri su rešavani 5 puta. Ostvareni rezultati su prikazani u Tabeli 1. U prvoj koloni Tabele 1 su dati nazivi primera. Druga kolona sadrži do sada najbolje poznate rezultate iz literature (Ribas et al. 2011). Naredne dve kolone predstavljaju najbolje rezultate ostvarene primenom BCO, kao i relativnu grešku u odnosu na najbolje poznato rešenje. Peta i šesta kolona daju prosečnu vrednost kriterijumske funkcije ostvarene nakon 5 BCO realizacija i odgovarajući relativnu grešku. Konačno, poslednje dve kolone prikazuju najlošiju vrednost kriterijumske funkcije ostvarene tokom 5 BCO realizacija i odgovarajuću relativnu grešku u odnosu na najbolje do sada poznato rešenje.

**Tabela 1:** Poređenje ostvarenih rezultata

Primer	Najbolje poznato	BCO najbolje	Relativno odstupanje (%)	BCO prosečno	Relativno odstupanje (%)	BCO najlošije	Relativno odstupanje (%)
C101	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C102	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C103	828,06	828,0649	0,0006	828,0649	0,0006	828,0649	0,0006
C104	824,78	824,7767	-0,0004	824,7767	-0,0004	824,7767	-0,0004
C105	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C106	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C107	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C108	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
C109	828,94	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004	828,9369	-0,0004
R101	1642,88	1642,8769	-0,0002	1643,3543	0,0289	1644,0453	0,0709
R102	1472,62	1472,8149	0,0132	1473,5957	0,0663	1475,6934	0,2087
R103	1213,62	1213,6239	0,0003	1214,5836	0,0794	1218,4225	0,3957
<b>R104</b>	<b>982,3</b>	<b>976,6082</b>	<b>-0,5794</b>	<b>986,7193</b>	<b>0,4499</b>	<b>996,5559</b>	<b>1,4513</b>
R105	1360,78	1360,7832	0,0002	1364,7972	0,2952	1370,8182	0,7377
R106	1239,37	1239,3719	0,0002	1241,7165	0,1893	1246,2977	0,5590
R107	1075,21	1075,2455	0,0033	1079,1242	0,3640	1083,3961	0,7613
<b>R108</b>	<b>948,57</b>	<b>941,6963</b>	<b>-0,7246</b>	<b>951,3239</b>	<b>0,2903</b>	<b>959,9685</b>	<b>1,2017</b>
R109	1151,84	1151,8385	-0,0001	1153,7052	0,1619	1155,4029	0,3093
R110	1072,41	1072,4149	0,0005	1077,1882	0,4456	1088,6522	1,5146
R111	1053,5	1053,4958	-0,0004	1055,8391	0,2220	1061,6185	0,7706
R112	953,63	965,7995	1,2761	969,7337	1,6887	971,3308	1,8561
RC101	1623,58	1643,0432	1,1988	1644,6770	1,2994	1646,5322	1,4137
RC102	1461,23	1477,1971	1,0927	1478,6029	1,1889	1480,9656	1,3506
RC103	1261,67	1273,4214	0,9314	1289,0163	2,1675	1310,0120	3,8316
RC104	1135,48	1138,8686	0,2984	1145,9576	0,9227	1149,2229	1,2103
RC105	1518,58	1521,7196	0,2067	1527,3184	0,5754	1532,6538	0,9268
RC106	1376,99	1376,9937	0,0003	1386,8860	0,7187	1397,3562	1,4790
RC107	1212,83	1216,6472	0,3147	1227,9599	1,2475	1237,4219	2,0276
RC108	1117,53	1117,5265	-0,0003	1130,3566	1,1478	1140,7245	2,0755
Prosečno			0,1389		0,4671		0,8327

Kao što se može videti iz Tabele 1, BCO metaheuristika je ostvarila izuzetno dobre rezultate. U dva od ukupno 29 primera BCO je pronašla rešenje bolje od do sada najboljih pronađenih rešenja (ove instance su napisane bold fontom u Tabeli 1).

Konačno, analizirajući poslednju vrstu Tabele 1 može se uočiti da najbolja BCO rešenja prosečno odstupaju od najboljih poznatih 0,14 %. Prosečne vrednosti kriterijumske funkcije nakon 5 realizacija prosečno odstupaju od najboljih poznatih 0,47 %, a najlošija nakon 5 realizacija prosečno odstupaju od najboljih poznatih 0,83 %. Sva testiranja su izvršena na Dell laptop-u sa sedećim karakteristikama: Intel Core i5-2430M, 2.4 GHz, pod Windows OS.

#### 4. ZAKLJUČAK

Optimizacija kolonijom pčela je metaheuristika koja je inspirisana ponašanjem pčela pri traganju za nektarom. Intenzivnom primenom BCO metaheuristike poslednjih godina ostvareni su zavidni rezultati na raznorodnim kombinatornim problemima. Paralelno sa implementacijom BCO algoritma radilo se i na evoluciji i poboljšanju performansi same tehnike.

U ovom radu primenjen je relativno nov pristup BCO u kome se vrši poboljšanje kompletnog rešenja kroz iteracije. Ovakva modifikovana BCO metaheuristika je korišćena kao alat za rešavanje problema rutiranja vozila sa vremenskim intervalima. Predloženi algoritam je testiran na velikom broju poznatih benchmark problema. Dobijeni su veoma ohrabrujući rezultati. BCO metaheuristika je bila u stanju da pronađe 2 rešenja koja su bolja od do sada najboljih poznatih rešenja. Poređenjem najboljih rešenja koje je BCO metaheuristika ostvarila kroz 5 propuštanja sa najboljim do sada poznatim dobijena su odstupanja od samo 0,14 %.

Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju veliki korak u razvoju i implementaciji relativno nove tehnike bazirane na inteligenciji grupe pri rešavanju složenih problema kombinatorne optimizacije.

Ovaj rad je podžan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz projekat TR 36002, za period 2011 – 2015.

#### LITERATURA

- [1] Baker, E. K. & Schaffer, J. R. (1986). Solution improvement heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *Amer. J. Math. Management Sci.*, 6, 261-300.
- [2] Bräysy, O., & Gendreau, M., (2005a). Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms, *Transportation Science*, 39, 1, 104-118.
- [3] Bräysy, O., Gendreau, M. (2005b). Vehicle routing problem with time windows, Part II: Metaheuristics., *Transportation Science*, 39, 119-139.
- [4] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D., (2011). Bee colony optimization for the p-center problem. *Computers & Operations Research*, 38, 1367- 1376.
- [5] Desrochers, J., Lenstra, K., Savelsbergh, M.W.P. & Soumis F. (1988). Vehicle routing with time windows: optimization and approximation, B.L. Golden, A.A. Assad (Eds.), *Vehicle Routing: Methods and Studies*, North-Holland, Amsterdam 64–84.
- [6] 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*, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, 441–445.
- [7] Lučić, P., & Teodorović, D. (2002). Transportation modeling: An artificial life approach. In *Proceedings of the 14th IEEE ‘‘International conference on tools with artificial intelligence’’*, Washington, DC, 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] Ribas, S., Subramanian, A., Coelho, I. M., Ochi, L.S. & Souza, M. J. F. (2011). A hybrid algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows, *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, 1-10.
- [10] Solomon, M.M., & Desrosiers, J. (1988). Time Window Constrained Routing and Scheduling Problems, *Transportation Science*, 22, 1-13.



## UBLAŽAVANJE POSLEDICA POVEĆANE POTRAŽNJE NA UNAPRED PROJEKTOVANE RUTE VOZILA U DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA

### MITIGATION CONSEQUENCES OF INCREASED DEMAND ON DEFINED VEHICLE ROUTES IN DISTRIBUTION SYSTEMS

MILOŠ NIKOLIĆ<sup>1</sup> DUŠAN TEODOROVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {m.nikolic; dusan}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Logističke kompanije koje se bave distribucijom robe korisnicima, često koriste fiksni skup ruta svakog dana. Zbog povećane potražnje korisnika koji se opslužuju, projektovani skup ruta može u određenim slučajevima da postane nedopustiv. U radu je predložena matematička formulacija posmatranog problema. Prilikom rešavanja problema poremećaja u radu se težilo minimiziranju negativnih posledica poremećaja nastalih povećanom potražnjom. Problem je rešavan primenom principa leksikografske optimizacije. Testiranja predloženog koncepta su izvršena na jednm Solomonovom benčmark primeru.

**Ključne reči:** Ublažavanje poremećaja, Rutiranje vozila sa vrenskim intervalima, leksikografska metoda

**Abstract:** Some logistics companies use the same vehicle routes every day for distribution goods to the customers. Increased demand of some customers can cause that one or more planned vehicle routes are not feasible any more. We propose in this paper the mathematical formulation of this problem. When solving the described problem we tried to minimize the negative consequences of the disturbances caused by the increased demand. The defined multicriteria problem was solved by the lexicographic method. We tested the proposed concept on the Solomon's benchmark example.

**Keywords:** Mitigation disruptions, Vehicle Routing Problem with Time Windows, Lexicographic method

## 1. UVOD

Kompanije koje se bave distribucijom robe uglavnom imaju poznat broj korisnika koje opslužuju. Zbog svoje odganizacije rada kompanije često unapred definišu rute kretanja vozila na osnovu iskustva o karakteristikama zahteva koje imaju njihovi korisnici. Ukoliko nema nekih značajnih promena u pogledu potražnje korisnika plan rutiranja vozila ostaje dopustiv.

Vremenom, ako se rute pokažu kao dobre, kompanije ih se često pridržavaju u dužem vremenskom periodu (3, 6 ili više meseci). Ovakav način organizacije distribucije robe i rutiranja vozila ima sledeće prednosti: planiranje angažovanja voznog parka, planiranje smena i broja vozača, planiranje troškova, upoznatost vozača sa karakteristikama ruta koje realizuju i dr. Glavni nedostatak ovakvog načina rutiranja vozila su nešto veći troškovi realizacija ruta, u slučaju kada je moguće naći bolji skup ruta.

Povećanje zahteva nekih korisnika može dovesti do situacija u kojima planirane rute nije moguće realizovati. U ovom slučaju potrebno je odrediti novi skup ruta kojim bi se proces distribucije robe organizovao na najbolji mogući način. Prilikom projektovanja novog skupa ruta treba težiti da se minimiziraju negativne posledice nastalih poremećaja. U radu Spliet et al. (2014) je predložena matematička formulacija i dvofazni algoritam za rešavanje naznačenog problema. Predložena formulacija je bazirana na dvoindeksnoj matematičkoj formulaciji za kapacitivni problem rutiranja vozila (Capacity Vehicle Routing Problem - CVRP).

U ovom radu je predložena matematička formulacija za rešavanje problema ublažavanje posledica poremećaja u realizaciji planiranih ruta pri čemu se uzimaju u obzir i vremenski intervali u kojima je opsluga korisnika dozvoljena.

Rad je organizovan na sledeći način: u sekciji 2 dat je opis problema, dok je u u sekciji 3 predložena matematička formulacija. Testiranje predložene formulacije je dato u sekciji 4. Zaključna razmatranja i pravci budućih istraživanja su dati u sekciji 5.

## 2. OPIS PROBLEMA

Neka je  $G = (V, A)$  orijentisan graf gde je  $V$  skup čvorova  $V = \{0, 1, \dots, n, n+1\}$ , a  $A$  skup grana  $(i, j) \in A$ . Čvorovima  $0$  i  $n+1$  je predstavljen depo vozila, a čvorovima  $1, 2, \dots, n$  su predstavljeni korisnici. Neka skup  $N$  čine korisnici koji treba da budu opsluženi,  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ . Uzimajući u obzir prethodni period tokom koga je vršena opsluga korisnika, kompanije mogu da procene količine robe koje će korisnici potraživati. Označimo sa  $q_i$  procenjenju količinu robe koju će da potražuje korisnik  $i$ . Takođe iz iskustva u prethodnom periodu kompanije znaju u kom vremenskom intervalu je dozvoljena opsluga svakog od klijenata i koliko usluga vremenski traje. Rešavanje ovog problema rutiranja vozila se svodi na problem rutiranja vozila sa vremskim intervalima (Vehicle Routing Problem with Time Windows - VRPTW).

Za rešavanje problema rutiranja vozila sa vremskim intervalima u literaturi su predloženi kako optimizacioni tako i heuristički pristupi. Matematička formulacija problema rutiranja vozila sa vremskim intervalima (Desrochers et al. 1988., Cordeau et al. 2007) glasi:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij}^k - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{ji}^k = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$w_j^k \geq w_i^k + s_i + t_{ij} - M(1 - x_{ij}^k) \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (6)$$

$$a_i \leq w_i^k \leq b_i \quad \forall k \in K, i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (9)$$

gde su:

$x_{ij}^k$  – binarna promenljiva koja uzima vrednost 1 ukoliko vozilo  $k$  nakon što poseti  $i$  odlazi u čvor  $j$

$w_i^k$  - promenljiva koja označava vreme početka opsluge čvora  $i$  od strane vozila  $k$

$Q$  – nosivost vozila

$c_{ij}$  – trošak kretanja vozila od čvora  $i$  do čvora  $j$

$a_i$  – najranije vreme početka opsluge čvora  $i$

$b_i$  – najkasnije vreme početka opsluge čvora  $i$

$s_i$  – vreme trajanja opsluge u čvoru  $i$

$q_i$  – potražnja čvora  $i$

$K$  – skup vozila

$\delta^+(i) = \{j : (i, j) \in A\}$

$\delta^-(j) = \{i : (i, j) \in A\}$

Kriterijumska funkcija (1) minimizira ukupne troškove realizacije ruta. Ograničenje (2) garantuje da će svi korisnici biti opsluženi. Ograničenja (3) i (5) garantuju da će svako vozilo da napusti, odnosno, da se vrati u depo. Ograničenje (4) definiše zahtev da vozilo napusti lokaciju korisnika. Ograničenja (6) i (7) garantuju da će se opsluga korisnika obaviti u definisanim vremenskim intervalima. Ograničenje (8) garantuje da nosivost vozila neće biti prekoračena. Ograničenje (9) definiše promenljivu  $x_{ij}^k$  kao binarnu promenljivu.

Rešavanjem problema pomoću matematičke formulacije (1)-(9) dobija se optimalan skup ruta vozila. Zbog različitih pogodnosti kompanije često koriste iste rute svakog dana. U svakodnevnoj praksi javljaju se situacije kada korisnici ispostave takve zahteve da jedna ili više ruta postanu nedopustive zbog prekoračenja nosivosti vozila. U ovakvim situacijama se javlja sledeći problem: odrediti novi skup ruta tako da se minimizira broj korisnika koji neće dobiti opslugu, minimizira broj korisnika koji neće biti opsluženi uobičajenom rutom vozila i minimiziraju ukupni troškovi kretanja vozila, tj. troškovi realizacija ruta. Pri rešavanju ovog problema često je potrebno i voditi računa o značaju određenih korisnika.

### 3. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

S obzirom da posmatrani problem ima više ciljeva može se definisati kao problem višekriterijumske optimizacije.

Pretpostavimo da su uobičajene rute koje koriste vozila dobijene pomoću matematičke formulacije (1)-(9). U matematičkoj formulaciji koja će biti predložena u ovoj sekciji  $x_{ij}^k$  više neće biti promenljiva nego će uzimati vrednosti koje su dobijene rešavanjem formulacije (1)-(9). Takođe,  $q_i$  će predstavljati konkretnu količinu potražnje korisnika  $i$ .

Uvedimo sledeće binarne promenljive:

$$\xi_i = \begin{cases} 1, & \text{ako će lokacija } i \text{ neće biti opslužena} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{ako lokacija } i \text{ neće biti opslužena u ruti } k \text{ pri čemu je ona njena originalna ruta} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$y_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{ako vozilo } k \text{ nakon opsluge čvora } i \text{ ide u čvor } j \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Označimo takodje ulazne vrednosti kao:

$w_i$  – značaj opsluge korisnika  $i$

$u_i$  – značaj opsluge korisnika  $i$  u ruti koja se uobičajeno koristi za njegovu opslugu

Ostale oznake su ista kao u formulaciji (1)-(9).

Matematička formulacija, bazirana na troindeksnoj formulaciji za VRPTW datoj u prethodnoj sekciji, glasi:

$$\min F_1 = \sum_{i \in N} w_i \xi_i \quad (10)$$

$$\min F_2 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} u_i z_{ik} \quad (11)$$

$$\min F_3 = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} y_{ij}^k \quad (12)$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} y_{ij}^k + \xi_i = 1 \quad \forall i \in N \quad (13)$$



$$\sum_{j \in \delta^-(0)} y_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (14)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} y_{ij}^k - \sum_{i \in \delta^+(j)} y_{ji}^k = 0 \quad \forall k \in K, j \in N \quad (15)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} y_{i,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (16)$$

$$w_j^k \geq w_i^k + s_i + t_{ij} - M(1 - y_{ij}^k) \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (17)$$

$$a_i \leq w_i^k \leq b_i \quad \forall k \in K, i \in V \quad (18)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} y_{ij}^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} (x_{ij}^k - y_{ij}^k) \leq z_{jk} + \xi_j \quad \forall k \in K, j \in N \quad (20)$$

$$\xi_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N \quad (21)$$

$$y_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (22)$$

$$z_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K, i \in N \quad (23)$$

Minimiziranjem kriterijumske funkcije (10) teži se minimiziranju broja korisnika koji neće dobiti opslugu (svaki klijent je ponderisan svojim značajem). Minimiziranjem druge kriterijumske funkcije (11) teži se minimiziranju ponderisanog broja korisnika koji neće biti opsluženi u originalnim rutama. Konačno, minimiziranje kriterijumske funkcije (12) odražava našu želju da se minimizira ukupna dužina svih ruta.

Ograničenjem (13) se garantuje da ukoliko korisnik  $i \in N$  neće biti opslužen promenljiva  $\xi_i$  će imati vrednost 1. Ograničenja (14) i (16) garantuju da će svako vozilo da izađe iz depoa i da se vrati u depo. Ograničenje (15) garantuje da vozilo neće ostati u nekom od čvorova koji predstavljaju korisnike. Ograničenja (17) i (18) garantuju da će zahtevani vremenski prozori biti zadovoljeni. Ograničenje (19) vodi računa o nosivosti vozila. Ukoliko se vrši opsluga korisnika  $i \in N$ , ali ne u originalnoj ruti  $k \in K$  zbog ograničenja (20) promenljiva  $z_{jk}$  će imati vrednost 1. Ograničenjima (21), (22) i (23) se definišu promenljive kao binarne promenljive.

#### 4. NUMERIČKI PRIMER

Za testiranje predložene matematičke formulacije (10) – (23) korišćena je Leksikografska metoda višekriterijumske optimizacije. Kod ove metode potrebno je unapred zadati redosled kriterijumskih funkcija  $(f_1, f_2, \dots, f_k)$  tako što će najvažnija kriterijumska funkcija biti prva  $f_1$ , a najmanje važna poslednja  $f_k$ . Za svaku kriterijumsku funkciju vrši se jedno rešavanje problema. Za  $i$ -tu kriterijumsku funkciju problem ima sledeći oblik (Coello et al. 2002):

$$\min f_i(\vec{x}) \quad (24)$$

pri ograničenjima

$$g_j(\vec{x}) \leq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

$$f_l(\vec{x}) = f_l^* \quad l = 1, 2, \dots, i - 1 \quad (26)$$

gde  $f_l^*$  predstavlja najbolju dobijenu vrednost za priterijumsku funkciju  $f_l$ .  
Redosled kriterijumskih funkcija koji je korišćen za testiranje je  $F_1, F_2$  i  $F_3$ .

Testiranje je izvršeno na Solomonovom primeru C101 za problem rutiranja vozila sa vremenskim prozorima. Testiranjem su obuhvaćeni slučajevi kada je broj čvorova (korisnika): 25 i 50. Početne rute su dobijene rešavanjem problema mešovitog celobrojnog programiranja definisanog matematičkom formulacijom (1) – (9).

S obzirom da su u slučaju problema sa 25 čvorova dovoljna 3 vozila da obave opslugu, izvršena su testiranja predloženog koncepta za veličinu voznog parka od 3 i 4 vozila. Čvrovima su respektivno pridružene sledeće vrednosti koje odražavaju njihov značaj:  $w_1 = 1,02$ ;  $w_2 = 1,04$ ;  $w_3 = 1,06$ ; ...;  $w_{25} = 1,50$ . Takodje su čvrovima pridružene sledeće vrednosti koje odražavaju značaj da korisnici budu opsluženi u okviru uobičajenih ruta:  $u_1 = 1,01$ ;  $u_2 = 1,02$ ;  $u_3 = 1,03$ ; ...;  $u_{25} = 1,25$ . U Tabeli 1 su prikazani rezultati dobijeni za slučajeve kada svi čvorovi potražuju količinu robe koja je 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % i 100 % veća nego što je to uobičajeno.

Iz rezultata datih u Tabeli 1 se može uočiti da ukoliko svi korisnici povećaju potražnju za 10 % uobičajene rute nisu više dopustive, ali su dovoljna tri vozila da bi se svi korisnici opslužili. Ukoliko svi korisnici povećaju potražnju za 30 % kompanija bi morala da raspolaže sa četiri vozila kako bi opslužila sve korisnike ili u suprotnom, jedan korisnik ne bi dobio opslugu.

Takođe interesantno je uočiti rezultate u slučaju povećanja od 10 i 20 % u situaciji kada kompanija raspolaže sa 3 vozila. U slučaju povećanja za 10 % svi korisnici će biti opsluženi pri čemu jedan korisnik neće biti u uobičajenoj ruti. Ukupna dužina ruta u ovom slučaju iznosi 248,999. Rezultati u slučaju povećanja od 20 % pokazuju da će i u ovom slučaju svi korisnici dobiti opslugu, ali ruta će ruta korisnika većeg značaja biti promenjena. Može se uočiti da je u ovom slučaju ukupna dužina ruta manja nego pri povećanju potražnje za 10 %.

**Tabela 1:** Rezultati primera sa 25 čvorova

Povećanje količine potražnje	C101					
	Broj vozila: 3			Broj vozila: 4		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
10 %	0	1,12	248,999	0	1,12	248,999
20 %	0	1,15	239,334	0	1,13	251,921
30 %	1,02	1,15	239,268	0	2,16	271,287
40 %	1,3	2,22	257,763	0	3,27	272,844
50 %	2,34	1,12	243,465	0	3,29	273,3
60 %	3,6	1,09	220,365	0	4,31	265,003
70 %	4,78	0	185,81	1,04	3,37	271,478
80 %	4,78	0	185,81	1,04	3,37	271,478
90 %	6,04	2,21	192,016	2,3	5,55	284,409
100 %	6,04	2,21	192,016	2,3	5,55	284,409

Za realizaciju ruta u primeru sa 50 čvorova potreban broj vozila je jednak 5. U testiranjima je provereno kakva bi se rešenja dobila da je veličina voznog parka 6 i 7 vozila. Čvrovima su respektivno pridružene sledeće vrednosti koje odražavaju njihov značaj:  $w_1 = 1,02$ ;  $w_2 = 1,04$ ;  $w_3 = 1,06$ ; ...;  $w_{50} = 2,00$ . Takodje su čvrovima pridružene sledeće vrednosti koje odražavaju značaj da korisnici budu opsluženi u okviru uobičajenih ruta:  $u_1 = 1,01$ ;  $u_2 = 1,02$ ;  $u_3 = 1,03$ ; ...;  $u_{50} = 1,50$ .

U Tabeli 2 su dati rezultati testiranja. Može se uočiti da će, ukoliko kompanija ima na raspolaganju 6 vozila, svi korisnici biti opsluženi i u slučaju da povećaju količinu robe koju potražuju i za 30 %. Istovremeno se uočava da ukoliko kompanija raspolaže sa 7 vozila, povećanje količine robe korisnika od 50 % takođe neće dovesti do slučaja da neko od korisnika ne dobije opslugu.

**Tabela 2:** Rezultati primera sa 50 čvorova

Povećanje količine potražnje	C101					
	Broj vozila: 6			Broj vozila: 7		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
10 %	0	2,43	480,792	0	2,43	480,792
20 %	0	3,68	469,916	0	3,66	488,661
30 %	0	6,01	496,304	0	6	505,097
40 %	1,04	7,23	563,661	0	7,16	555,998
50 %	2,62	7,5	492,682	0	8,59	527,251
60 %	4,92	8,99	610,375	1,04	11,16	552,463
70 %	7,54	6,63	516,52	3,46	9,04	561,135
80 %	7,54	6,63	516,52	3,46	9,04	561,135
90 %	10,34	9,16	613,716	5,78	12,18	584,086
100 %	10,34	9,16	613,716	5,78	12,18	584,086

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem rutiranja vozila u slučaju kada kompanija koristi uobičajene rute, a korisnici ispostave veće zahteve od uobičajenih. U ovom slučaju može doći do problema u vidu nedopustivih ruta.

Za razmatrani problem je predložena matematička formulacija koja sadrži tri kriterijumske funkcije. Testiranje matematičke formulacije je izvršeno na jednom Solomonovom primeru za problem rutiranja vozila sa vremenskim intervalima. Pri testiranju predložene formulacije korišćena je Leksikografska metoda višekriterijumske optimizacije.

S obzirom da posmatrani problem spada u grupu problema kombinatorne optimizacije i da je NP težak kao pravac budućih istraživanja može se predložiti razvoj efikasnih heurističkih algoritama za rešavanje ovog problema.

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz projekat TR 36002, za period 2011 - 2015.

## LITERATURA

- [1] Coello, C.A., Van Veldhuizen, D.A., & Lamont G.B. (2002). Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems, Kluwer.
- [2] Cordeau, J.-F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D. (2007). Vehicle routing. In C. Barnhart & G. Laporte (Eds.), Transportation. Amsterdam: Elsevier.
- [3] Desrochers, M., Lenstra, J.K., Savelsbergh, M.W.P., & Soumis, F., (1988). Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation. In: Golden, B.L., Assad, A.A. (Eds), Vehicle Routing: Methods and Studies. North-Holland, Amsterdam, 65-84.
- [4] Spliet, R., Gabor, A.F., & Dekker, R., (2014). The vehicle rescheduling problem, Computers & Operations Research, 43, 129-136.



## **MERENJE SADRŽAJA IZDUVNIH GASOVA OTO MOTORA NA TERITORIJI GRADA KRAGUJEVCA**

### **MEASUREMENT OF EMISSIONS IGNITION ENGINES IN KRAGUJEVAC**

ALEKSANDAR TRIFUNOVIĆ<sup>1</sup>, BRANIMIR ĐURIĆ<sup>2</sup>, DANIJEL STEVANOVIĆ<sup>2</sup>, SVETLANA ČIČEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija, {a.trifunovic, s.cicevic}@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, Srbija, {branimirdjuric, stevanovicdaniyel}@hotmail.rs

**Rezime:** Porastom broja vozila iz godine u godinu, povećava se i aero zagađenje od korišćenja motornih vozila u drumskog saobraćaja, koje negativno utiče na zdravlje ljudi i zagađenje čovekove okoline, kao i na uništavanje ozonskog omotača, što utiče na globalno zagrevanje cele planete Zemlje. Iz navedenog razloga su donešeni zakoni i propisi, ne samo na nivou država, već na nivou kontinenta i Ujedinjenih Nacija. Zbog štetnog dejstva toksičnih materija koje se nalaze u izduvnim gasovima motora na okolinu i živi svet neophodno je ograničiti njihove maksimalne količine. U tom cilju su uvedeni zakonski propisi koji, osim propisivanja maksimalnog sadržaja toksičnih materija, definišu postupke, metode merenja i potrebnu mernu opremu. Zbog konstantnog povećanja broja vozila, neophodno je iz godine u godinu pooštavati zakonske propise da bi se zadržao ukupan nivo toksičnih materija koji se izbacuju u okolinu sa izduvnim gasovima vozila. Štetne komponente CO, CO<sub>2</sub>, HC u izduvnim gasovima su merene pomoću mernih testova u užem gradskom delu grada Kragujevca. Ogledno vozilo, čiji su izduvni gasovi analizirani (koje je najviše zastupljena na teritoriji grada Kragujevca) je Zastava 101 sa pogonom na tečni naftni gas. Rezultati mernih testova i uticaj karakteristika ulice (semafori, raskrsnice, pešački prelazi) na emisiju štetnih gasova iz vozila su prikazani u radu.

**Ključne reči:** aero zagađenje, zagađenje čovekove okoline, merenja komponenti izduvnih gasova.

**Abstract:** As the number of cars each year, and increased air pollution from the use of motor vehicles and road traffic, which adversely affects the health and the environment as well as destruction of the ozone layer, which affects the global warming of the entire planet Earth. Therefore, the laws and regulations not only at national level but at the level of the continents and the United Nations. Due to the harmful effects of toxic substances that are found in engine exhaust gases on the environment and wildlife is necessary to limit their maximum levels. To this end, they introduced legislation which, besides prescribing the maximum content of toxic substances, defined procedures, methods of measurement and the necessary measuring equipment. Due to the ever increasing number of vehicles, it is the year to tightening legislation in order to maintain the overall level of toxic substances that are discharged into the environment from emissions of vehicles. Hazardous components [CO], [CO<sub>2</sub>], [HC] in the exhaust gases were measured using exhaust gas analyzers, type D IPEX PROTECH (Italy). The test vehicle, with the exhaust gases are analyzed, the Zastava 101 with liquefied petroleum gas and unleaded petrol and Skoda Citigo powered by unleaded gasoline. The results of measurement of the emissions of both vehicles are presented in tables and compared with the current European regulations.

**Keywords:** air pollution, pollution of the environment, measurement of the emissions.

#### **1. UVOD**

Istraživanja su pokazala da 50% od ukupnog aero zagađenja, koje nastaje u gradovima, pored dimnjaka fabrika, toplana i domaćinstava koja za ogrev koriste čvrsta goriva, potiče od korišćenja motornih vozila i drumskog saobraćaja. Sa porastom broja motornih vozila i intenziviranjem saobraćaja pojačao se i uticaj izduvnih gasova na životnu sredinu (Radonjić 2009). Zapadno industrijsko društvo je od 1968. godine počelo sa ograničavanjem emisije štetnih gasova motornih vozila. U tom zakonskom procesu vodeću ulogu su imale Sjedinjene Američke Države. Zakonske granice emisije štetnih materija su se neprestano pooštavale. Da bi se ti zahtevi mogli zadovoljiti u svakodnevnim uslovima, postao je neophodan dijagnostički sistem za nadgledanje rada komponenti i sistema u celini odgovornih za sastav izduvnih gasova. Na nivo zagađenja

vazduha utiču sledeći parametri vozila: starost vozila i njihova tehnička ispravnost, kvalitet i vrsta pogonskog goriva, kapacitet ulica, način organizovanja i upravljanja gradskim saobraćajem, geografski položaj grada.

Pri eksploataciji motornih vozila, motori kao njihovi pogonski agregati, izbacuju u atmosferu produkte sagorevanja, koji sadrže i do 280 različitih materija, od kojih neke imaju toksična, pa i kancerogena svojstva. Za sve vreme postojanja, motori SUS su prošli kroz složeni evolucionni proces i danas su dostigli visoki stepen savršenstva. Poslednjih 40 godina sadržaj toksičnih komponenti u produktima sagorevanja umanjio se za 70%, a mnogi proizvođači motora i vozila maštaju o nultoj toksičnosti produkata sagorevanja i o „ekološki čistom vozilu“. Postojali su pokušaji da se motor SUS zameni nekim drugim motorom, koji ne bi emitovao toksične komponente, ali su ti pokušaji imali ograničen uspeh. Do danas nije proizveden drugi motor, koji bi obezbedio motornom vozilu taj kvalitet i mogućnosti koje ono danas poseduje. Zato je, na početku XXI veka, motor SUS i dalje ostao dominantan pogonski agregat motornih vozila (Radonjić 2009).

Sve ovo je proizvođače i korisnike motornih vozila dovelo u stanje da često sebi postave pitanja: „Kakva sudbina očekuje motorna vozila?“, „Da li će se svet odreći motora SUS kao pogonskih agregata za vozila ili tečnih naftnih derivata kao goriva za motore SUS?“. Tačni odgovori na nametnuta pitanja još nisu poznati, ali je poznato da se naftni izvori iscrpljuju, smanjuju se rezerve nafte i povećavaju cene i da se sve više pooštavaju zakonski propisi o sadržaju toksičnih komponenti u produktima sagorevanja. Motorno vozilo je za nešto više od 120 godina donelo čovečanstvu dva velika problema (ne računajući saobraćajne nezgode, gde broj žrtava može da se poredi sa žrtvama ratnih dejstava): resursni i ekološki. Radikalna načina rešavanja ovih problema je da se čovek odrekne korišćenja motornih vozila (Pešić et al. 2008).

Međutim, bez vozila se život danas ne može ni zamisliti. Motorno vozilo je nezamenljivi pomoćnik čoveku, tako da nedostatak i visoka cena tečnih goriva, zagađenje okoline, buka i vibracije nisu dovoljni razlozi za umanjjenje njegove primene. Već nekoliko desetina godina unazad, a naročito poslednjih godina, svetski stručnjaci izvode opsežna istraživanja da bi pronašli jeftino i ekološki čisto alternativno gorivo za motore SUS. Praktičnom primenom i ispitivanjem više alternativnih goriva, pokazalo se da je prirodni gas odmah primenljivo i najbolje rešenje kada je u pitanju bliska budućnost (Pešić et al. 2008).

Smanjenjem stepena punjenja i potpritiska usisavanja radne smeše smanjuje se koncentracija azotovih oksida [NO<sub>x</sub>], jer se povećava količina zaostalih produkata sagorevanja u cilindru, koja izaziva pad temperature ciklusa. Efikasan način za smanjenje količine [NO<sub>x</sub>] u izduvnim gasovima je reciklacija dela izduvnih gasova u usisni sistem, odnosno cilindar. Sve mere kojima se ostvaruje pad maksimalnih temperatura ciklusa obezbeđuje smanjenje koncentracije [NO<sub>x</sub>]. Struktura goriva utiče na koncentraciju oksida azota. Najmanju količinu [NO<sub>x</sub>] u izduvnim gasovima daju goriva parafinske baze (Radonjić 2009).

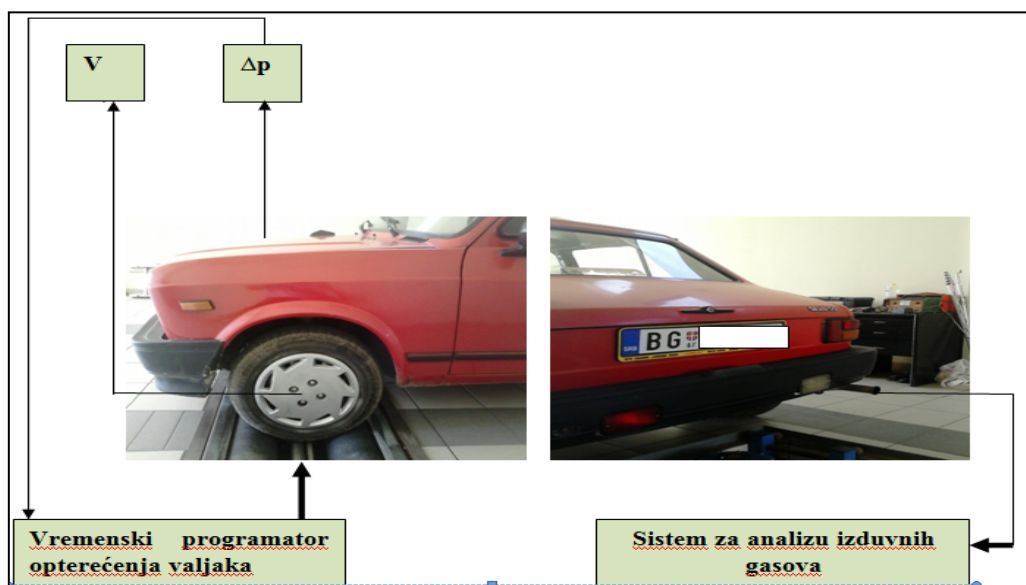
Postoje dva načina za smanjenje količine toksičnih komponentata u izduvnim gasovima OTO motora i to su razaranje toksičnih komponentata u izduvnom sistemu posle napuštanja cilindra, doveo je stvaranja rešenja kojima su postojeći motori zadovoljili zakonske propise o zagađivanju atmosfere (ovaj način smanjenja ne može se smatrati definitivnim i inženjerski opravdanim rešenjem) i sprečavanje nastanka toksičnih komponenti u samom cilindru motora, za šta je potrebno poznavanje svih faktora koji utiču na njihovo stvaranje: sistem obrazovanja radne smeše, radnog procesa, konstruktivnih i radnih parametara, goriva, itd (Pešić et al. 2008).

## 2. METODOLOGIJA RADA

Osnovni problem koji bi trebalo rešiti u toku merenja sadržaja izduvnih gasova motornih vozila pomoću voznih testova, bilo bi definisanje metodologije za merenje količine i sastava izduvnih gasova koje emituju motorna vozila u stvarnim uslovima eksploatacije. Postojeći merni uređaji (analizatori) su uglavnom laboratorijskog tipa i nisu pogodni za ovakav tip merenja. Vozni testovi predstavljaju metod simuliranja stvarnih režima kretanja vozila u laboratoriji. Korišćenjem ovog metoda moguće je snimiti, a zatim u laboratoriji reprodukovati bilo koji stvarni režim kretanja vozila uz povoljnost korišćenja laboratorijskih uređaja za analizu izduvnih gasova. U radu su prikazani rezultati voznih testova primenjeni na ulicama u užem području grada Kragujevca. Dobijeni rezultati mogu korisno da posluže za optimiziranje saobraćajnog toka po kriterijumima toksičnosti i ekonomičnosti. Uticaj strukture voznog parka na zagađenje okoline ocenjen je preko broja, tipa, godine proizvodnje i stanja motornih vozila, pri čemu je poseban značaj dat njihovom pravilnom održavanju. Pri određivanju sadržaja štetnih materija koje se sa izduvnim gasovima motora izbacuju u atmosferu, koristi se metod reprodukovanja snimljenih režima kretanja vozila u laboratoriji. Za navedenu svrhu prethodno je snimljena brzina vozila, odgovarajući stepen prenosa u kome se vozilo kreće i karakteristike podloge koje su određene preko vrednosti podpritiska u usisnom vodu motora.

Snimanja režima kretanja vozila u gradskim uslovima vršebili su u karakterističnim vremenskim periodima, na prethodno izabranim deonicama užeg centra grada. Izbor vremenskog perioda se vrši tako da

odgovara dobu dana sa najvećom gustinom saobraćajnog toka (saobraćajni špičevi). Snimanja se obavljaju u vremenskim intervalima od 5:30[h] do 6:30[h] (odlazak na posao), od 13:45[h] do 14:45[h] (povratak sa posla) i od 17:00[h] do 18:00[h] (odlazak u grad radi kupovine i slično i povratak iz grada). Pri izvođenju eksperimenta teži se da se brzina održavana konstantnom  $V = 40$  [km/h] u drugom stepenu prenosa. Dobijene vrednosti depresije u usisnom vodu na pojedinim deonicama karakterišu ukupne otpore puta na tim deonicama. Tako na primer, na ravnom putu pri ovom režimu kretanja, odgovara podpritisk od 370 [mmHg], što znači da vrednosti veće od 370 [mmHg] odgovaraju putu sa usponom (uzbrdicom). Naravno, ovo važi za isto vozilo, isti kvalitet podloge (isti koeficijent kotrljanja) i vreme bez vetra. Brzina vozila se meri pomoću tahogeneratorskog senzora, koji je povezan sa vratilom brzinometra. Električni signal sa tahogeneratorskog senzora je proporcionalan brzini vozila i zapisuje se kontinualno na pisaču postavljenom na vozilu (Slika 1)



**Slika 1:** Merni lanac za simuliranje stvarnog režima kretanja vozila u laboratorijskim uslovima

Istovremeno se na krivoj brzine označavaju mesta gde se vrši promena stepena prenosa i upisuje stepen prenosa u kome se vozilo kreće.

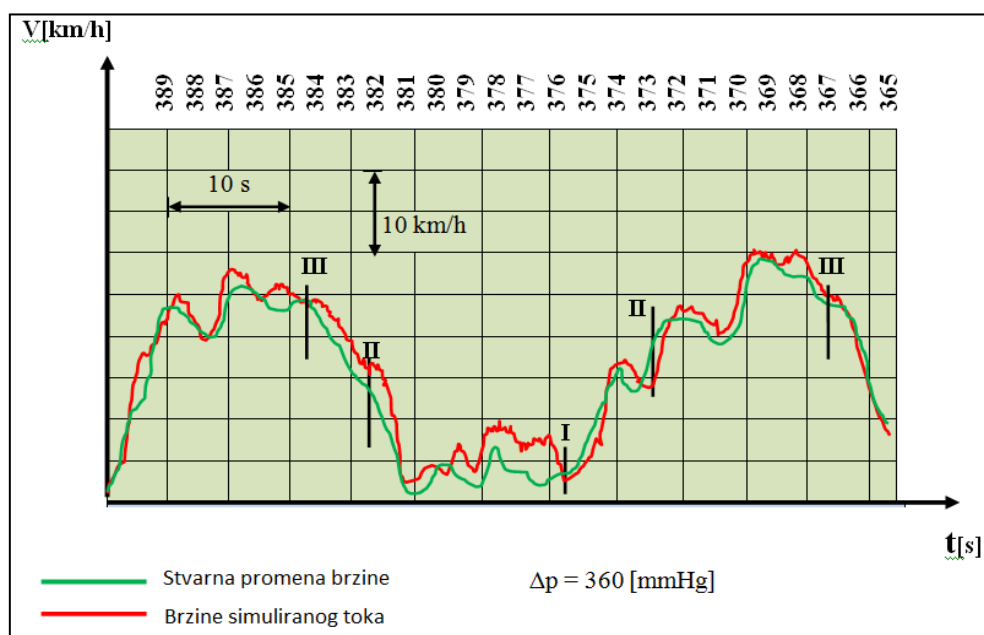
Pomoću dinamometarskih valjaka moguće je simulirati sve komponente otpora kretanja vozila i na taj način ostvariti uslove bliske stvarnim. Postupak reprodukovanja realnih režima kretanja je sledeći:

- Potencijometrima za položaj prigušnog leptira karburatora (komanda pedale gasa),
- Opterećenje valjaka (komponenta otpora uspona),
- Podesi se brzina kretanja vozila i
- Podpritisk u usisnom vodu motora da odgovara vrednostima koje su se dobile pri snimanju podloge.

U konkretnom slučaju brzina bi trebala biti  $V = 40$  [km/h] u II stepenu prenosa i depresija koja odgovara posmatranoj deonici. Pri tome se vrednost brzine prati na pokaznom instrumentu baždarenom u [km/h] koji se nalazi na pultu dinamometarskih valjaka, a depresija na vakumetru. Sa ovako podešenim valjcima mogu se "izvoziti" sve deonice kojima odgovara vrednost postavljene depresije. Postupak "vožnje" je sledeći: vozač "vozi" tako da što potpunije prati snimljeni tok brzine na traci pisača, koji je postavljen na stalak pored vozila. Praćenje potrošnje goriva i sastava izduvnih gasova u stvarnim – promenljivim režimima rada motora ugrađenog u vozilo skopčano je sa mnogim teškoćama u prvom redu sa činjenicom da postojeći merni instrumenti nisu u stanju da prate trenutne vrednosti potrošnje i emisije. U tom pogledu znatno bolje karakteristike su ostvarene kod uređaja za merenje potrošnje goriva, koji su izvedeni na principu turbinskih, fotoelektričnih i manometarskih davača pružaju veće šanse za kontinualno praćenje potrošnje goriva. Iz navedenih razloga ima smisla govoriti o mogućnostima simuliranja i reprodukovanja stvarnih režima rada motora u laboratoriji u kom slučaju bi se mogli koristiti laboratorijski uređaji za analizu izduvnih gasova. Sa ogleđnim vozilom se prethodno snimi promena brzine kretanja po pojedinim stepenima prenosa i podpritisk u usisnom vodu u stvarnim uslovima kretanja, a zatim se isto vozilo postavi na dinamometarske valjke, čijim opterećenjem upravlja signal podpritiska, dok vozač "prati" zapisani tok brzine i stepena prenosa. Dobro obučeni vozači mogu dosta verno pratiti proizvoljan zapis brzine. Istovremeno se na krivoj brzine označavaju mesta gde se vrši promena stepena prenosa i upisuje stepen prenosa u kome se vozilo kreće. Primer jednog zapisa brzine u uslovima kretanja vozila u gradskoj vožnji dat je na slici 2. U eksperimentu,



pri vožnji po užem centru grada, vozač se zaustavlja ispred svakog pešačkog prelaza i blago usporavao na svakoj raskrsnici, kako bi se odredio uticaj pešačkih prelaza i raskrsnica na zagađenje životne sredine.



Slika 2: Primer zapisa u gradskoj vožnji i simulacija vožnje

### 3. REZULTATI RADA SA DISKUSIJOM

U istraživanjima često se interes istraživača usmerava prema problemu povezanosti među varijablama. Pri tom je od posebnog interesa mogućnost prognoziranja ili predviđanja vrednosti jedne varijable na osnovu drugih varijabli. Za potrebe ovog rada, eksperimentalno dobijeni podaci su obrađeni i analizirani u statističkom softverskom paketu IBM SPSS Statistics v. 20 i pri tome su korišćene standardne metode deskriptivne statistike i regresione analize.

Vrednosti izmerenih emisija, prikazani u Tabeli 1, odgovaraju vozilima u klasi oglednog vozila Zastava 101 i pogonskog goriva BMB (vozila koje je najviše zastupljeno na teritoriji grada Kragujevca), dok su izmerene vrednosti emisije manje kod savremenih vozila čiji pogonski agregati ispunjavaju i zadovoljavaju Euro standarde i norme.

Tabela 1: Vrednosti izmerenih emisija izduvnih gasova i karakteristike glavnih gradskih ulica u Kragujevcu

Naziv ulice	Emisija izduvnih gasova [%]				Broj traka	Javni gradski autobusni stajalište	Dužina ulice [km]	Broj raskrsnica	Broj pešačkih prelaza	Broj semafora
	CO	CO <sub>2</sub>	HC	Nox						
Radoja Domanović	7,42	11,3	3,99	0,2	2	Da	3,53	3	3	2
Ulica glavna	7,48	11,36	3,45	0,26	3	Da	2,7	2	2	3
Milentija Popović	7,39	11,29	3,98	0,19	2	Da	1,92	3	3	2
Zmaj Jovina	7,41	11,2	3,9	0,2	2	Da	2,56	3	3	2
Grada Sirena	7,51	11,39	4,08	0,29	3	Da	3,4	2	3	4
Borisa Kidriča	7,41	11,29	3,98	0,19	2	Da	2,18	2	3	2
Bulevar oktobarske revolucije	7,44	11,32	3,41	0,22	2	Da	3,92	4	4	3
Milana Blagojević	7,4	11,28	3,97	0,2	2	Da	5,18	3	3	2
Đure Đaković	7,52	11,4	4,09	0,19	3	Da	3,34	4	5	4
Kraljevačkog bataljona	7,61	11,49	4,15	0,39	3	Da	9,50	8	11	6

Rezultati regresione analize pokazuju direktnu zavisnost između broja pešačkih prelaza na deonici puta i stepena emisije CO<sub>2</sub>. Na osnovu Tabele 2 može se opisati formulom (1) koja na osnovu poznatog broja pešačkih prelaza prikazuje količinu emisije CO<sub>2</sub> na određenoj deonici gradske ulice.

**Tabela 2:** Rezultati regresione analize

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	11,163	,026		435,481	,000
Br. PešačkihPrelaza	,056	,008	,930	7,144	,001

$$CO_2 = 11,163 + 0,056 * Y \quad (1)$$

Y- Broj pešačkih prelaza na deonici puta

U literaturi se zapaža da autori najčešće analizirajući emisiju iz motornih vozila svoje modele baziraju na emisiji određene zagađujuće materije po jednom pređenom kilometru (Carbajo and Faiz 2008; Zachariadis and Samaras 1999; Hao and Shaodong 2007). Takav tradicionalni pristup modelovanju emisije izduvni gasova podrazumeva definisanje i kombinovanje normalizovanih parametara zasnovanih na detaljnoj kategorizaciji vozila prema starosti, tehnologiji motora, veličini motora, prosečnoj i maksimalnoj brzini, učestalosti korišćenja i dužini pređenog puta, učestalosti upotrebe određene kategorije puta, itd. (Marinković et al. 2012). Poslednjih dvadesetak godina intenzivno se razvijaju softverski paketi koji omogućavaju procenu emisije na osnovu ove metodologije (EEA 2009). Metodologija koja je predstavljena u radu grupe autora (Marinković et al. 2012.), za razliku od prethodno opisane metodologije, predstavlja pokušaj da se emisija iz motornih vozila dovede u vezu sa potrošnjom motornih goriva. Ovakva metodologija se intenzivno razvija u poslednje vreme (Pokharel et al. 2000; Shifter et al. 2005; Guo et al. 2007). Najvažniji razlog za implementaciju alternativne metodologije procene emisije CO<sub>2</sub> iz motornih vozila nalazi se u veoma ograničenoj dostupnosti podataka potrebnih za uspostavljanje tradicionalne metodologije u Srbiji. Projekat sproveden u Srbiji (Papić 2010) za određivanje količine zagađujućih gasova je zasnovan na softverskom modelu, COPERT IV.

Vrednosti emisionog faktora za CO<sub>2</sub> iz TNG goriva koje daju američka EPA i australijsko ministarstvo životne okoline su približne. Australijanci su objavili vrednost od 1.600 g/l (Australian Government 2013) dok EPA pruža informacije o pojedinačnom emisionom faktoru za butan u vrednosti od 1.716 g/l i propan u vrednosti od 1.500 g/l (U.S. EPA 2010). Usvojena vrednost u slučaju Srbije jednaka je ovim vrednostima i jednaka je 1.600 g/l. Usled nepostojanja literaturnih podataka za trend kretanja ovog emisionog faktora iz TNG goriva, usvojeno je da će njegov trend biti isti kao kod benzinskih goriva, t.j. imaće srednju godišnju stopu rasta 0,11%. U periodu 2001- 2006. godina u Srbiji povećanje emisije CO<sub>2</sub> je iznosilo 22,2%, dok su približne vrednosti povećanja ostvarene i u Hrvatskoj, Sloveniji i Austriji, 23,8%, 25,5% i 30%, redom. Stopa godišnjeg rasta emisije CO<sub>2</sub> u Srbiji, Hrvatskoj, Sloveniji i Austriji, iznosila je 4,1%, 4,4%, 3,9% i 4,6%, redom, što su veoma bliske vrednosti (Marinković et al. 2012).

U stručnoj literaturi za obuku vozača teretnih vozila se navodi kao primer da jeodgovarajućom tehnikom vožnje moguće smanjiti potrošnju goriva u značajnoj meri (Vujadinović and Nikolić 2005). Studije u okviru Evropskog klimatskog programa su pokazale mogućnost smanjenja emisije od 5 do 25 % odgovarajućim načinima i tehnikama vožnje, koje je moguće postići razvojem svesti i promenama ponašanja učesnika u saobraćaju (EU transport 2003).

Na osnovu predstavljenih istraživanja različitih autora, metodologije i rezultata rada istraživanja prikazanog u ovom radu može se uočiti značaj karakteristika ulice (semafori, raskrsnice, pešački prelazi) na promenu količine izduvni gasova motornih vozila, kao važan aspekt u proceni emisije CO<sub>2</sub> u drumskom saobraćaju. Značajan doprinos za opisivanje količine emisije CO<sub>2</sub>, pored već postojećih modela, predstavlja formula (1), koja određuje uticaj broja pešačkih prelaza na određenoj deonici puta na promenu emisije CO<sub>2</sub>.

#### 4. ZAKLJUČAK

Inženjeri mogu da utiču na smanjenje štetnih pojava iz izduvni gasova vozila, na taj način što će projektovati pogonske agregate koji će imanjivati potrošnju goriva, koristeći nove i savremene materijale i tehnologije ubrizgavanja goriva (direktno ubrizgavanje), a takođe i primena alternativnih pogonskih goriva. U poslednje vreme sve više se radi na razvoju motornih vozila na hibridni pogon, koristeći elektro i klasični pogon, sa težnjom da se OTO motori u potpunosti zamene elektromotorima.

Na teritoriji grada Kragujevca rezultati istraživanja pokazuju viši nivo izduvni gasova vozila od dozvoljenog. Step en aero zagađenja izduvni gasova iz motornih vozila u trenutnim uslovima i postojećim situacijama



može se smanjiti projektovanjem obilaznica van užeg jezgra grada, proširivanjem saobraćajnica u ulicama gde je to moguće izvesti, primena zelenog talasa na što širem području grada i rekonstrukcija “uskih grla”, kako bi se što više izbeglo zakrčenje i zagušenje saobraćaja, a samim tim i izbegavanje rada motora vozila u mestu čekajući normalno odvijanje saobraćaja. Rezultati rada pokazuju direktnu zavisnost između broja pešačkih prelaza na deonici puta i stepena emisije CO<sub>2</sub>, pa se dobijena formola može koristiti za određivanje približnog nivoa CO<sub>2</sub> na osnovu broja pešačkih prelaza, za određenu deonicu puta.

U gradu Kragujevcu obilaznice bi mogle da se izvedu tako što bi međugradski drumski saobraćaj iz pravca Kraljeva i Čačka mogao da bude preusmeren obilaznicom od grošničke stanice pored stare ciglane do Beloševca, odakle bi bio omogućen tranzit za Jagodinu i Rekovac, a preko naselja Pivara i Ilićevo do kružnog toka za Batočinu i autoput. Takođe saobraćaj iz pravca Gornjeg Milanovca bi mogao biti preusmeren sa Gornjo-milanovačke ulice na zaobilaznicu od Šumarica preko naselja Aerodrom i Petrovac, pored Šumadija sajma na kružni tok za Batočinu i autoput, kao i kroz Petrovac za Arandelovac i Topolu. Na ovaj način bi se izbegla uska grla kroz ulicu Kraljevačkog bataljona na deonici Zvezda – Centar, kao i na deonici Gornjo-milanovačke ulice od medicinske škole do Hale Jezero.

## LITERATURA

- [1] Australian Government. Reducing greenhouse gas emissions. Retrieved from Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities: <http://www.environment.gov.au/settlements/transport/fuelguide/environment.html>, 2012.
- [2] C., Hao and X., Shaodong. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005. *Atmospheric Environment*, 41, 8963-8979, 2007.
- [3] Directive 2009/40/EC of 6 May 2009 of the European Parliament and of the Council on roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers, *Official Journal L* 141
- [4] D., Marinković, Z., Popović, M., Stanković, D., Nikolić- Paunić. Procena emisije CO<sub>2</sub> iz drumskog saobraćaja u Republici Srbiji, 2012.
- [5] D. Radonjić, Bezbednost saobraćaja u svetu aero zagađenja vazduha vozilima, Projekat, Kragujevac, 2009.
- [6] EEA, Copenhagen. COPERT IV software tool. Retrieved from <http://www.emisia.com/copert/#>, 2009.
- [7] EU transport. Annual report 2003.
- [8] H., Guo, Q., Zhang, Y., Shi and D., Wang. On-road remote sensing measurement and fuel-based motor vehicle emission inventory in Hangzhou. *Atmospheric Environment*, 41, 3095-3107, 2007.
- [9] I., Shifter, L., Diaz, V., Mugica and E., Lopez-Salinas. Fuel-based motor vehicle emission inventory for the metropolitan area of Mexico city. *Atmospheric Environment*, 39, 931-940, 2005.
- [10] J., Carbajo and A., Faiz. Motor vehicle emission control: some policy option for developing countries. *The Science of the Total Environment*, 146/147, 11-18, 1994.
- [11] R. Pešić, S. Petković, S. Veinović, *Motorna vozila i motori- oprema*, Univerzitet u Banja Luci i Kragujevcu, Banja Luka – Kragujevac 2008.
- [12] R., Vujadinović i D., Nikolić. Mjere za poboljšanje energetske efikasnosti u drumskom saobraćaju, 2005.
- [13] S., Pokharel, G., Bishop and D., Stedman. Fuel-based On-road Motor Vehicle Emissions Inventory for the Denver Metropolitan Area. Denver: University of Denver, Department of Chemical and Biochemistry, 2000.
- [14] T., Zachariadis and Z., Samaras. An Integrated Modeling System for the Estimation of Motor Vehicle Emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49:9, 1010-1026, 1999.
- [15] U.S. EPA. Compilation of air pollutant emission factors, Volume I: Stationary point and area sources, Fifth edition. Chicago, 2010.
- [16] V. Papić, Određivanje količine emitovanih gasovitih zagađujućih materija poreklom od drumskog saobraćaja primenom COPERT IV modela evropske agencije za životnu sredinu, Univerzitet u Beogradu institut saobraćajnog fakulteta, oktobar 2010. godine.



## ULOGA KORISNIKA I VIŠEKRITERIJUMSKO VREDNOVANJE REŠENJA DENIVELACIJE NA GRADSKOJ MREŽI

### DRIVERS' INTEREST AND MULTI-CRITERIA EVALUATION OF DENIVELATION SOLUTIONS IN URBAN TRAFFIC NETWORK

VLADAN TUBIĆ<sup>1</sup>, BRANIMIR STANIĆ, MARIJO VIDAS, ANA TRPKOVIĆ

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, vladan@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Konačni izgled i saobraćajno rešenje neke denivelacije u gradu, zavisi od više grupa faktora, od kojih se značajem ističu ukupni troškovi gradnje, njeno trajanje, ali i uloga stanovnika – vozača koji će raskrnicu koristiti. Rešenje mora da uvažava i lokalne saobraćajne zahteve, mora da se uklopi u okolnu uličnu mrežu itd. Izgradnja denivelacije u gradu podrazumeva radikalnu intervenciju u urbanom tkivu, a neretko, i prekid pojedinih linkova na uličnoj mreži koje vozila koriste svakodnevno. Upravo ta činjenica, izražena veličinom koja je u stvari odbijeni saobraćajni zahtevi (vozila) u vremenu izgradnje nove raskrsnice, treba da bude uvažena i vrednovana kod izbora konačnog rešenja. U radu je prikazan slučaj izbora saobraćajnog rešenja denivelacije upotrebom višekriterijumskog vrednovanja uz uvažavanje uloge korisnika, odnosno uvažavanja činjenice da tokom gradnje oni, potencijalno, snose veliku štetu ako ne mogu da se kreću mrežom. Problem odbijenih zahteva se naročito promovise u slučajevima kad je gradska mreža sa kapacitivnim ograničenjima i neadekvatnom ponudom javnog prevoza. Vrednovana su dva projektovana rešenja, korišćenjem 9 kriterijuma svrstanih u četiri grupe a za iste ulazne veličine, sa fokusom na osetljivost konačne odluke na variranje težina kriterijuma.*

**Ključne reči:** *višekriterijumsko vrednovanje, gradska denivelacija, odbijeni zahtevi*

**Abstract:** *Final design and solution of urban traffic network denivelation depends on more groups of factors. The most essential factors are total construction costs, duration of construction, and interest of users or drivers which will go through the intersection. Solution has to take care of local traffic requests, and to be incorporated into urban traffic network. Construction of denivelation very often causes the network interruptions or closure of certain network links that are regularly used by vehicles. In order to choose final denivelation solution, the number of vehicles' rejected requests during the denivelation construction is considered and evaluated. In this paper, choice of solution of urban traffic network denivelation by multi-criteria evaluation is presented, taking into account drivers' role or interest due to delays caused by network interruption. The problem of the rejected drivers' requests is observed in case when traffic network capacity is limited and urban public transport service is not sufficient. In this paper, two denivelation solutions are evaluated based on 9 criteria combined into 4 groups for the same input data. Criteria weights are varied and sensitivity analysis of final decision is performed.*

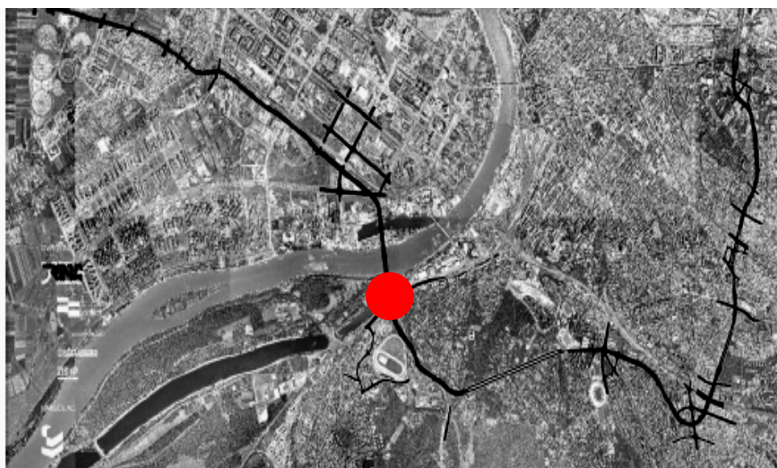
**Keywords:** *Multi-criteria evaluation, Urban traffic network denivelation, Rejected requests*

## 1. UVOD

Kada je planiran novi most na Adi ciganliji u Beogradu i denivelacija koja se posmatra u ovom radu, 2005. godine, u jutarnjem vršnom satu, na ulicama istovremeno se kretalo oko 55 000 automobila, a pretpostavlja se da će ih 2021. godine na ulicama biti preko 70 000, u proseku 35% više. Postojeća ulična mreža tu veličinu saobraćaja neće moći da prihvati. Postojeći mostovi preko reke Save, «Brankov» i «Gazela», više nemaju rezerve kapaciteta i preopterećeni su gotovo tokom celog dana. U postojećem stanju, na lokaciji na kojoj se gradi denivelacija, procenjeno je da iz delova grada, Čukarica i Rakovica 70% vozila ide ka centru a preostalih 30% ka Novom Beogradu i Zemunu.

Na slici 1. prikazan je širi izgled lokacije razmatrane denivelacije i položaj nove gradske arterije (UMP) sa novim mostom preko reke Save. Idejno rešenje buduće denivelacije izabrano je na javnom međunarodnom konkursu (2009.), gde je u konkurenciji bilo ukupno 6 varijanti. Tokom ranijih faza razmatranja rešenja ove

denivelacije bilo je razmatrano više od 10 varijanti (Generalni projekat, Predfisiiliti studija – 2005-06) odnosno 2 varijante u Idejnom projektu (firme CPV-Novi Sad i Saobraćajni fakultet, Beograd – 2007).



**Slika 1.** Lokacija razmatrane denivelacije



**Slika 2.** 3D simulacija projektnog rešenja denivelacije

Na slici 2., prikazana je 3D simulacija projektnog rešenja denivelacije. Inače, u različitim fazama projektovanja, razmatrano je ukupno 18 varijanti denivelacije. Nakon razrade Glavnog projekta denivelacije (2010), Gradska uprava je postavila zadatak još jedne provere izabranog rešenja. Obzirom da su se precizno znali troškovi gradnje, faze gradnje i drugi pokazatelji, pristupilo se završnom vrednovanju i odabiru konačnog rešenja. Osim varijante koja je predložena u Glavnom projektu, na insistiranje investitora generisana je još jedna varijanta rešenja denivelacije. Na slikama 3 i 4 prikazan je izgled ovih varijanti. Može se uočiti da je varijanta na slici 3. tzv. «špageta» denivelacija koja se koristi obično u slučajevima kada je jedna od saobraćajnica autoput. Druga varijanta je kombinovana denivelacija (slika 4.) sa «kružnom» raskrsnicom u zamišljenom centru ukrštanja. Obe varijante su pripremljene i dimenzionisane na istom nivou detaljnosti projektne dokumentacije, za ista saobraćajna opterećenja, pri istim prostornim ograničenjima i za isti broj linkova, da bi bile uporedive.

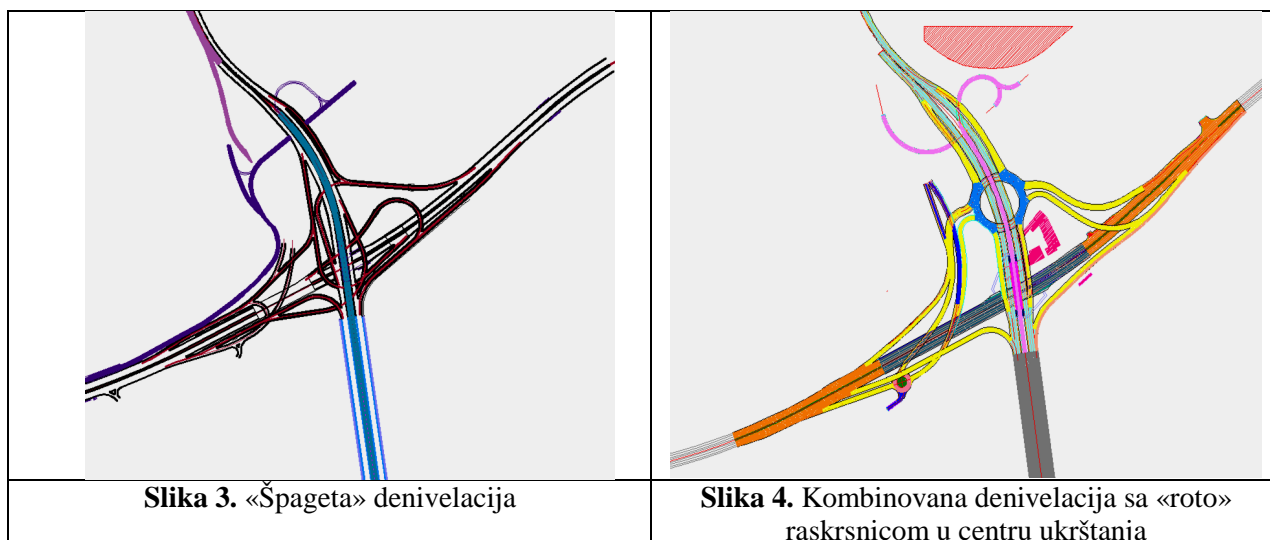
## **2. IZBOR KRITERIJUMA ZA VIŠEKRITERIJUMSKO VREDNOVANJE**

U okviru prvog koraka višekriterijumskog vrednovanja izvršen je izbor relevantnih pokazatelja za ocenu efikasnosti tj. poređenje predloženih varijanti. Predloženi su sledeći pokazatelji koji su svrstani u četiri osnovne grupe:

### **1. Koncept rešenja:**

- tip raskrsnice
- složenost geometrije raskrsnice
- kvalitet ulivnih rampi
- dužina i širina zona preplitanja
- intenzitet kontrole pristupa
- «fizička» povezanost sa postojećom uličnom mrežom
- dostignuti nivo upravljanja saobraćajem

- podobnost primene ITS-a
- složenost vozačkih manevara
- estetski kvalitet i izgled.



#### **B. Troškovi i vreme gradnje:**

- troškovi izgradnje (euro)
- trajanje izgradnje (u mesecima)
- procenjeni troškovi održavanja (faktor)

#### **[16] Podaci o šteti korisnika u toku trajanja izgradnje denivelacije:**

- odbijeni saobraćajni zahtevi zbog zatvaranja saobraćajnica u periodu gradnje objekta (voz/dan)

#### ▪ **Saobraćajni pokazatelji dobijeni simulacijom** (program VISSIM 5.10 – PTV, Nemačka)

- prosečan broj opsluženih vozila (voz/h)
- prosečna brzina (km/h)
- ukupno vreme putovanja (h)
- prosečan vremenski gubitak po vozilu (s/voz).

Ono što je novina u odnosu na do sada korišćene pokazatelje i kriterijume je egzaktan kriterijum iz grupe (C), a odnosi se na broj odbijenih zahteva – nerealizovanih kretanja na mreži usled zatvaranja određenih linkova uzrokovanih izgradnjom denivelacije tokom definisanog perioda. Može se uočiti da se u grupi (A) radi o kombinaciji deskriptivnih pokazatelja i pokazatelja sa konkretnim vrednostima. U grupama (B. i C.), su egzaktne pokazatelji, a pokazatelji iz grupe (D) mogu se dobiti samo simulacijom.

U prvom koraku je primenjen istraživački metod - anketa stavova stručne javnosti (eksperata) za utvrđivanja pokazatelja iz grupe (A). Ovakva istraživanja omogućavaju da se jedan važan deo stručne javnosti uključi što direktnije u postupak vrednovanja. Stručna javnost se obično deli na nezavisnu i na onu koja pripada gradskoj upravi. Ova faza u postupku vrednovanja je mnogostruko delikatna, pre svega zbog nehomogenosti i različitosti stavova, različitih znanja i iskustava eksperata, a i drugih pojedinačnih interesa različitih grupa eksperata.

Za ocenu koncepta rešenja (grupa A.) odabrano je deset kriterijuma i oni su ocenjeni na skali od 6 do 10, od najlošijeg ka najboljem. Značenje brojčane skale dato je tabelarno za svaki od kriterijuma, pri čemu treba napomenuti da je prikazana ocena rezultat ankete grupe eksperata tj. prosečna vrednost dobijenih ocena po svakom od kriterijuma. U ukupnom zbiru, najmanji broj bodova koje predloženo rešenje denivelacije može imati jeste 60 (što bi bilo relativno loše rešenje), dok bi idealnom rešenju denivelacije pripala zbirna ocena 100 (realno ne postoji u praksi). Kao primer, kod tipa raskrsnice, parcijalno rešenje denivelacije «dobija» 6 poena a idealno 10, složena geometrija «špageta» raskrsnice «dobija» 6 a kombinovano, jednostavnije rešenje 10 itd. Nadalje, recimo za «kvalitet» ulivnih rampi, rešenje sa više podužnih nagiba (sinusoidna putanja vozila) i «gubitkom visine» ima ocenu 6, a direktna rampa sa jednolikim i preglednim nagibom ima ocenu 10 itd. Kod estetskog kvaliteta i izgleda denivelacije, najnižu ocenu dobija rešenje koje intenzivno devastira prostor i životnu sredinu, ima «mrtve» i neiskorišćene prostore ispod krakova denivelacije i sl., a

najvišu ocenu 10 dobija rešenje koje idealno uklopljeno u ambijent, sa puno zelenila i dobrom zaštitom životne sredine.

Takodje, u ovom prvom koraku pristupilo se utvrđivanju egzaktnih vrednosti pokazatelja iz grupe (B) i korišćenjem simulacija utvrđeni su pokazatelji iz grupa (C i D). Troškovni indikatori su u procesu vrednovanja zastupljeni sa tri kriterijuma: troškovi izgradnje, trajanje izgradnje i procenjeni troškovi održavanja. Troškovi izgradnje predstavljaju egzaktan i veoma značajan podatak izražen u novčanim jedinicama (EUR). Trajanje izgradnje je izraženo u mesecima, dok je procena troškova održavanja je data odgovarajućim faktorom. Ovi podaci dobijeni su iz predmera i predračuna za predložena rešenja a iz projektne dokumentacije. Uticaj gradnje denivelacije prikazan je kroz kriterijum procene broja odbijenih saobraćajnih zahteva u toku jednog dana (voz/dan). Stručna analiza je izvršena na osnovu trajanja i faznosti gradnje objekta za svako od rešenja, i na osnovu relevantnih saobraćajnih opterećenja na posmatranom delu mreže u postojećem stanju. Ovaj, veoma važan kriterijum govori o broju vozila koja neće moći da se opsluže za vreme trajanja gradnje objekta, odnosno moraće da se koriste nekom od mogućih – neprirodnih alternativnih ruta. U razmatranom slučaju je ovaj kriterijum veoma značajan (posebno za gradsku upravu) jer je raspoloživa alternativna ulična mreža, nedovoljno kapacitivna i vrlo opterećena i praktično ne može da prihvati «dodatne» saobraćajne zahteve.

Simulacija rada oba projektovana rešenja denivelisane raskrsnice izvršena je u programskom paketu PTV (VISSIM). Od velikog broja pokazatelja koji su na raspolaganju kao izlazni rezultati softvera, autorski tim se odlučio za četiri: prosečan broj opsluženih vozila (voz/h), prosečna (realizovana) brzina (km/h), ukupno vreme putovanja (h) i prosečan vremenski gubitak po vozilu (s/voz).

### 3. VREDNOSTI, TEŽINE KRITERIJUMA I METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA

Rezultati istraživanja stavova eksperata za grupu kriterijuma (A), ukazuju da su obe varijante dosta slične po ocenama: «špageta» varijanta ima prosečnu ocenu 76, a «kružna» 79. To ukazuje da su stavovi eksperata manje – više ujednačeni, ali i pokazuje da oni nisu spremni da donesu odluku o izboru rešenja, već to prepuštaju gradskim vlastima. To je rezultat koji nije posebno iznenađenje, jer uvek postoji težnja da se preuzimanje odgovornosti za veliku investiciju (a ovakva gradnja je upravo to) «pomeri» na neku drugu stranu. Eksperti su, inače, procenili da varijanta «kružna» ima manju složenost geometrije raskrsnice, da bolje povezuje postojeće linkove u mreži i da je pogodnija za primenu ITS. «Špageta» raskrsnica je dobila bolje ocene recimo, za kvalitet ulivnih rampi, dužinu i širinu zona preplitanja itd. Ove ekspertske ocene pokazuju da su anketirani pažljivo razmatrali ponuđena rešenja.

U tabeli 1. prikazane su vrednosti kriterijuma iz grupe (B) nakon detaljne analize projektne dokumentacije. U tabeli 2. nakon sprovedenih simulacija i detaljnih analiza dat je sumarni prikaz svih razmatranih pokazatelja, odnosno kriterijuma.

**Tabela 1. Troškovi, vreme gradnje i redukcija kapaciteta**

Varijanta	Broj faza gradnje	Ukupno trajanje gradnje	Delimično zatvaranje saobraćaja - redukcija kapaciteta 50 %	Potpuno zatvaranje saobraćaja - redukcija kapaciteta 100 %	Ukupna cena gradnje (EUR)
«špageta»	4	42 meseca	3 meseca	5 meseci	46 450 415
«kružna»	4	36 meseci	6 meseci	0	44 389 797

Za postupak višekriterijumskog vrednovanja korišćena je metoda «SAW» (Simple Additive Weighting Method) [2] [3]. SAW je veoma jednostavna metoda za praktičnu primenu, a sa druge strane autori su donosiocu odluke mogli nakon sprovedenog vrednovanja da prezentuju kako je konačna odluka osetljiva na vrednosti relativnih težina kriterijuma. Postupak višekriterijumskog vrednovanja po SAW metodi predviđa normalizaciju bazne matrice, koju je zatim potrebno „otežati“ odgovarajućim težinskim koeficijentima ( $W_i$ ). Relativne težine definisanih 9 kriterijuma vrednovanja utvrđene su na osnovu druge ankete na koju je odgovorilo 33 anketiranih. Iz grupe nezavisnih eksperata validnih odgovora je 15, iz grupe eksperata investitora validnih odgovora je 10, a iz grupe korisnika iz lokalnih zajednica validnih odgovora je 8. Nakon obrade ankete dobijene su vrednosti relativnih težina kriterijuma koje su bile osnov za tzv. Bazni – Osnovni scenario VKV (u Tabeli 3., Scenario 1).

Test osetljivosti osnovnog rezultata dobijenog višekriterijumskim vrednovanjem, izvršen je dodeljivanjem različitih težina izabranim kriterijumima – svaka «grupa» težina je u stvari jedan mogući «scenario». U tabeli 3. prikazani su detaljnije rezultati VKV baznog – osnovnog scenaria, kao i rezultati sprovedene analize osetljivosti za 4 dodatna scenaria s obzirom na promene težina kriterijuma.



**Tabela 2** Vrednosti pokazatelja – kriterijuma vrednovanja

	POKAZATELJ - KRITERIJUM	max min	VARIJANTA		
			«špageta»	«kružna»	
			vrednosti pokazatelja		
1	A	Koncept saobraćajnog i građevinskog rešenja (bodova)	max	76	79
2	B	Troškovi izgradnje (EUR)	min	46 450 415	44 389 797
3		Trajanje izgradnje (meseci)	min	42	36
4	C	Procenjeni troškovi održavanja (faktor)	min	1.00	0.85
5		Odbijeni saobraćajni zahtev u periodu gradnje (voz)	min	12 600 000	5 775 000
6	D	Prosečan broj opsluženih vozila (voz/h)	max	10410	10206
7		Prosečna brzina (voz/ h)	max	48.91	40.14
8		Ukupno vreme putovanja (h)	min	470.91	562.83
9		Prosečan vremenski gubitak po vozilu (s/voz)	min	6.99	70.51

#### 4. REZULTATI VREDNOVANJA

U višekriterijumskom vrednovanju razmatranih varijanti, korišćeno je 9 različitih kriterijuma, za koje se smatra, da dobro reprezentuju osnovne karakteristike razmatranih projektnih rešenja i obuhvataju sve relevantne pokazatelje stanja koji ukazuju na saobraćajnu efikasnost i racionalnost.

Iz tabele 3. može se uočiti da su za različito otežane kriterijume dobijeni različiti rezultati vrednovanja, kao i da su konačne sume različito osetljive na posmatrane pokazatelje. U tom smislu, u pojedinim slučajevima vrednovanja prednost je „na strani“ «špageta» varijante, dok je za drugačije otežane kriterijume prvenstvo pripalo varijanti «kružna». Rezultat je, na kraju, prilično izjednačen, ali sa prednošću varijante «kružna» (3 : 2).

**Tabela 3.** Rangiranje varijanti – svi scenari

KRITERIJUM (R <sub>i</sub> )	Relativne težine	Scenario				
		Osnovni 1 W <sub>e1</sub>	2 W <sub>e2</sub>	3 W <sub>e3</sub>	4 W <sub>e4</sub>	5 W <sub>e5</sub>
1	W <sub>1</sub>	0.10	0.13	0.07	0.10	0.25
2	W <sub>2</sub>	0.22	0.25	0.25	0.22	0.10
3	W <sub>3</sub>	0.10	0.07	0.10	0.10	0.05
4	W <sub>4</sub>	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05
5	W <sub>5</sub>	0.17	0.15	0.17	0.17	0.05
6	W <sub>6</sub>	0.09	0.10	0.08	0.08	0.20
7	W <sub>7</sub>	0.08	0.07	0.08	0.08	0.10
8	W <sub>8</sub>	0.09	0.08	0.09	0.09	0.10
9	W <sub>9</sub>	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
Σ (R <sub>i</sub> W <sub>i</sub> )	Rang I	«KRUŽNA» 0.88812	«ŠPAGETA» 0.88525	«KRUŽNA» 0.87931	«KRUŽNA» 0.87931	«ŠPAGETA» 0.94435
	Rang II	«ŠPAGETA» 0.87108	«KRUŽNA» 0.88233	«ŠPAGETA» 0.87090	«ŠPAGETA» 0.87108	«KRUŽNA» 0.87170

Rezultati vrednovanja za težine  $W_{e2}$ ,  $W_{e3}$ ,  $W_{e4}$ , pokazuju prilično izbalansiran odnos posmatranih varijanti i male razlike u ukupnom „skoru“, dok je za dva slučaja  $W_{e1}$  i  $W_{e5}$ , ta razlika značajnija, i prednost varijante je za tako otežane kriterijume nedvosmislena. S obzirom na činjenicu da je za ovakav tip denivelacije logično očekivati prednost po većini pokazatelja, u odnosu na varijantu «kružna», može se zaključiti da su veliki uticaj na krajnje rezultate imati troškovi gradnje i broj odbijenih saobraćajnih zahteva, odnosno davanje većih težina ovim kriterijumima. U tabeli 3. posebno je označena kolona  $W_{e1}$ , koja je osnovni – bazni scenario. Po mišljenju autora ovog rada on ima odgovarajuće izbalansiran odnos težina kriterijuma, za tražene prostorno - programske uslove. Najveći značaj po anketi pripao je troškovima izgradnje (22/100), dok su najmanje uticajni troškovi održavanja (6/100). Takođe, velika težinu dobio je novi pokazatelj iz grupe C – broj odbijenih saobraćajnih zahteva (17/100), što se obrazlaže činjenicom da u Beogradu nema adekvatne alternative ni za postojeći saobraćajni zahtev.

Istu težinu dobili su i pokazatelji iz grupe (A.) koji daju ocenu konceptu saobraćajnog i građevinskog rešenja i pokazatelji iz grupe (B.) koji se odnose na trajanje izgradnje objekta (10/100). Saobraćajni pokazatelji su, kako je već naznačeno, prilično izbalansirano otežani u svakom od scenaria, pri čemu se kao najznačajniji ističu vremenski gubici (9/100) i vreme putovanja (9/100), što je i razumljivo s obzirom da su oni i najčešće korišćeni pokazatelji efikasnosti za raskrsnice.

## 5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Uloga korisnika u prikazanom višekriterijumskom vrednovanju rešenja denivelacije, obavljena je direktnim korišćenjem pokazatelja koji opisuje moguću štetu za korisnike veličinom odbijenih zahteva za kretanjem (zbog «fizičkog» prekida linka u mreži). Posredno, uloga korisnika u vrednovanju je uvažena i uvažavanjem pokazatelja stanja u toku – realizovanim vremenima putovanja i vremenskim gubicima.

Broj odbijenih zahteva (kriterijum 5.) je direktno uslovljen ili najviše zavisi od prostorno - programskog koncepta predložene denivelacije i načina njene planirane izgradnje i povezivanja sa okolnom uličnom mrežom, što u «špageta» varijanti, podrazumeva izgradnju u trajanju od ukupno 42 meseca. To rezultuje, u posmatranom periodu veličinom od **12600000** ukupno odbijenih zahteva za kretanjem (vožnjom) što je značajan nedostatak ove varijante. Uz prosečnu popunjenost automobila od 1.3 to je 16 300 000 «putnika» koji moraju da promene sredstvo za kretanje i da se kreću nekim drugim putem ili čak da odlože svoje kretanje za neko drugo vreme itd. Dekompozicija fizičke strukture ulične mreže tokom izgradnje (prekid i zatvaranje ulica), u razmatranom prostoru, ima veoma intenzivne posledice (što se vidi iz broja odbijenih zahteva). Obzirom da u širem prostoru nema adekvatnih saobraćajnica koje mogu prihvatiti ovakvu saobraćajnu situaciju, pripisivanje veće težine ovom kriterijumu je potpuno opravdano.

Varijanta "KRUŽNA" ima nešto kraći period izgradnje (36 meseci) i nema, ni u jednoj fazi izgradnje, potpuno zatvaranje saobraćaja u Radničkoj ulici, što je jedna od njenih prednosti. To rezultuje sa ukupno **5775000** odbijenih zahteva, što je znatno manje nego u slučaju izgradnje «špageta» varijante. Može se zaključiti da u slučajevima, kada se veći značaj pripisuje ceni izgradnje (dakle veličini troškova ili potrebnog novca za izgradnju), ukupnom trajanju izgradnje i broju odbijenih saobraćajnih zahteva (kao najvažnijoj posledici na život grada tokom izgradnje), prednost ima "KRUŽNA" varijanta.

## LITERATURA

- [1] B. Stanić, V. Tubić, N. Čelar, (2011). 'Design and evaluation of a grade-separated intersection: a case study of proposed Belgrade «Hipodrom»', *Transportation Planning and Technology*, 34(6), pp 639 – 650,
- [2] Chu et al., (2007.). Comparison among three analytical methods for knowledge communities ... *Expert Systems with Applications*. V 33 i 4. 1011-1024.
- [3] Hwang, C.L., Yoon, K.S. (1981.). *Multiple Attribute Decision Making: methods and applications*, SPRINGER-VERLAG, Heidelberg, New York, Berlin,
- [4] Stanić, B., Tubić, V., et al. (2005.), Rationalization and Optimization of the Traffic Solution for HIPODROM Intersection with Preliminary Traffic and Construction Design, Traffic Base and Proposed Solutions, Transport and Traffic Engineering Faculty, Hidroprojekt-Traffic, GISTEC, Belgrade.
- [5] Stanić, B. et al., (2009.) Design of Traffic Management and Control System, Concept of ITS, Traffic Signalization and Equipment for Internal Semi - Ring Road in Belgrade, Project, Transport and Traffic Engineering Faculty, Division for Traffic Engineering, Belgrade.
- [6] Transportation Research Board, (2000.) Highway Capacity Manual - HCM 2000, National Research Council, Washington, D.C.

**SIMULACIJA**





## SIMULACIJA SISTEMA MASOVNOG OPSLUŽIVANJA KORIŠĆENJEM KLASIČNE DEVS SPECIFIKACIJE

### QUEUEING SYSTEM SIMULATION USING CLASSICAL DEVS SPECIFICATION

MARKO ĐOGATOVIĆ<sup>1</sup>, MILORAD STANOJEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {m.djogatovic, milorad}@sf.bg.ac.rs

*Rezime:* U radu je data i detaljno objašnjena jedna programska realizacija klasične DEVS specifikacije. Ova realizacija je urađena u programskom jeziku C++ uz korišćenje nekih sintaksnih specifičnosti novog ISO standarda. Realizovana biblioteka je iskorišćena za rešavanje problema simulacije sistema masovnog opsluživanja.

*Ključne reči:* Stohastička simulacija, Objektno-orijentisano programiranje, DEVS specifikacija.

*Abstract:* In the paper is given and explained in detail one program realization of a classic DEVS specification. This realization is coded in programming language C++ using some syntax specifics from new ISO standard. We used this realization for queueing system simulation.

**Keywords:** Discrete-event simulation, Object-oriented programming, DEVS specification.

#### 1. UVOD

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 *et al.* 2009) Jedan od načina modeliranja i analize je primenom specifikacije sistema zasnovanog na diskretnim događajima (*Discrete Event System Specification*, DEVS).

DEVS specifikacija je formalizam za koju je karakteristična modularnost i hijerarhija. Ova specifikacija se odnosi na sisteme zasnovane na događajima (stohastički sistemi), kontinualne sisteme i hibridne sisteme koji predstavljaju kombinaciju prethodna dva sistema. Sistem opisan DEVS-om ima svoje vreme, ulaze, stanja, izlaze i funkcije za utvrđivanje narednih stanja i trenutnih izlaza na osnovu postojećih stanja i ulaza.

Mogućnost hijerarhijske kompozicije složenih sistema spajanjem modularnih sistema je veoma značajna paradigma koja se sve više koristi u simulaciji. Modularni sistemi imaju ulazne i izlazne portove kroz koje se vrši interakcija sa spoljašnjim okruženjem. Spojeni sistemi, kroz koje se ostvaruje hijerarhijska struktura, se dobijaju kombinovanjem modularnih sistema, tako što se izlazni port sa jednog modularnog sistema poveže na ulazni port drugog modularnog sistema. Ti modularni sistemi mogu da budu nedeljivi, odnosno atomski, ili neki drugi spojeni sistemi. Povezivanje portova omogućava prenos signala iz jednog u drugi modularni sistem.

Pored klasičnog DEVS-a koji ćemo ovde opisati, razvijeno je više njegovih proširenja: DESS/DEVS za kontinualne i stohastičke sisteme, GDEVS generalizovani DEVS se koristi za modeliranje kontinualnih sistema, PDEVS je paralelna implementacija klasičnog DEVS-a, RT-DEVS je DEVS prilagođen sistemima u realnom vremenu, Cell-DEVS je ćelijski DEVS, Fuzzy-DEVS prilagođava DEVS teoriji fazi skupova, DS-DEVS je DEVS koji u toku izvršenja simulacije menja strukturu (Zeigler *et al.* 2000), itd.

Iz ovog kratkog opisa jasno je da implementacija DEVS specifikacije mnogo toga može da iskoristi iz objektno-orijentisanog koncepta. Vremensku osnovu, ulazne i izlazne portove, stanja i funkcije promene stanja i izlaza, modularnost i hijerarhijsku kompoziciju moguće je realizovati korišćenjem enkapsulacije, nasleđivanja i polimorfizma. Do sada je razvijeno više biblioteka u različim jezicima (C++, Java, Python, C# i Smalltalk) koje koriste objektno-orijentisani koncept za implementaciju DEVS-a. Navešćemo nekoliko takvih biblioteka: ADEVS, CD++, DEVS/C++, DEVSJAVA, DEVSIm++, itd.

U ovom radu u formi C++ biblioteke napravljen je simulator koji koristi klasičnu DEVS specifikaciju. Biblioteka intenzivno koristi klase iz STL (*Standard Template Library*) biblioteke, kao i neke specifičnosti ISO standarda C++ jezika iz 2011. godine. Tu se pre svega misli na neimenovane (lambda) funkcije, `auto`

promenljive i novi oblik `for` petlje nad opsegom (range-based `for`) (Lippman *et al.* 2012). Pored navedenog, biblioteka koristi i BOOST, recenziranu biblioteku C++ klasa u kojoj je implementiran veliki broj interesantnih struktura podataka i algoritama.

Za razliku od simulacionih startegija poput raspoređivanja događaja i interakcije procesa kod kojih je simulaciju sistema sa redovima čekanja relativno jednostavno realizovati, ovakve sisteme je nešto složenije realizovati korišćenjem klasične DEVS specifikacije. U radu će kroz primer sistema masovnog opsluživanja biti objašnjena primena DEVS specifikacije za simulaciju takvih sistema.

## 2. SPECIFIKACIJA SISTEMA PRIMENOM KLASIČNOG DEVS-A

Sistem zasnovan na diskretnim događajima (DEVS) se specificira sledećom strukturom

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle \quad (1)$$

pri čemu je  $X = \{(p, v) | p \in InPorts, v \in X_p\}$  skup ulaznih portova i vrednosti,  $S$  je skup sekvencijalnih stanja,  $Y = \{(p, v) | p \in OutPorts, v \in Y_p\}$  je skup izlaznih vrednosti,  $\delta_{int}: S \rightarrow S$  je funkcija unutrašnje promene stanja,  $\delta_{ext}: Q \times X \rightarrow S$  je funkcija promene stanja usled spoljašnjeg dejstva ( $Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$  je celokupni skup stanja,  $e$  je vreme proteklo od poslednje promene stanja),  $\lambda: S \rightarrow Y$  je funkcija izlaza i  $ta: S \rightarrow R_{0, \infty}^+$  je funkcija koja vraća vreme boravka u određenom stanju ( $R_{0, \infty}^+$  je skup pozitivnih realnih brojeva koji uključuje 0 i  $\infty$ ) (Zeigler *et al.* 2000).

Postoje dve klase modela u bilo kojoj objektno-orijentisanoj implementaciji DEVS-a: atomski i spojeni (coupled) modeli. Atomski modeli su opisani osnovnim formalizmom (1), dok su spojeni modeli opisani specifikacijom spojenih modela.

DEVS spojeni model se sastoji se od nekoliko atomskih modela ili spojenih podmodela. Ovaj model se formalno definiše na sledeći način:

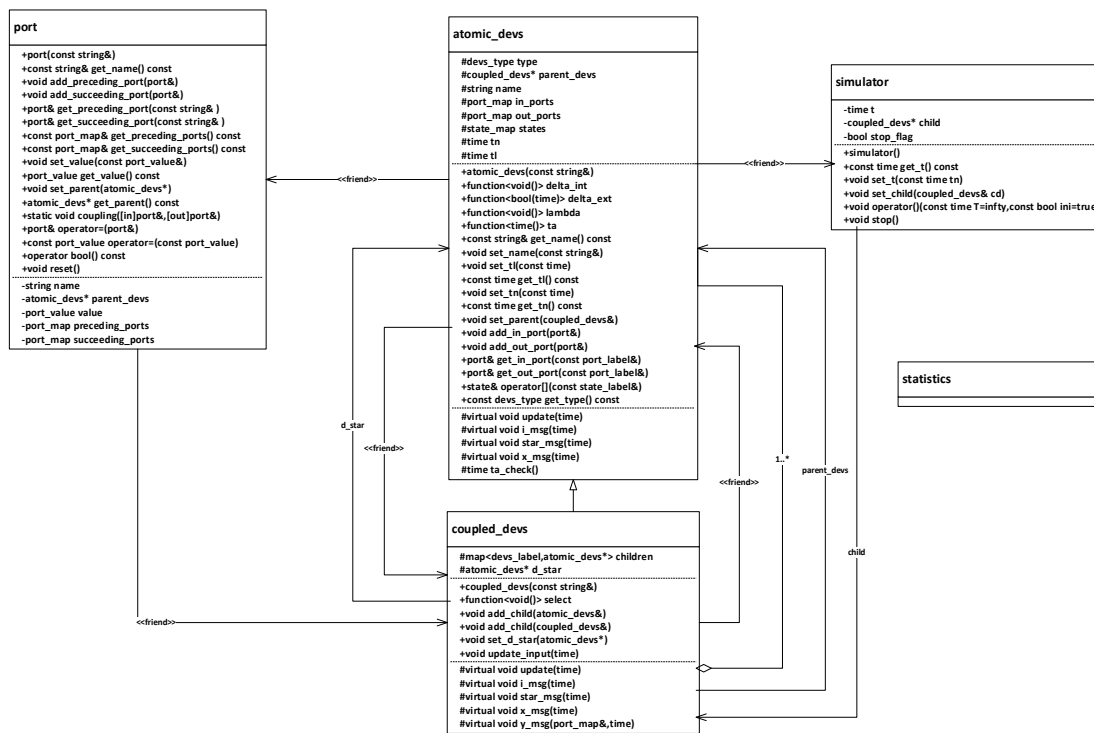
$$CM = \langle X, Y, D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_{ij}\}, Select \rangle \quad (2)$$

pri čemu su  $X$  i  $Y$  isti kao u formalizmu (1),  $D$  je skup indeksa komponenti spojenog modela,  $\{M_i | \forall i \in D\}$  je atomski DEVS model,  $\{I_i | \forall i \in D \cup \{CM\}\}$  je skup indeksa modela na koje utiče  $i$ -ti model:  $I_i \subseteq D \cup \{CM\}$ ,  $i \notin I_i$ ,  $\{Z_{ij} | \forall i \in D \cup \{CM\}, \forall j \in I_i\}$  je skup funkcija translacije izlaza sa  $i$ -tog modela na  $j$ -ti model i  $\{Select: 2^D \rightarrow D\}$  je funkcija koja razrešava situacije istovremene pojave dva ili više događaja (Zeigler *et al.* 2000).

Specifikacije date u (1) i (2) služe samo opis modela. Da bismo simulirali model koji je opisan specifikacijama neophodno je realizovati algoritme za simulaciju atomskog DEVS modela i koordinaciju spojenog DEVS modela. Takođe je potrebno realizovati koreni DEVS simulator kojim se iniciraju modeli i izvršava simulacija. Navedeni algoritmi su dati u Zeigler *et al.* 2000.

## 3. JEDNA PROGRAMSKA REALIZACIJA KLASIČNE DEVS SPECIFIKACIJE

Iz specifikacija datih u poglavlju 2. jasno je da su neophodne četiri klase. Na slici 1 prikazana je UML hijerarhija klasa klasičnog DEVS simulatora. Prve dve klase služe za opis i simulaciju formalizama atomskih i spojenih modela. Te dve klase ćemo nazvati `atomic_devs` i `coupled_devs`. Klasa `simulator` realizuje algoritam korenog DEVS simulatora. Ta klasa održava vremensku bazu i kontroliše simulaciju inicijalizacijom i izvršavanjem podmodela spojenog modela dodeljenog objektu ove klase. Iako na prvi pogled nije jasno da je neophodna, klasa `port` je veoma značajna zato što se njenim korišćenjem vrši prenos signala iz modela u model. Objekat ove klase sadrži vrednost koja se prenosi putem porta, kao i informaciju o portu modela koji je vezan za ovaj port. Obzirom da vrednost koja se prosleđuje portu može biti numerička, tekstualna ili objekat neke klase (recimo entitet u sistemima sa redovima čekanja) za realizaciju porta je korišćena klasa `any` BOOST biblioteke. Klasa `any` je generička klasa čija instanca može primiti instancu bilo kog tipa. Kada upisujemo vrednost u `any` objekat nije neophodno znati tip objekta koji upisujemo, međutim kada čitamo vrednost iz objekta neophodno je znati kog je tipa upisana vrednost. Obzirom da stanja atomskog modela mogu da imaju bilo koju vrednost klasa `any` se koristi i za stanja `atomic_devs` klase.



Slika 1: UML hijerarhija klasa simulatora DEVS specifikacije

Veći deo implementacije `atomic_devs` klase je istovetan kao i kod `coupled_devs` klase tako da `coupled_devs` javno nasleđuje klasu `atomic_devs`. Nasleđivanjem se takođe obezbeđuje polimorfizam podmodela spojenog modela obzirom da podmodel može da bude i atomski i spojeni. Svaka `atomic_devs` i `coupled_devs` klasa poseduje ime, liste ulaznih i izlaznih portova, stanja sa vrednostima, vreme poslednje promene stanja i vreme naredne promene stanja. Jasno je da klase moraju i da poseduju interfejs kojim se upisuju i čitaju vrednosti ovih članova klase. Klasa `atomic_devs` sadrži kao javne članove funkcijske objekte `delta_int`, `delta_ext`, `lambda` i `ta` koji odgovaraju sledećim elementima strukture atomskog modela  $\delta_{int}$ ,  $\delta_{ext}$ ,  $\lambda$  i  $ta$ , respektivno. Ovim članovima je neophodno dodeliti odgovarajuće funkcije koje mogu biti i neimenovane.

Klasa `coupled_devs` sadrži listu podmodela koji su sadržani u spojenom modelu, kao i trenutno aktivni podmodel (podmodel koji se trenutno izvršava). Takođe, ova klasa sadrži javni funkcijski objekat `select` koja odgovara funkciji *Select* specifikacije (2).

Virtualne funkcije koje se nalaze u klasama `atomic_devs` i `coupled_devs`: `i_msg`, `star_msg`, `x_msg` i `y_msg` su funkcije koje proističu iz algoritama za simulaciju atomskog i spojenog modela. Funkcija `i_msg` vrši inicijalizaciju podmodela, `star_msg` vraća izlaz roditeljskom modelu (važi za atomski model) i vrši unutrašnju promenu stanja podmodela, `x_msg` se izvršava u situaciji pojave spoljnog događaja, dok funkcija `y_msg` prosleđuje izlaz iz atomskog modela preko roditeljskog spojenog modela drugom atomskom modelu.

Klasa `statistics` služi da prikuplja statistike simulacionog modela.

#### 4. SIMULACIJA SISTEMA MASOVNOG OPSLUŽIVANJA KORIŠĆENJEM KLASIČNE DEVS SPECIFIKACIJE

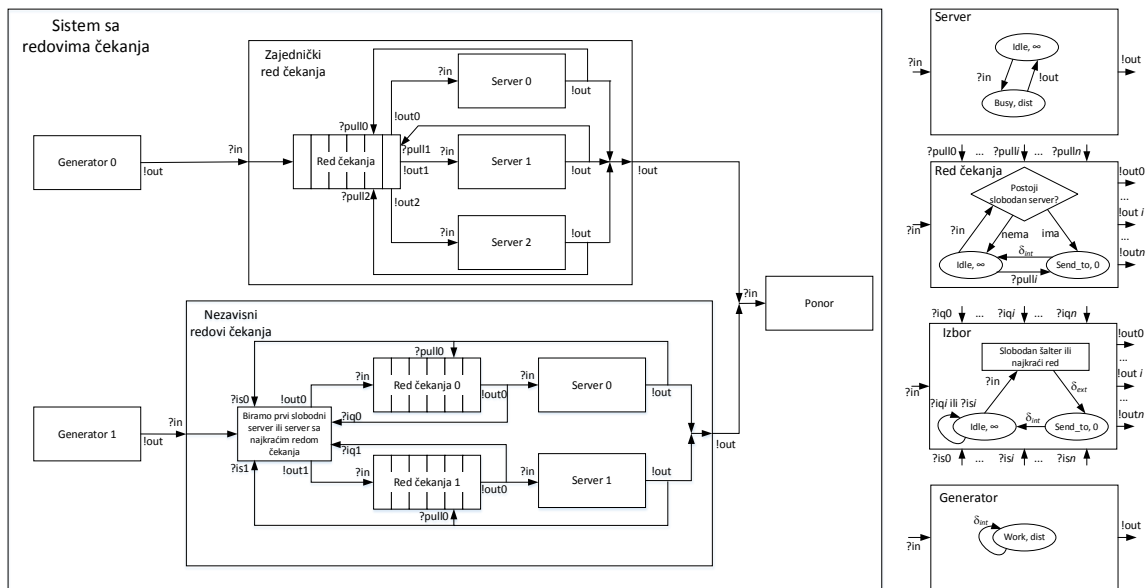
Na slici 2 je prikazan sistem sa redovima čekanja koji se sastoji od pet kanala opsluge (server) pri čemu prva tri kanala imaju zajednički red čekanja, dok druga dva kanala imaju sopstvene redove čekanja. Izbor kanala (selection) u situaciji kada kanali imaju sopstvene redove čekanja se vrši tako što se bira slobodan kanal ukoliko postoji ili kanal opsluge sa kraćim redom čekanja. Entiteti (objekti koji se kreću kroz blokove sistema) se stvaraju u generatorima i kada prođu kroz sistem entiteti se uništavaju u ponoru.

Generator (atomski model) (slika 2) se uvek nalazi u radnom (Work) stanju pri čemu se prelaz između dva radna stanja vrši po nekoj dodeljenoj raspodeli. Nakon isteka radne faze poziva se  $\lambda$  funkcija u kojoj se stvara entitet i upisuje u izlazni port. Pozivom  $\delta_{int}$  funkcije prethodno radno stanje prelazi u novo radno stanje i vrši se ažuriranje vremena trajanja novog radnog stanja (pozivom funkcije  $ta$ ).

Kanal opsluge (server) (atomski model) (slika 2) se nalazi u stanju očekivanja entiteta (Idle) sve dok ne pristigne entitet putem ulaznog porta. Nakon toga kanal opsluge postaje zauzet (Busy). Kanal opsluge je

zauzet sve dok ne istekne vreme opsluge zadato nekom raspodelom. Po isteku vremena se poziva  $\lambda$  funkcija u kojoj se entitet u kanalu upisuje u izlazni port. Pozivom  $\delta_{int}$  funkcije kanal opsluge se vraća u stanje očekivanja entiteta.

Red čekanja (atomski model) (slika 2) prima entitete pre njihovog prosleđivanja kanalu opsluge. Red čekanja ima jedan ulaz za entitete i onoliko izlaza koliko i kanala opsluge za koje je taj red čekanja zajednički ( $n$ ). Takođe, red čekanja ima i pull (povuci) ulaze kojima se red čekanja informiše o izlasku entiteta iz kanala opsluge. Na početku red se nalazi u stanju očekivanja entiteta (Idle). Kada entitet pristigne kroz ulazni port entitet se stavlja na kraj reda i vrši se provera da li je neki od kanala opsluge slobodan. Ukoliko postoji slobodan kanal opsluge red čekanja prelazi u stanje slanja (Send\_to). Kada stigne signal sa nekog od pull portova, to znači da je kanal opsluge koji odgovara tom pull portu postao slobodan i red čekanja prelazi u stanje slanja. Po isteku stanja slanja (traje 0 v.j.) poziva se  $\lambda$  funkcija u kojoj se vadi entitet sa početka reda i prosleđuje odgovarajućem portu. Pozivom funkcije  $\delta_{int}$  red se vraća u stanje očekivanja entiteta.



Slika 2: Sistem sa redovima čekanja i dijagrami promene stanja

Izbor (atomski model) (slika 2) vrši izbor prvog slobodnog kanala ili kanala sa najkraćim redom čekanja. Kao i red čekanja ima jedan ulaz za entitete i onoliko izlaza koliko i redova čekanja i kanala za koje vrši izbor ( $n$ ). Kada pristigne entitet objekat izbora iz stanja očekivanja entiteta (Idle) pokušava da pronađe slobodni kanal i ukoliko ne uspe nalazi najkraći red čekanja. Nakon toga izbor prelazi u stanje slanja (Send\_to). Po isteku stanja slanja (traje 0 v.j.) pristigli entitet se prosleđuje odgovarajućem portu. Izbor poseduje i ulazne portove  $iq_0, \dots, iq_i, \dots, iq_n$ , odnosno  $is_0, \dots, is_i, \dots, is_n$ . Ovim portovima se izbor informiše o odlasku entiteta iz reda čekanja ( $iq_i$ ) i kanala opsluge ( $is_i$ ).

Ponor (atomski model) je objekat koji vrši uništavanje entiteta po njihovom pristizanju. Ponor ima samo jedan ulaz i nikad ne izlazi iz stanja očekivanja entiteta.

Zajednički red čekanja i nezavisni redovi čekanja su spojeni modeli, dok je sistem sa redovima čekanja spojeni model koji se prosleđuje objektu simulacije.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je realizovana i opisana jedna implementacija klasične DEVS specifikacije. Programaska biblioteka je realizovana u programskom jeziku C++ korišćenjem nekih specifičnosti novog ISO standarda i BOOST biblioteke. U radu je na primeru sistema sa redovima čekanja izvršena provera rada realizovane biblioteke.

## LITERATURA

- [1] Lippman, B. S., Lajoie, J. & Moo E. M. (2012). C++ Primer. (5th ed.). Addison-Wesley Professional
- [2] Radenković B., Stanojević M., & Marković A. (2009). Računarska simulacija. Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [3] Zeigler P. B., Praehofer H., & Kim G. T. (2000). Theory of Modeling and Simulation. (2nd ed.). Academic Press.

## **SIMULACIJA PREVOZA POŠTANSKIH POŠILJAKA NA PODRUČJU GRADA BEOGRADA**

## **SIMULATION OF POSTAL ITEMS TRANSPORT ON THE TERRITORY OF CITY OF BELGRADE**

DRAGAN LAZAREVIĆ<sup>1</sup>, MILORAD STANOJEVIĆ<sup>1</sup>, MARKO ĐOGATOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {d.lazarevic, milorad, m.djogatovic}@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je dat simulacioni model prevoza poštanskih pošiljaka u sistemu „Pošte Srbije“ na području Grada Beograda. Izvršena je analiza iskorišćenosti tovarnog prostora vozila koja transportuju pošiljke. Primenjena je BPMN notacija, na osnovu koje je realizovana simulacija korišćenjem biblioteke Matlab/Simulink-a za diskretnu simulaciju SimEvents.

**Ključne reči:** Simulacija, Modeliranje, Red prevoza, Pošta Srbije, Iskorišćenost vozila.

**Abstract:** In this paper a simulation model of the postal items transport in the Post of Serbia system on the territory of Belgrade is given. The analysis of utilization of cargo space vehicles transporting postal items is carried out. BPMN notation is also applied and, based on it, simulation using library Matlab/Simulink for the discrete simulation SimEvents is achieved.

**Keywords:** Simulation, Modeling, Transport timetable, Post of Serbia, Vehicle utilization.

### **1. UVOD**

Savremeno poslovanje podrazumeva česte reorganizacije poslovnih procesa. Kroz brojne analize se ocenjuje ono što je postignuto poslovanjem, kao i potencijalne buduće alternative poslovnih procesa. Jedan od alata, pri ovim aktivnostima, predstavlja primena računarske simulacije. Na osnovu plana poslovanja, realizuje se simulacioni model, koji možemo testirati u realnim uslovima. To omogućuje sprovođenje različitih analiza ponašanja nove ili modifikovane stare alternative u okviru funkcionisanja poslovnog procesa.

Za definisanje poslovnih procesa se može koristiti BPMN (*Business Process Model and Notation*) notacija, lako razumljiva za sve poslovne korisnike, od analitičara koji treba da skiciraju procese, do tehničkih korisnika koji su odgovorni za implementaciju tehnologije, i na kraju do poslovnih ljudi, koji će upravljati i nadgledati poslovne procese. Upotreba BPMN notacije omogućava povezivanje projektovanja poslovnog procesa i njegove implementacije (*Object Management Group Business Process Model and Notation 2014*).

Simulacija zasnovana na diskretnim događajima se može realizovati u SimEvents-u, koji je modul u okviru Matlab/Simulink-a. Jednostavnost u korišćenju i razumevanju njegovog funkcionisanja, ogleda se kroz grafičko logičke relacije između blokova koje poseduje. Pomoću ovih blokova, model se realizuje po analogiji sa definisanjem dijagrama toka procesa. Pored vremenski zasnovanih (time-based), omogućuje i simulacije zasnovane na događajima (event-based). Model se kreira jednostavnim povezivanjem blokova, od kojih svaki ima različitu primenu. Ključnu ulogu imaju kreirani entiteti, koji nailaskom mogu vršiti promenu stanja unutar blokova, a samim tim i čitavog modela (*SimEvents: Model and simulate discrete event systems 2014*).

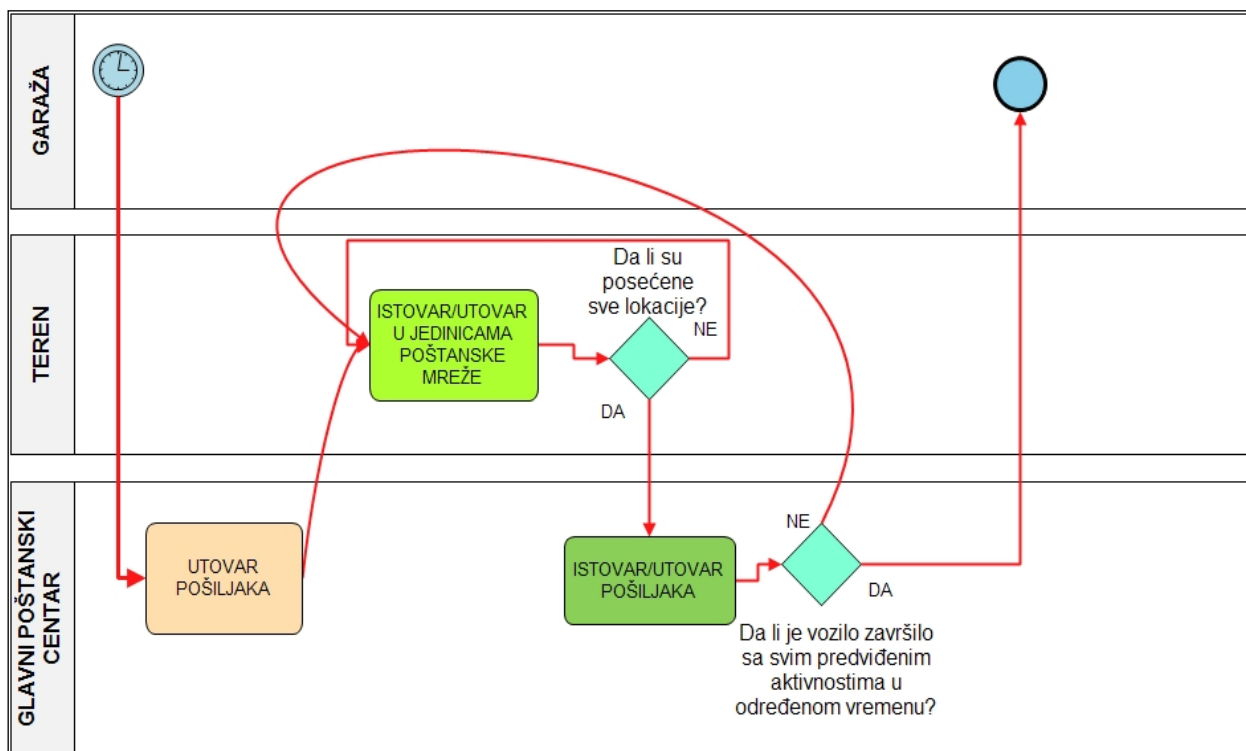
U radu je korišćen princip modeliranja i simulacije na primeru prevoza poštanskih pošiljaka u sistemu „Pošte Srbije“ na teritoriji Grada Beograda. Izvršena je analiza iskorišćenosti tovarnog prostora vozila koja transportuju poštanske pošiljke i mereno je vreme njihovog zadržavanja van garaže. Napravljen je model primenom BPMN notacije, na osnovu koje je realizovana simulacija, korišćenjem modula SimEvents. Kreirana simulacija se može koristiti i za analizu i testiranje viševarijantnih rešenja, kao pomoć pri donošenju odluke o usvajanju alternative koja u najvećoj meri zadovoljava potrebe poslovanja.

## 2. SIMULACIJA PREVOZA POŠTANSKIH POŠILJAKA NA PODRUČJU GRADA BEOGRADA

Sistem javnog poštanskog operatora predstavlja složenu logističku infrastrukturu. Pošta Srbije svojim delovanjem na državnoj teritoriji teži da zadovolji potrebe korisnika i određeni nivo kvaliteta usluge. Brojne su analize koje se sprovode i tehnike koje se primenjuju u cilju poboljšanja obavljanja poslovnih procesa. Veliki značaj u pogledu kvaliteta usluge ima prenos pošiljaka na vreme, bez kašnjenja, kao i sigurnost poštanskih pošiljaka. Vozni park Pošte Srbije ima značajnu ulogu i predstavlja najopterećeniji deo logističkog sistema. Funkcionisanje voznog parka ima veliki uticaj na kvalitet ukupne usluge, pa se teži uspostavljanju što boljeg reda prevoza. Takav red prevoza podrazumeva dovoljan broj vozila, koja se kreću različitim rutama i transportuju sve pošiljke u sistemu bez kašnjenja. Pojedine poštanske jedinice imaju mali broj pošiljaka, pa je verovatno da će određeni broj vozila po pristizanju do krajnje tačke (Poštanski centar, Glavni poštanski centar) biti opterećen i manjim brojem poštanskih pošiljaka. Sa druge strane, postoje jedinice sa velikim brojem pošiljaka, pa se može desiti da je tovarni kapacitet, odnosno nosivost vozila nedovoljna da ih sve transportuje. Potrebno je uskladiti pokrivenost jedinica, iskorišćenost nosivosti vozila i ukupan broj pošiljaka koje treba zbrinuti na neki od pomenutih načina u određenom vremenskom periodu (u jednoj smeni, dve smene...). Određeni pokazatelji se mogu dobiti simulacijom na osnovu dostupnih statističkih podataka. Posmatra se deo poštanske mreže ograničen teritorijom Grada Beograda, odnosno 17 opština po kojima su raspoređena vozila (Pravilnik o organizaciji i sistematizaciji poslova u javnom preduzeću PTT saobraćaja „Srbija“ 2005).

Statistički podaci pokazuju da na ovoj teritoriji postoji najveća fluktuacija poštanskih pošiljaka. Sedamnaest vozila, raspoređeno je po odgovarajućem redu prevoza i obavljaju poslove transporta.

U skladu sa funkcionisanjem reda prevoza i BPMN notacijom kreiran je uopšteni model poslovnog procesa prenosa poštanskih pošiljaka (slika 1).



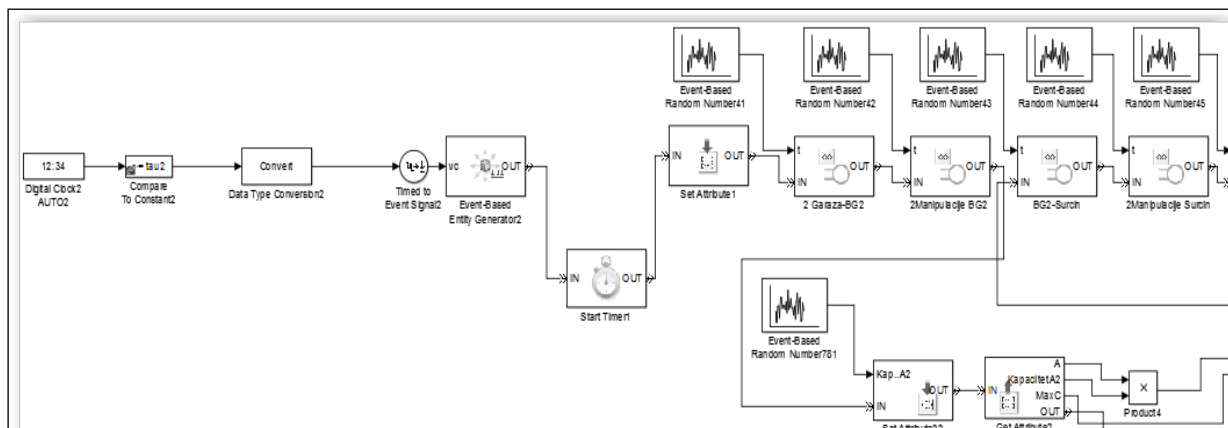
**Slika 1:** Uopšteni model procesa prevoza poštanskih pošiljaka jednim vozilom na teritoriji grada Beograda u BPMN notaciji

U definisanom vremenu vozilo napušta garažu, odlazi u Glavni poštanski centar (GPC) gde se vrši utovar poštanskih pošiljaka. Nakon toga, vozilo izlazi na teren i transportuje pošiljke u manje jedinice poštanske mreže za rad sa korisnicima. Sa druge strane, prihvata pošiljke koje treba preneti u GPC. Nakon obilaska svih jedinica, vozilo se vraća u GPC i vrši se istovar pošiljaka. Ukoliko je za vozilo određeno još dodatnih obaveza prenosa poštanskih pošiljaka, opisani proces se ponavlja, sve do trenutka kada vozilo završi sa obavezama, nakon čega se vraća u garažu.



U cilju analize pomenutih kriterijuma za predloženi red prevoza, na osnovu uopštenog modela zasnovanog na BPMN notaciji i realnim podacima dobijenim iz sistema, kreiran je model i izvršena simulacija korišćenjem biblioteke Matlab/Simulink-a za diskretnu simulaciju SimEvents.

Na slici 2, prikazan je deo rute jednog od vozila sa odgovarajućim mehanizmima za obračun ukupnog vremena koje vozilo provede na ruti, kao i mehanizam, odnosno logička veza blokova za proračun iskorisćenosti nosivosti vozila. Vozilo predstavlja entitet, koji se kreće od bloka do bloka.



Slika 2: Deo rute jednog vozila realizovana u SimEvents-u

### 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Za svako od sedamnaest vozila se podrazumeva jedna ruta na mreži i za svako vozilo je napravljena ruta u simulacionom modelu. Kreirani su odgovarajući mehanizmi za obračun ukupnog vremena koje vozilo provede na ruti i mehanizmi za proračun iskorisćenosti nosivosti vozila. Vremena polaska vozila iz garaže su u modelu definisana u odnosu na vreme početka simulacije, a u skladu sa vremenom dobijenim iz realnog sistema, odnosno postojećeg reda prevoza. Kako bi se zadržala slučajnost i prilikom većeg broja izvršenja simulacije uvedena su odstupanja od ovog vremena. Odstupanja su definisana po uniformnoj raspodeli na intervalu [0, 4] min.

Za sva vozila i njihova vremena putovanja između tačaka na mreži (jedinica poštanske mreže) dobijeni su podaci prema redu vožnje iz realnog sistema. Ove vrednosti su u simulacionom modelu zadate po uniformnoj raspodeli (tabela 1).

Tabela 1: Definisanje vremena putovanja

Vreme putovanja između tačaka na mreži prema redu vožnje [min]	Opseg korišćenih vrednosti [min]
5	(4,6)
10	(8,12)
15	(12,18)
20	(17,23)
30	(24,36)
40	(34,46)
60	(50,70)

Iz realnog sistema dobijena su vremena pretovarnih manipulacija, koja zavise od veličine jedinice poštanske mreže, odnosno količine poštanskih pošiljaka koja je izražena u kilogramima. Vrednosti u simulacionom modelu takođe su zadate po uniformnoj raspodeli (tabela 2).

Tabela 2: Definisanje vremena pretovanih manipulacija

Zadato vreme pretovarnih manipulacija prema redu vožnje [min]	Opseg korišćenih vrednosti [min]
7	(6,8)
12	(11,13)
18	(17,19)

Kako je model zasnovan na grafičkom povezivanju SimEvents blokova, u toku analize, jednostavna je promena ruta, odnosno izbacivanje ili dodavanje određenih grana, ili samo promena vremena u određenim segmentima. Jasno je da će pomenute promene uticati i na promenu izlaznih rezultata simulacionog modela, pa je pogodan za analizu različitih alternativa.

Mehanizmi za izračunavanje iskorišćenosti nosivosti vozila su zasnovani na manipulacijama sa atributima i postavljeni su na karakterističnim tačkama na ruti za koje su poznate moguće vrednosti količine poštanskih pošiljaka u kilogramima. Kreira se atribut koji predstavlja kapacitet tovarnog prostora. Vrednost atributa se menja u skladu sa utovarom ili istovarom pošiljaka i upoređuje se sa vrednošću maksimalne nosivosti. Za svako vozilo se na osnovu broja karakterističnih tačaka na ruti, računa isto toliko segmenata iskorišćenosti. Na završetku obilaska rute, vrši se objedinjavanje svih segmentnih iskorišćenosti u cilju dobijanja ukupne iskorišćenosti vozila na posmatranoj ruti.

Za svaki od sedamnaest automobila prikazani su usrednjeni rezultati za 10 realizacija simulacije, gde je t vreme u minutima provedeno na ruti, a I procentualni iznos iskorišćenosti nosivosti tovarnog prostora (tabela 3):

**Tabela 3: Rezultati simulacije**

Auto 1		Auto 2		Auto 3		Auto 4		Auto 5		Auto 6		Auto 7		Auto 8		Auto 9	
t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I
471.76	70.82	970.72	75.31	980.32	74.32	939.96	76.59	970.48	82.54	972.48	70.80	1034.80	70.23	428.08	86.48	984.62	85.55
Auto 10		Auto 11		Auto 12		Auto 13		Auto 14		Auto 15		Auto 16		Auto 17			
t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I	t	I		
1048.40	76.27	862.42	85.10	911.02	80.00	1001.92	81.27	1139.80	75.65	931.68	67.86	1109.60	75.83	1068.36	74.67		

Na osnovu prikazanih rezultata može se uočiti da se na ruti najmanje zadržava Auto 1 (471.76 min), a najviše Auto 14 (1139.8 min). Najmanju iskorišćenost nosivosti ima Auto 7 (70.23%), a najveće Auto 8 (86.48%). Pri realizaciji modela, vođeno je računa o statističkoj zavisnosti, tj. za svaku realizaciju su korišćeni različiti tokovi pseudoslučajnih brojeva (Radenković *et al.* 2009). Daljom analizom rezultata se može zaključiti u kom segmentu sistema treba uvesti promenu. Datu promenu uneti u model i ponovo izvršiti testiranje. Nakon toga moguće je uporediti rezultate pre i nakon određenih intervencija u sistemu, a na osnovu njih doneti odluku koja alternativa se usvaja. Kreirani simulacioni model pruža mogućnost pregleda pojedinih segmenata rute u pogledu segmentnih iskorišćenosti nosivosti vozila. Takođe, moguće je testirati ukupnu iskorišćenost drugog tipa vozila sa drugom nosivošću na istoj ruti i nakon toga odrediti opravdanost trenutnog ili predloženog novog rešenja. Pored ovih predloga, moguće su i ostale aktivnosti koje se tiču testiranja odgovarajućih promena u sistemu, u cilju boljeg funkcionisanja poslovnih procesa i samim tim povećanja kvaliteta usluge u Pošti Srbije.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen simulacioni model prevoza poštanskih pošiljaka u sistemu „Pošte Srbije“ na području Grada Beograda primenom BPMN notacije, na osnovu koje je realizovana simulacija korišćenjem biblioteke SimEvents. Rezultati modela pokazuju ukupno vreme koje svako od vozila provede na ruti, kao i segmentnu i ukupnu iskorišćenost tovarnog prostora. Analizom rezultata se može zaključiti u kom segmentu i koje promene treba izvršiti.

Na osnovu modela i rezultata simulacije na jednostavan način mogu se testirati viševarijantna rešenja u sistemu i doneti odluka o alternativu koja u najvećoj meri zadovoljava potrebe poslovanja.

#### LITERATURA

- [1] Radenković, B., Stanojević, M., & Marković, A. (2009). Računarska simulacija. Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [2] Pravilnik o organizaciji i sistematizaciji poslova u javnom preduzeću PTT saobraćaja „Srbija“. (2005). Beograd
- [3] SimEvents: Model and simulate discrete event systems. (2014). Preuzeto 24. jula 2014. sa <http://www.mathworks.com/products/simevents/>
- [4] Object Management Group Business Process Model and Notation. (2014). Preuzeto 24. jula 2014. sa <http://www.bpmn.org/>



# **STATISTIČKI MODELI**



## CARNAP-POPPER-LEBLANC-OV TIP SEMANTIKE ZA VEROVATNOSNO ZAKLJUČIVANJE

### CARNAP-POPPER-LEBLANC-TYPE SEMANTICS FOR PROBABILISTIC REASONING

MARIJA BORIČIĆ

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marija.boricic@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** *Kako bismo pripremili pogodan kontekst za razmatranje problema neprotivrečnosti, saglasnosti i potpunosti jedne verovatnosne verzije računa sekvenata, uvodimo odgovarajuće modele grubo sledeći ideje Carnap-a, Popper-a i Leblanc-a.*

**Cljučne reči:** *sekvent, model, verovatnosno zaključivanje.*

**Abstract:** *In order to prepare an appropriate context to consider consistence, soundness and completeness of a probabilized version of sequent calculus, we introduce the corresponding models roughly following Carnap's, Popper's and Leblanc's ideas.*

**Keywords:** *sequent, model, probabilistic reasoning.*

#### 1. UVOD

Koncept verovatnosnih logika kao forme opisa aproksimativnog zaključivanja pojavljuje se jos u XIX veku u radovima G. Boole-a i J. Venn-a, a u savremenoj logici predstavlja ravnopravnu alternativu, ali i kompatibilan pristup konceptu rasplnutih logika.

Sintaksnom opisu verovatnosnog zaključivanja datom u okviru gencenovskog sistema sekvenata (Gentzen 1934-35) pridružujemo odgovarajuće semantičko utemeljenje zasnovano na konceptu *verovatnoće rečenice* razvijenom u radovima Carnap-a, Popper-a i Leblanc-a (Carnap 1950, Popper 1955, Leblanc, van Fraassen 1979, Leblanc 1982, 1983). Dajemo definiciju i opis ključnih osobina modela adekvatnog za uvođenje pojma neprotivrečne verovatnosne logike (Ognjanović, Rašković and Marković 2009) i dokazivanje saglasnosti i potpunosti razmatranog računa sekvenata (Boričić 2011, 2012, 2013) u odnosu na uvedenu klasu modela.

#### 2. MODEL

Carnap uvodi funkciju verovatnoće iskaza  $A$ , pod pretpostavkom  $B$ , u oznaci  $P(A,B)$  (Carnap 1950), koja se može opisati sledećim aksiomama:

$$(C1) 0 \leq P(A,B)$$

$$(C2) P(A,A)=1$$

$$(C3) \text{ Ako } \vdash A \quad B \text{ i } \vdash C \quad D, \text{ onda } P(A,C)=P(B,D)$$

$$(C4) \text{ Ako nije } B \vdash, \text{ onda } P(\neg A,B)=1-P(A,B)$$

$$(C5) P(A \wedge B,C)=P(A,B \wedge C)P(B,C)$$

gde su  $A, B$  i  $C$  proizvoljne formule iskazne logike, i  $P(A,B)$  se interpretira kao mera u kojoj iskaz  $A$  potvrđuje hipotezu  $B$ .

Popper-ova (verovatnosna) funkcija  $P(A,B)$ , zadovoljava sledeće aksiome (Popper 1955):

$$(P1) 0 \leq P(A,B)$$

$$(P2) P(A,A)=1$$

$$(P3) \text{ Ako } P(B,D)=P(C,D) \text{ za svaku iskaznu formulu } D, \text{ onda } P(A,B)=P(A,C)$$

$$(P4) \text{ Ako } P(C,B) \neq 1 \text{ za neku iskaznu formulu } C, \text{ onda } P(\neg A,B)=1-P(A,B)$$

$$(P5) P(A \wedge B,C)=P(A,B \wedge C)P(B,C)$$

$$(P6) P(A \wedge B,C)=P(B \wedge A,C).$$

Neka je Seq skup svih iskaznih sekvenata, tj. formi  $\Gamma \vdash \Delta$ , gde su  $\Gamma$  i  $\Delta$  konačni nizovi (moguće i prazni) iskaznih formula. Sekvent  $\Gamma \vdash \Delta$  se interpretira kao formula  $\bigwedge \Gamma \rightarrow \bigvee \Delta$ , pri čemu  $\bigwedge \Gamma$  predstavlja konjunkciju svih formula koje se pojavljuju u  $\Gamma$ , a  $\bigvee \Delta$  disjunkciju svih formula koje se pojavljuju u  $\Delta$ . Tada preslikavanje  $p: \text{Seq} \rightarrow I$ , gde je  $I$  konačan podskup realnog intervala  $[0,1]$ , nazivamo *modelom*, ukoliko  $p$  zadovoljava sledeće uslove:

- (i)  $p(A \vdash A) = 1$ , za svaku iskaznu formulu  $A$ ;
- (ii) ako  $p(AB \vdash) = 1$ , onda  $p(\vdash AB) = p(\vdash A) + p(\vdash B)$ , za sve formule  $A$  i  $B$ ;
- (iii) ako su sekventi  $\Gamma \vdash \Delta$  i  $\Pi \vdash \Lambda$  ekvivalentni u klasičnoj logici iskaza, u smislu da su obe sledeće formule tautologije  $(\bigwedge \Gamma \rightarrow \bigvee \Delta) \rightarrow (\bigwedge \Pi \rightarrow \bigvee \Lambda)$  i  $(\bigwedge \Pi \rightarrow \bigvee \Lambda) \rightarrow (\bigwedge \Gamma \rightarrow \bigvee \Delta)$ , onda  $p(\Gamma \vdash \Delta) = p(\Pi \vdash \Lambda)$ .

Ovom prilikom ističemo da upravo uvedene aksiome grubo odgovaraju Carnap-ovim i Popper-ovim aksiomama verovatnoće iskaza (Carnap 1950, Popper 1955), čije su varijacije i međusobne odnose razmatrali Leblanc i van Fraassen (Leblanc, van Fraassen 1979, Leblanc 1982, 1983). Takođe, napominjemo da su Carnap-ove aksiome ekvivalentne aksiomama Kolmogorova za uopšteno polje verovatnoća (Leblanc 1982).

U nastavku rada ćemo se baviti osnovnim osobinama preslikavanja, pripremajući kontekst za razmatranje pitanja neprotivrečnosti, saglasnosti i potpunosti jednog računa sekvenata snabdevenog verovatnosnim operatorom. Takav račun sekvenata je posebna tema naših razmatranja (Boričić 2012, 2013).

**Lema 1.** Za sve formule  $A$  i  $B$  važi:

- (a)  $p(\vdash \neg A) = 1 - p(\vdash A)$ ;
- (b)  $p(\vdash AB) = p(\vdash A) + p(\vdash B) - p(\vdash A \wedge B)$ ;
- (c)  $p(\vdash AB) \geq p(\vdash A)$ ;
- (d)  $p(A \vdash B) \leq p(A \vdash) + p(\vdash B)$ ;
- (e)  $p(A \vdash A) = p(A \vdash) + p(\vdash A)$ .

Dokaz. (a) Koristeći osobine preslikavanja  $p$ , zaključujemo da važi:

$$1 = p(A \vdash A) = p(\vdash A \neg A) = p(\vdash A) + p(\vdash \neg A).$$

(b) Iz aksioma (ii) i (iii) preslikavanja  $p$  sledi da je  $p(\vdash B) = p(\vdash (A \wedge B) (\neg A \wedge B)) = p(\vdash (A \wedge B)) + p(\vdash (\neg A \wedge B))$ , jer su sekventi  $\vdash (A \wedge B) (\neg A \wedge B)$  i  $\vdash B$  ekvivalentni, i  $p(AB \neg A B \vdash) = 1$ . Takođe, kako su  $\vdash AB$  i  $\vdash A (\neg A \wedge B)$  ekvivalentni sekventi, i  $p(A \neg A B \vdash) = 1$ , sledi da važi sledeća jednakost:

$$p(\vdash AB) = p(\vdash A (\neg A \wedge B)) = p(\vdash A) + p(\vdash (\neg A \wedge B)) = p(\vdash A) + p(\vdash B) - p(\vdash A \wedge B).$$

Slično se pomoću aksioma (i), (ii) i (iii), dokazuju tvđenja (c), (d) i (e).  $\square$

Niz sledećih argumenata i tvđenja osigurava saglasnost verovatnosnog računa sekvenata sa ovako definisanim modelom.

Najpre možemo konstatovati neposredno zadovoljenje sledećih uslova:  $0 \leq p(\Gamma \vdash \Delta) \leq 1$ ,  $p(\vdash) = 0$  i  $p(A \vdash A) = 1$ , za sve nizove formula  $\Gamma$  i  $\Delta$ , i svaku formulu  $A$ . Ovo, zapravo, korespondira sa aksiomama verovatnosnog računa sekvenata.

Iz uslova (iii) naše definicije i ekvidokazivosti odgovarajućih sekvenata u Gentzen-ovom računu **LK**, direktno dobijamo:

**Lema 2.** Za sve formule  $A$  i  $B$ , i sve nizove formula  $\Gamma$ ,  $\Delta$ ,  $\Pi$  i  $\Lambda$  važi:

- (a)  $p(\Gamma AB\Pi \vdash \Delta) = p(\Gamma BA\Pi \vdash \Delta)$ ;
- (b)  $p(\Gamma \vdash \Delta AB\Lambda) = p(\Gamma \vdash \Delta BA\Lambda)$ ;
- (c)  $p(\Gamma A\Pi \vdash \Delta) = p(\Gamma A\Pi \vdash \Delta)$ ;
- (d)  $p(\Gamma \vdash \Delta A\Lambda) = p(\Gamma \vdash \Delta A\Lambda)$ ;
- (e)  $p(\Gamma \vdash A\Delta) = p(\Gamma \neg A \vdash \Delta)$ ;
- (f)  $p(\Gamma A \vdash \Delta) = p(\Gamma \vdash \neg A\Delta)$ ;
- (g)  $p(\Gamma AB \vdash \Delta) = p(\Gamma A \wedge B \vdash \Delta)$ ;
- (h)  $p(\Gamma \vdash AB\Delta) = p(\Gamma \vdash A \vee B\Delta)$ ;
- (k)  $p(\Gamma A \vdash B\Delta) = p(\Gamma \vdash A \rightarrow B\Delta)$ .

Takođe dokazujemo:

**Lema 3.** Za sve formule  $A$  i  $B$ , i sve nizove formula  $\Gamma$ ,  $\Delta$ ,  $\Pi$  i  $\Lambda$  važi:

- (a) ako  $a \leq p(\Gamma \vdash \Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\vdash A) \leq d$ , onda  $\max(a, 1-d) \leq p(\Gamma A \vdash \Delta) \leq \min(1, b+1-c)$ ;
- (b) ako  $a \leq p(\Gamma \vdash \Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\vdash A) \leq d$ , onda  $\max(a, c) \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq \min(1, b+d)$ ;

- (c) ako  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ , onda  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \wedge B\Delta) \leq \min(b, d)$ ;  
 (d) ako  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ , onda  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \vee B\Delta) \leq \min(b, d)$ ;  
 (e) ako  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ , onda  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \rightarrow B\Delta) \leq \min(b, d)$ .

Dokaz. (a) Neka je  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ . Tada važi:

$$\begin{aligned} p(\Gamma \vdash A\Delta) &= p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \rightarrow A\Delta)) = p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta)) + p(\Gamma \vdash \neg A) - p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta) \wedge \neg A) = \\ &= p(\Gamma \vdash \Delta) + 1 - p(\Gamma \vdash A) - p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta) \wedge \neg A), \text{ odnosno } \max(a, 1-d) \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq \min(1, b+1-c). \end{aligned}$$

(b) Neka je  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ . Tada važi:

$$\begin{aligned} p(\Gamma \vdash A\Delta) &= p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \wedge A\Delta)) = p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta)) + p(\Gamma \vdash A) - p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta) \wedge A) = \\ &= p(\Gamma \vdash \Delta) + p(\Gamma \vdash A) - p(\Gamma \vdash (\neg(\wedge \Gamma) \Delta) \wedge A), \text{ odnosno } \max(a, c) \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq \min(1, b+d). \end{aligned}$$

(c) Pretpostavimo da važe nejednakostia  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ . Tada

$$\begin{aligned} p(\Gamma \vdash (A \wedge B)\Delta) &= p(\Gamma \vdash (A \wedge B)\Delta \neg(\wedge \Gamma)) = p(\Gamma \vdash (A \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma)) \wedge (B \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma))) = \\ &= p(\Gamma \vdash A \Delta \neg(\wedge \Gamma)) + p(\Gamma \vdash B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) - p(\Gamma \vdash A \wedge B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) = \\ &= p(\Gamma \vdash A \Delta) + p(\Gamma \vdash B \Delta) - p(\Gamma \vdash A \wedge B \Delta \neg(\wedge \Gamma)), \end{aligned}$$

odakle zaključujemo da je  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \wedge B\Delta) \leq \min(b, d)$ .

(d) Pretpostavimo da važia  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ . Tada

$$\begin{aligned} p(\Gamma \vdash (A \vee B)\Delta) &= p(\Gamma \vdash (\neg A \wedge \neg B)\Delta \neg(\wedge \Gamma)) = \\ &= p(\Gamma \vdash (\neg A \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma)) \wedge (\neg B \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma))) = \\ &= p(\Gamma \vdash \neg A \Delta \neg(\wedge \Gamma)) + p(\Gamma \vdash \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) - p(\Gamma \vdash \neg A \wedge \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) = \\ &= p(\Gamma \vdash A\Delta) + p(\Gamma \vdash B\Delta) - p(\Gamma \vdash \neg A \wedge \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) \end{aligned}$$

Dakle,  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \vee B\Delta) \leq \min(b, d)$ .

(e) Pretpostavimo da važia  $a \leq p(\Gamma \vdash A\Delta) \leq b$  i  $c \leq p(\Gamma \vdash B\Delta) \leq d$ . Tada

$$\begin{aligned} p(\Gamma \vdash (A \rightarrow B)\Delta) &= p(\Gamma \vdash (A \wedge \neg B)\Delta \neg(\wedge \Gamma)) = \\ &= p(\Gamma \vdash (A \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma)) \wedge (\neg B \vee \Delta \vee \neg(\wedge \Gamma))) = \\ &= p(\Gamma \vdash A \Delta \neg(\wedge \Gamma)) + p(\Gamma \vdash \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) - p(\Gamma \vdash A \wedge \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) = \\ &= p(\Gamma \vdash A\Delta) + p(\Gamma \vdash \neg B\Delta) - p(\Gamma \vdash A \wedge \neg B \Delta \neg(\wedge \Gamma)) \end{aligned}$$

Dakle,  $\max(0, a+c-1) \leq p(\Gamma \vdash A \rightarrow B\Delta) \leq \min(b, d)$ .  $\square$

Bez dokaza navodimo i sledeće tvrđenje koje se odnosi na moguće varijante pravila sečenja.

**Lema 4.** Neka je  $p(\Gamma \vdash A) = a$ ,  $p(\Gamma \vdash B) = b$ ,  $p(\Gamma \vdash C) = c$ ,  $p(A \vdash B) = r$  i  $p(B \vdash C) = s$ , pod uslovoma  $r \geq 1$ . Tada:

- (a) (Hailperin 1984) (verovatnosna verzija pravilamodus ponens)  $a+r-1 \leq p(\Gamma \vdash B) \leq r$   
 (b) (Wagner 2004) (verovatnosna verzija pravilamodus tollens)  $b+r-1 \leq p(A \vdash C) \leq r$   
 (c) (M. Boričić 2012a) (verovatnosna verzija pravilahipotetičkog silogizma)  $\max(1-a, b) + \max(1-b, c) - 1 \leq p(A \vdash C) \leq 2-a-b+c$   
 (d) (Boričić 2012a) (verovatnosna verzija pravilahipotetičkog silogizma)  $\max(r-a, r+s-1) \leq p(A \vdash C) \leq \min(s+1-a, r+c)$

Granice date u delovima (a), (b), (c) i (d) ovog tvrđenja su najbolje moguće.

### 3. ZAKLJUČAK

Mada je koncept verovatnosnih logika prisutan već u prvim radovima savremene logike čije korene vezujemo za redove G. Boole-a i J. Venn-a, isti nije, sve do pred kraj prošlog veka, nije izvršio bitniji uticaj na razvoj metoda aproksimativnog zaključivanja. U našem radu, u procesu prilagođavanja definicije verovatnoće jednog iskaza u sistemu klasične logike, po idejama Carnap-a, Popper-a i Leblanc-a, kontekstu Gentzen-ovog računa sekvenata, dokazali smo niz pomoćnih tvrđenja koja obezbeđuju saglasnost dobijene definicije sa svim aksiomama, strukturnim i logičkim pravilima izvođenja originalnog računa LK. Ovakva definicija omogućava, u sledećim koracima, uvođenje odgovarajućeg kanonskog modela, usvajanje prirodnog koncepta neprotivrečne teorije, definisanje zasićene teorije i, konačno, dokazivanje stava potpunosti, koji bi opravdao ovakvu semantičku konstrukciju.

## LITERATURA

- [1] Boričić, M. (2012). Hypothetical syllogism rule probabilized, *Bulletin of Symbolic Logic. Logic Colloquium 2012*, University of Manchester, 12th-18th July 2012.
- [2] Boričić, M. (2012). Probabilistic logic as a labelled deductive system. Друга национална konferencija «Вероватносне логике и њихове примене», Математички институт САНУ, Београд, 27. и 28. септембар 2012, 38-39.
- [3] Boričić, M. (2012). On probabilistic inference rules. 50 Years of Seminar for Analysis and Foundations of Mathematics –International Conference Mathematical Logic and General Topology, September 5-8, Novi Sad, 12-13.
- [4] Boričić, M. (2013). On definition of consistency in a probabilistic sequent calculus, Трећа национална конференција «Вероватносне логике и њихове примене», Математички институт САНУ, Београд, 26. септембар 2013, 14.
- [5] Boričić, M. & Jovović, M. (2011). Verovatnosne verzije osnovnih pravila izvođenja, XXXVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2011), *Zbornik radova*, 739-741.
- [6] Carnap, R. (1950). *Logical Foundations of Probability*, University of Chicago Press, Chicago.
- [7] Gentzen, G. (1969). Untersuchungen uber das logische Schliessen, *Mathematische Zeitschrift* 39 (1934-35), 176-210, 405-431 (or G. Gentzen, *Collected Papers*, (ed. M. E. Szabo), North-Holland, Amsterdam.
- [8] Hailperin, T. (1965). Best possible inequalities for the probability logical function of events, *American Mathematical Monthly* 72, 343-359.
- [9] Hailperin, T. (1984). Probability logic, *Notre Dame Journal of Formal Logic* 25, 198-212.
- [10] Leblanc, H. (1982). Popper's 1955 axiomatization of absolute probability, *Pacific Philosophical Quarterly* 69, 133-145.
- [11] Leblanc, H. (1983). Probability functions and their assumption sets - the singulary case, *Journal of Philosophical Logic* 12, 382-402.
- [12] Leblanc, H. & Van Fraassen, B. C. (1979). On Carnap and Popper probability functions, *The Journal of Symbolic Logic* 44, 369-373.
- [13] Ognjanović, Z., Rašković, M. & Marković, Z. (2009). Probability logics, u Z. Ognjanović (editor), *Logic in Computer Science*, *Zbornik radova* 12 (20), Mathematical Institute SANU, Belgrade, 35-111.
- [14] Popper, K.R. (1955). Two autonomous axiom systems for the calculus of probabilities. *The British Journal for the Philosophy of Science* 6, 51-57, 176, 351.
- [15] Wagner, C. G. (2004). Modus tollens probabilized, *British Journal for the Philosophy of Science* 54(4), 747-753.



## TESTIRANJE KONZISTENTNOSTI VREMENSKI HOMOGENIH MARKOVLJEVSKIH MODELA ZA CENE AKCIJA SA KONKRETNIM PODACIMA

## TESTING CONSISTENCY OF TIME-HOMOGENEOUS MARKOV MODELS FOR STOCK PRICES WITH CONCRETE DATA

VLADIMIR BOZIN<sup>1</sup>, VALENTINA LEKIC<sup>2</sup> BOJANA MILOSEVIC<sup>1</sup> MARKO OBRADOVIC<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, {bozin, marcone, bojana}@matf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Srednja Ugostiteljsko turistička škola, Beograd, vlekic@gmail.com

**Rezime:** U ovom radu na osnovu goog podataka za cene opcija izvršena je analiza, kako bi se utvrdilo da li su oni u skladu sa vremenski homogenim Markovljevim modelom za cene akcija na berzi. Rezultati su pokazali da to nije slučaj i da očekivana stepena veza između modula karakterističnih funkcija ne važi.

**Ključne reči:** modeliranje, stohastički procesi, cene opcija, finansijsko modeliranje.

**Abstract:** In this paper, based on data for goog option prices, analysis was performed in order to determine whether they are consistent with time-homogeneous Markov model for the price of shares on the stock exchange. The results showed that this was not the case and that the expected power law connecting modules of characteristic functions does not hold.

**Keywords:** modeling, stochastic processes, option pricing, financial modeling.

### 1. UVOD

Modeliranje cena akcija na berzi je veoma važan problem u današnjem turbulentnom poslovnom okruženju. Postoji puno modela za modeliranje akcija. Prvi model koji se koristio za rešavanje ovih problema je Black Scholes model (Black and Scholes 1973). Black-Sholes model je jedan od najvažnijih koncepata u modernoj finansijskoj teoriji. Njega su razvili 1973.godine Fisher Black, Robert Merton i Myron Sholes. Još uvek se naširoko koristi i smatra se jednim od najboljih načina za određivanje cene opcija. Pri dokazivanju Black-Scholes formule koja predstavlja jedan od važnijih matematičkih rezultata u vezi sa finansijskim tržištima koristi se Itoova formula (Steele 2001) uz stohastičke diferencijalne jednačine. Zbog velikog značaja ove formule, 1997. godine Majron Scholes i Robert Merton dobili su Nobelovu nagradu.

Postoje brojne varijante Black-Sholes modela među kojima je veoma često korišćen Hestonov model, Binomni model, Bašljejev model itd.

Model varijacije cena ili finansijskih instrumenata kao što su akcije koje mogu da se koriste da odrede cenu evropske call opcije pretpostavlja da cena sredstava kojima se dosta trguje prati geometrijsko Braunovo kretanje sa konstantnim driftom i volatilnosti. Kada se primenjuje na akcije, model u sebi sadrži konstantnu varijaciju cena akcija, vrednost novca u vremenu, početnu cenu (strike) i vreme do isteka opcije.

Cilj ovog rada je testiranje da li su podaci cena opcija u skladu sa vremenski homogenim Markovljevim modelom za akcije. To smo proverili Furijeovom analizom odnosno analizom karakterističnih funkcija i pokazali da to ne važi.

### 2. VEZA IZMEĐU CENA OPCIIJA I FUNKCIJE RASPODELE

U opštem slučaju akcije rastu zbog tržišne kamatne stope. Međutim zbog jednostavnijeg računa, pretpostavićemo da je kamatna stopa  $r$  jednaka nuli.

Uvešćemo sledeće oznake: neka je  $C(K, S_0, T)$  cena evropske call opcije gde je  $K$ -ugovorena cena (strike),  $S_0$ -početna cena akcija i  $T$ -vreme dospeća opcije.

Pretpostavimo da je  $\varphi_{S_0}(S, T)$  funkcija gustine slučajne veličine  $S_t$ .

Ukoliko se radi o Black-Scholes modelu funkcija raspodele je

$$\varphi(X, T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\log\frac{X}{S_0} - \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T\right)^2}{2\sigma^2 T}} \cdot \frac{1}{X\sigma\sqrt{T}}$$

$(S - K)^+$  je profit u trenutku T, pa je zato cena opcije jednaka očekivanoj vrednosti profita:

$$C(K) = E((S - K)^+) = \int_0^{\infty} (x - K)^+ \varphi(x) dx$$

$$= \int_K^{\infty} (x - K) \varphi(x) dx$$

$$= \int_K^{\infty} x \varphi(x) dx - K \int_K^{\infty} \varphi(x) dx, \text{ jer je}$$

$$(x - K)^+ = \begin{cases} x - K, & x > K \\ 0, & x < K \end{cases}.$$

Specijalno, može da se dobije Black-Scholes formula da je raspodela tako podešena da je  $S_t$  martingal i da ima log-normalnu raspodelu pri uslovima:

1. raspodela će biti centrirana ako je početna vrednost  $S_0$ , biće:

$$E(S_t) = S_0$$

2.  $\log(S_t)$  ima normalnu raspodelu sa parametrima  $\mu$  i  $\sigma\sqrt{T}$ , odabrano tako da je očekivanje  $E(S_t) = S_0$ . Ispitajmo kada se dobija uslov  $E(S_t) = S_0$ .

Neka promena logaritma ima normalnu raspodelu od trenutka 0 do trenutka T,  $\log S_T - \log S_0$  ima normalnu raspodelu sa parametrima  $\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T$  i  $\sigma^2 T$ .

$$\log \frac{S_T}{S_0} \sim \mathcal{N}\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2 T\right)$$

$$\log S_T - \log S_0 \sim \mathcal{N}\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2 T\right)$$

$$\log S_T \sim \mathcal{N}\left(\underbrace{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \log S_0}_{\mu_1}, \underbrace{\sigma^2 T}_{\sigma_1^2}\right)$$

$$ES_T = e^{\mu_1 + \frac{\sigma_1^2}{2}} = e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T} \cdot S_0 \cdot e^{\frac{\sigma^2 T}{2}} = S_0$$

odakle sledi da je:

$$e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \frac{\sigma^2 T}{2}} = 1 = e^0$$

$$T \cdot \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} + \frac{\sigma^2}{2}\right) = 0$$

odakle sledi da je

$$\mu = 0.$$

Zbog toga

$$\log \frac{S_T}{S_0} \sim \mathcal{N} \left( -\frac{\sigma^2}{2} T, \sigma^2 T \right).$$

S obzirom na to da želimo da odredimo funkciju gustine diferenciramo cenu akcije po K:

$$C(K) = \int_K^{\infty} x\varphi(x)dx - K \int_K^{\infty} \varphi(x)dx$$

$$\frac{\partial}{\partial K} C(K) = \frac{\partial}{\partial K} \int_K^{\infty} x\varphi(x)dx - \frac{\partial}{\partial K} \left( K \int_K^{\infty} \varphi(x)dx \right)$$

$$= -\varphi(K)K - \int_K^{\infty} \varphi(x)dx + K\varphi(K)$$

$$= - \int_K^{\infty} \varphi(x)dx. \quad (2.1)$$

Ukoliko ponovimo postupak – još jedanput diferenciramo po K, dobijamo sledeće:

$$\frac{\partial^2}{\partial K^2} C(K) = \frac{\partial}{\partial K} \left( - \int_K^{\infty} \varphi(x)dx \right) = \varphi(K) \quad (2.2)$$

Na ovaj način vidimo kako možemo na osnovu vrednosti cena opcija dobiti funkciju raspodele cena akcija u datom trenutku. Ova veza poznata je u literaturi još od 70-tih godina.

### 3. TESTIRANJE MARKOVLJEVOG SVOJSTVA NA KONKRETNIM PODACIMA KORIŠĆENJEM FUNKCIJE TRANSFORMACIJE I ANALIZA KONVOLUCIONOG PONAŠANJA DISTRIBUCIJE VEROVATNOĆE

#### 3.1 Primena Furijeovih transformacija u računanju cena opcija

Sistem cena može biti predstavljen skupom digitalnih opcija u svakom trenutku  $t$  i cena te digitalne opcije ustvari diskontovana vrednost funkcije raspodele verovatnoća. Svakoј funkciji raspodele odgovara tačno jedna karakteristična funkcija, u Furijeovoj analizi sistem cena je jedinstveno određen karakterističnim funkcijama.

Da li je cena akcije vremenski homogen Markovljev proces koji ima “svojstvo logaritamske translacije”, gde to svojstvo predstavlja verovatnoću da se za dato vreme  $t$  akcija uveća određeni broj puta?

Pretpostavićemo da je proces vremenski homogen, tj. da ne zavisi od  $t$ . Ako imamo raspodelu verovatnoća za cenu akcija, onda važi da je:

$$p(l_1 \leq \log S(t + \Delta t) \leq l_o | \log S(t) = l_o) = d_2 l f(\Delta t, l_1 - l_o),$$

gde je  $l_1 - l_o$  logaritamski skok cene akcije, a  $\Delta t$  je period.

Imamo funkciju  $l$  gustine verovatnoće gde je  $\Delta t$  parametar:

$$f(\Delta t, l) = f_{\Delta t}(l) \text{ (za svako } \Delta t \text{ imamo raspodelu u zavisnosti od } l \text{)}.$$

Ovo je funkcija dve promenljive koja ima svojstva:

$$f_{\Delta t_1 + \Delta t_2} = f_{\Delta t_1} * f_{\Delta t_2} \text{ (svojstvo konvolucije zbog Markovljevog procesa).}$$

Kako se to koristi?

Označimo  $\log S(t) = l(t)$ . Uslov verovatnoće da je

$$p(l_2 \leq l(t + \Delta t_1 + \Delta t_2) \leq l_2 + dl | l(t) = l_o)$$



je ustvari verovatnoća prelaska iz jednog u drugo stanje i ona je jednaka

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(l_2 \leq l(t + \Delta t_1 + \Delta t_2) \leq l_2 + dl | l(t + \Delta t_1) = l_1) \cdot p(l_1 \leq l(t + \Delta t_1) \leq l_1 + dl | l(t) = l_0) \\ = \int_{-\infty}^{\infty} f(\Delta t_2, l_2 - l_1) dl \cdot f(\Delta t_1, l_1 - l_0) dl_1 = f(\Delta t_1 + \Delta t_2, l_2 - l_0) dl.$$

Kada skratimo  $dl$  dobijamo:

$$f_{\Delta t_1 + \Delta t_2}(l_2 - l_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\Delta t_1}(l_2 - l_1) f_{\Delta t_2}(l_1 - l_0) dl_1,$$

i ako uvedemo smenu  $x = l_1 - l_0$ , onda je

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_{\Delta t_1}(l_2 - l_0 - x) f_{\Delta t_2}(x) dx = f_{\Delta t_1} * f_{\Delta t_2} \text{ (konvolucija)}$$

Kada se uradi Furijeova transformacija:

$$\hat{f}_{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \widehat{f_{\Delta t_1} * f_{\Delta t_2}}, \text{ tj.}$$

$$\hat{f}_{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \hat{f}_{\Delta t_1} \cdot \hat{f}_{\Delta t_2}$$

Ako je  $f_1(l)$  predstavlja gustinu raspodele za 1 dan onda će za  $n$  dana biti

$$\hat{f}_n = \hat{f}_1^n$$

i ako imamo

$$\hat{f}_m = \hat{f}_1^n,$$

onda je

$$\hat{f}_n = \hat{f}_m^{\frac{m}{n}} \quad (3.1.1)$$

i to treba da se proveriti.

Očekujemo da će bar važiti apsolutna vrednost

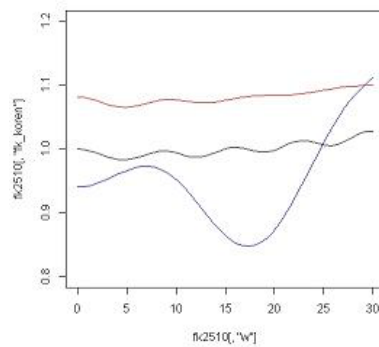
$$|\hat{f}_n| = |\hat{f}_m|^{\frac{m}{n}} \quad (3.1.2)$$

### 3.2. Testiranje Markovljevog svojstva na konkretnim podacima

Cilj ovog rada je bio da prvo nađemo  $f_{n1}, f_{n2}, f_{n3}$  i proverimo da li važi ova stepena veza (3.1.2). Zanima nas funkcija raspodele implicirana sa  $F_{n1}, F_{n2}, F_{n3}$ . Do tih funkcija raspodele dolazimo na osnovu četvrtog poglavlja preko numeričkih diferenciranja cene opcija gde je  $F$  dobijena procenom na osnovu podataka korišćenjem formule (2.1).

Podaci koji su korišćeni u ovom testiranju su preuzeti sa sajta [http://www.google.com/finance/option\\_chain?q=NASDAQ%3AGOOG&ei=yXJBURirI-3DwAOyDw](http://www.google.com/finance/option_chain?q=NASDAQ%3AGOOG&ei=yXJBURirI-3DwAOyDw), od 5. oktobra 2013. godine. Posmatrane su vrednosti strike cena (ugovorenih cena) i ask cena (cena koju je kupac spreman da plati). Funkcija koja je procenjena Furijeovim koeficijentima dobijena je na sledeći način: vrednosti funkcije koje se čitaju na y-osi su dobijene kao razlike dve uzastopne strike cene, a tačke na x-osi su dobijene kao logaritmi od srednje vrednosti dva uzastopna strike-a. Na taj način smo dobili funkciju koja je definisana u određenim tačkama i njen grafik je procenjen Furijeovim koeficijentima i normom na osnovu numeričke integracije. Izračunati su integrali korišćenjem implicirane funkcije raspodele metodom parcijalne integracije, a numerički integral je izračunat metodom trapeza. Program i slika koji su prikazani

predstavljaju normu Furijeovih koeficijenata koji odovaraju  $|f(w)|\sqrt{2\pi}$  za tri datuma dospeća: 25.10.2013, 16.11.2013 i 21.12.2013. Program je napisan u programskom jeziku R. Listing programa se nalazi u dodatku.



Slika predtavlja funkciju norme Furijeovih koeficijenata, preciznije  $|f(w)|\sqrt{2\pi}$  za  $0 < w < 30$ . Maksimalna vrednost 30 je određena tako da se u svako periodu odgovarajuće trigonometrijske funkcije nalazi bar 10 tačaka pri numeričkoj integraciji.

Plavi grafik označava procenjenju funkciju norme za datum dospeća 25.10.2013.godine, crveni grafik označava procenjenju funkciju norme za datum dospeća 16.11.2013.godine i crni grafik označava procenjenju funkciju norme za datum dospeća 21.12.2013.godine.

Talasasti oblik funkcije norme je moguće da je posledica primene jednostavne trapezne formule prilikom integracije.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz ovih grafika se vidi da funkcije nisu u skladu sa vremenski homogenim Markovljevim procesom, tj. da na ovom uzorku ne može da se vidi stepena veza (3.1.2) između ove tri funkcije. Da se opcije računaju po Black-Scholes formuli to svojstvo bi važilo, međutim mnogo realističniji modeli poput Hestonovog koji imaju promenljivi parametar volatilnosti nisu u skladu sa vremenski homogenim Markovljevim procesom.

#### LITERATURA

- [1] Black, F., Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. The Journal of Political Economy.
- [2] Cherubini, U., Della Lunga, G., Mulinacci, S., Rossi, P. (2010). Fourier transform methods in finance, John Wiley and sons.
- [3] Heston, S. L. (1990). Testing Continuous Time Models of the Term Structure of Interest Rates. Ph.D. Dissertation, Carnegie Mellon University Graduate School of Industrial Administration.
- [4] Karatzas I., Steven S. (1988). Brownian Motion and Stochastic Calculus, Springer, New York.
- [5] Michael Steele, J. (2001). Stochastic Calculus and Financial Applications, United States of America.
- [6] Protter, P.E. (2005). Stochastic Integration and Differential Equations, second edition, Version 2.1, Springer.
- [7] Schweizer, M. (2012). Lecture notes, Brownian Motion and Stochastic Calculus, ETH Zurich.
- [8] Steven, S. (2004). Stochastic Calculus in Finance II, Continuous-Time Models, Springer, London
- [9] Wilmott, P., Howison, S., Dewynne, J. (1995). The Mathematics of Financial Derivatives – A Student Introduction, Cambridge University Press.

## STATISTICAL ANALYSIS OF EUROPEAN HEALTHCARE SYSTEMS: COMPARISON OVER TIME

MARINA DOBROTA<sup>1</sup>, MILICA BULAJIĆ<sup>1</sup>, VELJKO JEREMIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, dobrot.marina@fon.bg.ac.rs

**Abstract:** *This paper describes the possibilities of improving the measurement and evaluation of healthcare systems, and their comparison over time. Evaluation of healthcare systems is performed using the statistical I-distance method. Method is applied on the set of indicators, originally published within the EHCI index. The paper strives to point to the possibilities of improving the original measurement process, as well as to indicate to the progress or regression of individual healthcare systems.*

**Keywords:** *Healthcare systems, I-distance method, evaluation, ranking.*

### 1. INTRODUCTION

The topics of health, global health as the public health of populations in a global context, and the healthcare systems will always be important, significant, and compelling (Dobrota et al. 2014). Since the term of the healthcare system has been defined more and more initiatives have been taken at the international and national levels in order to strengthen national healthcare systems as the core components of the global health (WHO, 2014).

With the development of nations, comparisons of healthcare systems have been made on an international basis. Still, direct comparisons of health statistics across nations are quite complex. The World Health Organization (WHO, 2014) has thus provided a ranking of health systems around the world according to criteria of the overall level and distribution of health in the populations. Healthcare systems have attracted a significant amount of researchers' attention (Kringos et al. 2013, Smith 2013, Parkhomenko 2013, Schnitzer et al. 2013), especially regarding their economic impact and their efficiency (Hadad et al. 2013). Thus, Lima de Freitas and da Silva (2013) argue that they have a large impact on optimal economic growth. Some countries invest a large amounts of money in their health (Blank 2012), and until today, they have already entered the healthcare systems transformation process (Blank 2012, Lin 2012, Steel and Morris 2013). The fact is that a good healthcare system delivers quality services to all people, when and where they need them.

One of the most popular healthcare systems methodologies is the Euro Health Consumer Index (EHCI), created in 2005. It consists of six indicators, and their sub-disciplines, and is described in detail in the next section. Mathematical modeling of healthcare systems and e-health has always been a common topic (Zaitseva and Rusin 2012, Milenkovic et al. 2012, Grigoroudis and Phillis 2013, Hadad et al. 2013, Adeyemi et al. 2013). The main limitation of the EHCI methodology is the fact that the weights assigned to each of these indicators are biased weights, as comprehended by experts who participated in ECHI construction (Dobrota et al. 2014).

This paper uses the I-distance method, which creates the synthesized multi-criteria indicator that does not imply the biased weights proposed by experts, but is based on the multi-criteria distances between entities instead. It also provides the comparison of healthcare systems progress or regression over time.

### 2. METHODS

#### 2.1. ECHI

The Euro Health Consumer Index (EHCI) is the study made on European healthcare systems, which takes consumer and patient perspectives in consideration (Dobrota et al. 2014). The EHCI is published by the Health Consumer Powerhouse (HCP, 2013), which offers reality checks for policy makers, empowerment to patients and consumers and an opportunity for stakeholders to highlight weak and strong aspects of healthcare (EHCI, 2013). The HCP has become a center for visions and action promoting consumer-related healthcare in Europe. It monitors and compares healthcare systems among 35 countries, including all EU member states as well as Canada, providing guidance to patients and citizens and reality checks to

governments. In 2005, the HCP launched its first EHCI, which provides country policy recommendations for improvement, advising governments and healthcare systems on how to improve performance and strengthen the position of the healthcare consumer. Last year's edition of Euro Health Consumer Index covers 48 healthcare performance indicators for 35 countries (EHCI, 2013).

The EHCI is built up with indicators grouped in six sub-disciplines. The aim has been to select a limited number of indicators, within a definite number of evaluation areas, which in combination can present a telling tale of how the healthcare consumer is being served by the respective systems. The ECHI 2013 sub-disciplines are given in Table 1:

**Table 1:** Sub-discipline weights

Sub discipline	Relative weight (max 1000)	Points for a green score in each sub-discipline
Patient rights and information	150	12.5
Accessibility/Waiting time for treatment	225	37.5
Outcomes	250	35.71
Range and reach of services (“Generosity”)	150	18.75
Prevention	125	15.63
Pharmaceuticals	100	14.29

The performance of the respective national healthcare systems were graded on a three-grade scale for each indicator, where the grades have the rather obvious meaning of *green* equals good, *amber* equals medium, and *red* equals not-so-good. A green score earns 3 points, an amber score 2 points and a red score (or a *not available, n.a.*) earns 1 point. In 2013, a *purple* score, earning 0 points, was introduced for particularly abominable results. It has been exclusively applied on indicator *Abortion rates* for countries not giving women the right to abortion (Dobrota et al. 2014).

## 2.2. I-distance

The common case with different ranking methods is that their bias and subjectivity can affect the measurements and evaluation (Dobrota et al. 2014). This problem can somewhat be surpassed using the I-distance method, a metric distance in an n-dimensional space, which has recently made a significant breakthrough (Radojicic and Jeremic 2012, Jeremic et al. 2012, Dobrota et al. 2012, Jeremic et al. 2013a, Jeremic et al. 2013b). It was originally defined by professor Branislav Ivanovic (Ivanovic 1973, Ivanovic and Fanchette 1973), who devised this method to rank countries according to their level of development based on several indicators, where the main issue was how to use all of them in order to calculate a single synthetic indicator, which will thereafter represent the rank.

For a selected set of variables  $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  chosen to characterize the entities, the I-distance between the two entities  $e_r = (x_{1r}, x_{2r}, \dots, x_{kr})$  and  $e_s = (x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{ks})$  is defined as

$$D(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, s)|}{\sigma_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ji.12\dots j-1}) \quad (1)$$

where  $d_i(r, s) = x_{ip} - x_{is}$   $i \in \{1, \dots, k\}$  is the distance between the values of variable  $X_i$  for  $e_r$  and  $e_s$ , e.g. the discriminate effect,  $\sigma_i$  the standard deviation of  $X_i$ , and  $r_{ji.12\dots j-1}$  is a partial coefficient of the correlation between  $X_i$  and  $X_j$ , ( $j < i$ ) (Ivanovic 1973, Ivanovic 1977).

In order to surpass the problem of negative coefficient of partial correlation, which can occur when it is not possible to achieve the same sign mark for all variables in all sets, it is suitable to use the square I-distance. It is given as:

$$D^2(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{d_i^2(r, s)}{\sigma_i^2} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ji.12\dots j-1}^2) \quad (2)$$

The I-distance measurement is based on calculating the mutual distances between the entities being processed, whereupon they are compared to one another, so as to create a rank. It is necessary to fix one entity as a referent in the observing set using the I-distance methodology. The ranking of entities in the set is based on the calculated distance from the referent entity.

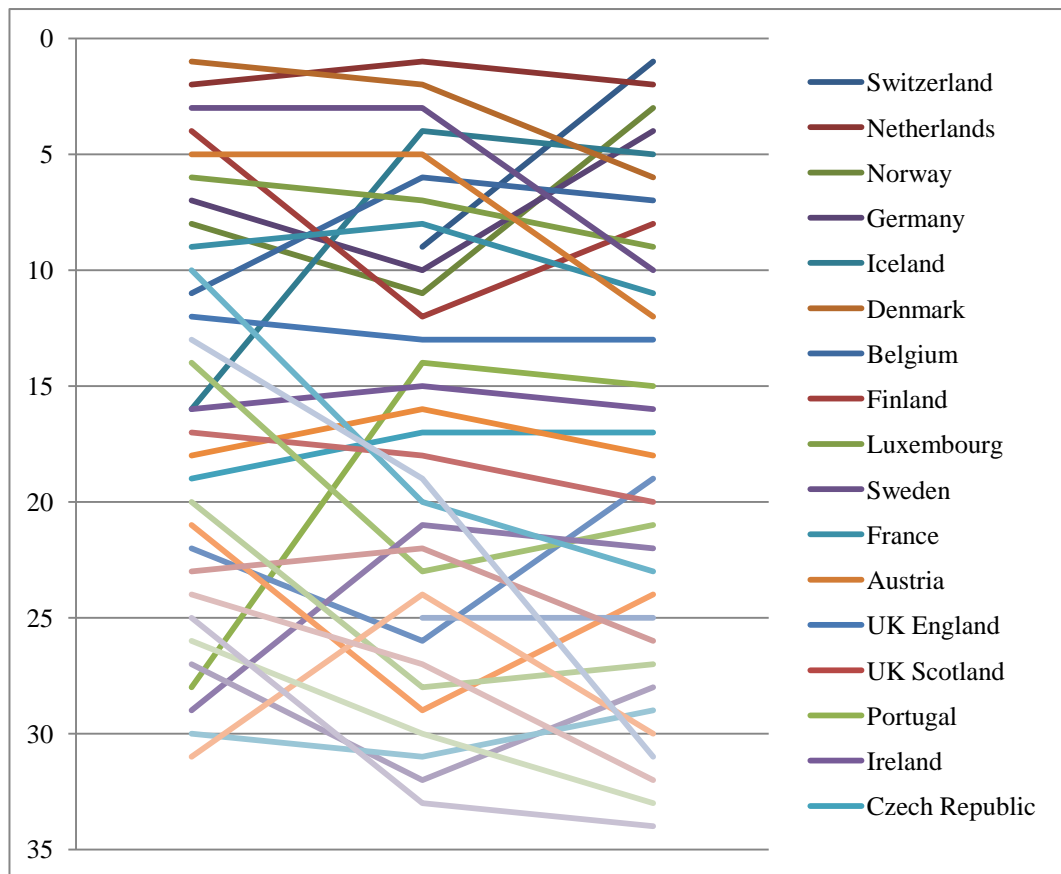
### 3. RESULTS

Table 2 gives the results of the measuring and evaluation of healthcare systems using the I-distance method and their comparison over time. In order to make the significant comparison, we examined the results in 2008 and 2009, as well as 2013. As can be seen from Table 2, Switzerland obtained the best score in 2013.

**Table 2:** Evaluation of healthcare systems and their comparison over time

Country	2008		2009		2013	
	I-distance Score	I-distance Rank	I-distance Score	I-distance Rank	I-distance Score	I-distance Rank
Switzerland			23.654	9	35.560	1
Netherlands	43.564	2	41.591	1	34.810	2
Norway	24.680	8	22.786	11	31.490	3
Germany	26.165	7	23.452	10	29.910	4
Iceland	16.489	16	28.468	4	29.350	5
Denmark	45.017	1	39.003	2	28.680	6
Belgium	20.701	11	27.828	6	28.020	7
Finland	31.336	4	22.498	12	27.010	8
Luxembourg	30.061	6	27.713	7	26.700	9
Sweden	32.115	3	28.925	3	26.030	10
France	22.307	9	24.750	8	24.800	11
Austria	30.887	5	27.923	5	22.820	12
UK England	19.409	12	22.399	13	19.370	13
UK Scotland					18.380	14
Portugal	5.411	28	17.938	14	17.490	15
Ireland	16.489	16	17.080	15	16.980	16
Czech Republic	15.084	19	16.327	17	15.050	17
Slovenia	15.526	18	16.675	16	14.680	18
Slovakia	9.034	22	8.217	26	14.370	19
Spain	16.068	17	14.060	18	13.830	20
Italy	16.823	14	10.797	23	13.600	21
Croatia	4.927	29	12.579	21	11.250	22
Estonia	20.949	10	13.293	20	10.510	23
Lithuania	14.320	21	6.475	29	9.240	24
Albania			9.559	25	8.160	25
Cyprus	8.624	23	11.710	22	7.720	26
Greece	14.367	20	6.759	28	6.780	27
Bulgaria	6.032	27	2.522	32	6.090	28
Latvia	4.905	30	2.778	31	5.500	29
FYR Macedonia	4.057	31	10.500	24	5.390	30
Hungary	18.753	13	13.453	19	5.070	31
Malta	7.437	24	7.219	27	4.920	32
Poland	6.731	26	6.416	30	3.660	33
Romania	7.136	25	2.228	33	2.360	34
Serbia					2.200	35

Top five countries in 2013 are Switzerland, Netherlands, Norway, Germany and Iceland. Some of these countries as Switzerland, Norway, and Germany, have significantly improved their ranking positions. Hungary, Malta, Poland, Romania and Serbia are the worst positioned countries. Romanian result for example has drastically fallen since 2008. Serbia was introduced in the ranking process since 2013. Changes in ranking are given in Figure 1.



**Figure 1: Healthcare systems ranks**

Table 3 presents the differences in the input indicators significance.

**Table 3: Importance of input indicators**

Sub discipline	2008	2009	2013
Outcomes	0.277	0.217	0.905**
Range and reach of services (“Generosity”)	0.791**	0.733**	0.796**
Pharmaceuticals	0.664**	0.687**	0.758**
Patient rights and information	0.679**	0.757**	0.667**
Prevention	0.770**	0.818**	0.652**
Accessibility/Waiting time for treatment	0.725**	0.652**	0.470**

As can be seen from Table 3, the most significant indicator for ranking process in 2013 is *Outcomes*. This was somewhat expected and is in accordance to EHCI weights. Still, this indicator seemed to be least important in 2008 and 2009. *Accessibility/Waiting time for treatment* is the least important indicator in 2013, so its significance has drastically fallen in comparison to 2008.

#### 4. CONCLUSION

This paper provides many interesting results. Figure 1 clearly shows the large breakthrough of Switzerland, from position 9 to the first position in the results of last year. Netherlands is still in the top of the list as it was couple of years ago. European healthcare generally continues to improve, even though medical outcomes statistics is still appallingly poor in many countries.

Differences in the position of input indicators are also very interesting to comment. For example, indicator *Prevention* has been important in the evaluation process in 2008 and 2009, while in 2013, its significance has decreased. This is probably due to the fact that all the countries have prospered in the terms of prevention in the topics of health.

The evaluation of healthcare systems is of crucial importance for patients, government, and other stakeholders. The main contribution of this paper is indicating on certain flows in healthcare systems progress, which is of the great importance to all the health stakeholders.

## REFERENCES

- [1] Adeyemi, S., Demir, E. & Chausalet, T. (2013). Towards an evidence-based decision making healthcare system management: Modelling patient pathways to improve clinical outcomes. *Decision Support Systems*, 55(1), 117-125. doi:10.1016/j.dss.2012.12.039
- [2] Blank, R.H. (2012). Transformation of the US Healthcare System: Why is change so difficult? *Current Sociology*, 60(4), 415-426. doi:10.1177/0011392112438327
- [3] Dobrota, M., Jeremic, V. & Markovic, A. (2012). A new perspective on the ICT Development Index. *Information Development*, 28(4), doi:10.1177/0266666912446497
- [4] Dobrota, M., Stefanovic, M. & Bulajic, M. (2014). Upgrading the EHCI Index: A Statistical Approach. *Proceedings of the XIV International Symposium „New Business Models and Sustainable Competitiveness“ (SymOrg 2014)*, compact disc, June 6-10, Zlatibor, Serbia.
- [5] EHCI (2013). *Euro Health Consumer Index 2013*. Retrieved on March 15<sup>th</sup>, from <http://www.healthpowerhouse.com/files/ehci-2013/ehci-2013-report.pdf>
- [6] Grigoroudis, E. & Phillis, Y.A. (2013). Modeling Healthcare System-of-Systems: A Mathematical Programming Approach. *IEEE Systems Journal*, 7(4), 571-580. doi:10.1109/JSYST.2013.2251984
- [7] Hadad, S., Hadad, Y. & Simon-Tuval, T. (2013). Determinants of healthcare system's efficiency in OECD countries. *European Journal of Health Economics*, 14(2), 253-265. doi:10.1007/s10198-011-0366-3
- [8] HCP (2013). *Health Consumer Powerhouse*. <http://www.healthpowerhouse.com/>
- [9] Ivanovic, B. (1973). *A method of establishing a list of development indicators*. Paris: United Nations educational, scientific and cultural organization.
- [10] Ivanovic, B. (1977). *Classification Theory*. Belgrade: Institute for Industrial Economic.
- [11] Ivanovic, B. & Fanchette, S. (1973). *Grouping and ranking of 30 countries of Sub-Saharan Africa, Two distance-based methods compared*. Paris: United Nations educational, scientific and cultural organization.
- [12] Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D. & Radojicic, Z. (2012). An Evaluation of European Countries Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16(2), 175-179.
- [13] Jeremic, V., Jovanovic-Milenkovic, M., Martic, M. & Radojicic, Z. (2013a). Excellence with Leadership: the crown indicator of SCImago Institutions Rankings IBER Report. *El Profesional de la Informacion*, 22(5), 474-480.
- [14] Jeremic, V., Zornic, N., Jovanovic-Milenkovic, M., Markovic, A. & Radojicic, Z. (2013b). Proportion of Collaborative Publications as an Ultimate Indicator of Leiden 2013 World Best Universities Rankings. *Management*, 68, 5-12. doi:10.7595/management.fon.2013.0020
- [15] Kringos, D.S., Boerma, W.G.W., van der Zee, J. & Groenewegen, P.P. (2013). Political, cultural and economic foundations of primary care in Europe. *Social Science and Medicine*, 99(SI), 9-17. doi:10.1016/j.socscimed.2013.09.017
- [16] Lima de Freitas, M.A. & da Silva, A.S. (2013). The influence of the healthcare system on optimal economic growth. *Economic Modelling*, 35, 734-742. doi:10.1016/j.econmod.2013.08.023
- [17] Lin, V. (2012). Transformations in the healthcare system in China. *Current Sociology*, 60(4), 427-440. doi:10.1177/0011392112438329
- [18] Milenkovic, M. J., Milenkovic, D. & Dobrota, M. (2012). Communication via the Web and SMS Services in the Healthcare System in the Republic of Serbia. *Actual Problems of Economics*, 138, 364-369
- [19] Parkhomenko, A. (2013). The strengths and limitations of the Ukrainian Healthcare system. *European Heart Journal*, 34(45), 3465-3466.
- [20] Radojicic, Z. & Jeremic, V. (2012). Quantity or quality: What matters more in ranking higher education institutions? *Current Science*, 103(2), 158-162.
- [21] Schnitzer, S., Grittner, U., Balke, K. & Kuhlmeier, A. (2013). Health-Care Reforms and Insurees' Preferences: A Cluster Analysis with Data from the Representative KBV Survey 2010. *Gesundheitswesen*, 75(12), 789-796. doi:10.1055/s-0033-1333728

- [22] Smith, A. (2013). Chronic Condition: Why Canada's Healthcare System Needs to be Dragged into the 21st Century. *Canadian Public Administration*, 56(4), 659-661.
- [23] Steel, K. & Morris, J.N. (2013). The Need to Reshape the Healthcare System. *Journal of The American Geriatrics Society*, 61(3), 473-474. doi:10.1111/jgs.12120
- [24] WHO (2014). *World Health Organization*. <http://www.who.int/en/>
- [25] Zaitseva, E. & Rusin, M. (2012). Healthcare System Representation and Estimation Based on Viewpoint of Reliability Analysis. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 2(1), 80-86. doi:10.1166/jmihi.2012.1067





## N-DIMENZIONALNE TABELE KONTINGENCIJE

### N-DIMENSIONAL CONTINGENCY TABLES

IVANA IVKOVIĆ<sup>1</sup>, VESNA RAJIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {ivanaivkovic, vesnac}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** U statističkoj literaturi su do sada uglavnom razmatrane trodimenzionalne tabele kontingencije. Polazeći od analize trodimenzionalnih tabela kontingencije u ovom radu će se izvršiti uopštenje na  $N$ -dimenzionalni slučaj. Definišući modele nezavisnosti, na potpuno novi način se pristupa analizi  $N$ -dimenzionalnih tabela kontingencije.

**Ključne reči:**  $N$ -dimenzionalne tabele kontingencije, Model potpune nezavisnosti, Modeli parcijalne nezavisnosti, Modeli uslovne nezavisnosti, Homogena asocijacija

**Abstract:** In statistical literature, three-dimensional contingency tables have so far mainly considered. Starting from the analysis of three-dimensional contingency tables in this paper we will make a generalization to the  $N$ -dimensional case. Defining models of independence, in a completely new way we approach the analysis of  $N$ -dimensional contingency tables.

**Keywords:**  $N$ -dimensional contingency tables, Model of complete independence, Models of partial independence, Conditional independence models, Homogeneous association

#### 1. UVOD

Tabele kontingencije nastaju klasifikacijom jedinica posmatranja prema pripadnosti kategorijama dve ili više promenljivih (Fienberg 2007). Analiza tabela kontingencije sa dve promenljive je veoma jednostavna i koristi se za ispitivanje nezavisnosti dve promenljive. Sa povećanjem broja promenljivih analiza ovih tabela postaje složena i podrazumeva ispitivanje različitih modela nezavisnosti. Ako se prilikom analize trodimenzionalnih tabela kontingencije odbaci nulta hipoteza o potpunoj nezavisnosti promenljivih, postoje sledeće dve mogućnosti: dve promenljive mogu biti zavisne, dok je treća potpuno nezavisna od njih i tada se ispituje parcijalna nezavisnost; dve promenljive su nezavisne za svaku kategoriju treće promenljive, ali svaka od njih pojedinačno može biti povezana sa trećom promenljivom, pri čemu se ispituje uslovna nezavisnost.

U ovom radu će se definisati  $N$ -dimenzionalne tabele kontingencije, po analogiji sa trodimenzionalnim tabelama. Predstaviće se osnovni simboli neophodni za definisanje  $N$ -dimenzionalnih tabela. Kod ovih tabela odbacivanjem nulte hipoteze o potpunoj nezavisnosti promenljivih, može se testirati veliki broj hipoteza o nezavisnosti i analizirati veliki broj modela. U radu će se analizirati različiti modeli nezavisnosti: model potpune nezavisnosti, modeli parcijalne nezavisnosti, modeli uslovne nezavisnosti i model jednakosti količnika unakrsnih proizvoda.

Cilj rada je uopštenje pojmova i izvođenje zaključaka za  $N$ -dimenzionalne tabele kontingencije polazeći od karakteristika tabela kontingencije sa tri dimenzije, kao i predstavljanje modela koji se koriste u analizi  $N$ -dimenzionalnih tabela kontingencije.

#### 2. SIMBOLI U $N$ -DIMENZIONALNIM TABELAMA KONTINGENCIJE

Koristeći simbole koji se navode u analizi trodimenzionalnih tabela kontingencije (videti Agresti 2002), mogu se definisati sledeći pojmovi za  $N$ -dimenzionalni slučaj:

- Tabela kontingencije se sastoji od  $I_1$  kategorija promenljive  $X_1$ ,  $I_2$  kategorija promenljive  $X_2, \dots, I_N$  kategorija promenljive  $X_N$  i kaže se da je tipa  $I_1 \times I_2 \times \dots \times I_N$ .
- Ostvarena frekvencija se obeležava sa  $n_{i_1 i_2 \dots i_N}$  za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ .
- Odgovarajuća očekivana frekvencija je  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$ , a odgovarajuća verovatnoća  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$ , za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ .

- Marginalni zbrovi ostvarenih frekvencija za jednu promenljivu su:

$$n_{i_1 \dots} = \sum_{i_2=1}^{I_2} \sum_{i_3=1}^{I_3} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_1 = 1, 2, \dots, I_1,$$

$$n_{\dots i_2 \dots} = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_3=1}^{I_3} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_2 = 1, 2, \dots, I_2,$$

$$n_{\dots \dots i_3 \dots} = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_3 = 1, 2, \dots, I_3,$$

.....

$$n_{\dots \dots \dots i_N} = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} \dots \sum_{i_{N-1}=1}^{I_{N-1}} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_N = 1, 2, \dots, I_N.$$

- Marginalni zbrovi ostvarenih frekvencija za dve promenljive (neka je prva promenljiva  $X_1$ , a analogno se definišu i ostali marginalni zbrovi) su:

$$n_{i_1 i_2 \dots} = \sum_{i_3=1}^{I_3} \sum_{i_4=1}^{I_4} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2,$$

$$n_{i_1 \dots i_3 \dots} = \sum_{i_2=1}^{I_2} \sum_{i_4=1}^{I_4} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_3 = 1, 2, \dots, I_3,$$

.....

$$n_{i_1 \dots \dots i_N} = \sum_{i_2=1}^{I_2} \sum_{i_3=1}^{I_3} \dots \sum_{i_{N-1}=1}^{I_{N-1}} n_{i_1 i_2 \dots i_N}, i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_N = 1, 2, \dots, I_N.$$

Na sličan način se definišu i marginalni zbrovi za više od dve promenljive.

- Ukupna suma ostvarenih vrednosti je:

$$n = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} n_{i_1 i_2 \dots i_N}.$$

- Koristeći prethodnu simboliku, definišu se i ocene očekivanih frekvencija i verovatnoća, u oznaci  $E_{i_1 i_2 \dots i_N}$  i  $\hat{P}_{i_1 i_2 \dots i_N}$ .

### 3. MODELI NEZAVISNOSTI

Polazeći od modela nezavisnosti u trodimenzionalnim tabelama kontingencije (videti Christensen 1990), prilikom analize  $N$ -dimenzionalnih tabela kontingencije mogu se ispitivati sledeći modeli nezavisnosti:

- sve promenljive  $X_1, X_2, \dots, X_N$  su nezavisne,
- promenljiva  $X_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) je nezavisna od preostalih  $N-1$  promenljivih, koje ne moraju biti nezavisne,
- promenljive  $X_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) i  $X_r$  ( $r = 1, 2, \dots, N$  i  $r \neq k$ ) su nezavisne za date kategorije preostalih  $N-2$  promenljivih,
- promenljive  $X_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ),  $X_r$  ( $r = 1, 2, \dots, N$  i  $r \neq k$ ) i  $X_s$  ( $s = 1, 2, \dots, N$  i  $s \neq r$  i  $s \neq k$ ) su nezavisne za date kategorije preostalih  $N-3$  promenljivih,
- $\vdots$
- promenljive  $X_1, \dots, X_{N-1}$  su nezavisne za date kategorije promenljive  $X_N$ ,
- model jednakost količnika unakrsnih proizvoda.

### 3.1. Model potpune nezavisnosti

Modelom potpune nezavisnosti promenljivih u  $N$ -dimenzionalnim tabelama kontingencije predstavlja se nezavisnost svih promenljivih  $X_1, X_2, \dots, X_N$ . Nulta hipoteza u ovom modelu se može zapisati na sledeći način:

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = p_{i_1 \dots} p_{i_2 \dots} \dots p_{i_N}, \quad (1)$$

gde  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  predstavlja verovatnoću da se jedinice posmatranja nađu u polju  $(i_1, i_2, \dots, i_N)$ , a  $p_{i_1 \dots}, p_{i_2 \dots}$  i  $p_{i_N}$  su marginalne verovatnoće promenljivih  $X_1, X_2, \dots, X_N$ . Ocena po metodu maksimalne verodostojnosti za verovatnoću  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  je:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \hat{p}_{i_1 \dots} \hat{p}_{i_2 \dots} \dots \hat{p}_{i_N} = \left( \frac{n_{i_1 \dots}}{n} \right) \left( \frac{n_{i_2 \dots}}{n} \right) \dots \left( \frac{n_{i_N}}{n} \right), \quad (2)$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Pošto je  $m_{i_1 i_2 \dots i_N} = n p_{i_1 i_2 \dots i_N}$ , ocena po metodu maksimalne verodostojnosti za očekivanu frekvenciju  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$  je:

$$E_{i_1 i_2 \dots i_N} = n \hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n_{i_1 \dots} n_{i_2 \dots} \dots n_{i_N}}{n^{N-1}}, \quad i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N. \quad (3)$$

Za testiranje nulte hipoteze (1) koristi se statistika testa:

$$\chi^2 = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} \dots \sum_{i_N=1}^{I_N} \frac{(n_{i_1 i_2 \dots i_N} - E_{i_1 i_2 \dots i_N})^2}{E_{i_1 i_2 \dots i_N}}, \quad (4)$$

koja ima aproksimativno  $\chi^2$  raspodelu sa  $I_1 I_2 \dots I_N - I_1 - I_2 - \dots - I_N + N - 1$  stepeni slobode.

### 3.2. Modeli parcijalne nezavisnosti

U analizi  $N$ -dimenzionalnih tabela kontingencije može se javiti  $N$  slučajeva nezavisnosti jedne promenljive u odnosu na preostalih  $N-1$  promenljivih. Hipoteze u modelima parcijalne nezavisnosti se mogu predstaviti na sledeći način:

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = p_{i_1 \dots} p_{i_2 i_3 \dots i_N} \quad (\text{promenljiva } X_1 \text{ je nezavisna od promenljivih } X_2, X_3, \dots, X_N), \quad (5)$$

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = p_{i_2 \dots} p_{i_1 i_3 \dots i_N} \quad (\text{promenljiva } X_2 \text{ je nezavisna od promenljivih } X_1, X_3, \dots, X_N), \quad (6)$$

.....

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = p_{i_N} p_{i_1 i_2 \dots i_{N-1}} \quad (\text{promenljiva } X_N \text{ je nezavisna od promenljivih } X_1, X_2, \dots, X_{N-1}). \quad (7)$$

Pod pretpostavkom da je hipoteza (5) istinita, promenljiva  $X_1$  je nezavisna od promenljivih  $X_2, X_3, \dots, X_N$ . Istinitost ove hipoteze implicira istinost složene hipoteze:

$$p_{i_1 i_2 \dots} = p_{i_1 \dots} p_{i_2 \dots}, \quad p_{i_1 i_3 \dots} = p_{i_1 \dots} p_{i_3 \dots}, \quad \dots, \quad p_{i_1 \dots i_N} = p_{i_1 \dots} p_{i_N}. \quad (8)$$

Ocene po metodu maksimalne verodostojnosti za verovatnoću  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  i očekivanu frekvenciju  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$  su:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \hat{p}_{i_1 \dots} \hat{p}_{i_2 i_3 \dots i_N} = \left( \frac{n_{i_1 \dots}}{n} \right) \left( \frac{n_{i_2 i_3 \dots i_N}}{n} \right) \quad \text{i} \quad E_{i_1 i_2 \dots i_N} = n \hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n_{i_1 \dots} n_{i_2 i_3 \dots i_N}}{n},$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Za testiranje nulte hipoteze (5) koristi se statistika testa (4) koja ima aproksimativno  $\chi^2$  raspodelu sa  $I_1 I_2 \dots I_N - I_1 - I_2 \dots I_N + 1$  stepeni slobode.

Za testiranje nulte hipoteze (6) koriste se sledeći simboli. Ocene verovatnoće  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  i očekivane frekvencije  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$  su:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \hat{p}_{i_2 \dots i_N} \hat{p}_{i_1 i_3 \dots i_N} = \left( \frac{n_{i_2 \dots}}{n} \right) \left( \frac{n_{i_1 i_3 \dots i_N}}{n} \right) \text{ i } E_{i_1 i_2 \dots i_N} = n \hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n_{i_2 \dots} n_{i_1 i_3 \dots i_N}}{n},$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Statistika testa je oblika (4)

i ima aproksimativno  $\chi^2$  raspodelu sa  $I_1 I_2 \dots I_N - I_2 - I_1 I_3 \dots I_N + 1$  stepeni slobode.

Za testiranje nulte hipoteze (7) koriste se ocene po metodu maksimalne verodostojnosti za verovatnoću  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  i za očekivanu frekvenciju  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$ , koje su oblika:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \hat{p}_{i_2 \dots i_N} \hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_{N-1}} = \left( \frac{n_{i_2 \dots i_N}}{n} \right) \left( \frac{n_{i_1 i_2 \dots i_{N-1}}}{n} \right) \text{ i } E_{i_1 i_2 \dots i_N} = n \hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n_{i_2 \dots i_N} n_{i_1 i_2 \dots i_{N-1}}}{n},$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Statistika testa je oblika (4) i ima približno  $\chi^2$  raspodelu sa  $I_1 I_2 \dots I_N - I_N - I_1 I_2 \dots I_{N-1} + 1$  stepeni slobode.

### 3.3. Modeli uslovne nezavisnosti

U slučaju nezavisnosti dve ili više promenljivih za date kategorije preostalih promenljivih mogu se postaviti sledeće nulte hipoteze (navode se samo dve, a analogno se postavljaju hipoteze i za ostale modele uslovne nezavisnosti).

Ako se ispituje nezavisnost promenljivih  $X_1$  i  $X_2$  za date kategorije promenljivih  $X_3, X_4, \dots, X_N$ , onda je nulta hipoteza oblika:

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{p_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N} p_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{p_{i_3 i_4 \dots i_N}}. \quad (9)$$

Ako se ispituje nezavisnost promenljivih  $X_1$  i  $X_N$  za date kategorije promenljivih  $X_2, X_3, \dots, X_{N-1}$ , onda je nulta hipoteza oblika:

$$p_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{p_{i_1 i_2 i_3 \dots i_{N-1}} p_{i_2 i_3 \dots i_{N-1} i_N}}{p_{i_2 i_3 \dots i_{N-1}}}. \quad (10)$$

Za testiranje nulte hipoteze (9) ocena po metodu maksimalne verodostojnosti verovatnoće  $p_{i_1 i_2 \dots i_N}$  je:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{\hat{p}_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N} \hat{p}_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{\hat{p}_{i_3 i_4 \dots i_N}} = \frac{\left( \frac{n_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N}}{n} \right) \left( \frac{n_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{n} \right)}{\left( \frac{n_{i_3 i_4 \dots i_N}}{n} \right)} = \frac{n_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N} n_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{n_{i_3 i_4 \dots i_N} n},$$

a ocena po metodu maksimalne verodostojnosti očekivane frekvencije  $m_{i_1 i_2 \dots i_N}$  je:

$$E_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n \hat{p}_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N} \hat{p}_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{\hat{p}_{i_3 i_4 \dots i_N}} = \frac{n_{i_1 i_3 i_4 \dots i_N} n_{i_2 i_3 i_4 \dots i_N}}{n_{i_3 i_4 \dots i_N}},$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Statistika testa je oblika (4) i ima aproksimativno  $\chi^2$  raspodelu sa  $(I_1 - 1)(I_2 - 1)I_3 I_4 \dots I_N$  stepeni slobode.

Za testiranje nulte hipoteze (10) odgovarajuće ocene su:

$$\hat{p}_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{\hat{p}_{i_1 i_2 i_3 \dots i_{N-1}} \hat{p}_{i_2 i_3 \dots i_{N-1} i_N}}{\hat{p}_{i_2 i_3 \dots i_{N-1}}} = \frac{n_{i_1 i_2 i_3 \dots i_{N-1}} n_{i_2 i_3 \dots i_{N-1} i_N}}{n_{i_2 i_3 \dots i_{N-1}} n},$$

$$E_{i_1 i_2 \dots i_N} = \frac{n \hat{p}_{i_1 i_2 i_3 \dots i_{N-1}} \hat{p}_{i_2 i_3 \dots i_{N-1} i_N}}{\hat{p}_{i_2 i_3 \dots i_{N-1}}} = \frac{n_{i_1 i_2 i_3 \dots i_{N-1}} n_{i_2 i_3 \dots i_{N-1} i_N}}{n_{i_2 i_3 \dots i_{N-1}}},$$

za  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Statistika testa je oblika (4) i ima aproksimativno  $\chi^2$  raspodelu sa  $(I_1 - 1)(I_N - 1)I_2 I_3 \dots I_{N-1}$  stepeni slobode.

Kod ostalih modela uslovne nezavisnosti se koristi sličan postupak za izračunavanje ocena očekivanih frekvencija i verovatnoća, kao i za testiranje hipoteza u modelima.

### 3.4. Model jednakosti količnika unakrsnih proizvoda (homogena asocijacija)

Kod modela jednakosti količnika unakrsnih proizvoda u  $N$ -dimenzionalnim tabelama kontingencije se pretpostavlja da su fiksirane  $N-2$  slučajne promenljive. Nulta hipoteza se može postaviti u sledećem obliku:

$$\frac{p_{111\dots 1} p_{i_1 i_2 1 \dots 1}}{p_{i_1 11\dots 1} p_{1 i_2 1 \dots 1}} = \frac{p_{11 i_3 \dots i_N} p_{i_1 i_2 i_3 \dots i_N}}{p_{i_1 i_3 \dots i_N} p_{1 i_2 i_3 \dots i_N}}, \quad (11)$$

gde  $i_1 = 1, 2, \dots, I_1, i_2 = 1, 2, \dots, I_2, \dots, i_N = 1, 2, \dots, I_N$ . Leva strana jednakosti predstavlja meru asocijacije prve i druge promenljive sa prvim kategorijama preostalih promenljivih, a desna strana predstavlja istu meru asocijacije prve i druge promenljive sa kategorijama  $i_2, i_3, \dots, i_N$  preostalih promenljivih. Testiranje se sprovodi  $\chi^2$  testom, a statistika testa se određuje analogno kao i u slučaju modela jednakosti količnika unakrsnih proizvoda u trodimenzionalnim tabelama kontingencije (detaljnije o tome pročitati u Agresti 2002).

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su definisani osnovni pojmovi koji se koriste u  $N$ -dimenzionalnim tabelama kontingencije. Razmatrani su sledeći modeli nezavisnosti: model potpune nezavisnosti, modeli parcijalne nezavisnosti, modeli uslovne nezavisnosti i model jednakosti količnika unakrsnih proizvoda. Ako u modelu potpune nezavisnosti nulta hipoteza nije odbačena, donosi se zaključak o nezavisnosti posmatranih promenljivih. Međutim, odbacivanjem nulte hipoteze, postoje sledeće mogućnosti: jedna promenljiva je nezavisna od ostalih  $N-1$  promenljivih, koje ne moraju biti nezavisne, zbog čega se ispituje parcijalna nezavisnost; dve promenljive su nezavisne za date kategorije preostalih  $N-2$  promenljivih, odnosno  $N-1$  promenljivih je nezavisno za date kategorije preostale promenljive, zbog čega se ispituje uslovna nezavisnost.

Definisanjem  $N$ -dimenzionalnih tabela kontingencije na jednostavan način se izvode zaključci za tabele kontingencije bilo koje dimenzije. Ovaj rad može poslužiti kao osnova za ispitivanje nezavisnosti bilo kog broja promenljivih, što je od posebnog značaja u empirijskim istraživanjima.

## LITERATURA

- [1] Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [2] Christensen, R. (1990). *Log-Linear Models*. Springer-Verlag, New York.
- [3] Fienberg, S. E. (2007). *The Analysis of Cross-Classified Categorical Data*. Springer Science and Business Media, LLC, New York.

**UTICAJ PRISUSTVA INFEKCIJE NA NASTANAK DEHISCENCIJE LAPAROTOMIJE****THE EFFECT OF THE PRESENCE OF INFECTION ON THE OCCURRENCE OF DEHISCENCE LAPAROTOMY**MILORAD PAUNOVIĆ<sup>1</sup>, MILORAD ESKIĆ<sup>2</sup><sup>1</sup>Klinički centar Srbije, Beograd, Srbija, miloradpaunovic@yahoo.com<sup>2</sup>Union, Građevinski fakultet, Beograd, Srbija, milorad.eskic@dunav.com

**Rezime:** Cilj ovog rada je da se utvrdi uticaj prisustva infekcije na nastanak dehiscencije laparotomije. Prospektivnom studijom bilo je obuhvaćeno 204 bolesnika operisanih na Klinici za opštu hirurgiju u Nišu u periodu od januara 2013. do decembra 2013. godine. Ispitivani pacijenti su bili podeljeni u dve grupe: ispitivanu (grupa pacijenata kod kojih je došlo do komplikacije-dehiscencije laparotomije) sa 8 pacijenata i kontrolnu grupu (pacijenti kod kojih nije nastala dehiscencija laparotomije) sa 196 pacijenata. Analiziran je uticaj prisustva infekcije na pojavu dehiscencije laparotomije. Rezultati su prikazani broičano i procentualno. Postoji statistički veoma značajna povezanost između dehiscencije laparotomije i infekcije ( $\chi^2=62,024$ ;  $p<0,01$ ). Infekcija je statistički značajno više zastupljena kod osoba sa dehiscencijom laparotomije.

**Ključne reči:** dehiscencija laparotomije, infekcija, opšta hirurgija, rana, reintervencija.

**Abstract:** The aim of this study was to determine the impact of infection on the occurrence of dehiscence laparotomy. A prospective study included 204 patients operated at the Clinic for General Surgery in Nis in the period from January 2013 to December 2013. The examined patients were divided into two groups studied (group of patients in whom there was a complication-dehiscence laparotomy) with 8 patients and control group (patients in whom no dehiscence occurred laparotomy) with 196 patients. The effect of the presence of infection on the occurrence of dehiscence laparotomy is analysed. Results are displayed numerically and in percentages. There is a statistically highly significant correlation between laparotomy dehiscence and infection ( $\chi^2 = 62.024$ ,  $p < 0.01$ ). Infection was significantly more frequent in patients with dehiscence laparotomy.

**Key words:** dehiscence laparotomy, infectio, general surgery, wound, reintervention.

**1. UVOD**

Pod laparotomijom se podrazumeva otvaranje trbušne duplje, odnosno svih slojeva trbušnog zida, radi hirurškog pristupa intraabdominalnim organima.

Osnovna podela hirurških rezova kojima se pristupa organima trbušne duplje je na uzdužne, poprečne, kose, kombinovane i atipične. Uzdužne laparotomije predstavljaju metode izbora u rešavanju urgentnih i nedovoljno definisanih stanja, obzirom na činjenice da se njima može pristupiti čitavoj trbušnoj duplji i da se jednostavno, brzo i relativno beskrvno mogu otvoriti presecanjem samo jednog sloja u nivou lineae albae (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000; Höeruwe, Klinge, Schachtrupp, Schumpelick, 2001). Uobičajeno je mišljenje da je procenat dehiscencija i postoperativnih hernija nakon uzdužnih laparotomija značajno veći u odnosu na poprečne laparotomije (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000). Medjutim, kontrolisana klinička istraživanja pokazala su da ne postoji statistički značajna razlika u procentu dehiscencija i postoperativnih hernija u randomiziranim grupama pacijenata kod kojih je trbušna duplja otvarana poprečnim ili uzdužnim rezovima (Kiely, Spitz, 1985; Cleveland, Zitsch, Laws, 1989).

Najznačajnije komplikacije laparotomije su: infekcija rane, rana dehiscencija laparotomije i postoperativne (incizione) hernije. Neposredne komplikacije, poput dehiscencije laparotomije i infekcije operativne rane, javljaju se kod do 3%, odnosno 15% pacijenata, dok se incidenca udaljenih komplikacija (postoperativne hernije) kreće čak do 19%. (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000; Niggebrugge, Trimpos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999; Cleveland, Zitsch, Laws, 1989).

Dehiscencija laparotomije predstavlja potpuno ili delimično naglo otvaranje ili kidanje rane ili stvaranje pukotine u hirurški sašivenoj rani. Kompletna disrupcija operativne rane, sa evisceracijom trbušnih organa zahteva urgentnu reintervenciju. Nastaje najčešće u toku prve nedelje nakon operacije, kada integritet trbušnog zida direktno zavisi od kvaliteta hirurškog šava, tenzije na šavovima i kvaliteta tkiva koje ulazi u šav (suture-holding capacity). Javlja se u 0,5 do 3% operisanih (Radovanović, 1988). Dehiscencija laparotomije je praćena visokim morbiditetom i mortalitetom koji se kreće čak do 40%. Osim toga, praćena je i produženim boravkom u bolnici (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000, Niggebrugge, Trimpos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999; Cleveland, Zitsch, Laws, 1989).

Opšte stanje bolesnika, nutricionistički status, prisustvo hroničnih oboljenja i maligniteta, imunokompromitujuća stanja, godine starosti, gojaznost, infekcija rane i opseg operativnog zahvata su dobro poznati faktori koji utiču na proces zarastanja laparotomije, ali na većinu ovih faktora hirurški ima vrlo malo uticaja ili uopšte ne može uticati (Niggebrugge, Trimpos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999; Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000).

Idealan način zatvaranja trbušnog zida još uvek nije definisan. Hirurška tradicija i škola, navike, jednostavnost procedure i trenutni hirurški trendovi određuju način zatvaranja laparotomije, pre nego naučno dokazane i na velikom broju pacijenata proverene studije. Izbor laparotomije zavisi od velikog broja faktora, od kojih su najvažniji: planirana operativna intervencija, konstitucija pacijenta, eventualne prethodne laparotomije i stanje respiratorne funkcije pacijenta (Niggebrugge, Trimpos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999).

Bitan subjektivni faktor za proces zarastanja laparotomije je hirurška tehnika kojom se zatvara trbušni zid, kao i izbor pojedinačnog ili produžnog hirurškog šava.

Odmakle godine su dugo vremena bile smatrane kontraindikacijom za ekstenzivne operacije u abdominalnoj hirurgiji, zbog značajnog povećanja stope morbiditeta i mortaliteta. Međutim, novije serije (Zinner, Maingot, 1997) pokazuju da starost preko 70 godina, sama po sebi, ne predstavlja kontraindikaciju za ekstenzivne operacije. Daleko veći značaj imaju parametri koji određuju biološku starost pacijenta: opšte stanje pacijenta i sposobnost da brine o sebi.

Infekcija operativne rane je jedan od najznačajnijih faktora rizika za nastanak dehiscencije laparotomije. Hirurgija gastrointestinalnog trakta, urgentna hirurgija i produženo vreme operacije, udruženi su sa povećanim rizikom nastanka infekcije operativne rane.

Infekcija rane definiše se kao sekrecija purulentnog sadržaja iz rane, nezavisno od bakteriološkog nalaza. Javlja se kod do 15% operisanih pacijenata (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000, Niggebrugge, Trimpos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999; Cleveland, Zitsch, Laws, 1989). Osnovni faktori, odgovorni za nastanak infekcije rane su prisustvo bakterijske kontaminacije i veća količina nekrotičnog tkiva u prostoru rane. Infekcija ima izrazito destruktivni efekat na proces zarastanja rane. Bakterijski toksini i enzimi dovode poremećaja na svim nivoima zarastanja rane. Fibrinolizin razgrađuje fibrin u prvoj koagulacionoj fazi, kolagenaze liziraju novostvoreni kolagen, dok hijaluronidaza razgrađuje osnovnu međučelijsku supstancu. Koagulaza promovira trombozu u najsitnijim krvnim sudovima što dodatno pogoršava mikrocirkulatorne uslove u rani. Slično dejstvo ima i hemolizin koji dovodi do destrukcije (hemolize) eritrocita. Osim toga, produkti lokalnog inflamatornog odgovora-citokini (IL-6, IL-12, TNF), dodatno remete celularne i biohemijske procese zarastanja rane (Zinner, Maingot, 1997).

Prognostički faktori koji povećavaju rizik dehiscencije trbušnog zida su postojanje hronične opstruktivne bolesti pluća, upotreba oralnih antikogulanasa, citostatika i kortikosteroida (Cleveland, Zitsch, Laws, 1989).

Mnoge studije su pokazale da je infekcija rane najvažniji faktor za nastanak dehiscencije laparotomije ili postoperativnih hernija. Ukoliko se ne primeni antibiotska profilaksa, rizik dehiscencije se čak šestostruko povećava. Najvažniji faktori odgovorni za nastanak infekcije operativne rane su dijabetes i gojaznost, kao faktori koji smanjuju otpornost rane na infekciju.

Baggot tvrdi da nasilno vraćanje creva u trbuh pod tenzijom može ubiti pacijenta i da urgentna dekompresija i smanjenje abdominalnog compartment sindroma trenutno prekidaju patofiziološke promene i dovode do poboljšanja opšteg stanja pacijenta (Baggot, 1951).

Cilj istraživanja je utvrđivanje uticaja prisustva infekcije na nastanak dehiscencije laparotomije.

## 2. METODE

Istraživanje je obavljeno na Klinici za opštu hirurgiju u Nišu sa ciljem da se utvrdi uticaj prisustva infekcije na nastanak dehiscencije laparotomije. Obuhvaćeno je 204 pacijenta koji su operisani u toku 2013. godine na ovoj klinici. Istraživanje je organizovano po tipu prospektivne studije. Ispitivani pacijenti su bili podeljeni u dve grupe: ispitivana (grupa pacijenata kod kojih je došlo do komplikacije-dehiscencije laparotomije) sa 8 pacijenata i kontrolna grupa (pacijenti kod kojih nije nastala dehiscencija laparotomije) sa 196 pacijenata.

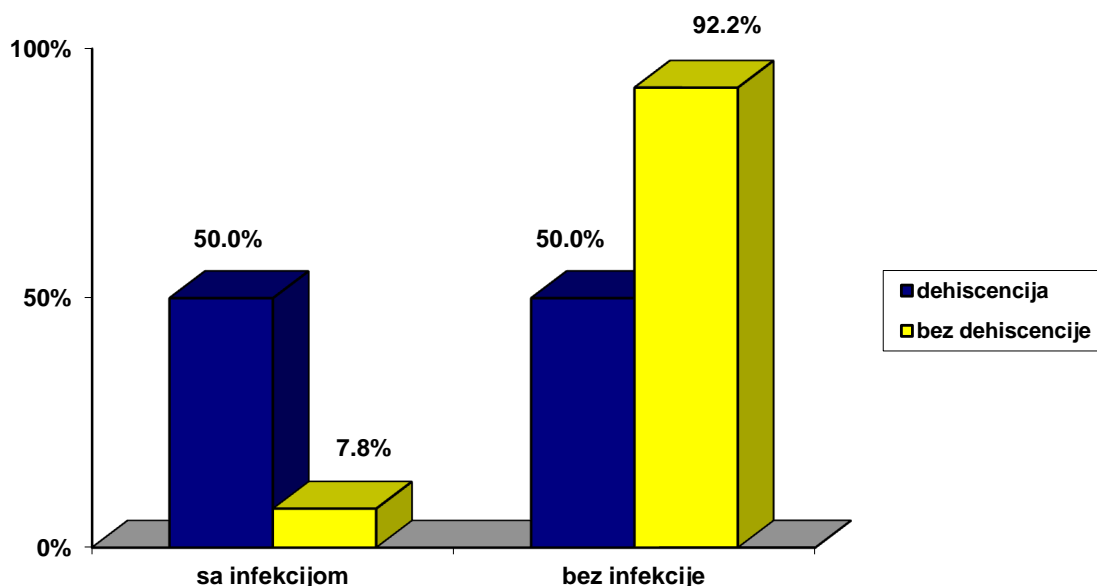
Veličina statističkog uzorka je određena statističkom metodologijom uz zadovoljenje osnovnog principa-reprezentativnosti. Korišćen je normogram za određivanje optimalnog uzorka.

Od 204 ispitanika, 135 osoba je muškog pola i 69 osoba je ženskog pola. Od ukupno 8 ispitanika sa dehiscencijom laparotomije, 5 bolesnika je muškog pola ili 7,5% i 3 bolesnice su ženskog pola ili 37,5%. Bez dehiscencije laparotomije od ukupnih 196 ispitanika, 130 je muškog pola ili 66,3% i 66 ženskog pola ili 33,7%.

U ovom radu rezultati su prikazani tabelarno i grafički. U statističkoj analizi korišćene su metode deskriptivne statistike (srednja vrednost, standardna devijacija), parametarski testovi (Studentov T-test) i neparametarski hi kvadrat test. Za statističku obradu podataka korišćen je programski paket SPSS 14.0, a za izradu slika i tabele programski paket Microsoft Office Word 2003.

### 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Dehiscencija laparotomije javila se kod 3,9% ispitanika ili 8 bolesnika od ukupnih 204 ispitanika. Postoji statistički veoma značajna povezanost između dehiscencije laparotomije i infekcije ( $\chi^2=62,024$ ;  $p<0,01$ ). Infekcija je statistički značajno više zastupljena kod osoba sa dehiscencijom laparotomije. Kod pacijenata sa infekcijom bilo je 4 sa dehiscencijom ili 50,0% i 16 pacijenata bez dehiscencije laparotomije ili 7,8%. Kod pacijenata bez infekcije sa dehiscencijom je bilo 4 pacijenta ili 50,0% pacijenata, odnosno 180 pacijenata bez dehiscencije laparotomije ili 92,2% (slika 1).



Slika 1.: Uticaj infekcije na pojavu dehiscencije laparotomije

### 4. DISKUSIJA

I pored velikih pomaka u razumevanju fiziologije procesa zarastanja rane, hirurškoj tehnici i primeni savremenih tehnologija i materijala u hirurgiji, procenat otežanog zarastanja laparotomija je još uvek visok. Neposredne komplikacije, poput dehiscencije laparotomije, javljaju se kod do 3% pacijenata, dok se incidenca udaljenih komplikacija (postoperativne hernije) kreće čak do 19%. (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000, Niggebrugge, Trimbos, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999, Cleveland, Zitsch, Laws, 1989). U retrospektivnoj studiji Rodriguez-Hermosa i dr. iz Španije kod 57 pacijenata ili 0,45% od ukupnih 12622 pacijenta kod kojih je urađena laparotomija javila se dehiscencija laparotomije. Od toga je bilo 45 pacijenata muškog pola i 12 ženskog pola (Rodriguez-Hermosa, Codina-Casadora, Ruiz, Roig, Girones, Pujadas, Pont, Adeguer, Acero, 2005). Rezultati našeg istraživanja pokazuju da se dehiscencija laparotomije javila kod 3,9% ispitanika ili 8 bolesnika od ukupnih 204 ispitanika. U odnosu na pol 5 bolesnika je bilo muškog pola a 3 ženskog. U prethodno navedenim literaturama su nešto bolji rezultati koji se odnose na pojavu dehiscencije laparotomije. Kada je reč o polnoj strukturi, naša studija ne pokazuje statistički značajnu razliku među polnim grupama.

Preoperativna priprema je važan period u lečenju i od adekvatnosti preoperativne pripreme zavisi rezultat operacije, učestalost komplikacija i smrtnost pacijenata. Potrebno je uraditi sve da se opšte stanje pacijenata



preoperativno stabilizuje i sprovede minimum anesteziološke i hirurške preoperativne pripreme kada god to stanje pacijenta dozvoljava.

Infekcija ima izrazito destruktivni efekat na proces zarastanja rane. Naše istraživanje potvrđuje ovu tvrdnju, jer se kod pacijenata sa prisustvom infekcije, daleko češće javljala dehiscencija laparotomije. Kod 50% pacijenata sa dehiscencijom laparotomije došlo je do pojave infekcije. U Nemačkoj studiji koju je radio Fleischer G.M. i dr. dehiscencija laparotomije se javlja u 5-10% pacijenata sa infekcijom (Fleischer, Rennert, Ruhmer, 2000). U našoj studiji je procenat uticaja infekcije na pojavu dehiscencije znatno viši, najverovatnije zbog lošijeg ekonomskog standarda. Infekcija ima izrazito destruktivni efekat na proces zarastanja rane. Naše istraživanje potvrđuje ovu tvrdnju, jer se kod pacijenata sa prisustvom infekcije, daleko češće javljala dehiscencija laparotomije. Kod 50% pacijenata sa dehiscencijom laparotomije došlo je do pojave infekcije. U Nemačkoj studiji koju je radio Fleischer G.M. i dr. dehiscencija laparotomije se javlja u 5-10% pacijenata sa dehiscencijom laparotomije došlo je do pojave infekcije. U Nemačkoj studiji koju je radio Fleischer G.M. i dr. dehiscencija laparotomije se javlja u 5-10% pacijenata sa infekcijom (Fleischer, Rennert, Ruhmer, 2000). U našoj studiji je procenat uticaja infekcije na pojavu dehiscencije znatno viši, najverovatnije zbog lošijeg ekonomskog standarda.

Rezultati naše opservacione prospektivne studije su podudarni sa rezultatima iz domaće i strane literature. U našoj studiji dehiscencija laparotomije se javila kod 3,9% ispitivanih pacijenata. Imajući u vidu da je u literaturi prisutan podatak od 3% pacijenata sa dehiscencijom laparotomije očigledna je sličnost (Hodgson, Malthaner, Ostbye, 2000; Niggebrugge, Trimbo, Hermans, Steup, Van De Velde, 1999; Cleveland, Zitsch, Laws, 1989).

Kod pacijenata kod kojih je prisutna infekcija češće se javlja dehiscencija laparotomije, što potvrđuje i naša studija, te je potrebna antibiotska profilaksa.

Upoređujući rezultate svetskih studija sa rezultatima naše opservacione prospektivne studije dolazi se do zaključka da naši rezultati ne zaostaju za rezultatima svetskih zdravstvenih ustanova.

## 5.ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata iz naše opservacione prospektivne studije i iscrpne analize domaće i strane literature mogu se izvesti sledeći zaključci: da se dehiscencija laparotomije javlja kod manje od 5% pacijenata, a kod prisustva infekcije dehiscencija laparotomije je česta pojava

## LITERATURA

- [1] Baggot MG. Abdominal blow-out: a concept. *Curr Res Anaesth Analg* 1951; 30: 295-9.
- [2] Bucknall TE, Ellis H. Abdominal wound closure—a comparison of monofilament nylon and polyglycolic acid. *Surg* 1981; 672-7.
- [3] Brennan TG, Jones NAG, Gillou PJ. Lateral paramedian incision. *Br J Surg*. 1987;74:736-7.
- [4] Brolin RE. Prospective, randomized evaluation of midline fascial closure in gastric bariatric operations. *Am J Surg* 1996; 172: 328-31.
- [5] Cameron AEP, Gray RCF, Talbot RW, Wyatt AP. Abdominal wound closure: a trial of Prolene and Dexon. *Br J Surg* 1980; 67:487-8.
- [6] Gys T, Hubens A. A prospective comparative clinical study between monofilament absorbable and non-absorbable sutures for abdominal wall closure. *Acta Chir Belg* 1989; 89:265-70.
- [7] Cleveland RD, Zitsch RP, Laws HL. Incisional closure in morbidly obese patients. *Am Surg* 1989; 55:61-4.
- [8] Fagniez PL, Hay JM, Lacaine F et al. Abdominal midline incision closure. *Arch Surg* 1985;120:1351-3
- [9] Fleischer GM, Rennert A, Ruhmer M. Infected abdominal wall and burst abdomen. *Chirurg, Germany*, 2000; 754-62.
- [10] Gallitano AL, Kondi ES. The superiority of polyglycolic acid suture for closure of abdominal incisions. *Surg Gynecol Obstet* 1973; 137: 794-6.
- [11] Gerzić Z. Komplikacije u digestivnoj hirurgiji. *Zavod za udžbenike, Beograd* 2000:625-9.
- [12] Hodgson N, Malthaner R, Ostbye T: The Search for an ideal method of abdominal fascial closure. *Ann. Surg.* 2000; 231, No. 3; 436-42.
- [13] Höeruwe J, Klinge A, Schachtrupp C, Schumpelick TV: Influence of suture technique on laparotomy wound healing: an experimental study. *Langenbeck's Arch Surg* 2001; 386: 218-23.

- [14] H. Leese T, Ellis H. Abdominal wound closure— a comparison of monofilament nylon and polydioxanone. *Surgery* 1984; 95:125-6.
- [15] Israelsson LA. Abdominal closure and incisional hernia. *Eur. Surg.* 2003; 35: 5-11.
- [16] Israelsson LA, Jonsson T. Closure of midline laparotomy incisions with polydioxanone and nylon: the importance of suture technique. *Br J Surg* 1994; 81:1606 -8.
- [17] Kiely EM, Spitz I. Layered vs mass closure of abdominal wounds infants and children. *Br J Surg* 1985; 72:739 -40.
- [18] Kronborg O. Polyglycolic acid (Dexon) vs silk for fascial closure of abdominal incisions. *Acta Chir Scand* 1976; 142:9 -12.
- [19] Kendall SWH, Brennan TG, Gillou PJ. Suture length to wound length ratio and integrity of midline and paramedian incisions. *Br J Surg* 1991; 78:705-7.
- [20] Krivokapić Z.. Mere prevencije popuštanja anastomoze na debelom crevu. Naučna knjiga, Beograd 1990: 39-47.
- [21] Leaper DJ, Arthur A, Roy EM, et al. Abdominal wound closure: a controlled trial of polyamide (nylon) and polydioxanone suture (PDS). *Ann Roy Coll Surg Eng* 1985; 67:273-5.
- [22] Larsen PN, Nielsen K, Schultz A, et al. Closure of the abdominal fascia after clean and clean-contaminated laparotomy. *Acta Chir Scand* 1989; 155:461- 4.
- [23] Milan Visnjic, Hirurgija, Medicinski fakultet Nis, DIGP „PROSVETA” Niš, 2005; 15-7
- [24] Niggebrugge A, Trimbos J, Hermans J, Steup WH, Van De Velde C: Influence of abdominal-wound closure technique on complications after surgery: a randomised study. *The Lancet* 1999; 353: 1563-69.
- [25] Prpic Ivan, Kirurgija za medicinare, Školska knjiga Zagreb, 1995; 42-3.
- [26] Richards PC, Balcj CM, Aldrette JA. A randomized prospective study of 571 patients comparing continuous vs. interrupted suture techniques. *Ann Surg* 1983; 197: 238 - 43.
- [27] Radovanović S. Kile prednjeg trbušnog zida. Prosveta, Požarevac. 1988: 119-23.
- [28] Rodriguez-Hermosa JI, Codina-Casadora, Ruiz B. Roig J. Girones J., Pujadas M., Pont J, Adeguer X, Acero D. Risk factors for acute abdominal wall dehiscence after laparotomy in adults. *Cir.Esp* 2005; 280-6.
- [29] Trimbos JB, Smit IB, Holm JP, et al. A randomized clinical trial comparing two methods of fascia closure following midline laparotomy. *Arch Surg* 1992; 127:1232-1353.



## **OBLIKOVANJE TRŽIŠNE PONUDE ZA ULAZAK KOMPANIJE STARBUCKS NA TRŽIŠTE SRBIJE: EMPIRIJSKA STUDIJA**

### **CREATING MARKET OFFER FOR THE ENTRANCE OF THE COMPANY STARBUCKS INTO SERBIAN MARKET: EMPIRICAL STUDY**

MILENA POPOVIĆ<sup>1</sup>, JELICA MILISAVLJEVIĆ<sup>1</sup>, MARIJA KUZMANOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka {milena.popovic;jelica.milislavljevic;marija.kuzmanovic}@fon.bg.ac.rs

**Rezime:** Ovaj rad ima za cilj da oceni šanse za ulazak kompanije Starbucks na tržište Srbije, da u tom slučaju i kreira tržišnu ponudu kompanije, određivanjem preferencija potrošača prema kupovini, odnosno konzumiranju kafe van kuće. U tu svrhu predložili smo conjoint analizu. Conjoint analiza je eksperimentalni pristup koji se koristi u marketing istraživanjima i njen cilj jeste da ustanovi kako potrošači vrednuju karakteristike proizvoda/usluga, tj da utvrdi šta im je važno i u kojoj meri, pri odabiru proizvoda/usluge. Sprovedeno je istraživanje i dobijeni rezultati imaju za cilj da pomognu kompaniji u donošenju odluke. Ova studija ispituje ne samo proizvod i preferencije u vezi sa njim, već i elemente usluge. Na taj način umnogome se može pomoći kompaniji da kreira ponudu prema preferencijama novog tržišta, a u funkciji povećanja profita.

**Ključne reči:** Koncepti poslovanja, marketing strategija, preferencije potrošača, conjoint analiza

**Abstract:** The goal of this paper is to assess the chances of Starbucks' entering into Serbian market, and if that be the case, to create a company's market offer by determining customers' preferences toward coffee purchasing and consumption outside one's home. We are suggesting the conjoint analysis for this purpose. The conjoint analysis is experimental approach, used in marketing research. Its goal is to evaluate how customers put the value to the product/service characteristics, i.e. to evaluate what is important to them and to which extent, when they are choosing certain product/service. The research is conducted and the results are used to support company's decision making. Not only that this paper investigates product and its preferences, but also service elements. When the company is creating its offer according to the preferences of the new market, in a function of increasing profit, this approach is helpful in many ways.

**Keywords:** Concepts of business, Market strategy, Customers' preferences, Conjoint analysis

## **1. UVOD**

Važnost poznavanja i analize okruženja kao i ljudi, preduslov su za uspešno poslovanje i to je od davnina poznato, a vremenom se samo razvijaju metode kojima se ovi procesi usavršavaju. Danas je marketing preuzeo i te aktivnosti pod svoje okrilje. Ono što je još poznato, jeste da je kvalitetan marketing ključ uspeha u poslovanju i da se u te aktivnosti najviše ulaže jer je pokazano da donose najviše koristi.

Conjoint analiza omogućava merenje toga kako potrošači ocenjuju karakteristike određenog proizvoda i na koji način i u kojoj meri svaka od tih karakteristina utiče na odlučivanje o kupovini. Specifični zadaci odlučivanja u marketingu, koji mogu biti tretirani Conjoint analizom su predviđanje: profitabilnosti ili tržišnog učešća novog proizvoda pod datim uslovima konkurencije, uticaja novog konkurenta na našu profitabilnost ili učešća na tržištu, prethodno navedenih stavki po segmentima tržišta, odziva potrošača na različite strategije promene cena i reakcije konkurencije na strategiju distribucije.

U ovom radu sprovedena je empirijska studija čiji je osnovni predmet istraživanja kupovina/konzumiranje kafe van kuće. Studija je osmišljena tako da se istraživanje i analiza rezultata radi iz perspektive kompanije Starbucks koja odlučuje o ulasku na tržište Srbije. Studijom će biti istražene i navike prilikom kupovine kafe. Takođe, biće ustanovljeno da li ima osnova da kompanija ulazi na ovo tržište i ako postoji, na koji način je najbolje da se to realizuje.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju opisani su osnovni koncepti poslovanja sa posebnim naglaskom na koncept holističkog marketinga, u trećem poglavlju objašnjena je emirijska studija. Definisan je predmet i cilj istraživanja, objašnjen postupak istraživanja i dat prikaz rezultata. U poslednjem poglavlju izložene su diskusija i zaključna razmatranja.

## 2. ORIJENTACIJE KOMPANIJE KA TRŽIŠTU - KONCEPTI POSLOVANJA

Danas kompanije moraju da se ponašaju drugačije nego što je to bilo ranije i da se na razne načine dovijaju da bi doprle do potrošača. Tehnologija je napredovala, globalizacija je neminovna, kupci sve više dobijaju na snazi i zahtevniji su. Kompanija, da bi opstala, mora da odgovori, i ovim, i mnogim drugim izazovima.

(Kotler and Keller 2006) objašnjavaju kako su se vremenom razvili osnovni koncepti koje kompanije biraju kako bi usmerile svoje poslovanje. To su: koncept proizvodnje, koncept proizvoda, koncept prodaje, koncept marketinga i koncept holističkog marketinga. U Tabeli 1. date su opšte pretpostavke prva tri koncepta, dok su poslednja dva zbog svog značaja detaljnije objašnjena.

**Tabela 1:** - Koncepti poslovanja (Kotler and Keller 2006)

Koncepti	Kojim proizvodima (ni)su naklonjeni potrošači	Ciljevi i akcije menadžera	Kada je ovo dobro /se primenjuje
<b>Koncept proizvodnje</b>	Proizvodima koji su raspoloživi i jeftini	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postići veliku efikasnost proizvodnje,</li> <li>• Niske troškove,</li> <li>• Masovna distribucija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• U zemljama u razvoju,</li> <li>• Kad kompanija želi da proširi tržište</li> </ul>
<b>Koncept proizvoda</b>	Proizvodima koji nude najviše kvaliteta, performansi ili inovacija	Usmereni su na stvaranje superiornih proizvoda i njihovom poboljšanju tokom vremena.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kad je cena pravilno formirana,</li> <li>• Dobra distribucija,</li> <li>• Propaganda,</li> <li>• Plasman</li> </ul>
<b>Koncept prodaje</b>	Potrošači neće kupovati proizvode ako su sami sebi prepušteni *roba koja nije tražena npr. Enciklopedije, osiguranja...	Agresivne promotivne i prodajne mere. Cilj je prodati ono što firma proizvodi a ne ono šta tržište traži.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kad firma ima višak kapaciteta.</li> <li>• Rizik: mogućnost da se potrošač ne vrati proizvodu nakon kupovine</li> </ul>

**Koncept marketinga** je bio totalni preokret u poslovanju, jer se od usmerenosti ka proizvodu prelazi na usmerenost ka potrošaču. Suština postizanja ciljeva kod marketing koncepta leži u većoj efikasnosti kompanije od njenih konkurenata u stvaranju, isporuci i komuniciranju veće vrednosti za potrošače na odabranim ciljnim tržištima. Levitt (1983) je objasnio razliku između ovog i koncepta prodaje: Prodaja je usmerena ka potrebama prodavca; marketing na potrebe potrošača. Prodaja se bavi potrebom prodavca da svoj proizvod pretvori u gotovinu; preokupacija marketinga je ideja o zadovoljenju potreba potrošača putem proizvoda i niza stvari u vezi sa njegovim stvaranjem, isporukom i potrošnjom.

**Koncept holističkog marketinga.** Marketari u XXI veku sve više shvataju potrebu za potpunijim, kohezivnijim pristupom koji prevazilazi tradicionalne primene marketing koncepta. Ovaj pristup polazi od razvoja, oblikovanja i sprovođenja marketing programa, procesa i aktivnosti, kojim prepoznaju širinu i međuzavisnot efekata. U holističkom marketingu priznaje se da je u marketingu sve značajno, a da je često neophodna široka, integrisana perspektiva. Komponente holističkog marketinga su:

- Marketing odnosa – ima za cilj izgradnju uzajamno zadovoljavajućih odnosa ključnih strana - sa klijentima, dobavljačima, distributerima i drugih partnera u marketingu - u cilju pridobijanja i zadržavanja njihovih poslova. Marketing odnosa izgrađuje snažne ekonomske, tehničke i društvene veze među zainteresovanim stranama, stvarajući tzv. marketing mrežu.
- Integrisani marketing – cilj je osmisliti marketing aktivnosti i spojiti integrisane marketing programe radi stvaranja, komuniciranja i isporuke vrednosti za potrošače. Tradicionalna predstava marketing aktivnosti je u smislu marketing miksa. Četiri P predstavljaju pogled prodavca o instrumentima marketinga koji mu stoje na raspolaganju za uticaj na kupce.
- Interni marketing – obezbeđuje da svako u organizaciji prihvata odgovarajuće marketing principe, posebno viši menadžment. Interni marketing ima zadatak da zapošljava, obučava i motiviše sposobne ljude koji žele dobro da uslužuju kupce. Interni marketing se odvija na dva nivoa: Na prvom nivou različite marketing funkcije (prodajna sila, propaganda, servis kupaca, menadžment proizvoda, istraživanje marketinga) moraju zajednički delovati. Na drugom nivou, marketing moraju prihvatiti i druga odeljenja u kompaniji; oni takođe moraju razmišljati kao kupci. Marketing je više poslovna orijentacija nego jedno od odeljenja u kompaniji.
- Društveno-odgovorni marketing – shvatanje širih interesa i etički kontekst, kontekst životne sredine, pravni i društveni kontekst marketing aktivnosti i programa. Uzrok i posledice marketinga, proširuju se izvan kompanije i potrošača –na društvo kao celinu. (Kotler and Keller 2006)

### 3. EMPIRIJSKA STUDIJA

*Starbucks* kompanija odlučuje o ulasku na tržište Srbije (za početak bi otvorili tržište lokalom u centru Beograda, u blizini Trga Republike). Već je poznato da slični lanci kafea postoje u Beogradu i kao glavni konkurenti izdvajaju se Greenet<sup>1</sup> i Costa Coffee<sup>2</sup>. Odlučuje se da se analizom bitnih atributa, poredeći ih sa konkurentima, dozna da li i u kojoj meri bi Starbucks mogao da ispuni očekivanja korisnika na ovoj teritoriji, kao i šta je potrebno da se neki segmenti prilagode zahtevima tržišta da bi njihova očekivanja bila ispunjena.

Za predmet istraživanja uzeta je kupovina/konzumiranje kafe van kuće. Kompanija dolazi iz Amerike i prodaje uglavnom kafu za poneti što na tržištu Srbije nije uobičajeno. Naravno, njihovu kafu je moguće konzumirati i u kafićima. Kompanija je svesna da su navike kupovine i ispijanja kafe na ovom tržištu drugačije, ali želi da stekne detaljniji uvid u to. S obzirom je studija fokusirana na kompaniju koja još uvek nije na tržištu Srbije, daje podatke koji se mogu koristiti za razvoj strategije ulaska kompanije na novo tržište.

Osnovne pretpostavke:

- Sva tri kafea se nalaze u centru grada u neposrednoj blizini jedan drugom,
- Sve vrste kafa u ponudi su srednje veličine  $\approx 350$  ml
- S obzirom da ispitujemo nov proizvod koji tek treba da dođe na tržište i da samim tim želimo da donesemo odluku i o cenovnoj strategiji i da nam je fokus donošenja odluke na alternativama i nemamo potrebu za eksplicitnim poređenjem, metod koji ćemo koristiti za evaluaciju alternativa je rangiranje i ocenjivanje celih profila.

Ono što je posebno interesantno kod ove studije je što se ispituje ne samo proizvod i preferencije u vezi sa njim, već ispitujemo i elemente usluge.

#### 3.1. Conjoint analiza

Conjoint analiza je istraživačka tehnika bazirana na multivarijacionoj analizi, a koja se koristi za utvrđivanje optimalnih karakteristika proizvoda ili usluge, za merenje individualnih preferencija, razumevanje i predviđanje ponašanja potrošača u novim situacijama. To je dekompozitna metoda koja podrazumeva da se proizvod/usluga može „razložiti“ na svoje atributivne komponente i koja implicira izučavanje zbirnih efekata većeg broja atributa proizvoda/usluge na njegove preferencije (Kuzmanović 2006).

Retko se dešava da kupac prilikom kupovine donose odluku o kupovini samo na osnovu jedne karakteristike proizvoda ili usluge. Naprotiv, on ga posmatra kao skup svih njegovih karakteristika. Na osnovu te činjenice je ova metoda i dobila ime CONJOINT (considered jointly). U conjoint analizi se polazi od pretpostavke da potrošač evaluira ukupnu korisnost ili značajnost (utility) proizvoda/usluge na osnovu kombinacije pojedinačnih parcijalnih korisnosti (part-worth) nivoa atributa proizvoda/usluge, pri čemu su te parcijalne korisnosti izražene kvantitativno i predstavljaju poželjnost određenih karakteristika.

Conjoint analiza (CA) u osnovi obuhvata četiri osnovne faze i to: (1) Dizajniranje studije; (2) Implementaciju studije; (3) Analizu podataka; (4) Simulaciju tržišta (Ryan et al. 1998; Kuzmanović 2006)

**Identifikacija atributa i njihovih nivoa.** Definisali smo šest ključnih atributa i njihovih atributa. Prvi atribut je **Proizvođač** (Starbucks, kao kompaniju koja tek treba da uđe na tržište, i dva njegova najveća konkurenta u Beogradu – Costa Coffee i Greenet su nivoi ovog atributa). Detaljnom analizom **vrste kafe** su svedene na tri vrste koje proizvođača nude (espresso, mocha, ice kafa). **Cena**, kao kvantitativni atribut u ovoj studiji igra značajnu ulogu u odlučivanju kod potrošača. Moguće je da bi Starbucks mogao da odluči da se nađe u najvišem cenovnom segmentu, s obzirom na ekskluzivnost i brend koji bi sa sobom doneo u Srbiju, i tada bi ga pratili Costa Coffee i Greenet u srednjem cenovnom segmentu dok bi ostali kafići/restorani bili u najnižem cenovnom segmentu na tržištu posmatranih vrsta kafe.

Jedan od veoma važnih atributa Starbucksu je upravo **način konzumiranja kafe**. Sa jedne strane, njihova osnovna ideja jeste da budu objekat gde se može kupiti kafa za poneti što je u direktnoj vezi sa veličinom kafića koji su manji i u kojima ima malo mesta za sedenje, ali su redovi za kupovinu kafe za poneti uvek dugi. **Brzina usluge** je nešto što je veoma važno i nešto na čemu svi ugostitelji rade – da klijent u što kraćem vremenskom periodu dobije željenu uslugu po najvišem kvalitetu. Što se tiče nekih  **dodatnih elemenata usluge**, na postojećem tržištu se javljaju uglavnom simbolični popusti ili opcija da nakon kupljenih  $x$  proizvoda,  $x+1$  bude gratis ili sa popustom. Starbucks je u tome otišao dosta dalje, i ima već dobro razrađen My Starbucks Reward (<http://www.starbucks.com/card/rewards>) tj. lojalni program. Kvalitetno osmišljenim

<sup>1</sup><http://www.greenet.rs>

<sup>2</sup><http://www.costacoffee.com>

lojalni programom se može dosta saznati o samom potrošaču i, između ostalog, mnogo postići alatima emocionalnog marketinga što je u direktnoj vezi sa profitom koji se može plasirati tržištu.

**Dizajniranje studije.** Za kreiranje Conjoint upitnika korišćen je softverski paket SPSS 16.0. Pored Conjoint pitanja, u upitnik su uključena i demografska pitanja. Nakon što su određeni atributi i njihovi nivoi, prešlo se na generisanje plana eksperimenta. Softver je generisao 18 profila, a od toga su 2 bila kontrolna profila čija je jedina namena provera kvaliteta dobijenih rezultata.

**Implementacija studije.** Istraživanje je sprovedeno u oktobru 2013. u Srbiji, korišćenjem online upitnika, na uzorku od 187 ispitanika koji piju kafu. Kao metoda evaluacije od strane ispitanika izabrana je metoda ocenjivanja profila. Ispitanici su na skali od 1 do 5 (gde 1 znači sigurno ne kupujem a 5 sigurno kupujem), izražavali svoje preferencije prema kombinaciji atributa kupovnih opcija.

**Conjoint model.** Prilikom evaluacije, od ispitanika se može zahtevati da proizvode rangiraju, ocene ili da izaberu najbolji. Kasnije, istraživač uz pomoć nekog od pravila kompozicije procenjuje parcijalne korisnosti za određene nivoe atributa. U tu svrhu se najčešće koristi linearni aditivni model:

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{ikl} x_{jkl} + \varepsilon_{ij}, \quad i=1, \dots, I, \quad j=1, \dots, J, \quad (1)$$

gde  $U_{ij}$  predstavlja ukupnu korisnost proizvoda  $j$  za  $i$ -tog ispitanika ( $i$ -ti segment), tj. percipiranu vrednost proizvoda od strane svakog ispitanika pojedinačno, ali i na nivou celog uzorka i jednaka je zbiru parcijalnih  $\beta_{ikl}$  korisnosti dobijenih za određeni nivo  $l$  ( $l = 1, \dots, L_k$ ) atributa  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) zastupljenog u datom profilu  $j$ .  $x_{ijk}$  uzima vrednost 1 ukoliko je nivo  $l$  atributa  $k$  zastupljen u profilu  $j$ , u suprotnom uzima vrednost 0.

Relativne značajnosti atributa predstavljaju meru uticaja atributa na potrošačev izbor, dok se pomoću funkcije korisnosti utvrđuje osetljivost percipirane vrednosti atributa na promenu njegovih vrednosti. Ove funkcije su jedinstvene za svakog potrošača.

Relativna značajnost atributa računa se na taj način što se raspon vrednosti korisnosti za svaki od atributa podeli sumom raspona korisnosti svih atributa, i to posebno za svakog ispitanika:

$$FI_{ik} = \frac{\max_l \{\beta_{ikl}\} - \min_l \{\beta_{ikl}\}}{\sum_{k=1}^K (\max_l \{\beta_{ikl}\} - \min_l \{\beta_{ikl}\})}, \quad i=1, \dots, I, \quad k=1, \dots, K, \quad l=1, \dots, L_k \quad (2)$$

Rezultate je dalje moguće uprosečiti kako bi se uzele u obzir preferencije svih ispitanika:

$$FI_k = \frac{\sum_{i=1}^I FI_{ik}}{I}, \quad k=1, \dots, K \quad (3)$$

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Polna struktura ispitanika je takva da je nešto više od polovine ispitanika ženskog pola (57%). Sa druge strane, u starosnoj strukturi ispitanika najviše njih je uzrasta od 18 do 24 godine (26,8%), zatim 25 godina (26,20%), 26 godina (11,20%), od 27 do 29 godina (13,90%), ispitanici starosti preko 30 godina čine 30,8%, dok svega 1% uzorka čine ispitanici preko 40 godina. Gotovo jedna trećina ispitanika tvrdi da im je omiljena kafa turska kafa, 20,32% espresso, zatim moka sa 17,11%, kapučino sa 15,51% i instant kafe sa 14,97%. Omiljeno mesto za ispijanje kafe je kod kuće, dok 24% ispitanika uživa u kafi u omiljenom kafiću. Ono što nije bilo za očekivati je da je čak 76,33% ispitanika posetilo neki od Starbucks kafića u svetu. Prosečna mesečna potrošnja za kupovinu kafe van kuće je takva da je 38% ispitanika reklo da troši do 1000 RSD, 19% troši od 1001 do 2000 RSD a čak 15% je reklo da mesečno troši više od 6001 RSD.

### 4.1. Rezultati istraživanja na agregatnom nivou

Parcijalne korisnosti nivoa atributa i prosečne značajnosti atributa na nivou celog uzorka, dobijene uz pomoć SPSS paketa, prikazane su Tabeli 2. Značajnost svakog od atributa, dobijene su kao prosečne vrednosti značajnosti atributa svih ispitanika.

**Tabela 2:** Parcijalne korisnosti nivoa svakog atributa na agregatnom nivou

Redni broj	Atribut	Nivoi atributa	Relativne značajnosti	Parcijalne korisnosti	Std. Error
1.	Vrste kafe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Espresso</li> <li>Mocha</li> <li>Ice kafa</li> </ul>	19.98%	-0.094 <b>0.125</b> -0.031	0.026 0.030 0.030
2.	Proizvođač	<ul style="list-style-type: none"> <li>Starbucks</li> <li>Costa Coffee</li> <li>Greenet</li> </ul>	19.12%	<b>0.090</b> -0.014 -0.077	0.026 0.030 0.030
3.	Cena	<ul style="list-style-type: none"> <li>250 RSD</li> <li>350 RSD</li> <li>400 RSD</li> </ul>	<b>29.65%</b>	<b>0.586</b> -0.058 -0.528	0.026 0.030 0.030
4.	Način konzumiranja kafe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kafa za poneti</li> <li>Ispijanje kafe u kafiću</li> </ul>	7.89%	-0.048 <b>0.048</b>	0.019 0.019
5.	Brzina usluge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Odmah gotovo</li> <li>Čekanje na uslugu</li> </ul>	6.81%	<b>0.069</b> -0.069	0.019 0.019
6.	Dodaci/popusti	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bez dodatnih popusta</li> <li>Posle 6 kupljenih kafa, sedma gratis</li> <li>Loyalty card sa brojnim modelima popusta zasnovanim na skupljanju bodova (zvezdica)</li> </ul>	16.57%	-0.129 <b>0.094</b> 0.034	0.026 0.030 0.030
	<b>Konstanta = 2.321</b>				0,023
	Pearson's R = 0.996 Significance = 0.000				
	Kendall's tau = 0.983 Significance = 0.000				
	Kendall's tau = 1.000 for 2 Holdouts				

Konstanta, koja u ovom slučaju ima vrednost 2,321, koristi se za računanje ukupne korisnosti svakog profila kupovne opcije. Pearson-ov koeficijent (Pearson's R) i Kendall-ov koeficijent korelacije (Kendall's tau) su statistički pokazatelji kojima se utvrđuje da li su izabranim modelom dobijeni značajni i verodostojni podaci, koje daje Conjoint analiza SPSS paketa. Vrednost Pearson-ovog koeficijenta iznosi 0.996, što ukazuje na to da dobijeni rezultati imaju visok nivo značajnosti i stoga se može zaključiti da su visokog kvaliteta. Visoka vrednost Kendall-ovog koeficijenta korelacije (0.983) takođe ukazuje na visok nivo korelacije između ulaznih i procenjenih preferencija. Kendall-ov koeficijent za 2 kontrolna (holdout) profila ima vrednost 1.000, što je dodatni pokazatelj da su dobijeni podaci visokog kvaliteta.

U Tabeli 2 prikazane su značajnosti atributa na agregatnom nivou. Uočava se da su cena, vrsta kafe i proizvođač najznačajniji atributi čije prosečne značajnosti iznose 29,65%, 19,98%, 19,12% respektivno. Dodaci imaju takođe visoku značajnost na agregatnom nivou (16,57%) dok atributi način konzumiranja kafe i brzina usluge imaju ubedljivo najniži nivo značajnosti na agregatnom nivou i iznosi 7,89% i 6,81%. To zapravo znači da ispitanici donošenjem odluke o kupovini kafe najpre posmatraju cenu, zatim gledaju koja je vrsta kafe u pitanju, nakon čega im je značajno ko je proizvođač i koje pogodnosti ima pri kupovini (dodaci).

Na osnovu Tabele 2 možemo definisati najpoželjniju kupovnu opciju a to je: Starbucks-ova moka kafa koja je odmah gotova po ceni od 250 RSD, koja se ispija u kafiću i kod koje se nakon šest kupljenih kafa, sedma dobija gratis.

Očekivano je bilo da će najpoželjnija biti cena iz najnižeg cenovnog segmenta kao i da će ispijanje u kafiću biti deo najpoželjnije kupovne opcije. Pretpostavljalo se i da će ispitanici ako im se ponudi, radije birati mogućnost da dobiju kafu odmah umesto da čekaju na uslugu, iako se ispostavilo da ovaj atribut nema visoku značajnost pri opredeljivanju za neku od kupovnih opcija u ovom slučaju. Ono što nije bilo očekivano je to da se Starbucks izdvoji u odnosu na Costa Coffee i Greenet na ovom tržištu. Ali je to svakako ohrabrući podatak za kompaniju koja još nije ušla na tržište a na njemu već postoji pozitivna naklonost prema dolazećoj kompaniji. Analizirajući dodatke kao deo kupovne opcije, jasno je bilo da će opcija bez dodatka ispitanicima imati najnižu procenjenju korisnost. Dobijeni rezultat koji prikazuje da je alternativa da posle šest kupljenih, sedma bude gratis je optimističan i on kazuje da su ispitanici otvoreni ka korišćenju dodatka i da su verni mestu koje posećuju (sama svest o tome da će jednu kafu imati gratis njih vezuje da na isto mesto češće dolaze). S obzirom da Starbucks ima razrađen svoj sistem lojalnosti, koji je izuzetno motivišući za potrošača, to svakako može biti indikator da će optimalnim programom za ovo tržište ka sebi privući veliki broj potrošača. Još jedan od razloga zbog kojeg se program lojalnosti nije izdvojio je taj što potrošači u Srbiji nisu dovoljno upoznati sa sličnim programima jer nedovoljan broj prodajnih/uslužnih objekata nudi ovu vrstu dodatka te potrošači nemaju iskustvo u vezi sa tim.

#### 4. ZAKLJUČAK I DISKUSIJA

Marketing menadžment je nauka i veština izbora ciljnih tržišta i privlačenje, zadržavanje i povećavanje broja kupaca na osnovu kreiranja, isporuke i prenošenja superiorne vrednosti za kupca. U radu je ukazano na značaj, funkciju i koncepte marketinga sa gde se koncept holističkog marketinga posebno izdvaja s obzirom da je težnja da kompanije upravo na taj način pristupaju ovoj oblasti. Njegova logika da je u marketingu sve značajno. Zahvaljujući takvom pristupu danas se detaljno razvijaju marketing programi, procesi i aktivnosti gde se vodi računa o odnosima sa učesnicima u lancu, komunikaciji i društveno-odgovornim ponašanjem. Ovaj savremeni koncept marketinga podseća da se posledice marketinga proširuju i izvan granica kompanije i potrošača te da je zato neophodno posvetiti pažnju i društveno-odgovorno se ponašati ka društvu.

Prilikom odluke o kupovini kupac prolazi kroz određenju fazu donošenja odluke i kao krajnji rezultat dobija se odluka tj. akcija kupovine ili odustajanja od iste. Odlučivajući o kupovini, kupac je analizirao njemu bitne kriterijume. Conjoint analiza pokušava upravo da prikaže šta je to kupcu pri odlučivanju o kupovini bitno i u kojoj meri. Adekvatan odgovor na to pitanje kompaniji u mnogome može pomoći da koriguje svoju ponudu prema preferencijama njenog ciljnog tržišta u funkciji povećanja profita.

U radu je prikazana i empirijska studija čiji je predmet bilo istraživanje o kupovini kafe van kuće. Studija je osmišljena na taj način da se istraživanje, rezultati i razmatranja donose iz ugla kompanije Starbucks koja je na osnovu ovih rezultata trebala da odluči da li će ući na tržište Srbije i na koji način.

Na osnovu samo demografskih podataka ne može se doneti neka validna odluka, ali na prvi pogled se može zaključiti da će uzorak dati pravu sliku. Kompaniji je bitno što je većina ispitanika već bila u Starbucks-u i to znači da već imaju neki utisak i samim tim je njihovo mišljenje izuzetno značajno i kompaniji reprezentativno. Takođe i prosečna mesečna potrošnja je na zadovoljavajućem nivou a ako to povežemo sa tim da većina (44,92%) ispitanika ima prosečan prihod po članu domaćinstva viši od 50.000 RSD mesečno, zaključuje se da i mesečna potrošnja na ispijanje kafe van kuće može postepeno rasti. Udeo koji ima ispijanje kafe u omiljenom kafiću je takođe interesantno i tu Starbucks vidi šansu da baš on bude taj omiljeni kafić.

Na osnovu kompletno izloženih analiza i rezultata na agregatnom nivou, kompanija može da se opredeli za ulazak na tržište Srbije. Lokacija prvog kafića će, po pretpostavkama studije, biti u centru grada. S obzirom da su rezultati pokazali da kafa za poneti nije atraktivna na ovom tržištu, sam lokal mora biti malo prostraniji kako bi bilo više mesta za sedenje. Turska kafa jeste omiljena na agregatnom nivou, ali ona nije u portfoliju Starbucks-a ali se to može rešiti tako što se u samom kafiću mogu prodavati kafe u zrnju čiji je proizvođač Starbucks sa tradicionalnim kućnim mlinovima za kafu, te onaj ko voli da pije kafu kod kuće i to još tursku, sve to može naći u Starbucksu. Proizvodi koji imaju njihovu moku, espresso, čajevi, kafe sa različitim ukusima se mogu naći na meniju i prema prikazanim rezultatima, dobro će proći. Zbog onih koje vole da isprobavaju nove ukuse, treba ponuditi opciju da se neke kafe mogu mešati i praviti kokteli po sopstvenoj želji, ali i imati sezonske proizvode (npr., pred Noć veštica uvrstiti neku kafu koja će imati aromu bundeve). Dodatno, u kafiću treba imati ponudu Starbucks suvenira sa motivima Beograda (šolje, termos, kutije za kafu/čaj). Što se tiče pozicioniranja u smislu cenovne strategije, u Srbiji je najbolje da se nađe u srednjem cenovnom segmentu. Na taj način se pravi balans između onih koji vole luksuzne i brendirane proizvode i onih koji sebi žele povremeno da priušte nešto malo skuplje. Ovakav pristup otvara mogućnost da će više ljudi različitih platežnih moći posećivati objekat, što je izuzetno dobro sa aspekta potencijalne dobiti.

#### LITERATURA

- [1] <http://www.starbucks.com/card/rewards>
- [2] Kotler, P. and Keller, K. (2006). Marketing menadžment. Beograd: Data Status.
- [3] Kuzmanović, M. (2006). Kvantitativne metode u upravljanju marketingom: Primena Conjoint analize. Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije.
- [4] Levitt, T. (1983). The globalisation of markets. Harvard Business Review, 61 (3), pp.92-102
- [5] Ryan, M., McIntosh, E. and Shackley, P. (1998). Methodological issues in the application of conjoint analysis in health care. Health economics, 7(4), 373–80.



## UTVRĐIVANJE NAMERA POTENCIJALNIH KORISNIKA ELEKTRONSKOG BANKARSTVA

### DETERMINING THE ATTENTIONS OF POTENTIAL INTERNET BANKING USERS

BORIS RADOVANOV<sup>1</sup>, MARIJA MATIJEVIĆ<sup>2</sup>, ALEKSANDRA MARCIKIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, {radovanovb, amarcikic}@ef.uns.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, marija\_matijevic@yahoo.com

**Rezime:** Premda servis elektronskog bankarstva nosi sa sobom niske transakcione troškove i da je vrlo jednostavan za pristupanje, u našoj zemlji je još uvek na vrlo niskom nivou u odnosu na klasično bankarstvo. Ovo istraživanje omogućuje otkrivanje determinanti koje privlače potencijalne korisnike elektronskog bankarstva. Korišćeno je 34 pitanja u upitniku o namerama upotrebe elektronskog bankarstva. Formirano je 8 faktora primenom konfirmatorne faktorske analize. Rezultati pokazuju da stepen informisanosti, jednostavnost upotrebe, očekivani rizici, državna regulativa i osiguranje privatnosti može da poveća broj budućih korisnika elektronskog bankarstva. S druge strane, individualne karakteristike korisnika i dostupnost internet konekcije ne predstavljaju statistički značajnu prepreku daljem razvoju ovog pravca bankarskog poslovanja.

**Cljučne reči:** Elektronsko bankarstvo, faktorska analiza, namere korisnika.

**Abstract:** Although internet banking service brings low rate of transaction costs and easy accessibility it has been still at a very low level comparing with traditional banking. This study enables a detection of determinants which attract potential internet banking users. Using 34 investigation questions in formed questionnaire about intentions of applying internet banking, this paper presents 8 factors extracted from the confirmatory factor analysis. The results indicate the statistical significance of internet banking information, perceived easy of use, expected risks, government regularities and insurance of internet banking user privacy in a process of increasing the number of future internet banking users. On the other hand, individual user characteristics and internet connection accessibility do not represent significant constraints of future development in this new way of banking business.

**Keywords:** Internet Banking, Factor Analysis, User Intentions.

## 1. UVOD

Sa neprestanim tehnološkim razvojem javlja se potreba promene načina trgovine između ljudi, zemalja i sl. Osnovni aspekt navedenog razvoja svakako predstavlja brzina obavljanja transakcija koja se ostvaruje kroz elektronsku trgovinu. Premda je elektronska trgovina prisutna već duže vreme, njena značajnija eksploatacija je rezultat pre svega proširenja aktivnosti na internetu.

Takav napredak elektronskog trgovanja neminovno je rezultirao promenama u načinu poslovanja bankarskog sektora. Prema tome, u potrazi za kompetitivnim prednostima, banke se fokusiraju na promenu sopstvene ponude ka samo-uslužnim kanalima, kao što je recimo servis elektronskog bankarstva (Pikkarainen et al. 2004). Pomenuti trendovi menjaju način na koji banke i korisnici saraduju u obavljanju zajedničkog posla (Dhurup et al. 2014). Takođe, izazovi poslovnog okruženja pokreću finansijsko tržište koje razvija i koristi alternativne uslužne kanale sa ciljem privlačenja većeg broja korisnika, povećanja korisničke percepcije i ulivanja poverenja u poslovne procese (Bauer et al. 2005).

Banke uvek traže načine da maksimiziraju sopstvene profite. Jedan od takvih načina jeste i smanjenje troškova poslovanja koji se mogu postići u kratkom roku donošenjem odluka o neotvaranju novih filijala, već pronalaženjem novih distributivnih kanala. Prilika kao što je pristup računima u bilo koje doba dana i obavljanje bankarskih transakcija po nižim troškovima pruža se korisnicima primenom servisa elektronskog bankarstva. U isto vreme, ovakav način poslovanja, kroz smanjenje operativne mreže, bankama nudi mogućnost ostvarenja nižih troškova za sebe (Kose 2009). Određene finansijske institucije posmatraju elektronsko bankarstvo kao način smanjenja troškova ili kao pravac stvaranja novih prihoda kroz privlačenje

novih korisnika i prodaje više usluga postojećim korisnicima. Ipak ima i onih institucija koje nude elektronsko bankarstvo kao defanzivni pristup sa ciljem zadržavanja postojeće mreže korisnika.

## 2. ELEKTRONSKO BANKARSTVO

Elektronsko bankarstvo predstavlja sistem pružanja bankarskih usluga preko interneta bez potrebe za definisanim vremenom i mestom. U takvim uslovima većina bankarskih poslova se može obavljati bez obzira na to gde se i u koje vreme korisnik nalazi, a da se pri tome u potpunosti ispunjavaju principi transparentnosti, sigurnosti, standardizacije i smanjenja transakcionih troškova.

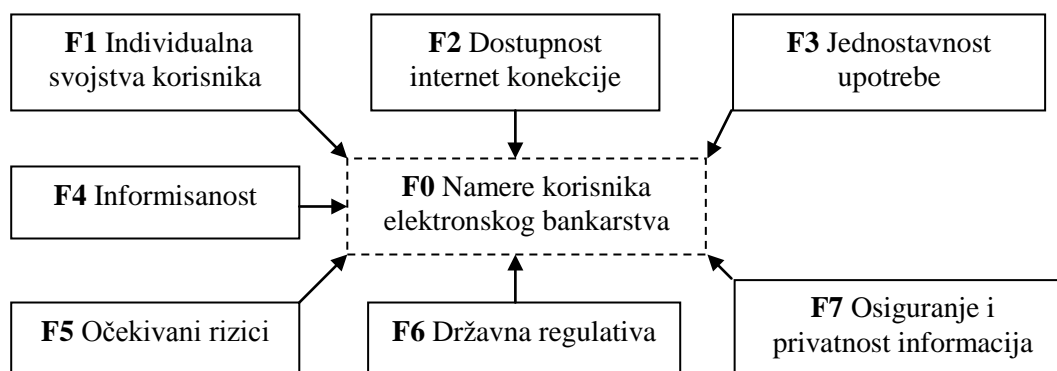
Prelazak sa klasičnog na elektronsko bankarstvo sa sobom nosi rast efikasnosti i konkurentnosti poslovanja, istaknutiji tržišni nastup kroz bolju segmentaciju korisnika, ali i osvajanje novih tržišta. U većini praktičnih primera aplikacija elektronskog bankarstva se tretira kao pitanje prestiža, posebno na finansijskim tržištima u razvoju. Međutim, sa postepenim uvođenjem navedenog bankarskog sistema ovo pitanje sve više postaje preduslov za opstanak na finansijskom tržištu.

Očekivani porast korisnika elektronskog bankarstva primorava banke da povećaju kvalitet usluga. U poslednje vreme su sve izraženiji korisnički zahtevi za boljom kontrolom i upravljanjem finansija. Ovakvim načinom poslovanja, banka se može usredsrediti na svakog korisnika pojedinačno, bez potrebe za generalizacijom. Prema tome, novi pristup marketingu usluga omogućuje korisniku instant reakciju na nove bankarske ponude. Mnogi autori se slažu da je satisfakcija korisnika kratkoročna pojava, dok se kvalitet pruženih usluga smatra stavom koji se formira u dužem roku (Hoffman and Bateson 2006).

Ekonomske karakteristike elektronskog bankarstva obično su izražene na duži rok preko unapređenja tehnologije platnog prometa, povećanja kvaliteta i smanjenje operativnih troškova poslovanja. S druge strane, efekti poslovanja u kratkom roku dolaze do izražaja preko koristi od informacione efikasnosti koje prevazilaze troškove takvih zahteva.

## 3. METODOLOGIJA

Shodno prethodnim istraživanjima u zemljama gde je elektronsko bankarstvo u fazi razvoja (Tanderayen-Ragoobur 2011; Raza and Hanif 2013; Dhurup et al. 2014), ovaj rad detektuje i opisuje biheaviorističke stavove i namere tekućih i potencijalnih korisnika elektronskog bankarstva, koristeći se metodama konfirmatorne faktorske analize. Da bi se postigao postavljeni cilj, potrebno je definisati različite dimenzije uticaja na ponašanje potencijalnih korisnika elektronskog bankarstva. S tim u vezi, polazi se od nekoliko faktora implementiranih u teorijski model namera, predstavljenih slikom 1.



**Slika 1:** Teorijski model namera korisnika elektronskog bankarstva

Teorijski model utvrđivanja namera upotrebe servisa elektronskog bankarstva, prikazan slikom 1, predstavlja sintezu dosadašnjih istraživanja u ovoj oblasti sa posebnim osvrtom na moguću implementaciju ovako definisanog teorijskog okvira u našu dosadašnju praksu elektronskog poslovanja.

U skladu sa istraživanjem o individualnim karakteristikama korisnika (Gerrard and Barton 2003), istaknuto je da na formiranje namera o upotrebi elektronskog bankarstva statistički najveći uticaj imaju godina rođenja, stepen obrazovanja i visina mesečnih primanja. Upravo ova tri pitanja su obuhvaćena navedenim istraživanjem kao faktor individualnih karakteristika. Kada je u pitanju dostupnost internet konekcije upitnik obuhvata pitanja o dostupnosti interneta kod kuće i na radnom mestu. Jednostavnost upotrebe predstavlja set pitanja o razumevanju pretrage, obavljanja transakcija i uticaja na efikasno upravljanje sopstvenim finansijama. Informisanost podrazumeva skup pitanja o poverljivosti, tačnosti i relevantnosti informacija iz servisa elektronskog bankarstva. Kao bitan faktor eventualnog porasta upotrebe

ovakvih usluga, očekivani rizici predstavljaju pitanja o stepenu percepcije pojedinih korisnika o rizičnosti ovakvog tipa poslovanja. Državna regulativa predstavlja skup individualnih mišljenja o ulozi države u promovisanju i stvaranju preduslova za efikasnu implementaciju elektronskog bankarstva. Osiguranje i privatnost informacija podrazumeva mišljenja o nivou sigurnosti ovakvog bankarskog sistema usluga. Na kraju, namere korisnika obuhvataju pojedinačne stavove o učestalosti upotrebe elektronskog bankarstva u budućnosti.

#### 4. ANALIZA REZULTATA

Imajući u vidu efikasnu implementaciju teorijskog okvira u svrhu praktične spoznaje tekućih i budućih namera korisnika internet bankarstva, izveden je online upitnik koji obuhvata 34 pitanja podeljena u 8 celina radi precizne ocene utvrđenih faktora. Osim toga, uzorak je formiran shodno sličnim sprovedenim istraživanjima u oblasti usluga elektronskog bankarstva (Pikkarainen et al. 2004, Akinyele and Olorunleke, Dhurup et al. 2014) i obuhvata uzorak od 200 ispitanika na teritoriji Republike Srbije. Od navedenog broja, njih 195 je u potpunosti odgovorilo na postavljena pitanja.

U cilju provere prihvatljivosti polaznih podataka u formiranju i upotrebi faktora potrebno je testirati adekvatnost uzorka. Testiranje podrazumeva predviđanje verovatnosti dobrog funkcionisanja faktora na osnovu koeficijenta korelacije i parcijalne korelacije. U ovom radu to je učinjeno na dva nivoa. Prvo je izvršeno merenje adekvatnosti putem Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) vrednosti, a zatim je postupak ponovljen putem Bartlett-ovog testa sferičnosti koji podrazumeva determinisanje korelacija između promenljivih koji čine faktore. Rezultat KMO statistike za gore navedeni uzorak iznosi 0,8602 što pokazuje statistički značajnu adekvatnost uzorka za primenu faktorske analize, jer se za njenu donju granicu prihvatljivosti smatra 0,6. Rezultat Bartlett-ovog testa je visoko statistički značajan uz 0% rizika greške i vrednosti testa 2499,4583 čime se dodatno potvrđuje donesena odluka iz prethodnog testa da su podaci odgovarajući i da je moguće formiranje faktora putem korelacione matrice.

##### 4.1. Faktorska analiza

Faktorska analiza predstavlja metod analiziranja strukture korelacije među velikim brojem promenljivih i na taj način definisanja zajedničkih osnovnih dimenzija, poznatih kao faktori. Navedeni metod pronalazi svoju upotrebnu vrednost sa dva aspekta. Prvo, kroz sažimanje osnovnih dimenzija, faktorska analiza opisuje podatke na mnogo manje nivoa nego polazne promenljive, tako da se pojednostavljuje interpretacija rezultata. Drugo, vrši se redukovanje podataka izračunavanjem faktorskih skorova koji predstavljaju efikasan supstitut originalnim promenljivama u borbi sa problemom multikolinearnosti u regresionoj analizi.

Na samom početku istraživanja sprovedena je eksploratorna faktorska analiza koristeći se metodom analize glavnih komponenti i Varimax metodom faktorske rotacije u ekstrakciji sedam faktora čije dobijene svojstvenih vrednosti (eigenvalues) imaju iznose veće od 1. Nakon toga, sprovedena je konfirmatorna faktorska analiza na osnovu ranije utvrđenog teorijsko-metodološkog okvira i izvršena njena komparacija sa eksploratornom analizom putem Tucker-ovog testa kongruencije, kao značajnog indeksa sličnosti među faktorima (Lorenzo-Seva and ten Berge 2006).

**Tabela 1:** Pregled rezultata konfirmatorne faktorske analize

Faktor	Broj elemenata (pitanja)	Prosečno faktorsko opterećenje	Varijansa	Cronbach-ova alpha
F1 Individualna svojstva korisnika	3	0.5966	0.5287	0.1418
F2 Dostupnost internet konekcije	2	0.6466	0.5294	0.0751
F3 Jednostavnost upotrebe	8	0.5846	0.6371	0.8478
F4 Informisanost	6	0.7396	0.6086	0.8647
F5 Očekivani rizici	5	0.6432	0.5761	0.8092
F6 Državna regulativa	3	0.5354	0.7011	0.7854
F7 Osiguranje i privatnost informacija	3	0.5781	0.6545	0.7273
F0 Namere korisnika elektronskog bankarstva	4	0.6287	0.8168	0.6805

Tabela 1 predstavlja sažeti pregled obuhvaćenih faktora i nekoliko informacija o njihovoj pouzdanosti u budućoj potrazi za namerama potencijalnih korisnika elektronskog bankarstva. Takođe, treba napomenuti da

su sve prezentovane vrednosti rezultati faktorske rotacije sa ciljem boljeg shvatanja faktora i izbegavanja objašnjenja varijanse samo putem prvih nekoliko faktora.

Svaki faktor se sastoji iz određenog broja elemenata, odnosno pitanja u upitniku. Faktorsko opterećenje pokazuje način interpretacije uloge koju svaka promenljiva (pitanje) igra u definisanju krajnjeg faktora. Samim tim, veće opterećenje čini datu promenljivu boljim reprezentom izvedenog faktora. Smatra se da sa veličinom uzorka od 200 ispitanika faktorsko opterećenje koje je vredno razmatranja ne sme biti ispod granice od 0,4. Sa tako postavljenim donjim pragom značajnosti od pomenuta 34 elementa (pitanja) samo pitanje o godini rođenja ne prelazi pomenutu granicu. Svi ostali elementi pokazuju visok stepen prisutnosti u formiranim faktorima. Treba napomenuti da su faktorska opterećenja koja prelaze 0,8 zaista retka u bilo kom istraživanju, ali da u ovom slučaju postoji čak 11 pitanja čija faktorska opterećenja prelaze granicu od 0,7 i oni se uglavnom nalaze u grupi pitanja faktora jednostavnosti upotrebe i informisanosti.

Osim navedenog, tabela 1 pokazuje i procenat varijanse koji nose promenljive u postavljenom faktoru. Ovaj indikator pokazuje stepen objašnjenih varijacija potencijalnih namera korisnika elektronskog bankarstva kao faktora od značaja. Vidimo da procenat varijanse ne pada ispod 50% ni kod jednog faktora. Dok je kumulativna varijansa u iznosu od 81,68%.

U poslednjoj koloni tabele 1 predstavljena je Cronbach-ova alfa kao pokazatelj interne konzistentnosti, odnosno pouzdanosti faktora. Smatra se da je benchmark vrednost pouzdanosti od 0,7 i navise prihvatljiva sa stanovišta statističke značajnosti (Santos 2003). Na taj način, faktori individualnih svojstava korisnika i dostupnosti internet konekcije se pokazuju kao nepouzdana u deskripciji budućih namera potencijalnih korisnika elektronskog bankarstva. Kada se izuzmu ovi faktori, sveopšti koeficijent pouzdanosti preostalih faktora iznosi 0,9203.

Radi poređenja rezultata eksploratorne i konfirmatorne faktorske analize i potvrde dobro postavljenih teorijskih osnova modeliranja namera korisnika elektronskog bankarstva, na kraju je izvršeno testiranje kongruencije. Putem eksploratorne analize određeno je 7 faktora prateći gore navedenu metodologiju ekstrahovanja i izdvojena su najuticajnija faktorska opterećenja po pojedinim faktorima. Najznačajnija grupa pitanja se zatim uparuje sa prethodno navedenom grupom (faktorom) iz konfirmatorne analize preko Tucker-ovog testa kongruencije i dobijaju se rezultati za sedam dobijenih faktora u intervalu od 0,6409 do 0,8612. Ako se ima u vidu da je koeficijent kongruencije u intervalu od -1 do 1, zaključujemo da postoji snažna i pozitivna podudarnost između rezultata ove dve metode. Drugim rečima, teorijski formiran model merenja namera iskazuje svoj potencijal u nastavku testiranja faktora uticaja na navedenu pojavu.

## 5. ZAKLJUČAK

Navedeno istraživanje akcenat stavlja na analizu mogućih uticajnih faktora na predviđanje budućih intencija potencijalnih korisnika elektronskog bankarstva. Drugim rečima, takav pravac istraživanja, kroz definisanje eventualnih namera, otkriva trenutno stanje i stepen razvijenosti servisa elektronskog bankarstva, ali i upućuje postojeći sistem banaka na odgovor šta je još potrebno učiniti da bi se unapredila i dodatno osnažila mreža korisnika.

Polazne hipoteze ovog istraživanja su u potpunosti zadovoljene kroz isticanje statistički značajnih faktora uticaja na namere korisnika elektronskog bankarstva. Prema očekivanjima, godina rođenja nije pokazala značajan efekat na formiranje varijacija namera potencijalnih korisnika, dok su stepen obrazovanja i visina mesečnih primanja ostavili određeni trag na formiranje namera gledajući prosečna faktorska opterećenja i varijansu prvog faktora. Takođe, dostupnost internet konekcije kod kuće i na poslu nije imalo značajan uticaj na formiranje faktora u eksploratornoj faktorskoj analizi. Osim toga, zamera se i nizak nivo Cronbach-ove alfe za ovaj potencijalni faktor. Ostali unapred definisani faktori pokazuju svoju neophodnost u formiranju faktora u eksploratornoj i visok stepen konzistentnosti u konfirmatornoj analizi.

Dobijeni rezultati ostavljaju utisak postojanja izraženog potencijala za daleko većim razvojem elektronskog bankarstva u našoj zemlji, kako kroz značajno smanjenje operativnih troškova tako i kroz privlačenje većeg broja korisnika. Banke u razvoju elektronskog bankarstva treba da posvete pažnju povećanju informisanosti potencijalnih korisnika, pojednostavljenju procesa obavljanja bankarskih transakcija na ovaj način, dostupnosti uslužnog servisa, ali i povećanoj pažnji na osiguranje i zaštitu privatnosti korisnika. S druge strane, mišljenja mnogih ispitanika jeste da država može mnogo više da učini po pitanju formiranja odgovarajućih uslova za dalji razvoj ove vrste bankarskog poslovanja. Uzimajući u obzir sve ove faktore i neizostavni tehnološki razvoj, koji to omogućuje, može se reći da je povećanje e-poslovanja gotovo neizbežna stvar.

## LITERATURA

- [1] Akinyele, S.T. & Olorunleke, K. (2010). Technology and service quality in the banking industry: an empirical study of various factors in electronic banking services. *International Business Management*, 4(4), 209-221.
- [2] Bauer, H., Hammerschmidt, M. & Falk, T. (2005). Measuring the quality of E-banking portals. *International Journals of Bank Marketing*, 23(2), 153-175.
- [3] Dhurup, M., Surujlal, J. & Redda, E. (2014). Costumer perceptions of online banking service quality and its relationship with costumer satisfaction and loyalty. *Mediterranean Journal of Social Science*, 5(8), 72-80.
- [4] Gerrard, P.J. & Barton, C. (2003). The diffusion of internet banking among Singapore consumers. *The International Journal of Bank Marketing*, 21(1), 16-28.
- [5] Hoffman, K.D. & Bateson, J. (2006). *Service marketing: concepts, strategies & cases*. New York: Thompson South Western.
- [6] Kose, A. (2009). Determination of reasons affecting the use of internet banking through logistic regression analysis. *Journal of Global Strategic Management*, 6(1), 1-10.
- [7] Lorenzo-Seva, U. & ten Berge, J. (2006). Tucker`s congruence coefficient as a meaningful index of factor similarity. *Methodology European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 2(2), 57-64.
- [8] Pikkarainen, T., Pikkarainen, K., Karjauloto, H. & Pahnla, S. (2004). Consumer acceptance of online banking: an extension of technology acceptance model. *Internet Research*, 14(3), 224-235.
- [9] Raza, A. & Hanif, N. (2013). Factors affecting internet banking adoption among internal and external costumers: a case of Pakistan. *International Journal of Electronic Finance*, 7(1), 82-96.
- [10] Santos, F. (2003). E-service quality: S model of virtual service quality dimensions. *Managing Service Quality*, 13(3), 233-246.
- [11] Tanderayen-Ragoobur, V. (2011). Is Mauritius ready to E-Bank? From a costumer and banking perspective. *Journal of Internet Banking and Commerce*, 16(1), 1-17.



## INTERVALI POVERENJA ZA RAZLIKU PROPORCIJA NA OSNOVU ZAVISNIH UZORAKA SA PRIMENOM U ISTRAŽIVANJU TRŽIŠTA

### CONFIDENCE INTERVALS FOR THE DIFFERENCE OF TWO PROPORTIONS BASED ON DEPENDENT SAMPLES APPLIED IN MARKET RESEARCH

VESNA RAJIĆ<sup>1</sup>, DRAGAN LONČAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {vesnac, loncar}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu se analiziraju intervali poverenja za razliku proporcija na osnovu zavisnih uzoraka. Pored standardnog metoda koji je zasnovan na normalnoj aproksimaciji, analizira se još pet različitih metoda za konstrukciju intervala poverenja. Poređenje ostvarene pouzdanosti predloženih intervala analizirano je u oblasti istraživanja tržišta.

**Ključne reči:** Razlika proporcija, bootstrap-t interval poverenja, Edgeworthov razvoj, Istraživanje tržišta.

**Abstract:** In this paper we analyze confidence intervals for the difference of two proportions based on dependent samples. Besides standard method which is based on normal approximation, we analyze more five different methods for construction confidence intervals. Comparison of the coverage accuracy of suggested intervals is analyzed in market research.

**Keywords:** The difference of two proportions, Bootstrap-t confidence interval, Edgeworth expansion, Market research

#### 1. UVOD

U ovom radu se analiziraju različiti intervali poverenja za razliku proporcija zasnovani na zavisnim uzorcima. U statističkoj literaturi se najčešće koristi Waldov interval poverenja čijom primenom se ostvaruje pouzdanost značajno manja od nominalne verovatnoće pouzdanosti. Taj interval se definiše na sledeći način (pogledati Zhou and Qin 2005). Neka je  $(X_{ok}, X_{1k})$ ,  $k=1,2,\dots,n$  uzorak nezavisnih i jednako raspodeljenih slučajnih veličina iz zajedničke raspodele slučajnih veličina  $(X_0, X_1)$ , gde su  $X_0$  i  $X_1$  korelisane slučajne veličine koje imaju Binomnu raspodelu sa parametrima  $p_0$  i  $p_1$ , respektivno.  $100(1-\alpha)$  % Waldov interval poverenja za  $p=p_1-p_0$  je oblika (Zhou and Qin 2005):

$$I_1 = \left[ \hat{P} - z_{1-\alpha/2} \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\hat{P}_0(1-\hat{P}_0) + \hat{P}_1(1-\hat{P}_1) + 2(\hat{P}_1\hat{P}_0 - \hat{P}_{11})}, \right. \\ \left. \hat{P} + z_{1-\alpha/2} \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\hat{P}_0(1-\hat{P}_0) + \hat{P}_1(1-\hat{P}_1) + 2(\hat{P}_1\hat{P}_0 - \hat{P}_{11})} \right], \quad (1)$$

gde su:

$$Y_i = \sum_{k=1}^n X_{ik}, \quad Y_{11} = \sum_{k=1}^n X_{0k} X_{1k}, \quad \hat{P}_i = Y_i / n, \quad \hat{P} = \hat{P}_1 - \hat{P}_0, \quad \hat{P}_{11} = Y_{11} / n,$$

a  $z_\alpha$  predstavlja  $\alpha$  kvantil Standardizovane normalne raspodele. Pored Waldovog intervala poverenja u radu će se razmotriti još neki intervali poverenja za razliku proporcija koji su poznati u statističkoj literaturi i predložiti dva nova intervala (interval zasnovan na modifikaciji raspodele  $t$ -statistike i *bootstrap-t* interval).

Cilj ovog rada je da predloži nove intervale poverenja za razliku proporcija zasnovano na zavisnim uzorcima i da ukaže na njihove prednosti u odnosu na do sada korišćene intervale poverenja.

## 2. INTERVALI POVERENJA ZA RAZLIKU PROPORCIJA NA OSNOVU ZAVISNIH UZORAKA

Primenom Waldovog intervala poverenja ostvaruje se pouzdanost značajno manja od nominalne verovatnoće pouzdanosti. Zbog toga je Newcombe (1998) predložio novi interval poverenja i nazvao ga NH interval (skraćeno od Newcombe's hybrid interval). Ovaj interval je oblika:

$$I_2 = \left[ \hat{P} - (\delta_1^2 - 2\hat{\phi}\delta_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2^2)^{1/2}, \hat{P} + (\varepsilon_1^2 - 2\hat{\phi}\varepsilon_1\delta_2 + \delta_2^2)^{1/2} \right], \quad (2)$$

gde su:

$$Y_{00} = \sum_k (1 - X_{0k})(1 - X_{1k}), \quad Y_{10} = \sum_k X_{0k}(1 - X_{1k}), \quad Y_{01} = \sum_k (1 - X_{0k})X_{1k},$$

$$D = (Y_{00} + Y_{10})(Y_{01} + Y_{11})(Y_{00} + Y_{01})(Y_{10} + Y_{11}),$$

$$\delta_1 = (Y_{00} + Y_{01})/n - l_1, \quad \varepsilon_1 = u_1 - (Y_{00} + Y_{01})/n,$$

$$\delta_2 = (Y_{00} + Y_{10})/n - l_2, \quad \varepsilon_2 = u_2 - (Y_{00} + Y_{10})/n,$$

$$\hat{\phi} = \begin{cases} (Y_{00}Y_{11} - Y_{10}Y_{01})/D, & Y_{00}Y_{11} - Y_{10}Y_{01} \leq 0 \text{ i } D > 0, \\ \max(Y_{00}Y_{11} - Y_{10}Y_{01} - n/2, 0)/D, & Y_{00}Y_{11} - Y_{10}Y_{01} > 0 \text{ i } D > 0, \\ 0, & D = 0. \end{cases}$$

U prethodnim formulama sa  $l_1$  i  $u_1$  su označeni koreni sledeće jednačine:

$$\left( x - \frac{Y_{00} + Y_{01}}{n} \right)^2 = (z_{1-\alpha/2})^2 \frac{x(1-x)}{n},$$

a sa  $l_2$  i  $u_2$  koreni jednačine:

$$\left( x - \frac{Y_{00} + Y_{10}}{n} \right)^2 = (z_{1-\alpha/2})^2 \frac{x(1-x)}{n}.$$

Konstrukcija ovog intervala je zasnovana na Wilsonovom intervalu za proporciju (pogledati Wilson 1927). Međutim ovaj interval ne daje dobre rezultate ukoliko su veličine uzoraka male.

May i Johnson (1997) su predložili sledeći interval poverenja za razliku proporcija (skraćeno MJ interval):

$$I_3 = \left[ \max \left\{ 0, (-B - \sqrt{B^2 - 4AC})/(2A) \right\}, \min \left\{ 1, (-B + \sqrt{B^2 - 4AC})/(2A) \right\} \right], \quad (3)$$

gde je:

$$A = (1 + z_{\alpha/2}^2/n), \quad B = -2(Y_{01} - Y_{10})/n, \quad C = (Y_{01}/n - Y_{10}/n)^2 - z_{\alpha/2}^2(Y_{01} + Y_{10})/n^2.$$

I Waldov interval i MJ interval za razliku proporcija su zasnovani na normalnoj aproksimaciji raspodele sledeće statistike:

$$T = \frac{\sqrt{n}(\hat{P} - p)}{\sqrt{\hat{P}_0(1 - \hat{P}_0) + \hat{P}_1(1 - \hat{P}_1) + 2(\hat{P}_1\hat{P}_0 - \hat{P}_{11})}}. \quad (4)$$

Ukoliko veličina uzorka nije dovoljno velika aproksimacija raspodele statistike (4) normalnom raspodelom je suviše gruba, naročito kada se radi o znatno asimetričnim raspodelama. U cilju eliminisanja efekata asimetričnosti konstruiše se Edgeworthov razvoj raspodele statistike (4). Da bi se definisao taj razvoj, potrebno je uvesti sledeće oznake (Zhou and Qin 2005):

$$d = p_1(1 - p_1)(1 - 2p_1) - p_0(1 - p_0)(1 - 2p_0) + 6(p_1 - p_0)(p_{11} - p_0p_1),$$

$$\sigma = (p_1(1 - p_1) + p_0(1 - p_0) + 2(p_0p_1 - p_{11}))^{1/2},$$

$$a = d/(6\sigma^2), \quad b = (1 - 2p)/2 - d/(6\sigma^2),$$

$$Q(t) = a + bt^2,$$

gde je  $p_{11} = P(X_0 = 1, X_1 = 1)$ .

**Teorema 1** (Zhou and Qin 2005, pp. 532) Ako su  $p_0$  i  $p_1$  racionalni brojevi, onda važi:

$$P(T \leq t) = \Phi(t) + (n\sigma^2)^{-1/2}(Q(t) + g_n(p_0, p_1, t))\phi(t) + O(n^{-1} \log \log n), \quad (5)$$

gde su  $\Phi(\cdot)$  i  $\phi(\cdot)$  funkcija i gustina standardizovane normalne raspodele, a  $g_n(p_0, p_1, t)$  je prekidna funkcija čije su vrednosti iz intervala od -0,5 do 0,5.

Dokaz Teoreme 1 se može naći u Zhou i Qin (2005). Ukoliko se iskoristi Hallova ideja (pogledati Hall 1992a, 1992 b) može se definisati monotona transformacija statistike  $T$ , koja je u ovom slučaju oblika:

$$g_1(T) = n^{-1/2}\hat{a}\hat{\sigma} + T + n^{-1/2}(\hat{b}\hat{\sigma})T^2 + n^{-1}\frac{1}{3}(\hat{b}\hat{\sigma})^2T^3,$$

gde su  $\hat{a}, \hat{b}, \hat{\sigma}$  i  $\hat{d}$  ocene od  $a, b, \sigma$  i  $d$ . Korišćenjem ove transformacije dobija se  $100(1-\alpha)\%$  interval oblika:

$$I_4 = \left[ \max\left(-1, \hat{P} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} g_1^{-1}(z_{1-\alpha/2})\right), \min\left(1, \hat{P} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} g_1^{-1}(z_{\alpha/2})\right) \right], \quad (6)$$

gde je

$$g_1^{-1}(y) = \begin{cases} \sqrt{n}(\hat{b}\hat{\sigma})^{-1} \left[ (1 + 3(\hat{b}\hat{\sigma})(n^{-1/2}y - n^{-1}\hat{a}\hat{\sigma}))^{1/3} - 1 \right], & \text{ako je } \hat{b}\hat{\sigma} \neq 0 \\ y - n^{-1}\hat{a}\hat{\sigma}, & \text{ako je } \hat{b}\hat{\sigma} = 0. \end{cases}$$

Ćojbašić i Tomović (2007) su predložili transformaciju  $t$  statistike koja bi u slučaju konstrukcije intervala poverenja za razliku proporcija na osnovu zavisnih uzoraka bila oblika:

$$g_2(T) = n^{-1/2}\hat{a}\hat{\sigma} + T + n^{-1/2}(\hat{b}\hat{\sigma})T^2 + n^{-1}T^3,$$

dok je dvostrani  $100(1-\alpha)\%$  interval poverenja oblika:

$$I_5 = \left[ \max\left(-1, \hat{P} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} g_2^{-1}(z_{1-\alpha/2})\right), \min\left(1, \hat{P} - \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} g_2^{-1}(z_{\alpha/2})\right) \right] \quad (7)$$

gde je  $g_2^{-1}(T)$  inverzna funkcija funkciji  $g_2(T)$ .

Koristeći *bootstrap* metod može se konstruisati i dvostrani *bootstrap-t* interval poverenja za  $p$ , pouzdanosti  $(1-\alpha) 100\%$ , koji je oblika:

$$I_6 = \left[ \hat{P} - \hat{t}^{(1-\alpha/2)} \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\hat{P}_0(1-\hat{P}_0) + \hat{P}_1(1-\hat{P}_1) + 2(\hat{P}_1\hat{P}_0 - \hat{P}_{11})}, \right. \\ \left. \hat{P} - \hat{t}^{(\alpha/2)} \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\hat{P}_0(1-\hat{P}_0) + \hat{P}_1(1-\hat{P}_1) + 2(\hat{P}_1\hat{P}_0 - \hat{P}_{11})} \right], \quad (8)$$

gde su sa  $\hat{t}^{(\alpha/2)}$  i  $\hat{t}^{(1-\alpha/2)}$  označeni  $1-\alpha/2$  i  $\alpha/2$  percentili raspodele *bootstrap* statistike  $T^*$ . Statistika  $T^*$  je oblika:

$$T^* = \frac{\sqrt{n}(\hat{P}^* - p)}{\sqrt{\hat{P}_0^*(1-\hat{P}_0^*) + \hat{P}_1^*(1-\hat{P}_1^*) + 2(\hat{P}_1^*\hat{P}_0^* - \hat{P}_{11}^*)}}. \quad (9)$$



gde su  $\hat{P}^*$ ,  $\hat{P}_0^*$  i  $\hat{P}_1^*$  odgovarajuće statistike *bootstrap* uzorka (o *bootstrap* metodu pročitati u Efron and Tibshirani 1993).

### 3. PRIMENA U ISTRAŽIVANJU TRŽIŠTA

Predložene intervale je moguće primeniti u istraživanju tržišta i analizirati njihovu pouzdanost. U cilju takve analize, izvršeno je posmatranje na jednom većem preduzeću u Srbiji koje zapošljava oko 400 radnika i koje je dobitnik nagrade za kvalitet za 2006. godinu. Posmatrana je bruto plata radnika pre (2005. godine) i posle dobijanja nagrade za kvalitet (2008. godine). Iz skupa radnika birani su uzorci (veličine 10, 20, 50 i 100) pre i posle dobijanja nagrade i beležena je njihova bruto plata. Pošto je posmatranje vršeno na istim eksperimentalnim jedinicama, u pitanju su zavisni uzorci. Uočeno je da je u 2008. godini u odnosu na 2005. godinu došlo do značajnog porasta bruto plate radnika.

U oba skupa podataka je razmatran procenat radnika koji su imali bruto platu veću od 50000 dinara. Pouzdanost intervala poverenja za razliku proporcija koji su konstruisani za različite veličine uzoraka je data u Tabelama 1 i 2. Rezultati su dobijeni na osnovu programa koji je napisan u programskom jeziku Fortran 90. Može se uočiti da predloženi intervali ostvaruju bolju pouzdanost od Waldovog intervala.

**Tabela 1:** Pouzdanost 95% intervala poverenja za razliku proporcija dva skupa podataka

	Waldov interval (1)	NH interval (2)	MJ interval (3)
$n_1=10, n_2=10$	0,540	0,805	0,822
$n_1=20, n_2=20$	0,614	0,872	0,873
$n_1=50, n_2=50$	0,642	0,903	0,899
$n_1=100, n_2=100$	0,671	0,945	0,914

**Tabela 2:** Pouzdanost 95% intervala poverenja za razliku proporcija dva skupa podataka

	Hallov interval (4)	Interval (5)	Interval (6)
$n_1=10, n_2=10$	0,822	0,812	0,782
$n_1=20, n_2=20$	0,839	0,817	0,801
$n_1=50, n_2=50$	0,913	0,891	0,823
$n_1=100, n_2=100$	0,932	0,899	0,876

Waldov interval ostvaruje pouzdanost ispod 70% u svim razmatranim slučajevima i on nije adekvatan za korišćenje. NH Interval i Hallov interval ostvaruju najbolju pouzdanost među svim predloženim metodima.

### 4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani različiti intervali poverenja za razliku proporcija dva skupa na osnovu zavisnih uzoraka. Predloženi intervali su konstruisani za podatke iz oblasti istraživanja tržišta. Dobijeni rezultati ukazuju da najbolju pouzdanost ostvaruju intervali koji su zasnovani na transformacijama koje proizilaze iz Edgeworthovog razvoja, kao i NH intervali. Predloženim metodima treba dati prednost u odnosu na do sada korišćene metode.

### LITERATURA

- [1] Čojbašić, V. & Tomović, A. (2007). Nonparametric Confidence Intervals for Population Variance of One sample and the Difference of Variances of Two Samples, *Comp.Stat.&Data Anal.* 51, 5562-5578.
- [2] Efron, B. & Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*, Chapman & Hall, New York.
- [3] Hall, P. (1992a). On the removal of skewness by transformation, *J. Roy. Statist. Soc. B* 54, 221-228.
- [4] Hall, P. (1992b). *The Bootstrap and Edgeworth Expansion*, Springer, New York.
- [5] Newcombe, R.G. (1998). Improved confidence intervals for the difference between binomial proportions based on paired data. *Statist. Med.* 17, 2635–2650.
- [6] May, W.L. & Johnson, W.D. (1997). Confidence intervals for differences in correlated binary proportions. *Statist. Med.* 16, 2127–2136.
- [7] Wilson, E.B. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *J. Amer. Statist. Assoc.* 22, 209–212.
- [8] Zhou, X.-H. & G. Qin, G. (2005). A new confidence interval for the difference between two binomial proportions of paired data. *J. Stat.Plan. Infer.* 128, 527 – 542.

## ANALIZA EFIKASNOSTI PROIZVODNJE ŽITARICA U SRBIJI

### ANALYSIS OF GRAIN PRODUCTION EFFICIENCY IN SERBIA

ŽARKO ROSIĆ<sup>1</sup>, OLIVERA MIHIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, zarko.rosic88@gmail.com, oliveradj@fon.rs

**Rezime:** U ovom radu smo upoređivali Srbiju sa nekoliko drugih zemalja iz Evrope u proizvodnji žitarica preko statističkog modela efikasnosti. Rezultati su dobijeni korišćenjem DEA analize. Iz rezultata koji su predstavljani u ovom radu dolazimo do saznanja da Srbija posluje efikasno i pored malih ulaganja.

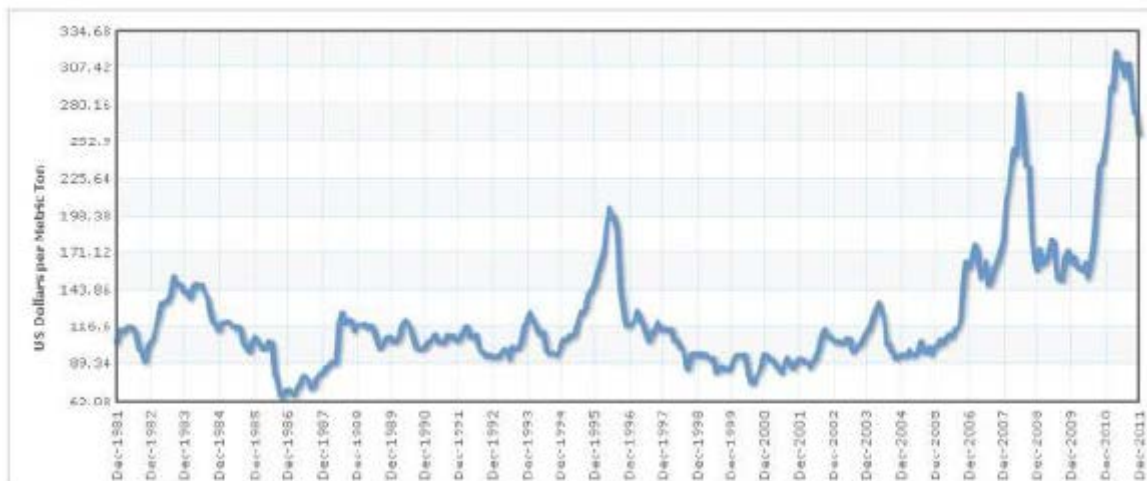
**Cljučne reči:** DEA analiza, Dualno izlazno orijentisani model, Merenje efikasnosti.

**Abstract:** In this paper, we compared Serbia with several other countries in Europe in the production of grains through a statistical model of efficiency. The results were obtained using the DEA analysis. From the results of which are presented in this paper finds that Serbia operates efficiently beside the small investment.

**Keywords:** DEA analysis, Dual output oriented model, Measure efficiency

#### 1. UVOD

Do 2045. godine planeta će imati 9 milijardi stanovnika i glavni problem neće biti nedostatak životnog prostora, već nedostatak osnovnih životnih namirnica, vode i hrane. Cena vode i hrane je u svakodnevnom porastu. Na primer iz godine u godinu cena pšenice veoma brzo raste, što možemo videti na grafiku ispod.



Slika 1: Cena pšenice po godini

Zbog rasta cena životnih namirnica mnoge zemlje ulažu veliku količinu resursa u poljoprivredu sa željom da maksimalno povećaju prinos poljoprivrednih dobara.

Pre ulaganja u svaki posao prvo se proverava princip efikasnosti, a tek kasnije se razmišlja o ulaganju. To je jedan od glavnih pristupa u poslovanju koji se sastoji u ostvarivanju što većih ekonomskih efekata uz što manje ekonomske žrtve. Da bi smo ispitali efikasnost jedinica (zemalja) koristimo DEA analizu, koja predstavlja jednu od vodećih metoda za merenje performansi organizacionih jedinica. Na osnovu rezultata možemo da uporedimo neefikasne jedinice sa efikasnim jedinicama, odnosno možemo da uporedimo našu zemlju sa drugim zemljama i proverimo da li mi pripadamo zemljama koje posluju efikasno ili ne.

## 2. FORMIRANJE DEA MODELA I REZULTATI

Analiza obavijenih podataka (DEA) može se smatrati specijalno dizajniranom tehnikom za merenje efikasnosti kompleksnih jedinica. DEA metoda omogućava analizu efikasnosti posmatranih jedinica uzimajući u obzir kombinacije različitih ulaznih i izlaznih promenljivih. Značajna osobina DEA metode je da ulazi i izlazi ne moraju biti istorodni. Prema orijentaciji DEA analiza može imati tri modela: ulazno orijentisani, izlazno orijentisani i kombinovani modeli. U ovom radu ćemo koristiti izlazno orijentisani model, čiji je cilj da se maksimizira izlaz pri zadanom nivou ulaza. Samim tim dobijamo podatak koliko je potrebno neefikasnoj jedinici da postane efikasna kroz povećanje svojih izlaza. Drugim rečima, u ovom radu ćemo videti koliko može da se poveća prinos žitarica pri unapred zadanim ulazima.

### 2.1 Opis postupka

Ideju DEA metode najbolje ilustruje dualni model koji se naziva “problem obavijanja”. U dualnom modelu se za datu jedinicu konstruiše hipotetička kompozitna jedinica izvan postojećih jedinica. Ako je moguće konstruisati hipotetičku kompozitnu jedinicu posmatrana jedinica je neefikasna, a ako nije moguće, ona je efikasna. Dualno izlazno orijentisani model izgleda ovako:

$$\max \theta + \varepsilon(e^T s^+ + e^T s^-) \quad (1)$$

po ograničenju

$$X\alpha + s^+ = X_k \quad (2)$$

$$\theta Y_k - Y\alpha + s^- = 0 \quad (3)$$

$$\alpha, s^+, s^-, \varepsilon \geq 0 \quad (4)$$

gde su uvedene sledeće oznake:

$\theta$  - faktor inteziteta (pokazuje koliko je moguće da jedinice proporcionalno povećaju izlaz)

$s^+$  i  $s^-$  - dopunske promenljive do jednakosti u relacijama (2) i (3) (one pokazuju koliko je moguće da k-ta jedinica pojedinačno poveća ulaz i smanji izlaz da bi postala efikasna)

$\alpha_j$  - dualna težina (ona pokazuje važnost koja je dodeljena j-toj jedinici)

$\varepsilon$  - mala pozitivna vrednost (ima zadatak da istakne da maksimizacija faktora inteziteta ima prednost)

$X_k$  i  $Y_k$  - vektori ulaza i izlaza za k-tu jedinicu.

U izlazno orijentisanom modelu vrednosti za dualne težine pokazuju važnost koju je imala svaka jedinica pri definisanju ulaza i izlaza kompozitne jedinice i određuju se tako da nijedan od ulaza kompozitne jedinice

$$(\sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

ne bude veći od vrednosti tog ulaza za k-tu jedinicu. Pomoću tako izabranih dualnih težina izračunava se za svaki izlaz potrebna količina

$$(\sum_{j=1}^n \alpha_j y_{rj}, \quad r = 1, 2, \dots, s) \quad (6)$$

koju k-ta jedinica treba da proizvede da bude efikasna. U tabeli 2 će sve efikasne jedinice biti predstavljene sa vrednošću 1, a neefikasne jedinice će biti predstavljene vrednostima manjim od 1. Napomenimo da što su vrednosti niže jedinice su neefikasnije.

### 2.2. Opis rezultata

Za analizu prethodnog problema koristićemo sledeće podatke za analizu:

➤ Ulaz:

1. BDP po glavi stanovnika (podaci preuzeti iz National Accounts Main Aggregates Database)
2. Cena radne snage po stanovniku (podaci preuzeti iz Organization for Economic CO-operation and development)
3. Cena goriva (podaci preuzeti iz Eurostat Database)
4. Subvencije po hektaru (podaci preuzeti iz Reform the cap Database)
5. Cena gasa (podaci preuzeti iz Eurostat Database)
6. Broj ljudi sa punim radnim vremenom na 100 hektara (podaci preuzeti iz Eurostat Database)

➤ Izlaz:

1. Ukupan prinos žitarica (100kg po hektaru) (podaci preuzeti iz Eurostat Database)

U radu neće biti razmatrane planinske zemlje kao što su: Crna Gora, Austrija, Slovenija i Švajcarska. Ukrajinu nismo uzeli u razmatranje zbog trenutne političke situacije, dok zemlje Skandinavije nismo razmatrali zbog njihovih klimatskih uslova.

**Tabela 1:** Podaci koji su korišćeni u analizi

Zemlje	BDP po glavi stanovnika (USD)	Cena radne snage po satu	Cena goriva	Subvencije po hektaru	Cena gasa	Broj ljudi na 100 hektara sa punim radnim vremenom	Požejjiva površina 1000ha	Ukupan prinos 100kg/h
Velika Britanija	39.367	20,83	1,63	247	3,36	13,3	2.863,9	62,1
Belgija	43.707	37,11	1,45	447	3,86	13,6	341,8	88,1
Irska	46.032	15,4	1,44	324	3,69	29	296,2	84,7
Francuska	39.617	24	1,33	310	3,97	10,8	9.391,8	72,9
Estonija	17.335	6,53	1,34	112	3,56	5,7	290,6	34,2
Španija	28.278	17,16	1,34	206	3,83	6,7	5.980,00	28,4
Portugal	20.006	12,1	1,43	174	4,13	10	287,9	40,9
Poljska	12.820	6	1,27	197	3,62	13,6	7.704,30	37,1
Mađarska	12.490	7,2	1,4	312	3,94	4,3	2.747,90	37,5
Češka republika	18.428	9	1,3	258	3,24	6,4	1.454,40	45,4
Letonija	13.984	7,1	1,31	143	4,4	8,7	563,9	37,7
Slovačka	16.774	8,7	1,39	200	3,56	5	792,8	38,3
Italija	33.069	17,8	1,71	343	3,79	10	4.626,30	39,4
Rumunija	7.787	4,4	1,32	92	2,07	1,4	5.394,70	23,4
Grčka	22.377	15,9	1,38	544	4,78	13	988,3	43,4
Srbija	5.315	3	1,3	105	3,2	18,5	1793	47,19
Bugarska	7.004	3,9	1,36	190	3,56	9,7	1.908,50	36,7
Holandija	46 073	22,85	1,4	412	3,9	44	208	85,3
Litvanija	13 984	6	1,45	100	3,8	2,2	1.159,70	40,2

U daljoj analizi koristimo ulaze koji ispunjavaju sledeće uslove:

- 1) Pozitivnost
- 2) Izotnost
- 3)  $улаз + излаз < јединице/3$

Iz tabele 1 je očigledno da je ispunjen uslov pozitivnosti, tj. svaki parametar je nenegativan. Drugi uslov možemo da proverimo preko softvera SPSS. Da bi ulaz bio korišćen dalje u analizi on mora da bude pozitivno korelisan sa izlazom i ta korelacija treba da bude značajna.

Posle izvršene korelacione analize utvrdili smo da za dalju analizu možemo za ulaz koristiti:

- a) Subvencije po hektaru,
- b) BDP po glavi stanovnika i
- c) Broj ljudi sa punim radnim vremenom na 100 hektara.

Kod ostalih ulaza pretpostavka značajnosti nije zadovoljena. Ulaz "Cena radne snage po satu" je isključen zato što je analizom pokazano da je veoma jako korelisan sa ulazom BDP po stanovniku.

Iz tabele takođe vidimo da je zadovoljen i treći uslov.

Kako ulazi (a), (b) i (c) zadovoljavaju sva tri uslova možemo pristupiti daljoj analizi. Za obradu podataka ćemo koristiti program MAXDEA. Koristeći ovaj softver izvršićemo DEA analizu izlazne orijentacije. Ta analiza nam daje podatak koliko možemo povećati ukupan prinos žitarica.

**Tabela 2:** Rezultati DEA modela efikasnosti

DMU	Score	Benchmark(Lambda)	Original (Ukupan prinos 100kg/h)	Proportionate Movement (Ukupan prinos 100kg/h)	Projection (Ukupan prinos 100kg/h)
Belgija	1	BE(1,0)	88,1	0	88,1
Bugarska	1	BG(1,0)	36,7	0	36,7
Češka republika	0,907508	BE(0,2); LH(0,7); SR(0,1)	45,4	4,62709	50,02709
Estonija	0,788522	IE(0,1); LH(0,8); SR(0,1)	34,2	9,172304	43,3723
Španija	0,500066	FR(0,5); IE(0,0); LH(0,5)	28,4	28,39252	56,79252
Francuska	1	FR(1,0)	72,9	0	72,9
Grčka	0,702009	BE(0,4); LH(0,2); SR(0,4)	43,4	18,42257	61,82257
Mađarska	0,93159	BG(0,1); LH(0,8); SR(0,1)	37,5	2,753755	40,25376
Irska	1	IE(1,0)	84,7	0	84,7
Italija	0,551287	BE(0,6); LH(0,3); SR(0,0)	39,4	32,06915	71,46915
Litvanija	1	LH(1,0)	40,2	0	40,2
Letonija	0,799705	BE(0,1); LH(0,6); SR(0,3)	37,7	9,442359	47,14236
Holandija	0,978969	BE(0,7); IE(0,3)	85,3	1,83252	87,13252
Poljska	0,727782	BE(0,1); LH(0,3); SR(0,6)	37,1	13,87681	50,97681
Portugalija	0,764899	BE(0,0); FR(0,3); LH(0,4); SR(0,3)	40,9	12,57111	53,47111
Rumunija	1	RO(1,0)	23,4	0	23,4
Slovačka	0,82288	BE(0,1); LH(0,8); SR(0,1)	38,3	8,243865	46,54387
Srbija	1	SR(1,0)	47,19	0	47,19
Velika Britanija	0,942874	FR(0,4); IE(0,3); LH(0,3)	62,1	3,762481	65,86248

Iz tabele 2 vidimo da sledeće zemlje posluju efikasno:

1. Belgija
2. Bugarska
3. Francuska
4. Irska
5. Litvanija
6. Rumunija
7. Srbija.

Analizom smo utvrdili da naši zemljoradnici uspešno obavljaju svoj posao, jer je i pored teške ekonomske situacije prinos veoma dobar. Ako uporedimo platežnu moć našeg zemljoradnika sa platežnom moći zemljoradnika iz Holandije ili Belgije možemo zaključiti da holandski zemljoradnik može više da uloži za održavanje poljoprivrednog gazdinstva. Slična je situacija sa državnim subvencijama kojim Srbija pomaže svom zemljoradniku u odnosu na Belgiju i Holandiju. Prinos možemo da povećamo povećanjem ulaza, odnosno razvojem celokupne privrede, što će rezultirati većom platežnom moći i većim subvencijama..

### 3. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo upoređivali našu zemlju sa nekoliko drugih zemalja iz Evrope u proizvodnji žitarica preko statističkog modela efikasnosti. Posmatrali smo sedam ulaza: BDP po glavi stanovnika, Cena radne snage po stanovniku, Cena goriva, Subvencije po hektaru, Cena gasa, Broj ljudi na 100 hektara sa punim radnim vremenom, Poženjiva površina, a za izlaz prinos (100kg po hektaru). Analizom smo utvrdili da uslove za primenu DEA analize zadovoljavaju ulazi: BDP po glavi stanovnika, Broj ljudi na 100 hektara sa punim radnim vremenom i Subvencije po hektaru.

Koristeći DEA analizu izmerili smo performansu Srbije u proizvodnji žitarica i dobili da Srbija posluje efikasno. Na osnovu toga možemo zaključiti da jedan od prioriteta razvoja Srbije treba da bude poljoprivreda.

## LITERATURA

- [1] Savić, G. Matematički modeli efikasnosti, Beograd
- [2] Martić, M. & Savić, G. (2010). Ocena performansi sistema primenom matematičkog modeliranja, FON, Beograd
- [3] Field, A. (2005). Discovering Statistics Using SPSS, SAGE publication, London.
- [4] Gang, C. & Zhenhua, Q. (2013). MaxDEA Pro 6 Manual, University of Science and Technology Beijing.
- [5] Abbott, M. & Doucouliagosa, C. (2003). The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis, Economics of Education Review 22, 89–97.
- [6] Ali Rajaei-Far, M., Akram, A., Ghobadian, BRafiee, S. & Davoud Heidari, M. (2013). Optimization of Energy Consumption for Table Olive Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Approach, International Journal of Agronomy and Plant Production. Vol., 4 (8), 1910-1919.

**NEPARAMETARSKI INTERVALI POVERENJA ZA RAZLIKU SREDINA DVA UZORKA****NONPARAMETRIC CONFIDANCE INTERVALS FOR DIFFERENCE OF MEANS FOR TWO SAMPLES**

JELENA STANOJEVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, jelenas@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** Ovaj rad predstavlja kratak prikaz problema formiranja intervala poverenja za razliku sredina dva uzorka. Naime, dat je Edgeworthov razvoj  $t$ -statistike i na osnovu njega date su tri transformacije već poznate u literaturi, pomoću kojih se formiraju intervali poverenja za razliku sredina dva uzorka. Takođe su date oblasti odbacivanja hipoteze o razlici sredina kada su obe varijanse poznate ili obe nepoznate, kao i slučaj kada je količnik varijansi poznat.

**Ključne reči:** Edgeworthov razvoj  $t$ -statistike, transformacije postojećih intervala.

**Abstract:** In this paper we give a short review on the problem of forming confidence intervals for difference of two sample means. Particularly, we present the Edgeworths expansion for  $t$ -statistic. We provide three transformations, well-known from the literature, used for construction of confidence intervals for difference of two sample means. Moreover, we state rejection regions for testing hypothesis on difference of two sample means when both variances are known or both are unknown, also a case when ratio of variances is known.

**Keywords:** Edgeworths expansion of  $t$ -statistic, transformation of well known confidence intervals

**1. UVOD**

U ovom radu biće dat prikaz problema formiranja intervala poverenja za razliku dva uzorka. Na osnovu Edgeworthovog razvoja  $t$ -statistike date su tri transformacije poznate za problem jednog uzorka, koje su ovde proširene za problem dva uzorka. Može se pokazati da se interval poverenja baziran na  $t$ -statistici dva uzorka može modifikovati kako bi dobio bolju pokrivenost kada se radi sa podacima iz skewed raspodele. Takođe su date oblasti odbacivanja hipoteze o razlici sredina dva uzorka, u odnosu na odgovarajuće alternativne hipoteze, za slučaj kada su obe varijanse poznate ili nepoznate, kao i za slučaj kada je količnik varijansi poznat.

**2. EDGEWORTHOV RAZVOJ T-STATISTIKE**

Neka su  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n_1}$  i  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n_2}$  nezavisne jednakoraspodeljene slučajne veličine iz raspodele  $F$ , sa sredinom  $\mu_1$ , varijansom  $\sigma_1^2$ , skewnessom  $\gamma_1$  i raspodele  $G$ , sa sredinom  $\mu_2$ , varijansom  $\sigma_2^2$ , skewnessom  $\gamma_2$ . Neka su  $\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$  i  $S_i^2 = \frac{1}{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$  za  $i=1,2$ . Ovde će biti reči o konstrukciji intervala poverenja za razliku sredina  $\mu_1 - \mu_2$  pomoću  $t$ -statistike:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

**Teorema 1.** Neka je  $\lambda_N = \frac{n_1}{n_1+n_2} = n_1/N$ . Pretpostavimo da je  $\lambda_N = \lambda + O(N^{-r})$  za neko  $r \geq 0$ . Za regularne uslove (videti Hall 1992) raspodela  $t$ -statistike (1) ima sledeći razvoj:

$$P(T \leq x) = P\left(N^{\frac{1}{2}}U \leq x\right) = \Phi(x) + \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{A}{6} (2x^2 + 1)\phi(x) + O\left(N^{-\min(1, r + \frac{1}{2})}\right), \quad (2)$$

gde su  $\phi(\cdot)$  i  $\Phi(\cdot)$  gustina raspodele i funkcija raspodele standardne normalne raspodele i

$$A = \left\{ \frac{\sigma_1^2}{\lambda} + \frac{\sigma_2^2}{1-\lambda} \right\}^{-\frac{3}{2}} \left\{ \frac{\sigma_1^3 \gamma_1}{\lambda^2} - \frac{\sigma_2^3 \gamma_2}{(1-\lambda)^2} \right\}.$$

Dokaz prethodne teoreme videti u Zhou and Dinh 2005.

Slično problemu jednog uzorka, za  $a = \frac{1}{3}, b = \frac{1}{6}$  i  $\gamma=A$ , mogu se definisati tri transformacije:

$$\begin{aligned} T_1(U) &= U + a\hat{\gamma}U^2 + \frac{1}{3}a^2\hat{\gamma}^2U^3 + n^{-1}b\hat{\gamma}, \\ T_2(U) &= (2an^{-\frac{1}{2}}\hat{\gamma})^{-1} \left\{ \exp\left(2an^{-\frac{1}{2}}\hat{\gamma}U\right) - 1 \right\} + n^{-1}b\hat{\gamma}, \\ T_3(U) &= U + U^2 + \frac{1}{3}U^3 + n^{-1}b\hat{\gamma}. \end{aligned}$$

Pomoću gore navedenih transformacija dobijaju se tri intervala poverenja za  $\mu_1 - \mu_2$ :

$$\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - N^{\frac{1}{2}}T_i^{-1}\left(N^{-\frac{1}{2}}\xi_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)\hat{\sigma} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{X}_1 - \bar{X}_2 - N^{\frac{1}{2}}T_i^{-1}\left(N^{-\frac{1}{2}}\xi_{\frac{\alpha}{2}}\right)\hat{\sigma},$$

gde je  $T_i^{-1}(\cdot)$  inverzna funkcija funkcije  $T_i(\cdot)$ , koja može biti analitički izračunata i važi:

$$\begin{aligned} T_1^{-1}(t) &= \left(\frac{1}{3}\hat{A}\right)^{-1} \left\{ 1 + 3\frac{1}{3}\hat{A}\left(t - N^{-1}\frac{1}{6}\hat{A}\right) \right\}^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{1}{3}\hat{A}\right)^{-1}, \\ T_2^{-1}(t) &= \left(2\frac{1}{3}N^{-\frac{1}{2}}\hat{A}\right)^{-1} \log\left\{ 2\frac{1}{3}N^{-\frac{1}{2}}\hat{A}\left(t - N^{-\frac{1}{2}}\frac{1}{6}\hat{A}\right) + 1 \right\}, \\ T_3^{-1}(t) &= \left\{ 1 + 3\left(t - N^{-1}\frac{1}{6}\hat{A}\right) \right\}^{\frac{1}{3}} - 1. \end{aligned}$$

Ovde je  $\hat{A}$  ocena momenata za koeficijent  $A$  i važi:

$$\hat{A} = \hat{A}_m = \frac{(N/n_1)^2 S_1^3 \hat{\gamma}_1 - (N/n_2)^2 S_2^3 \hat{\gamma}_2}{\left\{ \left(\frac{N}{n_1}\right) S_1^2 + \left(\frac{N}{n_2}\right) S_2^2 \right\}^{3/2}}$$

gde je za  $i=1,2$ ,

$$S_i^2 = \frac{1}{n_i-1} \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2, \hat{\gamma}_i = \frac{n_i}{(n_i-1)(n_i-2)} \sum_{j=1}^{n_i} \left\{ \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{S_i} \right\}^3$$

U radu Zhou and Dinh 2005 su pokazali da koeficijent  $\frac{\hat{A}}{\sqrt{N}}$  ima važnu ulogu u normalnoj aproksimaciji za konstrukciju intervala poverenja. Simulacije su pokazale da je interval poverenja baziran na t-statistici dobar kada je koeficijent  $\hat{A}_m/\sqrt{N}$  manji od 0.3. Bootstrap-t interval, kao i  $T_1$  i  $T_3$  intervali unapredjuju uobičajeni t-interval, u slučaju kada je koeficijent  $\hat{A}_m/\sqrt{N}$  veći od 0.3. Interval baziran na  $T_3$  transformaciji daje najtanju meru pokrivenosti, u smislu dužine intervala i preporučuje se u odnosu na bootstrap-t interval i  $T_1$  interval. Simulacije su takodje pokazale da su transformisani intervali bolji kada je koeficijent A pozitivn.

### 3. PROBLEM DVA UZORKA SA POZNATIM KOLIČNIKOM VARIJANSI

Problem dva uzorka je dosta prisutan u statističkoj praksi. Najčešća pretpostavka o dva uzorka je da oni dolaze iz nezavisnih, normalnih populacija sa različitim sredinama. Najčešće je varijansa nepoznata i mora biti ocenjena. U slučaju pretpostavke o jednakim varijansama koristi se pooled ocena zajedničke varijanse i test statistika ima t raspodelu. U slučaju različitih varijansi dve varijanse se ocenjuju odvojeno i test statistika nema tačno t raspodelu. Tada se može aproksimirati raspodela t raspodelom sa slučajnim stepenomslobode koji se ocenjuje iz podataka. Mnogi statistički paketi imaju test o jednakosi varijanse. Rezultat ovog testa daje mogućnost da se iskoristi odgovarajući test o jednakostisredina. Posebno, ako varijanse nisu različite koristi se uobičajeni (pooled) test dva uzorka. Ako se pokaže da su varijanse različite tada se koristi Satterthwaite test.



Ovde će biti razmatrano testiranje razlike sredina za dve nezavisnenormalne raspodele. Neka je  $X_{11}, \dots, X_{1n_1} \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$  i  $X_{21}, \dots, X_{2n_2} \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ . Zanima nas testiranje hipoteze  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$ .

### Slučaj kada su obe varijanse poznate ili obe nepoznate:

Slučaj koji je najjednostavniji jeste kada su obe varijanse poznate. U tom slučaju koristi se z-statistika

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Z ima  $N(0,1)$  raspodelu pod pretpostavkom hipoteze  $H_0$ .

Kada su varijanse nepoznate jasno je da nastaje komplikovaniji slučaj. z-test je neodgovarajući jer varijanse trebaju da se ocene. Ako se pretpostavi da su varijanse jednake  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ , tada se kombinuju dva uzorka za ocenu varijanse. Uobičajena pooled ocena za  $\sigma^2$  data je formulom:

$$S_{pooled}^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2},$$

gde su  $S_1^2$  i  $S_2^2$  uzoračke varijanse oba uzorka redom. U ovom slučaju test statistika je:

$$Z_1 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \Delta_0}{S_{pooled} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

koja ima tačno t-raspodelu sa  $\nu_1 = n_1 + n_2 - 2$  stepeni slobode, pod pretpostavkom  $H_0$ .

Mnogo realniji slučaj jeste kada su dve varijanse različite. U literaturi je to poznato kao Behrens-Fisherov problem. U ovom slučaju test statistika je:

$$Z_2 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

koja nema tačno t-raspodelu. Teškoća je u činjenici da  $\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^{-1} \left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)$  nema odgovarajuću  $\chi^2$  raspodelu. Satterthwaite 1941, 1946 je predložio metod koji aproksimira tačnu raspodelu sa odgovarajućom  $\chi^2$  raspodelom. Koristeći tu aproksimaciju važi:

$$\nu_2 \left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^{-1} \left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right) \sim \chi_{\nu_2}^2,$$

i da  $Z_2$  ima aproksimativno t raspodelu sa  $\hat{\nu}_2$  stepeni slobode, gde je

$$\hat{\nu}_2 = \left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2 \left\{ \frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2-1} \right\}^{-1}.$$

Kako je  $\nu_2 = \left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^2 \left\{ \frac{(\sigma_1^2/n_1)^2}{n_1-1} + \frac{(\sigma_2^2/n_2)^2}{n_2-1} \right\}^{-1}$ ,  $\nu_2$  se ocenjuje sa  $\hat{\nu}_2$ .

Tako  $Z_2$  ima aproksimativno t raspodelu sa  $\hat{\nu}_2$  stepeni slobode.

### Slučaj kada je količnik varijansi poznat:

U ovom slučaju ćemo pretpostaviti da je  $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = c \neq 1$ . Takva situacija kada je količnik varijansi poznat a varijanse nepoznate se javlja u praksi. Korišćenje  $Z_2$  deluje kao dobro rešenje u ovom slučaju. Ali ova statistika ne koristi uopšte poznavanje količnika varijansi. Sledeća statistika ima standardnu normalnu raspodelu:

$$Z_3 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{n_1 + n_2}}}$$

U ovoj statistici  $Z_3$  jedini parametar koji mora biti ocenjen jeste  $\sigma_1^2$ . Neka je  $\tilde{X}_{2i} := \frac{X_{2i}}{c^2}$ , za  $i = 1, 2, \dots, n_2$ . U tom slučaju važi  $\tilde{X}_{21}, \dots, \tilde{X}_{2n_2} \sim N\left(\frac{\mu_2}{c^2}, \sigma_1^2\right)$ . Stoga se može predložiti sledeća statistika:

$$Z_4 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - \Delta_0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (3)$$

gde je  $S_p$  uzoračka pooled standardna devijacija za  $X_{1i}, i = 1, \dots, n_1$  i  $\tilde{X}_{2j}, j = 1, \dots, n_2$ . Pokazano je da poslednja statistika ima tačno t raspodelu sa  $(n_1 + n_2 - 2)$  stepeni slobode.

$Z_3$  ima standardnu normalnu raspodelu,  $(n_1 - 1)S_1^2/\sigma_1^2$  ima  $\chi^2$  raspodelu sa  $(n_1 - 1)$  stepeni slobode i statistika  $(n_2 - 1)S_2^2/\sigma_1^2$  ima  $\chi^2$  raspodelu sa  $(n_2 - 1)$  stepeni slobode, gde je  $S_2^2$  uzoračka varijansa za  $\tilde{X}_{2j}, j = 1, \dots, n_2$ . Kako su dve  $\chi^2$  slučajne veličine nezavisne, imamo:

$$\chi^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{(n_2-1)S_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{(n_1-1)S_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{(n_2-1)S_2^2}{c\sigma_1^2} \sim \chi_{n_1+n_2-2}. \quad (4)$$

Kombinujući (3) i (4) dobija se test statistika:

$$Z_5 = \frac{Z_3}{[\chi^2/(n_1+n_2-2)]^{1/2}} \sim t_{n_1+n_2-2}.$$

Na osnovu prethodnog može se dati t-test sa  $\alpha$  nivoom značajnosti:

- Alternativna hipoteza  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$ , oblast odbacivanja  $Z_5 > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$  ili  $Z_5 < -t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$ ,
- Alternativna hipoteza  $H_1: \mu_1 - \mu_2 > \Delta_0$ , oblast odbacivanja  $Z_5 > t_{\alpha, n_1+n_2-2}$ ,
- Alternativna hipoteza  $H_1: \mu_1 - \mu_2 < \Delta_0$ , oblast odbacivanja  $Z_5 < -t_{\alpha, n_1+n_2-2}$ .

Treba istaći da je statistika  $Z_5$  data u radu Spott 1993.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled problema formiranja intervala poverenja za razliku sredina dva uzorka. Proširene su transformacije dobijene na osnovu Edgeworthovog razvoja t-statistike sa problema jednog uzorka na problem dva uzorka. Takodje su date test statistike za slučaj kada su obe varijanse poznate ili obe nepoznate, kao i za slučaj kada je količnik varijansi poznat, i u tom slučaju istaknute su oblasti odbacivanja nulte hipoteze  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = \Delta_0$  u odnosu na odgovarajuće alternativne hipoteze, izražene preko kombinovane test statistike  $Z_5$ .

#### LITERATURA

- [1] Hall, P. (1992). The Bootstrap and Edgeworth Expansion. New York: Springer.
- [2] Satterthwaite, F.E. (1941). Synthesis of variance. Psychometrica 6, 309-316.
- [3] Satterthwaite, F.E. (1946). An approximate distribution of estimates of variance components. Biometrics Bulletin 6, 110-114.
- [4] Sprott, D.A. & Farewell, V.T. (1993). The difference between two normal means. The American Statistician 47, 126-128.
- [5] Zhou, X.H. & Dinh, P. (2005). Nonparametric confidence intervals for the one- and two-sample problems. Biostatistics 6, 187-200.

# **UPRAVLJANJE RIZIKOM**



## UPRAVLJANJE RIZICIMA OD ELEMENTARNIH NEPOGODA U LOKALNOJ SAMOUPRAVI

### MANAGING THE RISK OF WEATHER DISASTERS IN LOCAL SELF-GOVERNMENT

BRANKO BABIĆ

Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, babic@vtsns.edu.rs

**Rezime:** Upravljanje rizicima predstavlja sposobnost analiziranja i reagovanja na faktore rizika kroz identifikaciju, analizu i procenu rizika, definisanje preventivnih i operativnih mera zaštite, kontrolu rizika i upravljanje informacijama. Lokalna samouprava, kao osnovni subjekt civilne odbrane, a u cilju zaštite i spasavanja svojih građana od elementarnih i drugih nepogoda i nesreća, preduzima zakonom propisane mere, aktivnosti i zadatke. Kroz rad je predstavljeno istraživanje koje je realizovano od septembra 2013. do aprila 2014. godine u 107 gradova u R. Srbiji sa osnovnim ciljem da se stekne uvid u stepen pripremljenosti lokalne samouprave za delovanje u vanrednim situacijama i smanjenje rizika od elementarnih nepogoda.

**Ključne reči:** Rizik, Lokalna samouprava, Procena rizika.

**Abstract:** Managing risks includes the ability of analysing and reacting to risk factors by identifying, analysing and assessing risks, defining preventive and operative measures of protection, controlling risk and managing information. Local self-government, as the main body of civil defence, launches, in order to protect and rescue the citizens from weather and other disasters and accidents, legal measures, activities and tasks. The paper presents the research conducted from September 2013 to April 2014 in 107 towns in the Republic of Serbia with the aim to gain insight into the level of preparedness of the local self-government for acting in emergency situations and lowering the risk from weather disasters.

**Keywords:** Risk, Local self-government, Risk assessment.

#### 1. UVOD

U svakodnevnom životu postoji veliki broj rizika sa kojima se suočavamo, pokušavamo da ih identifikujemo, da ih upoznamo, da bi preduzimanjem preventivnih i operativnih mera, rizik eliminisali ili ga sveli na najmanju moguću meru. Upravljanje rizikom znači pre svega preventivno delovati. Oblast rizika definišu mnogobrojni zakoni, odluke, uputstva čije poznavanje doprinosi preventivnom delovanju i smanjenju opasnosti od rizika po stanovništvo, materijalna i kulturna dobra i životnu sredinu. Jedinice lokalne samouprave - grad i opština, kao osnovni subjekt civilne odbrane i udarna snaga sistema zaštite i spasavanja, svakodnevnom delovanjem su u obavezi da preduzimaju sve Ustavne i zakonske odredbe koje se odnose na smanjenje rizika po život i zdravlje svojih stanovnika. Kolika je pripremljenost lokalne samouprave u sferi rizika od elementarnih i drugih nepogoda, utvrdili su studenti smera Civilna zaštita i spasavanje prilikom istraživanja na tu temu u periodu od septembra 2013. godine do aprila 2014. godine.

#### 2. ZAKONSKA UREĐENOST

**Ustav Republike Srbije**, kao najviši pravni akt države, garantuje svakog građaninu pravo na život, slobodu i bezbednost, slobodu kretanja, pravo na obaveštenost, zdravstvenu i socijalnu zaštitu, pravo na zdravu životnu sredinu i obaveštenost o njoj. Obaveza jedinica lokalne samouprave (član 188-190) je da se stara o zaštiti životnoj sredine od elementarnih i drugih nepogoda i da vrši zaštitu kulturnih dobara koja su značajna za odbranu.

**Strategija nacionalne bezbednosti Republike Srbije** identifikuje izazove, rizike i pretnje bezbednosti, određuje ciljeve, osnovna načela funkcionisanja i odgovornosti u okviru sistema bezbednosti. Definiše 22 izazova, rizika i pretnje po bezbednost R.Srbije od kojih posebno treba izdvojiti *posledice elementarnih nepogoda i tehničkih i tehnoloških nesreća*, kao i ugrožavanje životne sredine i zdravlja građana usled

radiološke, hemijske i biološke kontaminacije i opasnosti povezane sa pojavljivanjem i širenjem **infektivnih bolesti** kod ljudi i zaraza kod životinja.

**Strategija odbrane Republike Srbije** usmerava angažovanje resursa odbrane. Posebno treba istaći da su elementarne nepogode i hemijske, biološke, nuklearne, tehničke i tehnološke nesreće stalna bezbednosna pretnja za R.Srbiju, njeno stanovništvo, materijalna dobra i životnu sredinu.

**Zakon o odbrani Republike Srbije** definiše da se civilna zaštita organizuje, priprema i sprovodi kao sistem zaštite i spasavanja ljudi, životinja, materijalnih i kulturnih dobara, od elementarnih nepogoda, tehničko-tehnoloških nesreća i katastrofa, posledica terorizma, ratnih i drugih većih nesreća, a u skladu s važećim propisima, načelima i zahtevima Dopunskog protokola uz Ženevske konvencije i drugim pravilima međunarodnog humanitarnog prava, kao i potvrđenim međunarodnim ugovorima

**Zakon o vanrednim situacijama** uređuje delovanje, proglašavanje i upravljanje vanrednim situacijama (u daljem tekstu: VrSi); sistem zaštite i spasavanja (u daljem tekstu: ZiS) ljudi, materijalnih i kulturnih dobara i životne sredine od elementarnih nepogoda, tehničko-tehnoloških nesreća – udesa i katastrofa (u daljem tekstu: TTN), ratnih i drugih većih nesreća; nadležnosti državnih organa, autonomnih pokrajina, *jedinica lokalne samouprave* u ZiS; *organizacija i delatnost civilne zaštite* na zaštiti, spasavanju i otklanjanju posledica elementarnih nepogoda i drugih nesreća i druga pitanja od značaja za organizovanje i funkcionisanje sistema ZiS. Zakon definiše osnovne subjekte sistema ZiS: 1) organe državne uprave, organe autonomne pokrajine i *organe jedinica lokalne samouprave*; 2) privredna društva, druga pravna lica i preduzetnike; 3) građane, grupe građana, udruženja, profesionalne i druge organizacije, koje prvenstveno sprovode preventivne mere ZiS. **Jedinice lokalne samouprave**, prate opasnosti, obaveštavaju stanovništvo o opasnostima i preduzimaju druge preventivne mere za smanjenje rizika od elementarnih nepogoda i drugih nesreća. Za koordinaciju i rukovođenje ZiS u VrSi, kao operativno-stručna tela, obrazuju se *štabovi za VrSi*, koji između ostalih poslova: rukovode i koordiniraju sprovođenje mera i zadataka obnove, rekonstrukcije i rehabilitacije, uzimajući u obzir potrebe održivog razvoja i smanjenja ugroženosti i rizika od budućih VrSi; staraju se o redovnom informisanju i obaveštavanju stanovništva o rizicima i opasnostima i preduzetim merama za smanjenje rizika od katastrofa; koordinira rad svih subjekata ZiS po pitanjima organizacije, planiranja, pripreme i sprovođenja mera i aktivnosti u vezi sa prevencijom i smanjenjem rizika od katastrofa i ZiS, uključujući razmenu informacija, znanja i tehnologija. Svojim **Planovima ZiS u VrSi** planiraju preventivne i operativne mere za sprečavanje i umanjevanje posledica elementarnih nepogoda, TTN i katastrofa, kao i snage i sredstva subjekata sistema ZiS, njihovo organizovano i koordinirano angažovanje i delovanje u VrSi u cilju ZiS ljudi, materijalnih i kulturnih dobara i obezbeđenja osnovnih uslova za život. Plan ZiS u VrSi izrađuje se na osnovu procene ugroženosti, kojom se identifikuju izvori mogućeg ugrožavanja, sagledavaju moguće posledice, potrebe i mogućnosti sprovođenja mera i zadataka ZiS od elementarnih nepogoda i drugih nesreća. Plan ZiS i Procenu ugroženosti izrađuju lica sa licencom za procenu rizika koje ima položen stručni ispit iz oblasti procene rizika.

**Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu** uređuje sprovođenje i unapređivanje bezbednosti i zdravlja na radu lica koja učestvuju u radnim procesima, kao i lica koja se zateknu u radnoj okolini, radi sprečavanja povreda na radu, profesionalnih oboljenja i oboljenja u vezi sa radom. **Rizik** je verovatnoća nastanka povrede, oboljenja ili oštećenja zdravlja zaposlenog usled opasnosti, koje mogu biti izazvane, između ostalih, i elementarnim i drugim nepogodama, što nalaže svim subjektima civilne odbrane da izvrše procenu rizika i izrade **akt** o proceni rizika.

**Zakon o vodama** uređuje integralno upravljanje vodama, upravljanje vodnim objektima i vodnim zemljištem, nadzor nad sprovođenjem zakona, kao i druga pitanja značajna za upravljanje vodama. Republika Srbija, autonomna pokrajina i jedinica lokalne samouprave obezbeđuju zaštitu od štetnog dejstva voda-*upravlja rizicima* kroz: izradu preliminarne procene rizika od poplava; izradu i sprovođenje planova upravljanja rizicima od poplava; izradu opšteg i operativnih planova odbrane od poplava; sprovođenje redovne i vanredne odbrane od poplava; sprovođenje odbrane od leda na vodotocima i zaštitu od erozije i bujica...

**Zakon o zaštiti od požara** uređuju se sistem zaštite od požara, prava i obaveze državnih organa, organa autonomne pokrajine i organa jedinica lokalne samouprave, privrednih društava, drugih pravnih i fizičkih lica, organizacija vatrogasne službe...

**Zakon o zaštiti životne sredine** uređuje se integralni sistem zaštite životne sredine kojim se obezbeđuje ostvarivanje prava čoveka na život i razvoj u zdravoj životnoj sredini i uravnotežen odnos privrednog razvoja i životne sredine u Republici Srbiji. Jedno od osnovnih **načela zaštite životne sredine** je načelo prevencije i predostrožnosti - svaka aktivnost mora biti planirana i sprovedena na način da: prouzrokuje najmanju moguću promenu u životnoj sredini i da predstavlja najmanji rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi.

### 3. UPRAVLJANJE RIZICIMA

Da bi jedinice lokalne samouprave mogle preduzimati i sprovoditi ustavne i zakonske obaveze neophodno je, pre svega, poznavati normativna dokumenta koja definišu oblast zaštite stanovništva od rizika. Nepripremljenost i nizak nivo kapaciteta lokalne samouprave, neadekvatna stručna kvalifikovanost i tehnološka disciplina raspoloživih ljudskih resursa, kao i nedostatak specijalizovanih kadrova, nedovoljna obučenosť profesionalnog kadra i nerazvijena kultura prevencije ukazuju da je pripremljenost opština na veoma niskom nivou. Problemi su mnogobrojni zbog neodgovarajuće organizacije i sprovođenja, pre svega, preventivnih mera. Zakon o VrSi jasno je definisao obaveze opština u sistemu ZiS dodeljujući im vrlo zahtevne zadatke, koje oni do sada nisu sa uspehom izvršavali. Na to nas podsećaju vanredne situacije u proteklih 4 godine, posebno iz maja 2014. godine.

Da bi sa uspehom upravljali rizicima nadležne službe u opštinama, pre svega, moraju doneti odluku o organizaciji i funkcionisanju CZ; doneti plan i program razvoja sistema ZiS u skladu sa Dugoročnim planom razvoja ZiS R.Srbije; planirati i utvrditi izvore finansiranja; obrazovati Štab za VrSi, doneti poslovnik o radu kao i godišnji plan rada štaba; odrediti osposobljena pravna lica koja su značajna za ZiS; izraditi i doneti Procenu ugroženosti i Plan ZiS u VrSi; pratiti opasnosti, obavestavati stanovništvo o opasnostima i preduzimati druge preventivne mere za smanjenje rizika od elementarnih nepogoda i drugih nesreća; nabaviti i održavati sredstva za uzbunjivanje; organizovati, razvijati i voditi ličnu i kolektivnu zaštitu; formirati, organizovati i opremiti jedinice CZ opšte namene. Lica koja rade na poslovima zaštite i spasavanja moraju, po Zakonu o VrSi, imati položeni stručni ispit i licencu za procenu rizika (SGRS br.8-13) i u svom radu koristiti i sledeća podzakonska akta: Uredbu o sadržaju i načinu izrade planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama (SG RS br.8-11); Uputstvo o metodologiji za izradu procene ugroženosti i planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama (SG RS br.96-12); Pravilnik o načinu izrade i sadržaju plana zaštite od udesa (SG RS br.82-12); Pravilnik o vrstama i količinama opasnih materija (SG RS br.8-13); Pravilnik o obučavanju, NPP i normativima nastavnih sredstava i opreme za obučavanje pripadnika CZ (SG RS br 8-13); Pravilnik o sadržaju i načinu vođenja evidencije o pripadnicima organa, jedinica, službi i drugim učesnicima i o sredstvima i opremi u civilnoj zaštiti (SG RS br. 91-13).

Kao organizacioni deo i stručni organ Ministarstva unutrašnjih poslova **Sektor za vanredne situacije** ima posebno mesto u sistemu ZiS, posebno: 1) **organizuje** izradu Procene ugroženosti Republike Srbije od elementarnih nepogoda i drugih nesreća; 2) **izrađuje** predlog Nacionalnog plana ZiS u VrSi R.Srbije; 3) **koordinira** rad sa svim **subjektima sistema zaštite i spasavanja** po pitanjima organizacije, planiranja, pripreme i sprovođenja mera i aktivnosti prevencije i smanjenja rizika, ZiS; 4) organizuje obučavanje i proveru operativne spremnosti **štabova i službi za vanredne situacije**; 5) **daje saglasnost** na planove ZiS i procenu ugroženosti i potvrđuje usaglašenost planova ZiS jedinica lokalne samouprave i autonomnih pokrajina sa Nacionalnim planom ZiS u VrSi R.Srbije; a posebno, 6) **vrši nadzor** nad primenom Zakona i propisa donetih na osnovu zakona. U pripremi i izradi navedenih dokumenata i planova, Sektor **saradjuje sa subjektima odbrane**, a posebno sa organima državne uprave, autonomnih pokrajina i jedinica lokalne samouprave i privrednim društvima i drugim pravnim licima i preduzetnicima, koji su po Zakonu obavezni da vrše izradu dokumenata uz stručnu pomoć i saradnju Sektora za vanredne situacije.

### 3. ISTRAŽIVANJE PRIPREMLJENOSTI LOKALNESAMOUPRAVE

**Širi predmet** istraživanja je mesto i uloga Sektora za VrSi u sistemu ZiS R.Srbije. U samoj realizaciji istraživanja jako teško je bilo ustanoviti stvarni obim posla i angažovanja Sektora u sistemu jer je dostupnost informacija selektivna i nedovoljna a posebno u delu nadzorno-kontrolne funkcije prema subjektima odbrane. Teoretski ovaj problem do sada nije izučavan, ali je ukazivano na problem od strane nadležnih organa. Informacije koje su dobijene u toku istraživanja od septembra 2013. godine do aprila 2014. godine na teritoriji R. Srbije u 107 gradova i opština, su rezultat naučnog saznanja, imaju istinitosnu vrednost i rezultat su želje da se stekne početna slika za dalje istraživanje ove problematike. Stoga se **uži predmet** ovog istraživanja odnosi na stepen pripremljenosti jedinica lokalne samouprave za delovanje u VrSi i uticaj Sektora na tu pripremljenost. **Naučni cilj** ovog istraživanja je bio doći do spoznaje o pripremljenosti jedinica lokalne samouprave za delovanje u VrSi, odnosno u sprovođenju Ustavnih i Zakonskih obaveza u ZiS stanovništva, materijalnih i kulturnih dobara. Na osnovu naučnog cilja istraživanja, praktični ciljevi istraživanja su definisanje, odnosno predlaganje, konkretnih rešenja organizovanja jedinica lokalne samouprave i stavljanje u funkciju zaštite, prvenstveno svojih građana i teritorije, u pogledu programskih sadržaja, metodike obučavanja, kadrovskih i materijalnih uslova realizacije obučavanja. U ovom istraživanju korišćene su *Metode teorijske analize, sistemskog posmatranja i obrade podataka*. Osnovnu populaciju su

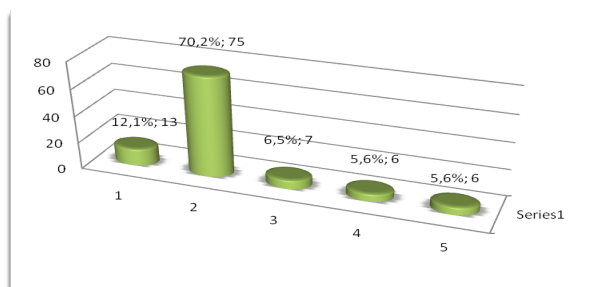
predstavljale 168 opštine i grada u R.Srbiji po teritorijalnoj organizaciji (van teritorija Kosova i Metohije). Uzorak istraživanja su 107 opština/gradova (63,7%), koje su po teritorijalnoj podeli, ravnomerno zastupljeni. Istraživanje je izvršeno od septembra 2013. godine do aprila 2014. godine sa studentima Visoke tehničke škole strukovnih studija u Novom Sadu- sa studijskog programa Civilna zaštita i spasavanje u VrSi,. U toku istraživanja nadležnim organima opština su poslani zvanični zahtevi za dostupnost informacija koje definišu predmetnu oblast ZiS, korišćeni su zvanični sajtovi gradova/opština, kao i službeni listovi za period od 2010.-2014. godine, a deo studenata je i ličnim odlaskom u jedinicu lokalne samouprave tražio potrebne podatke. Pre istraživanja svi studenti su dobili potrebna i detaljna uputstva kako da dodju do potrebnih podataka. Koliki je stepen pripremljenosti opština/gradova za delovanje u VrSi, studenti su se uverili prilikom prikupljanja potrebnih podataka. Za potrebe rada izvršena je analiza za šest osnovnih dokumenata na osnovu kojih opština/grad zasniva svoj rad i delovanje. Rezultati su prikazani u tabeli 1 i grafikonima 1-6

**Tabela 1:** Način prikupljanja podataka-dokumenata u opštinama/gradovima

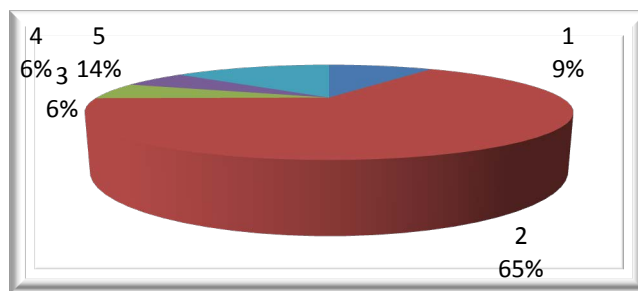
Dokument	Podaci o dokumentima prikupljeni na sledeći način				Podaci nedostupni-nisu pronadjeni	Ukupno
	Lično-u opštini	Preko Službenih listova-sajta opštine	Na osnovu dopisa prema opštini	Na internetu		
	1	2	3	4	5	
Odluka o organizaciji i funkcionisanju CZ	13 12,1%	75 70,2%	7 6,5%	6 5,6%	6 5,6%	107
Odluka o obrazovanju štaba za VrSi	10 9,34%	70 65,4%	6 5,6%	6 5,6%	15 14%	107
Godišnji plan rada štaba za VrSi	11 10,3%	69 64,5%	5 4,7%	8 7,5%	14 13,1%	107
Poslovnik o radu štaba za VrSi	9 8,4%	68 63,6%	6 5,6%	3 2,8%	21 19,6%	107
Odluka o određivanju ovlašćenih i osposobljenih pravnih lica za ZiS	13 12,1%	69 64,5%	5 4,7%	4 3,7%	16 14,9%	107
Odluka o obrazovanju jedinica CZ opšte namene	7 6,5%	69 64,5%	9 8,41%	8 7,5%	14 13,1%	107

Odluka o organizaciji i funkcionisanju CZ na teritoriji grada/opštine je doneta u 94,4% (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 1). Većina podataka je pronadjena na sajtu opština/gradova preko zvaničnih prezentacija. Zavisno od opštine do opštine, Odluke u sebi sadrže podatke o načinu kako je opština predvidela-planirala da se suprostavi eventualnoj vanrednoj situaciji. Uvidom u dokumenta uočeno je da su pojedine opštine u okviru Odluke definisali i ovlašćena i osposobljena pravna lica i jedinice CZ, dok su druge opštine formirale zasebna dokumenta. Obe odluke su svakako ispravne. Za 6 opština nije pronadjena odluka, što ne znači da nije doneta, ali nije učinjena dostupna javnosti.

Odluka o obrazovanju gradskog/opštinskog štaba za VrSi je doneta u 86% opština (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 2). Najveći broj Odluka pronadjen je na zvaničnoj prezentaciji opštine, u službenim listovima. Obavezan član štaba je predstavnik i Sektora za vanredne situacije, kao stručno operativni organ i u situaciji je da vrši kontrolu-nadzor nad radom štaba. Petnaest odluka nije učinjeno dostupno javnosti.



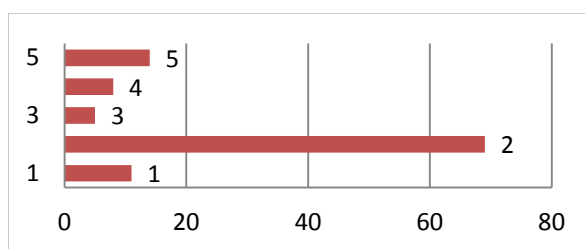
**Grafikon 1:** Odluka o organizaciji i funkcionisanju CZ na teritoriji grada/opštine



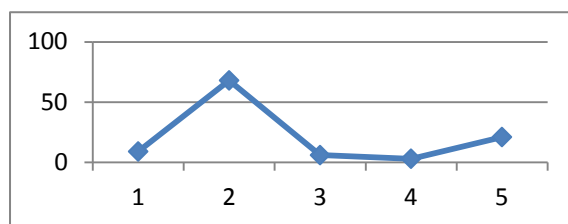
**Grafikon 2:** Odluka o obrazovanju gradskog/opštinskog štaba za VrSi

Godišnji plan rada gradskog/opštinskog štaba za VrSi je doneta u 86,9% opština (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 3). Planovi su doneti i učinjeni dostupnim preko službenih listova opštine/građa. U izradi Plana učestvuje i predstavnik Sektora. Četrnaest Planova rada nije pronadjeno, tako da se nije mogla steći slika da li su Štabovi uopšte doneli dokument.

Poslovnik o radu gradskog/opštinskog štaba za VrSi je doneta u 80,04% opština (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 4), od kčega je preko službenih listova prikupljeno 63,6%.



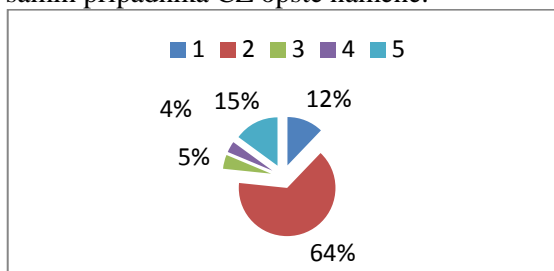
**Grafikon 3:** Godišnji plan rada gradskog/opštinskog štaba za VrSi



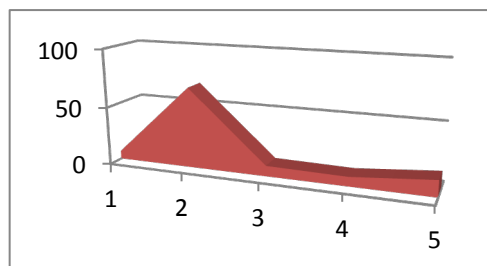
**Grafikon 4:** Poslovnik o radu gradskog/opštinskog štaba za VrSi

Odluka o određivanju ovlašćenih i osposobljenih pravnih lica za ZiS je doneta u 85,1% opština (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 5) dok za 16 opština nije pronadjen podatak. Deo opština je ovaj dokument propisao kroz Odluku o funkcionisanju CZ. Na taj način se subjektima civilne odbrane određuju određeni poslovi i zadaci u toku vanrednih i li drugih situacija.

Odluka o obrazovanju jedinica CZ opšte namene je doneta u 86,9% opština (podaci prikazani u tabeli 1, grafikon 6). Za 14 opština nisu pronadjeni dokumenti i ovom veoma važnom segmentu civilne odbrane, deo opština ne pridaje značaj, što ne doprinosi poboljšanju bezbednosti građana. Odlukom su definisane snage (brojčano i po formaciji-odeljenje, vod, četa) i sredstva kojima su popunjena. Analizom dokumenata nije se došlo do podataka da li je do sada vršena obuka, pre svega poverenika i zamenika poverenika CZ, a zatim i samih pripadnika CZ opšte namene.



**Grafikon 5:** Odluka o određivanju ovlašćenih i osposobljenih pravnih lica za ZiS



**Grafikon 6:** Odluka o obrazovanju jedinica CZ opšte namene



Značaj istraživanja je u sagledavanju realnog stanja u većini opština R.Srbije. Dobijeni rezultati će na pogodan način biti prezentovani Sektoru za vanredne situacije i svim zainteresovanih subjektima, a posebno lokalnoj samoupravi, kao iskustva u radu-pozivna i negativna.

Usporediti dobijene podatke sa sličnim istraživanjima nije moguće, jer ista nisu vršena u ovom obimu.

## 5. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj istraživanja je postignut - na dostupne, veoma teške, načine prikupljeni su podaci o organizaciji i funkcionisanju CZ na nivou opštine/grada i stekla se realna slika o pripremljenosti gradova za delovanje u VrSi i preduzimanje preventivnih i operativnih mera za spasavanje stanovnika i materijalnih i kulturnih dobara. Opšti zaključak je da opštine i gradovi nisu spremni za delovanje u VrSi, što nam je pokazala i poslednja vanredna situacija u R. Srbiji u periodu od 15 – 23. maja 2014. godine.

Metode rada su različite – od ličnog kontakta i intervjua sa odgovornim licima iz opština/gradova pa do prikupljanja podataka koji su zvanično objavljeni u službenim listovima. Problema u radu je bilo puno, od nerazumevanja pojedinih odgovornih lica pa do pitanja „a što vam trebaju ti podaci?”. U nekim momentima stekao se utisak da misle da ih neko „špijunira”.

Utvrđeno je da su predstavnici Sektora za vanredne situacije uključeni u rad opštinskih/gradskih štabova za vanredne situacije i da svojom stručnošću doprinose boljem radu Štaba za VrSi, što se i pokazalo tokom prethodnih elementarnih nepogoda tokom 2012., 2013. i 2014. godine, ali da nisu u dovoljnoj meri ispoljili svoje nadzorno-kontrolne funkcije u cilju, pre svega, izrade Procene i Planova ZiS, formiranja i edukacije kadrova za CZ.

Do kraja 2014. godine započeto istraživanje će se proširiti i na ostale opštine/gradove u R.Srbiji radi sagledavanja celokupne slike po pitanju zaštite i spasavanja, pripremljenosti jedinica lokalne samouprave u normativno pravnom i praktičnom smislu, kao i mesta i uloge Sektora za vanredne situacije u kontrolno-nadzornoj funkciji odgovornih lica i službi u opštini/gradu.

Ni jednim dokumentom nije utvrđeno, nisu se pronašli podaci, o stepenu stručnosti lica koja rade na poslovima ZiS u organima opštinske uprave, da li su licencirana lica za rad ili ne, da li postoje Procene ugroženosti i izradjeni Planovi ZiS.

## LITERATURA

- [1] Vujaklija, M. (1961) Leksikon stranih reči i izraza, Prosveta, Beograd,
- [2] Zakon o vanrednim situacijama, „Službeni glasnik R. Srbije“ broj 111 od 29.12.2009., Izmene i dopune „Službeni glasnik R. Srbije“ broj 92/07.12. 2011(na snazi od 14.12.2011.) i broj 93/28.09.2012. godine (na snazi od 05.10.2012.)
- [3] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu, „Službeni glasnik R. Srbije“ broj 101/2005 od 21.11.2005
- [4] Zakon o vodama, „Službeni glasnik R. Srbije“, br. 30/2010 od 7.5.2010
- [5] Zakon o zaštiti od požara, „Službeni glasnik R. Srbije“, br. 111/2009 od 29.12.2009
- [6] Ustav Republike Srbije, „Službeni glasnik R. Srbije“, br. 98/2006
- [7] Zakon o odbrani Republike Srbije, „Službeni glasnik R. Srbije“, br. 116/2007
- [8] Zakon o zaštiti životne sredine, „Službeni glasnik R. Srbije“, broj 135/2004, 36/2009, i 72/2009
- [9] Strategija nacionalne bezbednosti Republike Srbije, „Službeni glasnik R.Srbije“, broj 88/09
- [10] Strategija odbrane R. Srbije, „Službeni glasnik R.Srbije“, broj 88/09



## UN SERIES 6 HAZARD CLASSIFICATION TEST: MODIFICATION OF TESTS 6(A) AND 6(B)

ZORAN BAJIĆ<sup>1</sup>, JOVICA BOGDANOV<sup>1</sup>, RADUN JEREMIĆ<sup>1</sup>, RADENKO DIMITRIJEVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Defense, Military Academy, office@va.mod.gov.rs

**Abstract:** *Reliable determination of hazard division groups for explosive ordnance (XO) using modified UN test series 6(a) and 6(b) is given in this paper. Modified series of tests were proposed in order to minimize test costs, amount of used XO for tests and amount of unexploded explosive ordnance (UXO) produced, but preserving reliability of results obtained using these testing procedures.*

**Keywords:** *Hazard division groups, Explosive ordnance, Explosive safety, UN test series 6.*

### 1. INTRODUCTION

Explosive ordnance (XO) is the dominant factor in determining the outcome of combat or stability and support operations. It is a critical component of fire and maneuver operations performed by the force projection Army. XO provide the means to defeat, as well as destroy, the enemy, and provide the force with the ability to block, screen, or protect itself. Military operations can be based on unexpected contingencies and so they will require the XO logistics system to be modular, tailored, easily deployed, flexible and safe.

Transportation of XO conducts due to different reasons and presents one of the most critical operations involving XO in the Army regarding logistics operations. These operations include receipt, turn-in, issue, shipment, and retrograde. Receipt refers to a shipment of XO received from an XO supply point, storage areas, or directly from a port, depot, or manufacturing plant. Turn-in refers to the return of unexpended XO and salvage items to a storage facility by the using unit. Issue refers to the transfer of XO stocks from a munitions storage facility to an authorized user, but not to another storage facility. Shipment indicates the movement and transfer of XO stocks from one storage facility to another – either into, within, or out of the theater. Retrograde of XO generally includes the return of unserviceable XO, captured enemy XO and serviceable XO to rear supply or depot facilities.

The role of the XO logistics system is to provide the right type and quantity of XO to the force in any contingency, from full scale contingencies to military operations other than war/stability and support operations. The challenge is to move required amounts of ammunition into a theater from the prepositioned sources in a timely manner to support force. The system must also be flexible enough to meet changing XO requirements in simultaneous operations. The objective of the system is to provide mission-configured load support forward to the force as economically and responsively as possible to minimize handling and reconfiguration. The unique characteristics of XO complicate the system of XO distribution. These factors include its size, weight, and hazardous nature. It requires special handling, storage, accountability, quality assurance, and security, see FM 4-30.1 (2003) and FM 4-30.13 (2001). Accident prevention can be mainly accomplished with proper mixed packaging of XO during the transport and that is why it is essential to classify correctly XO according to adequate hazard division (HD) and storage compatibility (SC) groups.

### 2. CLASSIFICATION OF EXPLOSIVE ORDNANCE IN HAZARD DIVISION GROUPS

Conventional XO is a hazardous good. The main danger for human beings and animals in the vicinity of detonating XO is generally a combination of blast, fragmentation and incendiary effects. Moreover, some types of XO also contain toxic and/or corrosive material. According to (Best Practice Guide on Ammunition Transportation, OSCE, 2003) dangerous goods are divided into 9 different classes. Conventional XO and explosive is grouped in class 1 as hazard divisions 1.1 to 1.6. Due to the considerable differences between the types of XO goods of hazard divisions 1.1 to 1.6 are again subdivided into compatibility groups.

Hazard Division 1.1 substances and items have a mass explosion hazard. A mass explosion is an explosion that affects almost the entire load instantaneously and results in severe devastation or destruction close to the detonation site. Within a wide radius, blasts, projected fragments and debris as well as ground waves pose a danger to the vicinity.

Hazard Division 1.2 substances and items do not have a mass explosion hazard. Subsequent single explosions (detonation, deflagration) occur in ever-shorter intervals. Depending on the size of the items and the explosive mass, the hazard through projected fragments and debris covers a wide radius. The blast pressure affects only the immediate vicinity.

Hazard Division 1.3 substances and items do not have a mass explosion hazard. They have a fire hazard and a minor hazard either because of the blast pressure or projected fragments and debris or both. The burning process results either in a significant radiant heat (for instance in the case of propelling charges) or the agents and items subsequently burn or explode in such a way as to cause a minor blast pressure or projection of fragments and debris or both. In case of fire, the vicinity is exposed to the danger of radiant heat and projected burning parts and items (for instance pyrotechnic flares) or packaging, while the hazards of blast pressure and projected fragments and debris are relatively low. Apart from that, there will be heavy smoke when pyrotechnic agents and particularly smoke generating agents are burned. Smoke may have a caustic and/or toxic effect.

Hazard Division 1.4 substances and items only have a minor explosion hazard when the propelling charge or the explosive agent ignites during transport. The effects are basically confined to the package itself, and it is unlikely that larger fragments will be projected over longer distances. An external fire must not cause virtually instantaneous explosion of almost the whole content of the package. The closer vicinity is subject to the danger of radiant heat and fire (normal fire). Igniter caps, high explosive mixtures or components such as cartridge shells that are propelled from the origin of the fire may lead to eye injuries and minor burns.

Hazard Division 1.5 substances are very insensitive and have a mass explosion hazard. They are so insensitive that there is very little probability of initiation or of transition from burning to detonation under normal transportation conditions. The minimum requirement for these substances is that they must not explode in an external fire test.

Hazard Division 1.6 items are extremely insensitive and do not have a mass explosion hazard. These items contain only extremely insensitive detonating substances and demonstrate a negligible probability of accidental initiation or explosion propagation. The danger posed by subdivision 1.6 items is limited to the explosion of a single item (FSC.DEL/554/05/Rev.2 2003, TB 700-2 1998).

### **3. UN TEST SERIES 6(A) AND 6(B)**

According to the United Nations (UN) Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods, documented in the Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Tests and Criteria for disseminating of the HD and SC groups are divided into seven series that are described below (Jeremic et al. 2008, Dimitrijevic and Jeremic 2010):

- UN Series 1 - Detonability tests for new substances.
- UN Series 2 - Insensitivity tests for new substances.
- UN Series 3 - Hazard tests for handling and transporting new substances.
- UN Series 4 - Hazard tests for handling and transporting new articles, packaged articles and packaged substances.
- UN Series 5 - Hazard Division 1.5 tests (very insensitive explosive substance (with a mass explosion hazard)).
- UN Series 6 - Hazard Classification tests (Hazard Divisions 1.1, 1.2, 1.3, and 1.4).
- UN Series 7 - Hazard Division 1.6 tests (extremely insensitive explosive articles that contain extremely insensitive detonating substances (EIDS)).

Tests series 6 are conducted to answer the question “Which Hazard Division (1.1, 1.2, 1.3 and 1.4) corresponds most closely to the behavior of the XO?” The test series includes internal ignition or initiation, propagation of burning or explosion, and fire tests of products. The geometrical arrangement of the products should be realistic concerning the packing method and the conditions of transport and storage should be such as to produce the most disadvantageous test results.

UN Test 6(a) or single package test (TB 700-2 1998, Jeremic et al. 2008) is conducted three times with single packages for the purpose of determining whether initiation or ignition in the package causes burning or explosion and whether burning or explosion is propagated within the package, and in what way the surroundings could be endangered by these effects. The package is placed on a steel witness plate on the ground.

The preferred method of confinement consists of containers, similar in shape and size to the test package. They are completely filled with earth or sand and placed as closely as possible around the test package to a minimum thickness of confinement in every direction of 0.5 m for a package not exceeding 0.15 m<sup>3</sup> or 1 m

for a package greater than 0.15 m<sup>3</sup>. Alternative methods of confinement are to use boxes or bags filled with earth or sand placed around and on top of the package or to use loose sand.

Observations are made on the following: Evidence of thermal effects, detonation, deflagration or explosion of the total contents of the package. Explosion of the total contents indicates a candidate for Hazard Division 1.1. Evidence of such an indication includes:

- A crater at the test site.
- Damage to the witness plate beneath the package.
- Measurement of a blast.
- Disruption and scattering of most of the confining material.

If the product is accepted as Hazard Division 1.1 and the fragment hazard range does not exceed the default value of 381 m or they are assessed to be non-hazardous, further testing is not necessary, otherwise proceed to Test 6(b). If reaction effects are contained within the packaging then the UN test 6(b) is not required.

UN Test 6(b) or stack test (TB 700-2 1998, Jeremic et al. 2008) is conducted three times with stacks of packages of an explosive product or stacks of non-packaged articles (if that is how they are transported/stored). The purpose of this is determining whether burning or explosion in the stack is propagated from one package to another or from one non-packaged article to another and in what way the surroundings could be endangered by this event.

If in Test 6(b) explosion of virtually the entire contents occurs practically instantaneously, then the product is assigned to Hazard Division 1.1. Evidence of such an occurrence includes:

- A crater at the test site appreciably larger than that given by a single package;
- Damage to the witness plate beneath the stack which is appreciably greater than that from a single package;
- Measurement of blast which significantly exceeds that from a single package;
- Violent disruption and scattering of most of the confining material.

If the product is accepted as Hazard Division 1.1 and the fragment hazard range does not exceed the default value of 381 m further testing is not required otherwise proceed to Test 6(c) or external fire test.

#### **4. MODIFICATION OF SINGLE PACKAGE AND STACK TESTS**

Because of an extensive experimental work, conducted during the realization of the science and research project (Jeremic et al. 2008, Dimitrijevic and Jeremic 2010) in the Military Academy and Technical Overhaul Works in Kragujevac, HD and SC groups for XO in use in Serbian army and MoD were proposed. In addition, modified series of tests were proposed in order to minimize test costs, amount of used XO for tests and amount of unexploded explosive ordnance (UXO) produced, but preserving reliability of results obtained using these methods. Only UN test series 6 were modified. Other series of tests were not modified due to the lack of required XO and needlessness of conducting specific tests. Test series 5 are conducted for the XO, which show the behavior corresponding closely to the criteria for Hazard Division 1.5, like ammonium-nitrate explosives and test series 7 are conducted for HD 1.6, both of this HD groups have minor presence or they are not present at all in Serbian armed forces.

Tests series 6, which were modified, are test 6(a) - Single Package Test and test 6(b) - Stack Test. The modification of 6(a) and 6(b) test is achieved through layered testing. The first testing is conducted with "bare" (non-packaged) XO items. If the sympathetic detonation occurs with two single items the test proceeds with XO items in single packages. Test proceeds further on with activating one item in the crate package and later on, if necessary, with testing of sympathetic detonation occurrence between crate packages. Stack test is not performed.

It was determined that this method of testing is far simpler for implementation and brings significant savings in time and resources. Recommendations made in the research can be temporarily used in the system until the final establishment of the UN testing methods.

Rocket 128 mm with HE warhead M63 "Plamen" for multiple-rocket launchers is used for an example of the modified test series 6.

Partial sympathetic detonation occurs when the bare rockets are set up on each other (Figure 1), which is determined by close inspection of the test site.



**Figure 1:** Sympathetic detonation test set up and detonation test result with non-packaged rockets 128 mm HE WHD M63

The next experimental set up uses single packaged rockets (Figure 2).



**Figure 2:** Sympathetic detonation test set up and detonation test result with single packaged rockets 128 mm HE WHD M63

The final test uses crate packaged rockets but only if detonation, partial detonation or explosion occurred in previous tests. Test set up and result is shown in figure 3.



**Figure 3:** Sympathetic detonation test set up and detonation test result with crate packaged rockets 128 mm HE WHD M63

According to conducted modified test series 6 results, rocket 128 mm HE WHD M63 is classified as 1.2 hazard division class.

## 5. CONCLUSION

Proposed modifications of UN test series 6 enables determination of hazard divisions for tested XO with significantly less financial means, expert researchers, extensive investigations and testing, valid regulations, facilities, equipment, XO for testing and methods for UXO detection and disposal. Modified tests are more flexible and cost efficient but they are also more rigorous regarding test conditions. Nevertheless, a competent and specially qualified agency should be appointed to decide whether a substance or item belongs to a specific hazard division and a compatibility group, thus providing a reliable basis for the planning of appropriate safety measures for the storage and transportation. Modified test series 6 are temporary and they are to be conducted until all XO in the forces are classified into according HD groups.



## **Acknowledgement**

This research was supported by Serbian Ministry of Defence. We thank our colleagues from Technical Overhaul Works in Kragujevac, especially mr Drasko Milosavljevic, who provided insight and expertise that greatly assisted the research. We thank Vladimir Mladenovic from Military Academy for his assistance in the field work.

## **REFERENCES**

- [1] FM 4-30.1 (2003). Munitions Support in the Theater of Operations, HQS Dept. of the Army, Washington, DC, USA.
- [2] FM 4-30.13 (2001). Ammunition Handbook: Tactics, Techniques, and Procedures for Munitions Handlers, HQS Dept. of the Army, Washington, DC, USA.
- [3] FSC.DEL/554/05/Rev.2 (2003). Best Practice Guide on Ammunition Transportation, OSCE.
- [4] TB 700-2, NAVSEAINST 8020.8 B (1998). DoD Ammunition and Explosives Hazards Classification Procedures.
- [5] Jeremić R., Dimitrijević R., Milosavljević, D. & Bajić, Z. (2008). Solving the Problem of Explosive Safety in Ammunition Depots (in Serbian), Science and Research Project, MoD, Military academy, Belgrade, Serbia.
- [6] Dimitrijević, R. & Jeremić, R. (2010). Modifications of the UN Tests for the Determination of Explosive Ordnance Hazard Divisions. Scientific Technical Review 60(1) 39-47.



## UPRAVLJANJE BEZBEDNOSNIM RIZICIMA U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

### SAFETY RISKS MANAGEMENT IN AVIATION

IVANA ČAVKA<sup>1</sup>, VLADIMIR GAJOVIĆ<sup>2</sup>, OLJA ČOKORILO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, {i.cavka, oljav}@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> Kompanija Dunav osiguranje a.d.o, vladimir.gajovic@dunav.com

**Rezime:** Savremene vazduhoplovne operacije su izložene brojnim rizicima, koji permanentno ili povremeno, pojedinačno ili zbirno utiču na bezbednost njihove realizacije. Iz tog razloga, postoji potreba da se sistematski identifikuju, analiziraju i kvantifikuju rizici koji su prisutni u vazdušnom saobraćaju, što je preduslov preduzimanja odgovarajućih upravljačkih akcija u cilju njihovog neutralisanja ili smanjenja. S obzirom na kompleksnost, stohastičnost i dinamičnost vazduhoplovnih operacija, apsolutna bezbednost često predstavlja nedostižan cilj. Zbog toga, u praksi se rizici u vazdušnom saobraćaju često ocenjuju intuitivno, na osnovu iskustva, predrasuda, intuicije ili ekspertskeg znanja. Danas sve veći broj autora u teoriji i praksi primenjuje različite nestatističke metode i modele za ocenu rizika, kao što su na primer modeli zasnovani na analitičkom hijerarhijskom procesu i fuzzy analitičkom hijerarhijskom procesu. U radu je izvršeno poređenje izlaznih rezultata ovih metoda na primeru ocene rizika povezanih sa uticajem ljudskog faktora u vazdušnom saobraćaju baziranih na SHELL modelu.

**Cljučne reči:** bezbednosni rizik, menadžment, vazdušni saobraćaj, SHELL model, AHP metod, FAHP metod, fuzzy logika.

**Abstract:** Today's aircraft operations are exposed to numerous risks, which permanently or periodically, individually or collectively affect the safety of their realization. For this reason, there is a need to systematically identify, analyze and quantify the aviation risks, which is a precondition for taking appropriate actions for their elimination or mitigation. Considering the complexity, stochasticity and dynamics of aircraft operations, absolute safety is often a distant goal. Therefore, the aviation risks in practice are often based on experience, prejudices, intuition and expert's knowledge. Today, a growing number of authors in the theory and practice apply different non-statistical methods and models for risk assessment, such as for example models based on analytic hierarchy process and fuzzy analytic hierarchy process. This paper compares the outputs of these methods on the example of assessment of risk associated with the impact of human factor in aviation based on SHELL model.

**Keywords:** safety risk, management, air transport, SHELL model, AHP method, FAHP method, fuzzy logic.

### 1. UVOD

Svaki složeni sistem, uključujući sistem vazdušnog saobraćaja, nije u potpunosti predvidiv i izložen je potencijalnim gubicima (riziku), koji mogu biti veoma značajni, kako po mogućoj magnitudi gubitka, tako i po verovatnoći realizacije gubitaka. Savremene vazduhoplovne operacije postaju sve kompleksnije i dinamičnije i stoga su izložene sve brojnijim, često nepredvidivim rizicima, čije posledice mogu imati različite direktne i indirektne efekte (Krause 2003). Često je nemoguće predvideti koji se rizici u praksi mogu realizovati, predvideti scenario zavisnih i nezavisnih događaja koji mogu prouzrokovati realizaciju rizika, a naročito je teško predvideti posledice. Realizacija više različitih rizika se može desiti istovremeno, čime se posledice mogu uvećati. Takođe, usled realizacije određenog neposrednog rizika na sistem ili proces, moguće je da se istovremeno desi realizacija više posrednih rizika, koji mogu imati čak i veći stepen destrukcije od neposrednih rizika.

U savremenim poslovnim sistemima, projektovanje i optimizacija vazduhoplovnih operacija obuhvata i upravljanje rizicima. Upravljanje rizicima predstavlja proces u kome se donose odluke u vezi smanjenja prisutnih rizika u sistemu, kako verovatnoće njihove realizacije, tako i težine eventualnih posledica (Flouris and Yilmaz 2011, Radivojević and Gajović 2013). To je dinamički proces koji podrazumeva širok spektar upravljačkih i organizacionih delatnosti i aktivnosti u cilju kontinuirane korekcije i unapređenja bezbednosti.

Odgovor na identifikovani rizik u vazduhoplovnim operacijama je da se pronade i primeni najadekvatniji metod da se isti izbegne, neutrališe ili umanju. Dakle, upravljanje rizicima obuhvata identifikaciju svih mogućih rizika koji su prisutni u sistemu i procesima, implementaciju mera u cilju smanjenja mogućnosti da se oni realizuju, i minimizaciju štetnih događaja ukoliko se rizik realizuje. Kako svi procesi u vazdušnom saobraćaju podrazumevaju prisustvo različitih rizika po prirodi i intenzitetu, postoji širok spektar mogućih odgovora u odnosu na njih, različitih metoda, principa i strategija njihove kontrole. Ukoliko se definišu svi parametri rizika koji se prate i ustanovi optimalna struktura upravljanja rizicima, raspoloživi statistički podaci predstavljaju polaznu osnovu za odlučivanje i fluktuacije oko ustanovljenih vrednosti, kao i dugoročne prognoze. Postoje brojna istraživanja u oblasti upravljanja rizicima i razvijene su mnoge metode koje rešavaju širok spektar problema vezanih za identifikaciju, analizu i kvantifikaciju rizika (Janić 2000, Čokorilo and Dell'Acqua 2013). Međutim, i kod nekih kompleksnih softvera za podršku u odlučivanju u poslovnim sistemima, segment menadžmenta često nije tretiran na dovoljnom nivou, odnosno nisu implementirani svi potrebni parametri, ili su implementirani pojedini manje bitni parametri. Izrada softverskih proizvoda koji služe za upravljanje rizicima zahteva puno informacija i znanja iz segmenta upravljanja procesima u vazdušnom saobraćaju i upravljanja rizicima kao podsistema. Razvoj pouzdanog softvera pored ostalog mora obuhvatiti pitanje primene i izgradnje odgovarajućih modela za upravljanje rizikom.

Zbog prirode sistema vazdušnog saobraćaja, raznolikosti vazduhoplovnih operacija, nepredvidivih i predvidivih spoljnih uticaja koji mogu nastati u svim karikama sistema, upravljanje rizicima u vazdušnom saobraćaju zahteva sistematski pristup (ICAO 2013). Vazduhoplovne operacije se često odlikuju postojanjem značajne neizvesnosti koje su povezane sa njihovom kompleksnošću, pouzdanošću informacija i raspoloživosti statističkih parametara iz prethodnog perioda. Iz tog razloga, kod definisanja optimalnog modela rizika potrebno je koristiti inženjersko i tehnološko znanje, intuiciju, iskustvo i fizičke zakone u cilju sveobuhvatne identifikacije, ocene i kontrole rizika. Cilj ocene rizika u sistemu vazdušnog saobraćaja je izbor alternativa njegove kontrole, na osnovu prihvatljivosti procenjenog nivoa rizika, mogućnosti kontrole, kao i troškova njegovog neutralisanja ili smanjenja (Čavka and Čokorilo 2012). Konvencionalne metode za ocenu rizika često nisu u stanju da obezbede apsolutnu pouzdanost, da pruže potrebne informacije u funkciji kontrole rizika, da posluže za alociranje troškova i dr., odnosno da pruže podršku u odlučivanju na efikasan i delotvoran način. Ove metode se u praksi često koriste, ali mana ovih metoda je to što ne mogu omogućiti inkorporaciju subjektivnih i/ili nejasnih termina jer se u velikoj meri oslanjaju na pomoćne statističke informacije, koje često nisu potpuno primenljive ili nisu reprezentativne. Jedan od mogućih načina za tretiranje nepreciznosti i neodređenosti je upotreba fuzzy pravila u fuzzy sistemu zaključivanja, gde elementi rizika sadrže lingvističke promenljive. Modeli rizika koji koriste fuzzy logiku često su adekvatniji i primenljiviji od konvencionalnih, statističkih modela za analizu rizika u sistemima koji su bazirani na nepotpunim ili nepouzdanim informacijama. Primenom fuzzy logike može se odrediti visina rizika za pojedine elemente posmatranog procesa, kao i celokupnog procesa, ali i odgovarajuće mere u cilju minimizacije rizika.

## **2. OSNOVNI FAKTORI BEZBEDNOSTI U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU**

Prema proaktivnom načinu upravljanju bezbednošću, svi faktori bezbednosti u vazdušnom saobraćaju se tretiraju kao faktori rizika. Postoji mnogo faktora rizika koji samostalno ili u međusobnoj interakciji utiču na visinu ukupnog rizika koji prati odvijanje vazduhoplovnih operacija. S obzirom na njihovu brojnost, često je nemoguće da se istovremeno analiziraju i ocenjuju svi faktori rizika i njihovi sastavni elementi. Iz tog razloga, kod kvantifikacije rizika potrebno je definisati dominantne faktore koje treba oceniti, odnosno one faktore koji najviše utiču na ukupan rizik (Čokorilo et al. 2014).

Prethodne studije nisu omogućile definisanje najpodesnijeg pristupa za klasifikaciju faktora rizika. Kompanija Boeing je podelila faktore bezbednosti u vazdušnom saobraćaju u sedam grupa, i to: posada, letačke operacije, dizajn i performanse vazduhoplova, održavanje vazduhoplova, kontrola letenja, upravljanje aerodromom i meteorološke informacije. S druge strane, Heinrich (1959) ih je podelio u pet kategorija: čovek, tehnika, misija, menadžment i okruženje, dok je Edwards (1972) izvršio kategorizaciju na sledeći način: čovek, hardver, softver i okruženje, čime je definisao tzv. SHELL model. U međuvremenu, IATA (International Air Transport Association) je klasifikovala faktore bezbednosti u pet grupa: čovek, organizacija, tehnika, okruženje i nedostatak podataka (tzv. HOMEI klasifikacija - Human, Organization, Machine, Environment and Insufficiency), pri čemu se svaka grupa izuzev poslednje može dalje podeliti na elemente koji doprinose razvoju događaja značajnih za bezbednost vazdušnog saobraćaja. Između navedenih klasifikacija, pristup koji je predložen od strane Edwards-a (1972), a koji je potom zvanično prihvaćen i od



strane ICAO-a, je imao najveću primenu kao osnov za procenu rizika u vazдушnom saobraćaju i stoga je iskorišćen i u ovom radu.

### 3. MODELIRANJE RIZIKA U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU

Kada se bira najpogodniji metod za analizu i ocenu rizika, koji odgovara konkretnoj situaciji, moraju se postaviti osnovni ciljevi, a to su da metod mora biti primenljiv (rezultati moraju biti izraženi u razumljivom obliku koje je jednostavno interpretirati i primeniti) i izabrani metod mora biti kredibilan (nivo neizvesnosti i pouzdanosti rezultata njegove primene mora biti u definisanim granicama prihvatljivosti).

Cilj ovog rada je da se sačini model za ocenu rizika prisutnih u operacijama vazduhoplova, odnosno realizacije rizika koji su izazvani prisustvom ljudskog faktora koji bi se bazirao na poređenju dva različita metoda kod ocene rizika. U tom cilju, razmatran je metod zasnovan na klasičnoj postavci zadatka višekriterijumskog odlučivanja, konkretno analitičkom hijerarhijskom procesu, dok je drugi metod zasnovan na primeni fuzzy analitičkog hijerarhijskog procesa. Izlazni rezultati primene ovih metoda su upoređeni, u cilju sagledavanja njihovih kvantitativnih odstupanja. Oba metoda omogućavaju pretvaranje opisnih karakteristika određenih pojava ili procesa u kvantitativne vrednosti. Osnovna ideja pri razvoju modela korišćenjem oba metoda je da se ukupan rizik vazduhoplovnih operacija hijerarhijski dekomponuje na faktore rizika, kako bi se utvrdio njihov značaj i udeo u ukupnom riziku.

#### 3.1. Modeliranje rizika korišćenjem AHP i FAHP metoda

U radu je razvijen model za ocenu rizika baziranog na SHELL modelu sa posebnim osvrtom na uticaj ljudskog faktora u operacijama vazduhoplova. Osnovna ideja pri razvoju modela je bila da se na kvalitetan način modelira ukupan rizik, tako da se uzmu u obzir različiti faktori rizika, njihov međusobni značaj i uticaj na ukupan rizik. Model obuhvata tri dela: analitički, procesni i upravljački.

U analitičkom delu se prikupljaju raspoloživi podaci o realizaciji rizika u proteklom periodu. Najčešće podaci o rizicima nisu raspoloživi ili nisu reprezentativni. Zato se pored raspoloživih statističkih podataka koristi iskustvo, intuicija i ekspertska znanje u cilju sagledavanja uticaja različitih rizika na posmatrani sistem. U ovom radu je klasifikacija rizika obuhvatila pet faktora rizika koji formiraju osnovnu postavku SHELL modela: Liveware (L), Liveware-Liveware (L-L), Liveware-Software (L-S), Liveware-Hardware (L-H) i Liveware-Environment (L-E). Svaki od navedenih faktora rizika sastoji se od niza različitih elemenata, koji individualno ili u interakciji utiču na ukupan rizik. U zavisnosti od specifičnosti sistema, rizičnost pojedinog elementa može biti dominantna u odnosu na druge, i može uticati da takav element u odnosu na druge elemente rizika dobije izraženi značaj.

Procesni deo obuhvata primenu AHP (Tabele 1-3) i FAHP (Tabele 4-6) metoda i poređenje izlaznih rezultata. U upravljačkom delu se vrši rangiranje svih faktora rizika i alternativa na osnovu dobijenih vrednosti težinskih faktora. Prema hijerarhijskoj strukturi rizika, gde je krajnji cilj kvantitativne analize određivanje ukupnog rizika, kriterijumi su svrstani u pet kategorija ("Liveware", "Liveware-Liveware", "Liveware-Software", "Liveware-Hardware", "Liveware-Environment"), dok su alternative definisane kroz tri nivoa rizika ("nizak", "srednji" i "visok"). Ovim je omogućeno sagledavanje mogućih uticaja na ukupan rizik i donošenje upravljačkih odluka u cilju eliminacije ili minimizacije potencijalnih posledica rizika.

**Tabela 1:** Matrica poređenja faktora rizika – AHP pristup

	L	L-L	L-S	L-H	L-E	W
L	1	3	5	5	5	0,488
L-L	1/3	1	3	3	3	0,233
L-S	1/5	1/3	1	1	1/3	0,074
L-H	1/5	1/3	1	1	1	0,087
L-E	1/5	1/3	3	1	1	0,118
	$\lambda=5.1960$		CI=0.0490		CR=0.0438	

**Tabela 2:** Matrice poređenja i lokalni prioriteti za nivoe rizika – AHP pristup

	Nizak nivo rizika	Srednji nivo rizika	Visok nivo rizika	w
<b>L</b>				
Nizak nivo rizika	1	3	5	0.633
Srednji nivo rizika	1/3	1	3	0.261
Visok nivo rizika	1/5	1/3	1	0.106
	$\lambda=3.0390$	$CI=0.0190$	$CR=0.0330$	
<b>L-L</b>				
Nizak nivo rizika	1	1	1	0.333
Srednji nivo rizika	1	1	1	0.333
Visok nivo rizika	1	1	1	0.333
	$\lambda=3.0000$	$CI=0.0000$	$CR=0.0000$	
<b>L-S</b>				
Nizak nivo rizika	1	1	4	0,458
Srednji nivo rizika	1	1	3	0,416
Visok nivo rizika	1/4	1/3	1	0,126
	$\lambda=3.0090$	$CI=0.0050$	$CR=0.0080$	
<b>L-H</b>				
Nizak nivo rizika	1	1	3	0.429
Srednji nivo rizika	1	1	3	0.429
Visok nivo rizika	1/3	1/3	1	0.142
	$\lambda=3.0000$	$CI=0.0000$	$CR=0.0000$	
<b>L-E</b>				
Nizak nivo rizika	1	3	3	0.600
Srednji nivo rizika	1/3	1	1	0.200
Visok nivo rizika	1/3	1	1	0.200
	$\lambda=3.0000$	$CI=0.0000$	$CR=0.0000$	

**Tabela 3:** Lokalni i globalni prioriteti – AHP pristup

	L	L-L	L-S	L-H	L-E	Konačna vrednost vektora prioriteta W
	0,488	0,233	0,074	0,087	0,118	
Nizak nivo rizika	0,309	0,078	0,034	0,037	0,071	0,529
Srednji nivo rizika	0,127	0,078	0,031	0,037	0,024	0,296
Visok nivo rizika	0,052	0,078	0,009	0,012	0,024	0,175

**Tabela 4:** Matrica poređenja faktora rizika – FAHP pristup

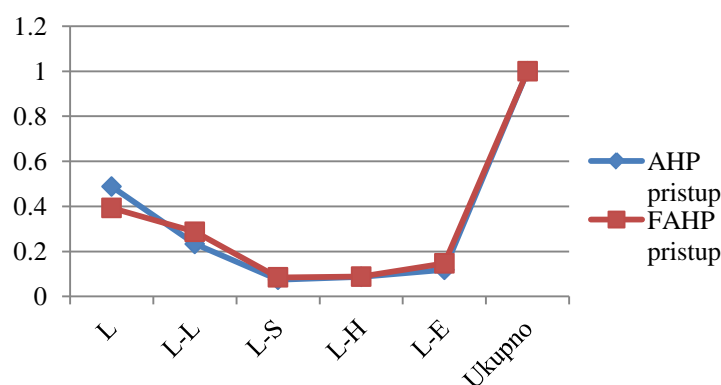
	L	L-L	L-S	L-H	L-E	W
L	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	0,393
L-L	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0,287
L-S	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1/5, 1/3, 1)	0,085
L-H	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0,088
L-E	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	0,147

**Tabela 5:** Matrice poređenja i lokalni prioriteti za nivoe rizika – FAHP pristup

	Nizak nivo rizika	Srednji nivo rizika	Visok nivo rizika	w
<b>L</b>				
Nizak nivo rizika	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	0,577
Srednji nivo rizika	(1/5 ,1/3 , 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0,372
Visok nivo rizika	(1/7 ,1/5 , 1/3)	(1/5 ,1/3 , 1)	(1, 1, 1)	0,051
<b>L-L</b>				
Nizak nivo rizika	(1, 1, 1)	(1,1,3)	(1,1,3)	0.333
Srednji nivo rizika	(1/3,1,1)	(1, 1, 1)	(1,1,3)	0.333
Visok nivo rizika	(1/3,1,1)	(1/3,1,1)	(1, 1, 1)	0.333
<b>L-S</b>				
Nizak nivo rizika	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(2, 4, 6)	0,465
Srednji nivo rizika	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0,417
Visok nivo rizika	(1/6, 1/4, 1/2)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	0,118
<b>L-H</b>				
Nizak nivo rizika	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	0,457
Srednji nivo rizika	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0,457
Visok nivo rizika	(1/5 ,1/3 , 1)	(1/5 ,1/3 , 1)	(1, 1, 1)	0,086
<b>L-E</b>				
Nizak nivo rizika	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0,511
Srednji nivo rizika	(1/5 ,1/3 , 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0,303
Visok nivo rizika	(1/5 ,1/3 , 1)	(1/3 ,1 , 1)	(1, 1, 1)	0,186

**Tabela 6:** Lokalni i globalni prioriteti – FAHP pristup

	L	L-L	L-S	L-H	L-E	Konačna vrednost vektora prioriteta W
	<b>0,393</b>	<b>0,287</b>	<b>0,085</b>	<b>0,088</b>	<b>0,147</b>	
Nizak nivo rizika	0,227	0,096	0,040	0,040	0,075	0,468
Srednji nivo rizika	0,146	0,096	0,036	0,040	0,045	0,377
Visok nivo rizika	0,020	0,096	0,010	0,008	0,027	0,155

**Slika 1:** Grafički prikaz rezultata dobijenih primenom AHP i FAHP metoda

Na osnovu dijagrama prikazanog na Slici 1 može se zaključiti da su izlazni rezultati primene različitih tehnika konzistentni. Pomoću oba metoda može se utvrditi da prva komponenta koja ukazuje na sposobnost ljudskog činioca u sistemu (L) ima najveći uticaj na ukupan rizik, a zatim druga dimenzija kojoj odgovara interakcija između ljudi (L-L). Ostali faktori rizika primenom različitih metoda zadržavaju relativno slične vrednosti i hijerarhiju, čime se potvrđuje konzistentnost ocena eksperta u određivanju uticaja definisanih faktora rizika u ukupnom riziku.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je opisan jedan pristup za ocenu rizika u sistemu vazdušnog saobraćaja. Primena AHP i FAHP metoda je omogućila modeliranje različitih faktora rizika koji imaju uticaj na ukupan rizik. Prema AHP i FAHP metodama je svaki faktor rizika i ukupan rizik posmatran na tri nivoa: mali, srednji i veliki rizik. AHP metod je omogućio struktuiranje složenog problema u obliku jednostavne hijerarhije i procenu velikog broja kvantitativnih i kvalitativnih faktora na sistematski način. S druge strane, konvencionalni AHP metod nije u mogućnosti da predstavi ljudske kognitivne procese. To se posebno odnosi na situacije kada problemi nisu u potpunosti definisani, njihovo rešavanje obuhvata neizvesne podatke ili ne postoje reprezentativni statistički podaci o realizaciji određenog problema. Iz tog razloga, primenom fuzzy brojeva na osnovnoj skali, preciznost procena se može poboljšati primenom FAHP metoda.

Izlazni rezultat modela je definisanje značaja svakog od faktora rizika okarakterisanog kao interakcija između ljudskog činioca i odgovarajuće komponente u sastavu SHELL modela, kao i ocena nivoa ukupnog rizika. Prema SHELL modelu, neslaganje između komponente L i druge tri komponente doprinosi razvoju ljudske greške. Na taj način, ove interakcije se moraju proceniti i razmotriti u svim sektorima sistema vazdušnog saobraćaja kako bi se iste predvidele i sprečile. Rangiranje faktora rizika predstavlja podršku donošenju upravljačkih odluka u cilju smanjenja negativnih uticaja određene dimenzije na ukupan rizik. Razvijeni model koristi subjektivnost, iskustvo i znanje pri određivanju značaja izabranih faktora rizika u odnosu na ukupan rizik. Oba metoda se u modelu koriste kao pogodan alat za dekompoziciju rizika u uslovima kada ne postoje reprezentativni statistički podaci o rizicima i elementima rizika u posmatranom sistemu. Rezultat rada pokazuje da svaku vazduhoplovnu operaciju karakteriše prisustvo određenog nivoa rizika. Svakako, apsolutno pouzdan (nerizičan) sistem je nemoguće napraviti, ali rizik treba svesti na najmanju moguću meru.

Zalaganja vazduhoplovnih organizacija, ali i naučne zajednice u predmetnoj oblasti, po pitanju identifikacije hazarda, analize i upravljanja rizicima, kao i poboljšanja nivoa bezbednosti su veoma primetna i predstavljaju neprekidan proces koji odražava njihov suštinski značaj, imajući u vidu trend porasta obima vazdušnog saobraćaja i sve manju toleranciju na prisustvo grešaka koje mogu usloviti razvoj nebezbednih situacija.

#### LITERATURA

- [1] Čavka, I. & Čokorilo, O. (2012). Cost - Benefit Assessment of Aircraft Safety, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2(4): 359-371.
- [2] Čokorilo, O. & Dell'Acqua, G. (2013). Aviation Hazards Identification Using Safety Management System (SMS) Techniques, 16th International conference on transport science ICTS 2013, Portorož, Slovenia 27th May, pp. 66-73.
- [3] Čokorilo, O., De Luca, M. & Dell'Acqua, G. (2014). Aircraft safety analysis using clustering algorithms, *Journal of Risk Research*, (ahead-of-print), 1-16.
- [4] Edwards, E. (1972). *Man and machine: systems for safety*, British Airline Pilots, Technical Symposium, London.
- [5] Flouris, T.G. & Yilmaz, A.K. (2011). *Risk Management and Corporate Sustainability in Aviation*, Ashgate.
- [6] Heinrich, H.W. (1959). *Industrial Accident Prevention*. McGraw-Hill.
- [7] ICAO Doc. 9859. (2013). *Safety Management Manual*, 3rd Ed. International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada.
- [8] Janić, M. (2000). An assessment of risk and safety in civil aviation, *Journal of Air Transport Management*, 6(1): 43-50.
- [9] Krause, S.S. (2003). *Aircraft Safety – Accident Investigations, Analyses & Applications*. (2nd ed.). McGraw-Hill.
- [10] Radivojević, G. & Gajović, V. (2014). Supply chain risk modeling by AHP and Fuzzy AHP methods, *Journal of Risk Research*, 17(3): 337-352.



## OCENA RIZIČNOSTI PREUZIMANJA RIZIKA U OSIGURANJU PRIMENOM METODE FAHP

### INSURANCE UNDERWRITING RISK ASSESSMENT BY FAHP METHOD

VLADIMIR GAJOVIĆ<sup>1</sup>, GORDANA RADIVOJEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kompanija Dunav osiguranje a.d.o., vladimir.gajovic@dunav.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Institut Mihajlo Pupin, g.radivojevic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Preuzimanje rizika (engl. Underwriting) u osiguranju podrazumeva proces analize, selekcije i klasifikacije zahteva za osiguranje, procenu izloženosti potencijalnih osiguranika rizicima, kao i određivanje uslova i cene osiguravajućeg pokrivača. Proces preuzimanja rizika u osiguranju generiše različite vrste operativnih rizika kojima se izlažu osiguravajuće kuće. Iz navedenog razloga one moraju da sprovedu sistematski pristup upravljana rizicima, uz primenu savremenih aktuarskih, finansijskih, pravnih, tehničkih i drugih aktivnosti i mehanizama, u cilju sopstvene zaštite kao i zaštite svojih klijenata. Cilj ovoga rada je da prikaže jedan pristup za ocenu rizičnosti procesa preuzimanja rizika u segmentu neživotnih osiguranja u Republici Srbiji. S obzirom na kompleksnost posmatranog problema, brojnost rizika i parametara rizika kao i nedostatka reprezentativnih statističkih podataka u vezi procesa preuzimanja rizika neživotnih osiguranja, metoda Fazi analitički hierarhijski proces – FAHP može dati prihvatljive kvantitativne podatke.

**Cljučne reči:** Osiguranje, Rizik, Preuzimanje rizika, Fazi analitički hierarhijski proces (FAHP)

**Abstract:** Insurance underwriting refers to the process of analysis, selection and classification of insurance requirements, assessment of risk exposure of potential assureds, as well as creating the terms and conditions and pricing the insurance coverage. The underwriting process in insurance generates various types of operative risks the insurance companies are exposed to. Therefore, insurance companies have to carry out systematic approach to risk management, with modern actuarial, financial, juridical, technical and other activities and mechanisms, all in order to protect themselves and their clients. The aim of this paper is the presentation of single approach of the underwriting risk assessment process in the non-life insurance segment in the Republic of Serbia. Whereas the complexity of the matter problem, the multiple risks and risk parameters, as well as the lack of the risk statistics in the non-life insurance underwriting process, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process – FAHP method can provide quantitative acceptable data.

**Key words:** Insurance, Risk, Underwriting, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

#### 1. UVOD

Postoji mnogo definicija pojma osiguranje. Osiguranje predstavlja ugovor u kome jedna strana prihvata da drugoj strani kompenzuje štete (Dorfman 2006). Pojmovi rizik i osiguranje su veoma povezani. Osiguravači se sreću sa zahtevima za pokrivenjem različitih vrsta rizika. Takođe, osiguravači su izloženi brojnim operativnim rizicima poslovanja. Na određeni broj rizika osiguravači mogu da utiču, sprovodeći načela i principe savremenog poslovanja. Međutim, postoje brojni rizici koji su van uticaja osiguravača kao i rizici na koje osiguravač može da utiče ograničeno. Veoma važni subjekti u poslovanju osiguravajućih kuća su aktuari (engl. *Actuaries*) i preuzimači rizika (engl. *Underwriters*), koji preduzimaju odgovarajuće aktivnosti u cilju obezbeđenja stabilnosti i profitabilnosti osiguravajućih kuća. Njihova uloga je da prate odgovarajuće parametre sprovođenja svih vrsta i podvrsta osiguranja i obezbeđuju likvidnost i solventnost složenog poslovnog sistema osiguravajuće kuće. Međutim, u određenim slučajevima, i pored svih preduzetih profesionalnih aktivnosti kao i primene zakonskih odredbi u funkciji obezbeđenja stabilnosti poslovanja, osiguravač može doći u nepovoljnu finansijsku situaciju usled realizacije različitih operativnih rizika. Sam proces preuzimanja rizika u osiguranju takođe karakteriše prisustvo različitih vrsta rizika.

Osnovni cilj rada je da se prikažu osnovne karakteristike procesa preuzimanja rizika u osiguranju, da se ukaže na brojnost rizika ovog procesa i izvrši kvantifikacija rizika procesa preuzimanja rizika na tržištu neživotnih osiguranja u Republici Srbiji. U prvom delu rada je izložen pojam preuzimanja rizika u

osiguranju. U drugom delu rada su opisane osnovne karakteristike pojma rizičnosti u kontekstu preuzimanja rizika u osiguranju. U trećem delu rada je dat predlog ocene rizičnosti procesa preuzimanja rizika u osiguranju metodom FAHP a u četvrtom delu su data zaključna razmatranja.

## 2. PREUZIMANJE RIZIKA U OSIGURANJU

Preuzimanje rizika podrazumeva proces analize, selekcije i klasifikacije zahteva za osiguranje, procenu izloženosti potencijalnih klijenata određenim rizicima, kao i određivanje uslova i cene osiguravajućeg pokrića (Macedo 2009). Preuzimači rizika u osiguranju su stručna lica koja imaju potrebno znanje i iskustvo o rizicima osiguravajućeg pokrića i često su usko specijalizovani za pojedine vrste osiguranja. Pored dobrog poznavanja teorije i prakse osiguranja, oni moraju imati potrebna znanja iz oblasti upravljanja rizicima, aktuarstva, ekonomije i finansija, reosiguranja, tehničkih i tehnoloških karakteristika predmeta osiguranja, menadžmenta šteta i regresa iz osiguranja, prava itd.

Preuzimanje rizika predstavlja ciklični proces na osnovu koga osiguravač ostvaruje cilj - prodaju što više kvalitetnih i konkurentnih osiguranja, uz odgovarajuću cenu i uz poštovanje utvrđenih politika i standarda osiguravača (Klen 2004). Osnovna uloga preuzimača rizika u osiguranju je da izvrši odgovarajuću ocenu rizika koji se prihvata u osiguranje, odredi uslove osiguranja i visinu premije ili premijskih stopa osiguranja. Najvažniji parametri koji utiču na visinu premije osiguranja su specifičnosti i karakteristike predmeta osiguranja, osiguravajuće pokriće, osigurana suma (ili izloženost riziku), vrsta i visina franšize, karakteristike i trošak reosiguranja, mogućnost ostvarenja kontole nad osiguranim rizicima, tržišni faktor (tržišna konkurencija, privredni ambijent, ograničenja tržišta i dr.), sklonost ljudi ili poslovnih sistema u vezi prihvatanja rizika i dr. Takođe, veoma važan parametar u vezi privatanja rizika je sklonost ili apetit osiguravača prema rizicima (Sharma, 2002). Ovo se odnosi na stručna lica ili menadžment u osiguravajućim kućama i njihovu spremnost da preuzmu rizik osiguravajućeg pokrića u uslovima individualnog ili kolektivnog odlučivanja.

## 3. RIZIČNOST PREUZIMANJA RIZIKA U OSIGURANJU

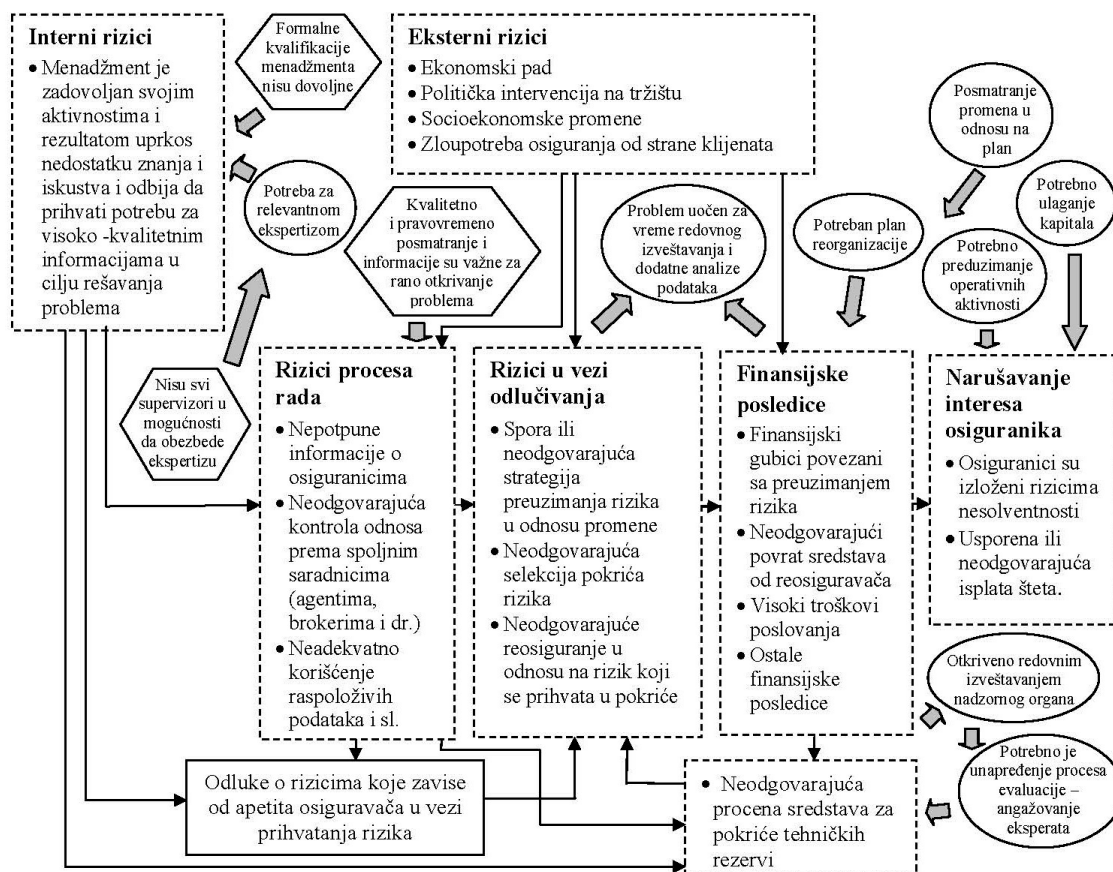
Uopšteno, rizik se može okarakterisati kao kompleksna veličina kojom se jednovremeno opisuju verovatnoća nastanka štetnih događaja i očekivana veličina posledice takvih događaja u zaokruženom sistemu i tokom utvrđene dužine vremenskog intervala, ili tokom određenog procesa. Rizičnost prihvatanja rizika u osiguranju predstavlja rezultantu brojnih činilaca koji utiču na mogućnost nastanka osiguranog slučaja i visinu obaveze koja će usled realizacije rizika nastati za osiguravača. Ocena rizika u osiguranju obuhvata ocenu uticaja brojnih elementa rizika uključujući inicijalne rizične događaje, indirektno događaje, uzroke, faktore uticaja i dr., kao i ocenu ukupnog rizika koji se prihvata u osiguranje. Na poslovanje osiguravača utiče veliki broj faktora koji su posledica interne organizacije rada i eksternih uslova okruženja. U literaturi postoje radovi koji se bave različitim operativnim rizicima u industriji osiguranja (Sharma 2002, Wei 2003, Tripp et al. 2004, Leadbetter and Stodolak 2009). U radovima se ističe značaj identifikacije i analize operativnih rizika i određivanja njihovog značaja i uticaja na ukupno poslovanje osiguravajućih kuća.

Jedan od instrumenata u sistemskom pristupu upravljanja rizicima predstavlja izrada mape rizika. Ona podrazumeva grafički prikaz povezanosti različitih faktora ili kategorija rizika, tokova informacija, aktivnosti u vezi supervizije poslovanja osiguravača kao i dijagnozu u vezi uočenih problema. Mapa rizika (slika 1) omogućava identifikaciju, klasifikaciju i procenu značaja različitih operativnih rizika u osiguranju.

Na relativno malom tržištu neživotnih osiguranja u Republici Srbiji vlada izuzetno velika, često nelojalna konkurencija. Kod brojnih ponuda osiguranja, uključujući ponude na osnovu javnih nabavki usluga osiguranja, primećuje se radikalno sniženje realnih premija ili premijskih stopa osiguranja. Ponuđene cene i uslovi osiguranja često značajno odstupaju od usvojenih tarifa pojedinih osiguravača. Kod određenih vrsta osiguranja pojedini osiguravači beleže značajne gubitke koji, pored ostalog, nastaju i zbog neodgovarajuće ocene rizika od strane preuzimača rizika.

Veoma je teško napraviti jasna razgraničenja i klasifikaciju rizika vezanih za proces preuzimanja rizika, s obzirom na međusobni uticaj i povezanost brojnih rizika i uzroka nastanka ovih rizika. Takođe, određeni rizici ili uzroci njihovog nastanka mogu se svrstati u više kategorija, s obzirom na mogućnost posmatranja problema iz različitih uglova, i različite uzročno-posledične veze. U ovom radu rizici koji karakterišu proces preuzimanja rizika neživotnih osiguranja podeljeni su u pet kategorija.

**R<sub>1</sub> Interni rizici.** Interni uzroci nastanka rizika mogu nastati kao posledica nedovoljne edukovanosti ili nedostatka iskustva i znanja menadžmenta osiguravača, preuzimača rizika i drugih nosilaca upravljačkih funkcija u osiguranju, neodgovarajuće zastupljenih metoda menadžmenta rizicima i dr. Interni uzroci nastanka rizika u Republici Srbiji su izraženi.



Slika 1: Mapa rizika u osiguranju (prilagođeno iz Sharma, 2002)

**R<sub>2</sub> Eksterni rizici.** Eksterni rizici mogu dovesti do različitih negativnih scenarija, pogoršanja uslova poslovanja, što u izuzetnim slučajevima može dovesti do značajnih ili čak destruktivnih posledica po osiguravače. Eksterni rizici su prisutni na tržištu Republike Srbije i najčešće proističu iz relativno usporenog privrednog rasta, nelojalne konkurencije, političke nestabilnosti, negativnih socioekonomskih karakteristika tržišta i dr.

**R<sub>3</sub> Rizici procesa rada.** Rizici procesa rada nastaju kao posledica nedostataka u tehnološkim procesima i u organizaciji i strukturi poslovnog sistema. S obzirom da većina osiguravajućih kuća u Republici Srbiji poseduje savremene informacione sisteme, interna akta poslovanja, kompetentne aktuare i finansijske menadžere koji su nadležni za obradu statističkih i drugih podataka u vezi osiguranja, rizici procesa rada nisu značajno izraženi.

**R<sub>4</sub> Rizici u vezi odlučivanja.** Rizici u vezi odlučivanja su povezani sa odlukama u vezi načina, modaliteta i cene preuzimanja rizika. Pogrešne odluke u procesu preuzimanja rizika mogu generisati brojne direktne i indirekne rizike. Proces preuzimanja rizika podrazumeva donošenje optimalnih odluka u vezi modaliteta pokrića rizika, određivanje adekvatnih premija osiguranja, prilagođavanja specifičnim zahtevima klijenata, odgovarajuću selekciju rizika, izbor optimalnog reosiguranja itd. Za sve navedene aktivnosti potrebna je raspoloživost informacija o štetama, premijama i troškovima homogenih grupa predmeta osiguranja, informacije o karakteristikama osiguranika i dr. Rizici u vezi odlučivanja u Republici Srbiji su veoma izraženi.

**R<sub>5</sub> Ostali rizici.** U ostale uzroke nastanka rizika mogu se svrstati rizici pogrešne procene parametara poslovanja, reputacioni rizici, finansijski rizici (neodgovarajući povrat sredstava od reosiguravača, finansijski gubici povezani sa prihvatanjem rizika, visoki troškovi poslovanja i dr.). Takođe, apetit ili sklonost osiguravača za prihvatanje rizika može generisati druge, indirekne rizike koji mogu uticati na stabilnost osiguravača. Leadbetter i Stodolak (2009) navode činjenice o uticaju apetita osiguravača i želje za privlačenjem većeg broja osiguranika putem davanja nižih premija osiguranja od realnih.

Visoki operativni rizici mogu generisati rizike narušavanja interesa osiguranika, nemogućnosti ispunjenja obaveza iz ugovora o osiguranju, gubitka poslovnog ugleda osiguravača i dr. U većini slučajeva rizičnost procesa preuzimanja rizika je moguće kontrolisati. Međutim, u određenim slučajevima u poslovanju osiguravača se pojavljuju rizici koje je teško ili nemoguće kontrolisati, a koji mogu narušiti likvidnost i solventnost osiguravača.

### 3. OCENA RIZIČNOSTI PROCESA PREUZIMANJA RIZIKA METODOM FAHP

Postoji veliki broj različitih metoda za analizu i ocenu rizika, od veoma jednostavnih do izuzetno složenih. Njihova primena zavisi od veličine i karakteristika osiguravajuće kuće, raspoloživog vremena za analizu, troškova primene, raspoloživosti kadrovskih resursa, ograničenja i dr. Danas se veoma često u oceni rizika primenjuje metoda Analitički hijerarhijski proces (engl. Analytic Hierarchy Process – AHP) koju je razvio Saaty (1980). Osnovna ideja AHP je da obuhvati i primeni znanje i iskustvo stručnjaka o problemu koji se analizira. Ova metoda omogućuje da se određeni problem hijerarhijski dekomponuje i parcijalno reši, a zatim parcijalna rešenja ponovo sastave u cilju dobijanja rešenja inicijalnog problema. AHP metoda obuhvata identifikaciju ciljeva i kriterijuma koji se upoređuju i ocenjuju, ocenjivanje na osnovu poređenja parova elemenata na svakom nivou hijerarhije i sintezu rezultata na osnovu poređenja kriterijuma na svim nivoima.

Veliki broj autora je primenio AHP metodu u oceni rizika. Saaty (1987, 2008) u nekoliko radova primenjuje AHP metodu kod ocene neizvesnosti i rizika. Kritičari AHP metode ukazuju da mere intenziteta značaja parametara ne prikazuju realnu ili objektivnu ocenu vrednosti. Iako Saatijeva diskretna skala ima prednosti jednostavnosti i lake upotrebe, ona ne uzima dovoljno u obzir subjektivnost donosioca odluke. Takođe, u određenim slučajevima donosilac odluke nema mogućnost da tačno oceni jasne numeričke vrednosti ocena poređenja. Iz tog razloga, primenom fazi brojeva na osnovnoj skali, preciznost procena se može poboljšati, pa je često u promeni metoda Fuzzy analytical hierarchy process – FAHP, koju su postavili van Laarhoven and Pedrycz (1983). Postoje različiti modaliteti FAHP metode koje predlažu različiti autori. Chang predlaže FAHP metodu (1996) kao unapređenu analitičku metodu razvijenu na bazi klasične AHP metode. Metode AHP i FAHP su našle primenu u različitim oblastima osiguranja. Chen et al. (2010) su dali predlog korekcije premijskih stopa osiguranja inženjerskih projekata uvođenjem koeficijenta korekcije osnovne premijske stope, primenom metode AHP. Huang et al. (2007, 2008) predlažu hibridne modele za izbor različitih proizvoda osiguranja koji su zasnovani na AHP, FAHP, fazi logici i Delphy tehnici, koristeći iskustvo eksperata osiguranja.

U ovom radu predložen je pristup ocene rizičnosti procesa preuzimanja rizika neživotnih osiguranja u Republici Srbiji metodom FAHP. S obzirom na kompleksnost posmatranog problema, brojnost rizika i parametara rizika kao i nedostatka reprezentativnih statističkih podataka o brojnim rizicima u procesu preuzimanja rizika neživotnih osiguranja, metoda FAHP može dati prihvatljive kvantitativne podatke.

FAHP metoda se može opisati kroz sledeće korake (Wang et al. 2008):

- Poređenje parova elemenata  $i$  i  $j$  na svakom nivou hijerarhije u odnosu na elemente na višem nivou, primenom fazi brojeva koji odgovaraju Saaty-evoj skali od 1 do 9. Donosilac odluke određuje vrednost  $b_{ij}$ , za elemente  $i$  i  $j$ , gde je  $b_{ij}$  trouglasti fazi broj  $(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ .
- Sumiranje redova matrice  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  tako da se dobiju vrednosti

$$RS_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} = \left( \sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \text{ za } i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Normalizacija vrednosti  $RS_i$  prema relaciji

$$S_i = \frac{RS_i}{\sum_{j=1}^n RS_j} = \left( \frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l_{kj}} \right), i = 1, \dots, n \quad (2)$$

- Određivanje verovatnoće da je  $S_i \geq S_j$ , prema relaciji

$$V(S_i \geq S_j) = \begin{cases} 1, & \text{ako } m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)}, & \text{if } l_j \leq u_i, \quad i, j = 1, \dots, n; j \neq i \\ 0, & \text{ostalo} \end{cases} \quad (3)$$



gde su  $S_i = (l_i, m_i, u_i)$  i  $S_j = (l_j, m_j, u_j)$  fazi brojevi. Određivanje verovatnoće da fazi broj  $S_i$  bude veći ili jednak u odnosu na sve ostale fazi brojeve poređenja kojih ima  $(n - 1)$  se vrši prema relaciji  $V(S_i \geq S_j | j = 1, \dots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i} V(S_i \geq S_j), i = 1, \dots, n.$

- Definisanje vektora prioriteta  $W = (w_1, \dots, w_n)^T$  fazi matrice poređenja  $B$  kao

$$w_i = \frac{V(S_i \geq S_j | j = 1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(S_k \geq S_j | j = 1, \dots, n; j \neq k)}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

Detaljan opis i matematička formulacija FAHP metode dati su u radu Chang (1996).

Ulazni podaci za FAHP metodu su dobijeni anketiranjem većeg broja eksperata u oblasti neživotnih osiguranja, iz više osiguravajućih kuća u Republici Srbiji. Izlazni rezultati ukazuju na kategorije rizika koje imaju najveći uticaj na rizičnost procesa preuzimanja rizika u osiguranju. Prema hijerarhijskoj strukturi primenjene metode FAHP cilj kvantitativne analize je  $C$  - ocena rizičnosti procesa preuzimanja rizika u osiguranju, kriterijumi predstavljaju kategorije rizika (pet kategorija rizika -  $R_1, R_2, \dots, R_5$ ), alternative su tri nivoa rizičnosti ( $A_1$  - Mala,  $A_2$  - Srednja i  $A_3$  - Visoka rizičnost preuzimanja rizika). U tabeli 1 prikazana je matrica poređenja kategorija rizika prema FAHP metodi. U tabeli 2 prikazani su lokalni i globalni prioriteti prema FAHP metodi.

**Tabela 1:** Matrica poređenja kategorija rizika prema FAHP metodi

	$R_1$ Interni rizici	$R_2$ Eksterni rizici	$R_3$ Rizici procesa rada	$R_4$ Rizici odlučivanja	$R_5$ Ostali rizici	Vektor prioriteta $W$
$R_1$ Interni rizici	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	0,220
$R_2$ Eksterni rizici	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	0,141
$R_3$ Rizici procesa rada	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 1, 3)	0,129
$R_4$ Rizici odlučivanja	(1/3, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0,314
$R_5$ Ostali rizici	(1/3, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1/3, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	0,196

**Tabela2:** Lokalni i globalni prioriteti prema FAHP metodi

	$R_1$ Interni rizici	$R_2$ Eksterni rizici	$R_3$ Rizici procesa rada	$R_4$ Rizici odlučivanja	$R_5$ Ostali rizici	Finalni vektor prioriteta $W$
Elementi rizika → Nivo rizika ↓	0,220	0,141	0,129	0,314	0,196	
$A_1$ Mala rizičnost	0,011	0,047	0,038	0,050	0,065	0,212
$A_1$ Srednja rizičnost	0,083	0,047	0,027	0,114	0,065	0,336
$A_1$ Visoka rizičnost	0,126	0,047	0,064	0,150	0,065	0,452

Na osnovu rezultata analize rizika više osiguravajućih kuća na tržištu Republike Srbije metodom FAHP došlo se do zaključka da su rizici u vezi odlučivanja najdominantniji i imaju učešće od 31,4% u odnosu na druge rizike. To se može objasniti činjenicom da je proces preuzimanja rizika kompleksan i da na njega utiču brojni brojni direktni i indirektni, eksterni i interni rizici. Analiza je takođe pokazala da su rizici procesa rada najmanje izraženi, sa relativnim učešćem od 12,9%, što se može objasniti postojanjem internih poslovnih procedura i procesa u osiguravajućim kućama, primenom savremenih informacionih tehnologija, činjenicom da na tržištu u većini osiguravajućih kuća postoji odgovarajuća kontrola svih procesa i aktivnosti i dr. Dominantno mišljenje eksperata je da je rizičnost procesa preuzimanja rizika neživotnih osiguranja u Republici Srbiji velika, sa relativnim značajem 45,2%. Drugim rečima, poređenjem definisanih kriterijuma rizičnosti procesa preuzimanja rizika neživotnih osiguranja u odnosu na definisane alternative poređenja: Mala, Srednja i Visoka rizičnost, eksperti su ocenili da je alternativa Visoka rizičnost preuzimanja rizika u osiguranju najverovatnija. Subjektivna ocena eksperata o visokoj rizičnosti proizilazi iz činjenice da postoji širok spektar različitih vrsta i podvrsta osiguranja, da je na tržištu prisutan relativno mali broj visoko kompetentnih i iskusnih preuzimача rizika, da postoji prisustvo brojnih internih i eksternih rizika, da postoje visoki rizici odlučivanja i dr.

#### 4. ZAKLJUČAK

Preuzimanje rizika u osiguranju predstavlja dinamičan i cikličan proces koji podrazumeva koordinaciju brojnih aktivnosti i različitih subjekata odlučivanja unutar osiguravajućih kuća, u cilju donošenja optimalnih odluka u vezi uslova osiguravajućeg pokrića i cene osiguranja. Različite vrste rizika kao i specifične karakteristike određenih vrsta neživotnih osiguranja uslovljavaju primenu odgovarajućih metoda, tehnika, postupaka ili strategija preuzimanja rizika. U delatnosti osiguranja, zbog kompleksnosti poslovnih sistema i brojnosti eksternih uticaja, ocena različitih operativnih rizika se često vrši intuitivno, na osnovu iskustva ili znanja individua. FAHP metoda nalazi široku primenu u različitim oblastima analize i ocene rizika, uključujući oblast osiguranja. Primenom FAHP metoda mogu se dobiti zadovoljavajući rezultati u vezi ocene uticaja različitih elemenata rizika na ukupnu rizičnost preuzimanja rizika u osiguranju, kada ne postoje reprezentativni statistički parametri za preciznu kvantifikaciju rizika.

U ovom radu FAHP metoda je primenjena za ocenu rizičnosti procesa preuzimanja rizika neživotnih osiguranja u Republici Srbiji. Na osnovu ocene ukupne rizičnosti procesa preuzimanja rizika, u praksi je moguće sprovesti kontrolu rizika koja podrazumeva preduzimanje aktivnosti, postupaka i strategija u vezi neutralisanja ili smanjenja identifikovanih rizika. Ključna uloga osiguravajućih kuća kao i države je da se izvrši identifikacija i analiza svih operativnih rizika u osiguranju i da se stvore preduslovi koji će dovesti do minimizacije rizika, a samim tim i povećanja stabilnosti poslovanja osiguravača na tržištu osiguranja Republike Srbije.

#### Napomena

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva nauke Republike Srbije – projekat TR 36005 (2011-2014).

#### LITERATURA

- [1] Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* 95(3) 649-655.
- [2] Chen, W., Yang, B. & Zhang, Z. (2010). Research on the Adjustment of Engineering Insurance Rate Based on AHP under the Condition of Unit Price, *International Conference on Management and Service Science*, 1-4.
- [3] Dorfman, M. (2006). *Introduction to Risk Management and Insurance*, Ninth Edition, Pearson Prentice Hall.
- [4] Huang, C., Lin, Y. & Lin, C. (2008). Determination of Insurance Policy Using a Hybrid Model of AHP, Fuzzy Logic and Delphi Technique: A Case Study, *WSEAS Transactions on Computers* 6 (7), 660-669.
- [5] Huang, C., Lin, Y. & Lin, C. (2008). An Evaluation Model for Determining Insurance Policy Using AHP and Fuzzy Logic: Case Studies of Life and Annuity Insurances, *International Conference on Fuzzy Systems* 8, 126-131.
- [6] Klen, R. (2004). Underwriting Cycle, *Encyclopedia of Actuarial Science*, Vol. 3, Editors-in-Chief, Teugels J., Sundt B., 1705-1714.
- [7] Leadbetter, D. & Stodolak, P. (2009). Why insurers fail. Inadequately pricing the promise of insurance, *Property and Casualty Insurance Compensation Corporation*, Toronto.
- [8] Macedo, L. (2009). *The Role of Underwriter in Insurance*, Primer Series of Insurance, The World Bank.
- [9] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- [10] Saaty, T.L. (1987). Risk – Its Priority and Probability: The Analytic Hierarchy Process. *Risk Analysis An International Journal* 7 (2), 159-172.
- [11] Saaty, T.L. (2008). The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: Applications to decisions under Risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics* 1 (1), 122-196.
- [12] Sharma, P. (2002). Prudential Supervision of Insurance Undertakings, *Conference of Insurance Supervisory Services of the Member States of the European Union*, Report.
- [13] Tripp, M.H, Bradley H. L., Devitt, R., Orros, G. C., Overton, G. L., Pryor, L. M. & Shaw, R. A. (2004). Quantifying Operational risk in General Insurance Companies, *Institute of Actuaries Vol 10*. 919-1026.
- [14] van Laarhoven, P.J.M. & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11 (1-3) 229-241.
- [15] Wang, Y.M., Luo, Y. & Hua, Z. (2008). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 186 (2), 735-747.
- [16] Wei, R. (2003). *Operational Risks in the Insurance Industry*, Department of Insurance and risk management, The Wharton School, University of Pennsylvania.



## MODEL UPOTREBE JEDINICA ABH SLUŽBE U INTEGRISANOM ODGOVORU NA HEMIJSKI UDES

## MODEL USE OF UNITS IN NBC SERVICE INTEGRATED RESPONSE TO CHEMICAL ACCIDENTS

DEJAN INĐIĆ<sup>1</sup>, MLADEN VURUNA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, vladaindijic@open.telekom.rs; nacelnik@va.mod.gov.rs

**Rezime:** *Hemijski udesi su, nažalost, čest uzročnik hemijske kontaminacije koja ostavlja brojne posledice na ljude, materijalna sredstva i životnu sredinu. Specijalizovane jedinice Vojske Srbije (VS), među kojima su i jedinice atomsko-biološko-hemijske (ABH) službe, mogu biti uključene u otklanjanje nastalih posledica. U radu je prikazano modelovanje efekata hemijskog udesa i jedan od načina za izbor jedinice ABH službe koja se može upotrebiti u integrisanom odgovoru na udes, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa (metoda AHP).*

**Ključne reči:** *hemijski udes, integrisani odgovor, otklanjanje posledica, jedinice ABH službe, metoda AHP.*

**Abstract:** *Chemical accidents are, unfortunately, a common cause of chemical contamination that leaves many effects on people, material resources and the environment. Specialized units of the Serbian Army (SA), including the nuclear-biological-chemical (NBC) services, may be involved in the prevention of possible consequences. The paper presents the modeling of the effects of chemical accidents and one way for the selection of NBC services that can be used in an integrated response to the accident, using the method of analytic hierarchy process (AHP method).*

**Keywords:** *chemical accidents, integrated response, recovery, units NBC service, method AHP.*

### 1. UVOD

Hemijski udesi (H udesi) imaju pet nivoa težine (zavisno od posledica), a uzroci su najčešće ljudska ili tehnička greška, udesi u transportu, a u ratu „neplansko“ bombardovanje. Saniranje posledica H udesa jedan je od brojnih i veoma složenih problema sa kojima se suočava svako savremeno društvo. U otklanjanju nastalih posledica, pored različitih subjekata društva (ekipe hemijskog postrojenja, snage Sektora za vanredne situacije MUP, lokalna samouprava, sanitetske ekipe Domova zdravlja i Zavoda za javno zdravlje i dr.), mogu učestvovati i jedinice ABH službe Vojske Srbije (VS). Jedinice ABH službe težišno se angažuju kada se H udes ne može sanirati postojećim snagama na terenu, a na osnovu zahteva nadležnih organa Republike Srbije i odobrenja resornog ministarstva (Ministarstvo odbrane). Međutim, zbog specifične situacije pri H udesu (kratko vreme za reagovanje, visoke koncentracije opasnih materija, specifični požari i sl.) veoma je teško odrediti optimalne snage ABH službe koje bi se upotrebile u integrisanom odgovoru na H udes. U radu ćemo prikazati jednu od varijanti za izbor jedinice ABH službe, koja bi se upotrebila u integrisanom odgovoru na H udes, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa.

### 2. UDESNI SCENARIO

Na lokaciji hemijske fabrike (“Srpska fabrika stakla” Paraćin) došlo je do oštećenja ispusnog ventila automobil-cisterne napunjene s rastvorom hlorovodonične kiseline (HCl), koncentracije 33% (m/m), što je dovelo do izlivanja kompletnog sadržaja iz rezervoara po okolnom prostoru. Po formiranju lokve tečne faze dolazi do isparavanja HCl i formiranja sekundarnog kontaminacionog oblaka u prizemnom sloju atmosfere.

#### 2.1. Ulazni podaci

- masa rastvora HCl: 20 t;
- podloga: ravna, betonska;
- okolina: gradski uslovi;

- temperatura vazduha (okoline): 20 °C;
- relativna vlažnost vazduha: 70% (vreme: mirno, bez padavina);
- vetar: severozapadni, brzine 2 m/s (na visini 2 m od nivoa tla);
- stanje u prizemnom sloju atmosfere: stabilno, klasa stabilnosti – F.

## 2.2. Rezultati proračuna (procena zagađenja - opasnosti):

Razliveni rastvor hlorovodonične kiseline (HCl) na ravnoj podlozi formira lokvu tečnosti, za koju se može uzeti da iznosi  $\approx 10$  mm.

Iz formirane lokve isparava HCl, pri čemu brzina isparavanja zavisi od koncentracije HCl u rastvoru:

- početna masa HCl u izlivenoj tečnosti:  $m_0^{HCl} = 0,33 \cdot 20000 = 6600$  kg
- početna masa vode u izlivenoj tečnosti:  $m_0^{H_2O} = 0,67 \cdot 20000 = 13400$  kg

Početne brzine isparavanja HCl i vode iz nastale lokve, pri navedenim uslovima opisuju se sledećim jednačinama: (U.S. EPA 1987, Mackay and Matsugu 1973, Francois et al. 2008)

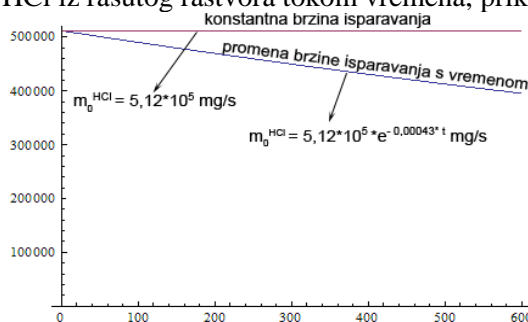
$$\dot{m}_0^{HCl} = 5,12 \cdot 10^5 \text{ mg/s} \quad (1)$$

$$\dot{m}_0^{H_2O} = 8,05 \cdot 10^4 \text{ mg/s} \quad (2)$$

Promena brzine isparavanja HCl iz nastale lokve tokom vremena, pri navedenim uslovima, može se opisati sledećom jednačinom:

$$\dot{m}^{HCl} = 5,12 \cdot 10^5 \cdot e^{-4,3 \cdot 10^{-4} \cdot t}, \text{ mg/s (vreme - } t \text{ u minutima);} \quad (3)$$

Promena brzine isparavanja HCl iz rasutog rastvora tokom vremena, prikazana je na slici 1.



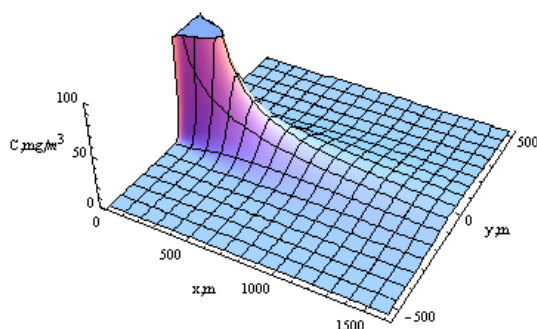
**Slika 1:** Promena brzine isparavanja HCl iz rasutog rastvora tokom vremena, nastalog izlivanjem iz auto-cisterne s 20 t rastvora HCl, koncentracije 33% (m/m)

Prema podacima sa slike 1 uočava se da se za kraća vremena može uzeti da je brzina isparavanja HCl konstantna, jer sporo opada s vremenom, te je za određivanje disperzije nastalih para korišćena takva vrednost (disperzije posmatrane nakon 10 min i 30 min od početka izlivanja). Nastale pare HCl su teže od okolnog vazduha (gustina para HCl je  $1,53 \text{ kg/m}^3$ , a vazduha  $1,20 \text{ kg/m}^3$  na  $20 \text{ °C}$ ), te je za prostiranje para HCl u prizemnom sloju atmosfere korišćen model „teškog“ gasa (Chatwin 1983), sa dva različita mehanizma disperzije: (1) u početnom periodu (traje oko 1 min) dolazi do gravitacionog širenja nastalog sekundarnog oblaka; (2) a potom, do Gausovske disperzije nastalog oblaka, u skladu sa zakonima turbulentne difuzije (kao neutralni gas – gasovi s gustinom koja je približna gustini vazduha).

Od početne vrednosti poluprečnika nastalog oblaka ( $R_0 = 23,4$  m) poluprečnik kontaminacionog oblaka tokom gravitacionog perioda naraste do  $\approx 62$  m, na završetku tog perioda. Početna vrednost disperzije za period Gausovske disperzije izračunavana je prema jednačini:

$$\sigma_{y_0} = \frac{R}{2,14} = \frac{62}{2,14} = 29 \text{ m} \quad (4)$$

Na slici 2 prikazana je promena koncentracije para HCl u prostoru pre vremena usrednjavanja koncentracija (za period usrednjavanja koncentracija uzeto je vreme od 10 min od početka izlivanja), za karakterističnu udesnu situaciju.



**Slika 2:** Promena koncentracije para HCl u prostoru nakon izlivanja iz auto-cisterne sa 20 t 33%-ne HCl u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s

U cilju određivanja zona prostiranja opasnih koncentracija HCl, neophodno je definisati koje su to karakteristične koncentracije za slučaj nastalog hemijskog udesa:

- $LC_{50}$  – srednja smrtna koncentracija, pri ekspoziciji od 1 h ( $LC_{50} \approx 1550 \text{ mg/m}^3$ , za miševe);
- IDLH – koncentracija opasna po zdravlje ljudi, pri ekspoziciji od 30 min (IDLH =  $70 \text{ mg/m}^3$ );
- 0,1 IDLH – koncentracija opasna po zdravlje osetljive populacije (deca, starije ili bolesne osobe).

Pošto je formiranje kontaminacionog oblaka dinamičkog karaktera, analiza opasnosti od trovanja parama HCl, za koncentracije nivoa  $LC_{50}$  provedena je primenom *Probit-funkcije*, koja u slučaju HCl glasi (World Bank, 1988):  $Y = -21,76 + 2,65 \cdot \ln(C \cdot t)$  (5)

gde su:

- $Y$  – *Probit-funkcija*
- $C$  – koncentracija para HCl, ppm
- $t$  – vreme izlaganja (ekspozicije), min.

Pretpostavljajući da je vreme izloženosti ljudstva parama HCl iznosi 10 min odnosno 30 min (dve varijante), moguće posledice po nezaštićeno ljudstvo u zoni prostiranja kontaminacionog oblaka para HCl, na osnovu testiranja verovatnoće (preko *Probit-funkcije*) prikazane su u tabeli 1.

**Tabela 1:** Moguće posledice po nezaštićene ljude nakon izlivanja cisterne s rastvorom HCl u zoni prostiranja smrtnih koncentracija, pri brzini vetra od 2 m/s i stabilnom stanju u atmosferi, za različito vreme izlaganja

Rastojanje od ispusta HCl, m	Koncentracija para HCl, ( $\text{mg/m}^3$ i ppm)	Vrednost <i>Probit-funkcije</i>		Verovatnoća smrtnog stradanja, %	
		10 min	30 min	10 min	30 min
15	1450/1036	2,74	5,65	1	74
25	915,8/654,2	1,52	4,43	0	28
50	457,6/327	-0,315	2,60	0	0
75	294,4/210,3	-1,484	1,43	0	0

Prema podacima iz tabele 1 uočava se da zona smrtnog stradanja ljudi koji ne poseduju sredstva zaštite disajnih organa nije velika, a uzimajući u obzir gustinu naseljenosti u opštini gde je došlo do H udesa - Paraćin (prosečno  $101 \text{ stanovnik/km}^2$ ) i činjenicu da je u uslovima inverzije ta zona uža, mali broj ljudi bi nastradao (2 do 3 lica). Iz tabele 1 lako se zapaža i značaj saniranja nastale udesne situacije sa izlivenim rastvorom HCl, što govori o potrebi što brže dekontaminacije.

Na slici 3 prikazane su zone prostiranja opasnih koncentracija HCl na konkretnoj lokaciji, za početne uslove disperzije do 10 min od početka izlivanja. Zone prostiranja opasnih koncentracija HCl posle vremena od 30 min (sa periodom usrednjavanja koncentracija od 10 min) su manje za oko 15%.

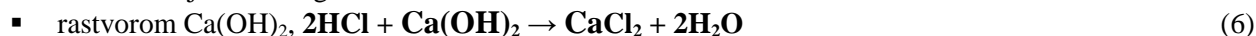


**Slika 3:** Zone prostiranja opasnih koncentracija HCl, za početne uslove disperzije (do 10 min od početka izlivanja) u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s

Prema podacima sa slike 3 evidentno je da zone naročito opasnih koncentracija (IDLH) dosežu oko 300m od mesta izlivanja (žarišta kontaminacija), te je u sklopu odgovora na nastali H udes neophodno sprovesti mere sanacije, odnosno izvođenje dekontaminacije nastale lokve od izlivenog rastvora HCl.

Kao optimalni rastvor za dekontaminaciju preporučuje se primena rastvora kalcijum-hidroksida (u obliku kaše ili krečnog mleka), koji se mogu primenjivati iz automobil-cisterne za dekontaminaciju ACD M-78 (koju poseduju jedinice VS), bez ikakvih dorada ili modifikacija u primeni dekontaminacionog rastvora.

Dekontaminaciju izlivenog rastvora HCl treba realizovati:



- ili razblaživanjem vodom i naknadnom neutralizacijom negašenim krečom (CaO).

### 3. UPOTREBA JEDINICE ABH SLUŽBE U INTEGRISANOM ODGOVORU NA HEMIJSKI UDES

Radi realizacije zadataka iz domena otklanjanja posledica H udesa mogu se angažovati različite jedinice ABH službe. Donosilac odluke ima zadatak da izabere adekvatnu jedinicu za angažovanje na realizaciji konkretnog problema od nekoliko mogućih alternativa, primenom metode AHP (Saaty 2000).

U radu je razmatrano angažovanje istovrsnih jedinica ABH službe (za izviđanje, dekontaminaciju i obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa), ali se u praksi može vršiti i njihova kombinacija (formiranjem privremenih sastava ABH službe).

Problem izbora jedinice ABH službe za zadatke otklanjanja posledica H udesa definisan je na sledeći način: (Indjic 2014)

- *Nivo*: izbor jedinice ABH službe (odluka)
- *Nivo*: atributi (*kriterijumi odlučivanja*) definisani su na sledeći način (tabela 2):
  - $A_1$  – efikasnost;
  - $A_2$  – ekonomičnost;
  - $A_3$  – koordinacija;
  - $A_4$  – opremljenost;
  - $A_5$  – pokretljivost (mobilnost) i
  - $A_6$  – obučenost (osposobljenost).

**Tabela 2:** Upoređenje atributa na drugom nivou

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	Težina
$A_1$	1	4	2	1	3	1	0,2391
$A_2$	0,25	1	0,2	0,33	0,33	0,2	0,0471
$A_3$	1	5	1	1	3	1	0,1965
$A_4$	1	3	1	1	3	1	0,2011
$A_5$	0,33	3	0,33	0,33	1	0,2	0,0775
$A_6$	0,5	5	1	1	5	1	0,2387

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0317 \leq 0,10$

- 3. *Nivo*: atributi (*alternative*) definisani su na sledeći način:
  - $B_1$  – jedinica ABH službe za izviđanje;
  - $B_2$  – jedinica ABH službe za obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa;
  - $B_3$  – jedinica ABH službe za dekontaminaciju.

Odgovarajuće matrice upoređenja alternativa iz trećeg nivoa za svaki atribut i njihovi prioriteti prikazani su u tabelama 3 do 8, respektivno:

**Tabela 3:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_1$  (efikasnost)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	0,2	1	0,1578
$B_2$	5	1	3	0,6560
$B_3$	1	0,33	1	0,1862

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0219 \leq 0,10$ .

**Tabela 4:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_2$  (ekonomičnost)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	0,33	1	0,2101
$B_2$	3	1	2	0,5488
$B_3$	1	0,50	1	0,2411

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0133 \leq 0,10$ .

**Tabela 5:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_3$  (koordinacija)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	0,33	0,5	0,1694
$B_2$	3	1	1	0,4431
$B_3$	2	1	1	0,3875

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0131 \leq 0,10$

**Tabela 6:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_4$  (opremljenost)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	0,33	2	0,2514
$B_2$	3	1	3	0,5897
$B_3$	0,5	0,33	1	0,1589

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0407 \leq 0,10$

**Tabela 7:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_5$  pokretljivost (mobilnost)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	1	1	0,3278
$B_2$	1	1	2	0,4111
$B_3$	1	0,5	1	0,2611

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0464 \leq 0,10$

**Tabela 8:** Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut  $A_6$  obučenost (osposobljenost)

	$B_1$	$B_2$	$B_3$	Težine
$B_1$	1	0,25	1	0,1750
$B_2$	4	1	3	0,6332
$B_3$	1	0,33	1	0,1918

gde je indeks nekonzistentnosti,  $CR = 0,0048 \leq 0,10$

Na kraju postupka izvršena je sveukupna sinteza problema izbora jedinice ABH službe za otklanjanje posledica H udesa, tako što su sve alternative pomnožene sa težinama pojedinih kriterijuma odlučivanja, a dobijeni rezultati sumirani. Alternativa koja dobije najveću vrednost je, u stvari optimalna alternativa.

Završni postupak primene AHP metode je prikazan u tabeli 9.

**Tabela 9:** Sinteza tabela za izbor optimalne alternative

Kriterijum	Težina kriterijuma	$B_1$	Težina x $B_1$	$B_2$	Težina x $B_2$	$B_3$	Težina x $B_3$
$A_1$	0,2391	0,1578	0,0377	0,6560	0,1568	0,1862	0,0445
$A_2$	0,0471	0,2101	0,0099	0,5488	0,0259	0,2411	0,0114
$A_3$	0,1965	0,1694	0,0333	0,4431	0,0871	0,3875	0,0761
$A_4$	0,2011	0,2514	0,0506	0,5897	0,1186	0,1589	0,0319
$A_5$	0,0775	0,3278	0,0254	0,4111	0,0319	0,2611	0,0202
$A_6$	0,2387	0,1750	0,0418	0,6332	0,1511	0,1918	0,0458
			<b>0,1987</b>		<b>0,5714</b>		<b>0,2299</b>

Na osnovu izvršenog izbora jedinice ABH službe (jedinica za obezbeđenje od N i H udesa) koja će se angažovati na rešavanju problema pri udesu (izlivanje HCl), aktivnosti se realizuju na sledeći način:

- vrši se odlazak na mesto udesa i ulazak jedinice ABH službe u sastav snaga koje deluju u okviru integrisanog odgovora na udes (lokalna samouprava, protivpožarna policija, sanitetske ekipe i dr.) ,



- realizuje se hemijsko izviđanje i hemijska dekontaminacija mesta udesa.

Nakon dolaska na mesto udesa snage za hemijsko izviđanje (najčešće izviđačka patrola od 3 lica) izvršile bi izviđanje mesta udesa upotrebom izviđačkog vozila i savremenih sredstava za detekciju (automatski detektor hemijskih agenasa RAID M-100, detektor industrijskih gasova - DRAGER ACCURO i sl.). Imajući u vidu dužinu kontaminirane deonice (1,7 km), potrebno vreme za realizaciju zadatka (u skladu sa opitovanim normama na obuci i vežbama) bilo bi oko 1 čas. Hemijska dekontaminacija kontaminirane deonice puta izvršila bi se upotrebom ACD M-78 sa pripremljenim rastvorom za dekontaminaciju (kalcijum-hidroksid) i primenom metode jednovremene dekontaminacije. Potrebno vreme za izvršenje hemijske dekontaminacije je oko 1,5 čas. Veoma je važno navesti da jedinice ABH službe koje se budu angažovale na rešavanju navedenog problema H udesa, moraju biti podržane odgovarajućim informacionim sistemom, kako bi sve vreme rada imali adekvatno praćenje hemijske situacije u realnom vremenu (Indić et al. 2013). U Vojsci Srbije se trenutno koriste dva programska paketa: HeSPRO - Program za brzu procenu hemijske situacije (Luković et al. 2004) i NBC ANALYSIS<sup>1</sup>. (NBC-ANALYSIS, 2010)

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano modelovanje H udesa i primena metode analitičkih hijerarhijskih procesa kod izbora jedinice ABH službe, koja bi se mogla angažovati u integrisanom odgovoru na H udes.

Preciznim sprovođenjem postupka primene ove metode dobili smo sledeći poredak alternativa u modelu:

- B<sub>2</sub> (druga alternativa) – 0,5714 (prva u rangju)
- B<sub>3</sub> (treća alternativa) – 0,2299 (druga u rangju)
- B<sub>1</sub> (prva alternativa) – 0,1987 (treća u rangju).

Iz ovoga zaključujemo da druga alternativa ima najveću ukupnu vrednost (**0,5714**), pa je zbog toga ona optimalna. Ova opcija jedinice ABH službe (za obezbeđenje od N i H udesa) je sasvim prihvatljiva imajući u vidu njenu opremljenost odgovarajućim sredstvima i obučenost njenih pripadnika za zadatke iz domena obezbeđenja od nuklearnih i hemijskih udesa. Izabrana jedinica za rešavanje modelovanog H udesa realizovala bi namenske zadatke (hemijsko izviđanje i dekontaminacija) u vremenu oko 2,5 časa, ne računajući vreme dolaska do mesta udesa koje može trajati i više časova. U tome je verovatno i najveći problem njihovog angažovanja na celoj teritoriji R. Srbije (koju u skladu sa dodeljenim zadacima „pokrivaju“) uzimajući u obzir razmeštaj jedinica ABH službe (locirane su samo u gradu Kruševcu). Ako želimo da ove snage namenski angažujemo u nekom narednom periodu, mora se rešiti način njihovog brzog „prebacivanja“ iz reiona mirnodopske lokacije na mesto upotrebe (koje može biti i više stotina kilometara) ili njihov ravnomeran razmeštaj na celju teritoriji države.

#### LITERATURA

- [1] U.S. Environmental Protection Agency, (1987). Technical Guidance for Hazard Analysis – Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances, December.
- [2] Mackay, D. & Matsugu, R.S. (1973). Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water, *Can.J.Chem.Eng.*, 51, p.434-439.
- [3] Francois, B., et al. (2008). Dispersion, in the atmosphere of a pollutant drifting at the sea surface: Galerne project, pp.491-494, 12<sup>th</sup> International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Cavtat, 6–9 October.
- [4] Chatwin, P.C. (1983). The Incorporation of wind shear effects into box models of heavy gas dispersion, 8<sup>th</sup> Australasian fluid mechanics conference, University of Newcastle, NSW, 28 november/2 december
- [5] World Bank, (1998). Technical Report N0 55: Techniques for assessing industrial hazards, Washington, DC, World Bank.
- [6] Saaty, T. (2000). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. (1st ed.). RWS Publications.
- [7] Indić, D. (2014). Model angažovanja jedinica ABH službe na otklanjanju posledica hemijskog udesa – doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd.
- [8] Indić, D. i dr. (2013). Informacioni sistemi u upravljanju rizicima u životnoj sredini, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 61, no.1, pp.210-225.
- [9] Luković, Z. i dr.. (2004). Privremeno uputstvo za procenu i prognozu hemijske situacije pri udesima sa opasnim materijama i pri dejstvu po objektima u kojima se nalaze op. materije, UABHO, VIZ, Beograd.
- [10] NBC-ANALYSIS, (2010). User Reference Guide (Version 11.2), Bruhn New Tech.

<sup>1</sup> “NBC-ANALYSIS” je napredno softversko rešenje za upravljanje rizicima, čiji se rad zasniva na kombinaciji senzora (detektora) sa računarskom tehnologijom.





## **PROCENA I UPRAVLJANJE IZAZOVIMA, RIZICIMA I PRETNJAMA BEZBEDNOSTI**

### **ASSESSMENT OF THE CHALLENGES, RISKS AND THREATS AND SECURITY MANAGEMENT**

BILJANA STOJKOVIĆ

Uprava za strategijsko planiranje SPO Ministarstva odbrane, Beograd, biljana.stojkovic@mod.gov.rs

---

**Apstrakt:** U radu je reč o metodama i tehnikama koje se mogu koristiti u proceni bezbednosnih izazova, rizika i pretnji u Republici Srbiji. Pored neophodnih terminoloških razgraničenja sadržaja i obuhvata tih pojmova, izvršeno je i njihovo pojašnjenje uz upotrebu višekriterijumske analize. U radu je uočeno da je prilikom primene egzaktnih tehnika i instrumenata radi kvantifikovanja, tj. merenja izazova, rizika i pretnji, postoje i objektivne teškoće usled složenog karaktera navedenih fenomena u praksi, posebno u slučajevima merenja tzv. izvora ugrožavanja, uzroka, sadržaja i smera ugrožavanja bezbednosti i usled postojanja različitih vidova bezbednosti (npr. globalne, regionalne, nacionalne, ljudske, ekonomske, socijetalne, energetske, ekološke, individualne i dr). No, bez obzira na navedene probleme, moguće je izraditi skale i tablice za kvantifikovanje izazova, rizika i pretnji bezbednosti, koje čine sastavni deo procene u praksi Republike Srbije, ali i drugih zemalja.

**Cljučne reči:** procena, izazovi, rizici, pretnje

**Abstract:** This paper deals with the assessment technics and methods of security challenges, risks and threats to the Republic of Serbia. Beside the terminological demarcation of content and coverage of these concepts, it was carried out their enhancement with the use of multi-criteria analysis. This paper was noted that in the application of exact techniques and instruments for quantification, ie. measurement the challenges, risks and threats, there are objective difficulties due to the complex nature of the phenomena described in practice, especially in cases of measurement so called the threats sources as well as existence various forms of security (global, regional, national, human, economic, social, energy, environmental, individual, etc). But regardless of these problems, it is possible to create tables and scales to quantify the security challenges, risks and threats, which are an integral part of the security assessment in practice of the Republic Serbia, and other countries.

**Keywords:** assessment, challenges, risks, threats

#### **1. PROBLEMI KLASIFIKACIJE I RAZGRANIČENJA KLJUČNIH POJMOVA**

Procena je sastavni deo strategijskog planiranja, ali kako zapažaju Hejli, Džejms i Rigli sa Oksford univerziteta (Hejli, Džejms & Rigli, 2005), ključno je kako su definisani ciljevi strategijskog razvoja, a samim tim i strategijskog planiranja i programiranja.

Isti autori pod pojmom "procena" podrazumevaju skup zaključaka izvedenih procesom utvrđivanja uzroka, opsega i posledica ispoljavanja neke pojave, na osnovu analize pokazatelja u određenom vremenskom periodu, primenom odgovarajućih metoda i tehnika. U skladu sa navedenim, "bezbednosna procena" predstavlja skup zaključaka nastao primenom izabраниh metoda i tehnika radi dobijanja podataka, pokazatelja i saznanja o svim vidovima bezbednosne ugroženosti ljudskih, materijalnih i prirodnih resursa. Oslanjajući na Faulerovo delo iz 1997. godine, Hejli, Džejms i Rigli jasno definišu uslovljenost procesa procene ishodom u sledećim društvenim procesima, tj. njihovim ulogama u društvu, koji mogu biti sledeći:

- Uloga nasleđa: identifikacija, analiza i dokumentovanje promena koje su se odigrale kako bi se zabeležio njihov ishod;
- Uloga komunikacije: prenošenje ranijih dostignuća i pohvale uspeha sa dugotrajnim efektom na način koji motiviše osoblje i učesnike (uključujući i donatore) i ohrabruje druge da usvoje slične procese ili pribegnu sličnoj investiciji;

- Uloga upravljanja: obezbeđivanje određenog stepena odgovornosti uz pomoć nadzora materijalizacije investicije kroz određene aktivnosti i rezultate i praćenje tih rezultata i ishoda na sistematski i transparentan način;
- Uloga učenja: proizvodnja informacija i perspektiva neophodnih za promene, njihova analiza i distribucija na takav način da svi učesnici mogu steći nova znanja na osnovu ustanovljenih odnosa i procesa, te shodno tome, prilagoditi svoje ponašanje i intervencije;
- Uloga politike: proizvodnja i analiza podataka koji se mogu iskoristiti za reformu politike, razvoj novih strategija, unapređenje prakse vlada ili donatora ili za jačanje kampanja za koje se organizacija zalaže.

Navedeni društveni uticaji komplikuju donošenje odluke strategijskog, poslovnog, bezbednosnog i svakog drugog menadžmenta o tome šta i kako treba kvantifikovati (meriti). Stoga, navedeni autori predlažu (Hejli, Džejms, & Rigli, 2005) baznu osnovu za merenje u proceni, koja je sadržana u tabeli broj 1, u ovom radu.

**Tabela 1:** Bazna osnovu za merenje u proceni po Hejlju, Džejmsu i Rigli iz 2005. godine

Tačka merenja	Tip merenja	Šta se meri	Indikatori
- Rezultati	- Monitoring	- Napori	- Primena aktivnosti
- Evaluacija	- Efikasnost		- Korišćenje rezultata i stvaranje trajnih koristi
- Ishod	- Procena ishoda	- Promena	- Razlika u odnosu na početno stanje problema

Sintagma pojmova "izazovi, rizici i pretnje" označavaju gradaciju opasnosti od potencijalne (kod izazova), preko objektivno moguće (kod rizika), do gotovo izvesne ili objektivno postojeće opasnosti (koja je sadržana u pretnjama). Navedeni termini se koriste kao sintagma, da bi se njome obuhvatile sve objektivno postojeće i potencijalne opasnosti po bezbednost države, društva i građana koje treba da budu obuhvaćene i procenom izazova, rizika i pretnji bezbednosti pojedinih zemalja, poput Republike Srbije. Međutim, treba spomenuti da sintagma pojmova koja se pojavljuje u strategijskim, doktrinarnim i planskim dokumentima u Republici Srbiji – bezbednosni izazovi, rizici i pretnje, je relativno novijeg datuma i izvorno dolazi iz engleskog jezika jer je u upotrebi u nekim zapadnoevropskim zemljama i SAD (Gompert, Davis, Johnson, & Long, 2008). U politički i naučni rečnik Republike Srbije ulazi nakon 2000. godine, usled "evropske i evroatlantske spoljnopolitičke orijentacije Srbije i Crne Gore" (Stojanović, 2005), što je došlo do izražaja prilikom izrade novih strategijskih i planskih dokumenata, poput, Strategije odbrane državne zajednice Srbija i Crna Gora (2004), Strategijskog pregleda odbrane (2005), a potom i Strategije nacionalne bezbednosti Republike Srbije (2009) i Strategije odbrane Republike Srbije (2009).

Analiza pojmova koji čine pomenutu sintagmu pokazuje, takođe, da su u pitanju međusobno povezani, uslovljeni, nadopunjavajući i stepenovani pojmovi. Tako, recimo, "izazovi" su potencijalni oblici ugrožavanja koji su upočetku vrednosno neutralni, ali vremenom mogu da dobiju i negativnu vrednosnu konotaciju. "Rizici" označavaju bližu opasnost i mogući ili verovatan oblik ugrožavanja. Dok "pretnje" podrazumevaju svesnu nameru usmerenu ka pridobijanju određene koristi ili nanošenju štete sa pozicije sile, čija bi realizacija mogla da dovede u pitanje i opstanak objekta ugrožavanja.

Pored toga, ovi pojmovi uslovljeni su, između ostalog, različitim teorijskim pristupom u poimanju bezbednosti. U vezi sa tim, "bezbednost je, u objektivnom pogledu, odsustvo pretnji usvojenim vrednostima, a u subjektivnom pogledu znači odsustvo straha da će te vrednosti biti ugrožene". U kontekstu međunarodnih odnosa, "bezbednost se odnosi na sposobnost država i društava da očuvaju svoju nezavisnost, suverenitet i integritet, tj. određena je listom utvrđenih vitalnih (nacionalnih) vrednosti koje se štite, kao i listom i stepenom obuhvata subjekata i objekata bezbednosti koji se štite od unutrašnjeg ili spoljnog bezbednosnog ugrožavanja" (Stojković, 2006.).

Problemi u klasifikaciji i razgraničenju izazova, rizika i pretnji bezbednosti postoje i u teoriji i u praksi jer nisu jasno utvrđeni i opšteprihvaćeni jedinstveni kriteriji za njihovu klasifikaciju. Elementi za početno određenje ovih pojmova i utvrđivanje njihovog međusobnog odnosa, a samim tim i za njihovo razdvajanje i rangiranje, mogli bi se po M. Hažiću utvrditi, ali su oni primarno uslovljeni "stepenom njihovog uticaja na opadanje i/ili ugrožavanje bezbednosti" (Hažić, 2004). Po ovom autoru, bezbednosni izazovi, rizici i pretnje se mogu sistematizovati na sledeći način: po izvoru – bazični i/ili situacioni; po poreklu – unutrašnji i/ili spoljašnji; po subjektu – državni i/ili nedržavni; po sadržaju – vojni i/ili nevojni; po zahvatu – lokalni, (sub)regionalni, globalni; po doseg – trenutni i trajni.

"Izazov" je pojam izveden iz glagola "izazivati", u značenju provocirati nekoga, podsticati na odgovor. Kao imenica, izazov označava društveni fenomen (proces) koji tokom vremena može da od početne neutralnosti

zadobija pozitivnu ili negativnu usmerenost, a samim tim i da ostvaruje korisni ili štetni uticaj na subjekat ili objekat uticaja.

"Rizik" znači potencijal za izloženost opasnosti. Rizik je potencijalna pretnja, ali on nije isto što manifestacija opasnosti i njenih štetnih posledica. Preciznije rečeno, prema Oksfordskom rečniku engleskog jezika: "Rizik je verovatnoća ili mogućnost opasnosti, gubitak, povrede ili druge neželjene posledice" (Consise Oxford Dictionary, 1997). Rizik se, dakle, može predvideti kao opcija, matematički zaračunati kao određeni stepen verovatnoće, proigrati u simulaciji kao akcija sa negativnim posledicama, što znači da se, donekle, može kontrolisati, smanjenjiti, pa čak i eliminisati. Stoga, polazeći od postojećih saznanja, možemo zaključiti da se pod rizikom, najčešće, podrazumeva: interaktivni skup situacionih obeležja i procesa (determinanti, komponenti i činilaca) koji u sebi sadrže potencijalne uzroke i povode za ugrožavanje bezbednosti; potencijalnu opasnost za nastanak pretnji bezbednosti; neposredne, vidljive i merljive veze aktera; situaciono i udruženo (ne)delovanje aktera na bezbednost; posledice koje se, načelno, mogu proračunati i predvideti; otvorenu i promenljivu listu različitih pojavnih oblika rizika itd.

"Pretnja", u najširem smislu, predstavlja svesnu nameru prouzrukovanja štete nekom subjektu, svojini ili pravu, da bi se subjekat ili objekat pretnje primorao na ispoljavanje nametnutog ponašanja. Pretnja je namera da se izazove šteta ili sprovede kazna, kao i naznaka nekog nemilog događaja i sama mogućnost nanošenja štete. Dakle, pretnja je vrsta pritiska sa pozicije sile, koja ima za cilj da drugu stranu zastrašuje i iscrpljuje, kako bi se primorala na izvesne ustupke. Pretnja se može definisati, s druge strane, i kao sposobnost da se osnaže namere. Polazeći od navedenog, bezbednosne pretnje može da karakteriše: interaktivni skup situacionih obeležja i procesa (determinanti, komponenti i činilaca) koji neposredno ugrožavaju bezbednost; situaciono sažimanje i dovođenje bezbednosnih izazova i rizika do krajnjih konsekvenci; vidljivi i merljivi uzroci, povodi i nosioci ugrožavanja bezbednosti; konstitutivni činilac bezbednosne krize i/ili sukoba; krizna materijalizacija i prerastanje u sukobe koji su direktno određeni (ne)delovanjem personalizovanih aktera; posledice pretnji se mogu dosta pouzdano proračunati i predvideti (Hadžić, 2004; Stojković, 2009).

## 2. REZULTATI PRIMENE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Proces procene izazova, rizika i pretnji u poslovnom svetu, organizacionim celinama u društvu ili u bezbednosti se suštinski ne razlikuje puno i najčešće obuhvata sledeće faze: analizu izazova, rizika i pretnji (koja uključuje identifikaciju i estimaciju) i evaluaciju izazova, rizika i pretnji. Stoga se višekriterijumska analiza izazova, rizika i pretnji može primeniti po sličnom modelu u svim oblastima društvenog života, a na osnovu iskustva u oblasti bezbednosti, navedena analiza se može sprovesti polazeći od nekoliko bitnih kriterija, o kojima će biti više reči u ovom radu.

Prvi kriterijum odnosi se na identifikaciju vrste, odnosno oblika bezbednosnog ugrožavanja. Primera radi, izazovi, rizici i pretnje bezbednosti u stratezijskim dokumentima u Republici Srbiji klasifikuju se na sledeći način: opasnost od oružane agresije; separatističke težnje; protivpravno jednostrano proglašena nezavisnost Kosova i Metohije; oružana pobuna; sporovi uz upotrebu oružja; terorizam; proliferacija oružja za masovno uništenje; nacionalni i verski ekstremizam; obaveštajna delatnost; organizovani kriminal (trgovina ljudima, ilegalne migracije, trgovina narkoticima, nelegalna trgovina oružjem, kriminal u ekonomsko-finansijskoj sferi; korupcija; problemi ekonomskog razvoja; ugrožavanje energetske bezbednosti; neravnomeran privredni i demografski razvoj; nerešen status i težak položaj izbeglih, prognanih i interno raseljenih lica; nedovršen proces razgraničenja i deobnog bilansa između republika nekadašnje SFRJ; nekontrolisano trošenje prirodnih resursa i ugrožavanje životne sredine; posledice elementarnih nepogoda i tehničkih i tehnoloških nesreća, kao i ugrožavanje životne sredine i zdravlja građana usled radiološke, hemijske i biološke kontaminacije; opasnosti povezane sa pojavljivanjem i širenjem infektivnih bolesti kod ljudi i zaraza kod životinja; narkomanija; destruktivno delovanje pojedinih verskih sekti i kultova; visokotehnološki kriminal i ugrožavanje informacionih i telekomunikacionih sistema; zloupotreba novih tehnologija i naučnih dostignuća u oblasti genetskog inženjeringa, medicine, meteorologije i ostalih naučnih oblasti i drugo (Strategija nacionalne bezbednosti, 2009). Iako se navedenoj klasifikaciji može zameriti, recimo, što joj nije prethodila sistematizacija šta od navedenog spada u izazove, a šta u rizike ili pretnje, ona je dobra polazna osnova za procenu, jer poseduje veliki broj identifikovanih i imenovanih opasnosti po bezbednost.

Drugi kriterijum od koga se polazi u višekriterijumskoj analizi odnosi se na preciziranje subjekata/objekata koji ugrožavaju/štite bezbednost. Primera radi, prilikom identifikovanja subjekata/objekata (procesa, pojava) koji ugrožavaju bezbednost Republike Srbije, treba uzeti u obzir činjenicu da ugrožavanje bezbednosti može da nastane ne samo kao posledica delovanja ljudskog faktora, već i usled delovanja brojnih objektivnih faktora (npr. zemljotresi, suše, poplave i sl.) ili usled delovanja kombinacije dva uslovljena faktora (npr. klimatskih promena i usled toga ekstremnih meteoroloških uslova),

a najčešće usled delovanja više međusobno povezanih faktora. U okviru procene o subjektima koji ugrožavaju bezbednost, ne samo u Republici Srbiji, već i u svetu, najčešće se navode podaci o sastavu, organizaciji, sredstvima (naoružanje i vojna oprema, izvori finansiranja i sl.) i razmeštaju vojnih, paravojnih, terorističkih, kriminalnih i drugih snaga i subjekata koji ugrožavaju bezbednost neke zemlje, kako spolja, tako i unutar njene teritorije. Pri tom, treba imati u vidu da se u proceni, najčešće navode subjekti za koje se predviđa da bi mogli da budu angažovani ili odgovorni za ugrožavanje bezbednosti, ali je jednako bitno proceniti i ciljeve i motive tih subjekata, kao i moguće objekte dejstva na pomesnoj teritoriji i locirati da li je reč o unutrašnjim ili spoljašnjim subjektima i u skladu sa tim proceniti potrebne snage i sredstva za suprotstavljanje izazovima, rizicima i pretnjama bezbednosti.

Treći kriterijum se odnosi na verovatnoću ispoljavanja izazova, rizika i pretnji bezbednosti. Na osnovu tog kriterijuma izazovi, rizici i pretnje bezbednosti se mogu analizirati uz pomoć klasifikacije sadržane u tabeli broj 2, u kojoj su navedeni kao: izvesni, verovatni, malo verovatni i potpuno neverovatni u pogledu njihovog ispoljavanja.

**Tabela 2:** Verovatnoća ispoljavanja izazova, rizika i pretnji bezbednosti

IZVESNO	Može se očekivati ispoljavanje u najvećem stepenu verovatnoće
VEROVATNO	Može se očekivati ispoljavanje u srednjem stepenu verovatnoće
MALO VEROVATNO	Može se očekivati ispoljavanje u niskom stepenu verovatnoće
NIJE VEROVATNO	Potpuno je isključena verovatnoća ispoljavanja

Četvrti kriterijum se odnosi na teritoriju, odnosno na lokaciju ispoljavanja izazova, rizika i pretnji bezbednosti. Na primer, prilikom procene bezbednosti Republike Srbije potrebno je naznačiti da li se očekivano ispoljavanje izazova, rizika i pretnji bezbednosti odnosi na celu teritoriju zemlje u njenim Ustavom određenim granicama ili na određeni deo, odnosno delove. Drugim rečima, potrebno je precizirati geografske, ekonomske, saobraćajne i dr. karakteristike određene teritorije.

Peti kriterijum je rok, ili preciznije, očekivano trajanje ispoljavanja izazova, rizika i pretnji bezbednosti. S obzirom na to da se oni mogu ispoljiti u različitom trajanju, shodno tome vrši se njihova i klasifikacija. Kao pomoć u rangiranju izazova, rizika i pretnji bezbednosti Republike Srbije može poslužiti tabela broj 3.

**Tabela 3:** Životni vek ispoljavanja izazova, rizika i pretnji

<b>TRAJANJE MANIFESTACIJA IZAZOVA, RIZIKA I PRETNJI</b>	
<b>T<sub>1</sub></b>	<b>Od 1 do 24 sata</b>
<b>T<sub>2</sub></b>	<b>Od 1 do 30 dana</b>
<b>T<sub>3</sub></b>	<b>Od 1 do 3 meseca</b>
<b>T<sub>4</sub></b>	<b>Od 3 meseca do godinu dana</b>
<b>T<sub>5</sub></b>	<b>Od godinu do 5 godina</b>
<b>T<sub>6</sub></b>	<b>Od 5 do 10 godina</b>
<b>T<sub>7</sub></b>	<b>Duže od 10 godina</b>

Šesti kriterijum se odnosi na intenzitet ispoljavanja izazova, rizika i pretnji. Pošto identifikovani izazovi, rizici i pretnje mogu da imaju različite intenzitete ispoljavanja, za svaki od njih potrebno je proceniti intenzitet. Procenjujen intenzitet može imati deskriptivan opis: visoki, srednji i nizak intezitet opasnosti, a može imati i numeričku oznaku jačine (ponder), najčešće u opsegu od 0 do 10.

Sedmi kriterijum odnosi se na moguće efekte bezbednosnih pretnji i očekivani obim štete koji može prouzrokovati određeni subjekat/objekat dejstva, tokom analiziranog perioda. Očekivane posledice mogu biti izražene deskriptivno, nominalno i kombinovano, kao napr: ugroženost teritorijalnog integriteta Republike Srbije, ugroženost stanovništva (broj žrtava, vrsta povreda, itd.), stepen opasnosti po materijalna i kulturna dobra (procena uključuje identifikaciju objekata od posebnog nacionalnog i kulturnog interesa, ali i ostalih oštećenih ili uništenih objekata i materijalnih resursa), infrastrukturu, kao i negativan uticaj na životnu sredinu. Pored direktne procene materijalne štete, takođe se može razmatrati i indirektan, postraumatski efekat na stanovništvo i sl. U konačnoj analizi uticaja posledica štete na društvo, koristi se i termin "građevinska operacija". U zavisnosti od toga da li su izazovi, rizici i pretnje pregledani pojedinačno ili u celini (ako se dese u isto vreme ili ako ih je više od jednog), obim štete može se izražavati kao ukupan zbir

(dve ili više) komponenti. Ukupne potencijalne posledice, s obzirom na efekte koji se procenjuju se deskriptivno izražavaju kao: katastrofalne, glavne, sporedne i beznačajne, a nominalno izražavaju u dolarima, evrima ili u nacionalnoj valuti.

Osmi kriterijum se odnosi na predmete/sredstva za reagovanje na pretnje, rizike i izazove bezbednosti, i on se najdirektnije ispoljava kroz potrebu da se precizno definišu parametri za upravljanje bezbednosnim izazovima, rizicima i pretnjama (tzv. upravljanje bezbednošću).

### 3. PREDNOSTI KORIŠĆENJA KOMBINOVANOG KRITERIJUMA

U praksi, evaluacija procene se obično vrši uz pomoć kombinovanih kriterijuma, koji izražavaju objektivnu složenost izazova, rizika i pretnji, posebno u bezbednosti. Kada se vrši identifikacija i selekcija očekivanih izazova, rizika i pretnji uočava se da oni mogu biti komplementarni, što olakšava proces analize i evaluacije.

**Tabela 4:** Primer primene kombinovanih kriterijuma u proceni izazova, rizika i pretnji bezbednosti

Ponder	IZAZOVI, RIZICI I PRETNJE	NIVO INTEZITETA		
		Kratkoročni	Srednjoročni	Dugoročni
10.	Veliki oružani sukobi	VRLO NIZAK	NIZAK	NIZAK
7.	Regionalni nesporazumi i sukobi	SREDNJI	SREDNJI	SREDNJI
9.	Vojne intervencije	NIZAK	NIZAK	NIZAK
4.	Oružane pobune	VISOK	SREDNJI	NIZAK
5.	Etničke napetosti	VISOK	SREDNJI	SREDNJI
3.	Nacionalni i verski ekstremizam	VRLO VISOK	VISOK	SREDNJI
1.	Organizovani krimional	VRLO VISOK	VRLO VISOK	VISOK
6.	Terorizam	SREDNJI	SREDNJI	VISOK
2.	Prirodne i industrijske katastrofe	VISOK	VISOK	VRLO VISOK
8.	Ilegalne migracije stanovništva	SREDNJI	SREDNJI	NIZAK

Procena rizika može da obuhvati tri glavne tehnike: analize pretnji, analizu neuspeha i tzv. FMEA analizu. Navedene tehnike su potpuno primenjive u procenivanju izazova, rizika i pretnji bezbednosti. U ovom radu ćemo navesti primer kvalitativne procene koja se može izvršiti uz određivanje težinskih faktora koji utiču na rizik, a koja obuhvata komponente vrednosti objekta A, intenzitet pretnja  $T_i$ , frekvenciju pretnji  $T_f$  i verovatnoću pretnji  $T_v$ , kao što je prikazano u tabeli broj 5.

**Tabela 5:** Komponente za određivanje težinskih faktora uticaja izazova, rizika i pretnji (ponderisanje)

Komponente uticaja izazova, rizika i pretnji	Težinski faktori (ponderi)
Vrednost objekta – A	0 – (bez tolerancije)
Intenzitet potencijalne pretnje – $T_i$	1 – 2 (najveći)
Frekvencija potencijalne pretnje – $T_f$	3 – 5 (srednji)
Verovatnoća pretnje – $T_v$	5 – 10 (mali - najmanji)

Poznato je da je procena dobar način za razrešenje dilema sa kojima se suočava menadžment, pa tako i menadžment u bezbednosti u procesu donošenja odluka. U principu, upravljanje bezbednošću trebalo bi da podrazumeva i upravljanje izazovima, rizicima i pretnjama bezbednosti, ali treba imati u vidu da oni ne mogu da se apsolutno kontrolišu i predvide, već samo mogu da se smanjuju njihovi štetni efekti.

Upravljanje bezbednošću se zasniva na pet osnovnih principa: (1) procena izazova, rizika i pretnji i određivanje bezbednosnih zahteva; (2) uspostavljanje sistema za centralno upravljanje izazovima, rizicima i pretnjama; (3) implementacija rentabilnih politika i kontrola zaštite; (4) promovisanje svesti o potrebi i obuka; (5) nadzor i kontrola sistema zaštite i evaluacija efektivnosti i usklađenosti.

Procena u procesu upravljanja izazovima, rizicima i pretnjama bezbednosti ukazuje na to koje su rentabilne kontrole zaštite za ublažavanje ili eliminisanje rizika, kao na primer: Napad postoji - treba implementirati pouzdane tehničke kontrole za smanjenje verovatnoće neželjenog napada; Postoji iskoristiva

ranjivost - treba primeniti slojevitou zaštitu i projektovati bezbednu arhitekturu sistema koja može da spreči iskorišćenje ranjivosti; Procenjeni troškovi napada protivnika su manji od dobiti - treba primeniti takve kontrole zaštite da se povećaju troškovi napada ili da se značajno smanji potencijalna dobit napadača; Procenjeni gubitak je suviše velik - treba primeniti mere preventivne diplomatije i efikasne reorganizacije sistema, zaštite i zbrinjavanja ljudi i dobara itd.

U procesu procene izazova, rizika i pretnji zahteva se potpuna komunikacija svih aktera koja podrazumeva kvalitetno uspostavljanje veza i potpuno razumevanje značenja prenesenih informacija između svih učesnika u procesu upravljanja, u svakoj fazi tog procesa. Ciljevi komunikacije uključuju, između ostalog, sakupljanje informacija za identifikaciju vrste izazova, rizika i pretnji, analizu toka informacija za izbegavanje ili redukciju uticaja bezbednosnog incidenata, konsultacije za poboljšavanje međusobnog razumevanja procesa upravljanja kod relevantnih učesnika itd. Stoga u ranoj fazi procesa procene izazova, rizika i pretnji bezbednosti treba razviti preciznu proceduru kojom bi bila regulisana ova materija, u vidu smernica i sl.

## 5. ZAKLJUČAK

Procena izazova, rizika i pretnji bezbednosti predstavlja skup zaključaka dobijenih primenom izabranih metoda i tehnika za analizu podataka, indikatora i informacija o svim aspektima ugroženosti bezbednosti ljudskih, finansijskih i prirodnih resursa. Procena izazova, rizika i pretnji bezbednosti se, na osnovu korišćenih metoda i tehnika, ne razlikuje bitno od ostalih vrsta procena koje se praktikuju u poslovnim sistemima ili u organizacionim procesima. Međutim, procena izazova, rizika i pretnji bezbednosti ima i određenih specifičnosti jer je suštinski fokusirana na oblast bezbednosti kako bi se predupredio neki neželjeni događaj, obezbedila efikasna zaštita, povećali dobiti i smanjili gubici. Iako je teško pouzdano proceniti sve moguće efekte/posledice delovanja izazova, rizika i pretnji bezbednosti, ipak, u savremenosti su razvijene egzaktno metode i tehnike procene, koje se u praksi često kombinuju. Pored toga, veliki broj i složena priroda savremenih izazova, rizika i pretnji bezbednosti, upućuju na zaključak da se kombinacijom kvalitativne i kvantitativne analize postižu najpouzdaniji rezultati u proceni.

## LITERATURA

[1] Gompert, C. Dejvid., Dejvis, K. Pavle., Johnson, Stjuart., & Long, Dankan., (April 3, 2008). Analysis of Strategy and Strategy of Analysis Report of the Quadrennial Defence Review, Washington, D. C., Department of Defence, RAND Corporation, 1776 Main Street, PO Box 2138, Santa Monica, CA, USA, <http://www.rand.org/pubs/monographs/MG595.2>.

[2]: Hadžić, Miroslav., (30. Decembar 2004.). Predavanje na temu: Bezbednosni izazovi, rizici i pretnje, u okviru Predmeta: Globalizam i nacionalna bezbednost, Naučna disciplina: Medjunarodni odnosi, Fakultet političkih nauka Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1-5.

[3] Hejli, Džon., Džejms, Rik., & Rigli, Rebeka., (Februar 2005). U susret izazovima: Procena ishoda izgradnje organizacionog kapaciteta, materijal sa Konferencije "Sa treceg mesta uraditi Treći sektor" (uz sagasnost INTRAC, Praksis, Dokument br. 2, 1-7.

[4] Cosise Oxford Dictionary, (1997). Ninth edition, Clarendon Press, Oxford, UK, p. 866.

[5] Stojanović, Stanislav., (15. Oktobar 2005). Jakanje bezbednosne arhitekture, list "Odbrana", NIC "Odbrana", Beograd, 14-16.

[6] Stojković, Biljana., Različiti teorijski pristupi pojmu bezbednost u savremenom dobu, (2006). "Vojno delo", broj 1, "NIC Odbrana", Beograd, 65-85.

[7] Smernice za izradu procene izazova, rizika i pretnji bezbednosti Republike Srbije (2011). Interno izdanje Uprave za strategijsko planiranje SPO Ministarstva odbrane, Beograd, 10-12.

[8] Strategija odbrane Republike Srbije, (2009). "Službeni glasnik Republike Srbije", Beograd, broj 88/09.

[9] Strategija odbrane državne zajednice Srbija i Crna Gora, (2004). "Službeni list SCG", Beograd, broj 55/04.

[10] Strategija nacionalne bezbednosti Republike Srbije, (2009). "Službeni glasnik Republike Srbije", Beograd, broj 88/09.

**VIŠEKRITERIJUMSKA  
ANALIZA I  
OPTIMIZACIJA**

## VIŠE-ETAPNI BENČMARKING MODEL KAO PODRŠKA MENADŽERSKOM ODLUČIVANJU

### STEPWISE BENCHMARKING MODEL AS A MANAGERIAL DECISION SUPPORT

MARKO BACKOVIĆ<sup>1</sup>, MLADEN STAMENKOVIĆ<sup>1</sup>, ZORAN POPOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, {backovic, mladen, zpop}@ekof.bg.ac.rs

**Rezime:** U ovom radu prezentujemo model za više-etapni benčmarking baziran na ELECTRE metodi višekriterijumske optimizacije. Ovaj model formulisan je kao pomoć pri donošenju odluka pri menadžerskom odlučivanju, prevashodno dizajniran kao pomoć za donosiocima odluka na državnom nivou. Pored toga, predstavimo sve potencijale ovog modela i njegovu mogućnost primene na mnoga pitanja iz javne politike, posebno se osvrćući na mogućnost primene ovog modela u poljima javnih finansija i ekonomije obrazovanja.

**Cljučne reči:** više-etapni benčmarking, ELECTRE, ekonomija obrazovanja

**Abstract:** We present an ELECTRE based stepwise benchmarking model, developed as a decision support tool, specially designed for policy decisions. Furthermore, we present its potentials for application in the public policy sector, especially relation to the economics of education and public finance.

**Keywords:** Stepwise benchmarking, ELECTRE, economics of education

#### 1. UVOD

Ideja pojma benčmarking leži u proceni sopstvenih dostignuća u poređenju sa drugim, u izboru najboljih primera u praksi, i u razvoju dostignuća učeći od uspešnijih konkurenata (bilo da je reč o kompanijama koje se porede, ili o ekonomskim politikama ili politikama u obrazovanju drugih država). Benčmarking predstavlja istraživanje i opserviranje najbolje prakse konkurenata, odnosno traganje za najboljom praksom koja vodi stvaranju superiornih performansi (Durićin et al. 2009). Camp (1989) ga, slično, definiše kao menadžerski alat koji predstavlja sistemski proces merenja proizvoda, usluga ili poslovnih poduhvata prema onima koji su prepoznati kao lideri u posmatranom polju. Takode, Zairi and Leonard (1994) konstatuju da postoji veliki broj definicija u stručnoj literaturi vezanih za pojam benčmarkinga i autori daju detaljan pregled poznatijih i prihvaćenijih definicija. Bez obzira na formu same definicije, za sva razmatranja vezana za proces benčmarkinga, neophodno je sprovesti specifične aktivnosti vezane za donošenje odluka, od izbora relevantnih statističkih podataka vezanih za postignuća, ukazivanje na oblasti koje zahtevaju poboljšanje do postavljanja krajnjih ciljeva i nalaženja načina kako ih dostići. Kod procesa benčmarkinga možemo razlikovati dva osnovna elementa. Prvi uključuje poređenje sa konkurentima, te na taj način ostvarujemo objektivnu procenu dostignuća. Sa druge strane, imamo poređenje prema određenom benčmarku, određenoj referentnoj tački, ili najboljem standardu – nečemu čemu stremimo.

I prva, kao što se da naslutiti i iz definicije, benčmarking se koristio za unapređivanje procesa i dostignuća raznih tipova poslovnih subjekata, ali je vremenom oblast delovanja značajno proširena (Petrović et al. 2014). Danas se benčmarking upotrebljava, na internacionalnom nivou, kao sredstvo za upoređivanje država, i pre svega njenih javnih politika u raznim oblastima. On obuhvata determinisanje koliko dobro određena država sprovodi nacionalnu politiku u poređenju sa drugim državama, regionima ili, na neki drugi način, definisanim benčmarkom. Na taj način je donosiocima odluke predstavljeno realno stanje sistema na osnovu kojeg oni mogu da definišu dalje korake u razvoju. Velika prednost benčmarkinga, kao izabrane metodologije na, ovom, međudržavnom nivou, su jasno razumljivi rezultati i njihova jednostavna implementacija u okvir buduće politike. Zbog toga je primena benčmarkinga na javnu politiku zapažena kao značajan metodološki koncept u literaturi (Petrović et al. 2012). Samim tim, benčmarking je od menadžerskog alata polako postao i sredstvo javne politike, prevashodno nalazeći svoju upotrebu kao metodološki koncept pomoću kojeg poredimo uspeh javnih politika drugih država ili regiona, kako su one implementirane i koje su to akcije koje donosioci odluke, shodno tome, mogu sprovesti kako bi promenili situaciju u svojoj državi ili regionu (Hong et al. 2012). Kada je reč o među-državnom poređenju, bečmark



uglavnom predstavljaju razvijene zemlje i njihove politike. Te zemlje predstavljaju primer vođenja javnih i razvojnih politika, to su zemlje čije mere treba implementirati i čijem razvoju treba težiti. Aktualna je debata da li su mere prenete iz politika drugih zemalja uvek efikasne i delotvorne. Često se kod poredenja zanemari uticaj socio-ekonomskih, geo-strateških i kulturoloških faktora koji mogu značajno da utiču i ometu proces međusobnog učenja jedne zemlje od druge. Ipak, uprkos razlikama, i iako svaka zemlja može da smatra svoj problem jedinstvenim, suviše je zajedničkih faktora među državama ili regionima, te politički lideri mogu za mnoge oblasti da uče jedni od drugih. Posebno tako nešto možemo reći da važi među članicama Evropske unije i zemljama koje joj streme zbog uskladenog zakonodavstva i, generalno, procesa integracije kojoj EU teži. Primeri su sigurno, fiskalna politika, zakonodavstvo kao i obrazovanje nakon uvođenja Bolonjskog procesa. U ovakvim situacijama, uprkos razlikama koje svakako postoje, države mogu da budu partneri u procesu benčmarkinga iz kojeg se mogu izvući relevantni zaključci o budućim koracima pri definisanju razvojnih politika. U nastavku prezentujemo model čija osnovna ideja jeste benčmarking država ili regiona. Naravno, kao što će se videti, model neće biti isključivo vezan za koncept među-državnog poredenja, ali je nastao kao alat upravo za ovakvu komparaciju. Kao svoju osnovu on će koristiti koncept rangiranja višekriterijskog odlučivanja.

## 2. VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE KAO BENČMARKING ALAT

Kvantitativni metodološki koncept koje se koristi pri benčmarkingu zavisi, naravno, prevashodno od prirode problema. Korišćenje kompozitnih indeksa zastupljeno je u polju o kojem je do sada bilo reči – polju javnih politika. Takođe, *cost-benefit* analiza se često može videti u studijama ovog tipa (Rose 2013). Kada je reč o primeni višekriterijumske optimizacije, kao i uopšteno metoda koje u osnovi spadaju u oblast operacionih istraživanja, verovatno je najdominantnija DEA metoda (*Data Envelopment Analysis*) koju su razvili Charnes, Cooper i Rhodes (Charnes et al. 1978, 1981). Bazirana na linearnom programiranju ona se koristi za procenu efikasnosti sistema nalazeći alternative na Pareto granici. DEA je našla primenu u mnogim oblastima, od obrazovanja ili, na primer, zdravstvenog sektora. Metodu karakteriše to što se podaci neophodni za analizu sastoje od inputa i odgovarajućih outputa nakon čega se formira procena uspešnosti posmatranih alternativa. I druge metode višekriterijumske optimizacije upotrebljavane su u slične svrhe, poput metoda AHP i VIKOR. Detaljan pregled radova o primeni više kriterijumske optimizacije u ekonomiji dali su Turskis and Zavadskas (2011). Kada je o više-etapnom benčmarkingu reč, upravo su se DEA bazirani modeli bavili ovom problematikom (Lim et al. 2011, Park et al. 2012). Lim et al. (2011) su postavili model koji svakoj alternativu dodeljuje odgovarajući benčmark koji predstavlja najbližu alternativu po performansama koja je bolja od posmatrane alternative. Ono što autori nisu uradili, a što će rešiti ovaj model jeste nalaženje optimalne putanje za svaku alternativu, od trenutne pozicije do finalnog benčmarka – najbolje alternative ili, možda, cilja koji je postavljen.

## 3. METODOLOGIJA

Rangiranje zemalja i regiona poredenjem njihovog razvoja i pronalaženje najboljeg benčmarka prevladaju u radovima u polju međunarodnog benčmarkinga (Petrović et al. 2014). Ono što je podstaklo model koji ćemo predstaviti je činjenica da je literatura posvetila pažnju traženju najboljeg primera radi poredenja, dok su pitanja *kako učiti* i *kako se poboljšati* zanemarena. Upravo ova dva pitanja će biti fokus ovog modela. Naime, tradicionalni pristup – učenje od najboljeg ne mora uvek biti idealno rešenje. Postavljanje nerealnih ciljeva koji treba da se dostignu u nekom vremenskom ograničenju često ne daje efekta. Moore (1999) je utvrdio da je nakon postavljanja ovakvih, "idealnih" benčmarka, dostignuto do 50% zacrtanih ciljeva. Zbog toga, pri traženju odgovarajućeg benčmarka ne treba stremiti odmah ka idealnom stanju određenog problema, nego ka rešenjima koja postoje u praksi, koja su bolja od trenutnog stanja, a koja su realno dostižna. Nakon njihovog dostizanja, treba na isti način naći sledeći benčmark, već postojeće, implementirano rešenje i težiti ka njemu. Ovaj postupak nas na kraju, prateći realne ciljeve vodi upravo ka idealnom rešenju.

Svrha potrage za već postojećim rešenjima leži i u otklanjanju neizvesnosti pri praćenju previsoko postavljenih ciljeva. Kada je donosioc odluke suočen sa postojećim rešenjem, malo boljim od postojećeg, on nema opravdanja ako takav cilj ne dostigne. Više-etapni benčmarking model zasniva se na konceptu postepenog poboljšanja krećući se na taj način prema postavljenim ciljevima tako što će svaka alternativa naći svoj pomoćni benčmark (*intermediate benchmark*). Neophodno je pronaći pomoćni benčmark za svaku fazu razvoja i, samim tim, optimalnu putanju razvoja koja postupno vodi ka krajnje definisanom cilju. Kao svoju osnovu, kao što smo rekli, koristimo ELECTRE MLO metodu (videti Petrović et al. 2012, Stamenković et al. 2014). Kao metoda koja se bavi problematikom rangiranja ona će kao rezultat dati

relaciono drvo naših alternativa, rangirajući ih. Ujedno, relaciono drvo pokazuje odnos između alternativa, u smislu preferencija. Alternativa na najvišem nivou predstavlja cilj koji želimo da dostignemo (ili alternative ako nemamo zacrtani cilj, već stremimo ka najboljem primeru iz prakse). Pomoćni benčmark će za proizvoljnu alternativu predstavljati alternativa koja je jedan nivo iznad i koja je dominira. ELECTRE MLO zbog toga predstavlja idealnu osnovu, jer je upravo to ono što se traži idejom više-etapnog benčmarkinga – alternativa koja je bolja od posmatrane, ali dostižna. Kako i alternativa koja predstavlja pomoćni benčmark ima neku alternativu koja je dominira i njoj možemo da dodelimo odgovarajući pomoćni benčmark. Na ovaj način putanju razvoja kreiraju alternative koje se dominiraju, tako da je svaka sledeća alternativa sa jednog nivoa više. Na taj način se krećemo kroz relaciono drvo ka vrhu, te smo obezbedili evolucionu karakter modela koji nas vodi ka zacrtanom cilju. Broj ovakvih putanja je veliki. Ono što želimo od modela jeste da izabere *optimalnu putanju razvoja*. Postavlja se pitanje šta predstavlja optimalnu putanju razvoja. Želja nam je da do zacrtanog cilja dodemo prateći logiku više-etapnog benčmarkinga postepenim poboljšanjem. Želimo da između dva pomoćna benčmarka nemamo veliki raskorak u napretku. *Idealna putanja razvoja* bi bila ona u kojoj pri svako sledećem benčmarku ostvarujemo identičan napredak. Ipak, kako su naše alternative postojeći primeri iz prakse, ujednačeno poboljšanje neće biti uvek ostvarivo. Optimalna putanja razvoja biće upravo ona putanja najbliža idealnoj. Sa druge strane, imamo i *najgoru putanju razvoja*, onu putanju u kojoj razvoj po svakom kriterijumu naše alternative do krajnjeg cilja moramo da predemo pri jednoj promeni nivoa.

### 3.1. Model

Skup svih potencijalnih putanja razvoja neke alternative  $a_i$  do vrha relacionog drveta i zacrtanog cilja obeležimo sa  $\Pi_i$ . Neka je  $\pi \in \Pi_i$  proizvoljna putanja razvoja alternative  $a_i$ . Putanja razvoja  $\pi$  se sastoji od alternativa  $a_i = a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_m}$ , počev od alternative  $a_i$  pa sve do alternative  $a_{i_m}$  koja predstavlja zacrtani cilj, tj. alternativu sa najvišeg nivoa. Kao i do sada, sa  $g_k(a_{i_s})$  označićemo ocenu alternative  $a_{i_s}$  za kriterijum  $k$ . Nakon formiranja nivoa ELECTRE MLO metode, možemo doći u situaciju da je za neku putanju  $\pi \in \Pi_i$  po kriterijumu  $k$ , ocena alternative na nižem nivou veća od ocene po istom kriterijumu alternative koja predstavlja njen pomoćni benčmark. Kako želimo da utvrdimo samo poboljšanja koje je neophodno napraviti kretanjem ka pomoćnom benčmarku, modifikovaćemo ocene na toj putanji tako što ćemo smatrati da su performanse ove dve alternative po tom kriterijumu jednake:

$$g'_k(a_{i_s}) = \begin{cases} g_k(a_{i_{s-1}}), & \text{ako je } g_k(a_{i_{s-1}}) > g_k(a_{i_s}) \\ g_k(a_{i_s}), & \text{inače} \end{cases} \quad (1)$$

Za svaki kriterijum  $k$ , priraštaj između ocena alternativa sa susednih nivoa putanje  $\pi$  obeležićemo sa:

$$R_{sk}^\pi = g'_k(a_{i_{s+1}}) - g'_k(a_{i_s}), \quad s = \{1, \dots, m-1\}. \quad (2)$$

Idealna putanja razvoja ( $DP_i^{ideal}$ ) za alternativu  $a_i$ , kao što smo već rekli, predstavlja onu putanju u kojoj je napredak pri svakom sledećem nivou, za svaki kriterijum jednak. Formalno, prosečni priraštaj po svakom kriterijumu pri dostizanju pomoćnog benčmarka idealne putanje iznosi:

$$\mu_k^\pi = \frac{\sum_{s=1}^m R_{sk}^\pi}{m-1} = \frac{g'_k(a_{i_m}) - g'_k(a_{i_1})}{m-1}. \quad (3)$$

Ova putanja je teorijskog karaktera, jer je nerealno očekivati da će u svakoj situaciji postojati odgovarajući pomoćni benčmark čiji će priraštaj biti  $\mu_k^\pi$ . Zbog toga, mi tražimo putanju razvoja najbližu idealnoj. Za svaki kriterijum  $k$  na putanji razvoja  $\pi \in \Pi_i$  odredićemo varijaciju između priraštaja ocena alternativa sa susednih nivoa putanje od prosečnog priraštaja idealnog puta, odnosno:

$$DPV_{ik}^{\pi} = \frac{1}{m-1} \sum_{s=1}^{m-1} (R_{sk}^{\pi} - \mu_k^{\pi})^2. \quad (4)$$

Ukupnu varijaciju putanje  $\pi$  alternative  $a_i$  tj. varijaciju po svim kriterijumima, dobijamo dodeljivanjem odgovarajućih težinskih faktora svakom kriterijumu, odnosno:

$$DPV_i^{\pi} = \frac{\sum_{k=1}^n \omega_k \cdot DPV_{ik}^{\pi}}{\sum_{k=1}^n \omega_k}. \quad (5)$$

Specijalno,  $DPV_i^{najgori}$  predstavlja najgoru putanju razvoja, onu u kojoj se ukupna razlika između ocena alternative  $a_i$  i definisanog cilja  $a_{i_m}$  po svakom kriterijumu  $k$  ostvaruje pri prelasku samo kod jednog nivoa:

$$(\forall k)(\exists s \in \{1, \dots, m-1\})(g'_k(a_{i_m}) - g'_k(a_{i_s}) = g'_k(a_{i_{s+1}}) - g'_k(a_{i_s})) \quad (6)$$

Kako bi našli optimalnu putanju razvoja alternative  $a_i$  uvodimo *relativnu meru varijacije* putanje razvoja  $\rho_i^{\pi}$ . Pojam relativne mere nam sugerishe da će ova vrednost pokazati na relativnu poziciju svake putanje u odnosu na idealnu i najgoru. Na taj način  $\rho_i^{\pi}$  će nam direktno ukazati na kvalitet putanje  $\pi$ . Relativnu meru varijacije putanje razvoja  $\pi \in \Pi_i$  računacemo na sledeći način:

$$\rho_i^{\pi} = \frac{DPV_i^{\pi}}{DPV_i^{najgori}}. \quad (7)$$

Vidimo da će ova vrednost, za neku putanju razvoja  $\pi \in \Pi_i$ , donosiocu odluke pomoći da sagleda situaciju i odredi gde se putanja koju posmatra nalazi u odnosu na dva definisana teorijska koncepta, najbolje i najgore putanje razvoja. Vrednosti relativne mere varijacije poput 0,1 nam govore da je putanja gotovo idealna, dok bi rezultat 0,8 sugerisao da praćenje benčmarka sa tog puta ne bi dovelo do željenih rezultata. Takođe, ovim smo ostvarili i zacrtani cilj. Pored mogućnosti poredenja sa dve teorijske putanje možemo sada porediti i moguće putanje razvoja i između njih izabrati optimalnu. Drugim rečima, donosilac odluke optimalnu putanju razvoja dobija kada od postojećih rešenja izabere onu koja je najbliža idealnoj:

$$\rho_i^{opt} = \min_{\pi \in \Pi_i} \rho_i^{\pi}. \quad (8)$$

#### 4. ZAKLJUČAK

Svoju primenu ovaj model je već našao u razvoju državnih politika Evropske unije po pitanju telekomunikacija (Petrović et al. 2014). U radu su prikazane optimalne strategije za svaku državu kako bi postepeno došla do propisanih ciljeva Evropske unije. Model predstavlja značajno unapređenje dosadašnjih postojećih rešenja iz ove oblasti a svoju primenu tek će naći u drugim oblastima, što će predstavljati polje budućeg istraživanja. Posebno se ovde misli na oblast ekonomije obrazovanja, gde je na ovaj način moguće porediti obrazovne sisteme širom sveta i sagledati celokupno stanje obrazovanja. Veliki broj istraživanja u oblasti obrazovanja fokusira se na određenu učeničku populaciju, pa tako imamo PISA istraživanja koja se bave petnaestogodišnjacima, ili TIMSS studiju koja se sprovodi nad učenicima četvrtog i osmog razreda. Ovaj model ima potencijal da inkorporira sve ove rezultate kao svoje kriterijume i dođe do značajnih zaključaka o kvalitetu svakog obrazovnog sistema, i još važnije, o potencijalnim načinima kako unaprediti obrazovanje u svakoj od država koje bi učestvovala u istraživanju.

## LITERATURA

- [1] Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management science*, 27(6), 668-697.
- [2] Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units, *Eur. J. Oper. Res.* 2(6), 429-444.
- [3] Camp, R. C. (1989). Benchmarking: the search for industry best practices that lead to superior performance. In *Benchmarking: the search for industry best practices that lead to superior performance*. ASQC/Quality Resources.
- [4] Đuričin, D., Janošević, S. & Kaličanin, Đ. (2009). „Menadžment i strategija“, četvrto, prerađeno i dopunjeno izdanje. Ekonomski fakultet Beograd, Beograd.
- [5] Park, J., Bae, H. & Lim, S. (2012). A DEA-Based Method of Stepwise Benchmark Target Selection with Preference, Direction and Similarity Criteria, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8(8), 5821-5834.
- [6] Stamenković, M., Anić, I., Petrović, M. & Bojković, N. An ELECTRE approach for evaluating secondary education profiles: evidence from PISA survey in Serbia, working paper.
- [7] Hong, P., Hong, W.S., Roh, J.J. & Park, K. (2012). Evolving benchmarking practices: a review for research perspectives. *Benchmarking: An International Journal*, 19 (4), 444 - 462.
- [8] Petrović, M., Bojković, N., Anić, I. & Petrović D. (2012). Benchmarking the digital divide using a multi-level outranking framework: Evidence from EBRD countries of operation, *Government Information Quarterly*, 29(4), 597-607.
- [9] Petrović, M., Bojković, N., Anić, I., Stamenković, M. & Tarle, S. P. (2014). An ELECTRE-based decision aid tool for stepwise benchmarking: An application over EU Digital Agenda targets. *Decision Support Systems*, 59: 230-241.
- [10] Rose, R. (2013). *Learning from comparative public policy: A practical guide*. Routledge.
- [11] S. Lim, H., Bae, L.H. & Lee (2011). A study on the selection of benchmarking paths in DEA, *Expert Syst. Appl.* 38(6), 7665-7673.
- [12] Turskis, Z. & Zavadskas, E. K. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, (2), 397-427.
- [13] Zairi, M. & Leonard, P. (1994). *Practical benchmarking: the complete guide*. London: Chapman & Hall, 12-15.



## OPTIMALNI IZBOR VIŠE IZVOĐAČA GRAĐEVINSKOG PROJEKTA RAZMATRANJEM PRIORITETA I KAPACITETA POTENCIJALNIH IZVOĐAČA

### OPTIMAL SELECTION OF MULTIPLE CONTRACTORS ON A CONSTRUCTION PROJECT CONSIDERING THE PRIORITIES AND CAPACITIES OF POTENTIAL CONTRACTORS

ZVONIMIR BOŽILOVIĆ<sup>1</sup>, NENAD NIKOLIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kompanija Graditelj-inženjering d.o.o., Visoka 29, Beograd, z.bozilovic@union-nikolatesla.co.rs

<sup>2</sup> Velestroj d.o.o., Surčinski put 1z, Novi Beograd, nenad.nikolic@velestroj.rs

**Rezime:** Radom se izlaže planiranje građevinskog projekta sa više potencijalnih izvođača za odgovarajuće aktivnosti (radove). Jedna aktivnost može da se dodeli samo jednom izvođaču. Zadati su fiksni podaci za vremena i troškove aktivnosti. Time se određuje fiksno trajanje projekta i fiksni troškovi projekta. Dalje se vrši maksimizacija ukupnih troškova (vrednosti dodeljenih radova) za favorizovane izvođače i minimizacija trajanja projekta sa raspoložim kapacitetima svih izvođača. Prikazuje se matematička formulacija problema višekriterijumske optimizacije i predlaže proces rešavanja sukcesivnom primenom dva podmodela. Daje se ilustrativni primer za jedan hipotetički projekat.

**Cljučne reči:** projekat sa više izvođača, fiksni parametri za aktivnosti, optimalno biranje izvođača, minimizacija trajanja projekta, maksimizacija troškova izvođača, ograničeni kapaciteti izvođača.

**Abstract:** This paper presents the planning of construction projects with more potential contractors to certain activities (works). An activity can be assigned to only one contractor. In doing so, are given a fixed data for the time and costs of activities. This determines a fixed duration and cost of the project. Still requires the maximization of the total costs (the values of assigned works) to favored contractors and the minimization of the project duration considering the available resources to all contractors. Is displayed the mathematical formulation of multicriteria optimization problem and proposed a specific solving process solving by successive implementation of two sub-models. An illustrative example of a hypothetical project is shown.

**Keywords:** project with multiple contractors, fixed parameters of activities, optimal selection of contractors, minimizing the duration of project, maximizing the costs of contractors, limited capacities of contractors.

## 1. UVOD

Planiranje građevinskih projekata se smatra složenim poduhvatom usled razmatranja više vrsta radova kao aktivnosti na projektu. Određena građevinska kompanija, kao vlasnik datog projekta, gotovo po pravilu može da izvede samo deo potrebnih aktivnosti i za preostale mora da angažuje specijalizovane izvođače.

U slučajevima da na projektu postoje aktivnosti kojima mogu da se skrate vremena trajanja uz dodatne troškove, poznata opšta metodologija skraćivanja projekta (na primer Hendrickson 2008) može da se primeni za izbor izvođača na projektu. Minimizacijom trajanja i troškova projekta istovremeno sa maksimizacijom troškova, odnosno vrednostima dodeljenih radova za favorizovane izvođače, nastaju problemi koji se rešavaju primenom višekriterijumske optimizacije (videti na primer Ehrgott 2000, Nikolić and Borović 1996). Pri tome mogu da budu zadati troškovi projekta i zahteva minimalno trajanje projekta (Nikolić, Božilović and Nikolić 2013), zadato trajanje projekta i zahtevaju minimalni troškovi projekta ili se mogu razmatrati sva dopustiva vremena trajanja projekta i odgovarajući minimalni troškovi.

## 2. POSTAVKA PROBLEMA IZBORA IZVOĐAČA I REŠAVANJE

Klasifikacija problema izbora izvođača na projektu može da se vrši sa narednih stanovišta (Božilović and Nikolić 2014): sve aktivnosti imaju fiksne vrednosti za vremena trajanja i troškove, postoje aktivnosti sa varijantama za navedne parametre i izvođači konkurišu sa različitim vremenima za iste troškove određene aktivnosti ili različitim troškovima za isto vreme određene aktivnosti.

Ranijim istraživanjima nismo razmatrali raspoložive kapacitete potencijalnih izvođača, a kapaciteti izabranih izvođača su od osnovnog značaja za izvođenje projekta. Naime, ako projekat ima aktivnosti kojima mogu da se skrate vremena i odabrani su izvođači za usvojeno skraćeno trajanje projekta (uz utvrđivanje potrebnih dodatnih troškova), prisutan je rizik da kapaciteti izvođača zahtevaju duže trajanje projekta. Onda nije trebalo dodatnim troškovima skratiti projekat na navedeno trajanje i odabrati odgovarajuće izvođače. Neophodno je ispitati da li neki drugi izbor izvođača zadržava usvojeno trajanje projekta.

U nastavku izlažemo optimalni izbor izvođača na projektu uz uvažavanje raspoloživih kapaciteta potencijalnih izvođača. Razmatramo fiksne podatke za vremena i troškove aktivnosti. Predloženo rešavanje problema smo primenili po analogiji i na slučajeve skraćivanja aktivnost i dodavanje troškova.

## 2.1. Opšta matematička formulacija problema

Razmotrimo projekat sa više faza, odgovarajućim aktivnostima za faze i potencijalnim izvođačima za aktivnosti. Neka aktivnosti imaju zavisnosti tipa *Finish to Start* i oznake parametara potrebne za korišćenje mrežnog dijagrama projekta sa aktivnosti u čvorovima. Podesno je koristiti naredne parametre za definisanje opšteg matematičkog modela:  $p$  – broj faza  $L_k$  na projektu,  $k \in K = \{1, \dots, p\}$ ,  $n_k$  – broj aktivnosti  $A_{ik}$  na  $L_k$ ,  $i \in I_k = \{1, \dots, n_k\}$ ,  $(t_{ik}, c_{ik})$  – trajanje i toškovi za  $A_{ik}$ ,  $Q$  – skup dvojki indeksa  $(i, k)$  za  $A_{ik}$  na kritičnom putu projekta,  $(i, k) \in Q$ ,  $T_p$  – trajanje projekta,  $t$  – vremenska jedinica na projektu,  $t \in T = \{1, \dots, T_p\}$ ,  $m$  – broj potencijalnih izvođača  $B_j$ ,  $j \in J = \{1, \dots, m\}$ ,  $J_{ik}$  – skup indeksa  $j$  za potencijalne  $B_j$  kod  $A_{ik}$ ,  $j \in J_{ik} \subseteq J$ ,  $w_{ik}(t)$  – potrebna količina rada za  $A_{ik}$  u  $t$ ,  $w_{j0}(t)$  – radni kapacitet za  $B_j$  u  $t$ ,  $h_{ikj}$  – binarne promenljive prve vrste sa vrednostima  $h_{ikj} = 1$  samo ako se za  $A_{ik}$  bira  $B_j$  (u suprotnom su  $h_{ikj} = 0$ , ne bira se  $B_j$  za  $A_{ik}$ ),  $h_{ikj}(t)$  – binarne promenljive druge vrste sa vrednostima  $h_{ikj}(t) = 1$  samo ako se za  $A_{ik}$  bira  $B_j$  i  $A_{ik}$  se obavlja u  $t$ , inače su  $h_{ikj}(t) = 0$  (ako  $h_{ikj} = 0$  ili  $h_{ikj} = 1$  ali se  $A_{ik}$  ne obavlja  $t$ ).

Opšti matematički model sa najmanje 2 kriterijuma (trajanje projekta i troškovi jednog favorizovanog izvođača) i najviše sa  $1 + m$  kriterijuma (trajanje projekta i troškovi svih izvođača):

$$\min T_p = \sum_{(i,k) \in Q} t_{ik} \quad (1)$$

$$\max C_j = \sum_i \sum_k c_{ik} h_{ikj}, \quad j \in J \quad (2)$$

p.o.

$$\sum_j h_{ikj} = 1, \quad \forall (i, k) \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_k w_{ik}(t) h_{ikj}(t) \leq w_{j0}(t), \quad \forall (j, t) \quad (4)$$

$$h_{ikj} = \begin{cases} 1, & \text{ako se za } A_{ik} \text{ bira } B_j \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}, \quad \forall (i, k, j) \quad (5)$$

$$h_{ikj}(t) = \begin{cases} 1, & \text{ako } h_{ikj} = 1 \text{ i } A_{ik} \text{ se izvodi u vem. jedinici } t \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}, \quad \forall (i, k, j, t) \quad (6)$$

Funkcija kriterijuma (1) minimizira trajanje projekta, dok (2.) maksimiziraju troškove odabranih ili svih izvođača  $B_j$ . Uslovi (3) definišu da se za  $A_{ik}$  bira samo jedan  $B_j$ , sa (4) se zahteva da ukupna potrebna količina rada za  $B_j$  u vremenskoj jedinici  $t$  ne prelazi raspoloživi kapacitet  $w_{j0}(t)$ , a (5) i (6) su karakteristike za binarne promenljive.

## 2.2. Rešavanje problema

Definisani višekriterijumski model (1)-(6) pripada klasi nelinearnog programiranja, usled zavisnosti binarnih promenljivih druge vrste  $h_{ikj}(t)$  u uslovima (6) od binarnih promenljiv prve vrste  $h_{ikj}$  sa karakteristikama (5). Ako ne postoji savršeno rešenje koje obezbeđuje ekstremne vrednosti za sve kriterijume, rešenje modela u matematičkom smislu čini skup  $X_{eff}$  sa svim pareto-optimalnim rešenjima i za primenu se usvaja rešenje koje se smatra da je najpovoljnije sa stanovišta preferiranih izvođača. Međutim, u praksi može da bude

složeno odrediti  $X_{eff}$  ili to nije neophodno te se formira uži skup  $X_{eff}$  sa karakterističnim rešenjima. Poznati opšti tro-etapni proces za rešavanje modela višekriterijumskog programiranja može da se primeni raščlanjavanjem na dva podmodela i njihovim sukcesivnim rešavanjem u etapama 1 i 2.

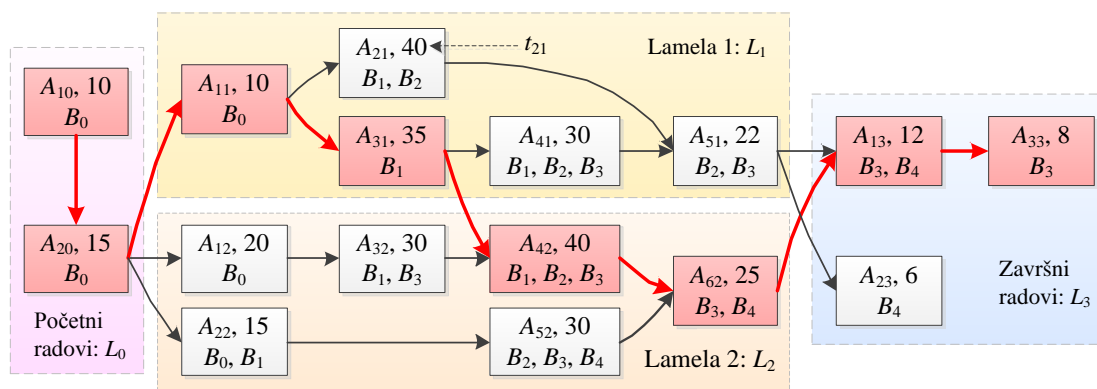
**Korak 1. Izbor izvođača** rešavanjem podmodela (2.j)(3)(5) tipa linearnog programiranja sa binarnim promenljivama  $h_{ikj}$  primenom softvera za mešovito-celobrojno programiranje. Ako se razmatraju troškovi za više izvođača podesno je primeniti metod  $\epsilon$ -ograničenja. **Korak 2. Razmatranje kapaciteta izvođača** rešavanjem podmodela (1)(4)(6) tipa nelinearnog programiranja sa binarnim promenljivama  $h_{ikj}(t)$  koje se proračunavaju za poznati raspored aktivnosti u vremenu na osnovu optimalnih vrednostima za  $h_{ikj}$  iz koraka 1. Potrebno je vršiti nivelisanje resursa primenom standardnog softvera za upravljanje projektima. Ako nije produženo polazno trajanje projekta dobijeno je *pareto-optimalno rešenje* i ono se prenosi u skup  $X_{eff}$ .

### 3. ILUSTRATIVNI PRIMER

Neka građevinski projekat ima  $p = 4$  faza  $L_k$ ,  $k \in K = \{0,1,2,3\}$ , sa odgovarajućim podacima za aktivnosti ili radove  $A_{ik}$  (tabela 1, slika 1) koje mogu da obave  $m = 5$  potencijalna izvođača  $B_j$ ,  $j \in J = \{0,1,2,3,4\}$ . Sa  $B_0$  je označena kompanija vlasnica projekta. Jedinice mera su: [čas] za količine radova  $w_{ik}$  i kapacitete  $w_{j0}$ , [jed.res.] za količine resursa (usvojenih konstanti u vremenu)  $u_{ik} = w_{ik} : t_{ik} : 8$  i  $u_{j0} = w_{j0} \cdot 8$  kada radno vreme iznosi 8 [čas/dan], [čas] za vrem. jedinicu projekta  $t$  i vremena  $t_{ik}$ , i [n.j.] za troškove  $c_{ik}$ . Zavisnosti za  $A_{ik}$  su tipa *Finish to Start* i na mreži se prati kritični put (slika 1). Projekat ima ukupnu količinu radova  $W_p = 80.300$  [čas] ili  $U_p = 440$  [jed.res.], trajanje  $T_p^* = 155$  [dana] i troškove  $C_p = 116$  [n.j.].

**Tabela 1:** Podaci za projekat, oznake za binarne promenljive  $h_{ikj}$  i podaci za izvođače

$L_k$	$A_{ik}$	$w_{ik}$	$t_{ik}$	$u_{ik}$	$c_{ik}$	$h_{ikj}$	$L_k$	$A_{ik}$	$w_{ik}$	$t_{ik}$	$u_{ik}$	$c_{ik}$	$h_{ikj}$	$B_j$	$w_{j0}$	$u_{j0}$	Prioriteti
$L_0$	$A_{10}$	1.572	10	19,65	6	$h_{100}$	$L_2$	$A_{12}$	5.600	20	35	5	$h_{120}$	$B_0$	480	60	1 za $C_0$
	$A_{20}$	3.600	15	30	7	$h_{200}$		$A_{22}$	3.120	15	26	7	$h_{22j}$	$B_1$	640	80	2 za $C_1$
$L_1$	$A_{11}$	1.440	10	18	4	$h_{110}$		$A_{32}$	7.680	30	32	10	$h_{32j}$	$B_2$	320	40	3 za $C_2$
	$A_{21}$	7.360	40	23	6	$h_{21j}$		$A_{42}$	12.800	40	25	5	$h_{42j}$	$B_3$	360	45	4 za $C_3$
	$A_{31}$	10.080	35	36	8	$h_{31j}$		$A_{52}$	8.640	30	36	9	$h_{52j}$	$B_4$	320	40	5 za $C_0$
	$A_{41}$	3.840	30	16	5	$h_{41j}$		$A_{62}$	3.000	25	15	8	$h_{62j}$	Prioriteti, leksikografski poredak kriterijuma $C_0 \gg \gg C_1 \gg \gg C_2 \gg \gg C_3 \gg \gg C_4$			
	$A_{51}$	4.048	22	23	10	$h_{51j}$	$L_3$	$A_{13}$	3.840	12	40	15	$h_{13j}$				
						$A_{23}$	1.440	6	30	5	$h_{234}$						
							$A_{33}$	2.240	8	35	5	$h_{333}$					



**Slika 1:** Mrežni dijagram projekta sa vremenima za aktivnosti i potencijalnim izvođačima

*Etapa 1. Polazna analiza* (tabela 2). Prvo se određuju ekstremna pareto-optimalna rešenja  $h^{(1.0)}$  do  $h^{(1.4)}$  za podmodel (2.j)(3)(5) optimizacijom pojedinačnih kriterijuma (*korak 1*). Utvrđuje se da ne postoji savršeno rešenje. Dalje se resave podmodel (1)(4)(6) i izvodi zaključak da raspoloživi kapaciteti izvođača ne obezbeđuju  $T_p^* = 155$  (*korak 2*). Mora se prihvatiti najmanje moguće trajanje projekta  $T_p^{**} = 160$ .

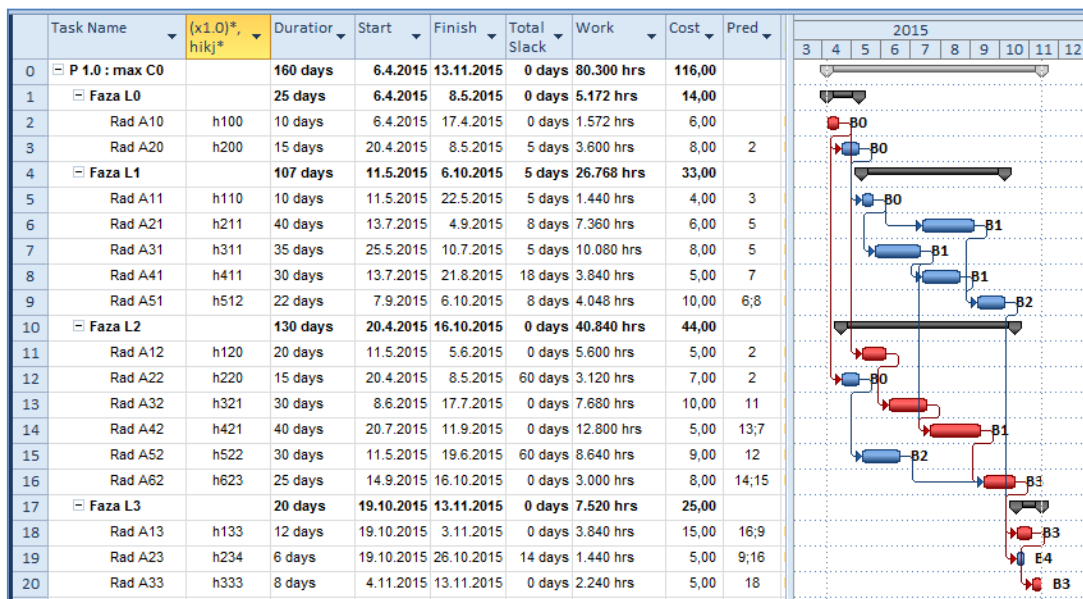
**Tabela 2:** Polazna analiza modela i nalaženje odabranih novih rešenja

		<i>Etapa 1. Polazna analiza</i>					<i>Etapa 2. Nova rešenja</i>						
Optimizacija	Rešenje	max $C_0$	max $C_1$	max $C_2$	max $C_3$	max $C_4$	a) max $C_0$				b) max $C_1, C_0 = 23$		
		$h^{(1.0)}$	$h^{(1.1)}$	$h^{(1.2)}$	$h^{(1.3)}$	$h^{(1.4)}$	$C_2 > 19$	$C_2 > 24$	$C_2 > 25$	$C_2 > 29$	$C_2 > 19$	...	$C_2 > 30$
		$h^{(2.1)}$	$h^{(2.2)}$	$h^{(2.3)}$	$h^{(2.4)}$	$h^{(3.1)}$	...	$h^{(3.5)}$					
Korak 1	$C_0$	<b>30</b>	23	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	23	...	23
	$C_1$	34	<b>41</b>	18	14	34	29	28	24	23	36	...	25
	$C_2$	19	19	<b>35</b>	0	10	24	25	29	30	24	...	<b>35</b>
	$C_3$	28	28	28	<b>67</b>	5	28	28	28	28	28	...	28
	$C_4$	5	5	5	5	<b>37</b>	5	5	5	5	5	...	5
	$A_{10}$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	...	$B_0$
	$A_{20}$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	...	$B_0$
	$A_{11}$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	...	$B_0$
	$A_{21}$	$B_1$	$B_1$	$B_2$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_2$	$B_1$	$B_2$	$B_1$	...	$B_2$
	$A_{31}$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	...	$B_1$
	$A_{41}$	$B_1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_2$	$B_2$	$B_1$	...	$B_2$
	$A_{51}$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_3$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	...	$B_2$
	$A_{12}$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	...	$B_0$
	$A_{22}$	$B_0$	$B_1$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_1$	...	$B_1$
	$A_{32}$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_3$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	$B_1$	...	$B_1$
	$A_{42}$	$B_1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_1$	$B_2$	$B_1$	$B_2$	$B_1$	$B_2$	...	$B_2$
	$A_{52}$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	$B_2$	...	$B_2$
	$A_{62}$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_4$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	...	$B_3$
	$A_{13}$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_4$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	...	$B_3$
$A_{23}$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	$B_4$	...	$B_4$	
$A_{33}$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	$B_3$	...	$B_3$	
Korak 2	$w_{B0}$	15.332	12.212	15.332	15.332	15.332	15.332	15.332	15.332	15.332	12.212	...	12.212
	$w_{B1}$	41.760	44.880	17.760	17.440	41.760	28.960	34.400	25.120	30.560	32.080	...	20.880
	$w_{B2}$	12.688	12.688	36.688	0	4.048	25.488	20.048	29.328	23.888	25.488	...	36.688
	$w_{B3}$	9.080	9.080	9.080	46.088	2.240	9.080	9.080	9.080	9.080	9.080	...	9.080
	$w_{B4}$	1.440	1.440	1.440	1.440	16.920	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	...	1.440
	$T_{B0}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	...	20
	$T_{B1}$	40	40	35	40	40	40	40	40	40	40	...	35
$T_{B2}$	30	30	40	0	22	40	40	40	40	40	...	40	
$T_{B3}$	25	25	25	40	8	25	25	25	25	25	...	25	
$T_{B4}$	6	6	6	6	30	6	6	6	6	6	...	6	
$T_p^{**}$	<b>160</b>	<b>160</b>	185	217	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	185	<b>160</b>	<b>160</b>	...	185	

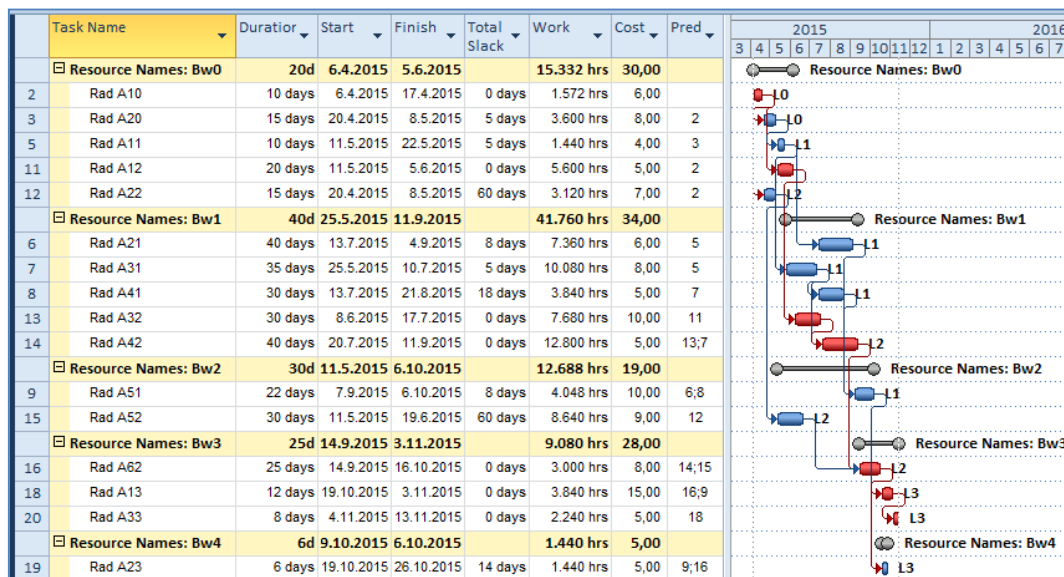


	$Eff$	$\in X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\notin X_{eff}$	$\notin X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\notin X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\in X_{eff}$	$\dots$	$\notin X_{eff}$
--	-------	---------------	---------------	------------------	------------------	---------------	---------------	---------------	------------------	---------------	---------------	---------	------------------

Time se usvaja da su  $h^{(1.0)}$ ,  $h^{(1.1)}$  i  $h^{(1.4)}$  pareto-optimalna rešenja koja se prenose u skup  $X_{eff}$ . Uočava se da svako od ovih rešenja ostvaruje maksimalne troškove  $C_0^* = 30$  za  $B_0$ . Naime,  $C_0^* = 30$  nema jedinstveno optimalno rešenje, već vešestruko optimalno rešenje dato skupom alternativnih rešenja:  $h^{(1.0.1)} = h^{(1.0)}$ ,  $h^{(1.0.2)} = h^{(1.1)}$  sa  $C_1^* = 41$ ,  $h^{(1.0.3)} = h^{(1.4)}$  sa  $C_4^* = 47$ . Postavljene prioritete za izvođače zadovoljava  $h^{(1.0)}$  sa  $C_0^* = 30$  bez uslova,  $C_1^{*(1)} = C_1^*(C_0^*) = 34$  sa jednim uslovom,  $C_2^{*(2)} = C_2^*(C_0^*, C_1^{(1)*}) = 19$  sa dva uslova,  $C_3^{*(3)} = C_3^*(C_0^*, C_1^{(1)*}, C_2^{(2)*}) = 28$  sa tri uslova i  $C_4^{*(4)} = C_4^*(C_0^*, C_1^{(1)*}, C_2^{(2)*}, C_3^{(3)*}) = 28$  sa četiri uslova. Ovo rešenje sa odgovarajućim izborom izvođača (tabela 2), planom projekta (slika 2) i planovima izvođača (slika 3) može da se usvoji kao najbolje za primenu.



Slika 2: Plan projekta za rešenje  $h^{(1.0)}$  primenom softvera *MS Project*



Slika 3: Planovi izvođača za rešenje  $h^{(1.0)}$  izvedeni iz plana projekta

**Etapa 2. Nalaženje novih rešenja** (tabela 2). Dalja rešenja mogu da se traže sa ciljem ispitivanja zavisnosti vrednosti kriterijuma, nezavisno od toga da li je napred određeno prihvatljivo konačno rešenje. Ilustruje se određivanje rešenja sa promenom polaznih prioriteta za kriterijume izvođača.

a) Ako se zahteva da  $C_1$  i  $C_2$  budu podjednako značajni, ali manje značajni od  $C_0$  i više značajni od  $C_3$  i  $C_4$ , potrebno je rešavati naredne modele sa datim redosledom:  $\max C_0$ ,  $\max(C_1, C_2)$ ,  $\max C_3$ ,  $\max C_4$ . Određena su rešenja  $h^{(2.1)}$  do  $h^{(2.4)}$  koja ostvaruju  $C_0^* = 30$  (*korak 1*). Pareto-optimalna sa  $T_p^{**} = 160$  za skup  $\underline{X}_{eff}$  su samo tri od ovih rešenja (*korak 2*). To su nova alternativna rešenja za  $C_0$ :  $h^{(1.0.4)} = h^{(2.1)}$ ,  $h^{(1.0.5)} = h^{(2.2)}$  i  $h^{(1.0.6)} = h^{(2.4)}$ .

b) Poslednji podskup rešenja  $h^{(3.1)}$  do  $h^{(3.5)}$  nastaje smatrajući da su podjednako značajni kriterijumi  $C_0$ ,  $C_1$  i  $C_2$  sa višim prioritetom u odnosu  $C_3$  i  $C_4$ . Kriterijum  $C_0$  može da ima samo dve vrednosti,  $C_0^* = 30$  i  $C_0^*(C_1^*) = 23$ . Kako je za  $C_0$  pod a) razmatrana vrednost 30, preostaje da se sada razmatra vrednost 23. Potrebno je maksimizirati  $C_1$  sa uslovom  $C_0 = 23$  i ograničenjima za  $C_2$ . Pareto-optimalna rešenja za skup  $\underline{X}_{eff}$  su  $h^{(3.1)}$ ,  $h^{(3.2)}$  i  $h^{(3.4)}$ .

*Napomena:* Razmatranje ograničenih kapaciteta izvođača u drugom podmodelu primenom softvera za upravljanje projekatima zahteva da se ograničenja (4) zamene sa (4.1), korišćenjem potrebnog broja jedinica resursa  $u_{ik}(t)$  za  $A_{ik}$  i raspoloživih brojeva jedinica resursa  $u_{i0}(t)$  za  $B_k$  u vremenskim jedinicama  $t$ .

$$\sum_i \sum_k u_{ik}(t) h_{ikj}(t) \leq u_{j0}(t), \quad \forall(j, t) \quad (4.1)$$

*Etapa 3. Izbor konačnog rešenja* iz skupa efikasnih rešenja  $\underline{X}_{eff} = \{h^{(1.0)}, h^{(1.1)}, h^{(1.4)}, h^{(2.1)}, h^{(2.2)}, h^{(2.4)}, h^{(3.1)}, h^{(3.2)}, h^{(3.4)}\}$ . Za primenu može da se usvoji  $h^{(1.0)}$  ako se zahteva polazni strogi leksikografski poredak kriterijuma za izvođače ili  $h^{(2.1)}$  kada  $C_0$  ima najviši prioritet i  $C_1$  blagu prednost nad  $C_2$ , odnosno  $h^{(2.4)}$  za  $C_0$  sa najvišim prioritetom i većim prioritetom za  $C_2$  u odnosu na  $C_1$ .

#### 4. ZAKLJUČAK

Rad izlaže optimalni izbor izvođača na projektu sa fiksnim vrednosti za vremena trajanja i trošove njegovih faza. Time je zadato trajanje i troškovi projekta. Zahteva se maksimizacija vrednosti dodeljenih radova preferiranim izvođačima (troškova dodeljenih aktivnosti na fazama) i minimizacija trajanja projekta razmatranjem raspoloživih radnih kapaciteta svih izvođača. Nastali višekriterijumski problem se rešava rašlanjavanjem na dva podproblema. Pareto-otimalna rešenja nastaju ako ne nastupi produženje trajanja projekta.

#### LITERATURA

- [1] Božilović, Z. & Nikolić, N. (2014). Dva pristupa izboru učesnika na projektu razmatrajući vremena i troškove, XX Konferencija iz oblasti informacionih i komunikacionih tehnologija (YUINFO 2014), Kopaonik, 1-6
- [2] Ehrgott, M. (2000). Multicriteria optimization – Lecture notes in economics and mathematical systems, Springer-Verlag Berlin.
- [3] Hendrickson, C. (2008). Project Management for Construction, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, <http://pmbook.ce.cmu.edu/>
- [4] Nikolić, I. & drugi (1998). Upravljanje projektima i primena softvera CA-SuperProject 2, Institut za bakar, Bor.
- [5] Nikolić, I. & Borović, S. (1996). Višekriterijumska optimizacija – Metode, primena u logistici i softver, Centar vojnih škola, Beograd.
- [6] Nikolić, I., Božilović, Z. & Nikolić, N. (2013). Minimizacija trajanja projekta i maksimizacija vrednosti radova favorizovanih izvođača na projektu sa ograničenim troškovima. XL Simpozijum iz operacionih istraživanja (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor, 215-220



## VIŠEKRITERIJUMSKI PRISTUP PROJEKTOVANJU MREŽE ZA PRENOS EKSPRES POŠILJAKA PRIMENOM GENETSKIH ALGORITAMA

### A MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO PARCEL EXPRESS NETWORK PLANNING USING GENETIC ALGORITHMS

ALEKSANDAR ČUPIĆ

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, a.cupic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu se razmatra problem projektovanja mreže za prenos ekspres pošiljaka. Za rešavanje problema predložen je višekriterijumski model zasnovan na genetskim algoritmima (GA). Za predloženi model napisan je programski kod i izvršeni su računarski eksperimenti.

**Cljučne reči:** Genetski algoritmi, višekriterijumsko lociranje habova, ekspres prenos.

**Abstract:** The paper deals with the problem of designing of parcel express network. The problem is solved by multi-objective model based on Genetic Algorithms (GA). The proposed model is accompanied by the corresponding software. The numerous numerical experiments were performed.

**Keywords:** Genetic algorithms, multi-objective hub locations, express delivery.

#### 1. UVOD

Problemi određivanja lokacije i broja habova javljaju se prilikom projektovanja sistema brze isporuke kao i prilikom projektovanja mreža u: vazдушnom, železničkom, drumskom, poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju. Habovi predstavljaju centre kolekcije i konsolidacije tokova u mreži između dve lokacije čija je uloga da se kroz smanjenje cene transporta po jedinici količine između habova smanje i ukupni transportni troškovi. Problem lociranja habova prvi je formulisao O'Kelly 1986, koji je ukazao da se radi o NP teškom problemu. Veći broj autora se kasnije bavio različitim aspektima problema lociranja habova (Campbell 1994, Daganzo and Newell 1986, Marín 2005, O'Kelly 1987, O'Kelly and Miller 1994, Stanimirović 2007, Tan and Kara 2007, Tapcuoglu *et al.* 2005).

Ekspres usluga prenosa paketa predstavlja klasičan primer organizacije prenosa preko hab mreže. Ona podrazumeva dostavu pošiljaka „od vrata do vrata” na najbrži mogući način. Za svaku ekspres pošiljku je definisan izvor i cilj kretanja, kao i vremenskim interval tokom koga je treba isporučiti. U radu se pretpostavlja da budući habovi za ekspres pošiljke nemaju ograničnje u pogledu kapaciteta kao i da ne postoji ograničenje u pogledu dozvoljenog broja habova na mreži.

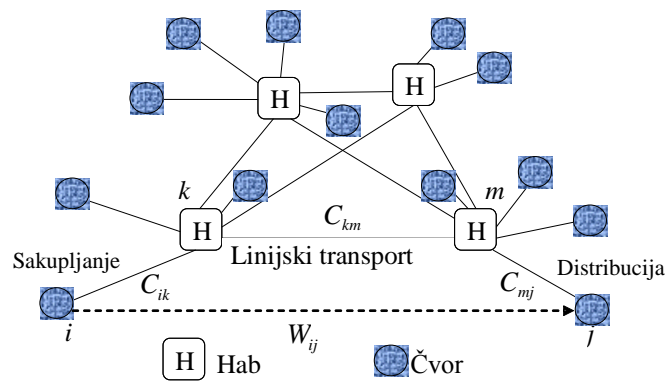
Problem kojim se bavi ovaj rad se može definisati na sledeći način: za poznate tokove, rastojanja i vremena putovanja između svih parova čvorova kao i troškove prevoza, prerade/razvrstavanja pošiljaka i izgradnje habova, pronaći ukupan broj habova, njihove lokacije i svakom habu dodeliti područje sa koga će se ka njemu vršiti koncentracija pošiljaka na način da se maksimiziraju ukupni profit i nivo(i) kvaliteta usluga koji se pružaju klijentima, (Cupic and Teodorovic 2013). Broj i lokaciju habova treba odrediti na osnovu kompromisa između više suprotstavljenih kriterijuma (engl. *trade-offs*), na način da budu zadovoljena definisanih ograničenja. Samim tim, naznačeni problem se u radu tretira kao problem višekriterijumske optimizacije. Razmatrani problem rešen je primenom genetskih algoritama.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju je izložena matematička formulacija problema. Predloženo rešenje problema izloženo je u trećem poglavlju. Rezultati računarskih eksperimenata dati su u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje se odnosi na zaključna razmatranja.

#### 2. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

Problem koji se razmatra odnosi se na ekspres prenos u slučaju kada se transport, na teritoriji Srbije, vrši isključivo flotom drumskih vozila. Bez gubljenja na opštosti razmatran je slučaj garantovanog uručenja u toku narednog radnog dana (D+1). Shodno tome u radu se razmatra problem lociranja habova za slučaj

neorijentisane mreže (slika 1) reprezentovane grafom  $G = (N, A)$ . Ovaj graf uključuje skup čvorova  $N$  kao i skup grana  $A$ . Sa  $n$  je označen ukupan broj čvorova na transportnoj mreži.



**Slika 1:** „Hub-and-spoke” mreža za prenos pošiljaka

Označimo sa  $C_{ij}$  transportne troškove po jedinici saobraćajnog toka od čvora  $i$  do čvora  $j$  (ovi troškovi su proporcionalni rastojanju između čvorova), a sa  $W_{ij}$  intenzitet saobraćajnog toka od čvora  $i$  do čvora  $j$  ( $C_{ii} = 0$  i  $W_{ii} = 0$ ). Prilikom razmatranja problema lokacije habova uzeti su u obzir i fiksni troškovi smeštanja habova u čvorove. Označimo sa  $f_i$  troškove smeštanja haba u čvor  $i$ . O’Kelly je u (O’Kelly 1987) uveo u razmatranje binarne promenljive koje opisuju pridruživanje čvorova habovima. Binarna promenljiva  $X_{jl}$  je jednaka 1 u slučaju kada je čvor  $j$  dodeljen habu  $l$ . U suprotnom slučaju promenljiva je jednaka nuli. Takođe je  $X_{jj} = 1$ , u slučaju kada je čvor  $j$  hab (čvor u kome se nalazi hab je pridružen samom sebi). U suprotnom slučaju je  $X_{jj} = 0$ . Sa  $P$  ćemo označiti prosečnu naknadu koju operator naplaćuje za prenos pošiljke. Prvi kriterijum za upoređivanje potencijalnih rešenja predstavlja ukupni profit ekspres kompanije. Kvalitet koji klijentu pruža određeno rešenje se u modelu meri pomoću dva kriterijuma koja su povezana sa vremenom koje je na raspolaganju pošiljaocima za predaju pošiljaka. Označimo sa  $l_i$  najkasniji mogući trenutak za preuzimanje pošiljaka (najraniji je 8.00 u svim čvorovima) a sa  $L$  proizvoljno usvojen trenutak kraja radnog vremena u čvoru (u našem slučaju 18:45). Sa  $t^*$  označimo garantovano vreme isporuke (na primer 8:00 sledećeg jutra). Osim toga, označimo sa  $tw_i$  vremenski prozor za sakupljanje pošiljaka u čvoru  $i$ . Matematička formulacija razmatranog problema glasi:

Maksimizirati

$$f_1(\vec{x}) = \sum_i \sum_j W_{i,j} P - \sum_i \sum_j \sum_k x_{ik} C_{ik} - \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m x_{ik} x_{jm} C_{km} - \sum_i \sum_j \sum_m x_{jm} C_{jm} - \sum_i x_{ii} f_i \quad (1)$$

Maksimizirati

$$f_2(\vec{l}) = \frac{\sum_i tw_i \sum_j W_{ij}}{\sum_i \sum_j W_{ij}} \quad (2)$$

Maksimizirati

$$f_3(\vec{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} y_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \cdot 100\% \quad (3)$$

pri ograničenjima:

$$l_i \leq t^* - \max \left\{ \sum_k x_{ik} t_{ik} + t_{kk} + \sum_k \sum_m x_{ik} x_{jm} t_{km} + \sum_m x_{jm} t_{jm} \right\} \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_k X_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$X_{kk} - X_{ik} \geq 0 \quad \forall i, k \in N \quad (6)$$

$$X_{ik} \in 0,1 \quad \forall i, k \in N \quad (7)$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{kada je } l_i \geq L \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases} \quad (8)$$

Kriterijumska funkcija  $f_1(\bar{x})$  reprezentuje ukupni profit operatera. Druga kriterijumska funkcija  $f_2(\bar{l})$  predstavlja prosečno vreme ponuđeno klijentima za predaju pošiljaka u toku jednog dana dok treća kriterijumska funkcija  $f_3(\bar{y})$  reprezentuje procenat klijenata kojima je ponuđena dodatna usluga predaje pošiljke nakon kraja standardnog radnog vremena  $L$ . Ograničenje (4) definiše najkasniji vremenski trenutak za sakupljanje pošiljaka u čvoru. Uslov (5) određuje da je svaki čvor pridružen jednom i samo jednom habu. Ograničenje (6) predstavlja zahtev da je čvor  $i$  povezan sa čvorom  $k$  samo ako je u čvoru  $k$  uspostavljen hab. Ostala ograničenja opisuju promenljive u modelu.

Određivanje lokacija habova izraženo relacijama (1-8) predstavlja problem višekriterijumskog nelinearnog celebrojnog programiranja koje se generalno može izraziti kao:

$$\max \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_r(x) \mid x \in X \text{ gde je } x \text{ ceobroj}\} \quad (9)$$

### 3. PREDLOŽENO REŠENJE PROBLEMA

U ovom radu je problem lociranja habova za ekspres pošiljke rešavan primenom genetskih algoritama (Goldberg 1989, Holland 1975, Stanimirović 2007, Tapcuoglu *et al.* 2005, Teodorović i Šelmić 2012) na način koji je predstavljen u radovima (Cupic and Teodorovic 2013, Čupić i Teodorović 2009) tako da u ovom radu neće biti više detalja o primeni ove metaheuristike na predstavljeni matematički model. U ovom radu će biti korišćeno kompromisno programiranje (Coello Coello 2002) kao alat za rešavanje višekriterijumskog problema lociranja habova na mreži za prenos ekspres pošiljaka. Duckstein je u (Duckstein 1984) predložio sledeću meru „moguće bliskosti sa idealnim rešenjem” koja je korišćena i u ovom radu:

$$L_p = \left[ \sum_{i=1}^K w_i^p \left| \frac{f_i(\bar{x}) - f_i^o}{f_{i \text{ najgore}} - f_i^o} \right|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (10)$$

gde je:

- $f_i(\bar{x})$  - vrednost  $i$ -te kriterijumske funkcije nastale imlementacijom odluke  $\bar{x}$
- $f_i^o$  - optimalna vrednost  $i$ -te kriterijumske funkcije
- $f_{i \text{ najgore}}$  - najlošija moguća vrednost  $i$ -te kriterijumske funkcije
- $K$  - ukupan broj kriterijumskih funkcija
- $w_i$  - težina  $i$ -te kriterijumske funkcije
- $p$  - vrednost koja predstavlja vrstu rastojanja: za  $p = 1$ , sva odstupanja od optimalnog rešenja su direktno proporcionalna sa njihovom veličinom, dok za  $2 \leq p \leq \infty$ , što je veće odstupanje to ono sa sobom nosi veću težinu u  $L_p$  metrici.

Specifičnost predloženog rešenja problema se ogleda i u uvođenju dva tipa vozila (većeg – zapremine tovarnog prostora  $86\text{m}^3$  sa transportnim troškovima po jediničnom rastojanju  $0.61\text{€}/\text{km}$  i manjeg - zapremine tovarnog prostora  $42\text{m}^3$  sa transportnim troškovima po jediničnom rastojanju  $0.39\text{€}/\text{km}$ ). Pre izračunavanja transportnih troškova izračunava se broj vozila koji zbog kapacitivnih zahteva saobraća između čvorova i habova kao i između habova međusobno. Osim toga, ukupno vreme koje je na raspolaganju habovima za kompletnu manipulaciju svim pošiljkama je standardizovano i isto na čitavoj mreži. Ustanovljen je i princip da, u cilju pravnomernog korišćenja preradnih kapaciteta, vozila stižu u habove sukcesivno tako da najpre stižu vozila iz čvorova koji su najmanje vremenski udaljeni.

#### 4. NUMERIČKI PRIMERI

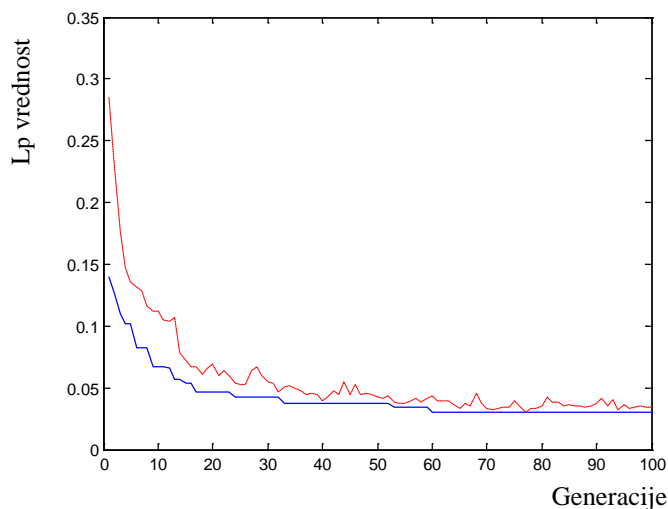
Prilikom izrade ovog rada izvršeno je više stotina računarskih eksperimenata. Eksperimentisanje se odnosilo kako na uključivanje jednog ili više predloženih kriterijuma u razmatranje tako i na podešavanje parametara genetskog algoritma. Broj čvorova (16) je usvojen na osnovu trenutne organizacije prenosa pošiljaka kompanije *CityExpress*. Program koji je omogućio izvršavanje eksperimenata napisan je u programskom jeziku MATLAB. Kako je rešavani problem strateškog karaktera vremena rada računara nisu data ni za jedan izvedeni eksperiment. Svi ulazni podaci su na zahtev kompanije *CityExpress* normalizovani kako bi se sačuvala njihova poverljivost.

**Tabela 1:** Rezultati dobijeni u slučaju trokriterijumske funkcije ( $f_1(\bar{x})$ ,  $f_2(\vec{l})$ , i  $f_3(\vec{y})$ )

Ukupni profit $f_1(\bar{x})$	Prosečni vremenski prozor za sakupljanje pošiljaka (min) $f_2(\vec{l})$	Procenat klijenata koji mogu predati svoje pošiljke na prenos posle najkasnijeg trenutka 18:45 $f_3(\vec{y})$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	Lokacije habova <sup>1</sup>
964.03	674.39	71.01	0.1	0.1	0.8	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.2	0.7	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.3	0.6	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.4	0.5	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.5	0.4	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.6	0.3	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.1	0.7	0.2	1,3,4,5,11,14,16
987.14	681.33	62.99	0.1	0.8	0.1	1,2,4,12,15,16
964.03	674.39	71.01	0.2	0.1	0.7	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.2	0.2	0.6	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.2	0.3	0.5	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.2	0.4	0.4	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.2	0.5	0.3	1,3,4,5,11,14,16
1020.34	670.36	65.29	0.2	0.6	0.2	1,4,11,14,16
1020.34	670.36	65.29	0.2	0.7	0.1	1,4,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.3	0.1	0.6	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.3	0.2	0.5	1,3,4,5,11,14,16
964.03	674.39	71.01	0.3	0.3	0.4	1,3,4,5,11,14,16
1020.34	670.36	65.29	0.3	0.4	0.3	1,4,11,14,16
1020.34	670.36	65.29	0.3	0.5	0.2	1,4,11,14,16
1038.62	659.94	63.10	0.3	0.6	0.1	1,4,11,14
964.03	674.39	71.01	0.4	0.1	0.5	1,3,4,5,11,14,16
1014.65	654.48	66.02	0.4	0.2	0.4	1,2,4,11,16
1020.71	665.83	65.30	0.4	0.3	0.3	1,5,6,11,16
1038.62	659.94	63.10	0.4	0.4	0.2	1,4,11,14
1047.02	669.56	57.59	0.4	0.5	0.1	1,4,15,16
1022.94	650.26	65.30	0.5	0.1	0.4	1,5,11,13,16
1022.94	650.26	65.30	0.5	0.2	0.3	1,5,11,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.5	0.3	0.2	1,13,16
1061.61	642.95	57.59	0.5	0.4	0.1	1,4,15
1022.94	650.26	65.30	0.6	0.1	0.3	1,5,11,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.6	0.2	0.2	1,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.6	0.3	0.1	1,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.7	0.1	0.2	1,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.7	0.2	0.1	1,13,16
1064.62	631.73	59.47	0.8	0.1	0.1	1,13,16

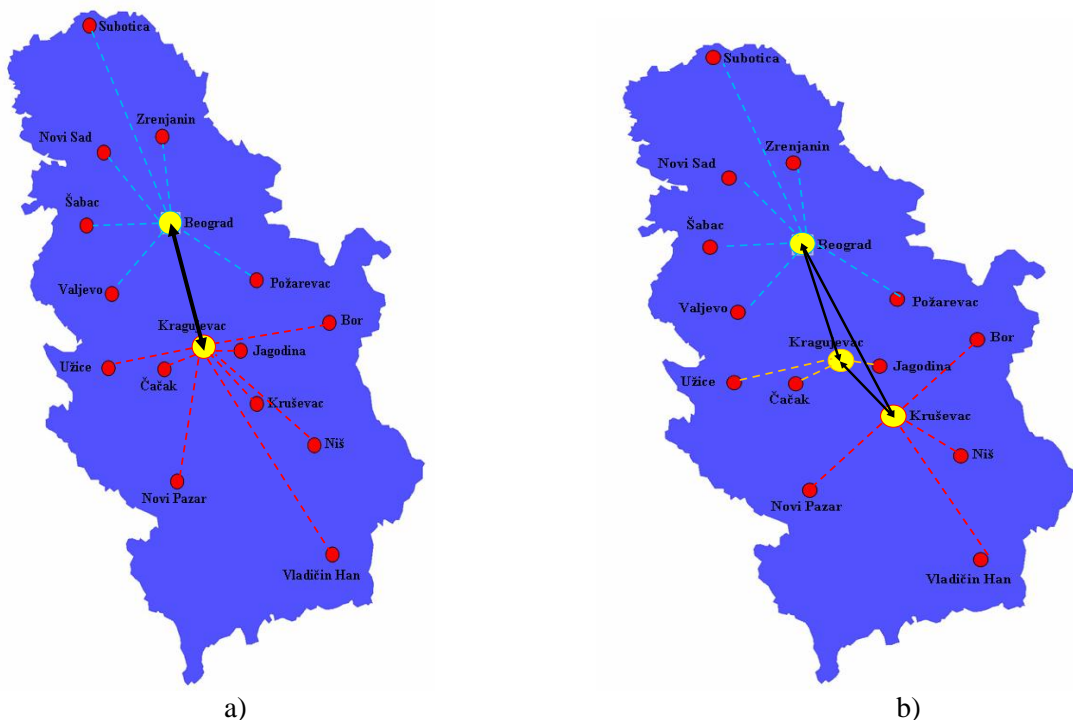
<sup>1</sup> Čvorovi su numerisani na sledeći način: 1 – Beograd; 2 – Subotica; 3 – Čačak; 4 – Jagodina; 5 – Požarevac; 6 – Niš; 7 – Zrenjanin; 8 – Bor; 9 – Vladičin Han; 10 – Užice; 11 – Valjevo; 12 – Šabac; 13 – Kruševac; 14 – Novi Pazar; 15 – Novi Sad; 16 – Kragujevac.

U prethodnoj tabeli date su vrednosti tri kiterijumske funkcije za svaku kombinaciju vrednosti težina  $w_i$  i lokacije u kojima treba uspostaviti habove.



**Slika 2:**  $L_p$  (bliskost idealnom rešenju) vrednost kroz generacije ( $w_1 = 0.6; w_2 = 0.3; w_3 = 0.1$ )

Na slici 2 prikazane su vrednosti  $L_p$  (bliskost idealnom rešenju dobijena na osnovu izraza 10) kroz generacije u slučaju kada su vrednosti težina kriterijuma:  $w_1 = 0.6; w_1 = 0.3; w_1 = 0.1$ . Na slici 3 ilustrovana je razlika u topologijama dobijenih transportnih mreža za slučaj jednokriterijumske i višekriterijumske analize.



**Slika 3:** Topologija najbolje pronađene trasnportne mreže: a) Mreža dobijena maksimizacijom profita; b) Mreža dobijena kao kompromisno rešenje u slučaju kada je  $w_1 = 0.6; w_2 = 0.3; w_3 = 0.1$

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da broj uključenih kriterijuma, vrednosti težinskih koeficijenata kao i ostali parametri modela značajno utiču na broj i lokaciju habova na mreži. Iz table 1 vidi se da sa opadanjem važnosti profitnog kriterijuma raste i broj habova u najboljem rešenju. Kao što se i moglo

očekivati smanjivanjem značaja kriterijumskih funkcija koje odlikavaju kvalitet ponuden korisnicima broj habova opada. Pronađeno je ukupno 10 nedominiranih rešenja od kojih se neka ponavljaju za različite vrednosti težina. U budućim istraživanjima problem određivanja lokacija habova za ekspres pošiljke može biti razmatran na interaktivan način uz uvođenje konkurentskih kompanija u model.

## LITERATURA

- [1] Campbell, J. F. (1994) A Survey of Network Hub Location, *Studies in Locational Analysis* 6: 31-49.
- [2] Coello Coello, C.A., Van Veldhuizen, D.A., Lamont, G.B. (2002) *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems (Genetic and Evolutionary Computation)*, Springer., Heilderberg.
- [3] Cupic, A., Teodorovic, D. (2013) A multi-objective approach to the parcel express service delivery problem. *Journal of Advanced Transportation*. Early View.
- [4] Čupić, A., Teodorović, D. (2009) Lociranje habova za ekspres pošiljke primenom genetskih algoritama. *Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2009)*, Ivanjica, 651-654.
- [5] Daganzo, C. F., Newell, G. F. (1986) Configuration of Physical Distribution Networks. *Networks* 16(2): 113-132.
- [6] Duckstein L. (1984) Multiobjective optimization in structural design: The model choice problem. In: Atrek E., Gallagher, R. H., Ragsdell, K. M., Zienkiewicz, O. C., editors, *New Directions in Optimum Structural Design*, pages 459-481. Wiley., New York.
- [7] Goldberg, D.E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1-25.
- [8] Holland, J.H. (1975) *Adaption in natural and artificial systems*. Michigan: University of Michigan Press.
- [9] Marín A., (2005) Formulating and Solving Splittable Capacitated Multiple Allocation Problems , *Computers and Operations Research* 32(12): 3093-3109.
- [10] O'Kelly, M. E. (1986) The location of interacting hub facilities. *Transportation Science* 20: 92-106.
- [11] O'Kelly, M.E. (1987) A quadratic integer program for the location of interacting Hub facilities. *European Journal of Operational Research* 32: 393-404
- [12] O'Kelly, M. E., H.J. Miller. (1994) The hub network design problem - A review and synthesis. *Journal of Transport Geography* 2 (1), 31-40.
- [13] Stanimirović Z. (2007) Genetski algoritmi za rešavanje nekih NP-teških hab lokacijskih problema, *Doktorska disertacija, Matematički fakultet, Beograd*.
- [14] Tan, P.Z., Kara, B.Y. (2007) A hub covering model for cargo delivery systems, *Networks* 4, 28-39.
- [15] Tapcuoglu, H., Corut, F., Ermis, M., Yilmaz, G. (2005) Solving the uncapaciated hub location problem using genetic algorithms. *Computers & Operations Research* 32, 967-984.
- [16] Teodorović, D., Šelmić, M. (2012). *Računarska inteligencija u saobraćaju*, Saobraćajni fakultet Beograd.





## MCA - METOD ILI PROCEDURA PRIMENE?

## MCA - METHOD OR PROCEDURE OF APPLICATION?

DRAŽENKO GLAVIĆ<sup>1</sup>, VLADAN TUBIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, drazen@via-vita.org.rs

**Rezime:** Rad prikazuje jedinstven primer primene MCDM metoda, na primeru realne studije odabira najboljeg sistema naplate putarine za mrežu autoputeva Republike Srpske. Studija je finansirana od strane EBRD, kroz program finansiranja WBIF za potrebe JP Autoputevi Srpske. Studija je detaljno obradila sa više aspekata problem i dala odgovore na nedoumice: da li je optimalan otvoreni ili zatvoreni sistem, da li je tehnologija ENP, smartcard, vinjeta, GNSS-CN ili neko drugo rešenje? Cilj pisanja ovog rada nije prikaz multikriterijalne analize, koja je već do sada nebrojeno puta objašnjavanja u raznim radovima, već je cilj prenošenje iskustava u proceduri primene MCDM metoda, sa posebnim osvrtom na radionice na kojima je utvrđivana lista kriterijuma i težine kriterijuma. Primena MCA je ilustrovana kroz algoritam primene MCA na realnom problemu izbora najboljeg sistema putarine. Rezultati MCA su realizovani u praksi.

**Cljučne reči:** MCA, putarina, radionice, lista kriterijuma, grupe kriterija, težine kriterijuma.

**Abstract:** This paper presents a unique example of the application of MCDM methods on the real example, based on study of selection of optimal toll collection system for the network of motorways of the Republic of Srpska. The study was funded by the EBRD, through WBIF for Public Company Autoputevi Srpske. The study is thoroughly dealt with several aspects of the problem and give answers to dilemmas such as: whether the optimal system is open or closed, whether it is technology ETC, smartcard, vignettes, GNSS-CN or some other solution? The aim of writing of this paper is not getting familiar with multi-criteria analysis theory, which is already numerous times explained in the various papers, but the aim is sharing experiences in procedures of applying MCDM methods, with special emphasis on workshops, where was determined list of criteria and weights of criteria. Application of MCA is illustrated through the algorithm of applying MCA to the real problem of choosing an optimal system of tolls. MCA results are realized in practice.

**Keywords:** MCA, tolls, workshops, list of criteria, group of criteria, criteria weights.

## 1. UVOD

Rad prikazuje proces odabira najboljeg sistema naplate putarine u RS [1] na autoputnim pravcima.

- E661 Banja Luka-Gradiška
- M16.1 Banja Luka Dobož
- E73 Dobož Modriča (koridor Vc)

U radu je primenjeno više metoda i analiza kao što su: CBA, saobraćajne analize-TA, ekološke analize-EIA pa sve do MCA koja je i bila ključna u odabiru sistema naplate putarine. Postupak sprovođenja MCA analize za ovaj specifičan problem vrednovanja je i predmet ovog rada.

## 2. ISTRAŽIVANJA RELEVANTNE LITERATURE

Pregledom internacionalnih naučnih baza kao što su Web of Science, Google Scholar i Scopus, i druge javno dostupne baze podataka utvrđeno je da ne postoje radovi koji su obrađivali ovu problematiku, odnosno ne postoji ni jedan rad koji je se bavio eksplicitno odabirom najboljeg sistema putarine. Postoji više radova koji su se bavili parcijalno ovom tematikom kroz npr. utvrđivanje najboljeg sistema tarifiranja ili politike cena, ili kroz primenu MCA u rešavanju drugih problema. Stoga u ovom poglavlju ne mogu biti prikazana iskustva drugih stručnjaka u ovoj problematici. Rad sa problemom izbora najboljeg rešenja putarine ne postoji, i ta činjenica ovom radu daje dodatnu težinu u originalnosti obrađivane tematike, dok je primenjeni metod jedan od standardnih metoda MCA.

### 3. ANALIZA PROBLEMA

#### 3.1. Opšte karakteristike sistema naplate putarine

Sistemi naplate putarine se mogu podeliti po osnovu sledećih 5 karakteristika [2], [3]:

- Tehnički način naplate putarine;
- Plaćanje, tarifiranje;
- Organizacija sistema naplate putarine;
- Kontrola vozača;
- Tehnologija naplate putarine.

Osnovnih 5 karakteristika imaju sledeće podele:

##### Tehnički način naplate putarine

- Višetračni slobodan protok vozila MLFF, (ili bez barijera).
- Sistem naplate putarine baziran na naplatnoj traci LB-lane based (ili sa barijerama).

##### Plaćanje (Tarifiranje)

- U funkciji udaljenosti.
- Po pređenoj kilometraži.
- Po korišćenoj deonici.
- U funkciji vremena.

##### Organizacija sistema naplate putarine

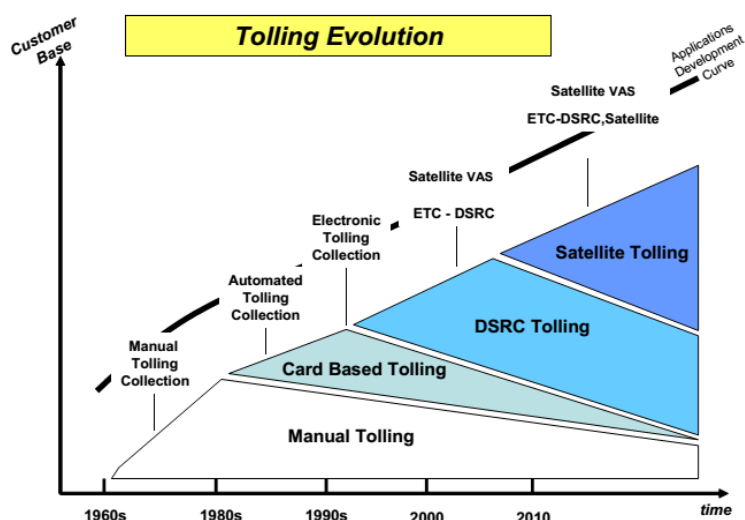
- Zatvoreni sistem putarine.
- Otvoreni sistem putarine.

##### Kontrola vozača

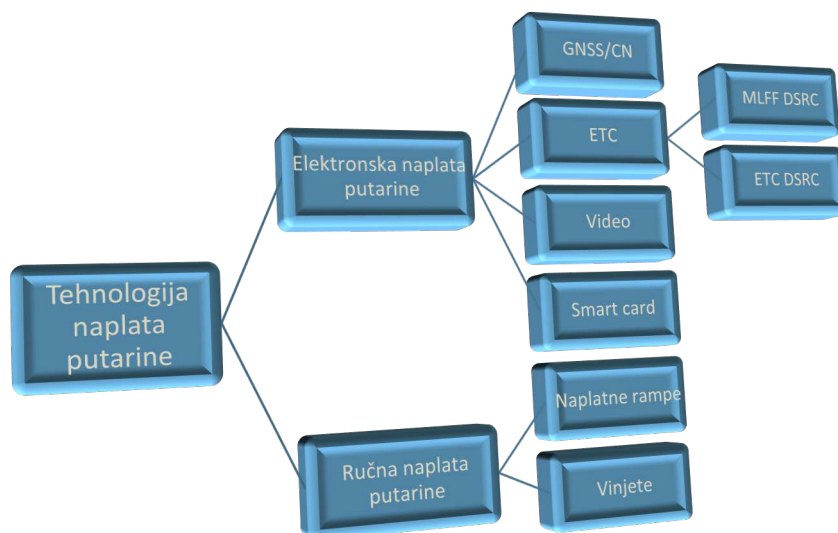
- Na bazi rampi-barijera.
- Policijska kontrola.
- Na bazi prepoznavanja broja registarske oznake.

##### Tehnologija naplate putarine

Naplata putarine se kretala kroz istoriju od manuelne naplate pa do raznih oblika elektronske naplate. Razvoj elektronike i elektronske tehnologije je veoma dinamičan poslednjih godina i prouzrokovao je brzu primenu više tehnologija u naplati putarine. Slika 1. prikazuje razvoj sistema naplate putarine po državama Evrope, dok Slika 2. prikazuje detaljno sve podele sistema naplate po tehnologijama.



Slika 1: Razvoj sistema naplate putarine po državama Evrope (Izvor: Spea Ingegneria Europea S.p.A.) [3]



**Slika 2:** Sistemi putarine po primenjenoj tehnologiji [3]

### 3.2. Moguća rešenja sistema putarine za mrežu autoputeva Republike Srpske

U analizu najboljeg sistema naplate putarine nisu uzeti svi teorijski mogući sistemi putarine (Slika 2) već samo oni koji su primjenjivi u datim uslovima, odnosno, neprimjenjivi sistemi su izbačeni iz analize. Analizirani su sistemi putarine sa barijerama i bez barijera, kao i sledeće tehnologije naplate putarine: manuelna, vinjete, video, elektronski sistem naplate – ENP [1]. Osnovni opis mogućih rešenja putarine je:

#### Otvoreni sistem naplate putarine-ETC

U otvorenom sistemu naplate putarine, korisnici se registruju pri nailasku na tzv. čeonu naplatnu rampu gde se vrši i fiksno plaćanje putarine bez obzira na dužinu korišćenja puta. Sva vozila iste kategorije plaćaju istu cenu bez obzira na korišćene kilometre autoputa.

#### Zatvoreni sistem naplate putarine-ETC

Zatvoren sistem za naplatu putarine zasniva se na principu plaćanja korišćenja autoputeva na osnovu pređenog puta i kategorije vozila. U zatvorenom sistemu za naplatu putarine, svi ulazi i izlazi sa autoputa su sa naplatnim kućicama. Vozač pri ulasku na autoput dobija magnetnu karticu sa upisanim kodom naplatne stanice ili se identifikuje sistemu preko TAG-a. Na izlazu sa autoputa očitava se magnetna kartica dobijena na ulazu ili se očitavaju podaci sa TAG-a zavisno o tehnologiji koju vozač koristi. Vozač plaća naknadu saglasno kategoriji vozila i pređenom putu.

#### Kombinovani MLFF ETC sistem sa naplatnim portalima na nadvožnjacima

MLFF ETC sistem sa naplatnim portalima na nadvožnjacima (isto kao i video sistem) zasniva se na principu plaćanja korišćenja autoputeva na osnovu pređenog puta i kategorije vozila. U zatvorenom sistemu za naplatu putarine, sve deonice na autoputu (između 2 petlje) su pokrivene sa naplatnim portalima na nadvožnjacima. Na prolasku ispod svakog portala očitavaju se podaci sa TAG-a ili se video detekcijom očitava registarska tablica zavisno o tehnologiji koju vozač koristi. Vozač plaća naknadu saglasno kategoriji vozila i pređenom putu bez zaustavljanja i bez promene brzine trenutno preko TAG-a ili naknadno računom koji se dostavlja na kućnu adresu.

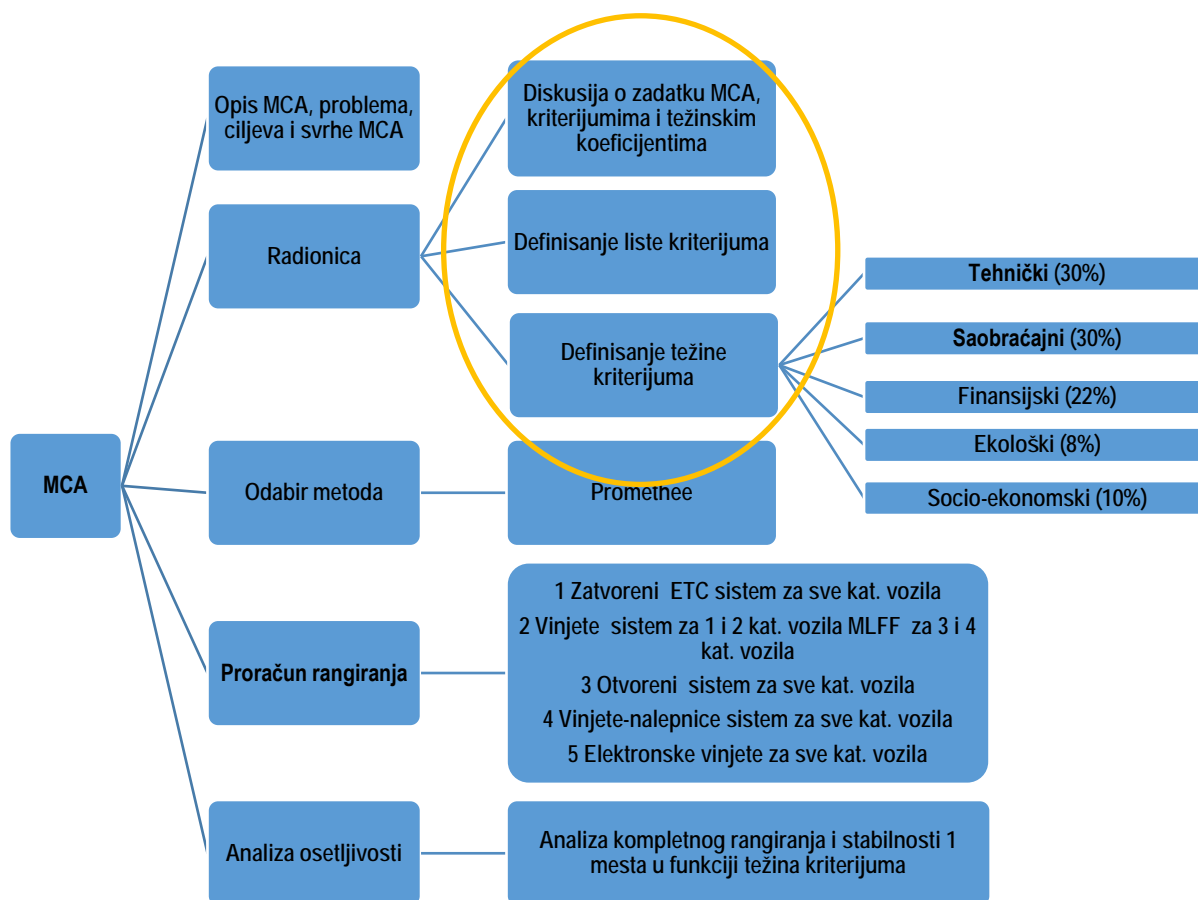
#### Vinjete sistem

Vinjeta je nalepnica čijom se kupovinom plaća putarina u određenom vremenskom periodu. Postoje vinjete kojima se naplaćuje višednevna, sedmična, mesečna ili godišnja putarina. Obaveza lepljenja je na prednje automobilsko staklo. Kod tzv. elektronskih vinjeta se ne lepi nalepnica nego se u sistem unosi broj registracije vozila za dana kad je plaćena vinjeta. Uvidom u bazu podataka se vrši kontrola učesnika, klasičnim zaustavljanjem i kažnjavanjem na licu mesta.

### 3.3. Multikriterijumska analiza-MCA

MCA se odnosi na proces donošenja odluka (najčešće za izbor, evaluaciju ili prioritizacije) između više alternativa [4] - u ovom konkretnom slučaju odabira najboljeg sistema naplate putarine. MCA za određeni broj alternativa definiše kriterijume i težine kriterijuma, te nakon bodovanja i utvrđivanja vrednosti kriterijuma po alternativama stvaraju se uslovi za primenu neke poznate metode MCA. Odabirom metoda i primenom dolazi se do konačne liste ranga projekata kao i do međusobnog poređenja pojedinih alternativnih rešenja.

Lista kriterijuma, podkriterijum i težina kriterijuma što je ključna stvar pri odabiru optimalne varijante je određena na više radionica održanih u Banja Luci sa učešćem svih relevantnih zainteresovanih strana kao što su JP Autoputevi RS, JP PRS, raznih ministarstava (saobraćaja, građevine, ekonomije, urbanizma i dr), AMSRS, lokalnih samouprava na trasi autoputeva, urbanističkih zavoda, stručnjaka iz projektantskih kompanija, stanovnika područja u zoni uticaja autoputa kao i samih korisnika autoputa. Sledeća slika pokazuje algoritam sprovođenja MCA, sa posebno zaokruženim delom koji je bio ključan u procesu odabira najboljeg rešenja, a koji ćemo ukratko objasniti u daljem tekstu, kao i primenu metoda, rezultate i test osetljivosti.



Slika 3. Algoritam sprovođenja multi kriterijske analize MCA Izvor: autor

#### 2.3.1. Odabir i primena metoda

Iako uvek postoji velika diskusija koji metod odabrati, česte su i dileme koji metod daje „najtačnije rezultate“ ili koji je „najprecizniji“, da li je to metod SAW, TOPSIS, ELECTRE, VIKOR, AHP, EC, PROMETHEE, ili neki koji nije nabrojan ovde. Međutim, mora se reći da su sve metode zvanične, prošle su proces validacije i sve daju tačne rezultate, tako da je to pitanje više za uporednu analizu metoda i mogućnosti pojedinih metoda što nije tema ovog rada. U radu na ovoj EU studiji tim stručnjaka kompanija ATKINS, Mott McDonald, i WYG [1] akcenat je dao ne na izbor metoda, jer to na osnovu dosadašnjih iskustava ne donosi tačnost, akcenat je dat na ispravno sprovođenje procedura MCA. Razlog za ovakav pristup je ležao u činjenici da pravilnom primenom MCA svi metodi treba da daju iste ili približno iste rezultate, odnosno razlike bi trebale biti u tzv. nijansama.

Metod koji je upotrebljen u ovoj studiji je PROMETHEE [5], [6], [7] (Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations). Dva PROMETHEE rangiranja su primenjena u studiji i to parcijalno rangiranje na osnovu Phi +, Phi - i kompletno rangiranje na osnovu neto toka Phi. Zbog teme rada detaljno će biti opisane radionice i rezultati koji su dobijeni na istima dok primena PROMETHEE neće detaljno biti prikazana u ovom radu zbog obimnosti.

Glavna metodologija sprovedena na radionici je panel diskusija. Kratak opis radnji koje su sprovedene na seriji održanih radionica je:

- Moderator objašnjava učesnicima (koji su bili različitih profesija i iz različitih institucija, a koji su nabrojani u tački 3.3.), zadatak studije, obima posla i očekivane rezultate istraživanja. Moderator objašnjava ulogu radionice, načina rada i ulogu zainteresovanih strana u radionici. Moderator teorijski opisuje sve moguće opcije naplate putarine i tehnologije na budućim autoputevima RS.
- Nakon uvodnih objašnjenja vodi se diskusija o prednostima i nedostacima različitih opcija i tehnologija naplate putarine. Kroz ovu diskusiju učesnici su predložili sve prednosti i nedostatke svakog pojedinačnog sistema naplate putarine. Ove prednosti i mane su zapisane i evidentirane. Ovaj korak je važan da bi učesnici lakše mogli da individualno presude težine kriterijuma u sledećem koraku.
- Moderator objašnjava metodu MCA, ulogu i značaj kriterijuma i težine kriterijuma u okviru MCA.
- Nakon diskusije učesnici kroz diskusiju prave grupe kriterijuma i listu svih potencijalnih kriterijuma po grupama. Nakon formirane liste kriterijuma učesnici ispunjavaju anonimno obrazac upitnika u papirnom obliku, i daju individualne ocene težine kriterijuma. Nakon dobijene statički prosečne vrednosti težina kriterijuma, diskutovalo se o konačnim rezultatima težine.
- Diskusijom o rezultatima distribucije težine kriterijuma na grupe i podkriterijume usvojeni su rezultati i definisane su konačne težine kriterijuma.

Detaljni rezultati radionice su:

- a) Definisane liste prednosti i nedostataka svake tehnologija naplate putarine.
- b) Stvaranje liste grupe kriterijuma i podkriterijumima.
- e) Utvrđivanje težina kriterijuma.

Kao što je već konstatovano nakon serije radionica na kojima je utvrđena lista kriterijuma i podkriterijuma bilo je potrebno pristupiti sledećem koraku u proceduri MCDM, a to je bodovanju alternativa po kriterijumima. Da bi se moglo sprovesti bodovanje trebalo je determinisati sve vrednosti alternativa po pojedinim kriterijumima. Za proceduru bodovanja urađene su obimne analize koje su se odnosile na ekonomske analize-CBA, saobraćajne analize TA, Ekološke analize EIA. Delovi bodovanja koji se nisu mogli dobiti analitičkim putem dobijeni su anketom eksperata iz posmatrane oblasti. Sprovodioci MCA su težili da se bodovanje gde god je bilo moguće utvrdi analitičkim putem, nastojeći da izbegnu anketu eksperata, jer je uz proces utvrđivanja liste i težina kriterijuma, bodovanje utvrđeno ekspertskom ocenom takođe podložno subjektivnom uticaju. Nakon sproveden procedure bodovanje formirana je bazna matrica u PROMETHEE programu. Izlazni rezultati su bili sledeći:

**Tabela 1:** Rangiranje sa diskontnim vrednostima finansijskih parametara B/C i neto prihod (disk. stopa 6%) [1]

<b>Rang</b>	<b>Sistem putarine</b>	<b>Phi</b>
<b>1</b>	<i>Zatvoreni sistem za sve kat. vozila</i>	<b>0,2482</b>
<b>2</b>	<i>Otvoreni sistem za sve kat. vozila</i>	<b>0,0439</b>
<b>3</b>	<i>Vinjete sistem za 1 i 2 kat. vozila MLFF za 3 i 4 kat. vozila</i>	<b>0,0300</b>
<b>4</b>	<i>Elektronske vinjete za sve kat. vozila</i>	<b>-0,1513</b>
<b>5</b>	<i>Vinjete-nalepnice sistem za sve kat. vozila</i>	<b>-0,1709</b>

Analiza osetljivosti kompletnog rangiranja i stabilnosti prvog mesta je urađena primenom intervala stabilnosti u funkciji promene težina kriterijuma u rasponu 0%-100%, koje su podložne subjektivnim uticajima u svakoj MCA analizi bez obzira na primenjenu metodu. Rezultati analize osetljivosti su pokazali da je prvo mesto stabilno prema većini kriterijuma, stabilnost kompletnog rangiranja je niža. Rezultati analize osetljivosti su dati u narednoj tabeli.

**Tabela 2:** Rezultati analize osetljivosti [1]

Grupa kriterijuma	Kriterijum	Kompletno rangiranje ostaje nepromenjeno	Prvo mesto ostaje nepromenjeno
1. Tehničko/ekspl. kriterijumi	Interoperabilnost u okvir BiH	0%-10,5%	0%-100%
	Interoperabilnostu sa regionom	0%-10,4%	0%-100%
	Interoperabilnostu sa EU	0%-19,9%	0%-100%
	Primenjivost	0%-14,1%	0%-61,2%
	Efikasnost	0%-81%	0%-100%
	Pouzdnost	0%-40,3%	0%-100%
2. Saobraćajni kriterijumi	Nivo Usluge	0%-11,5%	0%-70,2%
	Bezbednost saobraćaja	1%-21,1%	0%-51%
	Broj zaustavljanja	0%-100%	0%-100%
	Povećanje vremena putovanja	0%-13,6%	0%-100%
3. Finansijski kriterijumi	Prosečan trošak za korisnika	0%-12,2%	0%-18,3%
	Odnos Prihodi/Troškovi	4,4%-16,2%	0%-37,5%
	Neto prihod	0%-33,8%	0%-100%
4. Ekološki kriterijumi	Vizualni uticaj	0%-12,4%	0%-45,2%
	Zagađenje vazduha	0%-24,1%	0%-100%
	Buka	0%-18,2%	0%-56,4%
5. Socio-ekonomski kriterijumi	Lokalni kontekst	0%-21,1%	0%-42,4%
	Komfort korisnika	0%-11,7%	0%-78,2%
	Površina zauzetog zemljišta	0%-16,3%	0%-42,1%
	Prihvatanje putarine	0%-16,4%	0%-40,9%

#### 4. ZAKLJUČCI

Iz ovog rada nameću se sledeći zaključci:

1. Pravilno sprovođenje MCA procedure je ključ za dobijanje objektivnog i najboljeg rešenja.
2. Odabir MCDM metoda nema presudan uticaj na tačnost rezultata-rangiranje alternativa. Odabir MCDM metoda je samo pitanje ličnih preferenci sprovodioca analize.
3. Objektivnost MCA se postiže kroz organizovanje serija radionica gde su pozvane sve zainteresovane strane, a na kojima se utvrđuje lista i težine kriterijuma. Takođe objektivnosti MCA doprinosi i nastojanje da se u procesu bodovanja što veći deo podataka dobije analitički, a manji deo ekspertskom ocenom.
4. Osoba koja sprovodi MCA je stavljena u funkciju sudije te je neophodno da sasluša sve zainteresovane, često konfliktne strane, pravilno uzme u obzir sve uticaje kroz kompletnu listu kriterijuma, i objektivno sprovede anketu svih zainteresovanih strana, radi dobijanja realnih težina kriterijuma. Samo na taj način se može dobiti pouzdan rezultat, pogotovo što se primenom MCA često donose velike odluke, koje prouzrokuju velika ulaganja i ozbiljne posledice ako se izabere pogrešno rešenje.
5. I na kraju obavezno svaka MCA mora sadržati test osetljivosti sa prikazom intervala stabilnosti za svaki pojedinačni kriterijum, da bi se utvrdila stabilnost rezultata rangiranja, u funkciji svih mogućih kombinacija težina kriterijuma u rasponu od 0 do 100%. Kao i da bi se prikazalo rangiranje i za ostale distribucije težinskih koeficijenata po kriterijumima.

#### Literatura

- [1] Study on toll collection possibilities and system design for Republic of Srpska Motorways. (2013) u: Best Tolling Option Report, IPA 2011 -WBIF-Infrastructure Project Facility-Technical Assistance 3
- [2] Glavić, D. (2013). SWOT analiza sistema naplate putarine u Evropi. Put i saobraćaj, 59(4), 21-30.
- [3] Glavić, D. (2008) Postojeće i nove tehnologije naplate upotrebe putne mreže. Put i saobraćaj, vol. 55, br. 3, str. 18-23
- [4] Kuzović, L.T. (1994) Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže. Beograd: Saobraćajni fakultet
- [5] Brans, J. P., & Mareschal, B. (2005). PROMETHEE methods. In Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys (pp. 163-186). Springer New York.
- [6] Brans, J.P., Vincke, Ph., Mareschal, B. (1986) How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. European Journal of Operational Research / EJOR, 24, 2, 228-238
- [7] <http://www.promethee-gaia.net/software.html>



## PRIMENA METAHEURISTIKA NA OPTIMIZACIJU DINAMIČKE IZDRŽLJIVOSTI I RADNOG VEKA KOD KUGLIČNIH LEŽAJA

### META-HEURISTICS APPLICATION TO OPTIMISE BALL BEARINGS DYNAMICAL LOAD RATINGS AND RATING LIFE

MARIJA MILOJEVIĆ-JEVRIĆ<sup>1,2</sup>, TATJANA DAVIDOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Matematički Institut SANU, {mmilojevic, tanjad}@mi.sanu.ac.rs

<sup>2</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

**Rezime:** *Primenom metaheuristika, razvijen je novi metod za optimizaciju dinamičke izdržljivosti i radnog veka kod ležaja u funkciji 10 različitih parametara. Cilj istraživanja je bio utvrđivanje parametara koji imaju najveći uticaj na postizanje maksimalnog radnog veka. Upoređeni su rezultati za tri metaheuristike i dobijena su poboljšanja u odnosu na vrednosti iz kataloga.*

**Ključne reči:** *Kontinualna optimizacija, Unutrašnja geometrija ležaja, ISO standard, Genetski algoritmi, Lokalno pretraživanje.*

**Abstract:** *A new method for optimisation of dynamical load ratings and rating life, as a function of 10 different parameters, of rolling bearings was developed using meta-heuristics. The aim of this research was to determine which parameters have the largest influence on achieving the maximum working life. The results obtained with three meta-heuristic methods are compared and the improvement, with respect to the catalogue values, is achieved.*

**Keywords:** *Continuous optimisation, Inner geometry of bearings, ISO Standard, Genetic Algorithm, Local search.*

## 1. INTRODUCTION

A long fatigue life is one of the most important criteria in the optimum design of needle roller bearings (NRBs). Therefore, in (Waghole and Tiwari 2014) the dynamic capacity of the bearing was optimised. The non-linear optimisation model has been formulated and threaded with Artificial Bee Colony Algorithm (ABCA), Differential Search Algorithm (DSA), Grid Search Method (GSM) and Hybrid Method (HM, a combination of the ABCA/DSA and GSM). A total of four design variables corresponding to bearing geometry were considered. The dynamic capacity of optimised bearings was found better than those specified in bearing catalogues.

A constraint non-linear optimisation procedure based on GAs for designing rolling-element bearings has been developed in (Rao and Tiwari 2007). Based on maximum fatigue life, the objective function and associated kinematic constraints have been formulated. The design parameters include the bearing pitch diameter, the rolling element diameter, number of rolling elements and inner and outer-race groove curvature radii. The constraints contain unknown constants, which have been given ranges based of parametric studies through initial optimisation runs. In the final run of the optimisation, these constraint constants are also included as design parameters. The optimised design parameters yield better fatigue life as compared to those listed in standard catalogues. A convergence study has been performed to ensure that the optimised design variables do not suffer from local extremes.

Dynamical load ratings and rating life of a rolling bearing, based on (Standard ISO 281 and 76), depends on many factors, and it is obvious that the rating life can be extended by optimising the values of influential parameters. The goal of the optimisation was to find the optimal inner geometry of bearings based on the outer geometry. Meta-heuristics are the customary tools and in this study we used three well known meta-heuristic methods.

The optimisation is performed in the form of a numerical simulation. Apart from the formulas and procedures from (Standard ISO 281 and 76), the values of some specific parameters were varied in order to find the appropriate combination of geometry, rating factor (the value of which varies with a bearing type and design), static and dynamic radial load rating, the value of the parameter for mobility conditions, the dynamic radial and axial factor and the factor which depends on the geometry of the bearing components and the material.

In order to simplify the model, the radial component of the actual bearing load and the axial component of the actual bearing load are set as constant. Optimised parameters are mostly related to the bearings geometry, and the term geometry refers to an optimisation against the number of rolling elements in a single row bearing, the nominal ball diameter, the pitch diameter of the bearing and the radial contact angle of bearings. All of these factors, together with the factor of geometry and material, directly impact the calculation of basic dynamic load rating.

## 2. PROBLEM FORMULATION

The use of the term basic rating life  $L_{10}$  refers to the optimisation against the load rating and the equivalent load, which is formulated in the equation:

$$L_{10} = \frac{C_r^{10/3}}{P_r} \quad (1)$$

Basic dynamic radial load rating for radial ball bearings is given by the following equations from (Standard ISO 281):

$$C_r = \begin{cases} b_m f_c (i \cos \alpha)^{0.7} Z^{2/3} D_b^{1/8}, & D_b \leq 25.4 \text{ mm} \\ 3,647 b_m f_c (i \cos \alpha)^{0.7} Z^{2/3} D_b^{1/8}, & D_b > 25.4 \text{ mm} \end{cases} \quad (2)$$

Load rating  $P_r$  is given by the equation:

$$P_r = XF_r + YF_a \quad (3)$$

where  $X$  denotes the dynamic radial load factor and  $Y$  stands for the dynamic axial load factor. To find the optimum value of load rating  $P_r$ , it is necessary to find the optimal values of factors  $X$  and  $Y$ , which will be explained in the next sections.

Therefore, the optimisation function to be maximised is

$$L_{10}(S),$$

for  $S = \{K_{D_{\min}}, K_{D_{\max}}, \varepsilon, m, \beta, Z, D_b, D_m, f_i, f_o\}$ , with respect to the following constraints:

$$c_1(S) = \frac{\Phi}{2 \arccos(D_b / D_m)} - Z + 1 \geq 0 \quad (4)$$

$$c_2(S) = 2D_b - K_{D_{\min}}(D - d) \geq 0 \quad (5)$$

$$c_3(S) = K_{D_{\max}}(D - d) - 2D_b \geq 0 \quad (6)$$

$$c_4(S) = D_m - (0,5 - m)(D + d) \geq 0 \quad (7)$$

$$c_5(S) = (0,5 + m)(D + d) - D_m \geq 0 \quad (8)$$

$$c_6(S) = \frac{d_i - d}{2} - \frac{D - d_o}{2} \geq 0 \quad (9)$$

$$c_7(S) = 0,5(D - D_m - D_b) - \varepsilon D_b \geq 0 \quad (10)$$

$$c_8(S) = \beta W - D_b \geq 0 \quad (11)$$

$$c_9(S) = f_i \geq 0,515 \quad (12)$$

$$c_{10}(S) = f_o \geq 0,515 \quad (13)$$



$$c_{11}(S) = \left[ \frac{U^2 + (D/2 - T - D_b)^2 - (d/2 + T)^2}{2U(D/2 - T - D_b)} \right] + 1 \geq 0 \quad (14)$$

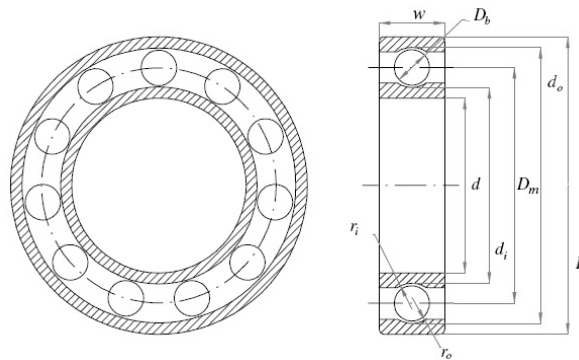
$$c_{12}(S) = 1 - \left[ \frac{U^2 + (D/2 - T - D_b)^2 - (d/2 + T)^2}{2U(D/2 - T - D_b)} \right] \geq 0 \quad (15)$$

$$c_{13}(S) = (D_b / D_m) + 1 \geq 0 \quad (16)$$

$$c_{14}(S) = 1 - (D_b / D_m) \geq 0 \quad (17)$$

For the convenience of the bearing assembly, the number  $Z$  and the diameter  $D_b$  of balls should satisfy the requirement given by the relation (4), where  $\Phi_o$  is the maximum tolerable assembly angle (Gupta et al., 2007), calculated by the following equation (see Fig. 1):

$$\Phi_o = 2\pi - 2 \arccos \left[ \frac{U^2 + (D/2 - T - D_b)^2 - (d/2 + T)^2}{2U(D/2 - T - D_b)} \right] \text{ where } T = (D - d - 2D_b)/4 \text{ and } U = (D - d)/2 - 3T.$$



**Figure 1:** Radial ball bearing macro-geometries from (Gupta et al., 2007)

In addition to the presented constraints, some geometrical characteristics are expressed by the given lower and upper bounds:  $3 \leq Z \leq 200$ ,  $1 \leq D_m \leq 500$ ,  $1 \leq D_b \leq 500$ ,  $0,6 \leq K_{D_{\max}} \leq 0,7$ ,  $0,4 \leq K_{D_{\min}} \leq 0,5$ ,  $0,3 \leq \varepsilon \leq 0,35$ ,  $0,03 \leq m \leq 0,08$ ,  $0,7 \leq \beta \leq 0,85$ .

### 3. ADDITIONAL PARAMETER SETTINGS

Values of  $b_m$  for radial ball bearings, are given by Table 1 from (ISO Standard 76). In this study  $b_m = 1,3$  has been adopted, since only radial contact ball bearings are investigated. The  $f_c$  can be calculated as follows:

$$f_d = 37,91 \left\{ 1 + [1,04 f_g^{1,72} f_{io}^{0,41}]^{10/3} \right\}^{-0,3} \left[ \frac{\gamma^{0,3} (1 - \gamma)^{1,39}}{(1 + \gamma)^{1/3}} \right] \left[ \frac{2f_i}{2f_i - 1} \right]$$

where  $\gamma = D_b \cos \alpha / D_m$ ,  $f_g = \frac{1 - \gamma}{1 + \gamma}$ ,  $f_{io} = \frac{f_i(2f_o - 1)}{f_o(2f_i - 1)}$ , and  $\alpha$  is the free contact angle that depends upon the type of a bearing. In order to simplify the model, the following working conditions are given:  $F_a = 100N$ ,  $F_r = 1500N$ . For the purpose of this study, several bearing types are selected. They are described by the outer dimensions  $D, d, W$  as it is presented in the first four columns of Table 4, while the corresponding inner dimensions are obtained by optimisation methods. The selected bearing types belong to the class of the single-row-deep-groove ball bearings, and therefore it holds that  $i = 1$  and  $\alpha = 0^\circ$ .

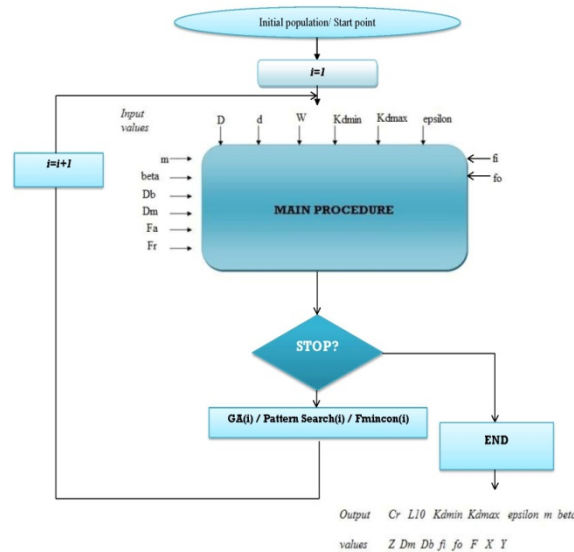
### 4. INTERPOLATION OF THREE-DIMENSIONAL DATA

To find a proper value of the dynamic radial load factor  $X$  and the dynamic axial load factor  $Y$ , it was necessary to perform an interpolation based on the relative axial load (given by the relations  $f_o F_a / C_{or}$  and

$F_a / (iZD_b^2)$ ) and  $e$  (the limiting value of  $F_a / F_r$ ). Values of the appropriate dynamic radial and axial load factors, for the ranges of above-mentioned three values, are given in Table 3 from (Standard ISO 281). The relations  $f_o F_a / C_{or}$  and  $F_a / (iZD_b^2)$  are input values of the separate interpolation module, and  $e$  is a result of calculations based on the working conditions  $F_a$  and  $F_r$  where  $C_{or} = f_o iZD_b^2 \cos \alpha$ .

### 5. META-HEURISTICS IMPLEMENTATION

The above described optimisation problem contains the continuous non-linear objective function, with linear continuous constraints. Therefore, various optimisation methods, designed for this case can be applied. In this study, the optimisation is performed using three different meta-heuristic methods: Genetic algorithms (GA), Multi-start Pattern search (MPS), Multi-start Fmincon (MF). Fmincon is the optimisation function from the MATLAB optimisation tool in (Venkataraman 2009). The proposed optimisation algorithm is presented in Fig 2.



**Figure 2:** Optimisation algorithm

The MATLAB optimisation functions are used in order to implement all the proposed methods. The methods use the same main procedure and the same input values. Extensive experimental evaluation is performed in order to determine the best parameter settings for each of the used methods. The resulting settings are described in Tables 1, 2 and 3.

**Table 1:** The parameter settings in GA

Parameter	Settings
Poll method	GPS Positive basis 2N
Complete poll	On
Polling order	Success
Complete search	On
Search method	GPS Positive basis 2N
Mesh Initial size	1.0
Mesh Max size	Inf
Accelerator	On
Rotate	On
Scale	On
Expansion factor	2.0
Contraction factor	0.5
Initial penalty	10
Penalty factor	100
Bind tolerance	$10^{-3}$
Cache	On
Tolerance	Eps
Size	$10^4$

**Table 2:** The parameter settings in PS

Parameter	Settings
Population	Double vector
Population size	50
Initial population	Randomly generated
Scaling function	Proportional
Selection function	Tournament
Elite count	10
Crossover fraction	0.6
Mutation	Adaptive feasible
Crossover function	Two point
Number of generation	1000 generation
Stall time	50 sec

**Table 3:** The parameter settings in Fmincon

Parameter	Settings
Algorithm	Active set
Derivatives	Approximated by solver
Max iterations	400
Max function evaluations	1000
X tolerance	$10^{-6}$
Nonlinear constraint tolerance	$10^{-6}$
SQP constraint tolerance	$10^{-6}$
Function value check	None
User-supplied derivatives	None
Minimum perturbation	$10^{-8}$
Maximum perturbation	0.1
Type	Forward differences
Hessian	None
Typical X values	ones(10,1)

The stopping criterion is either of the two: the maximum number of generations or the maximum stall time. Since PS is an iterative (local search) heuristic method, the parameter settings (as presented in Table 2) are given for a single execution (without restarts). The stopping criterion is either of the six: Mesh tolerance ( $10^{-6}$ ) or Max iterations ( $100 \times$  number of variables), or Max function evaluations ( $2000 \times$  number of variables), or X tolerance ( $10^{-6}$ ), or Function tolerance ( $10^{-6}$ ), or Nonlinear constraint tolerance ( $10^{-6}$ ). The starting points are created randomly from the set of feasible solutions. The number of PS restarts is determined by reaching the GA stopping time.

Contrary to PS, Fmincon is a gradient-based method for non-linear constraint optimisation problems which is designed to work on problems where the objective and constraint functions are both continuous and have continuous first derivatives (Venkataraman, 2009). It is also an iterative (local search) heuristic method and, again, the parameter settings given in Table 3 correspond to a single execution. Fmincon attempts to find a constrained minimum of a scalar function of several variables starting from an initial estimate. The initial solutions for each restart and the number of restarts are determined in the same way as for MPS.

## 8. RESULTS

The simulation of dynamical load ratings of normal contact ball bearings is conducted by changing the various influential factors. As a result, the corresponding values of the rating life and dynamic capacity are measured and optimised by the applied meta-heuristic methods. At the same time, the extent to which specific factors influence the best value of the rating life is determined.

This optimisation problem is a non-linear, multi-objective problem with inequality constraints. Two functions, the dynamic load capacity and maximum working life (under a certain conditions), are optimised simultaneously. However, since the two functions are not conflicted, optimisation is conducted the same way as for single-objective problems.

The comparative results for three methods are given in tables 4 and 5. It appears that, by changing the number of balls in a ball bearing, it is possible to increase the dynamic load capacity with comparison to the available standards. Increasing of the dynamic load capacity leads to the increase in the value of the dynamic working life. The MF method requires less computing time with respect to GA and MPS. It generates the best values for the dynamic load capacity in six out of eight bearings type. GA gives the best results for working life in five out of eight cases. The recommended values for the number of balls are  $Z = 7, Z = 7, Z = 8, Z = 8, Z = 8, Z = 9, Z = 9$  and  $Z = 9$ , respectively, for the considered eight types of bearings in order to achieve the best values for the dynamic load capacity and the largest working life.

**Table 4:** Comparative results for three optimisation methods

Catalogue values from Shigley et al., 1989					Heuristic optimisation								
Bear. type	D	d	W	Dyn. Cap	GA results			PS results			Fmincon results		
					Dyn. Cap	Work. life	CPU time	Dyn. Cap	Work. life	CPU time	Dyn. Cap	Work. Life	CPU time
6200	30	10	9	5070	6842.4	<b>540.502</b>	43.4931	<b>6848.8</b>	531.169	41.746	6848.7	531.8595	<b>2.6832</b>
6201	32	12	10	6890	7223.7	<b>647.61</b>	21.2473	7223.7	627.242	83.772	<b>7238.6</b>	631.5472	<b>0.6084</b>
6202	35	15	11	7800	8079.6	940.601	18.3301	<b>8319.3</b>	<b>989.242</b>	8.5864	8263	971.6416	<b>0.39</b>
6203	40	17	12	9560	10636	<b>2351.4</b>	17.1445	10667	2181.8	87.719	<b>10703</b>	2186.7	<b>0.2808</b>
6204	47	20	14	12700	14211	<b>6178</b>	100.761	14243	5589.6	83.335	<b>14291</b>	5589.6	<b>0.234</b>
6205	52	25	15	14000	15307	7914.30	29.7962	15998	<b>8233.3</b>	41.543	<b>16085</b>	8232.6	<b>0.4212</b>
6206	62	30	16	19500	19974	19215	45.2101	21756	<b>22942</b>	42.370	<b>21878</b>	22941	<b>1.3416</b>
6207	72	35	17	25500	28241	<b>60961</b>	55.4272	28285	55027	83.850	<b>28447</b>	55028	<b>0.4056</b>

## 9. CONCLUSION

GA has proven to be a suitable technique in situations when it is necessary to deal with continuous optimization problems. However, it is always good to have comparative results obtained by other methods. Therefore, multi-start Pattern Search (PS) and multi-start Fmincon are applied to optimize the problem of dynamic load capacity and working life of ball bearings and the comparative results with GA are presented.

**Table 5:** Comparative results for three optimisation methods

Bear. type	Opt. met.	Design parameters										Calculated values		
		$K_{Dmin}$	$K_{Dmax}$	$\varepsilon$	$m$	$\beta$	$Z$	$D_m$	$D_b$	$f_i$	$f_o$	$F$	$X$	$Y$
6200	GA	0.431	0.699	0.301	0.047	0.848	7	6.999	18.772	0.515	0.515	4.015	0.56	2.02
6200	PS	0.4	0.7	0.3	0.066	0.85	7	6.999	18.8	0.515	0.515	4.015	0.56	2.02
6200	MPS	0.4	0.7	0.3	0.08	0.778	7	7.000	18.8	0.515	0.515	4.015	0.56	2.06
6201	GA	0.411	0.7	0.3	0.0483	0.7094	7	7.000	20.800	0.515	0.515	3.892	0.56	2.06
6201	PS	0.4	0.7	0.3	0.066	0.849	7	7.000	20.799	0.515	0.515	3.89	0.56	2.06
6201	MPS	0.4	0.7	0.3	0.038	0.85	7	7.000	20.8	0.515	0.515	3.892	0.56	2.06
6202	GA	0.401	0.700	0.302	0.067	0.819	8	6.853	24.000	0.515	0.515	3.732	0.56	2.06
6202	PS	0.4	0.7	0.3	0.066	0.85	8	7.000	23.799	0.515	0.515	3.7926	0.56	2.10
6202	MPS	0.4	0.7	0.3	0.08	0.85	8	7.000	23.1	0.515	0.515	3.76	0.56	2.06
6203	GA	0.487	0.700	0.3104	0.0583	0.7640	8	8.050	26.876	0.515	0.515	3.7705	0.56	2.22
6203	PS	0.4	0.7	0.3	0.0665	0.8484	8	8.050	27.11	0.515	0.515	3.7705	0.56	2.22
6203	MPS	0.4001	0.7	0.3	0.08	0.7	8	8.050	27.12	0.515	0.515	3.7705	0.56	2.22
6204	GA	0.4008	0.700	0.3001	0.0666	0.8096	8	9.4341	31.903	0.515	0.515	3.7668	0.56	2.3
6204	PS	0.4	0.7	0.3	0.0663	0.8484	8	9.450	31.879	0.515	0.515	3.7693	0.56	2.3
6204	MPS	0.4	0.7	0.3	0.08	0.85	8	9.450	31.88	0.515	0.515	3.7693	0.56	2.3
6205	GA	0.4037	0.6974	0.3051	0.0536	0.7909	9	9.1936	36.967	0.515	0.515	3.6268	0.56	2.3
6205	PS	0.4	0.7	0.3000	0.0665	0.8484	9	9.450	36.879	0.515	0.515	3.6585	0.56	2.3
6205	MPS	0.4	0.7	0.3	0.08	0.7	9	9.450	36.88	0.515	0.515	3.6585	0.56	2.3
6206	GA	0.499	0.7	0.3490	0.0645	0.8461	9	11.200	42.604	0.515	0.515	3.6529	0.56	2.3
6206	PS	0.4	0.7	0.3000	0.0663	0.8484	9	11.200	44.079	0.515	0.515	3.6529	0.56	2.3
6206	MPS	0.4	0.7	0.3	0.0318	0.85	9	11.200	44.08	0.515	0.515	3.6529	0.56	2.3
6207	GA	0.4197	0.699	0.3101	0.0535	0.8053	9	12.946	50.966	0.515	0.515	3.6486	0.56	2.3
6207	PS	0.4000	0.7	0.3000	0.0663	0.85	9	12.950	51.279	0.515	0.515	3.6489	0.56	2.3
6207	MPS	0.4	0.7	0.3	0.08	0.85	9	12.950	51.28	0.515	0.515	3.6489	0.56	2.3

The proposed optimization methods provide the increase in dynamic capacity with respect to the values from catalogue in all eight examples. The average percentage of the improvement is 9.4%, 12.2% and 12.6% for GA, PS and Fmincon respectively. Even assuming the producers left some degree of safety, the percentage of the improvement obtained by meta-heuristic optimization can be considered as significant. This preliminary results showed that single-solution meta-heuristic methods outperform GA and this phenomena maybe interesting for further evaluations.

## REFERENCES

- [1] Gupta, S., Tiwari, R. and Nair, S. B. (2007). Multi-objective design optimisation of rolling bearings using genetic algorithms. *Mechanism and Machine Theory*, 42, 1418–1443.
- [2] Rao, B. R. and Tiwari, R. (2007). Optimum design of rolling element bearings using genetic algorithms. *Mechanism and Machine Theory*, 42, 2, 233–250.
- [3] Shigley, J. E. and Mischke, C. R. (1989) *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [4] Standard ISO 281. Rolling bearings. Dynamic load ratings and rating life, 2007.
- [5] Standard ISO 76. Rolling bearings. Static load ratings, 2006.
- [6] Venkataraman, P. (2009). *Applied Optimization with MATLAB Programming*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [7] Waghole, V. and Tiwari, R. (2014). Optimization of needle roller bearing design using novel hybrid methods. *Mechanism and Machine Theory*, 72, 71–85.

# **INDEKS AUTORA**

## A

Andrejić Milan: 269  
Andrić-Gušavac Bisera: 263  
Antić Slobodan: 245  
Aristovnik Aleksander: 182  
Arizanović Milošević Katarina: 381  
Arsić Slaviša: 497

## B

Babić Branko: 694  
Babić Danica: 536  
Backović Marko: 19;730  
Bajić Zoran: 700  
Baroš Tatjana: 82  
Bartulović Zoran: 510  
Belošević Ivan: 542;575  
Bjelić Nenad: 275  
Bjelica Momčilo: 126  
Bogdanov Jovica: 700  
Bojović Nebojša: 548  
Bojović Nenad: 548  
Borčić Marija: 644  
Bosiočić Stanislava: 94  
Bošnjak Saša: 137  
Bošnjak Zita: 221  
Božanić Darko: 368  
Božilović Zvonimir: 735  
Bozin Vladimir: 648  
Božović Miroslav: 564  
Brimberg Jack: 251  
Bulajić Milica: 653

## Ć

Ćirić Ivana: 149;387  
Ćirić Zoran: 131;387  
Ćirković Dragan: 473  
Ćirović Goran: 107  
Ćujić Mara: 553

## Č

Čangalović Mirjana: 245;263  
Čavka Ivana: 705  
Čebašek Vladimir: 522  
Čičević Svetlana: 622  
Čokorilo Olja: 705  
Čupić Aleksandar: 741

## D

Davidov Tatjana: 137  
Davidović Branko: 558;564  
Davidović Tatjana: 340;75  
Dedić Tarik: 362  
Delias Pavlos: 238  
Delibašić Boris: 238;427  
Dimić Srđan: 398;446  
Dimitrijević Branka: 305;593  
Dimitrijević Radenko: 700  
Dobrota Marina: 653  
Dobrota Milan: 281  
Dožić Slavica: 536  
Drenovac Dragana: 257

## Đ

Đogatović Marko: 635;639  
Đoković Aleksandar: 14  
Đorđević Ivan: 37  
Đorđević Lena: 245  
Đurić Branimir: 622

## E

Eškić Milorad: 664

## F

Filipović Jelena: 9

## G

Gajić Grozdana: 522  
Gajović Vladimir: 705;711  
Gigović Ljubomir: 88;100  
Glavić Draženko: 747  
Grljević Olivera: 221

## I

Indić Dejan: 717  
Išljamović Sonja: 417  
Istrat Višnja: 227  
Ivanišević Stojan: 387  
Ivanov Nikola: 570  
Ivić Miloš: 542;575

Ivković Ivana: 659

## J

Jakšić Krüger Tatjana: 340  
Janićijević Stefana: 251;423  
Janković Irena: 54;71  
Janković Olivera: 232  
Janković Radomir: 335  
Janković Slađana: 175  
Jeremić Olivera: 335;485  
Jeremić Radun: 700  
Jeremić Veljko: 653  
Jezdimirović Mirko: 335  
Jovanović Aleksandar: 558;564  
Jovanović Branka: 514  
Jovanović Marija: 2  
Jovanović Milica: 553  
Jovanović Milenković Marina: 37  
Jović Saša: 497  
Jovović Marija: 76  
Jurišić Ignjat: 473

## K

Kalić Milica: 587  
Kaličanin Đorđe: 392  
Kalinić Maja: 82  
Kankaraš Milan: 398;446  
Kapor Nenad: 485  
Karović Samed: 451;469  
Kelemenis Ksenija: 2;473  
Kilibarda Milorad: 269  
Kirin Snežana: 518;522  
Knežević Vladan: 392  
Kočović Jelena: 59;76  
Kokelj Tugomir: 491  
Končar Jelena: 27  
Kosijer Milana: 575  
Kostadinović Dragan: 446  
Kostić Dragutin: 548  
Kostić Miodrag: 94  
Kostić Mladen: 457  
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra: 581  
Kostić-Stanković Milica: 355  
Koulompouros Nikolaos: 439  
Kovač Mitar: 463  
Kovačević Ivana: 293  
Krstić Mladen: 311;323  
Kuljanin Jovana: 587  
Kuljanski Sonja: 31;160  
Kutlača Đuro: 203;208;214  
Kuzmanović Boban: 100  
Kuzmanović Marija: 404;669

## L

Lalić Nenad: 439  
Lalić Srđan: 227;417  
Lazarević Dragan: 639  
Lazarević Olgica: 491  
Lazić Bratislav: 433  
Lazović Rade: 346  
Lečić-Cvetković Danica: 245  
Lekić Valentina: 648  
Letić Duško: 558  
LeviJakšić Maja: 553  
Lojić Ranko: 451  
Lončar Dragan: 680  
Lukić Darko: 88  
Lukić Nemanja: 131  
Lukovac Vesko: 479

## M

Macura Dragana: 548;593  
Makajić-Nikolić Dragana: 299;355  
Malić Milan: 427  
Marčeta Miroslav: 113;119  
Marcikić Aleksandra: 330;675  
Marijanac Simeun: 514  
Marković Aleksandar: 542  
Marković Milan: 542  
Marković Petar: 238  
Marković Zoran: 530  
Martić Milan: 404  
Maslarić Marinko: 287  
Mataradžija Amra: 351  
Mataradžija-Smailagić Adna: 351  
Matijević Marija: 675  
Matković Predrag: 155  
Mihić Olivera: 684  
Mijić Nikolina: 100  
Mikavica Branka: 581  
Milenković Dejan: 37  
Milenković Nemanja: 14  
Milenković Nina: 65  
Milenković Ivan: 143  
Miletić Milorad: 593  
Milić Aleksandar: 469  
Milinović Momčilo: 335;485  
Milisavljević Jelica: 669  
Miljanović Igor: 510;518;530  
Miljanović Mirjana: 41;403  
Milojević-Jevrić Marija: 75  
Milošević Bojana: 648  
Milošević Dragan: 526  
Milutinović Aleksandar: 518;522  
Minović Miroslav: 143

Mirčetić Dejan: 287  
Mirkov Nenad: 149  
Mirković Bojana: 598  
Mitić Vlada: 398  
Mitrašević Mirela: 59  
Mitrović Snežana: 107  
Mladenović Nenad: 251;423  
Mladenović Snežana: 175  
Mučibabić Spasoje: 2;473  
Mutavdžić Dragana: 410

## N

Nedeljković Ranko: 257  
Nešić Zoran: 166  
Netjasov Feđa: 570;604  
Nikolić Dragan: 107  
Nikolić Miloš: 610;616  
Nikolić Nebojša: 188;335  
Nikolić Nenad: 735  
Nikoličić Svetlana: 287  
Novović Snežana: 198

## O

Obradović Marko: 648

## P

Palibrk Milko: 227  
Pamučar Dragan: 368  
Pandžić Jelena: 119  
Pandžić Slobodan: 119  
Panić Biljana: 293  
Paskota Mira: 587  
Paunović Milorad: 664  
Pavlićević Veselin: 155  
Pavlović Petar: 299  
Peranović Miodrag: 149  
Petrović Ivan: 479  
Petrović Dalibor: 463;485  
Pjevčević Danijela: 305  
Popović Dragan: 41  
Popović Dražen: 275  
Popović Milena: 669  
Popović Zoran: 19;730  
Popović Petrović Ivana: 71  
Popović-Pantić Sanja: 192  
Potkonjak-Lukić Brankica: 463  
Praštalo Željko: 514;526  
Pupavac Drago: 25

## R

Radivojević Gordana: 433;711  
Radojević Dragan: 374  
Radojičić Milan: 14  
Radojičić Miroslav: 166  
Radonjić Vesna: 581  
Radosavljević Milinko: 510  
Radosavljić Nenad: 510  
Radovanov Boris: 330;675  
Rajić Vesna: 659;680  
Rakonjac-Antić Tatjana: 59  
Raković Lazar: 155  
Randelović Aca: 491  
Randelović Saša: 411  
Ratković Branislava: 317  
Regodić Miodrag: 88;100  
Ristić Vladimir: 451  
Rosić Žarko: 684  
Rovčanin Adnan: 351

## S

Sakal Marton: 155  
Savić Gordana: 553  
Sedlak Otilija: 387  
Semenčenko Dušica: 192  
Simović Aleksandar: 47  
Slavković Rade: 469  
Sokolović Željko: 263  
Staletić Nada: 47  
Stamenković Mladen: 19;730  
Stamenković Nikola: 94  
Stanić Branimir: 628  
Stanojević Jelena: 689  
Stanojević Milorad: 635;639  
Stefanov Danijela: 355  
Stevanović Danijel: 622  
Stojanović Mirjana: 581  
Stojanović Tatjana: 82  
Stojković Biljana: 198;723  
Suknović Milija: 427

## Š

Šelmić Milica: 593;610  
Šendelj Ramo: 362  
Šormaz Gorana: 433  
Šošević Uroš: 143  
Štirbanović Zoran: 530  
Štrbac Dijana: 203;214



## T

Tadić Snežana: 311;323  
Teodorović Dušan: 610;616  
Terzić Miroslav: 479  
Tešanović Branko: 497  
Tomić Slavoljub: 119  
Tornjanski Vesna: 439  
Tošić Vojin: 598;604  
Totić Selena: 14  
Trifunović Aleksandar: 622  
Trifunović Dejan: 76  
Trpković Ana: 628  
Tubić Vladan: 628;747  
Tumbas Pere: 155

## U

Unkašević Tomislav: 31;160  
Urošević Dragan: 251;423  
Uzelac Ana: 175

## V

Vasojević Nena: 208  
Velimirović Kosta: 503  
Velimirović Nemanja: 503  
Vesić Vasović Jasmina: 166  
Vidas Marijo: 628  
Vidović Milorad: 317  
Vujošević Mirko: 281;293;299  
Vukadinović Katarina: 305  
Vukić Milena: 404  
Vukićević Ivana: 305  
Vukmirović Aleksandra: 410  
Vulović Marija: 410  
Vuruna Mladen: 717

## Z

Zečević Aleksandra: 171  
Zečević Slobodan: 311;323  
Zoranović Dragan: 175

## Ž

Žarković Rakić Jelena: 411  
Živković Boško: 54  
Živković Lazar: 203;214