

 **SYM-OP-IS**
2019



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

XLVI International Symposium on Operational Research

Conference Proceedings
(Zbornik radova)

Kladovo, September 15-18, 2019
Serbia



XLVI International Symposium on Operational Research
XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima

www.symopis2019.fon.bg.ac.rs

SYM-OP-IS 2019

Kladovo, September 15– 18, 2019

PROCEEDINGS
ZBORNIK RADOVA

Editors/Editori:

Prof. dr Milan Martić
Prof. dr Dragana Makajić-Nikolić
Prof. dr Gordana Savić



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

PUBLISHER

University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia
Jove Ilića 154, 11000 Belgrade, Serbia

YEAR
2019

ISBN: 978-86-7680-363-7

EXECUTIVE ORGANIZER/ORGANIZATOR



CO-ORGANIZERS/ ORGANIZATORI



Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd



Ekonomski fakultet, Beograd



Matematički institut SANU, Beograd



Rudarsko-geološki fakultet, Beograd



Vojska Srbije



Univerzitet u Banjoj Luci



Ekonomski institut, Beograd



Institut "Mihajlo Pupin", Beograd



Matematički fakultet, Beograd



Saobraćajni fakultet, Beograd



Ministarstvo odbrane Republike Srbije



Društvo operacionih istraživača

SUPPORTED BY/ SYM-OP-IS PODRŽAVAJU



Република Србија
Министарство просвете,
науке и технолошког развоја



АКАДЕМИЈА
ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
СРБИЈЕ

PROGRAMME COMMITTEE / PROGRAMSKI ODBOR

Martić Milan, chair/predsednik, FON, Beograd

Stanojević Milan, deputy chair/zamenik predsednika, FON, Beograd

Aleksić Vule, VGGŠ, Beograd

Čangalović Mirjana, FON, Beograd

Ćirović Goran, VGGŠ, Beograd

Cvijanović Janko, EI, Beograd

Davidović Tatjana, MI SANU, Beograd

Dimitrijević Branka, SF, Beograd

Đorović Boban, Univerzitet odbrane, Beograd

Dugošija Đorđe, Univerzitet u Novom Pazaru

Gigović Ljubomir, Ministarstvo odbrane, Beograd

Janković Irena, EF, Beograd

Kočović Jelena, EF, Beograd

Kovačević-Vučić Vera, FON, Beograd

Kratica Jozef, MI SANU, Beograd

Kutlača Đuro, Institut Mihajlo Pupin, Beograd

Kuzmanović Marija, FON, Beograd

Letić Duško, FTN, Zrenjanin

Makajić-Nikolić Dragana, FON, Beograd

Miljanović Igor, RGF, Beograd

Milovanović Gradimir, MI SANU, Beograd

Mitrović Snežana, VGGŠ, Beograd

Mladenović Nenad, MI SANU, Beograd

Mladenović Zorica, EF, Beograd

Netjasov Feđa, SF, Beograd

Nikolić Dragan, VGGŠ, Beograd

Ognjanović Zoran, MI SANU, Beograd

Petrović Dalibor, Ministarstvo odbrane, Beograd

Petrović Slavica, EF, Kragujevac

Praštal Željko, RGF, Beograd

Preradović Ljubiša, AGGF, Univerzitet u Banjoj Luci

Radojević Dragan, Institut Mihajlo Pupin, Beograd

Savić Gordana, FON, Beograd

Šelmić Milica, SF, Beograd

Sorak Miloš, TF, Banja Luka

Stanić Stanko, EF, Banja Luka

Stanojević Milorad, SF, Beograd

Starčević Dušan, FON, Beograd

Stojković Dejan, Ministarstvo odbrane Beograd

Suknović Milija, FON, Beograd

Urošević Dragan, MISANU, Beograd

Vidović Milorad, SF, Beograd

Vujošević Mirko, FON, Beograd

Vukadinović Katarina, SF, Beograd

Aloise Daniel, Natal University, Brasil

Artiba Abdelhakim, University of Valencia, France

Carrizosa Emilio, University of Sevilla, Spain

Duarte Abraham, Universidad Rey Juan Carlos, Spain

Eremeev Anton, Omsk State University, Russia

Escudero Laureano, Universidad Miguel Hernández, Spain

Hanafi Saïd, University of Valenciennes, France

Hudec Miroslav, University of Economics, Bratislava, Slovakia

Kochetov Yuri, Novosibirsk, Russia

Labbé Martine, Free university of Brussels, Belgium

Melián Batista Belén, University La Laguna, Spain

Migdalas Athanasios, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Moreno-Perez José A., University of La Laguna, Spain

Papageorgiou Markos, Technical University of Crete, Greece

Raidl Guinter, Vienna University of Technology, Austria

Salhi Said, University of Kent, United Kingdom

Sevaux Marc, University of Southern Brittany, France

Sifaleras Angelo, University of Macedonia, Greece

Sörensen Kenneth, University of Antwerp, Belgium

HONORARY PROGRAMME COMMITTEE / POČASNI PROGRAMSKI ODBOR

Andrejić Marko, VA, Beograd	Mihaljević Miodrag MI, Beograd
Backović Marko, EF, Beograd	Milovanović Gradimir, SANU, Niš
Batanović Vladan, IMP, Beograd	Mučibabić Spasoje, MO, Beograd
Borović Siniša, FMMSF, Beograd	Nikolić Ilija, FGM, Beograd
Čabarkapa Obrad, MO, Beograd	Opricović Serafim, GF, Beograd
Cvetković Dragoš, SANU, Beograd	Pap Endre, Univerzitet Singidunum, Beograd
Đorđević Branislav, GF, Beograd	Petrović Radivoj, IMP, AINS, Beograd
Guberinić Slobodan, IMP, Beograd	Rakić Milan, IMP, Beograd
Ilić Aleksandar, Ministarstvo odbrane	Vujić Slobodan, RI, Beograd
Kovač Mitar, MO, Beograd	Vukadinović Svetozar, SF, Beograd
Krčevinac Slobodan, FON, Beograd	Vuleta Jovo, EF, Beograd
<u>Matejić Vlastimir, AINS, Beograd</u>	Zečević Tomislav, EF, Beograd
Mesaroš Katalin, Ekonomski Fakultet, Subotica	

ORGANIZING COMMITTEE / ORGANIZACIONI ODBOR

Dragana Makajić-Nikolić, predsednik OO	Marina Dobrota
Milica Maričić - tehnički sekretar	Dušan Džamić
Gordana Savić	Bisera Andrić-Gušavac
Biljana Panić	Minja Marinović
Veljko Jeremić	Andrijana Bačević

ACKNOWLEDGEMENT FOR MERITS IN DEVELOPMENT OF OPERATIONAL RESEARCH / NOSIOCI POVELJE ZA ZASLUGE U RAZVOJU OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA

Kraut Božidar (1983)	Matejić Vlastimir (2000)
Vadnal Alojzij (1983)	Vujošević Mirko (2000)
Marković Dragoslav (1983)	Borović Siniša (2001)
Ivanović Branislav (1984)	Zečević Tomislav (2001)
Martić Ljubomir (1984)	Vujić Slobodan (2003)
Petrović Radivoj (1984)	Radojević Dragan (2006)
Petrić Jovan (1988)	Čangalović Mirjana (2010)
Zlobec Sanjo (1990)	Mladenović Nenad (2010)
Stanojević Radoslav (1991)	Mučibabić Spasoje (2010)
Vukadinović Svetozar (1993)	Martić Milan (2012)
Krčevinac Slobodan (1993)	Dragoš Cvetković (2013)
Guberinić Slobodan (1993)	Đorđe Dugošija (2017)
Vuleta Jovo (1993)	Ćirović Goran (2017)
Kovačević-Vujić Vera (1998)	Milorad Vidović (2019)
Teodorović Dušan (1998)	

PREFACE / PREDGOVOR

The Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade traditionally, in cooperation with other higher education and scientific institutions and associations, organizes a SYM-OP-IS symposium to advance the theory and practice of operational research, business analytics and related disciplines. This year, the 46th Symposium on Operations Research - SYM-OP-IS is being organized as an international scientific conference. The symposium brings together domestic and international academic and scientific public, OR practitioners, public and non-governmental sector, as well as students who participate in discussing and analyzing relevant issues in the field of contemporary operational research.

The aim of the Symposium is to provide a unique forum for discussion of current issues and exchange of the latest information, ideas and innovative solutions in the field of operational research in the context of improving business achievements and results. Authors have the opportunity to publish scientific and professional results as research papers or case studies. This year's conference program is organized through thematic sessions and consists of 132 papers by authors from 10 countries. In addition to thematic sections, plenary lectures of eminent scientists in the field of business intelligence data science, efficiency measurement and behavioral operational research will be held as well as a forum on "International Projects in Science and Education".

Scientific Committee Chair

Milan Martić

Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu tradicionalno u saradnji sa drugim visokoškolskim i naučnoistraživačkim organizacijama, kao i naučnim udruženjima, organizuje simpozijum SYM-OP-IS sa ciljem unapređenja teorije i prakse operacionih istraživanja, poslovne analitike i srodnih disciplina. Ove godine se organizuje 46. simpozijum operacionih istraživanja – SYM-OP-IS kao međunarodni naučni skup. Simpozijum okuplja domaću i međunarodnu akademsku i naučnu javnost, predstavnike korporativnog, javnog i nevladinog sektora, kao i studente osnovnih, masterskih i doktorskih studija koji kroz predstavljanje svojih dosadašnjih rezultata, saznanja i iskustava učestvuju u razmatranju i analizi relevantnih pitanja iz oblasti savremenih operacionih istraživanja.

Cilj Simpozijuma je da obezbedi jedinstven forum za diskusiju o aktuelnim pitanjima i razmenu najnovijih informacija, ideja i inovativnih rešenja u oblasti operacionih istraživanja menadžmenta u kontekstu unapređenja poslovnih dostignuća i rezultata. Autori imaju mogućnost da naučne i stručne rezultate publikuju kao istraživačke radove ili studije slučaja. Ovogodišnji program konferencije je organizovan kroz tematske sesije i sastoji se iz 132 rada autora iz 10 zemalja. Uz tematske sekcije, biće održana i plenarna predavanja eminentnih naučnika iz oblasti nauke o podacima poslovne analitike, merenja efikasnosti i bihevijoralnih operacionih istraživanja kao i forum na temu "Međunarodni projekti u nauci i prosveti".

Predsednik Programskog odbora

Milan Martić

TABLE OF CONTENTS / SADRŽAJ

INVITED TALKS / PREDAVANJA PO POZIVU	1
THE MATHEMATICS OF AGEING <i>Gustav Feichtinger</i>	3
MACHINE LEARNING FOR DECISION MAKING IN COMPLEX SYSTEMS <i>Zoran Obradović</i>	3
BIG DATA PERFORMANCE MEASUREMENT <i>Ali Emrouznejad</i>	3
BOUNDED RATIONALITY IN DECISION MAKING MODELS <i>Marija Kuzmanović</i>	5
PERFORMANCE ANALYSIS / ANALIZA PERFORMANSI	11
PRIMENA KOMPOZITNOG INDEKSA U ANALIZI KOMPETENCIJA TRENERA IZ OBLASTI JAVNIH FINANSIJA <i>Snežana Abramović, Gordana Savić</i>	13
PRIMENA INTEGRISANOG PRISTUPA ANALITIČKOG MREŽNOG PROCESA I ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA: PREGLED LITERATURE <i>Jelena Novaković</i>	19
THE APPLICATION OF THE NON-PARAMETRIC METHODOLOGY DEA: THE CASE OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA <i>Toni Naumovski, Violeta Cvetkoska, Lidija Georgieva</i>	25
OCENA DRUŠTVENO-EKONOMSKOG RAZVOJA EVROPSKIH ZEMALJA: DEA PRISTUP <i>Jelena Stanković, Ivana Marjanović, Nebojša Stojković</i>	31
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT/ EKOLOŠKI MENADŽMENT I UPRAVLJANJE PRIRODNIM RESURSIMA	37
OPTIMIZACIJA PROIZVODNJE NA MALOM POLJOPRIVREDNOM GAZDINSTVU <i>Dejan Bogdanović, Ivan Jovanović, Sanela Arsić</i>	39
OPTIMIZACIJA SASTAVA ŠARŽE KONCENTRATA BAKRA U CILJU POSTIZANJA BOLJEG EKOLOŠKOG OTISKA <i>Ivan Jovanović, Dejan Bogdanović, Ivan Mihajlović</i>	44
ODRŽIVOST ŽIVOTNE SREDINE, ZDRAVLJA I SIGURNOSTI SA ASPEKTA DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA <i>Milica Grujić</i>	50
ULOGA OBRAZOVANJA U OSNOVNOJ ŠKOLI U KREIRANJU SVESTI OUPRAVLJANJU OTPADOM <i>Petra Tanović, Danica Bugarski</i>	56
UPOTREBA FACEBOOK-A KAO PLATFORME ZA E-UČENJE: STUDIJA SLUČAJA <i>Nataša Petrović, Jelena Andreja Radaković, Nemanja Milenković, Marko Ćirović</i>	62
PREGLED LINEARNIH OPTIMIZACIONIH PROBLEMA I METODE ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA U OBRADI POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA <i>Bisera Andrić Gušavac, Gordana Savić</i>	68
UPOTREBA ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA U OCENJIVANJU ODRŽIVOSTI POSLOVANJA <i>Jelena Andreja Radaković, Milan Martić</i>	74

ECONOMIC MODELS AND ECONOMETRICS / EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA	81
ANALIZA METODA U IZBORU INVESTICIONE STRATEGIJE <i>Marko Backović, Zoran Popović</i>	83
KORIŠĆENJE PSEUDO -INTEGRALA ZA IZRAČUNAVANJE PREMIJE OSIGURANJA <i>Jelena Stanojević</i>	89
ELECTRONIC BUSINESS / ELEKTRONSKO POSLOVANJE	95
PROCENA ZADOVOLJSTVA KLIJENATA PRI KORIŠĆENJU ELEKTRONSKOG BANKARSTVA: PRISTUP NEURONSKIM MREŽAMA <i>Stefan Zdravković, Jelena Peković, Aleksandar Jovanović</i>	97
MODEL INVESTICIONIH MAPA PRIMENOM SERVISA E-UPRAVE <i>Marina Jovanović-Milenković, Saša Rikanović, Bojan Teodosijević, Davor Đuran, Darko Vučetić</i>	103
FINANCE AND BANKING / FINANSIJE I BANKARSTVO	109
HARMONISATION OF TAX POLICY IN SERBIA WITH THE EUROPEAN UNION DIRECTIVES <i>Saša Ranđelović</i>	111
STOCK MARKETS' FINANCIAL CONNECTEDNESS DURING AND IN THE AFTERMATH OF THE CRISES <i>Irena Janković</i>	117
GEOINFORMATION SYSTEMS / GEOINFORMACIONI SISTEMI	123
PROJEKTOVANJE KONTROLNE GEODETSKE MREŽE ZA OSMATRANJE KLIZIŠTA <i>Dragoljub Sekulović, Dragana Skorup, Ivana Ilić</i>	125
MODEL ZA AUTOMATSKU GENERALIZACIJU SADRŽAJA SAOBRAĆAJNE KARTE U RAZMERI 1:500 000 NA OSNOVU TOPOGRAFSKE KARTE U RAZMERI 1:250 000 <i>Marko Stojanović, Siniša Drobniak, Ana Vučićević</i>	131
KARTIRANJE LOKACIJA OSETLJIVIH NA KLIZIŠTA PRIMENOM METODA MAŠINSKOG UČENJA <i>Siniša Drobniak, Ljubomir Gigović, Saša Bakrač</i>	137
GEODETSKE PODLOGE U PROSTORNOM PLANIRANJU <i>Slaviša Tatimirović, Dragana Skorup, Slavko Vasiljević</i>	142
KOMBINOVANA PRIMENA GIS-A I VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U PROGNOZIRANJU ŠUMSKOG POŽARA <i>Ljubomir Gigović, Siniša Drobniak, Darko Lukić</i>	148
INTERAKTIVNO ORIJENTISANI INFORMACIONI SISTEM ZA PREDVIĐANJE POPLAVA <i>Dragoljub Sekulović, Mladen Amović, Predrag Kovačević</i>	154
IZRADA MODELA PROSTORA PRIMENOM LIDAR TEHNOLOGIJE <i>Ljubomir Gigović, Biljana Antunović, Miodrag Regodić, Ivana Janković</i>	160
PROMENA KONTRASTA NA RGB SNIMCIMA <i>Nenad Galjak, Miodrag Regodić, Ivan Stokić, Dejan Rončević</i>	165
GRAPHS AND NETWORKS / GRAFOVI I MREŽE	171
FURTHER RESULTS ON THE COSPECTRALITY OF SMITH GRAPHS <i>Dragoš Cvetković, Irena Jovanović, Vesna Todorčević</i>	173
A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH APPROACH TO THE P-MEDIAN PROBLEM WITH BALANCED CONSTRAINTS <i>Kristina Kostić, Zorica Stanimirović</i>	179
GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR ASYMMETRIC VEHICLE ROUTING PROBLEM <i>Luka Matijević, Tatjana Davidović, Vladimir Ilin, Panos Pardalos</i>	185

HEURISTICS / HEURISTIKE	191
REŠAVANJE PROBLEMA MINIMALNOG POGAĐANJA SKUPOVA POMOĆU KARUSEL HEURISTIKE <i>Dragana Makajić-Nikolić, Petar Pavlović, Mirko Vujošević</i>	193
REŠAVANJE DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA PRVOG REDA GENETSKIM ALGORITMIMA <i>Andrija Petrović, Sandro Radovanović, Boris Delibašić, Uglješa Bugarić</i>	199
PROFINJENJE INICIJALNE PODJELE U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE <i>Rava Filipović</i>	205
POSTUPAK PRETRESA I LOKALNO OBNAVLJANJE DOPUSTIVOSTI U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE <i>Rava Filipović</i>	206
INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES / INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE	207
A SIMPLE RESPONSIVE WEB DESIGN SIMULATOR FOR ROUND SCREEN DEVICES BUILT IN JAVASCRIPT <i>Tanja Krunić, Dušan Krstić</i>	209
POBOLJŠANJE BEZBJEDNOSTI UPOTREBOM SISTEMA ZA PRAĆANJE POKRETA OKA <i>Željko Gavrić, Miroslav Minović</i>	215
MEHANIZMI KOMUNIKACIJE U MIKROSERVISNOJ ARHITEKTURI <i>Tatjana Stojanović, Saša Lazarević</i>	220
PRIMENA HOUGH-OVE TRANSFORMACIJE I RAZLIČITIH TEHNIKA POVEZIVANJA DETEKTOVANIH IVICA PRILIKOM IZDVAJANJA REGISTARSKIH TABLICA U DIGITALNOJ SLICI <i>Hana Stefanović, Radosav Veselinović, Goran Bjelobaba, Ana Savić</i>	226
PRIMENA POSLOVNIH PRAVILA U PROCESNO-ORIJENTISANIM APLIKACIJAMA <i>Željana Milošević, Ivan Rakić, Slađan Babarogić, Nenad Aničić</i>	232
PRISTUPI ZA MODELOVANJE VIŠESTRUKO POVEZANIH KARAKTERISTIKA U MODELIMA KARAKTERISTIKA <i>Dejan Stojimirović, Nina Turajlić, Siniša Nešković, Nenad Aničić, Slađan Babarogić</i>	238
RESEARCH & DEVELOPMENT / ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ	245
ON THE SELECTION OF SCIENTIFIC PROJECTS IN THE STRATEGIC RESEARCH INSTITUTE <i>Nebojša Nikolić</i>	247
TRENDS OF BUSINESS ENTERPRISE EXPENDITURE ON R&D BEFORE AND AFTER GLOBAL ECONOMIC CRISIS: EVIDENCE FROM SELECTED SEE COUNTRIES <i>Nikola Vasilić, Đuro Kutlača, Dijana Štrbac</i>	253
R&D EXPENDITURES: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN SERBIA AND SELECTED COUNTRIES <i>Đuro Kutlača, Nikola Vasilić, Lazar Živković</i>	259
COMBINATORIAL OPTIMIZATION / KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA	265
REŠAVANJE PROBLEMA PRERASPOREĐIVANJA KORIŠTENJEM ALGORITAMA NEXT FIT I WORST FIT <i>Zanin Vežović, Kemal Marić, Ilhan Karić</i>	267
PRIMENA ALGORITAMA KOMBINATORNE OPTIMIZACIJE ZA REŠAVANJE PROBLEMA SNABDEVANJA <i>Miloš Petković</i>	273
METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA <i>Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović</i>	279
SVOJSTVA SIMETRIJE REZOLVIRAJUĆIH SKUPOVA GRAFA C2M C2N <i>Nada Mladenović, Nebojša Nikolić</i>	285

LOGISTICS / LOGISTIKA	289
UNAPREĐENJE PROCESA ODLUČIVANJA U KRIZNIM SITUACIJAMA <i>Nebojša Mišić, Momčilo Đorđević, Nenad Zrnić, Sanja Pejić, Radoje Banković</i>	291
JEDAN PRISTUP MODELIRANJU MREŽE ZA UPRAVLJANJE OTPADOM <i>Branka Dimitrijević, Branislava Ratković, Katarina Vukadinović</i>	297
LOCIRANJE DRY PORT TERMINALA: STUDIJA SLUČAJA ZA JADRANSKE LUKE <i>Mladen Krstić, Milovan Kovač, Snežana Tadić</i>	303
OPTIMIZACIJA TROŠKOVA TRANSPORTA U TOKOVIMA POVRATNE LOGISTIKE <i>Vukašin Pajić, Milan Andrejić</i>	309
A HEURISTIC APPROACH TO SOLVING PERIODIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH ZONING <i>Miloš Ružić, Dražen Popović, Doroteja Mičeta</i>	315
SIMULATED ANNEALING APPROACH TO SOLVING VEHICLES SCHEDULING IN SIMULTANEOUS FULL TRUCKLOAD PICKUP AND DELIVERY PROBLEM WITH MULTIPLE TIME WINDOWS <i>Dragana Drenovac, Milorad Vidović, Nenad Bjelić</i>	321
MATHEMATICAL PROGRAMMING / MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE	327
PARAMETRIC ALGORITHM FOR THE FISHER EXCHANGE MODEL WITH SPENDING CONSTRAINTS <i>Vadim Shmyrev</i>	329
A MIXED INTEGER NONLINEAR PROGRAMMING MODEL FOR THE DESIGN OF A BLOOD BANK NETWORK <i>Onur Kaya, Dogus Ozkok</i>	333
SOFT AND BEHAVIORAL OR / MEKA I BIHEJVIORALNA OI	339
ODREĐIVANJE PREFERENCIJA STUDENATA PRILIKOM ODABIRA POSLA PRIMENOM CONJOINTANALIZE <i>Sofija Bundalo, Zoran Rakićević, Marija Kuzmanović</i>	341
IDENTIFIKOVANJE KLJUČNIH FAKTORA KOJI UTIČU NA IZBOR FITNES CENTRA PRIMENOM CONJOINT ANALIZE <i>Ana Rakićević, Andrijana Bačević, Marija Kuzmanović, Bisera Andrić Gušavac</i>	347
PREFERENCIJE STUDENATA FON-A PREMA STRUČNOJ PRAKSI <i>Marija Kuzmanović, Dragana Makajić-Nikolić, Andrijana Bačević</i>	353
SOFT COMPUTING / MEKO RAČUNARSTVO	359
X-RAY IMAGE SEGMENTATION USING PRODUCT-TYPE AGGREGATION OF DISTANCE FUNCTIONS <i>Ljubo Nedović, Endre Pap, Nebojša Ralević, Marija Delić</i>	361
THE NEWTON METHOD FOR SOLVING NONLINEAR EQUATIONS BASED ON AGGREGATION OPERATORS <i>Nebojša M. Ralević, Dejan Čebić</i>	367
OPTIMALNE VREDNOSTI HIPERKUBNE KONTURNE FUNKCIJE <i>Duško Letić, Ivana Berković, Desnica Eleonora, Branislava Radišić</i>	373
SISTEM ZA ALGORITAMSKO TRGOVANJE ZASNOVAN NA FAZI KONTROLERU <i>Vladimir Rajić, Natalija Jovanović, Pavle Milošević, Aleksandar Rakićević, Bratislav Petrović</i>	379
ZATVARANJE TRANSPORTNOG PROBLEMA U POTPUNO INTUICIONOM FAZI OKRUŽENJU <i>Bogdana Stanojević, Milan Stanojević</i>	385
MANAGEMENT / MENADŽMENT	391
THE CHAOTIC MONOPOLY PROFIT GROWTH MODEL AND ADVERTISING <i>Vesna Jablanović</i>	393
A CROSS-COUNTRY EVALUATION OF THE NUMBER OF VALID CERTIFICATES TO GLOBAL MANAGEMENT SYSTEM STANDARDS: EVIDENCE FROM ISO 9001 AND ISO 14001 <i>Biljana Tošić, Ana Horvat, Milica Maričić</i>	398
COMPOSITE INDICATORS AS TOOLS TO EVALUATE TOURISM COMPETITIVENESS <i>Victo Pérez León, Flor Guerrero Casas, Rafael Caballero</i>	399

STILOVI LIDERSTVA U JAVNOJ UPRAVI: SLUČAJ PET LOKALNIH ZAJEDNICA IZ REPUBLIKE SRPSKE <i>Nikola Matijašević, Bojan Baškot</i>	405
UPRAVLJANJE ZNANJEM KAO DETERMINANTA USPEHA UPRAVLJANJA ODNOSIMA S POTROŠAČIMA <i>Aleksandra Stojilković, Marijana Petrović</i>	406
CAPACITY INVESTMENT IN MANUFACTURING SYSTEMS WITH UNCERTAIN OPERATING COST <i>Soheil Sibdari</i>	412
ISPITIVANJE UTICAJA MOBILNOG MARKETINGA NA RAZVOJ ODNOSA SA POTROŠAČIMA <i>Aleksandra Stojilković</i>	418
PROJECT MANAGEMENT SUCCESS FACTORS FOR IMPLEMENTATION OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY <i>Marko Slavković, Marijana Simić</i>	424
PRIMENA METODA QFD U PROJEKTOVANJU INOVACIJA <i>Radul Milutinović, Biljana Stošić</i>	430
RAZLIKE STAVOVA MILENIJALACA U ODNOSU NA PRIMENU KONCEPTA IGARA U PROCESU OBRAZOVANJA – POJAVA “GAMING” UROĐENIKA <i>Mladen Čudanov, Manojlo Maravić, Sandra Jednak, Veljko Jeremić</i>	436
RAZLIKE U MOTIVACIONIM PROFILIMA ZAPOSLENIH U USPEŠNIM ORGANIZACIJAMA I U ORGANIZACIJAMA U PROCESU RESTRUKTURIRANJA <i>Mladen Čudanov, Aleksandar Jokić, Ondrej Jaško</i>	442
ANALIZA FAKTORA OD UTICAJA NA PRISTRASNOST STUDENATA TOKOM MEĐUSOBNE EVALUACIJE <i>Filip Stojković, Milica Maričić, Milan Radojičić, Veljko Jeremić</i>	448
TOWARDS A COMPREHENSIVE APPROACH TO SOLVING COMPLEX PROBLEMS: MODELING DYNAMICS OF SOCIAL SYSTEMS AND SUPPORTING DECISION MAKING <i>Jerzy Michnik</i>	453
ZADOVOLJSTVO ZAPOSLENIH NA RADNOM MESTU <i>Nataša Milošev</i>	458
POTENTIAL BENEFITS OF LESS WORKING HOURS OR AN ADDITIONAL DAY OFF PER WEEK FOR SLOVENIAN AND SERBIAN EMPLOYEES <i>Ana Lambić, Ivan Todorović, Miha Marič</i>	464
MATEMATIČKI MODEL UPRAVLJANJA TROŠKOVIMA U FAZI RAZVOJA PROIZVODA <i>Biljana Milanović, Mitar Bijelić, Želka Bijelić, Zdravko Bijelić</i>	470
UNAPREĐENJE DIREKTNE PRODAJE PRIMENOM METODA OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA <i>Dragoljub Simonović, Snežana Knežević, Marina Popović</i>	471
DATA SCIENCE / NAUKA O PODACIMA	477
MOGUĆNOSTI PRIMENE ANALIZE SENTIMENATA U SAVREMENOJ POSLOVNOJ PRAKSI <i>Marijana Petrović, Aleksandra Stojilković</i>	479
A METHOD FOR MANAGING SENTIMENTS BY LINGUISTIC TERM SETS AND FUZZIFIED DATABASES <i>Miroslav Hudec</i>	485
SELEKCIJA ATRIBUTA U PROCESU MAŠINSKOG UČENJA PRIMENOM SOFTVERSKOG ALATA WEKA <i>Sladana Janković, Ana Uzelac, Snežana Mladenović, Stefan Zdravković</i>	491
FEATURE SUBSETS EVALUATION USING FILTER AND WRAPPER METHODS <i>Sladana Janković, Vladislav Maraš, Mirjana Bugarinović</i>	497
ANALIZA HISTOGRAMA PODATAKA <i>Višnja Ognjenović, Filip Lakatuš, Jelena Stojanov, Vladimir Brtka, Vesna Makitan</i>	503
PRIMENA FURIJEVE TRANSFORMACIJE ZA PREDVIĐANJE KRETANJA VREDNOSTI FINANSIJSKIH VREMENSKIH SERIJA <i>Valentina Ljubisavljević, Ivana Dragović, Ana Poledica</i>	504

BUSINESS ANALYTICS / POSLOVNA ANALITIKA	511
KONKURENTNOST KOMPANIJE IZ UGLA ANALIZE VELIKIH PODATAKA <i>Biljana Chroneos Krasavac, Ema Karamata</i>	513
ZLATNA KOPAČKA – KRITIKA TRENUTNE METODOLOGIJE <i>Milan Radojičić, Aleksandar Đoković, Sandro Radovanović, Nikola Cvetković</i>	519
UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM PRIMENOM ADEKVATNIH INDIKATORA PERFORMANSI <i>Teodora Rajković, Dragana Makajić-Nikolić, Mirko Vujošević, Danica Lečić-Cvetković</i>	524
POREĐENJE PERFORMANSI NEUROEVOLUCIJE I GRADIJENTNOG SPUSTA KAO ALGORITAMA ZA OPTIMIZACIJU TEŽINSKIH KOEFICIJENATA SINAPSI U NEURONSKIM MREŽAMA <i>Milan Šuša</i>	530
ANALIZA UTICAJA CENE FOSILNIH GORIVA I CO2 SERTIFIKATA NA FORMIRANJE CENE ELEKTRIČNE ENERGIJE <i>Minja Marinović, Marko Nikolić</i>	531
MIP - PROTOTIP MODELA INTELIGENTNOG PREDUZEĆA <i>Dragan Vukmirović, Tijana Čomić, Željko Bolbotinović, Đorđe Dabetić, Marina Jovanović Milenković</i>	536
RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT / POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM	543
RAZMIŠLJANJE ZASNOVANO NA RIZIKU U SISTEMU MENADŽMENTA KVALITETA: PREGLED HAZOP METODE <i>Aleksa Sekulović, Jelena Ruso</i>	545
OPTIMIZACIJA STEPENA POUZDANOSTI BLIZINSKIH ELEKTRONSKIH UPALJAČA <i>Zdravko Bijelić, Veljko Petrović, Biljana Milanović</i>	551
OR APPLICATION IN CIVIL ENGINEERING / PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU	557
OPTIMIZACIJA IZBORA I ALOKACIJA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA <i>Marko Dragojević, Abel Duran, Nataša Praščević</i>	559
MODEL EKONOMSKE OPTIMIZACIJE IZBORA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE PRIMENOM PRISTUPA LINEARNOG PROGRAMIRANJA <i>Marko Dragojević, Abel Duran, Nataša Praščević</i>	565
ANALIZA NASELJA UGROŽENIH OD POPLAVA NA PODRUČJU GRADA BANJA LUKA <i>Nevena Đurđević, Sandra Kosić-Jeremić, Snježana Maksimović</i>	571
POVEZANOST USPJEHA STUDENATA GEODEZIJE TOKOM STUDIJA SA KVALIFIKACIONIM ISPITOM I ZAVRŠENOM SREDNJOM ŠKOLOM <i>Ljubiša Preradović, Sandra Kosić-Jeremić</i>	577
MOGUĆNOST PRIMENE 3D MODELA DOBIJENIH METODAMA BLISKOPREDMETNE FOTOGRAFIJE ZA DOKUMENTOVANJE ELEMENATA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA – ASPEKTI TAČNOSTI <i>Slavoljub Tomić, Jelena Trivunović, Slobodan Pandžić</i>	583
MODELOVANJE PONAŠANJA UHPC PRI SAVIJANJU <i>Dragan Nikolić, Goran Čirović, Snežana Mitrović, Olivera Jeremić</i>	589
MOGUĆNOSTI PRIMENE METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA U PROCESU PROJEKTOVANJA SAOBRAĆAJNIH INFRASTRUKTURNIH SISTEMA <i>Ljubo Marković, Ljiljana Milić Marković</i>	595
EMBODIRANI UGLJENIK KAO KRITERIJUM ZA VREDNOVANJE PROJEKTA INDIVIDUALNOG STAMBENOG OBJEKTA SA ASPEKTA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU <i>Marina Nikolić Topalović, Goran Čirović</i>	600
PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U BIM <i>Milena Senjak, Vladimir Mučenski, Goran Čirović, Igor Peško, Dragana Bibić</i>	606

OR APPLICATION IN DEFENCE / PRIMENE OI U ODBRANI	613
KVALITATIVNO KOMPARATIVNA ANALIZA – MOGUĆA PRIMENA VIŠE VREDNOSNOG MODELA U STRATEŠKIM PROCENAMA <i>Miroslav Mitrović</i>	615
SIMULATOR ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA PROTIV AKTIVNE PRETNJE <i>Radomir Janković, Momčilo Milinović</i>	621
MILITARY LOGISTICS SIMULATION MODELING LEARNING - ALGORITHMIC CONCEPT CREATION FOR MILITARY WAREHOUSES OPERATIONS <i>Nebojša Nikolić, Vladimir Milovanović, Aleksandar Zaharijev</i>	627
DEFENCE HUMAN RESOURCE SELECTION BY MAIRCA METHOD <i>Milan Kankaraš, Srđan Dimić, Ivan Petrović</i>	632
UNAPREĐENJE POSTOJEĆEG NAČINA UTVRĐIVANJA STEPENA REALIZACIJE KRATKOROČNIH CILJEVA U SISTEMU ODBRANE <i>Srđan Dimić, Milan Kanakaraš, Radiša Saković</i>	638
PRIMENA FUZZY LOGIKE ZA PROCENU NAČINA UKLJUČIVANJA ZAINTERESOVANIH STRANA U PROCES PLANIRANJA RAZVOJA SISTEMA ODBRANE <i>Vlada Mitić, Mitar Kovač, Dejan Nikolić</i>	644
ODREĐIVANJE BORBENIH MOGUĆNOSTI I EFIKASNOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE U SUKOBU SA NISKOLETEĆIM CILJEVIMA <i>Dalibor Petrović, Vlada Mitić, Nenad Kapor</i>	650
PRIMENA GREJNDŽEROVOG TESTA UZROČNOSTI U ISTRAŽIVANJIMA ODBRANE – IZABRANI PRIMERI <i>Dejan Stojković, Miroslav Glišić</i>	654
TRAFFIC, TRANSPORTATION & COMMUNICATION / SAOBRAĆAJ, TRANSPORT I KOMUNIKACIJE	659
INTELIGENTNA PREZASIĆENA RASKRSNICA U REALNOM VREMENU - ANALITIČKI I SIMULACIONI PRISTUP <i>Aleksandar Jovanović, Katarina Kukić</i>	661
LOKACIJA MANEVARSKIH LOKOMOTIVA PRIMENOM LOKACIJSKOG PROBLEMA POKRIVANJA SKUPA <i>Jovana Čalić, Miloš Nikolić, Milica Šelmić</i>	667
PODEŠAVANJE FAZI SISTEMA ZA PROCENU POTROŠNJE ENERGIJE TERETNIH VOZOVA PRIMENOM METAHEURISTIKE OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA <i>Miloš Nikolić, Jovana Čalić, Milica Šelmić, Dragana Macura</i>	672
SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS / SIMULACIJA I STOCHASTIČKI MODELI	679
SEM ANALIZA NAPLATE ZAGUŠENJA U GRADOVIMA <i>Marina Milenković, Draženko Glavić, Milica Maričić, Katarina Tadić</i>	681
SIMULATION OF AIRSIDE OPERATIONS AT NIS AIRPORT <i>Goran Pavlović, Bojana Mirković</i>	687
MONTE CARLO SIMULATION OF RUNWAY EXCURSION BAYESIAN BELIEF NETWORK MODEL <i>Doroteja Timotić, Fedja Netjasov, Marko Đogatović</i>	693
SIMULACIONA ANALIZA UTOVARNIH OPERACIJA TRANSPORTA OPASNIH MATERIJAMA NA RAZLIČITIM MESTIMA UTOVARA <i>Maja Pejica, Marko Đogatović, Milorad Stefanović, Milorad Stanojević</i>	699
SIMULACIONI MODEL ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE IZLAZA U ZAVISNOSTI OD VREMENA ZAUZETOSTI POLETNO-SLETNE STAZE <i>Stefan Šljukić, Marko Đogatović, Bojana Mirković</i>	705
PREDVIĐANJE INTENZITETA SAOBRAĆAJA NA SISTEMU ZA NAPLATU PUTARINE <i>Andrija Petrović, Sandro Radovanović, Uglješa Bugarić, Boris Delibašić, Miloš Jovanović</i>	711

STATISTICAL MODELS / STATISTIČKI MODELI	717
REGRESSION MODELS ON PANEL DATA FOR ESTIMATING EMPLOYMENT <i>Marina Dobrota, Nela Milošević, Milica Bulajić</i>	719
MODELING FDI TIME SERIES: EVIDENCE FROM EMERGING MARKETS <i>Marina Dobrota, Nikola Zornić, Aleksandar Marković</i>	725
PRODUCTION MANAGEMENT AND SUPPLY CHAINS / UPRAVLJANJE PROIZVODNOM I LANCI SNABDEVANJA	731
DOMETI I OGRANIČENJA PRIMENE ABC KONCEPTA U LEAN OKRUŽENJU <i>Radmila Jablan Stefanović, Vladan Knežević, Jovana Jugović</i>	733
RAZVOJ SPREDŠIT MODELA ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI PRIMENOM DŽEKSONOVOG STRUKTURNOG DIJAGRAMA <i>Lena Đorđević Milutinović, Danica Savičić, Slobodan Antić</i>	739
RAZVOJ MODELA SA DETERIORACIJOM ZALIH, POPUSTOM NA NARUČENU KOLIČINU I DELIMIČNIM ZADOVOLJENJEM NEISPORUČENIH NARUDŽBINA KAO DISKRETNOG OBJEKTA UPRAVLJANJA U SPREDŠITU <i>Slobodan Antić, Lena Đorđević Milutinović</i>	745
MULTICRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION / VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA	751
PRAVCI UNAPREĐENJA PRILAGODLJIVOSTI RADNE SNAGE VIŠE-ETAPNIM MODELOM KOMPARATIVNOG ODLUČIVANJA <i>Maja Jandrić, Saša Randelović, Mladen Stamenković, Branko Urošević</i>	753
MERENJE TEHNIČKE EFIKASNOSTI NACIONALNE EKONOMIJE REPUBLIKE SRBIJE <i>Ana Krstić, Predrag Mimović, Dragana Rejman Petrović</i>	759
LEADERSHIP IN HIDDEN CHAMPION ORGANIZATIONS: A MULTI-CRITERIA BASED APPROACH <i>Violeta Cvetkoska</i>	765
MULTI-CRITERIA DECISION MODEL FOR SELECTING THE BEST IT EMPLOYEE OF THE YEAR <i>Violeta Cvetkoska, Nika Ivanovska</i>	766
A NEW ITERATIVE METHOD FOR MULTI OBJECTIVE LINEAR FRACTIONAL PROGRAMMING PROBLEM SOLVING <i>Josip Matejaš, Tunjo Perić, Jadranka Kraljević</i>	772
VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA KLIME BEZBEDNOSTI U PROJEKTNO ORIJENTISANIM ORGANIZACIJAMA <i>Nenad Milijić, Ivan Mihajlović, Ivan Jovanović, Anđelka Stojanović</i>	778
EFEKTI OBJEKTIVNOG I SUBJEKTIVNOG ODREĐIVANJA TEŽINA KRITERIJUMA U VIŠEKRITERIJUMSKOM DONOŠENJU ODLUKA <i>Anđelka Stojanović, Nenad Milijić, Đorđe Nikolić, Ivan Mihajlović</i>	784
MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FOR ROBOT SELECTION BASED ON CROSS-ENTROPY <i>Zorica Dodevska, Mirko Vujošević, Boris Delibašić</i>	789



OPTIMIZACIJA SASTAVA ŠARŽE KONCENTRATA BAKRA U CILJU POSTIZANJA BOLJEG EKOLOŠKOG OTISKA

OPTIMIZING THE COMPOSITION OF COPPER BATCH IN ORDER TO ACHIEVE A BETTER ECOLOGICAL FOOTPRINT

IVAN JOVANOVIĆ¹, DEJAN BOGDANOVIĆ¹, IVAN MIHAJLOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Katedra za Inženjerski menadžment, Bor, ijovanovic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu se numeričkom analizom rešava problem sastava mešavine u postupku proizvodnje bakra. Cilj je definisati optimalni sastav šarže koncentrata bakra, koja se koristi u pirometalurškom procesu proizvodnje bakra. U tu svrhu je razvijen i prilagođen matematički model koji odgovara konkretnom problemu. U modelu je predložena funkcija cilja koja maksimizira profit tako što izračunava prihod ostvaren prodajom korisnih proizvoda na tržište (Cu, Ag, Au) i izdataka za nabavku sirovina. Osim osnovnih ograničenja, koja su u literaturi definisana za problem sastava mešavine, razvijena su i ograničenja koja uvažavaju specifičan proces proizvodnje bakra, kao i ekološke zahteve. Na ovaj način se predlaže model koji usklađuje tri kontradiktorna zahtjeva u proizvodnji bakra: ekonomski, tehnološki i ekološki. Polaznu osnovu za optimizaciju čine osam različitih koncentrata bakra, koji su bili dostupni na tržištu u trenutku ovog istraživanja. Optimizacija je urađena korišćenjem softverskog programa MATHEMATICA v 8.0. Rezultati dobijeni numeričkim eksperimentima potvrđuju pretpostavku da je moguće sastaviti optimalnu šaržu koja će uskladiti sve kontradiktorne zahteve. Uz manje izmene, model se može primeniti i na druge slične procese proizvodnje.

Cljučne reči: Operaciona istraživanja, problem mešavine, optimizacija šarže, proizvodnja bakra.

Abstract: In this paper, the blending composition problem in the copper production process is being solved by using the numerical analysis. The goal is to define the optimal composition of the batch of copper concentrates, which is used in the pyrometallurgical copper smelting process. For this purpose, a mathematical model corresponding to a specific problem has been developed and adapted. In the model, the objective function which maximizing profit was proposed in the way that calculates income generated by selling useful products to the market (Cu, Ag, Au), and expenses for raw materials purchases. In addition to the basic constraints, which are defined in the literature for the problem of the composition of the mixture, constraints have been developed that respect the specific copper smelting process as well as environmental requirements. In this way, a mathematical model that harmonizes three contradictory requirements in the production of copper: economic, technological and environmental is proposed. The starting base for optimization consists of eight different copper concentrates, which were available on the market at the time of this research. Optimization was done using software MATHEMATICA v 8.0. The results obtained by numerical experiments confirm the assumption that it is possible to assemble an optimal batch that will harmonize all contradictory requirements. With minor changes, the model can be applied to other similar production processes.

Keywords: Operational research, blending composition problem, batch optimization, copper production.

1. UVOD

Jedna od najčešćih primena u linearnom programiranju (LP) je problem mešavine, koji se može definisati kao mešanje različitih sastojaka (ulazi) u jednu ili više mešavina (izlazi), a da se pri tome zadovolje data ograničenja i optimizira željeni cilj. Ovakvi problemi su tipični u mnogim industrijskim granama, kao što su crna i obojena metalurgija, prehrambena, naftna, hemijska, mašinska, tekstilna, ali se slični problemi mogu sresti i u drugim. Tako je problem mešavine u proizvodnji uglja istraživan u radovima (Liu and Serali 2000, Lyalyuk *et al.* 2014); u proizvodnji koksa u radu (Berkutov *et al.* 2010), u proizvodnji čelika u radovima (Kim and Lewis 1987, Logunova *et al.* 2013); u proizvodnji mesinga u radu (Sakallı and Baykoc 2011) kod proizvodnje hemijskih đubriva u radu (Ashayeri *et al.* 1994), u proizvodnji bio dizel goriva u radu (Markov *et al.* 2016), problem mešavine gasova u LED sijalici u radu (Feng *et al.* 2017), u proizvodnji asfalta u radu

(Sivilevičius and Vislavičius 2019), u proizvodnji briketa u radu (Vashchenko *et al.* 2018), itd. Problemi optimizacije šarže u proizvodnji bakra istraživani su u radovima (Nikolić *et al.* 2009, Saramak *et al.* 2010, Saramak 2011, Jovanović and Stanimirović 2012, Jovanović *et al.* 2013).

U ovom radu se rešava problem sastava mešavine šarže koja se koristi za pirometalurški postupak dobijanja bakra. Osnovna ideja je razvijanje i implementacija matematičkog modela za optimizaciju sastava šarže koncentrata bakra, koji se koriste u proizvodnji bakra u kompaniji „Zijin Bor Copper“ d.o.o. Bor. Prilikom optimizacije se vodi računa o maksimizaciji profita, a u isto vreme održava željeni nivo kvaliteta proizvoda i snabdevanje tržišta. Pored ekonomskih i tehnoloških zahteva i zahteva za dostizanjem standarda kvaliteta proizvoda, kod proizvodnje bakra je potrebno zadovoljiti i ekološke standarde. Sve su to kontradiktorni zahtevi koje treba uskladiti. Zato su poznati matematički modeli (Ashayeri *et al.* 1994) prilagođeni konkretnom slučaju i prošireni uvođenjem nekih specifičnih ograničenja. Polazna pretpostavka je da se izborom i mešanjem različitih koncentrata bakra može sastaviti „ekološki prihvatljiva“ šarža koja sadrži dovoljnu količinu korisnih sastojaka za ekonomski isplativu proizvodnju, a ujedno i manju količinu štetnih sastojaka od propisanih vrednosti. Na ovaj način se daljim, uobičajenim, postupkom proizvodnje bakra znatno utiče na postizanje boljeg ekološkog otiska.

2. OPIS PROBLEMA

Kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi, svetska zdravstvena organizacija (*World Health Organization*) (WHO 2001) je propisala dozvoljene vrednosti sadržaja SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, i sadržaja teških metala u vazduhu. Takođe, EU svojim direktivama (EU Directive 1999, EU Directive 2004) ograničava vrednosti sadržaja ovih zagađivača u vazduhu (Tabela 1), a to obavezuje kompanije na njihovo poštovanje. I pored navedenih propisa i direktiva, na svetskom tržištu se nalaze koncentracije bakra koji sadrže štetne elemente u većim količinama od propisanih. Prisustvom raznih sastojaka u sirovinama određuje se kvalitet gotovog proizvoda.

Korisni sastojci u koncentratima bakra su: bakar (Cu), srebro (Ag) i zlato (Au). Sumpor (S) se može posmatrati i kao koristan i kao štetan sastojak u koncentratu. Od štetnih sastojaka (elemenata), kao najopasnijih za ljude i okolinu, nalaze se: bizmut (Bi), arsen (As), olovo (Pb), cink (Zn), kadmijum (Cd), selen (Se), živa (Hg), antimon (Sb), nikl (Ni). Problem se svodi na određivanje količina pojedinih koncentrata bakra koje će biti upotrebljene za proizvodnju gotovog proizvoda odgovarajućeg kvaliteta, ali tako da profit, predstavljen kao razlika između prihoda od prodaje korisnih proizvoda i izdataka za nabavku koncentrata bakra, bude maksimalan, uz uvažavanje ekoloških standarda.

Koncentracije koji se koriste za proizvodnju bakra nabavljaju se po različitim cenama i različitim su kvalitetima. Prisustvo korisnih i štetnih elemenata u koncentratu bakra direktno utiče na njegovu cenu, koja se formira na principu ponude i potražnje sa Londonske berze metala (*LME-London Metals Exchange*).

U ovoj studiji za optimizaciju šarže razmatrana su 8 različitih koncentrata bakra koji su u tom trenutku bili prisutni na tržištu. Koncentrat 5 se uvozi iz Bugarske, a koncentrat 6 iz Rumunije. Koncentracije od 1 do 4 i koncentrat 7 su dobijeni iz rudnih nalazišta u Srbiji. Koncentrat 8 označen kao „Rudno telo H“ je prirodni mineralni oblik iz jednog neiskorišćenog rudnog tela, koji ima visok sadržaj Cu, ali je praćen velikim procentom As. Rezultati hemijskih analiza koncentrata prikazani su u Tabeli 1.

Jedan od ciljeva ovog istraživanja je sastavljanje optimalne šarže na osnovu dostupnih koncentrata u saglasnosti sa njihovim sastavom. Drugi cilj je utvrđivanje mogućnosti obrade koncentrata 8 u kombinaciji sa dostupnim koncentratima, na ekološki prihvatljiv način, jer ukoliko bi se direktno tretirao u pirometalurškom procesu, zbog visokog sadržaja As, došlo bi do ekološke katastrofe.

Tabela 1: Hemijski sastav koncentrata bakra

Proizvodi	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	Poreklo koncentrata
Hem. simbol	Cu	Bi	As	S	Pb	Zn	Cd	Se	Hg	Sb	Ni	Ag	Au	Ostalo	
Jedinice	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Koncentrat 1	23.40	0.000	0.0030	29.48	0.005	0.00	0.0004	0.0000	0.00001	0.005000	0.004	0.000000	0.000000	47.10	V.Krivelj 1
Koncentrat 2	12.62	0.018	0.0340	10.71	0.19	0.52	0.0025	0.0086	0.00003	0.004990	0.008	0.002192	0.000308	75.88	Bor
Koncentrat 3	16.21	0.021	0.0029	37.73	0.01	0.10	0.0025	0.0140	0.00001	0.004991	0.012	0.001234	0.000132	45.89	V.Krivelj 2
Koncentrat 4	14.59	0.024	0.0057	28.72	0.14	0.40	0.0025	0.0110	0.00002	0.004990	0.010	0.003300	0.000460	56.09	Majdanpek 1
Koncentrat 5	25.87	0.018	0.0070	33.86	0.13	0.21	0.0025	0.0200	0.00002	0.004990	0.002	0.003350	0.000572	39.87	Asarel - BG
Koncentrat 6	21.45	0.021	0.0180	26.16	0.32	0.42	0.0050	0.0190	0.00003	0.004991	0.003	0.006350	0.000420	51.57	Abrud - RO
Koncentrat 7	15.49	0.027	0.0038	24.87	0.04	0.13	0.0026	0.0116	0.00002	0.005240	0.008	0.003150	0.000400	59.40	Majdanpek 2
Koncentrat 8	26.25	0.003	10.340	19.48	0.005	0.15	0.0000	0.0000	0.00000	0.040000	0.010	0.0000001	0.000064	43.72	Rudno telo "H"
Granične vrednosti	>=21	<=0.05	<=0.2	>=32	<=2	<=3	<=0.01	<=0.01	<=0.0005	<=0.3	<=0.1	>=0	>=0	-	-

Kod prerade koncentrata bakra u manjim količinama se proizvodi srebro (Ag) i zlato (Au). Prihod od prodaje Ag i Au je znatno manji u odnosu na ostvareni prihod od prodaje bakra (Cu), ali nije zanemarljiv. Zbog toga se u matematičkom modelu ne može izbeći ostvareni prihod od prodaje Au i Ag. Teški metali Bi, As, Pb, Zn, Cd, Se, Hg, Sb, Ni su neizbežni elementi koncentrata i veoma su štetni za zdravlje ljudi. Zbog toga je poželjno da se štetni metali nalaze u količinama manjim od propisanih vrednosti. Sumpor (S) se posmatra kao korisna komponenta u koncentratima, zbog njegove uloge goriva u procesu prženja.

Dakle, u studiji je razmatrano 4 korisnih i 9 štetnih sastojaka koncentrata bakra, koji su označeni kao proizvodi od P_1 do P_{13} . Proizvod P_{14} predstavlja sve ostale sastojke (elemente i jedinjenja) koji se nalaze u koncentratima bakra. Propisane gornje (U_k) i donje (L_k) granične vrednosti proizvoda P_1 – P_{13} su prikazane u poslednjem redu Tabele 1.

3. MATEMATIČKI MODEL

U radu se rešava problem sastava mešavine i to za slušaj proizvodnje više proizvoda od više sirovina. Pretpostavka je da su $m=8$ različitih koncentrata, označeni sa K_1, \dots, K_8 , raspoloživi za sastavljanje šarže, a da se njihovom preradom dobija $n=14$ različitih proizvoda, označenih sa P_1, \dots, P_{14} . Indeksi za korisne proizvode su $I=\{1,12,13\}$. Takođe, pretpostavka je da u proizvodnji ima otpada i rastura oko 8%, pa se gotov proizvod može iskazati sa 92% u odnosu na količinu svih koncentrata upotrebljenih za njegovu proizvodnju. Zadatak se svodi na određivanje količina svakog koncentrata koji će se upotrebiti za dobijanje svakog od proizvoda, a da se pri tome ostvari maksimalan profit, i usklade svi kontradiktorni zahtevi. Za formiranje matematičkog modela korišćena je sledeća notacija:

x_{ij} – količina koncentrata K_i koja će biti upotrebljena za proizvodnju proizvoda P_j

a_i – ukupna količina K_i -tog koncentrata koji će biti upotrebljen za proizvodnju

g_i – raspoloživa količina K_i -tog koncentrata

ci_i – nabavna (input) cena jedinice K_i -tog koncentrata

b_j – količina P_j -tog proizvoda prema optimalnom rešenju

t_j – količina P_j -tog proizvoda koja se može prodati na tržište

co_j – prodajna (output) cena jedinice gotovog-korisnog proizvoda P_j , $j \in I$

p_{ij} – procenat P_j -tog proizvoda u jednoj jedinici K_i -tog koncentrata

U_j, L_j – gornje i donje granične vrednosti limitirane procentom sastojaka P_j u šarži

Y_i – koeficijent korisnosti za sirovinu K_i

Na osnovu pretpostavki i uvedenih simbola formira se matematički model problema. Izrazi koji daju korelaciju između promenljivih x_{ij} , a_i i b_j su prikazani formulama od (1) do (3).

$$a_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$b_j = \sum_{i=1}^m Y_i \cdot p_{ij} \cdot a_i, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{a_i} \Rightarrow x_{ij} = p_{ij} \cdot a_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

Kako je $m=8$ i $n=14$, funkcija cilja koju treba maksimizirati ima oblik prikazan formulom (4).

$$F(x) = \sum_{j \in I} co_j \cdot b_j - \sum_{i=1}^8 ci_i \cdot a_i \quad (4)$$

Prva grupa ograničenja – *raspoložive količine sirovina*, prikazana je formulom (5). Ova ograničenja se odnose na količine koncentrata koje se mogu obezbediti na tržištu. U praksi, te količine su praktično neograničene. Zbog proračuna, u modelu se usvaja raspoloživa količina od 1T za svaki koncentrat. Dakle, svi numerički rezultati su izraženi po jednoj toni koncentrata.

$$a_i \leq g_i \Leftrightarrow \sum_{j=1}^{14} x_{ij} \leq g_i = 1, \quad i = 1, \dots, 8 \quad (5)$$

Druga grupa ograničenja – *plasman gotovih proizvoda na tržište*, prikazana je formulom (6). Ova ograničenja se odnose na količine gotovih proizvoda (P_1 , P_{12} i P_{13}) koje se mogu prodati na tržište, i one su neograničene, tj. $t_j \rightarrow \infty$.

$$b_j \leq t_j \Leftrightarrow \sum_{i=1}^8 Y_i x_{ij} \leq t_j \rightarrow \infty, \quad j = 1, \dots, 14 \quad (6)$$

Treća grupa ograničenja – *strukturna ograničenja*, prikazana je formulom (7), a četvrta grupa ograničenja, tzv. *prirodna ograničenja* prikazana je formulom (8).

$$x_{ij} - p_{ij} \sum_{j=1}^{14} x_{ij} = 0_j, \quad i = 1, \dots, 8, \quad j = 1, \dots, 14 \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq 0_j, \quad i = 1, \dots, 8, \quad j = 1, \dots, 14 \quad (8)$$

Peta grupa ograničenja – *donja granica za sadržaj bakra u šarži*. Ova grupa ograničenja je nametnuta tehnološkim postupkom proizvodnje, formula (9). Naime, tehnološki zahtev je da sadržaj bakra u mešavini ne bude ispod 21%. U konkretnom slučaju, donje granične vrednosti se biraju iz skupa $L_1 \in \{21\%, \dots, 26\%$.

Šesta grupa ograničenja – *donja granica za sadržaj sumpora u šarži*. I ova grupa ograničenja je nametnuta tehnološkim postupkom proizvodnje, formula (10). Kako se sumpor posmatra kao korisna komponenta u mešavini u modelu se postavlja samo donja granica, tj. $L_4=32\%$.

Sedma grupa ograničenja – *gornje granice za štetne elemente u šarži*. Ova grupa ograničenja je nametnuta ekološkim zahtevima, i prikazana je formulom (11).

$$b_1 \geq L_1 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j \quad (9)$$

$$b_4 \geq L_4 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j = 0.32 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j \quad (10)$$

$$b_j \leq U_j \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j, \quad j \notin I, j \neq 4 \quad (11)$$

Matematički model sumira određene vrednosti x_{ij} svih proizvedenih proizvoda iz svakog koncentrata i ostvaruje najveći profit, saglasno ciljnoj funkciji (4). Ograničenja od (5) do (8) su poznata ograničenja koja se mogu naći u literaturi za problem sastava mešavine, dok su ograničenja od (9) do (11) definisana kako bi se ispoštovao tehnološki i ekološki aspekt problema.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Implementacija je urađena u programskom jeziku MATHEMATICA, upotrebom standardne funkcije `Maximize` iz paketa. Funkcija `Maximize[f, {cons}, {x, y, ...}]` maksimizira f definisanom formulom (4), po ograničenjima definisanim formulama od (5) do (11), uz uvažavanje x, y, \dots liste (Wolfram 2003).

U radu su izvršeni numerički eksperimenti za sadržaj bakra (Cu) u šaržama u rasponu od 21% do 26%. Eksperimenti su urađeni za tri scenarija. Prvi scenario, označen sa „Cu“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (9), drugi, označen sa „Cu+S“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (10), a treći, označen sa „Cu+Svi“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (11).

Optimalna rešenja za sva tri scenarija su prikazana u Tabeli 2. Kolona označena sa $F(x)[\$/T]$ predstavlja profit izražen u dolarima po toni prerađene šarže. Kolona označena sa $F(x)[\$]$ označava ukupan profit izražen u dolarima, odnosno označava vrednost funkcije cilja definisane formulom (4).

Tabela 2: Eksperimentalni rezultati – Optimalna rešenja za sva tri scenarija

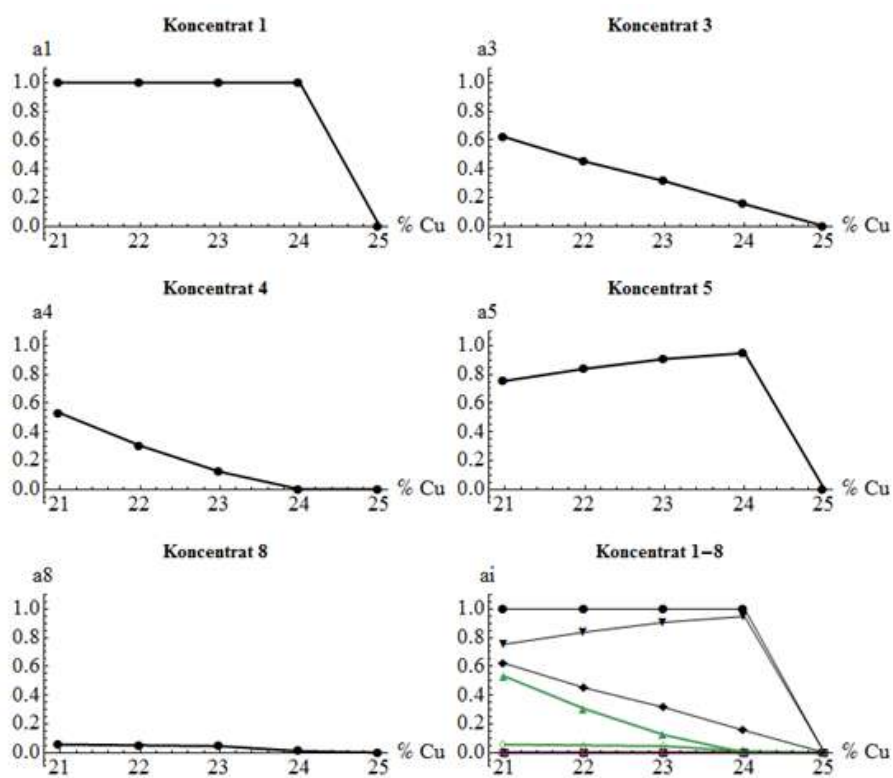
L_1	Tti scenarija	$F(x)$ [\$/T]	$F(x)$ [\$]	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
21	Cu	1,265	7,870	1	0	0,22	1	1	1	1	1
	Cu+S	1,252	5,085	1	0	1	0,43	1	0,63	0	0
	Cu+Svi	1,237	3,662	1	0	0,62	0,53	0,75	0	0	0,06
22	Cu	1,314	7,005	1	0	0	0,33	1	1	1	1
	Cu+S	1,296	4,667	1	0	0,91	0	1	0,61	0	0,08
	Cu+Svi	1,292	3,411	1	0	0,45	0,30	0,84	0	0	0,05
23	Cu	1,359	6,333	1	0	0	0	1	1	0,66	1
	Cu+S	1,358	3,666	1	0	0,41	0	1	0,29	0	0
	Cu+Svi	1,343	3,209	1	0	0,31	0,12	0,91	0	0	0,05
24	Cu	1,406	5,779	1	0	0	0	1	1	0,11	1
	Cu+S	1,403	3,073	1	0	0,15	0	1	0,04	0	0
	Cu+Svi	1,408	2,957	1	0	0,15	0	0,94	0	0	0,01
25	Cu	1,431	4,508	1	0	0	0	1	0,15	0	1
	Cu+S	1,498	2,397	0,57	0	0	0	1	0	0	0,03
	Cu+Svi	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Cu	1,523	3,122	0,05	0	0	0	1	0	0	1
	Cu+S	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cu+Svi	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Na osnovu rezultata može se zaključiti da je moguće dobiti optimalna rešenja za sva tri scenarija za vrednost $L_1 \in \{21\%, \dots, 24\% \}$. Za vrednost $L_1=25\%$ moguće je dobiti optimalno rešenje za prva dva scenarija, dok je za $L_1=26\%$ moguće optimalno rešenje samo za prvi scenario. Koncentrat K_2 ne učestvuje u formiranju optimalne šarže ni za jedan scenario za vrednost $L_1 \in \{21\%, \dots, 26\% \}$.

Koncentrat K_8 sa velikim udelom ulazi u sastav optimalne šarže kod prvog scenarija, za vrednost $L_1 \in \{21\%, \dots, 26\% \}$. To je bilo i očekivano, jer se radi o eksperimentu gde se ne razmatra ekološki aspekt proizvodnje. Kod drugog i trećeg scenarija K_8 sa veoma malim udelom ulazi, ili uopšte ne ulazi, u sastav optimalne šarže.

Optimalno rešenje za treći scenario, koji usklađuje ekonomski, tehnološki i ekološki aspekt, je dobijeno za vrednost $L_1=24\%$ (boldirano u Tabeli 2). U ovo optimalno rešenje ulaze koncentracije K_1 , K_3 , K_4 i K_8 . Njihovo učešće u optimalnoj šarži iznosi 47,62%, 7,14%, 44,76% i 0,48%, respektivno. Zanimljivo je da K_8 , iako ekološki najlošiji koncentrat, ulazi sa malim procentom (0,48%) u sastav optimalne šarže.

Na Slici 1 su prikazana optimalna rešenja za treći scenario, označen kao „Cu+Svi“. Prikazani su grafikoni pet koncentrata bakra K_1 , K_3 , K_4 , K_5 i K_8 koji učestvuju u formiranju optimalne šarže, za $L_1 \in \{21\%, \dots, 25\% \}$. Ovim optimalnim rešenjima se obezbeđuje „ekološki prihvatljiva“ proizvodnja bakra, odnosno usklađuju se sva tri kontradiktorna zahteva (ekonomski, tehnološki i ekološki). Za treći scenario koncentracije K_2 , K_6 i K_7 ne učestvuju u sastavljanju optimalne šarže ni za jednu vrednost $L_1 \in \{21\%, \dots, 25\% \}$.



Slika 1: Optimalna rešenja za treći scenario

Na x-osi naznačene su vrednosti donjih granica za sadržaj Cu u šarži, u rasponu od 21% do 25%, Na y-osi su prikazane vrednosti a_1 , a_3 , a_4 , a_5 i a_8 koji odgovaraju koncentratima K_1 , K_3 , K_4 , K_5 i K_8 , respektivno.

5. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen matematički model kojim se rešava problem sastava mešavine gde su ulazne sirovine koncentracije, koji se mogu nabaviti na tržištu sirovina, a izlazni proizvodi su nametnuti sadržajem tih koncentrata. Prvi cilj je bio određivanje optimalnog sastava mešavine uz ostvarivanje maksimalnog profita i uvažavanja svih kontradiktornih zahteva. Drugi cilj je bio provera moguće primene K_8 za proizvodnju bakra u kombinaciji sa dostupnim koncentratima.

Razmatrani problem mešavine ima više optimalnih rešenja. To zavisi od primenjenog scenarija i željene vrednosti $L_1 \in \{21\%, \dots, 26\% \}$. U skladu sa postavljenim ciljevima istraživanja, kao najbolje rešenje nameće se numerički eksperiment za vrednost $L_1=24\%$. Optimalna šarža se sastoji od domaćih koncentrata K_1 (Veliki Krivelj 1), K_3 (Veliki Krivelj 2), K_4 (Majdanpek 1), i K_8 (rudno telo "H"), sa učešćem od 47,62%, 7,14%, 44,76% i 0,48%, respektivno.

U radu je razvijen matematički model koji može pomoći menadžmentu kompanije „Zijin Bor Copper“ d.o.o. Bor kod donošenja poslovnih odluka. Uz manje korekcije, model se može primeniti i na druge slične procese proizvodnje.

ZAHVALNOST

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta TR34023, koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Ashayeri, J., van Eijs, A,G,M., & Nederstigt, P, (1994), Blending modelling in a process manufacturing: A case study, *European Journal of Operational Research*, 72(3), 460–468.
- [2] Berkutov, N,A., Stepanov, Y,V., Gilyazetdinov, R,R., Popova, N,K., & Kupriyanova, S,N, (2010), Optimizing the Composition of Coking Batch, *Coke and Chemistry*, 53(7), 243-246.
- [3] EU, 1999/30/CE Council Directive relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxide of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, The Council of the European Union, 1999.
- [4] EU, 2004/107/CE Council Directive relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air, The Council of the European Union, 2004.
- [5] Feng, S., Sun S., Yan H., Shi, M., Lu, T,J, (2017), Optimum composition of gas mixture in a novel chimney-based LED bulb, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 32-42.
- [6] Jovanović, I., & Stanimirović, P, (2012), A blending problem in copper production, *Environmental Modeling and Assessment*, 17(5), 495-503.
- [7] Jovanović, I., Stanimirović, P., & Živković, Ž, (2013), Environmental and economic criteria in ranking of copper concentrates, *Environmental Modeling and Assessment*, 8(1), 73-83.
- [8] Kim, J., & Lewis, R,L, (1987), A large scale linear programming application to least cost charging for foundry melting operations, *American Foundrymen, Society Transactions*, 95, 735–744.
- [9] Liu, C,M., & Sherali, H,D, (2000), A coal shipping and blending problem for an electric utility company, *Omega–International Journal of Management Science*, 28(4), 433-444.
- [10] Logunova, O,S., Filippov, E,G., Pavlov, I,V., & Pavlov V,V, (2013), Multicriterial Optimization of the Batch Composition for Steel-Smelting Arc Furnaces, *Steel in Translation*, 43(1), 34-38.
- [11] Lyalyuk, V,P., Kassim, D,A., Liakhova, I,A., & Shmeltser E,O, (2014), Optimizing the Composition of Coal Batch, *Coke and Chemistry*, 57(1), 18-23.
- [12] Markov, V,A., Kamaltdinov, V,G., Loboda, S,S, (2016), Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition, *Procedia Engineering*, 150, 225-234.
- [13] Nikolić, Dj., Jovanović, I., Mihajlović, I., & Živković, Ž, (2009), Multi-criteria ranking of copper concentrates according to their quality-an element of environmental management in the vicinity of copper Smelting complex in Bor, Serbia, *Journal of Environmental Management*, 91(2), 509-515.
- [14] Sakallı, U,S., & Baykoc, O,F, (2011), An optimization approach for brass casting blending problem under aleatory and epistemic uncertainties, *International Journal Production Economics*, 133, 708-718.
- [15] Saramak, D., Tumidajski, T., & Skorupska, B, (2010), Technological and economic strategies for the optimization of Polish electrolytic copper production plants, *Minerals Engineering*, 23(10), 757-764.
- [16] Saramak, D, (2011), Optimal production of electrolytic copper determined by the concentration and distribution of copper concentrates to smelters on the example of KGHM, *Archives of Metallurgy and Materials*, 56(3), 619–626.
- [17] Sivilevičius, H., & Vislavičius, K, (2019), Simulation of composition of recycled hot-mix asphalt mixture produced in asphalt mixing plant, *Construction and Building Materials*, 214, 17-27.
- [18] Vashchenko, S,V., Khudyakov, A,Y., Baiula, K,V., & Semenov Yu,S, (2018), Selecting the Batch Composition in Briquetting, *Steel in Translation*, 48(8), 509-512.
- [19] Wolfram, S, (2003), *The MATHEMATICA Book*, (5th ed.), Wolfram Media/Cambridge University Press, Champaign, IL 61820, USA.
- [20] WHO (World Health Organization), *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd edition WHO Regional Publications, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2001.