

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 43 2018

BAKAR COPPER



BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobijanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

Dr Milenko Ljubojev, *naučni savetnik, redovni član IAS*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-110

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-108

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Vesna Simić, *teh.*

Štampa

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 30 primeraka

Internet adresa

www.irmbor.co.rs

Izdavanje časopisa finansijski podržavaju

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

ISSN 0351-0212

Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.

Nacionalni časopis kategorije M52

Izdavač

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Tel. 030/436-826

Sva prava zadržana.

Uredivački odbor

Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Milan Antonijević, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *vanr. prof.*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Doc. dr Bojan Jokić, *docent*
Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu
Dr Silvana Dimitrijević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Lidija Mančić, *viši naučni saradnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Prof. dr Desimir Marković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
RTB - Bor Grupa
Dr Miroslav Sokić, *naučni savetnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Beograd
Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd
Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd
Dr Viša Tasić, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*
Ukrajinska nacionalna akademija nauka,
Institut za poluprovodničku fiziku Kijev
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd

COPPER is a journal based on the rich tradition of expert and scientific work not only in the field of copper production and treatment, but also in the field of non-ferrous and ferrous metallurgy, technology, nanotechnology, chemistry, mineral processing, ecology, energy efficiency, applied informatics, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

Editor-in-Chief

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-110

Co-Editor

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-108

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Vesna Simić

Printed in

Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 30 copies

Web site

www.irmbor.co.rs

COPPER is financially supported by

The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic Serbia
Mining and Metallurgy Institute Bor

ISSN 0351-0212

Journal indexing in SCIndex and ISI.

National Scientific Journal categorization M52

Published by

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Phone: +38130/436-826

All rights reserved.

Editorial Board

Ph.D. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Milan Antonijević,
Technical Faculty Bor
Prof.Ph.D. Tatjana Volkov Husović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Bojan Jokić
Faculty of Applied Arts in Belgrade
Ph.D. Mile Dimitrijević
Technical Faculty Bor
Ph.D. Silvana Dimitrijević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Ph.D. Lidija Mančić, *Senior Research Associate*
Institute of Technical Science of SASA
Prof.Ph.D. Desimir Marković
Technical Faculty Bor
Ph.D. Aleksandra Milosavljević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Duško Minić
Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica
Ph.D. Milanče Mitovski
RTB – Bor Group
Ph.D. Miroslav Sokić, *Principal Research Fellow*
Institute for Technology of Nuclear and Other Raw Materials Beograd
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade
Prof.D. Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Germany
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Višnja Tasić, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,
Institute for Semiconductor Physics of National of Sciences of Ukraine Kyiv
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 622.2/.73 (497.11) (045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

MINERALIZACIJA SA LOKALITETA KRIVELJSKI KAMEN - RUDA LEŽIŠTA VELIKI KRIVELJ - MOGUĆNOST ZAJEDNIČKE PRERADE -

MINERALIZATION FROM THE LOCALITY OF KRIVELJSKI KAMEN - ORE OF THE DEPOSIT VELIKI KRIVELJ - THE POSSIBILITY OF JOINT PROCESSING -

Srđana Magdalinović¹, Dragiša Stanujkić², Dragan Milanović¹,
Vesna Marjanović¹, Nenad Magdalinović¹, Miomir Mikić¹, Slađana Krstić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Srbija
e-mail: srdjana.magdalinovic@irmbor.co.rs

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, V.J. 12, 19210 Bor, Srbija

Izvod

Potreba da se poveća kapacitet prerade rude u rudniku Veliki Krivelj uslovila je istraživanja okolnih lokacija. Tako je pronađena bakarna mineralizacija u neposrednoj blizini rudnika sa povećanim sadržajem metala. Cilj rada je bio da se utvrdi da li materijal sa lokaliteta Kriveljski Kamen može uspešno da se preradi u flotaciji rudnika Veliki Krivelj. Preliminarna tehnološka ispitivanja su ukazala da ispitani uzorci u tehnološkom smislu imaju velike sličnosti i da bi mogli da se prerade zajedno.

Ključne reči: tehnološka ispitivanja, ruda bakra, rudnik Veliki Krivelj

Abstract

The need to increase the ore processing capacity in the mine Veliki Krivelj has required the exploration of surrounding sites. Also, the copper mineralization was found in the immediate vicinity of the mine with the increased metal content. The aim of this work was to determine whether the material from the site Kriveljski Kamen can be successfully processed in the Flotation Plant of the mine Veliki Krivelj. The preliminary technological testing has indicated that the tested samples, in technological terms, have great similarities and that they can be jointly processed.

Keywords: technological testing, copper ore, mine Veliki Krivelj

1. UVOD

Usled potrebe da se poveća kapacitet prerade u Flotaciji Veliki Krivelj, razmatrana je mineralizacija sa povećanim sadržajem bakra u blizini sela Veliki Krivelj, na lokalitetu Kriveljski Kamen. U ovoj oblasti vršeno je istražno bušenje. Takođe su izvršena i tehnološka ispitivanja [1] dva uzorka, jednog koji je formiran od materijala jezgara istražnih bušotina sa lokaliteta Kriveljski

Kamen, i drugog uzorka rude Veliki Krivelj koji je izuzet iz tehnološkog procesa u Flotaciji, sa trake ispred mlinu sa šipkama. Ispitivanja su trebala da daju odgovor na pitanje da li su karakteristike mineralizacije sa lokaliteta Kriveljski Kamen takve da bi materijal sa ovog lokaliteta mogao da se prerađuje u Flotaciji Veliki Krivelj, i da li bi mogao da se prerađuje zajedno sa rudom ležišta Veliki Krivelj.

2. EXPERIMENTALNI DEO

Na oba uzorka su urađena detaljna tehnološka ispitivanja. Na uzorku KK je određena tehnologija za dobijanje koncentrata bakra. Na uzorku VK su urađeni eksperimenti prema pogonskim uslovima i prema tehnologiji za dobijanje koncentrata bakra iz uzorka KK. Na kraju su urađeni i eksperimenti prema pogonskim i uslovima prilagođenim uzorku KK na kombinaciji uzoraka KK i VK u odnosu 1:5. U narednom tekstu su prikazani zaključci, koji su izvedeni tokom tehnoloških ispitivanja.

2.1. Karakteristike uzorka mineralizacije sa lokaliteta **Kriveljski Kamen - KK**

Uzorak označen oznakom KK, formiran je od materijala iz istražnih bušotina sa lokaliteta Kriveljski Kamen.

Srednji sadržaj važnijih elemenata u uzorku, prema hemijskoj analizi je: 0,3367% Cu; 1,3867 % S; 0,0833 g/t Au; 1,3333 g/t Ag. Gustina uzorka KK iznosila je 2790 kg/m^3 , nasipna masa pri krupnoći -12,7 mm $1706,2 \text{ t/m}^3$, nasipna masa pri krupnoći -3,35 mm $1595,4 \text{ t/m}^3$, a prirodna pH 7,20. Bondov radni indeks u mlinu sa šipkama je 14,22 kWh/t, a u mlinu sa kuglama 11,10 kWh/t.

Tokom laboratorijskih tehnoloških ispitivanja na uzorku mineralizacije Kriveljski Kamen, došlo se do sledećih zaključaka:

- Optimalni sadržaj čvrstog u laboratorijskom mlinu sa kuglama je 70%, što odgovara gustini pulpe od 1815 kg/m^3 .
- Sa porastom vremena kondicioniranja, neznatno raste iskorišćenje bakra u osnovnom koncentratu. Eventualna prerada ove sirovine predviđena je u Pogonu flotacije Veliki Krivelj. Raspoloživo vreme kondicioniranja prema „Dopunskom rudarskom projektu rekonstrukcije flotacije Veliki Krivelj u cilju povećanja kapaciteta od $8,0 \times 10^6$ na $10,6 \times 10^6 \text{ t vlažne rude godišnje}$ “ [2] u pogonu Flotacije Veliki Krivelj je 6 minuta. Uzimajući u obzir prethodno, smatra se da će vreme kondicioniranja od 5 minuta biti dovoljno.
- Dobijeni rezultati koncentracije ukazuju da sadržaj čvrstog u osnovnom flotiranju uzorka KK treba da bude oko 28-30% Č, što odgovara gustini pulpe od oko $1220-1240 \text{ kg/m}^3$.

- Sa povećanjem finoće mlevenja raste i iskorišćenje bakra u osnovnom koncentratu. Za ovakav tip sirovine, prema dobijenim rezultatima, mlevenje bi trebalo da ide do 70-75% -0,075 mm.
- Penušač Aerofroth 65 je omogućio vizuelno najstabilniju penu, a ujedno su dobijeni i najbolji rezultati koncentracije.
- Pojedine kombinacije kolektora su dale izrazito lošu penu ili pena nije mogla da se formira, a ostvareni su dobri rezultati. Takav je slučaj sa eksperimentom u kojem je korišćen kolektor KAX i sa eksperimentom u kojem je korišćena kombinacija kolektora KAX i A 208. Najbolji tehnološki rezultati dobijeni su sa kolektorom Aerofloat 238 Promoter, samostalno ili sa kolektorom KEX. Zadovoljavajući rezultati, ali nešto lošiji dobijeni su i sa kolektorom KEX, pogotovo kada se poveća doza.
- Najbolje iskorišćenje bakra u osnovnom koncentratu dobijeno je na pH 10,5.
- Vreme od 15 minuta za osnovno flotiranje dovoljno je za sirovinu koju predstavlja uzorak KK, pa će vreme od 20 minuta, koje omogućavaju flotacijske mašine u Flotaciji Veliki Krivelj, biti sasvim odgovarajuće.
- Domeljavanje osnovnog koncentrata je neophodno i to do finoće oko 90% - 0,075 mm, jer dovodi do povećanja sadržaja bakra u koncentratu prvog prečišćavanja sa 8,86% (bez domeljavanja) na 12,04%, i povećanja iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu od 80,76 % (bez domeljavanja) do 84,72 %. Dalje povećanje finoće domeljavanja, nije uticalo na rezultate koncentracije.
- Najbolji rezultati koncentracije ostvareni su u eksperimentu koji je izведен prema tehnologiji utvrđenoj za uzorak KK. Ostvaren je definitivni koncentrat sa 18,52% bakra i iskorišćenjem od 79,81%.
- Tehnološka šema, prema kojoj se prerađuje ruda u pogonu Flotacije Veliki Krivelj, ne odgovara u potpunosti uzorku KK, prvenstveno finoća mlevenja od 60% -0,075 mm. To se pokazalo i kroz eksperimente sa zatvorenim ciklusom flotiranja. Za uzorak KK, prihvatljiva je i šema sa otvaranjem ciklusa u delu prvog prečišćavanja (pod uslovom da finoća mlevenja bude 70% -0,075 mm i pH u osnovnom flotiranju 10,5), kao što je to u Flotaciji Veliki Krivelj, ali u tom slučaju treba očekivati niže iskorišćenje bakra za 3-4 % i nešto niži sadržaj bakra

2.2. Karakteristike uzorka ležišta Veliki Krivelj - VK

Uzorak rude Veliki Krivelj preuzet je od RBB dana 05.11.2012. god U Laboratoriji za PMS Instituta za rudarstvo i metalurgiju je označen oznakom VK, skraćen i usitnjен do krupnoće -3,35 mm. Izuzeti su uzorci za hemijsku analizu i eksperimente flotacijske koncentracije.

Srednji sadržaj važnijih elemenata u uzorku prema hemijskoj analizi je: 0,2133% Cu; 3,0067 % S; 0,0733 g/t Au; 0,5667 g/t Ag. Gustina uzorka VK iznosila je 2820 kg/m^3 , prirodna pH 7,20. Bondov radni indeks u mlinu sa kuglama iznosio je 11,10 kWh/t.

Tokom laboratorijskih tehnoloških ispitivanja na uzorku VK, došlo se do sledećih zaključaka:

- Minimalna finoća mlevenja koju treba ostvariti na uzorku VK je 65% -0,075 mm.
- Povećanje pH u osnovnom flotiranju uzorka VK ne utiče bitno na promenu iskorišćenja bakra u koncentratu. Povećanje pH u osnovnom flotiranju ipak utiče na povećanje sadržaja bakra u koncentratu, jer se smanjuje količina sumpora (koji najverovatnije potiče od pirita). Zato se smatra da pH u osnovnom flotiranju ne treba držati ispod 10,5.
- Najbolji rezultati dobijeni su sa kombinacijom kolektora KEX i Aerofloat 208 promoter i KEX i Aero 407 promoter (iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu 91,52 i 91,59%). Nešto lošiji rezultati dobijeni su sa kolektorom KEX (86,96-88,77%).
- Domeljavanje osnovnog koncentrata nema velikog uticaja na iskorišćenje bakra u koncentratu prvog prečišćavanja, ali se sadržaj bakra u koncentratu povećava. Rezultati ukazuju da je domeljavanje osnovnog koncentrata poželjno i to do 80-90 % -0,075 mm. Ne treba ići preko 90% -0,075 mm, jer u tom slučaju opada iskorišćenje bakra.
- Bolji rezultati koncentracije ostvareni su sa šemom bez otvaranja ciklusa. Šema prema kojoj se prerađuje ruda u Flotaciji Veliki Krivelj (sa otvaranjem ciklusa u delu prvog prečišćavanja) odgovara uzorku VK uz uslov da finoća mlevenja bude minimalno 65% -0,075 mm, pH u osnovnom flotiranju 10,5-11; domeljavanje osnovnog koncentrata do 80-90 % -0,075 mm. U tom slučaju, procenjuje se da se iz uzorka VK može dobiti definitivni koncentrat bakra sa sadržajem bakra od oko 20-21% uz iskorišćenje od oko 84%.

2.3. Mogućnost zajedničke prerade uzoraka VK i KK

Pitanje da li uzorci VK i KK mogu da se zajedno prerađuju i u kojoj fazi, biće razmotreno kroz osnovne parametre tehnološkog procesa, a to su: parametri mlevenja, finoća mlevenja, pH u osnovnom flotiranju, domeljavanje koncentrata, tehnološka šema, i kroz eksperimente na kombinaciji ovih uzoraka u odnosu KK:VK=1:5.

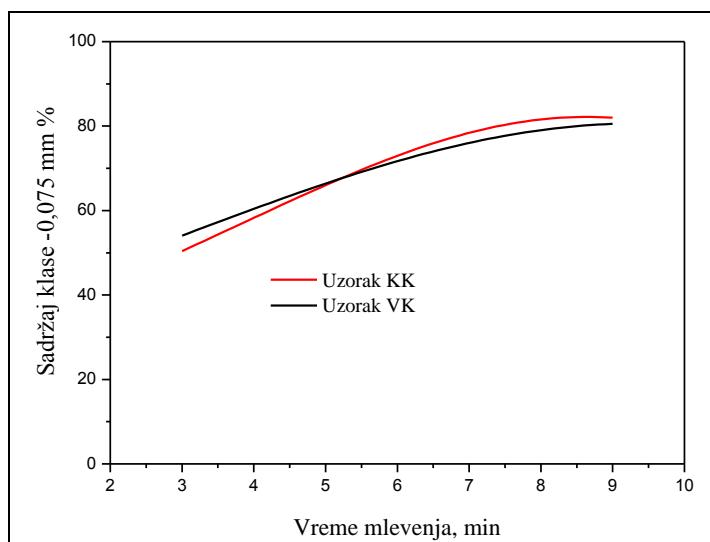
2.3.1. Parametri mlevenja

Jedan od ključnih parametara koji karakteriše proces mlevenja je Bondov radni indeks. U tabeli 1 uporedno su prikazane vrednosti Bondovog radnog indeksa za oba uzorka. Na uzorku VK, tokom ovih ispitivanja, nije uradena provera Bondovog indeksa već je prikazana vrednost koja je data kao podloga za „Dopunski rudarski projekat rekonstrukcije flotacije Veliki Krivelj u cilju povećanja kapaciteta od $8,0 \times 10^6$ na $10,6 \times 10^6$ t vlažne rude godišnje“ [2].

Tabela 1. Bondov radni indeks

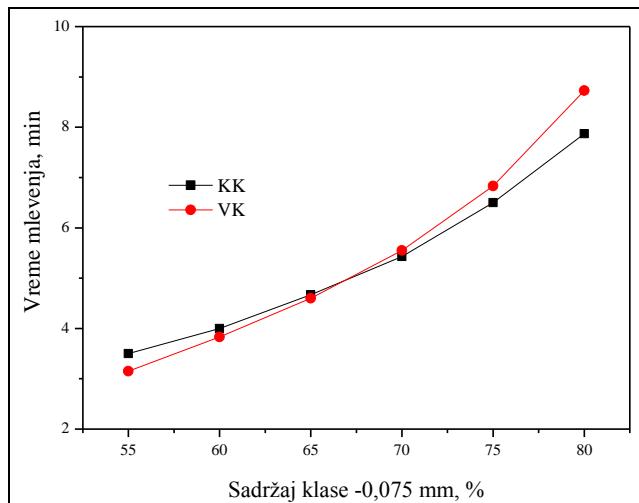
| Uzorak | Mlin sa šipkama | Mlin sa kuglama |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| KK | 14,22 kWh/t | 11,10 kWh/t |
| Ruda ležišta Veliki Krivelj | / | 11,80 kWh/t |

Ispitani parametri mlevenja uporedno su prikazani na slikama 1 do 3. Na slici 1 prikazana je zavisnost finoće mliva od vremena mlevenja uzoraka KK i VK.



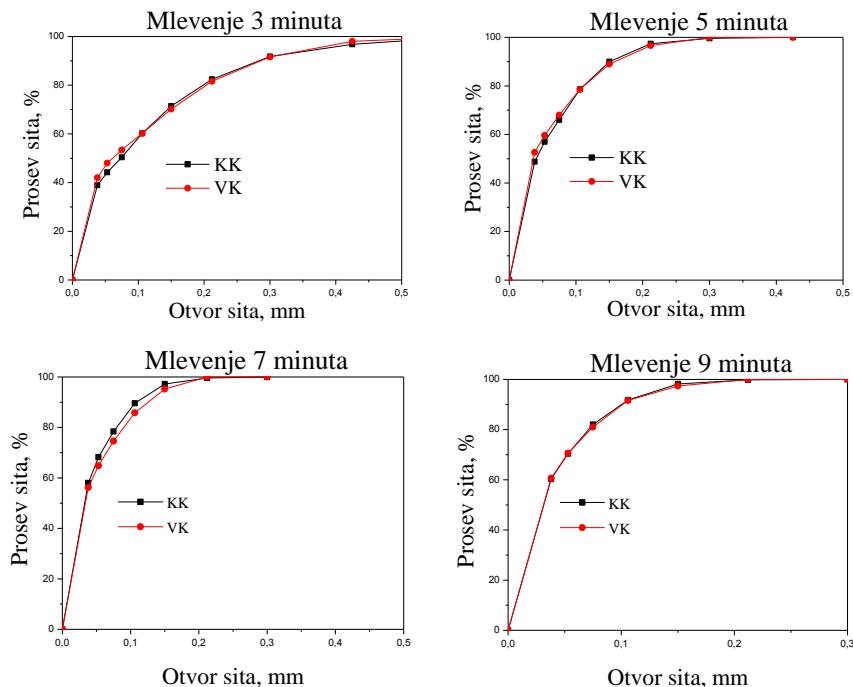
Sl. 1. Zavisnost finoće mliva od vremena mlevenja uzoraka KK i VK

Na slici 2 prikazano je potrebno vreme mlevenja u laboratorijskom mlinu sa kuglama, za određeni sadržaj klase -0,075 mm.



Sl. 2. Potrebno vreme mlevenja u laboratorijskom mlinu sa kuglama za određenu finoću mlevenja

Na slici 3 prikazan je granulometrijski sastav uzorka KK i VK u zavisnosti od vremena mlevenja u laboratorijskom mlinu.

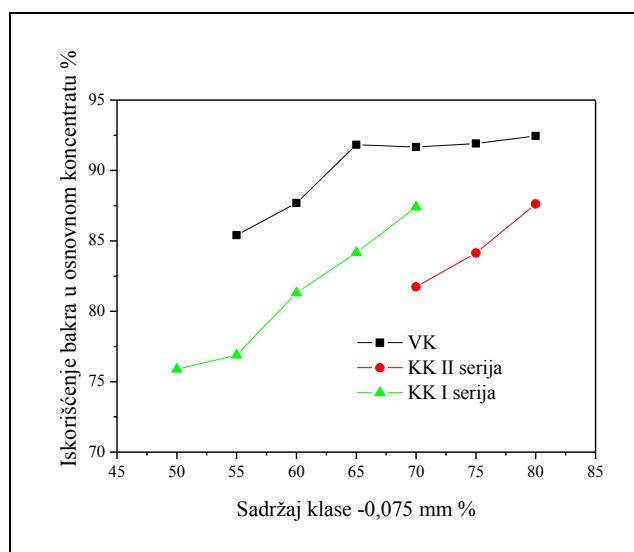


Sl. 3. Granulometrijski sastav uzorka KK i VK u zavisnosti od vremena mlevenja

Prikazani grafici pokazuju da su uzorci KK i VK vrlo slični kada je mlevenje u pitanju. Bondov indeks u mlinu sa kuglama iznosi 11,10 kWh/t za uzorak KK, a za rudu ležišta Veliki Krivelj 11,80 kWh/t. Kinetika mlevenja uzorka u laboratorijskom mlinu sa kuglama je slična pogotovo u rasponu od 60-70% -0,075 mm, kao i njihov granulometrijski sastav u zavisnosti od vremena mlevenja.

2.3.2. Finoća mlevenja i uticaj na osnovno flotiranje

Na slici 4 prikazana je zavisnost iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu od finoće mlevenja.

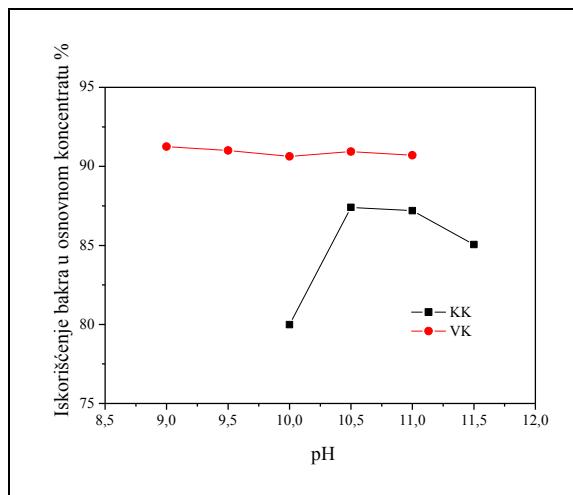


Sl. 4. Zavisnost iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu od finoće mlevenja

Na slici 4 se vidi da postoji velika razlika u pogledu nivoa rezultata koncentracije kod sve tri serije eksperimenata. To je čak uočljivo i kod istog uzorka (KK) i pri istoj finoći mlevenja, što svakako nije rezultat različitih finoća mlevenja. Ovo treba zanemariti i posmatrati prikazane grafikone nezavisno i samo kao tendenciju porasta iskorišćenja bakra sa finoćom mlevenja. Zaključci za oba ispitana uzorka koji su izneti pod tačkama 2.1. i 2.2. su slični: za uzorak KK, optimalni opseg finoće mlevenja je 70-75% -0,075 mm, a za uzorak VK, minimalna finoća mlevenja je 65% -0,075 mm. Ispravnost ovih zaključaka pokazala se i kroz eksperimente sa prečišćavanjem gde su sa finoćom mlevenja od 70% -0,075 mm postignuti bolji rezultati (veća iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu) nego pri finoći mlevenja od 60% -0,075 mm (pogonski uslovi).

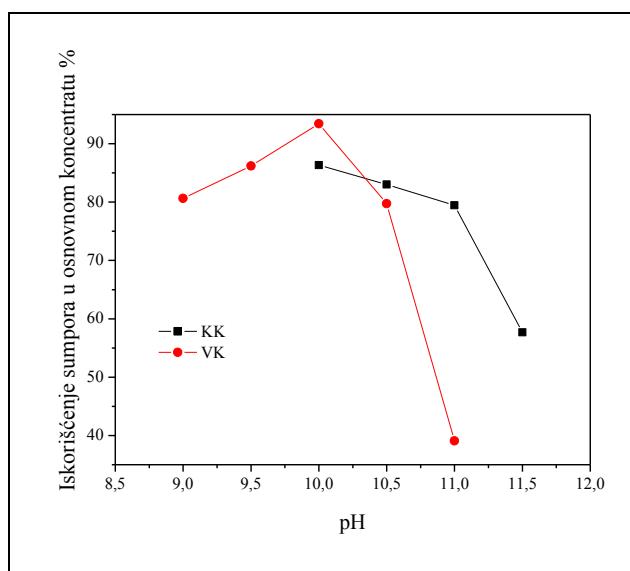
2.3.3. Uticaj pH na osnovno flotiranje

Na slici 5 prikazana je zavisnost iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu od pH vrednosti za uzorke KK i VK.



Sl. 5. Zavisnost iskorišćenja bakra u osnovnom koncentratu od pH

Na slici 6 prikazana je zavisnost iskorišćenja sumpora u osnovnom koncentratu od pH za uzorke KK i VK.

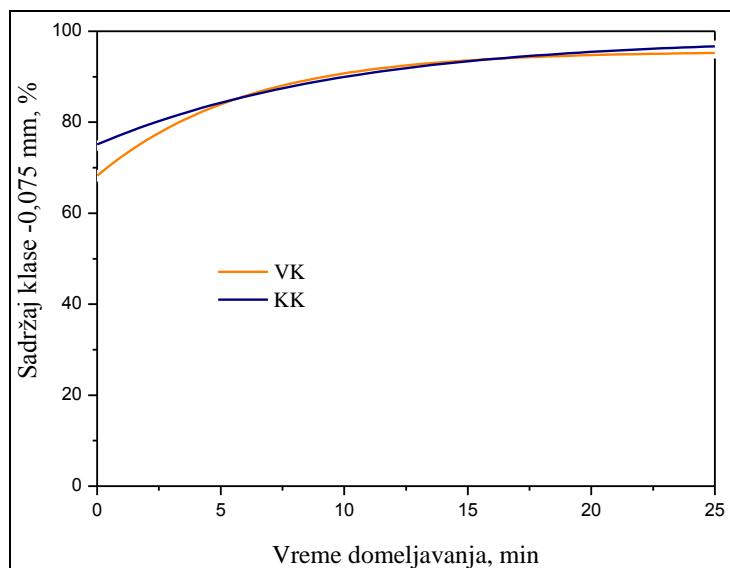


Sl. 6. Zavisnost iskorišćenja sumpora u osnovnom koncentratu od pH

Najbolje iskorišćenje bakra u osnovnom koncentratu kod uzorka KK dobijeno je na pH 10,5. Povećanje pH u osnovnom flotiranju uzorka VK ne utiče bitno na promenu iskorišćenja bakra u koncentratu. Međutim, povećanje pH u osnovnom flotiranju ipak utiče na povećanje sadržaja bakra u koncentratu, jer se smanjuje količina sumpora (koji najverovatnije potiče od pirita). Zato se smatra da pH vrednost u osnovnom flotiranju ne treba da bude manja od 10,5.

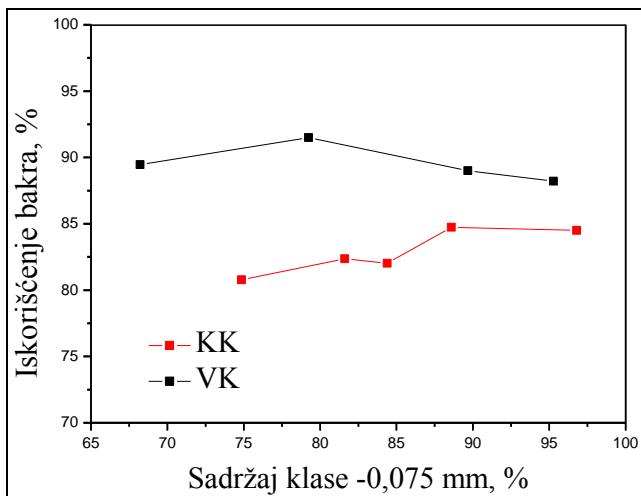
2.3.4. Domeljavanje osnovnog koncentrata

Na slici 7 prikazana je zavisnost finoće osnovnog koncentrata od vremena domeljavanja uporedno za uzorke KK i VK.

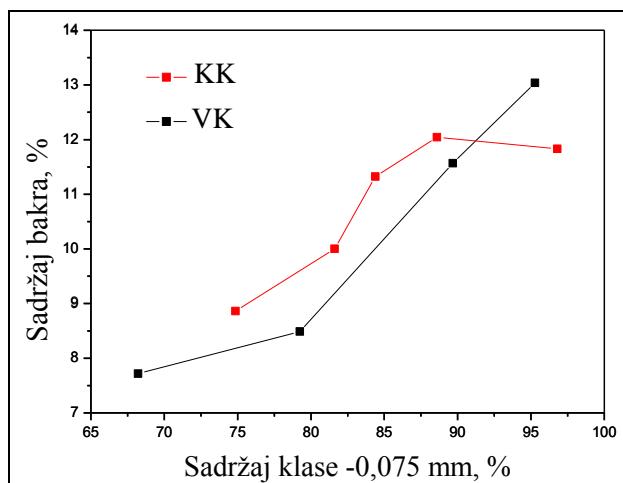


Sl. 7. Zavisnost finoće osnovnog koncentrata od vremena domeljavanja

Na slici 8 prikazana je zavisnost iskorišćenja bakra, a na slici 9 zavisnost sadržaja bakra u koncentratu prvog prečišćavanja od finoće domeljavanja osnovnog koncentrata.



Sl. 8. Zavisnost iskorišćenja bakra u koncentratu prvog prečišćavanja od finoće domeljavanja osnovnog koncentrata



Sl. 9. Zavisnost sadržaja bakra u koncentratu prvog prečišćavanja od finoće domeljavanja osnovnog koncentrata

Krive koje opisuju kinetiku domeljavanja uzoraka imaju veoma sličan trend, posebno u delu sa koga se očitava optimalna finoća domeljavanja. U tačkama 2.1. i 2.2. izведен je vrlo sličan zaključak: da je optimalna finoća domeljavanja osnovnog koncentrata za uzorak KK 90% -0,075 mm, dok je za uzorak VK poželjno domeljavanje do finoće koja se kreće od 80-90% -0,075 mm.

2.3.5. Mogućnost zajedničke prerade rude ležišta Veliki Krivelj i mineralizacije sa lokaliteta Kriveljski Kamen

Na osnovu izvedenih ispitivanja, dobijeni su tehnološki rezultati koncentracije oba uzorka prema optimalnim uslovima prilagođenim uzorku KK i prema pogonskim uslovima u Flotaciji Veliki Krivelj. U tabeli 2 prikazani su uporedno optimalni parametri i procenjeni rezultati u slučaju prerade rude koju predstavljaju ispitani uzorci.

Tabela 2. Optimalni parametri i procenjeni rezultati na uzorcima Kriveljski Kamen i Veliki Krivelj

| Optimalni parametri | KK | VK | KK:VK 1:5 |
|---|--|------------------------------------|-----------|
| Sadržaj bakra u ispitivanim uzorcima, % | 0,3367% | 0,2133% | |
| Finoća mlevenja, % -0,075 mm | 70-75% | minimalno 65% | |
| pH u osnovnom flotiranju | 10,5 | minimalno 10,5 | |
| Kretanje I_{Cu} , u eksperimentima u osnovnom koncentratu | 89-92% | 94-95% | |
| Finoća domeljavanja, % -0,075 mm | maksimalno 90% | 80-90% | |
| Reagensni režim | Pokazalo se da neki drugi kolektori daju bolje rezultate, ali i da KEX može da bude prihvatljiv kolektor | | |
| Šema flotacijske koncentracije | Bolji rezultati su dobijeni sa šemom bez otvaranja ciklusa | | |
| Procena rezultata koncentracije | $Cu, \% \text{ u } K_{def}$ oko 20% $I_{Cu}, \% \text{ u } K_{def}$ 78-81% (zavisno od šeme) | 18-20% 84-87% (zavisno od šeme) | 80-83% |

3. ZAKLJUČAK

Usled potrebe da se poveća kapacitet prerade u Flotaciji Veliki Krivelj, razmatrana je mineralizacija sa povećanim sadržajem bakra u blizini sela Veliki Krivelj, na lokalitetu Kriveljski Kamen. U ovoj oblasti vršeno je istražno bušenje. Takođe, izvršena su i tehnološka ispitivanja dva uzorka, jednog koji je formiran od materijala jezgara istražnih bušotina sa lokaliteta Kriveljski Kamen i drugog uzorka rude Veliki Krivelj koji je izuzet iz tehnološkog procesa u Flotaciji, sa trake ispred mlina sa šipkama. Ispitivanja su trebala da daju odgovor na pitanje da li su karakteristike mineralizacije sa lokalitetom Kriveljski Kamen takve da bi materijal sa ovog lokaliteta mogao da se prerađuje u Flotaciji Veliki Krivelj, i da li bi mogao da se prerađuje zajedno sa rudom ležišta Veliki Krivelj.

Pitanje da li uzorci VK i KK mogu da se zajedno preraduju i u kojoj fazi razmotreno je kroz osnovne uticajne parametre na tehnološki proces, a to su: parametri mlevenja, finoća mlevenja, pH u osnovnom flotiranju, domeljavanje koncentrata i tehnološka šema i kroz eksperimente na kombinaciji ovih uzorka u odnosu KK:VK=1:5.

Na osnovu celokupnih ispitivanja mogućnosti flotacijske koncentracije uzorka VK i KK, mogu se izvesti sledeći zaključci: Kada se razmatraju parametri koji su optimalni za proces flotacijske koncentracije (mlevenje, pH, domeljavanje, optimalna šema) uočena je velika sličnost između uzorka KK i VK. Međutim, treba napomenuti i neke različitosti kao što su bolji rezultati koncentracije na uzorku VK, ali i veći sadržaj bakra u uzorku KK. Stečena saznanja tokom eksperimentalnih ispitivanja na ovim uzorcima ukazuju da je njihova zajednička prerada moguća, čak i u fazi mlevenja. Što je veća reprezentativnost ispitanih uzorka, to je veća mogućnost uopštavanja izvedenih zaključaka. Smatramo da odluka o eventualnoj budućoj zajedničkoj preradi ne treba da se doneše na osnovu ovih veoma detaljnih, ali ipak preliminarnih ispitivanja na mineralizaciji sa novog lokaliteta. Takođe, treba izvesti ispitivanja na poluindustrijskom nivou.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat projekta br. TR 33023 pod nazivom „Razvoj tehnologija flotacijske prerade ruda bakra i plemenitih metala radi postizanja boljih tehnoloških rezultata”, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Deo rada prezentovan je na 50th International October Conference on Mining and Metallurgy.

LITERATURA

- [1] S. Magdalinović, Studija tehnoloških ispitivanja na jezgrima istražnih bušotina sa lokaliteta Kriveljski Kamen, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor, 2013.
- [2] V. Milošević, Dopunski rudarski projekat rekonstrukcije flotacije Veliki Krivelj u cilju povećanja kapaciteta od $8,0 \times 10^6$ na $10,6 \times 10^6$ t vlažne rude godišnje, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, 2013.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 622.7(497.11) (045)=163.41

ORIGINALAN STRUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

PRIKAZ I STANJE GLAVNIH OBJEKATA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ I KOLEKTORA KRIVELJSKE REKE KOD BORA

OVERVIEW AND CONDITION OF THE MAJOR FACILITIES OF THE FLOTATION TAILING DUMP VELIKI KRIVELJ AND COLLECTOR OF THE KRIVELJ RIVER NEAR BOR

Miomir Mikić, Radmilo Rajković, Milenko Jovanović, Daniela Urošević

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor, Serbia

e-mail: miomir.mikic@irmbor.co.rs

Izvod

Za deponovanje flotacijske jalovine iz pogona flotacije Veliki Krivelj, koristi se prostor dobijen pregrađivanjem doline Kriveljske reke. Do 1990. godine za odlaganje se koristilo Polje 1, da bi se nakon toga jalovište proširilo zauzimanjem dodatnog prostora doline Kriveljske reke nizvodno od Polja 1. Pri tome formirano je novo jalovište - Polje 2.U Polju 2 za izvođenje Kriveljske reke van granica jalovišta izgrađen je betonski kolektor, ukupne dužine 2075 m. Usled nepoštovanja projektnih rešenja u pogledu kapaciteta jalovišta, došlo je do ozbiljnog oštećenja pomenutog kolektora.

Ključne reči: kolektor, tunel, brana, flotacijsko jalovište

Abstract

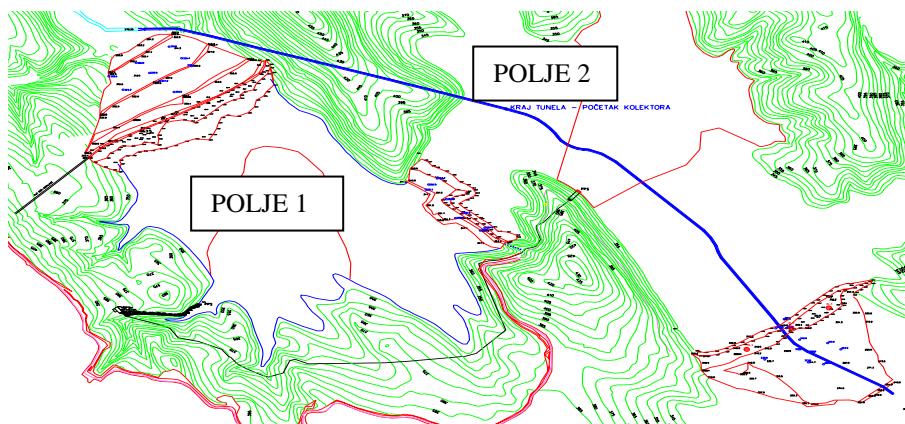
Since the beginning of work of the "Veliki Krivelj" mine, the area, obtained by damming the valley of the Krivelj River, for disposal of the flotation tailings. Until 1990, the Field 1 was used for disposal, and after that the tailing dump was expanded by taking the additional area of the Krivelj River valley downstream of the Field 1. During this, a new tailing dump was formed – Field. 2. The concrete collector, total length 2075 m, was built in the Field 2 to remove the Krivelj River outside the boundaries of the tailing dump. Due to the failure of design solutions in terms of capacity of the tailing dump, there was a serious damage to the said collector.

Keywords: collector, tunnel, dam, flotation tailing dump

1. UVOD

Flotacijsko jalovište „Veliki Krivelj“ je locirano u dolini Kriveljske reke. Akumulacioni prostor jalovišta dobijen je pregrađivanjem doline branama izgrađenim od ciklonskog peska. Jalovište je podeljeno na prvo polje - polje 1 (staro jalovište), polje 2 (novo jalovište), locirano nizvodno od polja 1, i polje 3. Polje 1 nije operativno od 1990. godine, kada se aktiviralo polje 2, slika 1.

Flotacijsko jalovište u dolini Kriveljske reke je ograničeno branom 3, nizvodno prema Oštrelju, i budućom branom 4, uzvodno prema PK „Veliki Krivelj“. S obzirom na faznu izgradnju i eksploataciju, jalovište je podeljeno na: polje 1, polje 2 i polje 3.



Sl. 1. Položaj flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj sa pripadajućim glavnim objektima

Od početka svoga rada 1982. godine pa do 1989. godine flotacija Veliki Krivelj je deponovala jalovinu u starom jalovištu - Polje 1. Polje 1 je nastalo zatvaranjem doline Kriveljske reke dvema pregradnim peščanim branama, uzvodnom branom 1 i nizvodnom branom 2. Radi evakuacije vode Kriveljske reke izgrađen je tunel kroz stenski masiv, čija je trasa sa leve obale prvobitnog rečnog toka. Tunel je prečnika 3 m, a njegova dužina iznosi 1414 m.

Godine 1990. flotacijsko jalovište Veliki Krivelj proširuje se nizvodno zauzimajući dodatni prostor u koritu Kriveljske reke. Tako je formirano novo jalovište, koje je nazvano Polje 2. Za okonturenje novog jalovišta bilo je dovoljno izgraditi samo jednu branu - branu 3. Za odvođenje voda Kriveljske reke izgrađen je po dnu korita Kriveljske reke kolektor, prečnika 3 m i dužine 2075 m, koji predstavlja nastavak postojećeg tunela.

2. OPIS STANJA GLAVNIH OBJEKATA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ

Brana 1 ograničava jalovište Veliki Krivelj i Polje 1 sa uzvodne strane. Isprojektovana je od cikloniranog peska sa kotom krune brane od K+375 mnv.

Brana 2 se nalazi nizvodno od brane 1 na udaljenosti od oko 1300 m, i ograničava Polje 1 nizvodno i Polje 2 uzvodno. Brana 2 je projektovana na identičan način kao i brana 1, polazeći od inicijalne brane (2A), a završavajući zaštitnom branom (2B). Brana 2 je građena po projektovanim parametrima do kote K+353 mnv.

Brana 3 je poslednja nizvodna brana i udaljena je od brane 2 oko 1500 m, i ograničava jalovište i polje 2 sa nizvodne strane (prema selu Oštrelj). Kruna brana 3 je najvećim delom dospila projektovanu kotu od k+350 mnv, sem kraćeg dela na kontaktu leve padine doline Kriveljske reke i brane 3. Izgrađena je odstupnom metodom polazeći od inicijalne brane (3A), a završavajući zaštitnom branom (3B).

U fazi eksploatacije starog jalovišta, za devijaciju Kriveljske reke izgrađen je tunel kroz stenski masiv po levoj obali reke, ukupne dužine 1414 m, unutrašnjeg prečnika prečnika 3 m, sa betonskom dvostrano armiranom oblogom debljine 20 cm, slika 1. Prosečni nagib tunela je 1,1 %. Pored rečne vode, kroz tunel prolaze i kisele vode pH vrednosti 2-4. Ove kisele vode su erodirale celu debljinu dna tunela. Potrebna je sanacija dna tunela u celoj njegovoj dužini sa dodavanjem završnog kiselootpornog premaza.

U Polju 2 za izvođenje voda Kriveljske reke van granica jalovišta, projektovan je kao AB cev i izgrađen po dnu korita Kriveljske reke betonski kolektor, prečnika 3 m, debljine 50 cm i ukupne dužine 2075 m, slika 1. Projektovano stanje je izmenjeno sanacijom kolektora ispod tela brane 3 (u periodu 1992 - 1996. godine i kasnije) i to 560 m na celom profilu i oko 40 m u zoni kinete. Sanirani deo kolektora ispod brane 3, u ukupnoj dužini od oko 600 m, počinje od lokacije - stacionaže koja je udaljena od izlaza kolektora 200 m. U saniranom delu svetli prečnik kolektora je smanjen sa 3 m na 2.2 m.

3. UTICAJ ZAPUNJAVANJE AKUMULACIONOG PROSTORA NA KOLEKTOR KRIVELJSKE REKE

Jalovište u Polju 1 je projektovano sa kotom krune brane K+375 mmm, kotom uspora K+370 mmm i ukupnom zapreminom od $94,3 \times 10^6$ m³. Eksploracijom do 1990. godine, kruna brane 1 dospila je prosečno K+363 mmm, kruna brane 2 dospila je prosečno K+353 mmm, dok je kota uspora K+344 mmm. Predviđenom dinamikom, po Tehničkom projektu odlaganja flotacijske jalovine za kapacitet od $10,6 \times 10^6$ tona vlažne rude, (Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor, 2011.), brane 1 i 2 dostižu projektovanu kotu od K+385 mnv do kraja 2013. godine. Nakon toga se sva jalovina iz flotacije Veliki Krivelj ispušta u akumulacioni prostor Polja 1 bez cikloniranja, vodeći računa da se slobodni akumulacioni prostor maksimalno i što racionalnije iskoristi.

Aktiviranje Polja 1 je usledilo nakon zapunjavanja Polja 2 do kote 349,6 m. Projektom predviđene kote Polja 2 su bile 345 mnv za akumulaciju, a 350 mnv za branu. Usled nedostatka akumulacionog prostora došlo je do odlaganja flotacijske jalovine preko projektovane kote, pri čemu je površina ogledala flotacijskog jalovišta narasla na preko 180 ha, slika 1. Ukupna količina jalovine

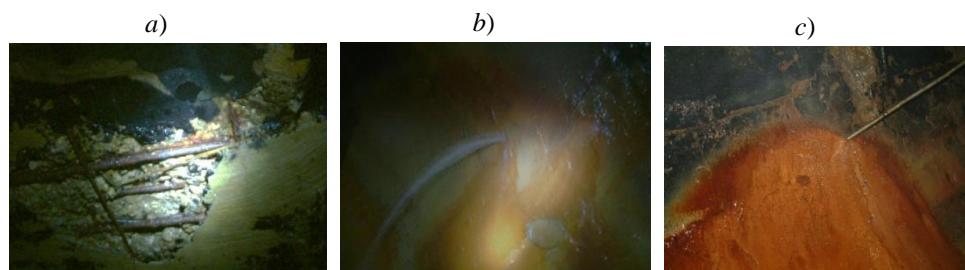
koja je dodata iznosi preko 8 Mt, u odnosu na predviđene količine. Sve ovo se odrazilo na stanje postojećeg kolektora u Polju 2.

Ovaj kolektor je prvobitno pretrpeo oštećenja, i to u području tela brane 3, kada je dobro izdreniran i „konsolidovan“ nasip od ciklonskog peska dospjao visinu od 45 do 50 m iznad kolektora. Debljina cevi kolektora i primenjena armatura nije bila dovoljna da se održi statički sistem kontinualnog zatvorenog rama, pa su se stvorili „plastični zglobovi“, prvo pukotine na radnim spojnicama, a kada je nasip dospjao visinu od 55 do 60 m, javile su se i pukotine širine 1 do 2 cm i duboke od 15 do 30 cm praćene kidanjem kružne armature i uzengija, slika 2.

Sanacijom kolektora ispod tela brane 3 (u periodu 1992 - 1996. godine i kasnije) i to 560 m na celom profilu i oko 40 metara u zoni kinete, dobijeni su uslovi za punjenje jalovišta do planiranog nivo od 345 mnv. Sanirani deo kolektora ispod brane 3, u ukupnoj dužini od oko 600 m, počinje od lokacije - stacionaže koja je udaljena od izlaza kolektora 200 m. U saniranom delu svetli prečnik kolektora je smanjen sa 3,0 m na 2,2 m.

Kako se nisu ispoštovali projektovani kapaciteti za jalovište, došlo je do daljeg propadanja i oštećenja kolektora, nakon čega je usledila ponovna intervencija na pobošanju njegovog stanja.

Kako se rešenje postavljanja kolektora kroz Polje 2 pokazalo kao neadekvatno za primenu na predmetnom jalovištu, i usled neprimenjivanja odgovarajuće armature (koja je otporna na kiselu sredinu) i opterećivanja jalovišta preko projektovane vrednosti, neminovno je bilo traženje novog rešenja koje bi zamenilo kolektor. Ovo rešenje je nađeno u izradi tunela, slika 1, u čvrstoj sredini.



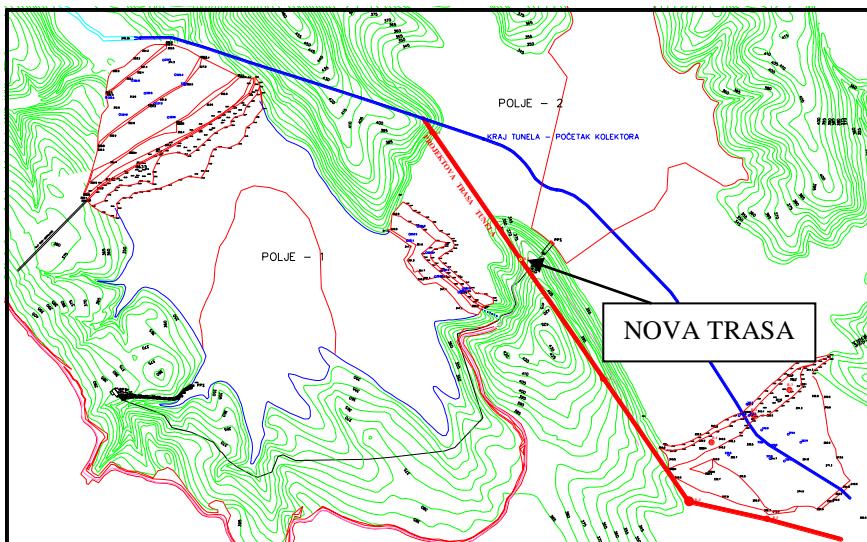
Sl. 2. Izgled oštećenja betona do armature u bočnom delu kalote (a), skup naprslina sa leve strane kampade kroz koju izlazi voda pod pritiskom (b) i hemizam betona i agresivne vode

4. PREDLOŽENA NOVA TRASA TUNELA KRIVELJSKE REKE

Tunel će sprovoditi vode Kriveljske reke ispod ekološki opasnog flotacijskog jalovišta, čime preuzima ulogu postojećeg i oštećenog kolektora.

Ovaj tunel će biti u dužini od 2400 m. Jednim delom će proći ispod flotacijskog jalovišta, a drugi deo kroz čvrstu stensku sredinu koja je zapadno od polja 2.

Predložena nova trasa tunela Kriveljske reke prikazana je na slici 3.



Sl. 3. Predložena nova trasa tunela Kriveljske reke

5. ZAKLJUČAK

Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj formirano je pregrađivanjem doline Kriveljske reke i služi za deponovanje flotacijske jalovine. Za odvođenje voda Kriveljske reke u Polju 2, izgrađen je betonski kolektor dužine 2075 m, prečnika 3 m. Zbog odlaganja flotacijske jalovine preko projektovane kote, kolektor je bio izložen povećanom statičkom pritisku koji je uzrokovao oštećenje kolektora.

S obzirom da njegova dalja sanacija nije moguća, neophodno je pronaći alternativno rešenje. Ovo rešenje predviđa izgradnju novog tunela, čija će trasa delom proći ispod flotacijskog jalovišta, a delom kroz čvrsti, neporemećeni stenski materijal. Tačan položaj trase biće određen nakon detaljnih geotehničkih ispitivanja terena u delu predložene trase tunela.

ZAHVALNOST

Rad je proizašao iz projekta broj TR33021, koji je finansiran sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Editorial, Part II: Environmental Impacts of Mining, Industry and Environment, Volume 23, Special Issue, 2000, pp. 5-8.
- [2] M. Miljković, Procena opasnosti od havarija na rudarskim objektima i mogućeg ugrožavanja životne sredine, Bor, 2002.
- [3] Copper Institute, Expertise of the Tailings Veliki Krivelj Current Situation with the Conceptual Solution of Flotation Tailings Disposal in the Krivelj River Valley, Bor, 2003.
- [4] M. Ljubojev, D. Ignjatović, L. Đurđevac Ignjatović, V. Ljubojev, Preparations for Investigation the Tunnel Route and Field Surveying, Mining Engineering Journal, No. 1, 2011, pp. 135-166.
- [5] S. Krstić, M. Ljubojev, M. Mikić, V. Ljubojev, Methods of Geotechnical Investigations for Rehabilitation and Remediation the Flotation Tailing Dump Veliki Krivelj (Serbia), XIV Balkan Mineral Processing Congress, Proceedings, Jun, 2011, Tuzla, B&H, pp. 851-853.
- [6] S. Krstić, M. Mikić, M. Ljubojev, O. Musić, V. Ljubojev, Conditions of drainage of flotaion tailing of „Veliki Krivelj“, 43rd International October Conference on Mining and Metallurgy, Proceedings, Octobar 2011, Kladovo, Srbija, pp. 221-238.
- [7] D. Kržanović, M. Mikić, M. Ljubojev, Analysis the Spatial Position of Mining Facilities of the Veliki Krivelj Mine to the Proposed Tunnel route for Relocation the Krivelj River, Mining Engineering, No. 3, 2011, pp. 95-100.
- [8] D. Kržanović, M. Mikić, M. Ljubojev, Analysis of Development Effects of the Veliki Krivelj Mine on Construction the New Facilities for Deviation the Krivelj River, Mining Engineering, No. 4, 2011, pp. 57-65.
- [9] S. Krstić, R. Lekovski, M. Mikić, Environmental Protection from Dust from Flotation Tailings Veliki Krivelj, Air Protection 2011, Proceedings, Zrenjanin, Hotel Vojvodina, 7 - 9 11. 2011, pp. 200-206.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 622.271/.6 (497.11) (045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

UPOREDNA ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE I EMISIJE CO₂ ZA DISKONTINUALNI I KOMBINOVANI SISTEM TRANSPORTA NA PRIMERU POVRŠINSKOG KOPA SEVERNI REVIR

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSION FOR DISCONTINUOUS AND COMBINED TRANSPORT SYSTEM AT THE OPEN PIT NORTH MINING DISTRICT

Nikola Stanić, Saša Stepanović, Željana Sekulović, Miljan Gomilanović

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Srbija

e-mail: nikola.stanic@irmbor.co.rs

Izvod

U ovom radu prikazan je proračun emisije CO₂ u slučaju primene diskontinualnog i kombinovanog sistema transporta rude i jalovine. Proračun je urađen na primeru površinskog kopa Severni Revir – Majdanpek. Iz proračuna se može videti da su emisija CO₂ u Variojanti primene kombinovanog sistema transporta 2,4 puta manja u odnosu na diskontinualni sistem.

Ključne reči: emisija CO₂, transport, optimizacija, Severni Revir

Abstract

This paper presents a calculation of CO₂ emission in the case of application a discontinuous and combined transport system of ore and tailings. The calculation was made on the example of the open pit North Mining District - Majdanpek. It can be seen that CO₂ emission in application of the combined transport system variant is 2.4 times lower than a discontinuous system.

Keywords: CO₂ emission, transport, optimization, North Mining District

1. UVOD

Proizvodnja mineralnih resursa po pravilu je povezana sa upravljanjem i manipulacijom značajnih količina materijala koji se ne sreću u drugim industrijskim oblastima. Pored značajne potrošnje energije neophodne u proizvodnji mineralnih sirovina, značajni su i uticaji na životnu sredinu, odnosno ekološki faktori eksploracije. Zbog toga je pitanje energetske efikasnosti i primena postupaka koji omogućavaju da čitav sistem ostane u okviru dozvoljenih granica uticaja na ekologiju veoma značajno, odnosno ova dva pitanja u savremenom svetu postaju ključna za ocenu uspešnosti eksploracije.

Kada je reč o površinskoj eksploraciji, ona je uvek vezana za otkopanjenje, transport i odlaganje velikih količina rude i jalovine. Težište angažovanja opreme,

ukupna potrošnja energije i uticaj na neposrednu okolinu vezan je upravo za procese eksploatacije, a u okviru njih, naročito se odnose na tehnološki proces transporta obzirom da on predstavlja u energetskom smislu najzahtevniji deo tehnološkog sistema. Sprovodenje efikasnijih metoda otkopavanja, transporta i odlaganja (deponovanja), kako u pogledu smanjenja potrošnje energije tako i u pogledu smanjenog vremenskog angažovanja opreme, korišćenje lakše i opreme koja zahteva manji obim održavanja predstavlja primarni zadatak u procesu optimizacije eksploatacije. Energetski efikasni sistemi imaju direktni uticaj na jedinično smanjenje troškova, odnosno povećanje ekonomičnosti proizvodnje. Osim ovog primarnog faktora, u konkretnim primerima eksploatacije, značajan je i njihov ekološki efekat. Naime, u poslednjim decenijama postoji značajna tendencija da se proizvodni sistemi, koji kao emergent koriste dizel gorivo, zamene sa savremenim sistemima i opremom, koja bi se direktno snadbevala električnom energijom iz termoelektrana. Obzirom na strukturu energetske potrošnje, mere optimizacije u okviru sistema eksploatacije i transporta podrazumevaju:

1. Zamenu diskontinualnih sistema kombinovanim ili kontinualnim sistemima u kojima se značajan deo transporta ukupnih masa odvija transporterima sa trakom.
2. Skraćivanje dužina transporta boljim korišćenjem raspoloživog otkopanog prostora unutar površinskih kopova, upravljanje frontom napredovanja radova na otkopavanju, sprovođenjem dodatnih mera zaštite površinskog kopa od voda, i posredno izmenom geometrije etaža na otkopavanju i odlaganju i boljom organizacijom, efikasnošću i pouzdanošću osnovne opreme.
3. Korišćenjem savremene, energetski efikasnije opreme.

Obezbeđenje električne energije za potrebe površinskih kopova je direktno vezano za proizvodne kapacitete u kojima termoelektrane imaju najveći značaj. Površinski kopovi predstavljaju velike energetske potrošače, te je sa aspekta energetske efikasnosti bitna ne samo primarna potrošnja energije nego i potrebna infrastruktura, efikasnost, pouzdanost i cena dopreme energije. Štetni ekološki uticaji korišćenja pojedinih vrsta energije su veoma različiti po svom karakteru, a poslednjih decenija širokoj javnosti je najprepoznatljiviji emisija ugljen dioksida kao direktni uzročnik efekta staklene baštne, odnosno uzročnik globalnih klimatskih promena. Osim toga, postoje pravno formalne obaveze na nacionalnom i međunarodnom nivou, a koje se odnose na maksimalnu emisiju ugljen dioksida i potrebu njenog smanjenja. U konkretnom primeru, analizirana su dva sistema transporta (diskontinualni i kombinovani) i smanjenje emisije ugljen dioksida kao posledica efikasnijeg sistema. Ovaj efekat ne predstavlja direktni ekonomski parametar sistema eksploatacije, ali doprinosi boljem shvatanju ukupnog benefita uvođenja energetski efikasnijih postupaka i opreme.

2. PRIMER SA PK SEVERNI REVIR

U okviru formiranja planova za buduće proizvodne i investicione aktivnosti na PK Severni Revir izvršena je analiza različitih sistema transporta rude i jalovine, u okviru predhodno definisanih kapaciteta proizvodnje i mesta odvijanja radova. Analiza je izvršena za trogodišnji period eksploracije 2019-2021. godina, a kao referentna godina za poređenje je usvojena 2021. godina.

Tehnološki sistem eksploracije na površinskom kopu Severni Revir čine sledeći tehnološki procesi:

- Pripremni radovi
- Bušenje
- Oprobavanje
- Miniranje
- Otkopavanje i utovar
- Transport
- Odlaganje

Kako bi se odredili efekti emisije CO₂ u absolutnim iznosima, kao i njihovi relativni odnosi za slučaj diskontinualnog i kombinovanog transposta rude i jalovine, izvršeni su odgovarajući proračuni i analiza rezultata.

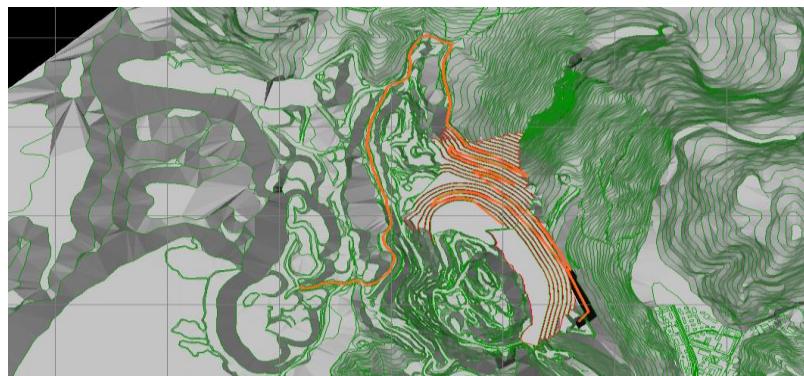
Proračun parametara transporta po analiziranim sistemima vršen je primenom programskog paketa Talpac. Na osnovu ulaznih parametara, proračunat je časovni kapaciteti kamiona za određenu transportnu relaciju.

Programski paket Talpac predstavlja simulacioni model procesa utovara i transporta na površinskim kopovima. Softver omogućava optimizaciju transportne flote, proračun tehničko ekonomskih parametara rada opreme, kao što su dužina ciklusa, kapacitet, i sl. U konkretnom slučaju ovaj program je korišćen da se odrede parametri pri transportu različitih materijala (ruda, jalovina) i sa različitim etaža.

Prvi analizirani sistem predstavlja diskontinualni sistem transporta kamionima nosivosti 70 tona. Transport rude odvija se do drobiličnog postrojenja, koje se nalazi na istočnoj strani površinskog kopa. Transport jalovine je diskontinualni do mesta odlaganja na odlagalištu Mali Ujevac.

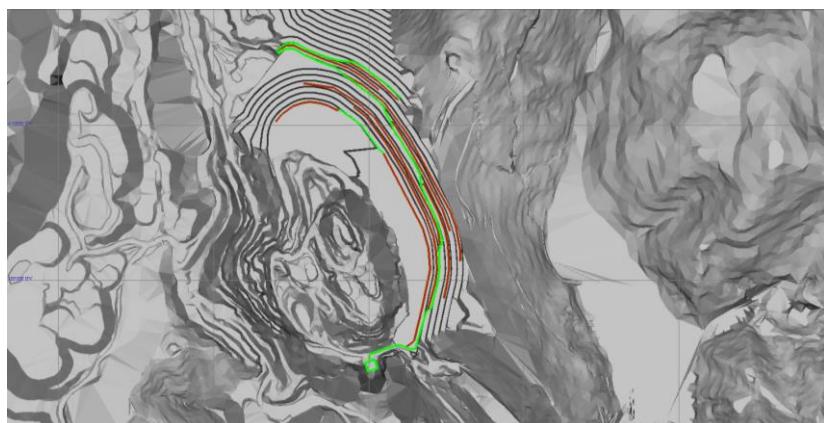
Drugi analizirani sistem podrazumeva postojanje drobiličnog postrojenja na jugo-istočnom delu površinskog kopa i transportnog sistema sa mogućnošću promene smera toka materijala. Na ovaj način vršio bi se transport i rude i jalovine. Pozicije drobiličnog postrojenja i transportne trase prikazane su na slikama 1 i 2 (sistem 1 i sistem 2). U oba slučaja korišćena je ista utovarna oprema koja po svojoj veličini i karakteristikama odgovara izabranom tipu kamiona.

Na slici 1 su prikazane transportne trase jalovine i rude pri diskontinualnom sistemu transporta za planirani razvoj radova u 2021. godini.



Sl. 1. Transportne trase jalovine i rude pri diskontinualnom sistemu transporta u 2021. godini

Na slici 2 su prikazane transportne trase jalovine i rude pri kombinovanom sistemu transporta za planirani razvoj radova u 2021. godini.



Sl. 2. Transportne trase jalovine i rude pri kombinovanom sistemu transporta u 2021. godini

Proračun parametara transporta podrazumeva određivanje kapaciteta transporta i potrebnog broja kamiona za konkretnu trasu i planiranu količinu materijala. Transportne trase su posebno izvedene za svaku etažu i planiranu količinu materijala sa te etaže. Kao ulazne veličine, figurišu i parametri utovarne opreme izraženi kroz vreme ciklusa, zapreminu kašike, raspoloživo i efektivno vreme rada na godišnjem nivou, itd. Usvajanjem iste utovarne opreme obezbeđeno je da se analizirani sistemi transporta mogu međusobno porebiti.

Transport rude se odvija kamionski do drobiličnog postrojenja, a zatim sistemom transporteru sa trakama. Parametri ovog transportnog sistema, uključujući i normativne troškove, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Parametri transporta rude u 2021. godini

| Etaže | t | m ³ | Dužina (m) | Kapacitet | H/god | Broj kamiona |
|--------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-------|--------------|
| 545 | 218,519 | 80,066 | 1471 | 236.24 | 5000 | 0.185 |
| 530 | 214,477 | 79,099 | 1271 | 276.52 | 5000 | 0.155 |
| 515 | 248,812 | 91,973 | 1050 | 293.42 | 5000 | 0.170 |
| 500 | 248,491 | 92,000 | 850 | 361.04 | 5000 | 0.138 |
| 485 | 173,160 | 64,133 | 1078 | 288.00 | 5000 | 0.120 |
| 470 | 280,872 | 104,027 | 1278 | 238.78 | 5000 | 0.235 |
| 455 | 474,484 | 175,735 | 1479 | 227.62 | 5000 | 0.417 |
| 440 | 485,108 | 179,670 | 1681 | 195.25 | 5000 | 0.497 |
| 425 | 473,925 | 175,528 | 1876 | 187.21 | 5000 | 0.503 |
| 410 | 482,152 | 178,575 | 2080 | 165.44 | 5000 | 0.580 |
| TOTAL | 3,300,000 | 1,220,805 | 1,522 | 230.85 | | 3.000 |

U 2021. godini, po transportnom sistemu 1 transport jalovine se odvija kamionski na spoljašnje odlagalište. Parametri ovog transportnog sistema, uključujući i normativne troškove, prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Parametri transporta jalovine u 2021. godini

| Etaže | t | m ³ | Dužina (m) | Kapacitet | H/god | Broj kamiona |
|--------------|------------------|------------------|--------------|--------------|-------|---------------|
| 545 | 1,014,871 | 375,878 | 4235 | 99.64 | 5000 | 2.037 |
| 530 | 993,701 | 368,037 | 4435 | 93.02 | 5000 | 2.137 |
| 515 | 948,521 | 351,304 | 4635 | 86.28 | 5000 | 2.199 |
| 500 | 992,206 | 367,484 | 4835 | 84.14 | 5000 | 2.358 |
| 485 | 1,079,261 | 399,726 | 5035 | 79.78 | 5000 | 2.706 |
| 470 | 998,852 | 369,945 | 5235 | 77.88 | 5000 | 2.565 |
| 455 | 773,600 | 286,518 | 5435 | 73.64 | 5000 | 2.101 |
| 440 | 617,236 | 228,606 | 5635 | 72.22 | 5000 | 1.709 |
| 425 | 610,644 | 226,164 | 5835 | 68.30 | 5000 | 1.788 |
| 410 | 551,096 | 204,110 | 6035 | 66.86 | 5000 | 1.649 |
| TOTAL | 8,579,986 | 3,177,773 | 5,027 | 81.92 | | 21.248 |

U slučaju kombinovanog sistema transporta utovarno mesto, drobilično postrojenje, i za jalovinu i za rudu, je locirano u južnom delu Severnog Revira. Transport do drobiličnog postrojenja je diskontinualan, a na dalje se odvija transportnim sistemom sa transporterima sa trakom i mogućnošću promene toka materijala u slučaju transporta jalovine i transporta rude. U tabeli 3 dati su parametri diskontinualnog dela transportnog sistema, pri čemu su objedinjene količine jalovine i rude obzirom da su im transportne putanje iste.

Tabela 3. Severni Revir ruda i jalovina u 2021. godini

| Etaže | t | m ³ | Dužina (m) | Kapacitet | H/god | Broj kamiona |
|--------------|-------------------|------------------|--------------|---------------|-------|---------------|
| 545 | 1,233,389 | 455,944 | 1471 | 165.82 | 5000 | 1.488 |
| 530 | 1,208,178 | 447,136 | 1271 | 175.42 | 5000 | 1.377 |
| 515 | 1,197,333 | 443,277 | 1050 | 190.70 | 5000 | 1.256 |
| 500 | 1,240,697 | 459,484 | 850 | 208.40 | 5000 | 1.191 |
| 485 | 1,252,421 | 463,860 | 1078 | 227.65 | 5000 | 1.100 |
| 470 | 1,279,724 | 473,972 | 1278 | 250.29 | 5000 | 1.023 |
| 455 | 1,248,083 | 462,253 | 1479 | 281.34 | 5000 | 0.887 |
| 440 | 1,102,343 | 408,275 | 1681 | 318.55 | 5000 | 0.692 |
| 425 | 1,084,569 | 401,692 | 1876 | 374.19 | 5000 | 0.580 |
| 410 | 1,033,248 | 382,685 | 2080 | 295.62 | 5000 | 0.699 |
| TOTAL | 11,879,986 | 4,398,578 | 1,391 | 245.99 | | 10.292 |

3. METODOLOGIJA PRORAČUNA EMISIJE UGLJEN DIOKSIDA

Za proračun emisije ugljen dioksida, nastalog sagorevanjem uglja, korišćena je metodologija navedena u dokumentu „IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Inventory, Volume 2 – Energy“. Generalno, emisija svakog od gasova sa efektom staklene bašte iz mobilnih izvora se proračunava množenjem potrošnje goriva i odgovarajućeg emisionog faktora. Potrošnja goriva se najpre iskazuje u jedinicama mase ili zapremine, a zatim se mora konvertovati u energetsku vrednost tog goriva.

Energetske vrednosti pojedinih goriva određuju se statističkim metodama, sistematski se prikupljaju od nacionalnih agencija i obrađuju i prezentuju u vidu periodičnih pregleda.

Tabela 4. CO₂ emisioni faktor i gornja i donja očekivana granica za različite vrste goriva u drumskom saobraćaju

| Vrsta goriva | Srednja vrednost (kg/TJ) | Gornja granica (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| Motorni benzin | 69,300 | 67,500 | 73,000 |
| Dizel gorivo | 74,100 | 72,600 | 74,800 |
| Tečni naftni gas | 63,100 | 61,600 | 65,600 |
| Kerozin | 71,900 | 70,800 | 73,700 |
| Ulje u mešavini | 73,300 | 71,900 | 75,200 |
| Prirodni gas | 56,100 | 54,300 | 58,300 |
| Tečni prirodni gas | 56,100 | 54,300 | 58,300 |

Prema ovoj metodologiji, mobilni izvori CO₂ uključuju sve tipove vozila, od motocikala, pa preko automobila, traktora, autobusa, lakih kamiona, do teških kamiona i mehanizacije koji se koriste u rudarstvu. Ova vozila mogu

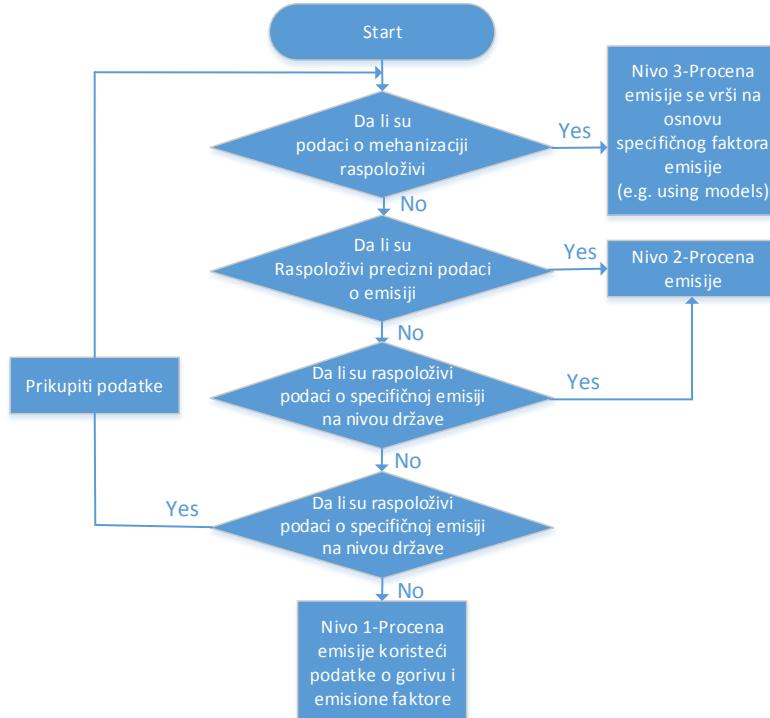
koristiti različite tipove goriva, od prirodnog gasa, tečnog naftnog gasa do različitih vrsta tečnih goriva.

Kada je reč o opremi koja se koristi u rудarstvu (off-road), ona uključuje vozila i opremu sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem u oblasti poljoprivrede, šumarstva, rудarstva, građevine, industrije, pomoćnih vozila na aerodromima, lukama, različitim kargo centrima, itd. Ova oprema je sa dvo i četvorotaktnim dizel SUS motorima.

Emisija gasova pri sagorevanju goriva u motorima ovih vozila se proračunava na osnovu metodologije, koja je prvi put objavljena 1996. godine u IPCC Guidelines and the GPG2000.

Postoje tri metodološka pristupa za procenu emisije CO₂, CH₄ i NO₂ pri sagorevanju goriva u motorima teške mehanizacije, Nivo 1, Nivo 2 i Nivo 3. Preporuka je da se emisija CO₂ procenjuje na osnovu potrošnje goriva za svaki tip goriva i emisione faktore koji za tu vrstu goriva važi u svakoj pojedinačnoj državi. Ovakav pristup može biti složen zbog velike raznolikosti vrsta goriva, vrsta opreme i njihovih pogona, kao i razlika od jedne do druge države, te zahteva veliki broj sistematski prikupljenih podataka.

Postupak usvajanja metodologije proračuna emisije dat je na slici 3.



Sl. 3. Postupak usvajanja metodologije proračuna emisije

Najopštija metoda proračuna emisije gasova sa efektima staklene (Nivo 1) bašte se izražava kao:

$$\text{Emisija} = \sum_j (\text{Gorivo}_j * \text{Emisioni faktor}_j)$$

gde su:

- Emisija – emisija gasa (kg),
- Gorivo_j – utrošena količina goriva (TJ),
- EF_j – emisioni faktor (kg/TJ),
- j – tip goriva.

Za Nivo 1, emisija se procenjuje koristeći specifični emisioni faktor goriva, uz prepostavku da se svaka vrsta goriva troši u istoj kategoriji teške mehanizacije.

Za Nivo 2, emisija se procenjuje koristeći specifični faktor emisije, koji važi za gorivo i za svaku državu posebno i ako je raspoloživ podatak i za svaku specifičnu mehanizaciju. Ova metoda se može primeniti samo ukoliko postoje pouzdani podaci o potrošnji pojedinih vrsta goriva. Po ovoj metodi Emisija gasova se proračunava kao:

$$\text{Emisija} = \sum_{i,j} (\text{Gorivo}_{i,j} * \text{Emisioni faktor}_{i,j})$$

gde su:

- Emisija – emisija gasa (kg),
- Gorivo_{ij} – utrošena količina goriva (TJ),
- EF_{ij} – emisioni faktor (kg/TJ) (tabela 5),
- i – vrsta vozila/mehanizacije, i
- j – tip goriva.

Za Nivo 3, ukoliko su podaci raspoloživi, emisija se može odrediti iz ukupnog godišnjeg vremena angažovanja opreme, izražene u časovima, i parametara opreme poput nominalne snage, faktora angažovanosti i emisionog faktora zasnovanog na stepenu angažovanja snage. Za „off-road“ vozila ovi podaci mogu biti prikupljeni na nesistematski način, sa nedovoljnim stepenom pouzdanosti ili nedovoljni po obimu i u tom slučaju se prave procene i pretpostavke o mogućim vrednostima.

Tabela 5. *Srednji faktori emisije za „off-road“ vozila i mehanizaciju*

| Vrsta mehanizacije po mestu upotrebe | CO ₂ | | | CH ₄ | | | N ₂ O | | |
|---|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Srednja vrednost (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) | Srednja vrednost (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) | Srednja vrednost (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) | Donja granica (kg/TJ) |
| Dizel gorivo | | | | | | | | | |
| Poljoprivredna | 74,100.0 | 72,600.0 | 74,800.0 | 4.15 | 1.67 | 10.4 | 28.6 | 14.3 | 85.8 |
| Šumarska | 74,100.0 | 72,600.0 | 74,800.0 | 4.15 | 1.67 | 10.4 | 28.6 | 14.3 | 85.8 |
| Industrijska | 74,100.0 | 72,600.0 | 74,800.0 | 4.15 | 1.67 | 10.4 | 286.0 | 14.3 | 85.8 |
| U domaćinstvima | 74,100.0 | 72,600.0 | 74,800.0 | 4.15 | 1.67 | 10.4 | 286.0 | 14.3 | 85.8 |
| Motorni benzin kod četvorotaktnih motora | | | | | | | | | |
| Poljoprivredna | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 80.0 | 32.0 | 200.0 | 2.0 | 1.0 | 6.0 |
| Šumarska | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | | | | | | |
| Industrijska | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 50.0 | 20.0 | 125.0 | 2.0 | 1.0 | 6.0 |
| U domaćinstvima | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 120.0 | 48.0 | 300.0 | 2.0 | 1.0 | 6.0 |
| Motorni benzin kod dvotaktnih motora | | | | | | | | | |
| Poljoprivredna | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 140.0 | 56.0 | 350.0 | 0.4 | 0.2 | 1.2 |
| Šumarska | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 170.0 | 68.0 | 425.0 | 0.4 | 2.0 | 1.2 |
| Industrijska | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 130.0 | 52.0 | 325.0 | 0.4 | 2.0 | 1.2 |
| U domaćinstvima | 69,300.0 | 67,500.0 | 73,000.0 | 180.0 | 72.0 | 450.0 | 0.4 | 2.0 | 1.2 |

Proračun emisije za Nivo 3 je:

$$\text{Emisija} = \sum_{i,j} (N_{i,j} * H_{i,j} * P_{i,j} * LF_{i,j} * EF_{i,j})$$

gde su:

Emisija – emisija gasa (kg),

N_{ij} – broj izvora emisije,

H_{ij} – vreme angažovanja na godišnjem nivou (h),

P_{ij} – prosečna snaga motora (kW),

LF_{ij} – prosečan faktor opterećenja,

EF_{ij} – prosečan emisioni faktor goriva j za motore tipa i (kg/kWh),

i – vrsta vozila/mehanizacije,

j – tip goriva.

Ova jednačina može se koristiti po pojedinim grupama uzimajući na taj način u obzir faktore kao što su prosečna starost vozila (mehanizacije) ili tehnološki uslovi korišćenja opreme, što povećava tačnost procene emisije.

4. PRIMER SA PK SEVERNI REVIR

Prilikom proračuna parametara transportnog sistema i to diskontinualnog u varijanti 1 i diskontinualnog dela kombinovanog sistema u varijanti 2, osim kapaciteta i broja kamiona, proračunati su utrošci energije i materijala. Proračun je izvršen u programskom paketu Talpac, pri čemu su u tabelama 7 i 8, pored utroška goriva, prikazani i utrošci maziva ulja i guma. Za proračun emisije CO₂, bitno je poznavati utrošak i vrstu goriva. U konkretnom slučaju, radi se o dizel gorivu sa srednjim emisionim faktorom za CO₂ od 74,100 kg/TJ. Ukupna emisija CO₂ proračunata po metodi Nivo 1 data je u tabelama 7 i 8.

Tabela 7. *Proračun emisije CO₂ za Varijantu 1 – diskontinualni transport*

| Etaže | Količina (t) | Količina (m ³) | Količina t/km | Normativ goriva (l/t) | Normativ ulja i maziva (l/t) | Normativ guma (kom/t) | Ukupna količina goriva (l) | Donja topotna moć (TJ) | Emisija CO ₂ (t) |
|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 545 | 1,233,390 | 455,944 | 4,619,418 | 0.562 | 0.056 | 0.000011 | 692,998 | 24,948 | 1,848,642 |
| 530 | 1,208,178 | 447,136 | 4,679,664 | 0.592 | 0.059 | 0.000011 | 715,245 | 25,749 | 1,907,988 |
| 515 | 1,197,333 | 443,277 | 4,657,648 | 0.618 | 0.061 | 0.000012 | 739,726 | 26,630 | 1,973,294 |
| 500 | 1,240,697 | 459,484 | 5,008,533 | 0.628 | 0.063 | 0.000012 | 779,206 | 28,051 | 2,078,609 |
| 485 | 1,252,421 | 463,859 | 5,620,746 | 0.704 | 0.070 | 0.000013 | 881,558 | 31,736 | 2,351,644 |
| 470 | 1,279,724 | 473,972 | 5,587,943 | 0.683 | 0.068 | 0.000013 | 874,387 | 31,478 | 2,332,514 |
| 455 | 1,248,084 | 462,253 | 4,906,275 | 0.630 | 0.063 | 0.000012 | 786,021 | 28,297 | 2,096,791 |
| 440 | 1,102,344 | 408,276 | 4,293,588 | 0.625 | 0.062 | 0.000012 | 688,526 | 24,787 | 1,836,713 |
| 425 | 1,084,569 | 401,692 | 4,452,192 | 0.660 | 0.066 | 0.000013 | 715,946 | 25,774 | 1,909,857 |
| 410 | 1,033,248 | 382,685 | 4,328,740 | 0.674 | 0.067 | 0.000013 | 696,495 | 25,074 | 1,857,970 |
| TOTAL | 11,879,986 | 4,398,578 | 48,154,747 | 0.284 | 0.028 | 0.000005 | 7,570,109 | 272,524 | 20,194,022 |

Tabela 8. *Proračun emisije CO₂ za Varijantu 2 – diskontinualni transport u okviru kombinovanog sistema*

| Etaže | t | m ³ | t/km | Normativ goriva | Normativ ulja i maziva | Normativ guma | Ukupna količina goriva (l) | Donja topotna moć (TJ) | Emisija CO ₂ (t) |
|--------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 545 | 1,233,389 | 455,944 | 1,814,316 | 0.376 | 0.038 | 0.000007 | 463,754 | 16,695 | 1,237,111 |
| 530 | 1,208,178 | 447,136 | 1,535,594 | 0.356 | 0.036 | 0.000007 | 430,111 | 15,484 | 1,147,365 |
| 515 | 1,197,333 | 443,277 | 1,257,200 | 0.327 | 0.033 | 0.000006 | 391,528 | 14,095 | 1,044,440 |
| 500 | 1,240,697 | 459,484 | 1,054,593 | 0.3 | 0.03 | 0.000006 | 372,209 | 13,400 | 992,905 |
| 485 | 1,252,421 | 463,860 | 1,350,110 | 0.274 | 0.027 | 0.000005 | 343,163 | 12,354 | 915,423 |
| 470 | 1,279,724 | 473,972 | 1,635,487 | 0.249 | 0.025 | 0.000005 | 318,651 | 11,471 | 850,034 |
| 455 | 1,248,083 | 462,253 | 1,845,915 | 0.222 | 0.022 | 0.000004 | 277,074 | 9,975 | 739,124 |
| 440 | 1,102,343 | 408,275 | 1,853,039 | 0.196 | 0.02 | 0.000004 | 216,059 | 7,778 | 576,360 |
| 425 | 1,084,569 | 401,692 | 2,034,652 | 0.167 | 0.017 | 0.000003 | 181,123 | 6,520 | 483,164 |
| 410 | 1,033,248 | 382,685 | 2,149,156 | 0.211 | 0.021 | 0.000004 | 218,015 | 7,849 | 581,578 |
| TOTAL | 11,879,986 | 4,398,578 | 16,530,061 | 0.27 | 0.027 | 0.000005 | 3,211,689 | 115,621 | 8,567,502 |

Na osnovu izvršenog proračuna, može se zaključiti da je emisija CO₂ u Varijanti 2 smanjena za oko 2,4 puta u odnosu na Varijantu 1. Ovaj indikator je posledica smanjene angažovanosti vozila na transportu rude i jalovine. Pripadajući deo emisije gasova sa efektom staklene bašte, a koji se odnosi na kontinualni deo kombinovanog sistema transporta, metodološki ne pripada rudniku već delu za proizvodnju električne energije.

5. ZAKLJUČAK

Transport rude i jalovine je deo procesa eksploatacije sa najvećim učešćem u troškovnom i energetskom smislu. Zbog ovoga se i mere optimizacije sistema najčešće odnose na ovaj deo sistema eksploatacije. Pored faktora koji su do sada predstavljali ključne parametre i pokazatelje efikasnosti eksploatacije, sve veći značaj dobijaju i ekološki faktori, a u okviru njih i emisija gasova sa efektima staklene bašte. Buduće zakonodavstvo svakako će ove efekte okarakterisati i kao ekonomsku kategoriju. U tom smislu i ekološki efekti eksploatacije postaju bitan faktor optimizacije sistema.

U okviru prikazanog primera za PK Severni Revir Rudnika bakra Majdanpek, pored konkretnih vrednosti emisije CO₂, prikazana je i metodologija njegovog utvrđivanja. Sa aspekta njene konkretnе primene, bitno je uočiti da se za pravilnu procenu ukupno emitovanih količina gasova sa efektom staklene bašte, moraju sistematski pratiti podaci o tipu, starosti, stanju, vrsti pogona, vrsti goriva i obimu angažovanja pojedinačnih vozila (mehanizacije). Ovi faktori su direkno vezani za mehanizaciju. Drugu grupu faktora predstavljaju faktori vezani za parametre sistema eksploatacije poput mesta otkopavanja, mesta odlaganja (deponovanja), pravca i brzine napredovanja radova na otkopavanju i odlaganju, konstrukcije i stanja transportnih puteva (etažni, polustacionarni i stacionarni). Za optimizaciju transportnog sistema po kriterijumu minimalne emisije CO₂, neophodno je razmatranje obe grupe faktora. Pomenuti kriterijum emisije, tek u kombinaciji sa drugim pokazateljima, može dati odgovor na pitanje izbora najpovoljnijeg transportnog sistema.

Do još boljih rezultata može se doći:

- Optimalnim upravljanjem masama na površinskom kopu,
- Primenom savremene, energetski efikasnije opreme podržane automatskim upravljanjem,
- Boljim održavanjem transportnih puteva i opreme,
- Primenom novih tehnologija, materijala i savremenih metoda organizovanja.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat Projekta TR37001 pod nazivom: „Uticaj rudarskog otpada iz RTB Bor na zagađenje okolnih vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu okolinu“, koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] N. Stanić, S. Stepanović, R. Stanić, Analysis of Input Parameters for the Optimization of Open Pits for Open Pit Potrlica Pljevlja, Mining and Geology Today International Symposium 2017.
- [2] N. Stanić, R. Stanić, M. Nikolić, Feasibility Analysis for Reconfiguration of Potrlica Open Pit Mine CCS System, 13th ISCSM 2016 Belgrade, 11-14 September 2016.
- [3] N. Stanić, S. Stepanović, A. Doderović, Ž. Sekulić, M. Gomilanović, Calculation Analysis of the Constructive Parameters of the Internal Landfill Kutlovača and Included in the Design State, Proceedings, 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, 30 September - 3 October 2018, Bor Lake, Bor.
- [4] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1,2,3, Energy
- [5] V. Milisavljević, V. Čokorilo, D. Zlatanović, J. Milenković, Consumption of Coal in Serbia and CO₂ Emissions Related to its Combustion, Proceedings, 14th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, 13 - 16. October, 2009, Sokobanja
- [6] Troškovi emisija ugljika planiranih termoelektrana na ugalj na Zapadnom Balkanu i rizik od nastanka nasukanih sredstava, CEE Benkvoč Network
- [7] N. Stanić, S. Stepanović, D. Bugarin, M. Gomilanović, Selection the Rational Model of Transport Truck by the Selective Coal Mining at the Open Pit Gacko, Mining and Metallurgy Engineering Bor, No. 1-2, 2017, pp. 23-34.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 622.271 (045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

IMPLEMENTACIJA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U CILJU KONTROLE RADOVA NA BUŠENJU I MINIRANJU

IMPLEMENTATION OF THE MODERN TECHNOLOGIES IN ORDER TO CONTROL THE DRILLING AND BLASTING WORKS

Miljan Gomilanović¹, Stefan Milanović², Nikola Stanić¹,
Aleksandar Doderović¹, Nikola Simić²

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor,
e-mail: miljan.gomilanovic@irmbor.co.rs

²Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Đušina 7, 11000 Beograd

Izvod

U ovom radu prikazane su mogućnosti primene savremenih tehnologija u oblasti bušenja i miniranja pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, problemi koji se javljaju prilikom izvođenja radova, kao i moguća rešenja i prednosti primene ovih tehnologija.

Ključne reči: bušenje, miniranje, dron

Abstract

This paper presents the possibilities of applying the modern technologies in the field of drilling and blasting at the open pit exploitation the deposits of mineral resources, problems that occur during the work implementation, as well as possible solutions and advantages the application of these technologies.

Keywords: drilling, blasting, drone

1. UVOD

Bušenje minskih bušotina je postupak izrade cilindričnih šupljina u steni i mineralnoj sirovini, u koje se stavlja određena količina eksploziva radi miniranja. Bušenje se izvodi i u druge svrhe, kao što je istraživanje ležišta, bušenje za vodosnabdevanje, bušenje na naftu, i dr.

Prilikom bušenja minskih bušotina i određivanja geometrije minskog polja, potrebno je posvetiti pažnju, kako miniranjem ne bi došlo do nekih neželjenih efekata, kao npr. razletanja stenskog materijala, negativnog seizmičkog dejstva, i dr. U tu svrhu pre samog izvođenja radova na bušenju poželjno je raspolagati sa detaljnim stanjem dela terena na kome se izvodi miniranje, tj. imati dovoljan broj i pouzdane podatke o karakteristikama radne sredine struktuirane u bazu

podataka, na osnovu koje se mogu optimizovati parametri bušenja i miniranja na nekoj lokaciji.

Veliku ekspanziju tehnologije prati i rudarstvo. Kao rešenje za brojne probleme, u svetu se pojavio veliki broj softvera i savremenih tehnologija u cilju dobijanja što preglednijih podataka, koji bi bili od koristi za određivanje geometrije minskog polja, rezultata nakon miniranja, i sl. Softveri razvijeni u ovu svrhu su rasprostranjeni u svetu, i postoji više različitih kompanija koje ih proizvode, ali uglavnom se njihov postupak zasniva na snimcima sa terena, izradi modela i projektovanja minskog polja.

2. SNIMANJE TERENA

Prilikom bušenja i miniranja na površinskim kopovima u cilju što preciznijeg izvođenja radova, potrebno je pripremiti dobru bazu podataka geometrije terena, odnosno snimiti deo terena na kome je predviđeno izvođenje radova. Nakon toga, uz pomoć softvera potrebno je izraditi digitalni model terena (*DEM-digital elevation model*), koji se koristi pri projektovanju minskog polja. Pojam *Digital Elevation Model (DEM)* podrazumeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva gridnom (rešetkastom) strukturom podataka. Osnovni delovi mreže (ćelije) su obično u obliku kvadrata čija temena predstavljaju visinske tačke, a stranice su paralelne sa osama koordinatnog sistema.

Snimanje terena može se vršiti uz pomoć bespilotnih letelica (*dronova*) koje imaju mogućnost snimanja terena kamerom visoke rezolucije ugrađenoj na letelici. Ova vrsta snimanja predstavlja jedan vid prikupljanja podataka preko fotografija zabeleženih iz vazduha (fotogrametrijsko snimanje), odnosno aerofotogrametrijsko snimanje uz pomoć bespilotne letelice. Bespilotne letilice ili popularno zvani dronovi su kao i većina modernih tehnologija prvo razvijeni i korišćeni u vojne svrhe. Poslednjih godina, dronovi postaju vrlo popularni kao sredstvo za zabavu i profesionalno snimanje iz vazduha i fotografiju, slika 1.

Industrija bespilotnih letilica (dronova) nastavlja da raste. Predviđanja kažu da će upotreba ovih letilica porasti čak četiri puta u narednih pet godina.

Fotogrametrija je tehnologija za prikupljanje pouzdanih 3D informacija o fizičkim objektima i okruženju kroz proces snimanja, merenja i interpretacije fotografiskih slika, odnosno fotogrametrija je nauka o korišćenju 2D fotografija za tačna merenja u 3D prostoru. Cilj fotogrametrije je verna rekonstrukcija snimljenog 3D prostora. Od fotografija se, bez kontakta sa objektom (ili površinom) koji se meri, i sa unapred poznatom tačnošću, dobijaju stvarne koordinate tačaka na snimljenim objektima, karte i planovi, ortorektifikovane fotografije, digitalni modeli terena, digitalni 3D modeli objekata. Najčešće se primenjuje zbog uštede materijala i vremena, dobijanja više informacija o objektu, mogućnosti merenja nepristupačnih i/ili pokretnih objekata, objekata nepravilnog ili promenljivog oblika, i sl.

Slikanje terena je moguće obavljati iz raznih uglova, ali najčešće se svodi na slikanje terena iz ptičije perspektive, slika 2.



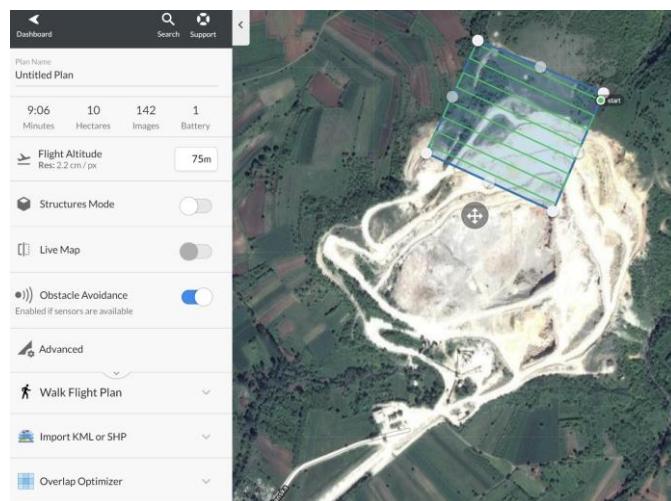
Sl. 1. Bespilotna letelica firme DJI model PHANTOM 4+ PRO



Sl. 2. Bespilotna letelica na površinskom kopu

Pre samog snimanja, za dobijanje modela terena koji je pozicioniran u prostoru (georeferenciran) sa svojim X, Y, Z koordinatama, potrebno je na terenu zadati markere, a potom iste zabeležiti nekim od savremениh GPS uređaja sa što većom preciznošću. Preuzete koordinate markera kroz dalju obradu u softveru će nam pomoći prilikom izrade modela. Snimanje terena se može vršiti manuelno ili uz pomoć softvera koji nam omogućuje da sami zadajemo putanju letelice i automatsko fotografisanje u odgovarajućem vremenskom intervalu. U ovu svrhu snimanja korišćena je aplikacija Drone Deploy (slika 3) preko koje se obeležava područje na kome se snimanje vrši, odnosno automatski projektuje putanja sa odgovarajućim parametrima prilikom leta (*visina letenja, brzina letenja, fotografisanje, i dr.*). Fotografije zabeležene prilikom leta sa bespilotnom letelicom kasnije se koriste za dobijanje oblaka tačaka i izradu digitalnog modela terena.

Prilikom rada sa letelicom i fotografisanja potrebno je naći optimalnu visinu letenja kako bi kvalitet fotografija bio zadovoljavajući što kasnije dodatno utiče na kvalitet izrade modela.



Sl. 3. Primer radnog okruženja u aplikaciji *Drone Deploy*

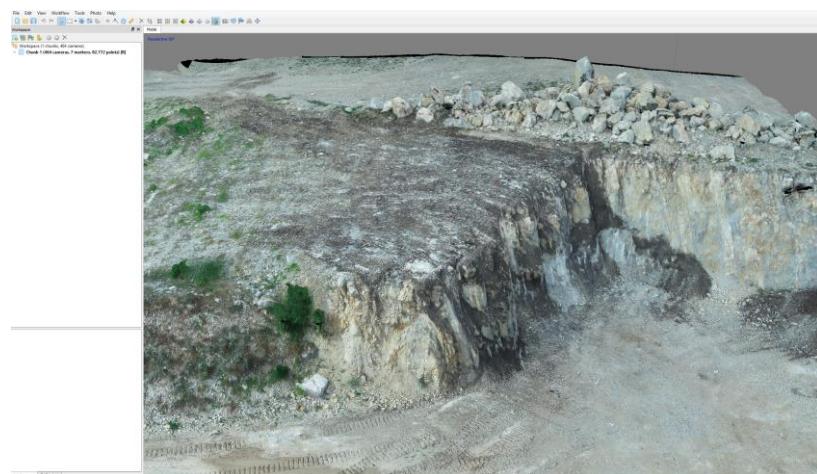
3. OBRADA FOTOGRAFIJA

Za obradu fotografija koristi se Agisoft Photoscan softver. Agisoft je stekao stručnost u algoritmima obrade slike, uz digitalne fotogrametrijske tehnike, koje postavljaju smer za razvoj primjenjenih alata.

Implementacija nove tehnologije za različite industrijske i društveno važne zadatke predstavlja način da se podstakne nisko-budžetski metod istraživanja i dokumentacije. Sa Agisoft Photoscan, trenutno visoko konkurentnim fotogrametrijskim softverom na tržištu, prate se trendovi i dalje istražuje rad kako bi se ugradili high-end tehnologije u softver za potrebe korisnika. Odnosno kako bi imali mogućnost primene alata za uspešno rešavanje 3D rekonstrukcije, vizuelizacije, geodetske i kartografske zadatke. Agisoft Photoscan je dizajniran posebno za one koji vrednuju vreme, imaju za cilj tehničku efikasnost i spremni su da prate digitalne tehnologije u svetu neograničenih mogućnosti.

Fotografije se kroz softver obrađuju tako što se sve zabeležene fotografije ubace u softver, potom se automatski redaju fotografije praveći celokupan prikaz snimanog terena. Nakon toga potrebno je napraviti oblak tačaka, koji daje tačnu informaciju na bilo kom delu snimljenog terena, odnosno poziciju u koordinatnom sistemu. Daljim radom kroz softver, preko oblaka tačaka, moguće je napraviti model terena koji daje realnu predstavu o problemu koji želimo sagledati, konkretno u ovom slučaju kontrola parametara prilikom bušenja stenskog materijala.

Međutim, oblak tačaka ne može biti direktno upotrebljen kod većine primena. Uobičajena praksa je da se konvertuje u poligonu mrežu (*mrežu trouglova*). Često se oblak tačaka nepravilno poistovećuje sa poligonom mrežom. Međutim, postoji bitna razlika: poligona mreža je model geometrije površine posmatranog dela, dok je oblak tačaka samo skup tačaka na površini modela. Kao takva, poligona mreža pruža više informacija o konfiguraciji spoljašnje površine modela. Savremenim softverima se mogu praviti digitalni modeli terena preko oblaka tačaka, slika 4. Agisoft Photoscan poseduje tu mogućnost, kao i mogućnost konverzije oblaka tačaka u poligonu mrežu, slika 5.

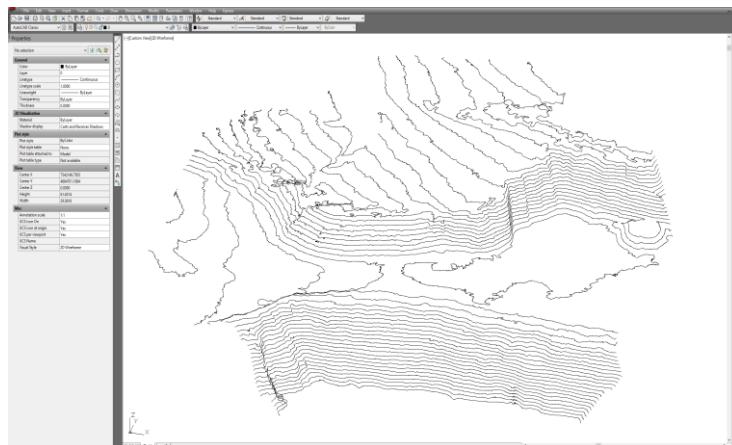


Sl. 4. Digitalni model terena sa preklopjanim ortofoto snimkom



Sl. 5. Konverzija oblaka tačaka u model sa poligonom mrežom

Za analizu parametara bušenja i miniranja na površinskom kopu u našem slučaju potreban nam je model predmetnog terena sa izolinijama. Kroz pomenuti softver možemo automatski eksportovati odgovarajući model sa izolinijama i to u DXF formatu (slika 6), gde se kroz AutoCad mogu dalje vršiti potrebne korekcije.



Sl. 6. Model terena sa izolinijama

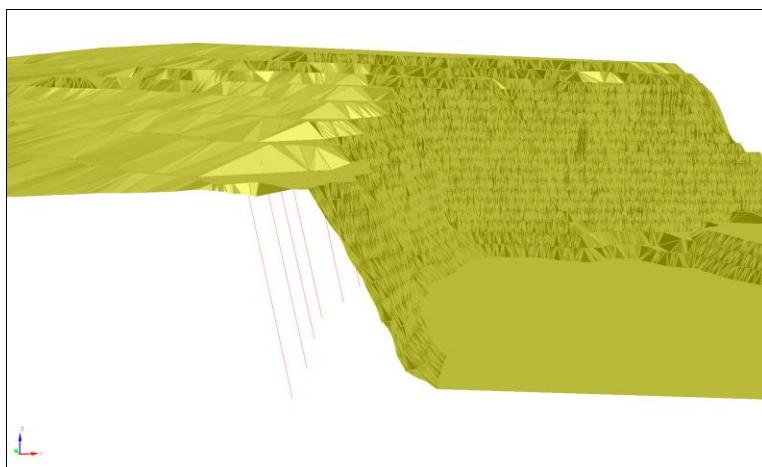
4. PRIMENA SOFTVERA I SAVREMENIH TEHNOLOGIJA

Radovi na bušenju i miniranju zahtevaju veliku pažnju kako ne bi došlo do neželjenih efekata u prvom redu razletanja komada, negativnih seizmičkih efekata, pojave negabarita, i sl. Loši rezultati miniranja nastaju iz više faktora, a najčešće su to:

- neadekvatne specifične potrošnje eksploziva,
- neodgovarajućih parametara rasporeda minskih punjenja,
- neodgovarajuće šeme miniranja,
- neodgovarajućeg načinainiciranja minskih punjenja,
- neodgovarajućeg prečnika minskih bušotina,
- neadekvatnog izbora vrste eksploziva, itd.

Kao posledica ovih faktora, javlja se povećan procenat negabaritnih komada, stvaraju se „pragovi“, tj. neravnine u podu etaže što otežava rad mehanizacije, povećava se izbacivanje stenske mase, kao i broj pukotina iza zadnjeg reda bušotina, zbog toga je jako bitno precizno projektovati minsko polje i imati uvid u što više podataka pre samog bušenja, a kasnije i miniranja. U tu svrhu, dosta mogu pomoći već gore navedeni softveri, snimci uz pomoć bespilotnih letelica, i sl., kako bi dobili što veću bazu podataka i izvrsili potrebne korekcije pre radova. Kroz dalji tekst opisano je par pomenutih faktora, koji imaju štetni efekat i moguća rešenja istih.

Prilikom bušenja minskih bušotina, u većini slučajeva, nemamo tačnu predstavu o rastojanju minske bušotine u prvom redu do slobodne površine. Često ukoliko imamo kosinu pod nekim uglom i bušotine se izrađuju paralelno toj kosini (slika 7), potrebno je ispratiti da li na njoj postoji dodatna neravnina koja na nekoj dubini bušenja može povećati tu liniju najmanjeg otpora ili je smanjiti, što izaziva negativan efekat prilikom miniranja. U cilju procene ugla bušenja, može nam pomoći izrada modela kako bi lakše uočili neravnine (slika 8), kao i korišćenje eksportovanih podataka iz pomenutog Agisoft Photoscan softvera, koji nam služe za izradu preseka od bušotina ka čelu etaže.

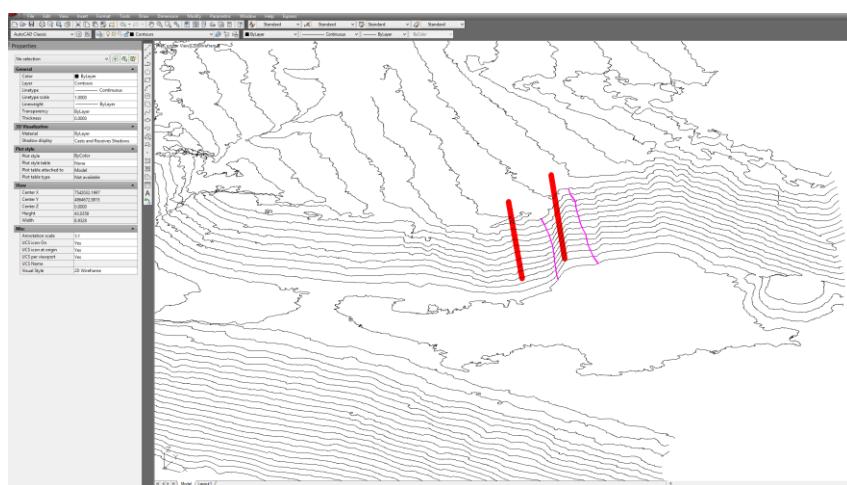


Sl. 7. Model etaže sa kosim minskim buštinama



Sl. 8. Prikaz neravnina na čelu etaže kroz model sa preklopljenim ortofoto snimkom

Da bi se lakše vršila kontrola, npr. linije najmanjeg otpora, potrebno je na modelu sa izolinijama i naznačenim linijama za profile (slika 9) uraditi presek kako bi se proverio ugao bušotine ka čelu etaže, linija najmanjeg otpora, kao i kasnije uskladiti sa postojećom geometrijom projektovanog minskog polja. Za uporednu analizu, uzete su dve bušotine sa probnog minskog polja, gde su ubaćene projektovane bušotine i preko softvera urađena provera linije najmanjeg otpora (slika 10).



Sl. 9. Model sa naznačenim buštinama i linijama za presek



Sl. 10. Profil buština sa vrednostima linije najmanjeg otpora

Provera projektovanog ugla bušenja od 70^0 izvršena je preko urađenih profila, gde su po celoj dužini bušotine izmerene vrednosti rastojanja od čela etaže, kao što je prikazano na prethodnoj slici. Uglavnom se pri radovima i

projektovanju minskog polja čelo etaže posmatra kao kosa linija. Međutim, u većini slučajeva se nalaze neravnine, koje dodatno povećavaju to rastojanje od slobodne površine ili se ono smanjuje. Kod oba slučaja mogu se javiti neželjeni efekti kao što su npr. razletanje komada stenskog materijala i povećanje seizmičkog dejstva pri miniranju. Kako bi se izbegao negativan uticaj pre samog izvođenja radova na bušenju i miniranju, jako je bitno imati preglednu situaciju, koja nam omogućava lakše projektovanje minskog polja. Savremene tehnologije i softveri nam omogućavaju da imamo realniju sliku o problemu sa terena, kao što se može videti kroz ovaj rad.

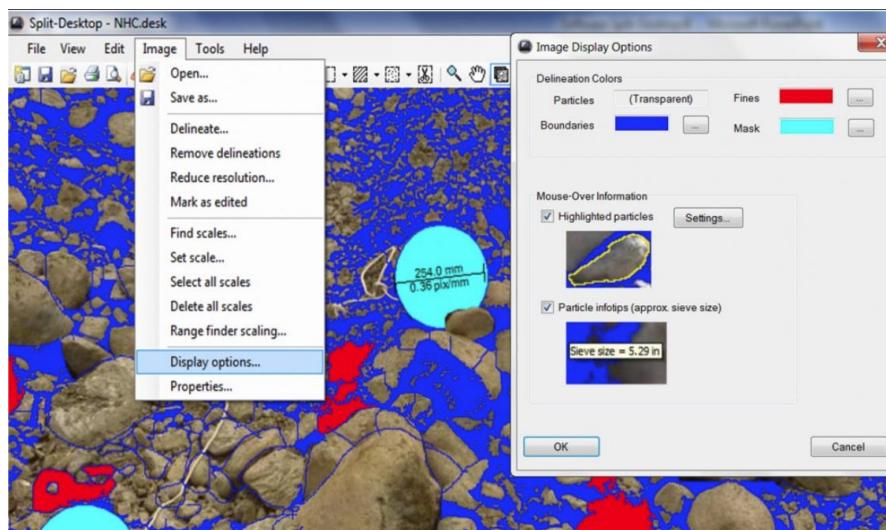
Na osnovu analize, može se zaključiti da je linija najmanjeg otpora uglavnom veća od projektovane, koja iznosi 3 m, pa je potrebno u ovom slučaju izvršiti korekciju ugla bušenja ili poziciju bušotine pomeriti bliže slobodnoj površini. To se jednostavno uz pomoć softvera može odraditi, i podatke na kojima su izvršene korekcije preneti na teren gde se može pristupiti bušenju.

Primena ovih tehnologija uglavnom pomaže kako bi se uštedelo vreme i izbegle same greške na terenu, kao i da se dobije što preciznije projektovano minsko polje sa odgovarajućom geometrijom. Pored provere linije najmanjeg otpora, može se pratiti i ugao bušenja, rastojanje između redova bušotina i bušotina u redu. Greške prilikom bušenja se smanjuju i raspolaže se sa preciznijim podacima prilikom izrade šeme i pozicije minskog polja, što dodatno utiče na rezultat miniranja stenske mase.

5. DODATNE PRIMENE SAVREMENIH TEHNOLOGIJA

Korišćenjem savremenih tehnologija znatno se unapređuje izvođenje radova, raspolaže se preciznijim podacima za obradu, čime se dobija na uštedi vremena prilikom obavljanja raznih operacija na terenu. Pored navedenih mogućnosti za korekcije prilikom bušenja i miniranja stenskog materijala, savremene tehnologije odnosno primena bespilotnih letelica može se koristi još i za procenu stanja nakon miniranja.

Nakon miniranja, može se izvršiti slikanje iz vazduha uz pomoć letelice, kako bi dobili pregledne fotografije odminirane mase, a te fotografije mogu se koristiti za procenu veličine odminiranog stenskog materijala (*granulacije*). Sa fotografija lako se može videti da li postoje negabaritni komadi koji se moraju dodatno usitniti, naravno uz pomoć odgovarajućeg softvera. Softver koji se koristi u ovu svrhu je Split Desktop (slika 11), koji ima mogućnost merenja veličine komada stene, na osnovu postavljenih markera kružnog oblika poznatih dimenzija.



Sl. 11. Radno okruženje u softveru Split Desktop

6. ZAKLJUČAK

Upotreba savremenih softvera i tehnologija je sve veća kako u svetskom, tako i na domaćem tržištu. Njihova primena znatno olakšava posao, skraćuje potrebno vreme za obavljanje pripreme i planova izvođenja radova, izrade izveštaja, elaborate i projektnih dokumentacija, ali takođe primenom pri samom radu na terenu i u procesu proizvodnje donosi velike prednosti.

Korišćenjem softvera i njihovom kombinacijom u cilju pronalaženja optimalnih parametara bušenja, od kojih zavisi kasnije miniranje, došlo se do potrebe za korekcijom ugla bušenja, promene pozicija bušotina u prvom redu zbog povećane linije najmanjeg otpora, ali i geometrije celog polja čime se smanjuju neželjeni efekti i postižu bolji rezultati miniranja.

Prednosti korišćenja jesu mogućnosti izrade precizne dokumentacije za izvođenje bušačko-minerskih radova i korigovanja podataka preko računara, koji se kasnije u konačnom obliku mogu upotrebiti na terenu.

Dronovi mogu leteti i prikupljati podatke sigurno i brzo preko udaljenih područja kojima je inače teško pristupiti. Ovi podaci (npr. slike, video zapisi, oblaci tačaka) mogu se zatim poslati korisnicima u realnom vremenu za analizu i nadzor.

Kada se koriste bespilotne letelice velikog dometa, mogu se obaviti velika terenska istraživanja na površini od nekoliko kilometara. Prikupljanje podataka, koje obično traje nedeljama može se značajno smanjiti, čime se povećava produktivnost, posebno u udaljenim i nepristupačnim područjima. Pored toga, prikupljanje podataka iz vazduha izbegava vreme koje je potrebno za kretanje

po kopu, koje se zahtevaju pomoću metoda geodetskog merenja. Upotreba kamera visoke rezolucije na bespilotnim letelicama omogućava da se 3D karte visoke rezolucije, na primer, mapiranje kamenoloma i odlagališta stvore mnogo brže i efikasnije nego ranije, poboljšavajući analizu i donošenje odluka.

Zaposleni u rudarstvu se stoga mogu fokusirati na ključne zadatke. Ovo važi i za bilo koje automatizovane funkcije za prikupljanje i analizu podataka, koje vrši softver za dronove. Bezbednost je važno pitanje za rudnike, bespilotne letelice velikog dometa smanjuju rizike radnika na licu mesta smanjujući vreme, koje osoblje treba da proveđe na licu mesta.

Najveći deo troskova bespilotnih letelica leži u kupovini ili iznajmljivanju dronova. Međutim, kao rezultat toga, manje radnih sati, činjenica da više ne postoji potreba za kupovinom zračnih snimaka od spoljnih izvora, tačnih podataka, operacija dugog dometa i velikih skupova podataka, sve to pomaže da se smanje troškovi.

Ukratko, sa prednostima kao što su smanjenje troškova, povećanje efikasnosti i izuzetne mogućnosti za prikupljanje podataka na daljinu, dronovi su odličan alat za rudarstvo na otvorenom na površinskim kopovima.

Kroz ovaj rad prikazane su mogućnosti primene savremenih tehnologija u oblasti bušenja i miniranja pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, problemi koji se javljaju prilikom izvođenja radova, moguća rešenja i prednosti primene ovih tehnologija. Rešenje, koje je dato, obrađeno je na konkretnom primeru sa terena i podataka zabeleženih na samoj lokaciji. Primenom savremenih tehnologija na ovom konkretnom slučaju ustavljivali smo da se može otkloniti veliki broj problema, koji se javljaju pre izvođenja radova na terenu.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je rezultat projekata TR34005 pod nazivom: „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovnih na ekološkom znanju“ i TR37001 pod nazivom: „Uticaj rudarskog otpada iz RTB Bor na zagađenje okolnih vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu okolinu“, koji su finansirani od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] N. Purtić, Bušenje i miniranje, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1991.
- [2] L. Kričak, Seizmika miniranja, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2006.
- [3] M. Savić, Miniranje na površinskim kopovima, Institut za bakar, Bor, 2000.

- [4] D. Vasić, Model geodetskog premera savremenim akvizicionim tehnologijama, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2017.
- [5] D. Jovanović, Model objektno orijentisane klasifikacije u identifikaciji geoprostornih objekata, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2015.
- [6] Split engineering, Products, Split-Desktop software,
<https://www.spliteng.com/products/split-desktop-software/>
- [7] Agisoft Photoscan, <http://www.agisoft.com/>
- [8] DJI, Consumer, Phantom series, Phantom 4 Pro,
<https://www.dji.com/phantom-4-pro?site=brandsite&from=nav>
- [9] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/lekcija_14_1389177936484.pdf
- [10] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/lekcija_7_1398282478090.pdf
- [11] <http://polj.uns.ac.rs/~geodezija/pa/10%20Predavanje.pdf>
- [12] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/geoinflekcija10_1401901835604.pdf
- [13] Drone Deploy, <https://www.dronedeploy.com/>

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 622.271/.3 (497.16) (045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

ANALIZA STABILNOSTI KOSINA UNUTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA KUTLOVAČA U FUNKCIJI REKONFIGURACIJE DTO SISTEMA NA POVRŠINSKOM KOPU POTRLICA

ANALYSIS OF SLOPE STABILITY OF THE INTERNAL LANDFILL OF KUTLOVAČA IN A FUNCTION OF RECONFIGURATION THE DTO SYSTEM AT THE OPEN PIT POTRLICA

Nikola Stanić, Saša Stepanović, Marko Mitrović,
Aleksandar Doderović

Institut za rударство и металургију Бор,
e-mail: nikola.stanic@irmbor.co.rs

Izvod

U ovom radu prikazan je proračun faktora sigurnosti i analiza konstruktivnih parametara odlagališta za izvedeno i projektovano stanje radova na unutrašnjem odlagalištu Kutlovača. Imajući u vidu složenu strukturu materijala u podini i materijala koji se odlaže, hidrogeološke, inženjersko geološke i geomorfološke uslove u kojima se formiraju kosine unutrašnjeg odlagališta, za određivanje relevantnih vrednosti faktora sigurnosti sistema i pojedinačnih kosina, od ključnog značaja je da se proračun izvrši primenom pogodnih verifikovanih metoda i za veliki broj mogućih slučajeva klizanja. Analiza je urađena korišćenjem programskog paketa Slide 5.0. Faktor sigurnosti proračunat je za kružnu kliznu ravan i za predisponiranu složenu ravan loma.

Ključne reči: stabilnost kosina, kružna klizna ravan, predisponirana ravan klizanja

Abstract

This paper presents the calculation of safety factors and analysis of constructive landfill parameters for implemented and designed state of works at the Kutlovača internal landfill. Having in mind the complex structure of materials in the floor and materials that are deposited, the hydrogeological, engineering geological and geomorphological conditions in which the slopes of internal landfill are formed, for determining the relevant values of the system security factors and individual slopes, it is crucial that the calculation has to be made using the suitable verified methods and for a large number of possible sliding cases. The analysis was done using the Slide 5.0 software package. The safety factor is calculated for a circular sliding plane and predisposed complex plane fault.

Keywords: slope stability, circular sliding plane, predisposed sliding plane

1. UVOD

Eksplotacija uglja i otkrivke na PK Potrlica vrši se u centralnom i severozapadnom delu ležišta. Eksplotacija se odvija prema važećem „Dopunskom rudarskom projektu eksplotacije uglja na površinskom kopu „Potrlica“ – Pljevlja za period 2015 – 2019. godine“. Prema projektu, definisani godišnji kapacitet rudnika na proizvodnji uglja iznosi 1.3 miliona tona iz Centralnog dela kopa i 500 000 t iz severozapadnog dela kopa Potrlica [1]. Uslovi eksplotacije su veoma složeni i izraženi su kroz rudarsko-geološke, rudarsko-tehničke i tehno-ekonomske pokazatelje i to:

- Velika zavodnjenost ležista, sa redovnim prilivom voda od oko 500 l/min do 1000 l/min u vandrednim situacijama;
- Koeficijent otkrivke $4 \text{ cm}^3/\text{t}$;
- Zahtevne fizičko mehaničke karakteristike, pošto mora da se vrši miniranje na više od 80% ukupnih masa;
- Blizina građevinskih objekata, objekata infrastrukture, pravnog društvenog zemljišta;
- Ekološki uticaj, blizina naseljenih mesta; i
- Fizičko-mehaničke karakteristike radne sredine i moguća primena samo diskontinualne mehanizacije za otkopavanje [2].

Otkopavanje i utovar otkrivke na površinskom kopu Potrlica - Pljevlja vrši se diskontinualnim sistemima. Transport otkrivke se sastoji iz kontinualnog i diskontinualnog dela. Diskontinualni deo transportnog sistema čini flota kamiona nosivosti 100 t [3]. U periodu 2017. godine, počele su aktivnosti na rekonfiguraciji DTO sistema sa spoljašnjeg odlagališta Jagnjilo na unutrašnje odlagalište Kutlovača. Rekonfiguracija DTO sistema radi se po „Glavnom projektu izmeštanja DTO sistema na unutrašnje odlagalište P.K. „Potrlica“. Zbog odstupanja od dinamike izvođenja radova i projektovane vertikalne raspodele masa koja je definisana „Dopunskim rudarskim projektom eksplotacije uglja na površinskom kopu „Potrlica“ za period 2015 – 2019. godina u zoni unutrašnjeg odlagališta Kutlovača“, neophodno je uraditi dokument koji bi obuhvatio uklapanje u projektovano stanje. Dokument obuhvata analizu stabilnosti etaža postojećeg stanja na odlagalištu i analizu stabilnosti novoformiranih etaža. Analiza stabilnosti kosina uradena je sa primarnim ciljem da se obezbede bezbedni uslovi za rad rekonfigurisanog kontinualnog dela kombinovanog sistema za odlaganje jalovine. Osim toga, poznavanje uslova stabilnosti formiranih kosina definišu neophodan obim pripremnih radova i moguć korak napredovanja fronta radova na odlaganju jalovine na unutrašnjem odlagalištu. Na ovaj način analiza stabilnosti kosina u najvećoj mogućoj meri uslovjava i definiše radove na kosinama unutrašnjeg odlagališta, kako u diskontinualnom tako i u kontinualnom delu.

2. DEFINISANJE INŽENJERSKO - GEOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ZA PRORAČUN STABILNOSTI KOSINA

Inženjersko-geološke karakteristike stenskih masa ležišta Potrlica imaju prvorazredan značaj u okviru sprovedene analize. Relevantni podaci rezultat su ispitivanja u dužem vremenskom periodu i prezentovani su u okviru različitih Elaborata, studijske i projektne dokumentacije.

Dokumenta, čiji su podaci korišćeni za definisanje ulaznih parametara za proračun faktora sigurnosti, su:

- Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja u ležištu „Potrlica“, lokalitet „Cementara“, Rudnik uglja A.D. Pljevlja maj 2009. [4]
- Dopunski rudarski projekat eksploatacije uglja ležišta Potrlica, Rudnik uglja A.D. Pljevlja decembar 2009. [5]
- Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja u ležištu „Potrlica“ (Pljevaljski ugljonošni basen) sa stanjem 31.12.2005. godine, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, oktobar 2006. [6]
- Dopunski rudarski projekat eksploatacije uglja PK Potrlica za period 2010-2014. godine, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, januar 2010. [7]
- Izveštaj o „IN SITU“ i laboratorijskim ispitivanjima uzoraka iz bušotina GB-1 i GB-2 radi dobijanja geomehaničkih parametara potrebnih pri izradi projekta osiguranja terena i objekata, na osnovu analiza stabilnosti kosina, pri eksploataciji uglja i otkrivke na PK „Potrlica“ Pljevlja, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, jul 2014. [8]
- Projekat osiguranja terena i objekata na osnovu analiza stabilnosti kosina pri eksploataciji uglja i otkrivke na PK „Potrlica“ Pljevlja, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, decembar 2014. [9]

Za potrebe ove analize, a sa ciljem utvrđivanja relevantnih parametara radne sredine za proračun faktora stabilnosti kosina površinskog kopa, analizirane su i vrednosti fizičko-mehaničkih parametara radne sredine date u Dopunskom rudarskom projektu eksploatacije uglja na PK „Potrlica“ - Pljevlja za period 2015 - 2019. godina, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor, 2015. godina.

Parametri stenskog materijala koji su korišćeni u proračunu za P.K. Potrlica, dati su u sledećoj tabeli.

Tabela 1. Parametri koji su korišćeni u proračunu za P.K. Potrlica

| Vrsta materijala | Boja | Zapreminska masa (kN/m ³) | Kohezija | Ugao unutrašnjeg trenja (°) | Porni pritisak Ru |
|--------------------|------|---------------------------------------|----------|-----------------------------|-------------------|
| Odloženi materijal | | 15,9 | 34 | 19,36 | 0,2 |
| Laporac | | 17,75 | 283,56 | 37,5 | 0 |
| Ugalj | | 13,41 | 343,65 | 35,33 | 0 |
| Podinske gline | | 20,16 | 19,39 | 14,45 | 0,2 |
| Krečnjak | | 27 | 1331 | 35 | 0 |

Pored ovih geomehaničkih parametara, koeficijent seizmike za horizontalne i vertikalne talase za PK Potrlica $K_s=0.015$, uzet je u obzir u proračun stabilnosti. Vrednost koeficijenta seizmike preuzeta je iz važećeg „Dopunskog rudarskog projekta eksploatacije uglja na PK "Potrlica" - Pljevlja za period 2015 - 2019. godina“. Uticaj vode na stabilnost kosina je uzet korišćenjem koeficijenta pornog pritiska za materijale u kojima se može očekivati prisustvo vode.

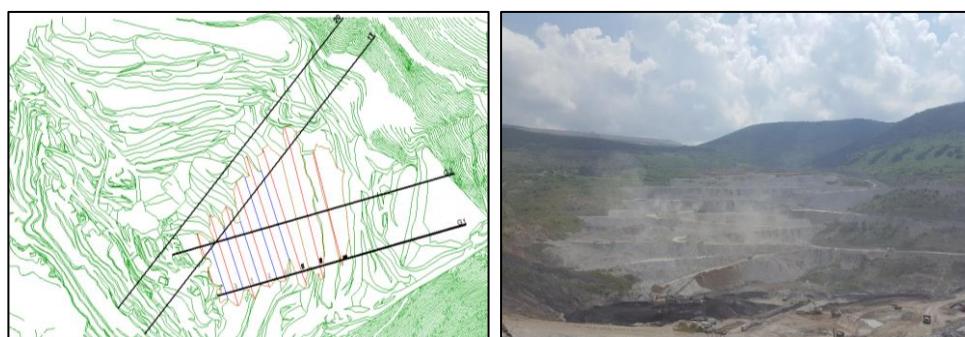
Proračun faktora sigurnosti izvršen je po dve metode, i to metoda Bishop (osnovna) i metoda Morgenstern-Price (kontrolna). Konstruktivni parametri kosina usvojeni su za slučaj kada je po obe metode faktor sigurnosti veći od propisima definisane minimalne vrednosti. [10]

Faktor sigurnosti proračunat je za kružnu kliznu ravan i predisponiranu složenu ravan loma. Ova složena ravan loma se formira uglavnom po kontaktu različitih inženjersko-geoloških sredina. Za slučaj kada se ne mogu izdvojiti karakteristične ravni loma, one su generisane od strane softvera tako što su zadati granični uglovi formiranja klizne ravni i granice bloka po dubini i u planu. [11]

3. VERIFIKACIJA STABILNOSTI KOSINA

Verifikacija stabilnosti kosina na unutrašnjem odlagalištu Kutlovača površinskog kopa Potrlica izvršena je na presecima G1, G2, 17, 20. Verifikacija je urađena za stanje površinskog kopa na dan 01.11.2017. godine i posle konstrukcije odlagališnih etaža diskontinualnim transportom.

Na slici 1 prikazan je položaj profila na terenu na kojima je izvršen proračun faktora stabilnosti kosina.



Sl. 1. Položaj geomehaničkih profila na terenu i izgled unutrašnjeg odlagališta

4. VERIFIKACIJA STABILNOSTI POSTOJEĆEG STANJA

U narednim tabelama od 2 do 5, prikazana je analiza konstruktivnih parametara etaža na dan 01.11.2017. godine.

Tabela 2. Profil 17

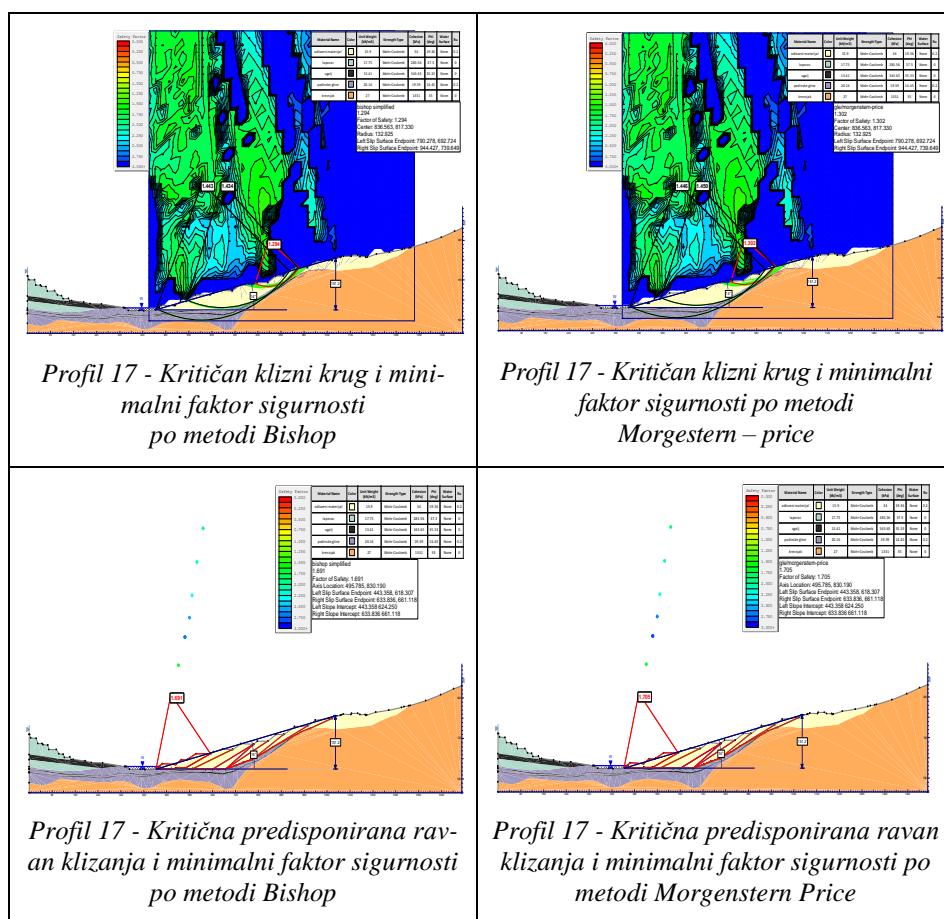


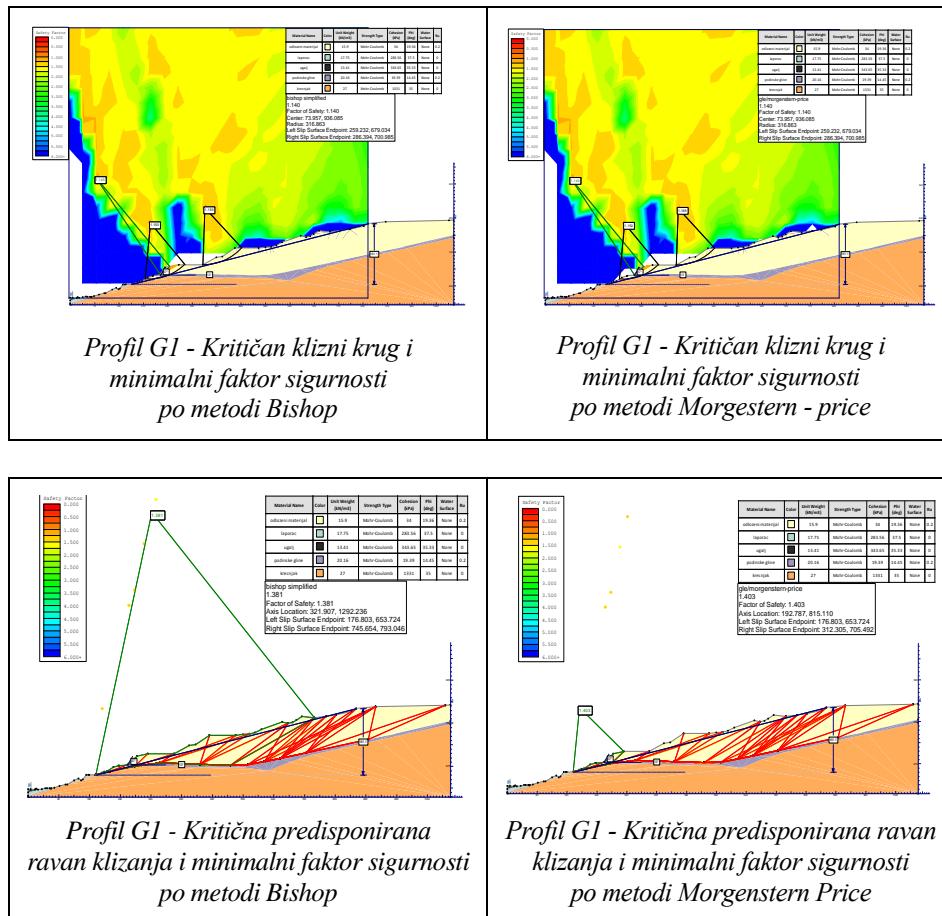
Tabela 3. Profil G1

Tabela 4. Profil G2

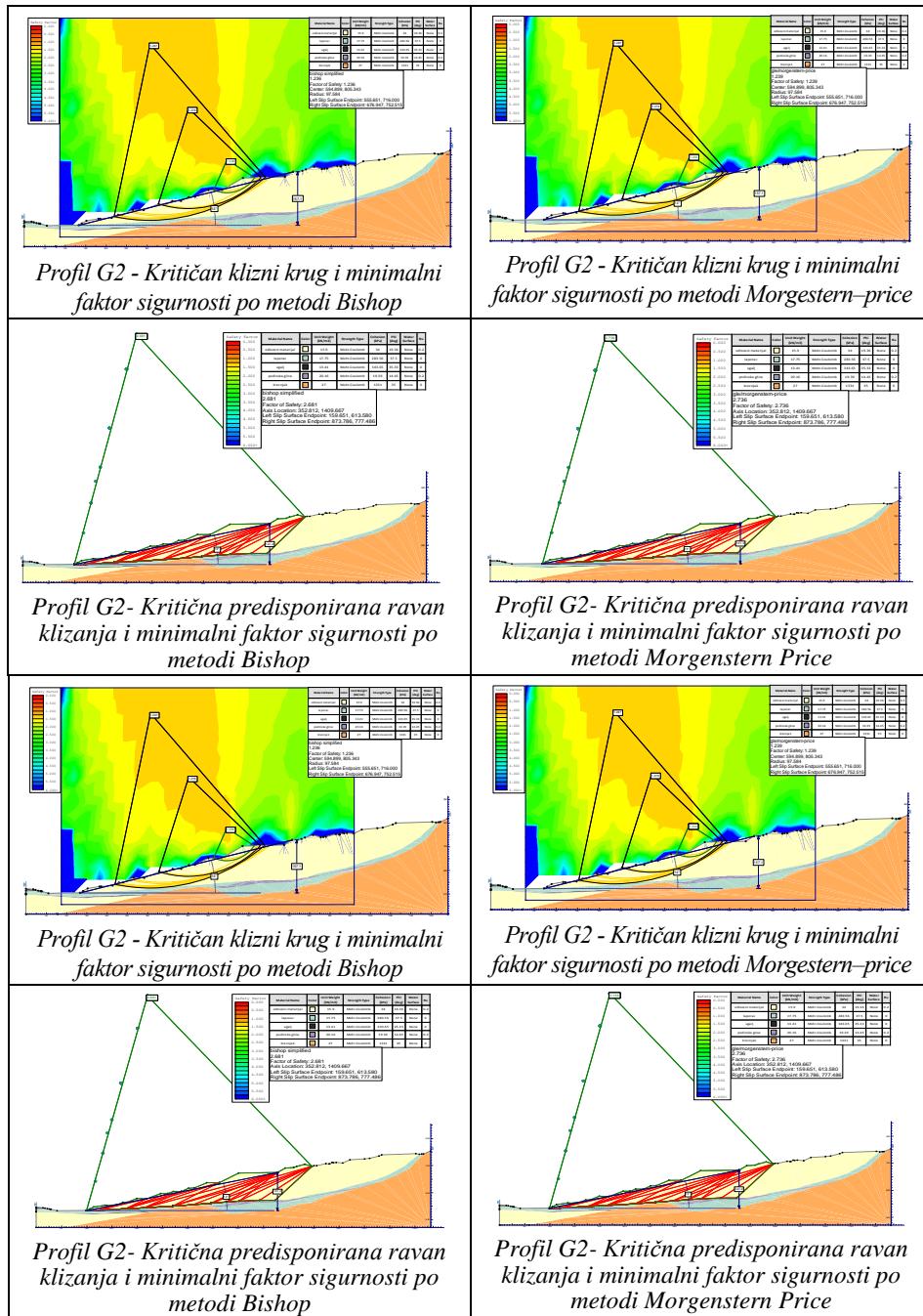
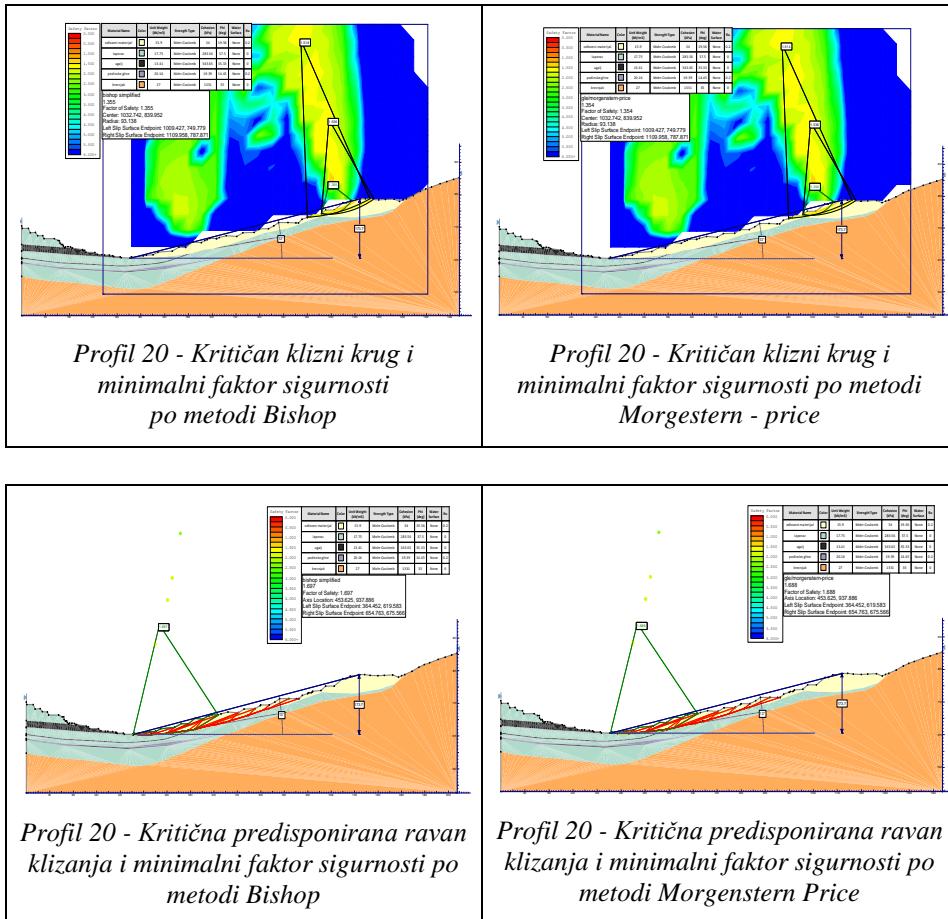


Tabela 5. Profil 20

5. VERIFIKACIJA STABILNOSTI PROJEKTOVANOG STANJA

U narednim tabelama od 6 do 8, prikazana je analiza konstruktivnih parametara etaža konstruisanih diskontinualnim transportom.

Tabela 6. Profil 17

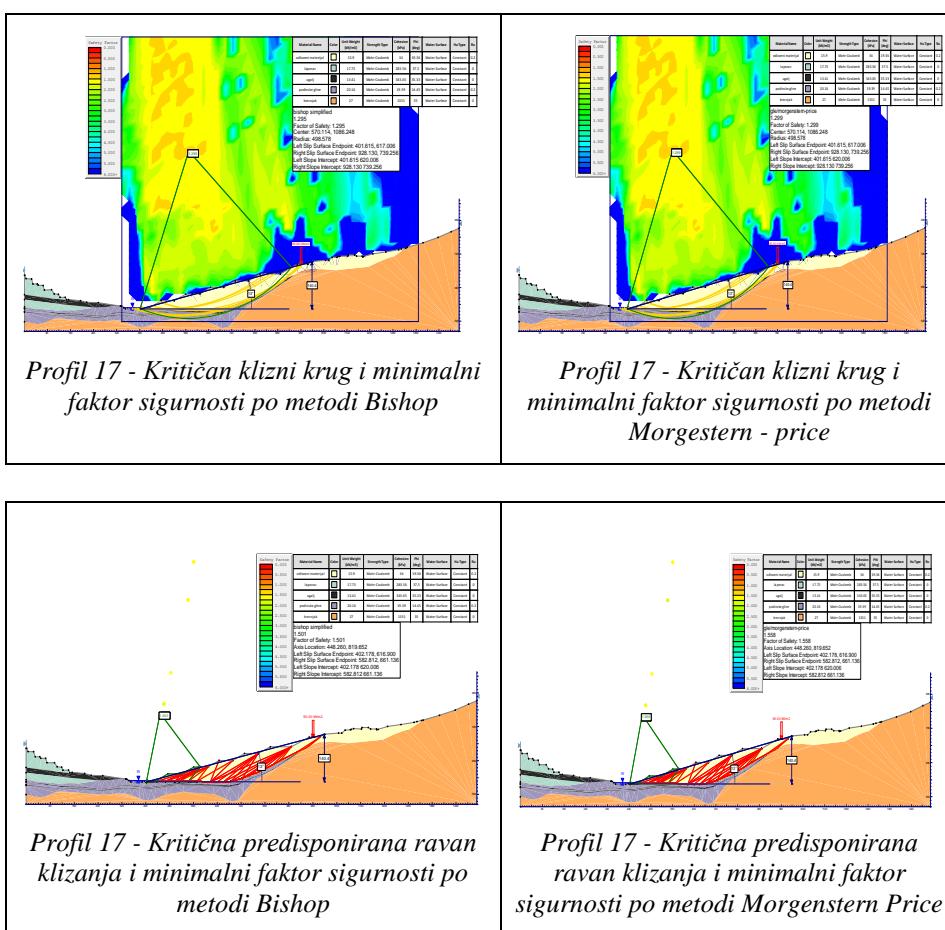
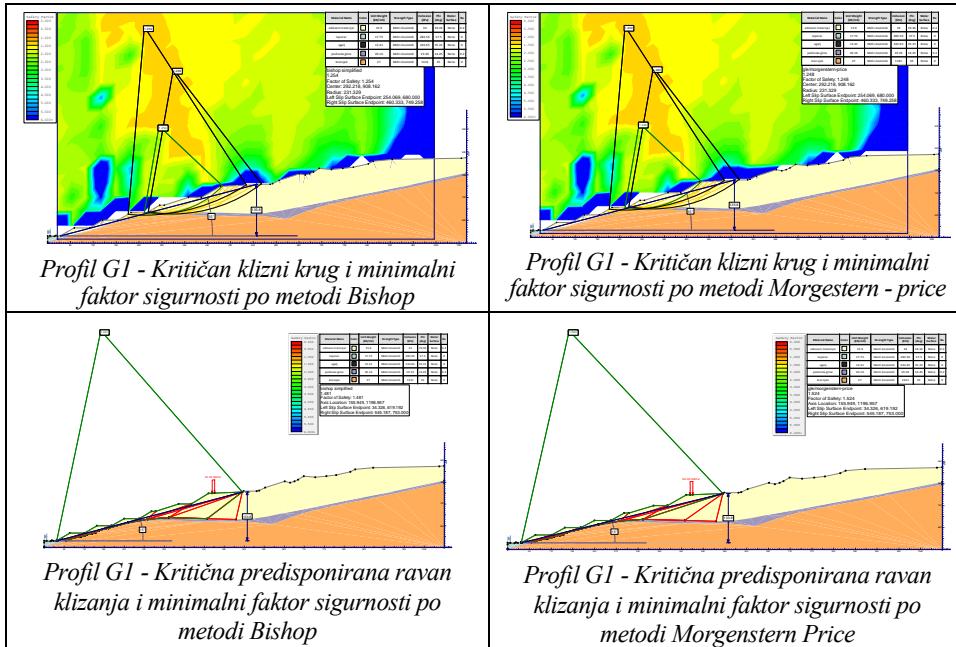
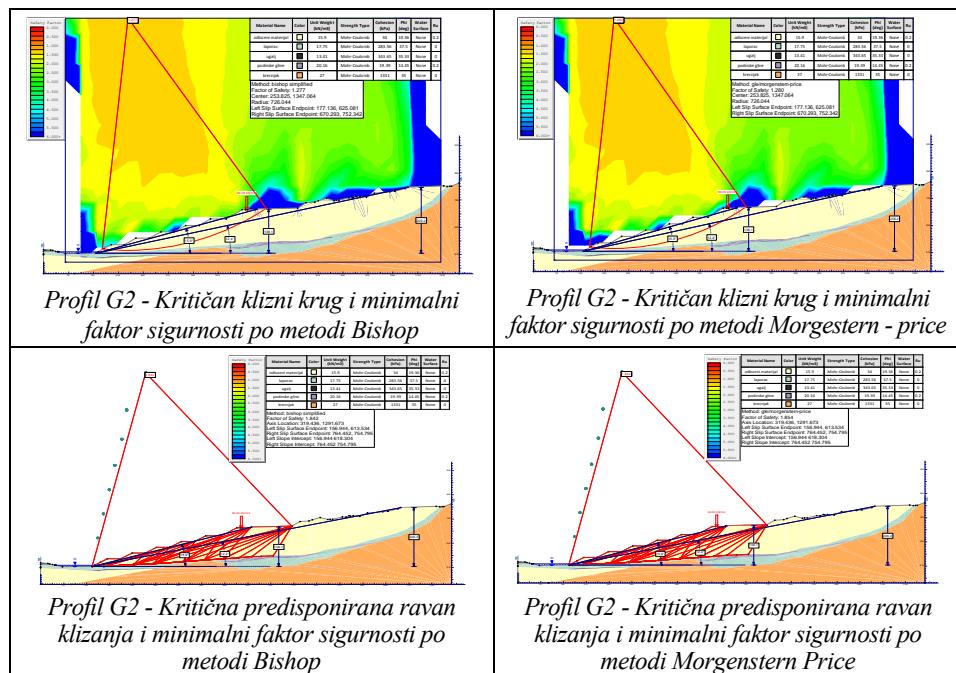


Tabela 7. Profil G1**Tabela 8. Profil G2**

Proračunima stabilnosti za kosine odlagališta, sa usvojenim parametrima, dobijeni su faktori stabilnosti koji ukazuju da su etaže odlagališta stabilne. U zbirnoj tabeli 9 prikazani su faktori stabilnosti za Profile na kojima je vršena analiza. Analiza je izvršena za postojeće stanje i projektovano stanje za ulazak DTO sistema. Analizom je obuhvaćen slučaj kružne klizne ravni i kritične preindisponirane ravni klizanja.

Tabela 9. Zbirna tabela parametara stabilnosti kosina u zoni unutrašnjeg odlagališta Kutlovača

| Preseci | POČETNO STANJE | | | | PROJEKTOVANO STANJE | | | |
|---------|----------------------------|----------|--------------------------------------|----------|----------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
| | <i>Kružna klizna ravan</i> | | <i>Predisponirana ravan klizanja</i> | | <i>Kružna klizna ravan</i> | | <i>Predisponirana ravan klizanja</i> | |
| Metoda | Bišop | M. Price | Bišop | M. Price | Bišop | M. Price | Bišop | M. Price |
| 17 | 1,29 | 1,302 | 1,691 | 1,705 | 1,295 | 1,299 | 1,501 | 1,558 |
| G1 | 1,14 | 1,14 | 1,381 | 1,403 | 1,254 | 1,248 | 1,481 | 1,524 |
| G2 | 1,218 | 1,239 | 2,681 | 2,736 | 1,277 | 1,28 | 1,842 | 1,854 |
| 20 | 1,355 | 1,354 | 1,697 | 1,688 | | | | |

Minimalno dozvoljeni koeficijenti sigurnosti dati su u Pravilniku o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina („Sl. list SFRJ“, br. 4/86 i 62/87).

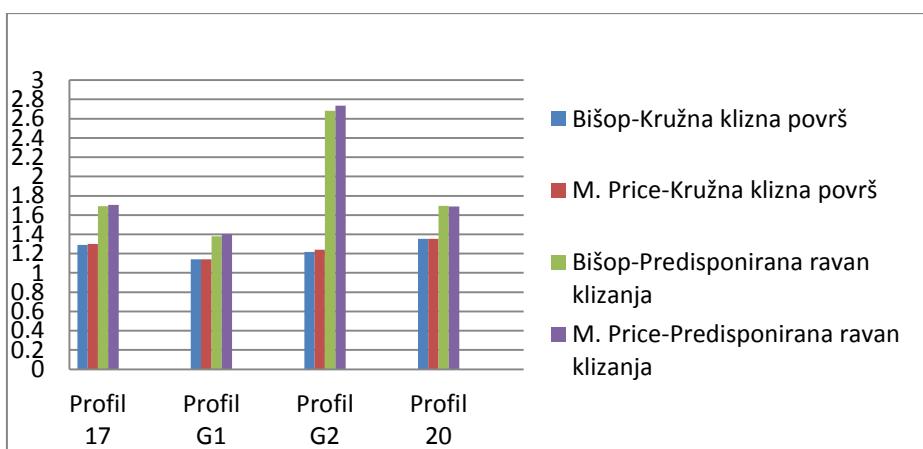
Kada je reč o sistemu kosina unutrašnjeg odlagališta, korišćena je vrednost propisana za mešovite vezane meke stene sa dinamičkim opterećenjem i uzimajući u obzir $\text{tg } \phi$ i koji iznosi 1.2 do 1.25.

Proračunati faktori sigurnosti projektovanih kosina su iznad minimalno propisanih.

Analizom dobijenih vrednosti i pozicije kritičnih kliznih blokova, možemo konstatovati da se minimalni faktori sigurnosti odnose na pojedinačne etaže ili sistem manjeg broja kosina etaža. Kritični klizni blokovi, koji obuhvataju najveći deo analiziranog Profila ili formiranu kosinu, u celini su sa visokim faktorima sigurnosti, značajno višim od minimalno dozvoljenih.

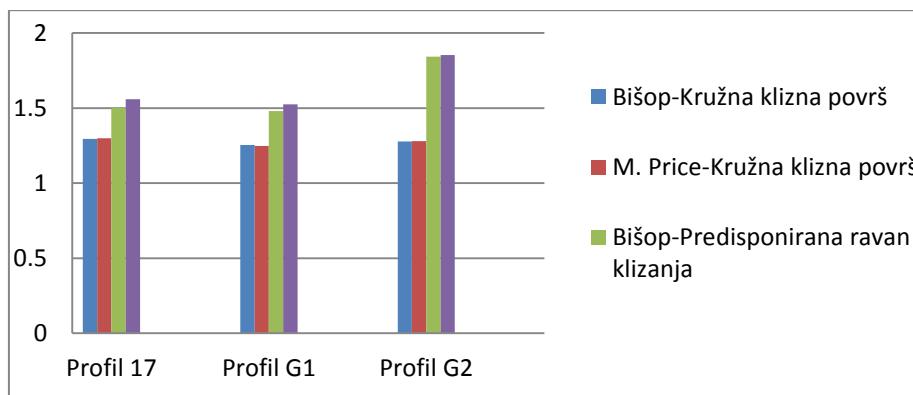
6. DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Proračun faktora sigurnosti sistema kosina unutrašnjeg odlagališta PK Potrlica ukazuje da je postojeća kosina formirana sa konstruktivnim parametrima, koji obezbeđuju stabilnost sa faktorom iznad minimalno dozvoljenog osim na preseku G1, slika 2. U realnim situacijama to može biti i posledica dinamike odlaganja jalovine po pojedinim etažama odlagališta i takvo stanje po pravilu je kratkotrajno. Da neplansko odlaganje masa na unutrašnjem odlagalištu ne bi dovelo do negativnih posledica i ugrožavanja bezbednosti radnika i opreme, vrši se periodična kontrola geometrije kosine i provera faktora sigurnosti na karakterističnim presecima.



Sl. 2. Faktori sigurnosti za stanje radova na dan 01.11.2017

Novo projektovano stanje kosina na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa formirano je u funkciji stabilnosti, količina masa, koje se odlažu na pojedinim etažama i minimalnoj širini bermi, koje proizilaze iz konstruktivnih i tehničkih parametara transportne i odlagališne opreme. Na slici 3 prikazani su faktori sigurnosti za novo projektovano stanje. Proračunate vrednosti faktora sigurnosti su iznad minimalno dozvoljenih na svim ispitivanim profilima. Poredeći vrednosti F_s za kružne klizne površi i predisponirane ravni loma, može se konstatovati da su vrednosti za kružne klizne ravni niže. Faktori sigurnosti projektovanog sistema etaža su viši u odnosu na postojeće stanje. To je posledica toga što su projektovane berme većih širina i u skladu sa dimenzijama opreme koja će raditi na odlaganju, dok su u slučaju postojećeg stanja berme nešto uže, što je posledica nedovoljne pažnje pri odlaganju.



Sl. 3. Faktori sigurnosti za novo projektovano stanje

Fs za kružne klizne površi imaju niže vrednosti od Fs dobijenih pri analizi pri proračunu sa predisponiranim ravnima klizanja. Ovo može biti posledica dva faktora. Modeliranje kružnih kliznih površi se vrši na taj način što se u modelu kosine definiše prostor centara kliznih kružnih površi po pravilnoj mreži određenih dimenzija. Na taj način se generiše veliki broj kliznih površi za koje se proračunava faktor sigurnosti, a rezultati su bliži „stvarnom“ minimalnom faktoru sigurnosti. U slučaju kada se analiza vrši sa predisponiranim ravnima klizanja, broj ispitivanih slučajeva je manji, a preciznost rezultata u velikoj meri zavisi od iskustva eksperta, koji definiše izgled ili prostor u kome se modeliraju ravni klizanja. Drugi faktor jesu fizičko mehanički parametri i ponašanje radne sredine u konkretnim uslovima njene nestabilnosti. Ovaj drugi faktor se odražava kroz mogućnost da se modeliranim kružnim površima ili ravnima klizanja simulira realno ponašanje materija u slučaju kada je stabilnost narušena.

7. ZAKLJUČAK

Analizirani problem je posledica potrebe da se formira radni plato za kontinualno odlaganje otkrivke i jalovine u okviru DTO sistema. Formiranje ovog platoa je definisano važećom projektnom dokumentacijom, ali kao što je to najčešći slučaj na PK došlo je do određenog odstupanja u pogledu količina, dinamike, visina i niveleta etaža na odlaganju. Analizirano rešenje predstavlja uklapanje kontinualnog sistema na odlaganju u postojeće stanje.

Za razvoj kontinualnog dela odlagališta neophodno je, u odgovarajućoj meri, razviti etaže na diskontinualnom delu unutrašnjeg odlagališta. Odlaganje jalovine mora kapacitativno da zadovolji zahteve proistekle iz projektovanog kapaciteta eksploatacije. Sa aspekta otkopavanja transporta i odlaganja jalovine postoje ograničenja i u pogledu raspoložive otkopne, transportne i odlagališne opreme. Sa aspekta razvoja rudarskih radova na eksploataciji, ograničenja se odnose na brzinu napredovanja radova na otkopavanju i raspoloživi prostor za formiranje unutrašnjeg odlagališta. Sprovedena analiza stabilnosti definiše vertikalnu podelu unutrašnjeg odlagališta na diskontinualni i kontinualni deo i direktno na vertikalnu podelu, u okviru kontinualnog dela na odlaganje jalovine, pravac i korak napredovanja unutrašnjeg odlagališta, uskladen sa korakom napredovanja i pravcom razvoja fronta na otkopavanju.

U daljem periodu razvoja radova na PK, neophodno je detaljno razraditi i usaglasiti geometriju i dinamiku etaže na otkopavanju sa geometrijom i dinamikom razvoja etaže na unutrašnjem odlagalištu. Uklapanje razvoja radova na otkopavanju i odlaganju mora uzeti u obzir minimalno rastojanje između frontova radova na otkopavanju uglja i odlaganju na najnižim etažama unutrašnjeg odlagališta. Postojanje objekata zaštite površinskog kopa od voda, poput vodosabirnika, cevovoda i etažnih kanala i transportnih komunikacija koje se nalaze u tom prostoru, takođe se moraju uzeti u obzir. Pored uzimanja svih relevantnih parametara napredovanja fronta radova na otkopavanju i odlaganju, uslov stabilnosti kosina mora biti zadovoljen u svim mogućim situacijama. Zbog toga je neophodno sprovoditi periodične provere faktora stabilnosti, a u konkretnom slučaju, s obzirom na dug vek površinskog kopa i značaj unutrašnjeg odlagališta i značaj za eksploataciju, potrebno je razmotriti i uvođenje automatizovanog monitoringa stanja kosina.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat Projekta TR37001 pod nazivom: „Uticaj rudarskog otpada iz RTB Bor na zagađenje okolnih vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu okolinu“, koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] N. Stanić, R. Stanić, S. Stepanović, M. Nikolić, Feasibility Analysis for Reconfiguration of Potrlica Open Pit Mine CCS system, 13th Internacional Symposium Continuous Surface Mining, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, 11. - 14. Sep, 2016, pp. 573-586.
- [2] N. Stanić, S. Stepanović, M. Nikolić, A. Doderović, Benefits of Application the Modern Technology of Mechanized Charging the Boreholes at the op Potrlica Pljevlja, Mining and Metallurgy Engineering Bor, No. 1-2, 2017, pp. 93-102.
- [3] N. Stanić, R. Stanić R., M. Nikolić, Primena tehnologije mehanizovanog punjenjenja minskih bušotina na površinskom kopu Potrlica-Pljevlja, Investicije i nove tehnologije u energetici i rudarstvu - 2. Međunarodni simpozijum, Borsko jezero, Bor, 18. - 19. Sep, 2017, str. 54-60.
- [4] Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja u ležištu „Potrlica“, lokalitet „Cementara“, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, maj 2009.
- [5] Dopunski rudarski projekat eksploatacije uglja ležišta Potrlica, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, decembar 2009.
- [6] Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračunu rezervi uglja u ležištu „Potrlica“ (Pljevaljski ugljonični basen) sa stanjem 31.12.2005. godine, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, oktobar 2006.
- [7] Dopunski rudarski projekat eksploatacije uglja PK Potrlica za period 2010-2014. godine, Rudnik uglja A.D. Pljevlja, januar 2010.
- [8] Izveštaj o „IN SITU“ i laboratorijskim ispitivanjima uzoraka iz bušotina GB-1 i GB-2 radi dobijanja geomehaničkih parametara potrebnih pri izradi projekta osiguranja terena i objekata, na osnovu analiza stabilnosti kosina, pri eksploataciji uglja i otkrivke na PK „Potrlica“ Pljevlja, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, jul 2014.
- [9] Projekat osiguranja terena i objekata na osnovu analiza stabilnosti kosina pri eksploataciji uglja i otkrivke na PK “Potrlica” Pljevlja, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, decembar 2014.

- [10] N. Stanić, S. Stepanović, A. Doderović, M. Gomilanović, Determining the Structural Parameters of Slopes at the Open Pit Potrlica in the Zone of Separation Doganje, Mining and Metallurgy Engineering Bor, No. 4, 2016, pp. 1-10.
- [11] N. Stanić, A. Doderović, S. Stepanović, M. Gomilanović, Dynamics of Development the Works of Roof Coal Series of the Open Pit Gacko by the Software Gemcom Gems - Module Cut Evaluation, Mining and Metallurgy Engineering Bor, No. 4, 2016, pp. 41-52.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 669.234(045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Materijali i Hemijske tehnologije

DOBIJANJE I RAFINACIJA PALADIJUMA IZ IZRAĐENIH Pd-HVATAČA

PALLADIUM RECOVERY AND REFINING FROM SPENT Pd-CATCHER

Dana Stanković, Ana Kostov, Biserka Trumić, Aleksandra Milosavljević

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor,

e-mail: dana.stankovic@irmbor.co.rs

Izvod

Radi dobijanja visoko čistog paladijuma za izradu „nosača“, koji se koristi u industriji proizvodnje azotne kiseline, a služi za hvatanje, odnosno apsorpciju pare platina (IV)-oksida nastalog iz platiniskog katalizatora, vršena je rafinacija paladijuma iz legure PdNi5 [1]. Nakon prevođenja paladijuma u rastvor, izvršena je rafinacija rastvora, odnosno prečišćavanje istog od neplemenitih metala kao što su Ni, Fe i Zn. Redukcijom paladijuma iz amonijačnog rastvora hidrazinhidratom, dobijen je prah Pd čistoće 99,99%.

Ključne reči: rastvaranje, visoko čist paladijum, katalizator, prečišćavanje

Abstract

The aim of this paper is to find an adequate technique for palladium dissolution and refining from the PdNi5 alloy [1]. The first step of experiment was the process of alloy dissolution in order to define the most appropriate solvent as well as to determine the optimal parameters of dissolution process. The second part of the experiment referred to the removal of non-precious metals (Ni, Fe, Zn) from the obtained solution and palladium transfer into metallic form.

Keywords: dissolution, high purity palladium, catalyst, refining

1. UVOD

Paladijum spada u platiniku grupu metala pored platine, iridijuma, rodijuma, rutenijuma i osmijuma. Ovi metali se vrlo retko nalaze u zemljinoj kori, već prate sulfidne rude bakra i nikla. U ovim ležištima platiniski metali se najčešće koncentrišu tako da su ova nalazišta najznačajniji izvori za njihovo dobijanje [1-4].

Paladijum spada u grupu lakih platiniskih metala pored Rh i Ru, hemijski je aktivniji od platine tako da lako gradi hemijska jedinjenja.

Predmet ovog rada je dobijanje paladijuma komercijalnog kvaliteta, tj. 99,99% Pd iz legure PdNi5 u cilju izrade Pd – hvatača za potrebe hemijske industrije dobijanja azotne kiseline [4].

Paladijum je osnovni metal za izradu paladijumskih hvatača u obliku mrežica, koje služe za vezivanje čestica Pt nastalih razlaganjem Pt-katalizatora pri procesu oksidacije amonijaka u industriji dobijanja azotne kiseline.

U radu je dat postupak dobijanja i rafinacije paladijuma do kvaliteta 99,99% Pd iz sirovine PdNi5 [3,4].

Ispitivanja su vršena na uzorku izrađenih hvatača u obliku mreže, koji je predhodno podvrgnut procesu rastvaranja u cilju prevođenja legure u rastvorni oblik.

Prva faza istraživanja je obuhvatila način i postupak rastvaranja legure sa ciljem da se definiše najpogodniji rastvarač kao i određivanje optimalnih parametara procesa rastvaranja.

Drugi deo istraživanja se odnosio na prečišćavanje dobijenog rastvora od neplemenitih metala (Ni, Fe, Zn), i prevođenje paladijuma u metalni oblik.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za eksperimentalna ispitivanja, korišćena je legura u obliku lima debljine 0,5 mm. Urađena XRFA-rentgenska fluoroscentna analiza je pokazala sledeći sastav legure: Pd – 93,78%; Ni – 5,53%; Fe - 0,169%; Zn – 0,139%.

Prva faza istraživanja obuhvata način i postupak rastvaranja legure. Utvrđen je optimalan rastvarač u zavisnosti od vremena rastvaranja, temperature rastvaranja i odnosa čvrste prema tečnoj fazi pre rastvaranja. Kao najbolji rastvarač pokazala se hlorovodonična kiselina p.a. kvaliteta u razblaženju 1:1 sa dodatkom gasovitog hlora kao oksidansa.

Druga faza procesa je tekla u smeru eliminacije neplemenitih metala iz rastvora i dobijanje paladijuma visokog kvaliteta za njegovo finaliziranje u „hvatač“.

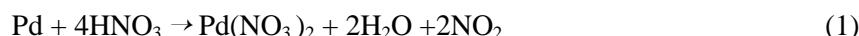
Eksperimenti su rađeni u laboratorijama Instituta za rudarstvo i metalurgiju. Od opreme je korišćeno stakleno posude, magnetna mešalica i vakuum pumpa.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu literaturnih podataka i dugogodišnjeg iskustva sa platinskim i plemenitim metalima za rastvaranje legure PdNi5, odabrana su dva reagensa i to: HNO_3 i $\text{HCl} + \text{Cl}_2$ [2].

Serijom urađenih opita utvrđen je uticaj sledećih parametara na proces rastvaranja legure PdNi5: vreme rastvaranja, temperatura rastvaranja, odnos čvrste prema tečnoj fazi, i konstantno mešanje u toku rastvaranja. Kontrola zadatih parametara je vršena tokom rastvaranja legure PdNi5 u oba rastvarača: u azotnoj (HNO_3) i hlorovodoničnoj kiselini uz uvođenje hlora ($\text{HCl} + \text{Cl}_2$).

Hemiske reakcije rastvaranja paladijuma u azotnoj i u hlorovodoničnoj kiselini uz uvođenje hlora mogu se predstaviti jednačinama:



Rezultati rastvaranja paladijuma prikazani su u tabeli 1, gde se uočava da su bolji rezultati postignuti rastvaranjem sa hlorovodoničnom kiselinom uz uvođenje hlora kao oksidansa.

Pri procesu rastvaranja legure PdNi5, pored izbora rastvarača, na sam proces rastvaranja utiču temperatura rastvaranja i vreme trajanja procesa rastvaranja. Eksperimentalnim istraživanjem utvrđeni su optimalni parametri procesa rastvaranja i to su:

1. Radna temperatura 90°C , tokom čitavog procesa rastvaranja
2. Odnos č:t=1:30 pri rastvaranju
3. Vreme rastvaranja 4 h

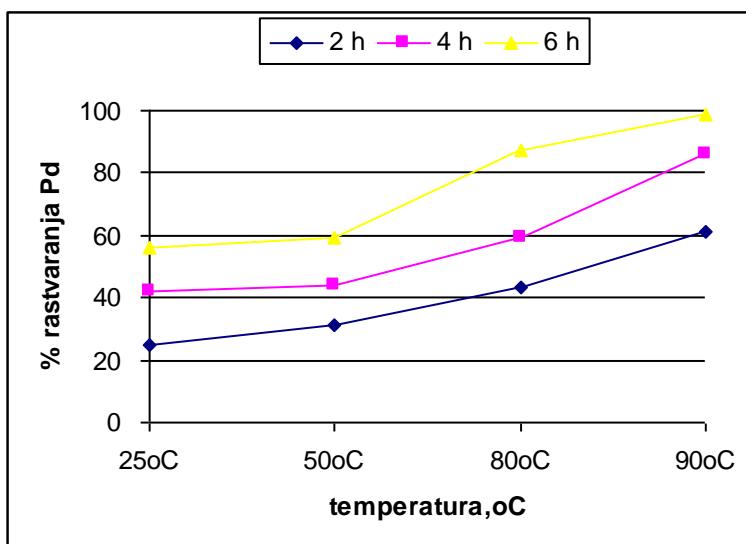
Tabela 1. Stepen rastvaranja paladijuma u zavisnosti od vrste reagensa

| Reagens | HNO_3 | $\text{HCl} + \text{Cl}_2$ |
|--------------------------|----------------|----------------------------|
| Stepen rastvaranja Pd, % | 96.5 | 98.9 |

Stepen rastvaranja paladijum u zavisnosti od vremena trajanja procesa rastvaranja i temperature rastvaranja prikazan je na slici 1.

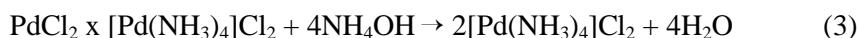
Sa slike se vidi da se najbolje rastvaranje legure postiže se pri odnosu č:t=1:30. Pri odnosu č:t=1:20, stepen rastvaranja je za oko 10% niži u odnosu na č:t=1:30. Ostali parametri pri rastvaranju, temperatura i vreme mešanja su bili konstantni.

Nakon što su definisani uslovi rastvaranja paladijuma iz legure PdNi5, u cilju eliminacije neplemenitih metala, rastvor je tretiran amonijakom do pH-8 uz neprekidno mešanje. Zbog stabilizacije pH vrednosti rastvora, neophodno je da rastvor odstoji najmanje 2 sata nakon čega se isti filtrira.

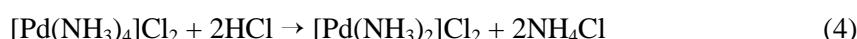


Sl. 1. Stepen rastvaranja paladijuma u zavisnosti od temperature i vremena

Pri dodavanju amonijaka nastaje kompleks paladijuma tetraaminodihlorida, što je predstavljeno hemijskom reakcijom (3).



U profiltriran rastvor dodaje se hlorovodonična kiselina, pri tom dolazi do rastvaranja kompleksa paladijum tetraaminodihlorida, uz istovremeno nastajanje taloga - $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$ žute boje prema hemijskoj reakciji (4).



Radi uklanjanja nečistoća, koje talog paladijumskog kompleksa obično okludira, isti se ispira razblaženom hlorovodoničnom kiselinom da bi se sadržaj nepoželjnih komponenti sveo na minimum. Nakon ispiranja, paladijum diaminohlorid se rastvara u amonijaku.

Postupak rastvaranja amonijakom i taloženja paladijum diaminohlorida hlorovodoničnom kiselinom ponavlja se nekoliko puta [2], sa ciljem dobijanja visoko čistog paladijuma. Nakon prečišćavanja rastvora paladijuma, rastvor se analizira na sadržaj nečistoće i tek onda dobijeni paladijumov kompleks se redukuje sa 80%-nim hidrazinhidratom. Dobijeni paladijum prah (rafinisani paladijum) se filtrira, ispira destilovanom vodom, a potom suši na 105°C [3].

Hemiska analiza sadržaja nečistoća u redukovanim paladijumu je urađena metodom ICP-AES – atomska emisiona spektroskopija sa indukovano kuplovanom plazmom, i dobijen je sledeći sadržaj nečistoća u redukovanim paladijumu (rafinisani paladijum): Fe - 25 ppm, Ni - 0, Zn - 5 ppm, Si - 7 ppm.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata eksperimentalnih istraživanja, najbolji rezultati rastvaranja legure PdNi5 su postignuti:

- rastvaranjem u hlorovodoničnoj kiselini 1:1 uz dodatak gasovitog hlora kao oksidansa,
- temperaturi rastvaranja 90°C,
- vreme od 4 h,
- odnos č:t=1:30 pri rastvaranju uz konstantno mešanje.

Dobijeni parametri predstavljaju optimalne parametre procesa rastvaranja ispitivane legure PdNi5.

Sadržaj nečistoća u rafinisanom paladijumu (Fe-25 ppm, Ni-0, Zn-5 ppm, Si-7 ppm) pokazuje da je dobijen paladijum zadovoljavajućeg kvaliteta za izradu novih Pd-katalizatora hvatača.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao kao rezultat rada na projektima: TR34029 pod nazivom „Razvoj tehnologije proizvodnje Pd katalizatora-hvatača za smanjenje gubitaka platine u visoko temperaturnim procesima katalize“, TR34004 pod nazivom „Razvoj ekoloških i energetski efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije“ i TR34005 pod nazivom „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“, koji su finansirani sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] D. Stanković, B. Trumić, Razvoj i osvajanje PtRhPd metalnih katalizatora za proizvodnju azotne kiseline, Studija, Institut za bakar Bor, 1999.

- [2] L. Jovanović, G. Jovanović, D. Mitrović, Regeneracija i rafinacija platine, rodijuma i paladijuma iz potrošenih katalitičkih mreža, Studija, Institut za bakar Bor, 1999.
- [3] L. Jovanović, D. Mitrović, Tehnološki proces regeneracije Pt metala iz PtRh-PtRhPd katalizatora, Yu Patent N°4858
- [4] D. Stanković, B. Trumić, Razvoj i dobijanje metalnih katalizatora PtRhPd za proizvodnju azotne kiseline, Studija, Institut za bakar Bor, 1999.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 628.3:66.01(497.11)(045)=163.41

PREGLEDNI RAD

Oblast: Materijali i Hemijske tehnologije

RAZLIČITE VRSTE NANOMATERIJALA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA

DIFFERENT TYPES OF NANOMATERIALS FOR THE WASTEWATER TREATMENT

Branka Pešovski, Danijela Simonović, Vesna Krstić

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Zeleni bulever 35, 19210 Bor,

e-mail: branka.pesovski@irmbor.co.rs

Izvod

Nanotehnologija je našla primenu za precišćavanje industrijskih efluenata, površinskih voda, podzemnih voda i vode za piće. Razvijeni su različiti efikasni, ekološki prihvatljivi i ekonomski isplativi nanomaterijali, koji obuhvataju: nanoadsorbensi sa česticama na bazi oksida gvožđa, MnO, ZnO i MgO, ugljenične nanocevi (CNTs) i nanoadsorbenase na bazi grafena. Razmatrani su nanokatalizatori, posebno nanomaterijali za elektrokatalizu i nanomaterijali na bazi Fenton katalizatora. Primena nanotehnologije u membranskim procesima u formi nanomembrana je najsvremeniji postupak za tretman otpadnih voda, naročito vode za piće. Date su osnovne karakteristike membrana od ugljeničnih nanocevi, membrana od elektrospun nanovaljana i hibridnih nanomembrana. Kombinacija biološko-nanotehnoloških procesa je jedna od perspektivnih tehnika u smislu proizvodnje energije i precišćavanja otpadnih voda. Prednosti primene ove membranske tehnologije su u tome da se bez dodatka hemikalija, kao što su koagulantri, koji se koriste za membransku filtraciju, olakša ponovna upotreba vode nakon filtracije i pojednostavi separacija biomase algi.

Ključne reči: nanoadsorbensi, ugljenične nanocevi, nanokatalizatori, nanomembrane

Abstract

Nanotechnology has found application for treatment of industrial effluents, surface water, groundwater and drinking water. Various efficient, environmentally friendly and cost-effective nanomaterials have been developed that include: nano-adsorbents with particles based on iron oxides, MnO, ZnO and MgO, carbon nanotubes (CNTs) and nano-adsorbents based on graphene. Nanocatalysts, special nanomaterials for electrocatalysis and nanomaterials based on Fenton catalysts were considered. The application of nanotechnology in the membrane processes in form of nano-membranes is the most modern method for wastewater treatment, especially drinking water. The basic characteristics of the carbon nanotube membranes, electrospun nanofiber membranes and hybrid nano-membranes were given. A combination of bio-nanotechnological processes is one of the promising techniques in terms of energy production and wastewater treatment. The advantages of applying this membrane technology are in the fact that without the addition of chemicals, such as coagulants used for membrane filtration, to facilitate the re-use of water, after filtration and simplify of the algae biomass separation.

Keywords: nano-adsorbents, carbon nanotubes, nano-catalysts, nano-membranes

1. UVOD

Nanotehnologija je novo polje u nanonauci, gde se fenomeni primenjuju na nivou nanometarske skale. Nanomaterijali su najmanje razvijene strukture materijala veličine od nekoliko nanometara. Tačnije, nanočestice su one koje imaju konstrukcije sa jednom dimenzijom manjom od 100 nm. Nanomaterijali su razvijeni u različitim oblicima, kao što su nanovlakna, nanocevi, filmovi, čestice, kvantne tačke i koloidi. U tretmanu otpadnih voda razvijeni su različiti efikasni, ekološki prihvativi i ekonomski isplativi nanomaterijali sa jedinstvenim sposobnostima za potencijalnu dekontaminaciju industrijskih efluenata, površinskih voda, podzemnih voda i vode za piće [1].

Ovo uključuje četiri glavne klase materijala:

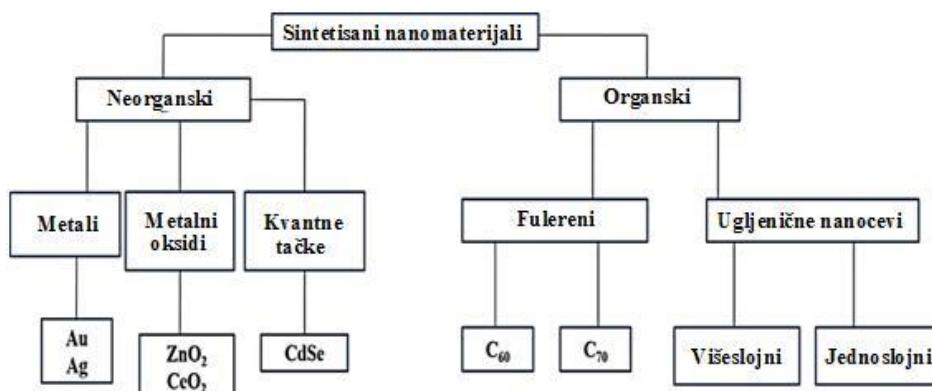
1. Nanoadsorbensi kao što su: aktivni ugalj, ugljenične nanocevi, grafen, mangan oksid, cink oksid, titanijum oksid, magnezijum oksid i feri oksidi koji se obično primenjuju za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda;
2. Nanokatalizatori poput: fotokatalizatora, elektrokatalizatora, katalizatori zasnovani na fenton materijalima i hemijskim oksidansima kao potencijalno dobrim sredstvima za uklanjanje i organskih i neorganskih nečistoća iz otpadnih voda;
3. Nanomembrane koje se koriste za efikasno uklanjanje boja, teških metala i drugih zagađivača, korišćenjem membrana od ugljeničnih nanocevi, elektrospan nanovlakana i hibridnih nanomembrana;
4. Savremeni procesi na bazi integracije nanotehnologije sa biološkim procesima, kao što su: reaktori sa alginiskim membranama, gorive ćelije na bazi mikroorganizama i anaerobnih procesa, kao novih tehnologija za prečišćavanje otpadnih voda.

Klasifikacija nanomaterijala prema njihovim fizičkim i hemijskim osobinama prikazana je na slici 1.

2. NANOADSORBENSI

U poslednjih nekoliko godina, nanočestični materijali su proučavani kao potencijalni adsorbensi. Manja veličina nanočestica povećava površinu, koja poboljšava hemijsku aktivnost i kapacitet adsorpcije nanočestica za adsorpciju metala na njihovoj površini. Proces adsorpcije zavisi od koeficijenta adsorpcije i navedene podele zagađivača, tj. teških metala ili organskih polutanata pod uslovima ravnoteže. Najčešće korišćene nanočestice za adsorpciju teških metala su: aktivni ugalj i ugljenične nanocevi, mangan oksid, grafen, cink oksid, magnezijum oksid, titanijum oksid i gvožđe oksid [1]. Faktori koji utiču na proces adsorpcije u vodenoj sredini su: velika površina, adsorpciona aktivnost,

hemiska aktivnost, lokacija atoma na površini, nedostatak unutrašnjeg otpora difuzije i visoka površinska energija vezivanja. Nanočestice korištene kao adsorbensi za uklanjanje teških metala treba da budu netoksične, da poseduju visoki kapacitet adsorpcije, imaju sposobnost da adsorbuju zagađivače u manjim koncentracijama (ppb), adsorbuju zagađivače koji se mogu lako ukloniti sa površine adsorbensa i da mogu biti korištene više puta bez recikliranja [1].



Sl. 1. Klasifikacija nanomaterijala prema njihovim fizičkim i hemijskim osobinama

Nanoadsorbensi su uglavnom klasifikovani u različite grupe na osnovu njihove uloge u procesu adsorpcije. Oni uključuju metalne nanočestice (*nano-particles, NPs*), nanostrukturse mešovite okside i magnetne nanočestice. Skorašnji razvoj ugljeničnih nanomaterijala (*carbon nano-materials, CNMs*) uključuje: ugljenične nanocevi, nanočestice ugljenika i ugljenične nanolistiće. Različiti tipovi silicijumskih nanomaterijala se takođe koriste kao nanoadsorbensi, npr. silikonske nanocevi, silicijumske nanočestice i silikonski nanolistovi. Pored toga, nanogline, nanomaterijali na bazi polimera, nanovlakna i aerogeli su neki od nanomaterijala koji su korišćeni za adsorpciju teških metala iz otpadnih voda.

Faktori koji kontrolišu svojstva nanoadsorbensa su: veličina, hemija površine, mesta aglomeracije, oblik i fraktalna dimenzija, hemijski sastav, kristalna struktura i rastvorljivost. Modifikacija nanočastica može da se izvrši nekim reagensom radi poboljšanja njihovih svojstva za predkoncentraciju jona metala.

2.1. Nanočestice na bazi oksida

Nanočestice na bazi oksida su neorganske nanočestice, koje se obično pripremaju sa nemetalima i metalima. Ove nanočestice su intenzivno korištene za uklanjanje opasnih zagađivača iz otpadnih voda. Tu spadaju: titanium oksidi, titanijum oksid/dendrimer kompoziti, cink oksidi, magnezijum oksid, mangan

oksidi i gvožđe oksidi. Nanočestice na bazi oksida se odlikuju visokom specifičnom površinom, minimalnim uticajem na životnu sredinu, manjom rastvorljivošću, i nemaju sekundarne zagađivače [1].

Nanočestice na bazi gvožđa

Prirodna pojava gvožđa i njegov jednostavan proces sinteze čine ferioksid jeftinim materijalom za adsorpciju štetnih metala. To je ekološki materijal i može se direktno korisiti na kontaminiranom okruženju sa manjim šansama sekundarne kontaminacije. Faktori koji utiču na adsorpciju različitih teških metala na Fe_2O_3 nanočesticama zavise od pH-vrednoti, temperature, doze adsorbensa i vremena inkubacije [2]. U cilju povećanja kapaciteta adsorpcije Fe_2O_3 , izvršena je modifikacija njegove površine, na čemu su radili mnogi istraživači. Palimi je sa sardnicima radio na površinskoj modifikaciji Fe_2O_3 nanočestica sa 3-aminopropil-tri-metokisilanom. Gupta i saradnici su objavili da modifikacija površine ovih nanoadsorbenasa pokazuje veliki afinitet za uklanjanje različitih zagađivača, kao što su Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} i As^{3+} simultano iz otpadnih voda [1].

Mangan oksidne (MnO_2) nanočestice

Nanočestice mangan oksida (MnO_2) pokazuju visoku adsorpcionu sposobnost zbog velike specifične površine i polimorfne strukture. Korišćene su za uklanjanje različitih teških metala, naročito arsena iz otpadnih voda. Najčešće se koristi modifikovani MnO_2 , koji obuhvata nanoporozni/nanotunel mangan oksid i hidratisani mangan oksid (*hydrated manganese oxide, HMO*) [3]. Zaman i saradnici su dobili HMO dodavanjem $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ u rastvor NaClO . Modifikovani HMO ima specifičnu površinu od oko $100,5 \text{ m}^2/\text{g}$. Adsorpcija različitih teških metala poput Pb^{2+} , Cd^{2+} i Zn^{2+} na HMOs obično se dešava zbog uticaja mehanizma unutrašnje sfere, koji može biti definisan kao joni-izmenjivački proces. Adsorpcija dvovalentnih metala na površini HMOs odvija se u dva koraka. U prvom, metalni joni se adsorbuju na spoljašnjoj površini HMOs, a zatim sledi intračestična difuzija [1].

Cink oksidne (ZnO) nanočestice

Cink oksid (ZnO) ima poroznu mikro/nano-strukturu sa velikom specifičnom površinom za adsorpciju teških metala. Nano-sklopovi, nanopovršine, mikrosfere sa nanolistićima i nano-šipke sa hijerarhijskim ZnO su u širokoj upotrebi kao nanoadsorbensi za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda. Navedeni modifikovani oblici ZnO pokazuju visoki stepen efikasnosti uklanjanja teških metala u poređenju sa komercijalnim ZnO . Wang i saradnici su koristili ZnO nano-pločice i porozne nano-listiće za uklanjanje Cu^{2+} iz otpadnih voda. Naglašava se da su nano-oblici korišćeni za uklanjanje različitih teških metala: Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} i As^{3+} . Mikroporozni nano-oblici

pokazuju visoki afinitet za adsorpciju Pb^{2+} , Hg^{2+} i As^{3+} zbog svoje elektropozitivne prirode [1]. Visok stepen efikasnosti uklanjanja Pb^{2+} i Cd^{2+} iz otpadnih voda postignut je korišćenjem mezoporoznih ZnO nano-cevi [1].

Magnezijum oksidne (MgO) nanočestice

MgO mikrosfere su nove strukture, koje mogu poboljšati adsorpcionu efikasnost uklanjanja teških metala [1]. Izvedene su različite vrste modifikacija nanočestične morfologije radi povećanja kapaciteti adsorpcije MgO . Ovo uključuje: nanocevi, nano-trake, fraktalne nanostrukture oblika riblje kosti, nano-žice, nanokocke i razne trodimenzionalne oblike. Li je sa saradnicima dokazao efikasnu adsorpciju Pb^{2+} i Cd^{2+} na cvetolikom mezoporoznom MgO .

2.2. Ugljenične nanocevi

Ugljenične nanocevi (*carbon nanotubes, CNTs*) su intenzivno proučavani materijali koji poseduju potencijal za uklanjanje teških metala i različitim organskim zagađivača iz otpadnih voda putem adsorpcije. Međutim, siromašna disperziona sposobnost, poteškoće u separaciji jona i male veličine čestica su ograničavajući faktori za korišćenje CNTs kao adsorbensa. U cilju rešavanja ovih problema istraživači su modifikovali klasične CNTs u formu višeslojnih ugljeničnih nanocevi (*multi walled carbon nanotubes MWCNTs*). Upotreboom višeslojnih ugljeničnih nanocevi vršeno je uklanjanje Pb^{2+} , Mn^{2+} i Cu^{2+} . Ispitivano je adsorpciono ponašanje glinice kao obloge za CNTs, i ustanovljeno da su obložene CNTs pokazale bolju sposobnost za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda u odnosu na neobložene CNTs. Površinskim modifikovanjem CNTs povećava se njihova ukupna aktivnost adsorpcije. CNTs modifikovane sa metal/metalnim oksidom, kao što su MnO_2 , Al_2O_3 i gvožđe oksidom, dale su pozitivne rezultate za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda [4]. Uzimajući u obzir poteškoće za uklanjanje arsena, kako iz otpadnih voda, tako i vode za piće, u tabeli 1 dat je prikaz efikasnosti različitih CNTs nanoadsorbenasa za uklanjanje arsena iz vode [5].

2.3. Nanoadsorbensi na bazi grafena

Grafen je jedna od alotropskih modifikacija ugljenika, koja poseduje posebne karakteristike koje ga čine veoma povoljnim za niz primena u ekologiji. Grafen oksid (GO) je ugljenični nanomaterijal, koji ima dvodimenzionalnu strukturu. Proizveden je oksidacijom grafitnog sloja hemijskom metodom. Hummers metoda je najčešća korišćena metoda za sintezu GO [4]. Hidrofilne grupe su indukovane u GO, što je zahtevalo poseban proces oksidacije. Prisustvo ovih hidroksilnih i karboksilnih grupa kao funkcionalnih grupa u GO povećava adsorpciju teških metala.

Tabela 1. Pregled efikasnosti različitih CNTs nanoadsorbenasa za uklanjanje As iz vode [5]

| Adsorbens | Kapacitet adsorpcije (mg/g) | Uklanjanje (%) | pH | Oblik As/koncentracija (mg/dm ³) |
|---|-----------------------------|----------------|--------|--|
| CeO ₂ nanočestice bazirane na CNTs | 10-81,9 | 80 | 5-7 | As(V)/20 |
| Sirove MWCNTs | - | Veoma slabo | 5 | As(III) |
| MWCNTs funkcionalizovane karboksilnim grupama | - | 11 | 5 | As(III) |
| MWCNTs modifikovane nanočesticama oksida gvožđa | - | 77,5 | 5 | As(III) |
| Funkcionalizovane oksidacijom MWCNTs | 0,003 | 97,5 | 4-8 | As(III)/100 |
| Funkcionalizovane oksidacijom MWCNTs | 0,009 | 99,9 | 4-8 | As(V)/100 |
| MWCNTs hibrid sa oksidima gvožđa | 1,723 | 97,5 | 4-8 | As(III)/100 |
| MWCNTs hibrid sa oksidima gvožđa | 0,189 | 99,9 | 4-8 | As(V)/100 |
| MWCNTs-ZrO ₂ nanohibrid | 2 | 94 | 5-8 | As(III)/0,1 |
| MWCNTs-ZrO ₂ nanohibrid | 5 | 99,9 | 5-8 | As(V)/0,1 |
| MWCNTs/MnO ₂ | - | 90 | 4-9 | As(III)/20 |
| MWCNTs/MnO ₂ | - | 95 | 4-9 | As(V)/20 |
| Fe ₃ O ₄ -MWCNTs nano-kompozit | 39,08 | - | - | As(III)/200-400 |
| Fe ₃ O ₄ -MWCNTs nanokompozit | 53,15 | - | - | As(V)/200-400 |
| CNTs-gvožđe hidrat kompozit | 44,1 | 55 | 2-10 | As(V)/50 |
| CNTs dobijene hemijskom depozicijom na Fe-Ni katalizatoru | 19,68 | 73-40 | 7 | As(V)/0,5-10 |
| MWCNTs (prečnik:10-20 nm, dužina 5-15 μm, čistoća > 95%) | 13,5 | - | 2-11,7 | Roxarson (organski arsen)/10 |
| e-MWCNTs | 16,59 | 91 | 3-10 | As(V)/0,005-10 |
| PEG-MWCNTs | 5,52 | 76 | 4-10 | As(V)/0,01-10 |

MWCNTs multi walled carbon nanotubes

U novije vreme, grafen zaokuplja pažnju mnogih istraživača za uklanjanje teških metala, prvenstveno zbog njegove visoko razvijene površine, čvrstoće, male težine, fleksibilnosti i hemijske stabilnost. GO karakterišu dve glavne

prednosti u odnosu na druge nanomaterijale, pre svega na CNTs. Prvo, jedan sloj GO ima dvodimenzionalne bazalne ravni dostupne za maksimalnu adsorpciju teških metala. Drugo, poseduje jednostavan proces sinteze, koji se može izvršiti hemijskim pilingom grafita bez metalnog katalizatora i komplikovanog instrumenta. Štaviše, GO-u nije potreban nikakav dodatan kiselinski tretman za povećanje kapaciteta adsorpcije, jer već sadrži hidrofilnu funkcionalnu grupu. Razni istraživači su koristili grafenskih zasnovan nanomaterijal za adsorpciju teških metala iz otpadnih voda. Li i Jang su modifikovali GO sa TiO₂ i koristili hibridne kompozite za adsorpciju Pb²⁺, Cd²⁺ i Zn²⁺ jona iz vode [4]. Kapacitet adsorpcije hibridnog kompozita dostiže i do 65,6 mg/g, 72,8 mg/g i 88,9 mg/g za Pb²⁺, Cd²⁺ i Zn²⁺, respektivno. Njegova loša strana je problematična uspešna redukcija GO do prvobitno čistog grafenskog materijala, i ona uvek predstavlja veliki izazov, jer može smanjiti njegove mehaničke i elektronske osobine [4].

2.4. Faktori koji utiču na proces adsorpcije nano-adsorbensima

Adsorpcija teških metala iz otpadnih voda nano-adsorbensima zavisi od više faktora: temperature, pH-vrednosti rastvora, doze adsorbensa i inkubacije /vremena kontakta. Karakteristike nano-adsorbensa utiču na adsorpciju teških metala, a bitne su sledeće: površinski naboј, hidrofobnost i dodavanje novih funkcionalnih grupa. Efikasnost različitih nano-adsorbensasa za uklanjanje teških metala je objavljena u različitim naučnim radovima, što je prikazano u tabeli 2.

3. NANO - KATALIZATORI

Nano-katalizatori, naročito oni od neorganskih materijala kao što su poluprovodnici i oksidi metala, zaokupljaju sve značajniju pažnju istraživača u tretmanu otpadnih voda. Za te svrhe koriste se različite vrste nano-katalizatora kao što su fotokatalizatori, elektrokatalizatori i katalizatori na bazi fentona za poboljšanje hemijske oksidacije organskih zagadivača i antimikrobne aktivnosti [7].

Fotokataliza je obećavajuća tehnika za precišćavanje i dezinfekciju raznih vrsta otpadnih voda. Pored toga, ona ima efikasnu sposobnost da dezaktivira patogene organizme, kao što su bakterije u otpadnim vodama. Već je napomenuto da se TiO₂ intenzivno koristi kao fotokatalizator koji poseduje značajnu antimikrobnu sposobnost. Upotreba praškastog TiO₂ ima neke nedostatke, na primer: post-separacija imobilisanih nano-čestica je vrlo teška. Za efikasnije antimikrobne aktivnosti nanočestice treba da budu imobilizirane i sposobne da povećaju površinu. Radi rešavanja ovog problema, urađena su različita ispitivanja i studije u cilju povećanja efikasnosti katalizatora, modifikacijom sa drugim materijalima.

Tabela 2. Efikasnost različitih nanoadsorbenasa za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda [6]

| Nanoadsorbensi | Teški metali | Eksperimentalni uslovi | | | Efikasnost uklanjanja (%) |
|--|------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| | | pH | Vreme kontakta (min) | Doza adsorbensa (g/dm ³) | |
| Magnetne višeslojne ugljenične nanocevi | Cr(VI) | 3 | 600 | 0.1 | 100 |
| Magnetni zeolite-polimer kompoziti | V | 4-5 | 1440 | 0.15 | 73 |
| ZIF-8 nanočestice | As | 7 | 240-420 | 0.20, 0.05 | 60.03 |
| ZnS nanokristali | Hg(II) | 1-6 | 5 | 10 | 99.99 |
| Modifikovani magnetit | Cu ²⁺ | 6.5 | 15 | 0.19 | 99 |
| Nanokompozit | Ni(II) | NR * | 20 | 5 | 77.04 |
| Grafenski nanolistovi (GNS)/δ-MnO ₂ | As(III) | 9.5 | NR * | 0.2 | >98 |
| Nanokristalni titanium dioksid | As(III) | 7 | 10 | 1 | 99.9 |
| NZVI | As(III) | 2.5 | 15 | 0.5 | 95.6 |
| Zeolit obložen magnetnim nanočesticama | Pb ²⁺ | 6-7.5 | 90 | 6 | >80 |
| Zeolitni materijali dobiveni iz pepela | Pb ²⁺ | 6 | 10 | 20 | 80 |
| Magnetni nano-adsorbens PMDA/TMSPEDA | Pb(II) | 7 | 1440 | 0.01 | 79.60 |
| | Cu(II) | | | | 72.36 |
| | Zn(II) | | | | 66.80 |
| Magnetni nano-adsorbens | Zn(II) | 5.5 | 90 | 2.5 | 95 |

NR * - nije prijavljeno

Da bi se postigao cilj, nano-materijal/poluprovodnik zahteva izvesnu modifikaciju kako bi se smanjila energija uskih (trakastih) praznina od UV do vidljivog spektra svetlosti. ZnO i TiO₂ nano-materijali imaju širinu uskih praznina od 3,2 eV, a njihove fotokatalitičke aktivnosti detaljno su istraživane. Međutim, u oblasti sunčevog spektra oba katalizatora mogu da apsorbuju samo jedan mali deo UV svetlosti, koji smanjuje njihovu efikasnost [8]. Modifikacija katalizatora dopovanjem metala na njegovoj površini može da reši ovaj problem. Modifikovani kompozitni materijal smanjuje energiju uskih prolaza i potom prenosi izbačeni elektron do poluprovodnika pod dejstvom sunčeve svetlosti. Osim toga, nisu svi provodni metali efikasni za dopovanje radi poboljšanja fotokatalitičkih aktivnosti, na primer Pt i Ru su neefikasni, dok ostali

metali, kao što su Au, Ag i Pd, pokazuju odlične katalitičke aktivnosti. Tokom poslednjih godina razvijeni su razni dopirani nano-katalizatori, kao što su: ZnO/Co, Ni, ZnS/Mn, ZnS/Cu, CdS/Eu, CdS/Mn, ZnSe/Mn, ZnS/Pb, i Cu [9]. Takođe, kompoziti grafena sa drugim poluprovodničkim materijalima mogu znatno da unaprede mobilnost elektrona kroz proces interfajalnog prenosa elektrona tokom fotokatalize.

3.1. Nanomaterijali kao elektrokatalizatori

Proces elektrokatalize u mikrobiološkim gorivim ćelijama je u nastajanju i tema je istraživanja procesa prečišćavanja otpadnih voda i direktnog generisanja električne energije. U mikrobiološkim gorivim ćelijama, elektrokatalizator ima ograničavajuću ulogu u radu gorive ćelije [10]. Upotreba nanomaterijala kao elektrokatalizatora može poboljšati performanse gorive ćelije u cilju postizanja veće površine i uniformne raspodele katalizatora u reakcionom medijumu. Prijavljeni su Pt nanokatalizatori dopovani crnim ugljenikom XC72, koji pokazuju gustinu struje do $6,2 \text{ mA/cm}^2$ u elektrokatalitičkoj reakciji oksidacije glukoze, kao i visok poptencijal za reakciju oksidacije etanola u gorivim ćelijama [10]. Nedostaci platine ograničavaju primenu u elektrokatalizi s obzirom na njenu ograničenu dostupnost i visoke troškove dobijanja. Takođe, tokom elektrokatalize Pt može ograničiti reakciju zbog trovanja intermedijarnim jedinjenjima [11]. Međutim, ovi problemi se mogu prevazići zamenom Pt sa dostupnijim Pd nanočesticama.

3.2. Nanomaterijal na bazi Fenton katalizatora

Oksidacija organskih zagađivača pomoću Fenton reakcije je široko primenjena u tretmanu otpadnih voda [12]. Glavni nedostatak Fenton reakcije je stalni gubitak materijala katalizatora sa efluentom i neophodnost kisele sredine od pH=3 za optimalni rad [13]. Upotrebom nanomaterijala, baziranih na Fenton-ovom reagensu, prevazilaze se ovi problemi. Nano-feriti sa kontrolisanom veličinom kristalnog zrna, distribucijom i hemijskom strukturom, mogu se dobiti sol-gel metodom i metodom automatskog sagorevanja. Spinel feriti koji sadrže Ni, Zn, Co i Cu imaju poseban značaj kao katalizatori zbog karakterističnih magnetnih i elektronskih svojstava. Prisustvo kristalne rešetke ovih metala modifikuje stabilnost i redoks osobine ferita, što dodatno povećava efikasnost katalize. Rečeno je da se heterogeni MFe_2O_4 intenzivno koristi kao katalizator zbog visoke hemijske i termičke stabilnosti [13]. Magnetno razdvojive nano-čestice oksida gvožđa mogu da se koriste kao Fenton katalizatori za uklanjanje nekoliko vrsta zagađivača. Magnetno odvojeni materijali, koji sadrže fazu gvožđe oksida, kao što su ugljeničnih materijali,

feriti sa Ba, Co i Mn, i maghemiti, imaju visoku sposobnost separacije iz voda u magnetnom polju [14].

S obzirom da sve nano-metalne čestice nemaju istu sposobnost tretiranja svih vrsta zagadivača u vodama, postoji potreba za sintezom nano-čestica niza legura, uglavnom različitog sastava, tako da se tretman zagadivača može efikasno vršiti. Ma i saradnici [15] su Pt legirali sa Ni kao elementom promotorom i uspešno formirali Pt/Ni nano-čestice veličine 2,9 - 4 nm. Neki istraživači su modifikovali Pd nano-katalizator sa Fe_3O_4 (Pd/ Fe_3O_4), koji je posedovao sposobnost da magnetski ponovo ekstrahuje Pd na magnetit katalizatoru i visoku aktivnost za prečišćavanje halogenih organskih zagadivača. Sintetizovani Pd nano-katalizator (Pd/ Fe_3O_4) je pokazao visoku hidro-dehlorinaciju i jednostavnu reparaciju nano-katalizatora magnetnim izdvajanjem iz otpadnih voda Hildebrand i saradnici navode da Pd može da obezbedi selektivno uklanjanje zagadivača, kao što su hloro ugljovodonici iz otpadnih voda sa komercijalnom svrhom [16].

4. NANOMEMEBRANE

Primena nanotehnologije u membranskim procesima je najsavremeniji postupak za tretman vode za piće i omogućava nove funkcionalnosti, kao što su katalitička reaktivnost, visoka propustljivost i visok nivo otpora zaprljanja. Glavni razlozi za upotrebu ove tehnologije su njene prednosti u pogledu kvaliteta tretirane vode, efikasna dezinfekcija i mali prostor za postrojenje, što je čini vrlo ekonomičnom s obzirom na jednostavni dizajn u odnosu na druge tehnike tretmana otpadnih voda. Naročito je efikasna u uklanjanju boja, teških metala i drugih zagadivača. Pored separacije, čestica iz otpadnih voda, nano-materijali, koji se koriste za membrane, takođe igraju značajnu ulogu u hemijskoj razlaganji separisanih organskih polutanata.

Membrane proizvedene od ugljeničnih nano-vlakana (CNFs) pokazale su izuzetno visok stepen selektivnosti filtracije/uklanjanja pod visokim pritiskom. Materijali na bazi zeolita koji se najčešće koriste u izradi membrana uključuju sodalit, MFI-tip i Linde tip A. Najčešće korišćeni zeolit za nano-membrane je zeolit ZSM-5 sledećeg hemijskog sastava $\text{Na}_n\text{Al}_n\text{Si}_{96-n}\text{O}_{192} \approx 16\text{H}_2\text{O}$ ($n \approx 3$). Potencijal zarobljavanja nanočestica i drugih malih molekula može biti znatno poboljšan interkonekcijom nanočestica i negativno nanelektrisanim tela na makroskopskim, nalik disku titanat-nanotrakastim membranama [17].

Zaprljanost je uzrok smanjenju fluksa filtracionih membrana, pa je iz tih razloga neophodno očistiti membrane hemijski ili mehanički, ili u slučaju znatne redukcije fluksa potrebna je kompletna zamena membrane. U istraživanjima, glavni fokus je usmeren na modifikaciju membrana premazivanjem hidrofilnim slojem polimera, kao što je polivinil alkohol i citozan, ali su glavni nedostaci ovih metoda njihova visoka cena, složenost i proizvodnja zagadivača [18]. Istraživanja o načinu izrade mešovitih matrica membrana (MMMs) sa ugljeničnim

nanocevima (CNTs), kao kompozitnih membranskih filtera (CNT-MMMs), pokazala su značajne mogućnosti za postizanje visokog fluksa [19].

Membrane od ugljeničnih nanocevi

Ugljenične nanocevi dobijaju veći značaj kao nanomaterijali za sinteze polimernih kompozitnih membrana sa izuzetno dobrim performansama. Ove kompozitne materijale odlikuju male masene gustine, izuzetno visoki moduli zatezne čvrstoće, visoka fleksibilnost, što sve poboljšava njihov učinak. Na osnovu njihove sinteze i strukture, mogu biti jednoslojne ugljeničnim nanocevima (*single walled carbon nanotube*, SWCNTs) ili višeslojnim ugljeničnim nanocevima (*multi walled carbon nanotubes*, MWCNTs). Kompozitne membrane sintetisane su sol-gel postupkom sa citozan/silicijumski obloženim ugljeničnim nanocevima (CS/SCNTs) [20].

Membrane od elektrospan nanovlakana

Elektrospan nanovlaknaste membrane (*electrospun nanofiber membranes*, ENMs) su se nedavno pojavile kao membranski materijali za preradu otpadnih voda [21]. Glavne karakteristike ove nove tehnike su: manja potrošnja energije, veća poroznost i odnos površina/zapremina, jeftiniji i lakše izvodljiv proces u poređenju sa postojećim konvencionalnim tehnikama. Tehnike elektro-predenja imaju prednosti u odnosu na konvencionalna nano-vlakna dobijena predenjem, jer su u stanju da proizvedu vlakna različitog raspona debljine. Prečnik vlakna uređuje odnos površinske zapremine i utiče na poroznost membrane. U elektrospining procesu, prečnik vlakna se može podesiti menjanjem parametara procesa, kao što su koncentracija rastvora, primjenjenog napona, površinske napetosti i spinning distance [22]. Više od 100 raznih vrsta prirodnih i sintetičkih polimera je korišćeno za sintezu ovih nanovlakana, kao što su: polistiren (PS), polivinil-hlorid (PVC), poliviniliden fluorid (PVDF), polibenzimidazol (PBI), poli(vinil fenol) (PVP), kevlar (poli p-fenilen tereftalamid, PPTA), polikarbonat, poli(e-kapro-lakton, PCL), polisulfone, poli(etilentereftalate, PET) i mnoge druge [23]. Nanofiber membrane se široko primenjuju u tretmanu otpadnih voda koje sadrže teške metale, čestice mikroba i u desalinaciji, zbog nižeg radnog pritiska, boljeg fluksa i niskih energetskih zahteva [24].

Hibridne nanomembrane

Hibridne membrane su razvijene radi uvođenja dodatnih funkcionalnosti kao što su adsorpcija, fotokataliza i antibakterijska aktivnost. Ovo se može postići jednostavnim podešavanjem hidrofilnosti membrana, njihove poroznosti, veličine pora, mehaničke stabilnosti i gustine nalektrisanja. Yurekli je u kombinaciji sa filtracionim i adsorpcionim procesima pomoću polisulfonske (PSF) membrane, impregnirane nano-česticama zeolita uspeo da ukloni oovo i nikal iz otpadnih voda [25].

5. KOMBINACIJA BIOLOŠKO-NANOTEHNOLOŠKIH PROCESA

Nauka o nanomaterijalima i novom inženjeringu predlaže rešavanje mnogih problema, koji se odnose na kvalitet vode primenom: nanokatalizatora, nanoabsorbenasa, nanocevi, nanostruktturnih katalitičkih membrana, nanoprahova i mikromolekula. Kultivacija algi u otpadnim vodama je jedna od perspektivnih tehnika u smislu proizvodnje energije i prečišćavanja otpadnih voda. Mnoge vrste algi efikasno rastu u otpadnim vodama zbog dostupnosti mikronutrijenata (metala i vitamina kao što su cijanokobalamin i tiamin) i makronutrijenta (soli NO_3 , PO_4^{3-} sa Ca, Na, K i NH^{4+}), koji su od suštinskog značaja za njihov rast [26]. Rastvori ovih supsatanci i hranljivih materija (zajedno sa svetlošću i ugljen dioksidom) obezbeđuju materijale potrebne za rast algi. Rezultat je uklanjanje nutrijenata iz otpadnih voda i biomase od algi za proizvodnju energije. Za sakupljanje biomase od algi, postoje različite tehnike kao što su: taloženje, gasna flotacija i centrifugiranje uz podršku hemijske flokulacije, međutim ove tehnike su teško primenljive u velikim razmerama zbog visokih troškova. Među savremenim tehnologijama, najpovoljniji pristup za uzgoj algi i sakupljanje biomase je membranska tehnologija, koja daje mogućnost za kultivaciju visoke gustine algi sa jednostavnom primenom membranskih bioreaktora [27].

Prednosti primene ove membranske tehnologije su u tome da se bez dodatka hemikalija kao što su koagulanati koji se koriste za membransku filtraciju, olakša ponovna upotreba vode nakon filtracije i pojednostavljenje separacije biomase algi. Štaviše, bolja rekultivacija biomase algi može se postići bez oštećenja ćelija i uz nizak utrošak energije potrebne za odvajanje algi u odnosu na konvencionalne metode [27].

Membrane od polisulfona (PSF), poliviniliden fluorida (PVDF) i polietersulfona (PES) uglavnom su u upotrebi zbog njihove hemijske i fizičke stabilnosti, međutim jedini problem ovde je onečišćenje membrana zbog hidrofobnog mehanizma između materijala membrane i ćelija mikroorganizama. Za povećanje hidrofilnosti i smanjenje onečišćenja membrane koriste se mnoge tehnike među kojima se pominje i tretman plazmom, površinske prevlake i inkorporacija nanomaterijala [28].

5.1. Prethodna obrada aerobnim razlaganjem sa nanočesticama

Tradicionalni postupak za tretman komunalnih otpadnih voda bazira se na biološkim procesima (procesi aktiviranog mulja). Međutim, industrijske otpadne vode predstavljaju veći izazov, zbog prisustva toksičnih i manje biorazgradivih zagađujućih materija. Jedna od novijih tehnologija u razvoju uključuje nanočestice nulivalentnog gvožđa (*zero valent iron*, ZVI). Ove nanočestice mogu da degradiraju organske zagađivače i korišćene su za sanaciju hlorovanih organskih

jedinjenja iz podzemnih voda [29]. Integracija bioloških procesa (aerobnom degradacijom) sa ZVI nano-česticama obećava efikasnu biodegradaciju organskih zagađivača iz otpadnih voda u velikim razmerama. Ovom kombinacijom polovina zagađivača se degradira nano-česticama, koje se dalje lako biorazgrađuju pod aerobnim uslovima [29]. Osnovu ove tehnologije čini prethodni tretman u ZVI reaktoru, nakon čega sledi čitava serija bioreaktora. Influentne vode u reaktoru čine velike količine hemijski otpornih organskih jedinjenja, kao što su: halogenovani ugljovodonici, naftni ugljovodonici, nitroaromatična jedinjenja, teški metali i boje. Na osnovu istraživanja, zaključeno je da procesi ZVI pretretmana, kome zatim sledi biološki tretman, predstavljaju obećavajući potencijal za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda.

6. ZAKLJUČAK

Svaka od navedenih nanotehnologija ima svoje prednosti u efikasnosti uklanjanja specifičnih zagađivača. Nano-adsorbensi poseduju efikasan potencijal uklanjanja teških metala iz otpadnih voda. Nano-čestice fotokatalizatora se mogu koristiti za uklanjanje kako toksičnih zagađivača, tako i teških metala, gde modifikacija materijala katalizatora omogućava iskorišćenje vidljivog spektra sunčeve svetlosti umesto visokih troškova primene ultraljubičastog zračenja. U elektrokatalitičkom tretmanu otpadnih voda primenom nanočestica može se postići veća površina i uniformna raspodela katalizatora u reakcionom medijumu. U filtraciji otpadnih voda, nano-membrane su dokazano visoko efikasne za uklanjanje teških metala i boja. Međutim, nanotehnologija ima neke ozbiljne nedostatke na kojima treba raditi, jer nano-čestice mogu uvođenjem u životnu sredinu, tokom procesa pripreme i tretmana gde mogu da se akumuliraju na duže vreme, izazvati ozbiljne rizike. Procena životnog ciklusa nano-materijala je takođe od izuzetne važnosti, jer daje odgovore na ukupnu dobit i rizike njihove primene. S obzirom da do sada većina nanomaterijala nije ekonomski konkurentna u poređenju sa konvencionalnim materijalima, kao što je na primer aktivni ugalj, nameće se potreba istraživanja dovoljno efikasnih materijala za buduće aplikacije u kojima bi bile potrebne samo male količine nanomaterijala. Potreban je dalji rad na razvoju isplativih postupaka za sintezu nanomaterijala i testiranje njihove efikasnosti na širokoj skali njihove potencijalno uspešne primene u različitim tehnologijama.

ZAHVALNOST

Autori su zahvalni na finansijskoj podršci Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za projekat br. TR34004.

LITERATURA

- [1] V.K. Gupta, I. Tyagi, H. Sadegh, R. Shahryari-Ghoshekand, A.S.H. Makhlof, B. Maazinejad, Nanoparticles as Adsorbent: a Positive Approach for Removal of Noxious Metal Ions: A Review, *Sci. Technol. Dev.* 34 (2015) 195–214.
- [2] T.E. Cloete, Nanotechnology in Water Treatment Applications. Horizon Scientific Press, New York, USA, (2010) p. 196.
- [3] H.Q. Wang, G.F. Yang, Q.Y. Li, X.X. Zhong, F.P. Wang, Z.S. Li, Y.H. Li, Porous nano-MnO₂ Large Scale Synthesis via a Facile Quick-Redox Procedure and Application in a Supercapacitor, *New J. Chem.* 35 (2011) 469–475.
- [4] V. Krstić, T. Urošević, B. Pešovski, A Review on Adsorbents for Treatment of Water and Wastewater Containing Copper Ions, *Chem. Eng. Sci.* 192 (2018) 273–287.
- [5] Z. Veličković, Modifikacija i primena višeslojnih ugljeničnih nanocevi za izdvajanje arsena iz vode, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, TMF, (2013) p.70.
- [6] M. Anjum, R. Miidad, M. Waqas, M.A. Barakat, F. Gehany, Remediation of Wastewater Using Various Nanomaterials, *Arab. J. Chem.* (2016)
- [7] A.K. Dutta, S.K. Maji, B. Adhikary, C-Fe Nanoparticles: An Easily Reversible Effective Photocatalysts for the Degradation of Rosebengal and Methylenblue Dyes in the Wastewater Treatment Plant, *Mater. Res. Bull.* 49 (2014) 28–34.
- [8] M. Anjum, M. Oves, R Kumar, M.A. Barakat, Fabrication of ZnO-ZnS Polyaniline Nanohybrid for Enhanced Photocatalytic Degradation of 2-chlorophenol and Microbial Contaminants in Wastewater, *Int. Biodegrad. Biodegrad.* (2016)
- [9] R.K. Chandrakar, R.N. Baghel, V.K. Chandra, B.P. Chandra, Synthesis, Characterization and Photoluminescence Studies of Mn Doped ZnS Nanoparticles, *Superlattices Microstruct.* 86 (2015) 256–269.
- [10] C.C. Chen, C.L. Lin, L.C. Chen, Functionalized carbon nanomaterial supported palladium nano-catalysts for electrocatalytic glucose oxidation reaction, *Electrochim. Acta* 152 (2015) 408–416.
- [11] W. Zhou, Z. Zhou, S. Song, W. Li, G. Sun, P. Tsakaras, Q. Xin, Pt Based Anode Catalysts for Direct Ethanol Fuel Cells, *Appl. Catal. B: Environ.* 46 (2003) 273–285.
- [12] E. Neyens, J. Baeyens, A review of Classic Fenton's peroxidation as an Advanced Oxidation Technique, *J. Hazard. Mater.* 98(1) (2003) 33–50.

-
- [13] M. Kurian, D.S. Nair, Heterogeneous Fenton Behavior of Nano Nickel Zinc Ferrite Catalysts in the Degradation of 4-chlorophenol from Water Under Neutral Conditions, *J. Water Process Eng.* 8 (2015) 37–49.
 - [14] T. Shahwan, S.A. Sirriah, M. Nairat, E. Boyaci, A.E. Eroglu, T.B. Scott, K.R. Hallam, Green Synthesis of Iron Nanoparticles and Their Application as a Fenton-like Catalyst for the Degradation of Aqueous Cationic and Anionic dyes, *Chem. Eng. J.* 172 (2011) 258–266.
 - [15] H. Ma, H. Wang, C. Na, Microwave-assisted Optimization of Platinum-nickel Nanoalloys for Catalytic Water Treatment, *Appl. Catal. B: Environ.* 163 (2015) 198–204.
 - [16] H. Hildebrand, K. Mackenzie, F.D. Kopinke, Pd/Fe₃O₄ Nano-catalysts for Selective Dehalogenation in Wastewater Treatment Processes-influence of Water Constituents, *Appl. Catal. B91* (2009) 389–396.
 - [17] T. Liu, B. Li, Y. Hao, Z. Yao, MoO₃-nanowire Membrane and Bi₂Mo₃O₁₂/MoO₃ Nano-heterostructural Photocatalyst for Wastewater Treatment, *Chem. Eng. J.* 244 (2014) 382–390.
 - [18] G. Jie, Z. Kongyin, Z. Xinxin, C. Zhijiang, C. Min, C. Tian, W. Junfu, Preparation and Characterization of Carboxyl Multi-walled Carbon Nanotubes/Calcium Alginate Composite Hydro-gel Nano-filtration Membrane, *Mater. Lett.* 157 (2015) 112–115.
 - [19] Z. Rajabi, A.R. Moghadassi, S.M. Hosseini, M. Mohammadi, Preparation and Characterization of Polyvinylchloride Based Mixed Matrix Membrane Flled with Multi Walled Carbon Nanotubes for Carbon Dioxide Separation, *J. Indus. Eng. Chem.* 19(1) (2013) 347–352.
 - [20] H. Liu, C. Gong, J. Wang, X. Liu, H. Liu, F. Cheng, G. Wang, G. Zheng, C. Qin, S. Wen, Chitosan/Silica Coated Carbon Nanotubes Composite Proton Exchange Membranes for Fuel Cell Applications, *Carbohyd. Polym.* 136 (2016) 1379–1385.
 - [21] X. Qu, P.J. Alvarez, Q. Li, Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment, *Water Res.* 47(12) (2013) 3931–3946.
 - [22] S. Tabe, Electrosyn Nanofiber Membranes and Their Applications in Water and Wastewater Treatment. In: *Nanotechnology for Water Treatment and Purificatio*, Springer International Publishing, (2014) 111–143.
 - [23] M.K. Souhaimi, T. Matsuura, *Membrane Distillation: Principles and Applications*. Elsevier, Great Britain (2011)
 - [24] S.A.N. Nasreen, S. Sundarajan, S.A.S. Nizar, R. Balamurugan, S. Ramakrishna, Advancement in Electrosyn Nanofibrous Membranes Modification and Their Application in Water Treatment, *Membranes* 3(4) (2013) 266–284.

- [25] Y. Yurekli, Removal of Heavy Metals in Wastewater by Using Zeolite Nano-particles Impregnated Polysulfone Membranes, *J. Hazard. Mater.* 309 (2016) 53–64.
- [26] R.A.I. Abou-Shanab, M.K. Ji, H.C. Kim, K.J. Paeng, B.H. Jeon, Micro-algal Species Growing on Piggery Wastewater as a Valuable Candidate for Nutrient Removal and Biodiesel Production, *J. Environ. Manage.* 115 (2013) 257–264.
- [27] W. Hu, J. Yin, B. Deng, Z. Hu, Application of Nano TiO₂ Modified Hollow Fiber Membranes in Algal Membrane Bioreactors for High-Density Algae Cultivation and Wastewater Polishing, *Bioresour. Technol.* 193 (2015) 135–141.
- [28] J. Yin, G. Zhu, B. Deng, Multi-walled Carbon Nanotubes (MWNTs) / Polysulfone (PSU) Mixed Matrix Hollow Fiber Membranes for Enhanced Water Treatment, *J. Membr. Sci.* 437 (2013) 237–248.
- [29] Metcalf, EddyInc.,Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. McGraw-Hill, Boston, MA. (2003)

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 66.06 (497.11)(045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Hemija i Zaštita životne sredine

ACIDITET I ALKALITET VODE BORSKE REKE I TIMOKA

ACIDITY AND ALKALINITY OF WATER OF THE BOR RIVER AND TIMOK RIVER

Stefan Đordjevski, Suzana Stanković

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor,
e-mail: stefan.djordjevski@irmbor.co.rs

Izvod

Aciditet je mera kapaciteta uzorka vode da neutrališe bazu, a alkalitet je mera kapaciteta uzorka vode da neutrališe kiselinu. Cilj ovog rada je da se proceni kapacitet vode reke Timok, da neutrališe kisele rudničke i metalurške otpadne vode, koje se ispuštaju u Borsku i Kriveljsku reku iz rudarskih i metalurških postrojenja u Boru. Aciditet Borske reke (842 mg/l CaCO_3) bio je 12 puta veći od aciditeta Kriveljske reke (70 mg/l CaCO_3) zbog ispuštanja metalurških otpadnih voda u Borsku reku. Na osnovu rezultata ispitivanja, alkalitet i količina vode reke Timok (229 mg/l CaCO_3 i $7.86 \text{ m}^3/\text{s}$, respektivno) bili su dovoljni da neutrališu kisele rudničke i metalurške otpadne vode, koje su bile ispuštene iz rudarskih i metalurških postrojenja u Boru.

Ključne reči: aciditet, alkalitet, neutralizacija, Borska reka, Timok

Abstract

Acidity is a measure of capacity of water sample to neutralize base, and alkalinity is a measure of capacity of water sample to neutralize acid. The aim of this paper is to estimate the capacity of water of the Timok River to neutralize the acid mine drainage and metallurgical wastewater released into the Bor River and Krivelj River from the mining and metallurgical facilities in Bor. Acidity of the Bor River (842 mg/l CaCO_3) was 12 times higher than the acidity of the Krivelj River (70 mg/l CaCO_3) due to release the metallurgical wastewater into the Bor River. According to the results, alkalinity and quantity of water of the Timok River (229 mg/l CaCO_3 and $7.86 \text{ m}^3/\text{s}$, respectively) were sufficient to neutralize the acid mine drainage and metallurgical wastewater that were released into the Bor River and Krivelj River from the mining and metallurgical facilities in Bor.

Keywords: acidity, alkalinity, neutralization, Bor River, Timok River

1. UVOD

Od brojnih pokazatelja zagađenosti rečnih voda, pH vrednost je parametar čija se promena lako prati pomoću relativno jeftinih uređaja, a čije odstupanje od dozvoljene vrednosti ukazuje na značajne probleme sa kvalitetom rečne vode. Parametri pomoću kojih se na još bolji i jednako jednostavan i jeftin način može opisati sadržaj kiseline ili baze u vodi jesu aciditet i alkalitet. Aciditet je

mera kapaciteta uzorka vode da neutrališe bazu, i obrnuto; alkalitet je mera kapaciteta uzorka vode da neutrališe kiselinu. Drugim rečima, aciditet i alkalitet pretstavljaju meru puferskog kapaciteta vode.

Rudnici bakra imaju veliki potencijal za stvaranje kiselih rudničkih voda zbog prisustva minerala pirita (FeS_2) koji uvek prati bakarna orudnjenja. Površinskom eksploatacijom rude bakra nastaju prostrani površinski kopovi i deponije raskrivke, koje su sastavljene od stena sa niskim sadržajem minerala bakra, ali sa značajnom količinom pirita i drugih minerala jalovine [1, 2]. Pirit u deponijama raskrivke i flotacijskim jalovištima je izložen atmosferskim uticajima, i pod dejstvom vode i kiseonika dolazi do njegove oksidacije i oslobođanja sumporne kiseline i rastvorenih jona gvožđa. Tako nastale kisele rudničke vode dospevaju u reke i pogoršavaju parametre kvaliteta rečne vode [3]. Pored kiselih rudničkih voda iz rudnika i jalovišta, veliki uticaj na životnu sredinu imaju otpadne vode iz postrojenja za preradu bakarne rude i dobijanje metalnog bakra, ukoliko se takve vode ne neutrališu i bezbedno ne ispuštaju u rečne tokove.

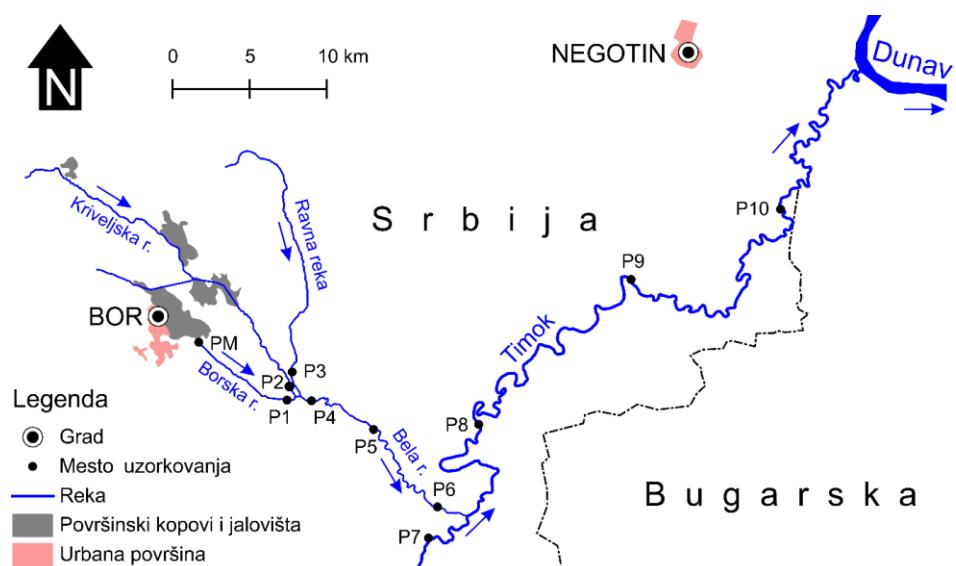
Rudarstvo i metalurgija doprineli su značajnom zagadenju vazduha, voda i zemljišta u istočnoj Srbiji [4-8]. Do sada je objavljeno nekoliko radova o zagađenosti rečnih voda nizvodno od borskog rudnika bakra i metaluških postrojenja [8-15]. U ovim radovima detaljno su opisane lokacije izvora zagađenja (eflenti), količina otpadne vode koja se ispušta, kao i pH vrednost i koncentracije pojedinih metala u rečnim vodama i efluentima. Koncentracija bakra u Borskoj reci dostiže vrednost od 30 mg/l, a pH vrednost se kreće u opsegu od 3 do 5. Efluent koji najviše utiče na povećanje koncentracije metala i smanjenje pH vrednosti u Borskoj reci su metalurške otpadne vode iz RTB-a Bor, koje se ispuštaju u Borsku reku bez neutralizacije. U metalurškim otpadnim vodama, koncentracija bakra dostiže vrednost od 500 mg/l, a pH vrednost se kreće u opsegu od 2 do 3 [8]. U dosadašnjim studijama o zagađenosti Borske reke malo pažnje je posvećeno neutralizacionim reakcijama između prirodnih rečnih voda i rečnih voda koje sa sobom nose kisele otpadne rastvore. U ovom radu prikazani su rezultati određivanja aciditeta vode Borske reke i alkaliteta vode reke Timok, kao i diskusija o reakciji neutralizacije između ovih rečnih voda. Cilj rada je da se proceni kapacitet reke Timok da neutrališe zakišljenu vodu Borske reke.

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Oblast istraživanja i uzorkovanje

Mapa rečnog sistema koji je u fokusu ovog istraživanja i lokacije tačaka uzorkovanja prikazani su na slici 1. Borska reka i Kriveljska reka su glavni prijemnici otpadnih voda iz borskog rudnika i metalurških postrojenja. U Borsku reku se ulivaju metalurške otpadne vode iz RTB-a Bor, kisele rudničke vode sa starog flotacijskog jalovišta Bor, flotacijskog jalovišta RTH, deponije raskrivke

Oštreljski planir i iz jezera Robule, kao i komunalne otpadne vode grada Bora. U Kriveljsku reku se ulivaju kisele rudničke vode, koje nastaju na deponijama raskrivke oko površinskih kopova Veliki Krivelj i Cerovo i na flotacijskom jalovištu Veliki Krivelj. U Kriveljsku reku se dodatno ulivaju kisele rudničke vode iz podzemnog rudnika Jama u Boru (koje su preusmerene iz sliva Borske reke u sлив Kriveljske reke kroz tunel), i voda koja se sakuplja na dnu površinskog kopa Veliki Krivelj. Spajanjem Borske reke i Kriveljske reke nizvodno od sela Slatina nastaje Bela reka, koja se dalje uliva u Timok kod sela Vražogrnc (slika 1), a Timok se uliva u Dunav.



Sl. 1. Mapa rečnog sistema i mesta uzorkovanja

Na nekim kartama, Bela reka je označena kao Borska reka. Prema ovom pristupu, reka koja teče od Bora do ušća u Timok kod Vražognca naziva se Borska reka, a Kriveljska reka i Ravna reka su njene pritoke. Ipak, na topografskoj karti koju je izdao vojnogeografski institut 1971. godine, reka koja teče od spajanja Borske reke i Kriveljske reke do ušća u Timok označena je kao Bela reka, pa će taj naziv biti korišćen i u ovom radu.

Uzorkovanje rečne vode izvršeno je 01.09.2016. (P1-P7 i PM) i 03.09.2016. (P8-P10) na 10 lokacija:

- P1 – Borska reka pre spajanja sa Kriveljskom rekom;
- P2 – Kriveljska reka pre spajanja sa Borskou rekom;
- P3 – Ravna reka pre spajanja sa Belom rekom;

- P4 – Bela reka pre Rgotskog kamena;
- P5 – Bela reka u selu Rgotina;
- P6 – Bela reka u selu Vražogranc;
- P7 – reka Timok pre spajanja sa Belom rekom;
- P8 – reka Timok kod sela Čokonjar (nakon spajanja sa Belom rekom);
- P9 – reka Timok kod sela Brusnik;
- P10 – reka Timok kod sela Veljkovo;
- PM – metalurške otpadne vode.

Izmeren je protok rečne vode radi proračuna fluksa aciditeta i alkaliteta (fluks aciditeta/alkaliteta predstavlja aciditet/alkalitet koji se prenese vodom u jedinici vremena kao g CaCO₃/min). Protok vode je izmeren merenjem širine, dubine i brzine reke.

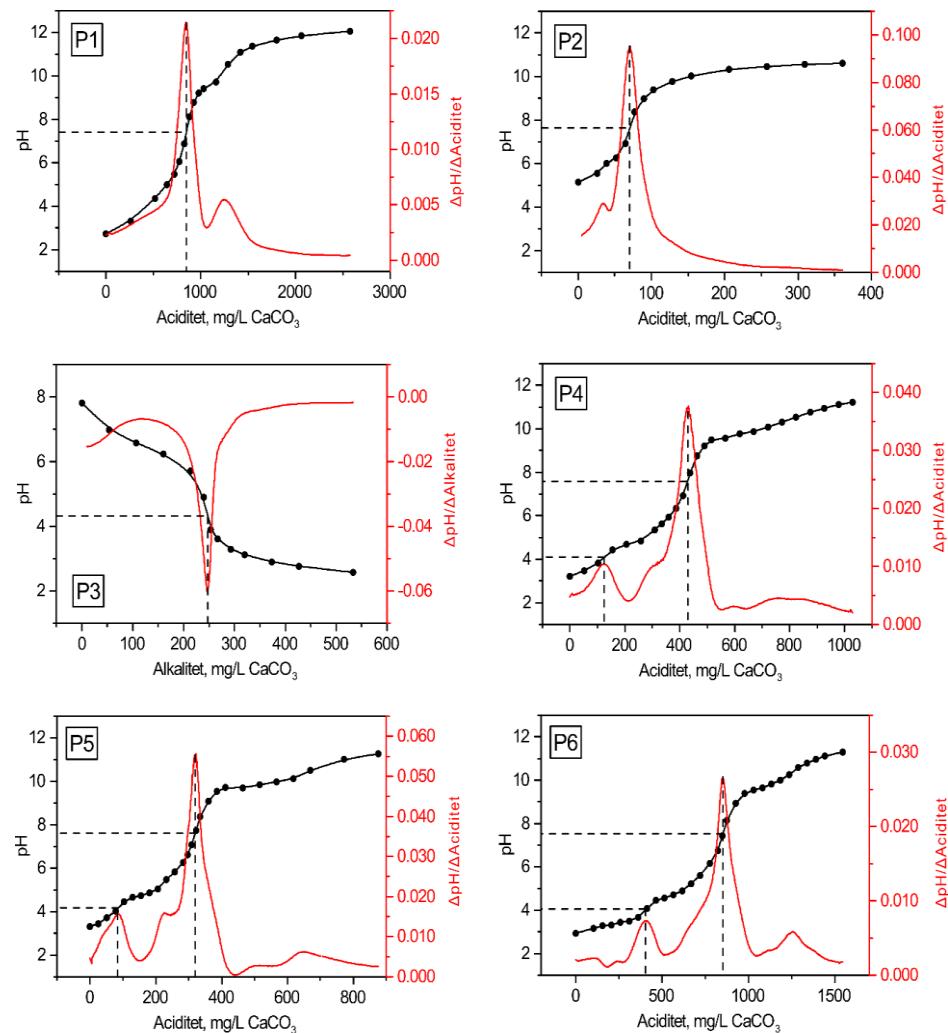
2.2. Analiza uzorka rečnih voda

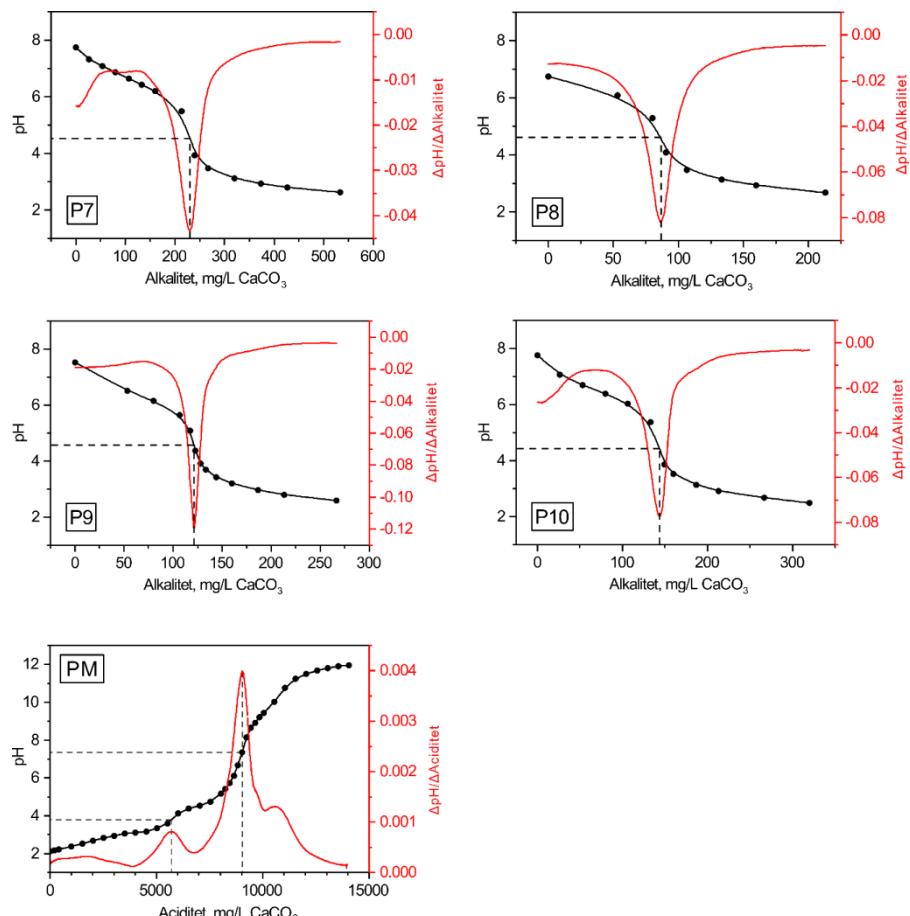
Aciditet uzorka rečnih voda određen je titracijom sa standardnim rastvorom natrijum-hidroksida, a alkalitet je određen titracijom sa standardnim rastvorom hlorovodonične kiseline. Titraciono sredstvo je dodavano u inkrementima i beležena je utrošena zapremina i pH vrednost. Promena pH vrednosti je praćena pomoću pH metra InoLab. Titracione krive su konstruisane u softveru Origin. Tačke na graficima su spojene pomoću funkcije „B-spline“ i izračunat je prvi izvod dobijenih krivi kako bi se na osnovu maksimuma (ili minimuma) prvog izvoda odredila završna tačka titracije. Aciditet i alkalitet izraženi su u miligramima kalcijum-karbonata, koji je potreban za neutralizaciju jednog litra uzorka vode (mg/l CaCO₃).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Alkalitet i aciditet su parametri definisani samim postupkom ispitivanja, tako da rezultat analize u manjoj meri zavisi od načina na koji je određena pH vrednost završne tačke titracije. U ovom radu, završna tačka titracije određena je potenciometrijski, na osnovu maksimuma ili minimuma prvog izvoda titracione krive (slika 2).

Maksimum prvog izvoda javlja se pri pozitivnom nagibu titracione krive – pri titraciji kiselog ili neutralnog uzorka rastvorom baze pri čemu pH vrednost raste. Minimum prvog izvoda javlja se pri negativnom nagibu titracione krive – pri titraciji baznog ili neutralnog uzorka kiselinom pri čemu pH vrednost opada. Uzorci P1, P2, P4, P5, P6 i PM imali su maksimum prvog izvoda (uzorci koji su imali aciditet), dok su uzorci P3, P7, P8, P9 i P10 imali minimum prvog izvoda (uzorci koji su imali alkalitet).





SI. 2. Titracione krive uzoraka rečnih voda (označene crnom linijom) i njihovi prvi izvodi (označeni crvenom linijom). Isprekidana crna linija ukazuje na pH vrednost i aciditet/alkalitet završne tačke titracije

Alternativni način određivanja završne tačke titracije pri određivanju aciditeta i alkaliteta je primenom kiselo-baznih indikatora. Fenolftalein menja boju iz bezbojne u ljubičastu u pH intervalu 8,3 – 10, a metil oranž menja boju iz crvene u narandžastu u pH intervalu 3,1 – 4,4. U tabeli 1. prikazane su pH vrednosti završne tačke titracije uzoraka rečnih voda koje su određene na osnovu prvog izvoda, pa se ove vrednosti mogu uporediti sa intervalima promene boje kiselo-baznih indikatora. pH vrednost završne tačke titracije uzoraka koji su imali aciditet (P1, P2, P4, P5, P6 i PM) bio je u opsegu od 7,33 do 7,64, što je ispod intervala promene boje fenolftaleina. Na osnovu ovoga, može se zaključiti da je aciditet koji se određuje primenom fenofltaleina nešto

veći od aciditeta koji je određen u ovom radu primenom prvog izvoda titracione krive. pH vrednost pri završnoj tački titracije uzoraka, koji su imali alkalitet (P3, P7, P8, P9 i P10) bio je u opsegu od 4,31 do 4,61, što delimično ulazi u opseg promene boje metil-oranža. Prema tome, alkalitet koji se određuje pomoću metil-oranža je blizak alkalitetu koji je određen u ovom radu primenom prvog izvoda titracione krive. Alkalitet koji se određuje pomoću metil-oranža naziva se m-alkalitet, i potiče od bikarbonatnih jona u uzorku. Uzorci čija je pH vrednost veća od 8,3 sadrže i p-alkalitet koji potiče od karbonatnih i hidroksidnih jona, a određuje se titracijom uzorka sa standardnim rastvorom kiseline (HCl , H_2SO_4) uz fenolftalein kao indikator. Ukupni alkalitet predstavlja sumu m- i p-alkaliteta. U tabeli 1 vidi se da je početna pH vrednost uzoraka P3, P7, P8, P9 i P10 bila ispod 8,3, što ukazuje da ovi uzorci nisu imali p-alkalitet, već samo m-alkalitet.

Tabela 1. Rezultati merenja aciditeta i alkaliteta

| Naziv uzorka | Početna pH vrednost | pH završne tačke titracije | Aciditet (mg/l $CaCO_3$) | Alkalitet (mg/l $CaCO_3$) |
|----------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| P1 – Borska reka | 2,72 | 7,41 | 842 | - |
| P2 – Kriveljska reka | 5,15 | 7,64 | 70 | - |
| P3 – Ravna reka | 7,81 | 4,31 | - | 248 |
| P4 – Bela reka | 3,21 | 7,59 | 429 | - |
| P5 – Bela reka | 3,31 | 7,63 | 319 | - |
| P6 – Bela reka | 2,94 | 7,54 | 852 | - |
| P7 – Timok | 7,74 | 4,52 | - | 229 |
| P8 – Timok | 6,72 | 4,61 | - | 86 |
| P9 – Timok | 7,52 | 4,58 | - | 121 |
| P10 – Timok | 7,77 | 4,44 | - | 143 |
| PM – Metalurške vode | 2,13 | 7,33 | 9044 | - |

Pored glavnog maksimuma prvog izvoda, koji se javlja na pH oko 7,6, uzorci P4, P5 i P6 (Bela reka) i PM (metalurške vode) imali su i manji maksimum na pH 4,09, 4,19, 4,05 i 3,78, respektivno. Ove pH vrednosti ulaze u opseg promene boje metil-oranža, i tako određen aciditet potiče od hidrolize jakih kiselina kao što je H_2SO_4 . Uzorci sa pH vrednošću većom od 4,4 nemaju aciditet koji potiče od jakih kiselina, već samo aciditet koji potiče od hidrolize soli metala, ili rastvaranja CO_2 iz vazduha, ili od prisustva organskih kiselina. Aciditet Kriveljske reke (P2) najverovatnije je poticao od hidrolize soli metala, a ne od hidrolize jakih kiselina, pošto je početna pH vrednost vode Kriveljske reke bila 5,15. S druge strane, aciditet Borske reke i Bele reke poticao je i od hidrolize soli metala i od hidrolize jakih kiselina, koje se ispuštaju putem otpadnih metalurških voda iz RTB-a, s obzirom da je pH vrednost vode ovih uzoraka bila ispod 4,4.

Aciditet Borske reke (P1, 842 mg/l CaCO₃) bio je 12 puta veći od aciditeta Kriveljske reke (P2, 70 mg/l CaCO₃). Ovaj rezultat ukazuje na razliku između izvora zakišeljavanja ovih reka. Kod Kriveljske reke aciditet je poticao od uliva kiselih rudničkih voda iz jame, površinskih kopova i jalovišta, dok su se u Borsku reku, pored kiselih rudničkih voda, ulivale i metalurške otpadne vode (PM) sa aciditetom od 9044 mg/l CaCO₃. Nakon spajanja Borske, Kriveljske i Ravne reke, aciditet nastale Bele reke (429 mg/l CaCO₃) bio je manji od aciditeta Borske reke, ali je veći od aciditeta Kriveljske reke (tabela 1.). Interesantna pojava je da duž Bele reke aciditet najpre opada (P4 i P5), pa zatim drastično raste kod ušća u Timok (P6), i dostiže vrednost sličnu onoj u Borskoj reci (P1). Uzrok ovome je neujednačenot količine i hemijskog sastava metalurških otpadnih voda koje se ispuštaju u Borsku reku. Opšta karakteristika industrijskih otpadnih voda je da njihova količina i sastav zavise od tehnološkog procesa koji se vodi u datom trenutku. Prema tome, talas velike količine metalurških otpadnih voda stigao je u vreme uzorkovanja na ušću Bele reke u Timok (P6), dok je kasnije ideo metaluških voda u Beloj reci smanjen, što se vidi po nižem aciditetu vode Bele reke uzvodno (P5 i P4).

Ravna reka (P3) i Timok, pre spajanja sa Belom rekom (P7), imaju visok alkalitet (tabela 1.), što karakteriše tvrde vode sa visokim sadržajem bikarbonata i jona kalcijuma i magnezijuma. Ravna reka nema dovoljnu količinu vode da neutrališe aciditet Bele reke, pa je voda Bele reke zakišljena i nakon spajanja sa Ravnom rekom. S druge strane, reka Timok sa nekoliko puta većim protokom ima dovoljan kapacitet da neutrališe zakišljenu vodu Bele reke. Alkalitet vode Timoka značajno opada nakon spajanja sa Belom rekom (tabela 1.), ali puferski kapacitet Timoka nije nadmašen, tj. pH vrednost rečne vode ostaje neutralna.

U vreme uzorkovanja, protok na Beloj reci u selu Vražogrnc (P6) iznosio je 0,92 m³/s, a protok na Timoku kod mosta kod sela Aleksandrovac, u srednjem toku Timoka, iznosio je 8,78 m³/s. Iz tehničnih razloga nije bilo moguće izmeriti protok Timoka posle ušća sa Belom rekom (P8), ali se protok Timoka na ovoj tački i kod mosta kod sela Aleksandrovac može smatrati sličnim pošto Timok nema većih pritoka nizvodno od spajanja sa Belom rekom. Oduzimanjem ove dve vrednosti protoka, dobija se približna vrednost za protok Timoka pre spajanja sa Belom rekom (P7, 7,86 m³/s). Množenjem ovih vrednosti sa aciditetom/alkalitetom u tabeli 1., dobija se fluks aciditeta od 47 g/min CaCO₃ u Beloj reci kod Vražogrnc (P6), fluks alkaliteta od 108 g/min CaCO₃ u Timoku pre spajanja sa Belom rekom (P7) i fluks alkaliteta od 46 g/min CaCO₃ nakon spajanja sa Belom rekom (P8). Fluks alkaliteta u P8 se može dobiti i oduzimanjem fluksa alkaliteta/aciditeta u P7 i P6, pri čemu se dobija vrednost 61 g/min CaCO₃, što je veće od ranije dobijene vrednosti za P8 (46 g/min CaCO₃). Ovo neslaganje potiče od velike nesigurnosti merenja protoka. Ipak, na osnovu izloženog može se zaključiti da je puferski kapacitet Timoka potrošen oko 50%. Treba uzeti u obzir da je u ovaj proračun uzeta tačka P6 u koju je naišao talas kiseline iz

RTB-a, diskutovan ranije. Ako bi se u proračun uzeo aciditet tačaka P5 ili P4, koji je duplo manji od aciditeta u P6, onda bi manji deo pufrskog kapaciteta Timoka bio potrošen. Na osnovu podataka Republičkog Hidrometeorološkog Zavoda Srbije, najniže vrednosti protoka za reku Timok javljaju se u septembru. Pošto je uzorkovanje za ovo istraživanje vršeno u septembru, prikazani podaci predstavljaju donju granicu puferskog kapaciteta reke Timok. Ovo razmatranje ne može da se uzme kao pravilo, i važi samo ukoliko se uzmu u obzir vrednosti protoka koji su izmereni u ovom istraživanju. Protok reke je jako promenljiv u zavisnosti od sezone, tako da puferski kapacitet Timoka nije uvek isti, kao ni količina otpadnih kiselih rastvora koji se ispuštaju iz rudarskih i metalurških postrojenja u Boru.

4. ZAKLJUČAK

U septembru 2016, kada je ovo istraživanje izvršeno, rečne vode Borske, Kriveljske i Bele reke bile su znatno zakišljene kiselim rudničkim vodama i otpadnim metalurškim vodama iz rudarskih i metalurških postrojenja u Boru. Aciditet Borske reke bio je 12 puta veći od aciditeta Kriveljske reke zbog ispuštanja metalurških otpadnih voda u Borsku reku. Nakon spajanja Bele reke i Timoka, kisela voda Bele reke bila je neutralisana alkalnom vodom reke Timok. Alkalitet i protok reke Timok bili su dovoljni da neutrališu količinu kiselih rudničkih i metalurških otpadnih voda koje su bile ispuštene iz rudarskih i metalurških postrojenja u Boru.

ZAHVALNOST

Istraživanja u ovom radu urađena su u okviru projekta TR37001 pod nazivom „Uticaj rudarskog otpada iz RTB-a Bor na zagađenje vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu sredinu“ koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] G. Bogdanović, M. Trumić, M. Trumić, D.V. Antić, Recycling and Sustainable Development, 4 (2011) 37–43.
- [2] S. Đordjevski, J. Petrović, V. Krstić, Z. Stevanović, R. Marković, R. Jonović, Lj. Avramović, Recycling and Sustainable Development, 9(2016) 21–27.
- [3] Z.O. Stevanovic, M.M. Antonijevic, G.D. Bogdanovic, V.K. Trujic, M.M. Bugarin, Chemistry and Ecology, 27(5) (2011) 401–414.

-
- [4] S.Č. Alagić, D.V. Medić, M.D. Dimitrijević, S.B. Tošić, M.M. Nujkić, *Zaštita Materijala* 57 (3) (2016) 371–377.
 - [5] M. Pejović, B. Bajat, Z. Gospavić, E. Saljnikov, M. Kilibarda, D. Čakmak, *Journal of Geochemical Exploration*, 179 (2017) 25–35.
 - [6] S.M. Šerbula, J.S. Milosavljevic, A.A. Radojevic, J.V. Kalinovic, T.S. Kalinovic, *Science of the Total Environment*, 586 (2017) 1066–1075.
 - [7] Lj. Avramović, Z. Stevanović, M. Bugarin, R. Jonović, R. Marković, V. Gardić, M. Jonovic, J. Đorđević, *Zaštita Materijala* 57 (3) (2016) 378–382.
 - [8] Z. Stevanović, L. Obradović, R. Marković, R. Jonović, L. Avramović, M. Bugarin, J. Stevanović, *Mine Waste Water Management in the Bor Municipality in Order to Protect the Bor River Water, Waste Water - Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*, Prof. Fernando Sebastián García Einschlag (Ed.), InTech, 2013, 41–62.
 - [9] Lj. Obradović, M. Bugarin, V. Marinković, *Mining & Metallurgy Engineering* Bor, 4 (2012) 185–198.
 - [10] V.R. Gardić, J.V. Petrović, L.V. Đurđevac-Ignjatović, S.R. Kolaković, S.R. Vujović, *Hemija Industrija*, 69(2) (2015) 165–174.
 - [11] S. Šerbula, V. Stanković, D. Živković, Ž. Kamberović, M. Gorgievski, T. Kalinović, *Mine Water and Environment*, 35(4) (2016) 480–485.
 - [12] D. Ishiyama, H. Kawaraya, H. Sato, L. Obradović, B. Blagojević, J. Petrovic, V. Gardic, Z. Stevanovic, A. Shibayama, N. Masuda, Y. Takasaki, *Scientific and Technical Reports of Graduate School of Engineering and Resource Science*, Akita University, 33 (2012) 41–49.
 - [13] M. Korać, Ž. Kamberović, *Characterization of Wastewater Streams from Bor Site*, *Metalurgija*, 13(1) (2007) 41–51.
 - [14] J. Brankov, D. Milijašević, A. Milanović, *Archives of Environmental Protection*, 38(1) (2012) 49–61.
 - [15] D. Milijašević, A. Milanović, J. Brankov, M. Radovanović, *Archives of Biological Sciences*, 63(3) (2011) 819–824.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 330.3:622.7(045)=163.41

ORIGINALAN STRUČNI RAD

Oblast: Ekonomija

TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA PRERADE FLOTACIJSKE JALOVINE L-SX-EW METODOM

TECHNO - ECONOMIC ANALYSIS OF FLOTATION TAILINGS PROCESSING BY THE L-SX-EW METHOD

Lidija Bućan, Radmila Marković, Ljubiša Obradović,
Radojka Jonović, Ljiljana Avramović

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor,
e-mail: lidija.bucan@irmbor.co.rs

Izvod

Ekonomска analiza i ocena su rađene po UNIDO metodologiji. Cilj ove analize je da prikaže: cenu koštanja proizvodnje bakarne katode iz flotacijskog jalovišta putem luženja, solventne ekstrakcije i elektrodepozicije iz rastvora; strukturu cene koštanja sa procenualnim učešćem pojedinačnog troška; mogućnost ostvarenja dobiti; stopu povraćaja uloženih sredstava; faktore koji utiču na promenu stope rentabilnosti; vreme potrebno da se uložena sredstva vrate i ukupna neto sadašnja vrednost projekta. Zaključak je da je sa stanovišta ekonomije projekat profitabilan, likvidan i rentabilan, a sa stanovišta ekologije prihvatljiv i opravdan.

Ključne reči: prihodi, rashodi, ekonomski pokazatelji, prelomna tačka, osetljivost projekta

Abstract

Economic analysis and evaluation were conducted by the UNIDO methodology. The aim of this analysis is to show: the cost of copper cathode production from the flotation tailings by the leaching, solvent extraction and electrowining from solution; structure of the cost with a percentage share of each individual cost; ability to make a profit; rate of return on investments; factors that influence the profitability rate; time required to return the funds invested and total net present value of the project. According to the obtained results, from the standpoint of economics, this project is profitable, liquid and payable, and from the standpoint of ecology it is acceptable and justified.

Keywords: incomes, expenses, economic indicators, turning point, project sensitivity

1. UVOD

U procesu eksploatacije rude i proizvodnje bakra kao osnovnog metala u pogonima RTB Bor nastaju velike količine otpada bilo da se radi o čvrstom, tečnom ili gasovitom agregatnom stanju. Ovaj otpad predstavlja veliki ekološki problem, kako na lokalnom tako i na širem geografskom prostoru. Poznato je da do sada korišćene tehnologije nisu obezbeđivale stopostotno iskorišćenje (niti je to moguće) tako da je deo korisnih komponenti ostao zarobljen u kopovskoj

raskrivci, a deo u flotacijskoj jalovini. Isušivanjem i prirodnim isparavanjem, flotacijska jalovina prelazi u čvrsto agregatno stanje, pogodno za manipulaciju.

Flotacijsko jalovište Bor, polje I i II je nastalo u prošlom veku, a služilo je za odlaganje jalovine iz procesa prerade rude sa površinskog kopa i pogona Jame u Boru. U funkciji je bilo do 1987. godine, nakon čega je ovoreno novo RTH polje.

2. POLAZNI PARAMETRI OBRAČUNA PRIHODA

Kao direktnе podloge za izradu ekonomске analize i ocene, korišćene su sledeće preliminarne infomacije o mogućnosti proizvodnje bakra iz flotacijske jalovine rudnika bakra u Boru:

- Kapacitet polja I i II starog flotacijskog jalovišta je procenjen na 26.768.268 t jalovine.
- Procenjena mogućnost eksploracije je 75% ukupnog kapaciteta, tj. 20.076.201 t jalovine.
- Sadržaj korisnih komponenti u flotacijskoj jalovini zavisno od površinskog dela i dubine flotacijskog polja, kreće se od 0,15% do 0,4%; usvojena donja granična verovatnoća prosečnog sadržaja bakra je 0,24%, iz toga sledi da je ukupna količina raspoloživog metala u jalovištu 48.183 t bakra.
- U toku postupka: luženje – solventna ekstrakcija - elektrodepozicija bakra (L-SX-EW), istraživanjem su dobijene sledeće vrednosti iskorišćenja na bakru:
 - a) luženje - 65,38%
 - b) solventna ekstrakcija - 99,70%
 - c) elektrodepozicija iz rastvora - 98%što ukupno daje oko 64% izluženja.
- Na osnovu procenjenih količina jalovine i izabranog kapaciteta prerade od 1.500.000 t godišnje sledi vek eksploracije od 14 godina; prepostavka je da će investicioni period trajati - 1,5 godina.
- Prihvaćena valuta obračuna je USD.
- Tokom 2018. godine cena bakra na berzi se kretala od 6.000 do 7.000 USD/t; prihvaćena cena za obračun prihoda u ovoj analizi je 6.000 USD/t.
- Predviđena diskontna stopa je 10%.

3. PARAMETRI OBRAČUNA RASHODA

Parametri obračuna rashoda, korišćeni za ovu tehnico - ekonomsku analizu, su:

- Troškovi normativa, materijala, energije, radne snage i ostali materijalni troškovi predviđeni su zbirno u iznosu od 1.000 USD/t Cu katode.

- Predviđena godišnja stopa amortizacije osnovnih sredstava je 8% nabavne vrednosti.
- Troškovi održavanja su ukalkulisani po stopi od 3% nabavne vrednosti osnovnih sredstava.
- Troškovi osiguranja su obračunati po stopi od 0,5% nabavne vrednosti osnovnih sredstava.
- Procenjeni godišnji troškovi postavljanja zaštitne folije za odlaganje nove jalovine iz ovog procesa su 1.000.000 USD.
- Procenjeni operativni troškovi održavanja jalovišta su 0,33 USD/t jalovine.
- Ostali nepomenuti troškovi i usluge su projektovani u iznosu od 5% materijalnih troškova ($1000 \text{ USD} * 5\% * 2300 \text{ t} = 115.000 \text{ USD}$) godišnje.
- Naknada za korišćenje tehnogenih sirovina je obračunata prema važećoj zakonskoj regulativi u iznosu od 1% vrednosti prihoda.
- Porez na dobit je obračunat po zakonski važećoj stopi od 15% bruto dobiti.
- Predviđeno je korišćenje kredita za nabavku L-SX-EW postrojenja pod sledećim uslovima: rok otplate 10 godina, kamatna stopa 10%, grejs period 1 godina, bez zaračunavanja interkalarne kamate.

4. KAPACITET I VREDNOST PROIZVODNJE

U tabeli 1 dati su kapacitet i vrednost proizvodnje.

Tabela 1. Kapacitet i vrednost proizvodnje

| God. proizv. | Jalovina (t) | Cu katoda (t) | Prihod (USD) |
|---------------|-------------------|---------------|--------------------|
| 1 | 750.000 | 1.150 | 6.900.000 |
| 2 – 13 | 1.500.000 | 2.300 | 13.800.000 |
| 14 | 1.326.201 | 2.087 | 12.522.000 |
| Ukupno | 20.076.201 | 30.837 | 185.022.000 |

5. INVESTICIONA ULAGANJA

U tabeli 2 dati su podaci predviđanja ulaganja po fazama eksplotacije.

Tabela 2. Predviđena ulaganja po fazama eksploracije

| | Vrednost (USD) |
|--|----------------|
| Hidromonitorско откопавање jalovine | |
| Pripremni radovi u zoni flotacijskog jalovišta | 105.000 |
| Oprema | 803.000 |
| Nepredviđeni troškovi | 136.000 |
| Ukupno: | 1.044.000 |
| Postrojenje za L-SX-EW | |
| Oprema | 12.750.000 |
| Nepredviđeni troškovi | 1.912.500 |
| Ukupno: | 14.662.500 |
| Odlaganje jalovine | |
| Oprema za zgušnjavanje | 1.875.000 |
| Nepredviđeni troškovi | 281.250 |
| Ukupno: | 2.156.250 |

Nepredviđena ulaganja su projektovana u iznosu od 15% vrednosti radova i opreme. Obrtna sredstva su projektovana u visini 1/6 godišnjih prihoda, što iznosi 2.300.000 USD. Ukupna planirana investiciona ulaganja iznose **20.162.750 USD**.

6. FINANSIJSKA KONSTRUKCIJA

Finansiranje L-SX-EW postrojenja je planirano iz bankarskog kredita pod sledećim uslovima:

- Iznos kredita : 14.662.500 USD.
- Rok otplate: 10 godina, jednaki anuiteti.
- Kamatna stopa: 10% godišnje.
- Grejs period: 1 godina bez obračuna interkalarne kamate.
- Vreme uzimanja kredita, u prvoj investicionoj godini.

Godišnje obaveze po osnovu korišćenja kredita iznosiće 2.386.254 USD, a plan otplate prikazan je u tabeli 3.

Tabela 3. Plan otplate kredita

| Godina | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Ukupno: |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Kamata | 1.466.250 | 1.374.250 | 1.273.049 | 1.161.729 | 1.039.276 | 904.578 | 756.411 | 593.426 | 414.143 | 216.932 | 9.200.044 |
| Otplata | 920.004 | 1.012.005 | 1.113.205 | 1.224.526 | 1.346.978 | 1.481.676 | 1.629.844 | 1.792.828 | 1.972.111 | 2.169.322 | 14.662.500 |
| Anuitet | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 2.386.254 | 23.862.544 |

7. EKONOMSKO - FINANSIJSKE PROJEKCIJE I POKAZATELJI

U tabeli 4 prikazana je cena koštanja po toni bakra, a na slici 1. struktura cene koštanja.

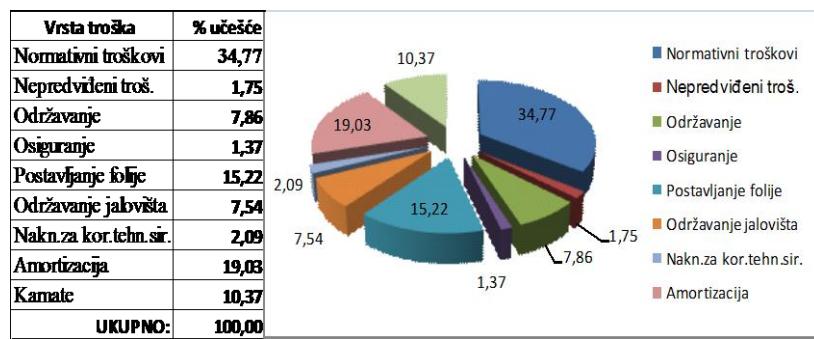
U tabeli 5 prikazan je bilans uspeha, a u tabeli 6 finansijski tok.

Tabela 4. Cena koštanja po toni bakra

| Godine projekta | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Normativni troškovi | 1.150.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 |
| Nepredviđeni troškovi | 57.500 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 |
| Ostali mater.troškovi | 799.600 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 |
| održavanje | | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 |
| osiguranje | 52.100 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 |
| postavljanje folije | 500.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 |
| održavanje jalovišta | 247.500 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 |
| Nakn.za kor.tehnogen.sir. | 69.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 |
| Amortizacija | 625.196 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 |
| Kamate | 1.466.250 | 1.374.250 | 1.273.049 | 1.161.729 | 1.039.276 | 904.578 | 756.411 | 593.426 |
| UKUPNI TR.PROIZV. | 4.167.546 | 7.297.839 | 7.196.639 | 7.085.318 | 6.962.865 | 6.828.168 | 6.680.000 | 6.517.016 |
| Troškovi po 1t katode | 3.624 | 3.173 | 3.129 | 3.081 | 3.027 | 2.969 | 2.904 | 2.833 |
| Porez na dobit | 409.868 | 975.324 | 990.504 | 1.007.202 | 1.025.570 | 1.045.775 | 1.068.000 | 1.092.448 |
| Puna cena košt.po t kat. | 3.980 | 3.597 | 3.560 | 3.518 | 3.473 | 3.423 | 3.369 | 3.308 |

nastavak

| Godine projekta | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | Ukupno USD |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Normativni troškovi | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.300.000 | 2.087.000 | 30.837.000 |
| Nepredviđeni troškovi | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 115.000 | 1.552.500 |
| Ostali mater.troškovi | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 28.362.161 |
| održavanje | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 535.883 | 6.966.479 |
| osiguranje | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 89.314 | 1.213.182 |
| postavljanje folije | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 1.000.000 | 13.500.000 |
| održavanje jalovišta | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 495.000 | 6.682.500 |
| Nakn.za kor.tehnogen.sir. | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 125.220 | 1.850.220 |
| Amortizacija | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 16.880.299 |
| Kamate | 414.143 | 216.932 | | | | | 9.200.044 |
| UKUPNI TR.PROIZV. | 6.337.733 | 6.140.522 | 5.923.590 | 5.923.590 | 5.923.590 | 5.697.810 | 88.682.223 |
| Troškovi po 1t katode | 2.756 | 2.670 | 2.575 | 2.575 | 2.575 | 2.730 | 2.876 |
| Porez na dobit | 1.119.340 | 1.148.922 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.023.629 | 14.450.967 |
| Puna cena košt.po t kat. | 3.242 | 3.169 | 3.089 | 3.089 | 3.089 | 3.221 | 3.344 |



Sl. 1. Struktura cene koštanja

Tabela 5. Bilans uspeha

| Godine projekta | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Prihodi od prodaje | 6.900.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 |
| Varijabilni troškovi | 1.276.500 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 |
| normativi | 1.207.500 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 |
| ostali mater.troškovi | 69.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 |
| Fiksni troškovi | 1.424.796 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 |
| amortizacija | 625.196 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 |
| ostali fiksni tr | 799.600 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 |
| Finansijski troškovi | 1.466.250 | 1.374.250 | 1.273.049 | 1.161.729 | 1.039.276 | 904.578 | 756.411 | 593.426 |
| Ukupni troškovi | 4.167.546 | 7.297.839 | 7.196.639 | 7.085.318 | 6.962.865 | 6.828.168 | 6.680.000 | 6.517.016 |
| Bruto dobit | 2.732.454 | 6.502.161 | 6.603.361 | 6.714.682 | 6.837.135 | 6.971.832 | 7.120.000 | 7.282.984 |
| Porez na dobit | 409.868 | 975.324 | 990.504 | 1.007.202 | 1.025.570 | 1.045.775 | 1.068.000 | 1.092.448 |
| Neto dobit | 2.322.586 | 5.526.837 | 5.612.857 | 5.707.480 | 5.811.564 | 5.926.058 | 6.052.000 | 6.190.537 |

nastavak

| Godine projekta | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | Ukupno USD | Prosječno |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Prihodi od prodaje | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 12.522.000 | 185.022.000 | 13.215.857 |
| Varijabilni troškovi | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.553.000 | 2.327.220 | 34.239.720 | 2.445.694 |
| normativi | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.415.000 | 2.202.000 | 32.389.500 | 2.313.536 |
| ostali mater.troškovi | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 138.000 | 125.220 | 1.850.220 | 132.159 |
| Fiksni troškovi | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 3.370.590 | 45.242.460 | 3.231.604 |
| amortizacija | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 1.250.393 | 16.880.299 | 1.205.736 |
| ostali fiksni tr | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 2.120.197 | 28.362.161 | 2.025.869 |
| Finansijski troškovi | 414.143 | 216.932 | | | | | 9.200.044 | 657.146 |
| Ukupni troškovi | 6.337.733 | 6.140.522 | 5.923.590 | 5.923.590 | 5.923.590 | 5.697.810 | 88.682.223 | 6.334.445 |
| Bruto dobit | 7.462.267 | 7.659.478 | 7.876.411 | 7.876.411 | 7.876.411 | 6.824.191 | 96.339.777 | 6.881.413 |
| Porez na dobit | 1.119.340 | 1.148.922 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.023.629 | 14.450.967 | 1.032.212 |
| Neto dobit | 6.342.927 | 6.510.557 | 6.694.949 | 6.694.949 | 6.694.949 | 5.800.562 | 81.888.810 | 5.849.201 |

Bilans uspeha pokazuje da će projekat ostvariti dobit tokom celog životnog veka. Očekivani prosečni godišnji prihodi biće oko 13,2 miliona USD, prosečni godišnji troškovi proizvodnje oko 6,3 miliona USD, prosečna bruto dobit 6,8 miliona USD i prosečna neto dobit 5,8 miliona USD.

Tabela 6. Finansijski tok

| Godine projekta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| UKUPNI PRILIVI | 17.862.750 | 9.200.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 |
| Prilivi iz izvora finans. | 17.862.750 | 2.300.000 | | | | | | |
| ukupan deonički kapital | 3.200.250 | 2.300.000 | | | | | | |
| ukupno dugor.krediti | 14.662.500 | | | | | | | |
| Prilivi iz poslovanja | | 6.900.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 |
| Ostatak vrednosti | | | | | | | | |
| UKUPNI IZDACI | 14.662.500 | 10.607.211 | 8.034.775 | 8.049.956 | 8.066.654 | 8.085.022 | 8.105.226 | 8.127.451 |
| Povećanje osnovnih sred. | 14.662.500 | 3.200.250 | | | | | | |
| Povećanje tekućih sred. | | 2.534.739 | | | | | | |
| Troškovi poslovanja | | 2.076.100 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 |
| Porez na dobit | | 409.868 | 975.324 | 990.504 | 1.007.202 | 1.025.570 | 1.045.775 | 1.068.000 |
| Finansijski troškovi | | 1.466.250 | 1.374.250 | 1.273.049 | 1.161.729 | 1.039.276 | 904.578 | 756.411 |
| Otplata kredita | | 920.004 | 1.012.005 | 1.113.205 | 1.224.526 | 1.346.978 | 1.481.676 | 1.629.844 |
| VIŠAK (MANJAK) | 3.200.250 | -1.407.211 | 5.765.225 | 5.750.044 | 5.733.346 | 5.714.978 | 5.694.774 | 5.672.549 |
| KUM.NETO PRIMTAKA | 3.200.250 | 1.793.039 | 7.558.263 | 13.308.308 | 19.041.654 | 24.756.633 | 30.451.406 | 36.123.955 |

nastavak

| Godine projekta | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | Ukupno USD |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| UKUPNI PRILIVI | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 12.522.000 | 208.467.201 |
| Prilivi iz izvora finans. | | | | | | | | 20.162.750 |
| ukupan deonički kapital | | | | | | | | 5.500.250 |
| ukupno dugor.krediti | | | | | | | | 14.662.500 |
| Prilivi iz poslovanja | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 12.522.000 | 185.022.000 |
| Ostatak vrednosti | | | | | | | | 3.282.451 |
| UKUPNI IZDACI | 8.151.899 | 8.178.791 | 8.208.373 | 5.854.659 | 5.854.659 | 5.854.659 | 5.236.307 | 121.078.141 |
| Povećanje osnovnih sred. | | | | | | | | 17.862.750 |
| Povećanje tekućih sred. | | | | | | | -234.739 | 2.300.000 |
| Troškovi poslovanja | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.447.417 | 62.601.881 |
| Porez na dobit | 1.092.448 | 1.119.340 | 1.148.922 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.023.629 | 14.450.967 |
| Finansijski troškovi | 593.426 | 414.143 | 216.932 | | | | | 9.200.044 |
| Otplata kredita | 1.792.828 | 1.972.111 | 2.169.322 | | | | | 13.742.496 |
| VIŠAK (MANJAK) | 5.648.101 | 5.621.209 | 5.591.627 | 7.945.341 | 7.945.341 | 7.945.341 | 7.285.693 | 3.282.451 |
| KUM.NETO PRIMTAKA | 41.772.056 | 47.393.265 | 52.984.891 | 60.930.233 | 68.875.574 | 76.820.916 | 84.106.609 | 87.389.060 |

Iz priloženog finansijskog toka, nameće se zaključak da će projekat biti likvidan pošto će u godinama punog korišćenja kapaciteta ostvariti pozitivan neto priliv novčanih sredstava.

U tabeli 7 prikazan je ekonomski novčani tok.

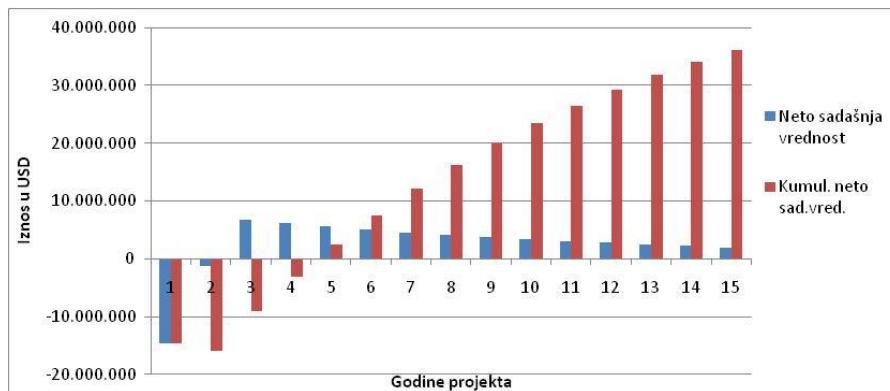
Tabela 7. Ekonomski novčani tok

| Godine projekta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| UKUPNI PRILIVI | | 6.900.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 |
| Prilivi iz poslovanja | | 6.900.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 |
| Ostali prihodi | | | | | | | | |
| UKUPNI IZDACI | 14.662.500 | 8.220.957 | 5.648.521 | 5.663.701 | 5.680.399 | 5.698.767 | 5.718.972 | 5.741.197 |
| Povećanje osnovnih sred. | 14.662.500 | 3.200.250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Povećanje obrtnih sred. | 0 | 2.534.739 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Troškovi poslovanja | 0 | 2.076.100 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 |
| Porez na dobit | | 409.868 | 975.324 | 990.504 | 1.007.202 | 1.025.570 | 1.045.775 | 1.068.000 |
| NETO PRIMICI | -14.662.500 | -1.320.957 | 8.151.479 | 8.136.299 | 8.119.601 | 8.101.233 | 8.081.028 | 8.058.803 |
| KUMNETO NOV.TOKA | -14.662.500 | -15.983.457 | -7.831.978 | 304.321 | 8.423.921 | 16.525.154 | 24.606.182 | 32.664.985 |
| Neto sadašnja vrednost | -14.662.500 | -1.200.870 | 6.736.759 | 6.112.922 | 5.545.797 | 5.030.228 | 4.561.530 | 4.135.440 |
| Kumul. neto sad.vred. | -14.662.500 | -15.863.370 | -9.126.611 | -3.013.689 | 2.532.108 | 7.562.336 | 12.123.866 | 16.259.306 |

nastavak

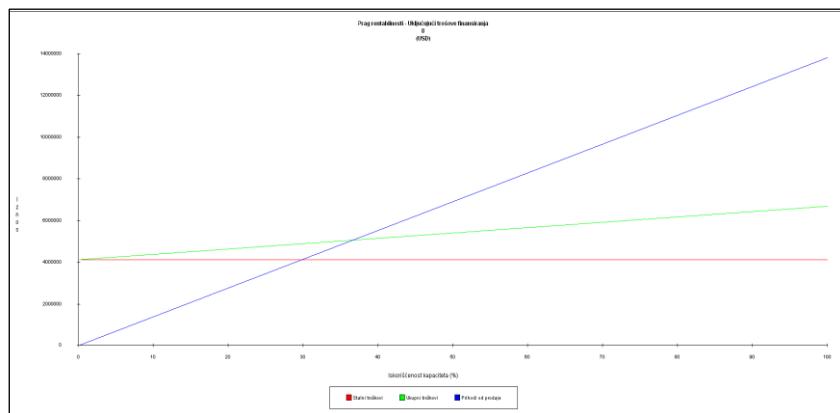
| Godine projekta | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | Ukupno USD |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| UKUPNI PRILIVI | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 12.522.000 | 188.304.451 |
| Prilivi iz poslovanja | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 13.800.000 | 12.522.000 | 185.022.000 |
| Ostali prihodi | | | | | | | | 3.282.451 |
| UKUPNI IZDACI | 5.765.645 | 5.792.537 | 5.822.119 | 5.854.659 | 5.854.659 | 5.854.659 | 5.236.307 | 97.215.597 |
| Povećanje osnovnih sred. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.862.750 |
| Povećanje obrtnih sred. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -234.739 | 2.300.000 |
| Troškovi poslovanja | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.673.197 | 4.447.417 | 62.601.881 |
| Porez na dobit | 1.092.448 | 1.119.340 | 1.148.922 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.181.462 | 1.023.629 | 14.450.967 |
| NETO PRIMICI | 8.034.355 | 8.007.463 | 7.977.881 | 7.945.341 | 7.945.341 | 7.945.341 | 7.285.693 | 3.282.451 |
| KUMNETO NOV.TOKA | 40.699.341 | 48.706.804 | 56.684.685 | 64.630.026 | 72.575.368 | 80.520.709 | 87.806.403 | 91.088.854 |
| Neto sadašnja vrednost | 3.748.086 | 3.395.946 | 3.075.819 | 2.784.794 | 2.531.631 | 2.301.482 | 1.918.551 | 864.372 |
| Kumul. neto sad.vred. | 20.007.392 | 23.403.338 | 26.479.156 | 29.263.950 | 31.795.581 | 34.097.063 | 36.015.614 | 36.879.986 |
| Neto sadašnja vrednost | uz 10,00% | 36.879.986 | | | | | | |
| Interna stopa rentabilno: | 37,26% | | | | | | | |
| Modifikovana ISR | 19,17% | | | | | | | |
| Period povraćaja | uz 0,00% | 3.96 god | | 4 | | | | |
| Period povraćaja-diskont. | uz 10,00% | 4.54 god | | 5 | | | | |

Ekonomski tok pokazuje visoku internu stopu rentabilnosti, visoku neto sadašnju vrednost (NSV) početnih ulaganja i prihvatljiv period povraćaja uloženih sredstava. Na osnovu ovih pokazatelja, može se zaključiti da se radi o rentabilnom projektu, a to se vidi i na sledećoj slici 2.



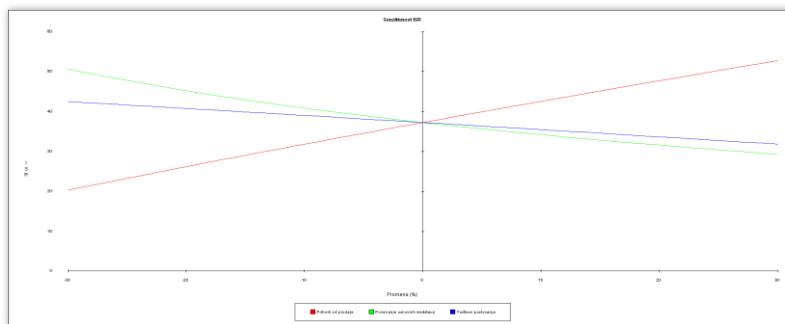
Sl. 2. Odnos NSV i kumulativa NSV

Prelomna tačka rentabilnosti, slika 3, je na 37% punog kapaciteta, znači da će prerada 555.000 t jalovine ili proizvodnja 851 t Cu katode, obezbediti samo pokriće troškova bez stvaranja dobiti. Prerada manje količine od navedene, kao i niža cena bakra za ovu količinu metala, proizveće gubitke.



Sl. 3. Prelomna tačka rentabilnosti

Projekat je najosetljiviji na promenu cene bakra, tj. prihoda, zatim na vrednost investicionih ulaganja i najmanje na promenu troškova. Smanjenje prihoda za 30% smanjuje vrednost interne stope rentabilnosti (ISR) na 20%, a povećanje vrednosti investicija i troškova za isti procenat smanjuje ISR na 29%, odnosno 32%. Ovi odnosi se jasno vide na slici 4.



Sl. 4. Osećljivost interne stope rentabilnosti

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikupljenih podataka o sadržaju bakra na lokaciji starog flotacijskog jalovišta rudnika bakra u Boru i mogućnosti njegove prerade, kao i potrebnih ulaganja u opremu i novo jalovište, može se zaključiti da je projekat:

- Profitabilan, jer u bilansu uspeha ostvaruje dobit u svim godinama proizvodnje (prosečno 5.849.201 USD godišnje neto dobiti i prosečno 1.032.212 USD godišnje prihoda za državu na ime korišćenja tehnogenih sirovina).
- Rentabilan, jer ostvaruje visoku internu stopu rentabilnosti (37,26%) i veliki iznos diskontovane novostvorene vrednosti (36.879.986 USD) kao i solidan period povraćaja sredstava (4 godine).
- Ekološki opravдан, jer bi se smanjilo dalje zagadenje vode, vazduha i zemlje u samom gradu i okolini.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je rezultat Projekta TR37001 pod nazivom: „Uticaj rudarskog otpada iz RTB-a Bor na zagađenje okolnih vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu okolinu“, koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] M. Bugarin, G. Slavković, Tehno-ekonomska ocena studija, projekata, rudnih ležišta, Izdavač Institut za bakar Bor, 2006.
- [2] M. Bugarin, Z. Stevanović, V. Gardić, V. Marinković, Pregled dosadašnjih geoloških istraživanja starog flotacijskog jalovišta i EU regulativa iz oblasti zaštite voda, Rudarski Radovi, 4 (2011) 1-4.
- [3] Z. Stevanović, Luženje teških metala iz flotacione jalovine, doktorska disertacija, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, 2012.

BAKAR 43 (2018) 2 COPPER

UDK: 005.93(045)=163.41

ORIGINALAN NAUČNI RAD

Oblast: Ekonomija i menadžment

ANALIZA ZAHTEVA ZAINTERESOVANIH STRANA

ANALYSIS OF THE STAKEHOLDER REQUESTS

Slavica Miletić¹, Dejan Bogdanović², Miroslav Ignjatović³

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, Bor,
e-mail: slavica.miletic@irmbor.co.rs

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, Vojske Jugoslavije 12, Bor,
e-mail: dbogdanovic@tfbor.bg.ac.rs

³Privredna komora Srbije, Resavska 13-15, 11000 Beograd,
e-mail: miroslav.ignjatovic@pks.rs

Izvod

Klauzula 4.2. Razumevanje potreba i očekivanja zainteresovanih strana je jedna od ključnih promena konteksta organizacije u međunarodnom standardu ISO 9001:2015. ISO standard od organizacije zahteva identifikaciju zahteva i potreba svih zainteresovanih strana u cilju poboljšanja performansi organizacije.

U radu je data multikriterijumska analiza potreba i očekivanja zainteresovanih strana i jačina njihovog uticaja na kontekst organizacije AHP metodom (analytički hijerarhijski proces).

Predložena metodologija menadžerima daju analizu koje od zainteresovanih strana imaju najveći uticaj na organizaciju i koje od njih je najvažniji za opstanak organizacije.

Multikriterijumska analiza pruža tu mogućnost izbora najvažnije zainteresovane strane zasnovane na uslovima koji su navedeni uz pomoć kriterijuma.

Ključne reči: zainteresovane strane, AHP metoda, ISO 9001:2015

Abstract

Clause 4.2. Understanding the needs and expectations of stakeholders is one of the key changes of the organization context in the international standard ISO9001:2015. The ISO standard requires of the organization to identify the requirements and needs of all stakeholders in order to improve the organization performances.

This paper provides a multicriterion analysis of the needs and expectations of stakeholders and the strength of their impact on the organization context by the AHP (Analytical Hierarchical Process) method.

The proposed methodology provides to the managers an analysis of which the stakeholders have the greatest impact on organization and which of them is the most important for survival of the organization.

A multicriterion analysis provides this option for selection the most important stakeholder based on the conditions set out in the criterion.

Keywords: stakeholders, AHP Method, ISO 9001:2015

1. UVOD

Ključne promene u međunarodnom standardu ISO 9001:2015 (ISO-International Organization for Standardization), koje su od velikog značaja za planiranje, upravljanje i donošenje strateških odluka organizacija su: kontekst organizacije, liderstvo, pristup zasnovan na riziku, procesni pristup i dokumentovane informacije [1].

Da bi bolje upoznali i razumeli organizaciju, autori rada analiziraju zahteve i očekivanja zainteresovanih strana, jačinu njihovog uticaja na kontekst organizacije multikriterijumskim metodama (MCDM).

Za analizu jačine uticaja razumevanje potrebe i očekivanja zainteresovanih strana organizacije izabrana je AHP metoda, koja je najpoznatija iz MCDM metoda. Pomoću AHP metode dat je procentualni deo uticaja zainteresovanih strana na kontekst organizacije nakon definisanja težinskih koeficijenata. Razmatrano je pet zainteresovanih strana kao kriterijumi uticaja njihovih potreba i očekivanja na kontekst organizacije, gde se procenat uticaja kretao od 0% do 100%.

Cilj analize je da se ukaže na značaj pravilne procene potrebe i očekivanja zainteresovanih strana. Implementacijom AHP metode identificuju se zahtevi i potrebe zainteresovanih strana, koje imaju najveći uticaj na radno okruženje organizacije.

Dobijeni rezultati menadžerima ili donosiocima odluka daju analizu koje od zainteresovane strane su najvažnije za opstanak organizacije i njeno pozicioniranje u odnosu na konkurenčiju.

Primenjena metodologija služi za analizu razumevanja potreba i očekivanja zainteresovanih strana, koje imaju veliki uticaj na kontekst organizacije radi uspešnijeg projektovanja i implementacije sistema menadžmenta kvalitetom organizacije, jer su to ključne promene u međunarodnom standardu ISO 9001:2015.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Kontekst organizacije ISO 9001:2015 je prošireni koncept organizacionog okruženja i uključuje interne (unutrašnje) faktore kao što su organizaciona kultura i eksterne (spoljašnje) faktore – društveno, ekonomski, socijalne i ekološke faktore gde organizacija posluje.

Kontekst organizacije - ISO 9001:2015 Tačka 4. sačinjavaju 4 podtačke [1]:

- 4.1. Razumevanje organizacije i njenog konteksta.
- 4.2. Razumevanje potrebe i očekivanja zainteresovanih strana.
- 4.3. Utvrđivanje predmeta i područja primene sistema menadžmenta kvalitetom.
- 4.4. Sistem menadžmenta kvalitetom i njegovi procesi.

Razumevanje potrebe i očekivanja zainteresovanih strana, kao ključna izmena u ISO 9001:2015, dobija značajnu ulogu u okviru konteksta organizacije zbog toga se vrši multikriterijumska analiza.

ISO 9001:2015 zahteva od menadžera organizacije da identifikuju zainteresovane grupe i njihove zahteve, koji su relevantni za sistem menadžmenta kvalitetom. Zainteresovane strane su značajne grupe ili pojedinci koji utiču na rast i razvoj organizacije, njenu sposobnost za stalno izručivanje proizvoda i usluga. Menadžeri organizacije moraju da prate zahteve zainteresovanih strana i njihova ispunjenja da bi se obezbedili kvalitet proizvoda i usluga i zakonske regulative. Nihovi zahtevi su relevantni i moraju biti dokumentovani, kao što su: različite vrste ugovora, propisi, sponzorstva, i dr. Zahtevi zainteresovanih strana mogu se vremenom promeniti. Nove tehnologije u savremenom poslovanju donose velike i brze promene, tako da, organizacije ne mogu efikasno da posluju i razvijaju, ako ne idu u korak sa promenama [2].

Višekriterijumska analiza ili multikriterijumsko odlučivanje (Multi-Criteria Decision-Analysis, MCDA) predstavlja jednu od specijalizovanih grana u menadžmentu. U savremenom poslovanju gde su stalne promene, i to: globalne, demografske, ekonomске, sociološke, kulturne, društvene i tehnološke, MCDM metode su pomoći alati menadžerima za strateško planiranje i upravljanje organizacijama. One predstavljaju naučnu oblast koja se zasniva na izboru optimalne alternative, koja će zadovoljiti zahteve zainteresovanih strana, i to sa ekonomске, ekološke, sociološke i kulturološke strane [3]. Ove metode imaju svoju prednost, a to je da istovremeno razmatraju konfliktne probleme i imaju softvereske pakete, koji na efikasan način rešavaju zadatke iz određenih oblasti [4-6].

Najčešće korišćenje MCDM metode za rešavanja realnih diferenciranih problema su: AHP metoda, SWARA, ELECTRE, PROMETHE, Viktor i TOPSIS, a najčešće se primenjuju integrisane i proširene MCDM metode.

Najpoznatiji softverski paketi su: Expert Choice, Decision Lab i Criterium DecisionPlus.

Kod višekriterijumske analize izbor metoda je važan, ali najvažnije je da donosilac odluke ili mendžer pravilno formuliše probleme za razmatranje alternativa i definiše odgovarajuće kriterijume za datu oblast [7,8].

Zainteresovane strane su grupe ili pojedinci, uključeni u realizovanju neke aktivnosti, gde su uključeni i njihovi interesi, a to su:

Kupci (korisnici): kao zainteresovane strane proizvoda i usluga jedne organizacije, i od velike važnosti je da budu zadovoljni. Vrednost, kvalitet i cena proizvoda mora da zadovoljava sve njihove potrebe i zahteve. Organizacija, odnosno menadžeri ili vlasnici organizacije su ti koji treba da vode brigu o kupcima. Analiza i razumevanje njihovih potreba i očekivanja je

važna za kontekst organizacije. Ako kupci nisu zadovoljni proizvodom, organizacija se polako gasi. Važna su stalna istraživanja zadovoljstva kupaca.

Dobavljači: su u savremenom poslovanju ključni u lancu snabdevanja proizvodnog sistema organizacije. Pa se zato i podrazumeva uključivanje statičkih tehnika za obradu i analizu razumevanje potreba i očekivanja njihovih zahteva. Lanac snabdevanja je složen proces koji se sastoji iz nekoliko faza, isporuka gotovih proizvoda, komponenti, delova za proizvodnju i zaliha sirovina [9]. Dobavljači se smatraju ključnim zainteresovanim stranama sa kojima se organizacija suočava. Njihove karakteristike su: izmirivanje obaveza na vreme, i to po najpovoljnijim cenama, stvaranje poverenja dugogodišnjom saradnjom, smanjenje vremena isporuke, smanjenje troškova isporuke robe, i dr. Uticaj dobavljača je vrlo važan za poslovanje organizacije.

Vlasnici (akcionari): Vlasnicima organizacije je najvažniji profit organizacije. Njihova analiza potrebe i očekivanja kao zainteresovanoj strani takođe su važna za organizaciju. Vlasnici vode poslovanje, upravljaju stalnim promenama, planiraju i upravljaju preduzećem. Strateške odluke donose na relavantnim činjenicama.

Menadžeri: su oni koji rade sa ljudima uz pomoć drugih ljudi, koordiniraju njihovim radom u cilju postizanja organizacijskih ciljeva. Funkcija menadžera je: da planira i organizuje, vodi, koordinira i vrši kontrolu. Njegov posao ne odnosi se samo na lično dostignuće, već da pomaže drugima, da stvara radni ambijent gde zaposleni, članovi organizacije postižu najbolje rezultate. Menadžeri su ti koji stvaraju takvo okruženje da sve zainteresovane strane budu zadovoljne. Menadžeri resursa moraju da odrede strateške pravce organizacije. Na primer, menadžeri ljudskih resursa treba da prepoznaju potrebe i ciljeve zaposlenih i ispune ih, tako da su zaposleni motivisani, a sa time se postižu zadati ciljevi organizacije. Menadžeri moraju posedovati neophodno znanje, veštine i kompetencije koje će im pomoći da brzo reaguju na promene koje se događaju u njihovim organizacijama [10]. A potrebe i očekivanja su im: povišice, stalna i redovna primanja, obuke, beneficije, napredak na poslu, poštovanje, rekreativne aktivnosti, i dr. Tako, da njihovo razumevanje potreba i očekivanje imaju velik uticaj na kontekst organizacije.

Zaposleni: Zaposleni imaju veliku ulogu u organizaciji obavljajući svoje radne zadatke i implementiranje inovacije u procesu rada. Zaposleni obavljaju sve vrste aktivnosti proizvoda i usluga, a sve u cilju boljih ostvaranja performansi organizacije. Oni uvode nove proizvode i usluge, iznalaže nova idejna rešenja, uvode nove tehnološke promene, radi poboljšanja efikasnosti organizacije. Zaposleni svojim doprinosom imaju potrebe zadovoljstva poslom, sigurnost na poslu, što se danas sve teže stiče, redovnu isplatu, stalno usavršavanje na poslu, timski rad, odgovornost, i dr.

AHP metoda pripada grupi metoda višekriterijumskog odlučivanja i jedna je od najpoznatija iz te grupe. Tvorac AHP metode je Saaty [11]. To je kvantitativna metoda, koja raščlanjuje složeni problem višekriterijumskog odlučivanja u višedimenzionalnu hijerarhijsku strukturu ciljeva, kriterijuma i alternativa [12].

Autori Erdila i Erbiyik [13] su, implementacijom AHP metode preko SWOT analize, koristili za izbor najbolje strategije i razvoj menadžmenta malog biznisa Turske (Selection Strategy via Analytic Hierarchy Process: An Application for a Small Enterprise in Milk Sector). Dok su autori Bartusková i Krestab [14], implementacijom AHP metode u sprezi sa SWOT analizom, vršili stratešku analizu izabrane organizacije (Application of AHP Method in External Strategic Analysis of the Selected Organization). Metoda AHP koristi za analizu strukture problema procene kadrova i određivanje njihovih težinskih koeficijenta [15].

U daljem koraku, AHP određuje težinske koeficijente kriterijuma, koji ukazuju na uticaj svakog kriterijuma na jačinu potreba i očekivanja zainteresovanih strana organizacije. Upoređenje se vrši u parovima, i to pomoću tabele-matrice poređenja. Tada se koristi skala od 1 do 9, kao što je prikazano u tabeli 1.

U ovom radu se AHP metoda koristi samo za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma. Ovaj proces uključuje sledeće zadatke:

- formiranje matrice poređenja kriterijuma,
- procenu stepena konzistentnosti u cilju provere konzistentnosti ovog procesa.

Tabela 1. Skala poređenja elemenata odlučivanja

| Dominantnosti | |
|-----------------------------|--------------|
| Opis | Ocena |
| Jednako | 1 |
| Slaba dominacija | 3 |
| Jaka dominacija | 5 |
| Vrlo jaka dominacija | 7 |
| Apsolutna dominacija | 9 |
| 2, 4, 6, 8 su međuvrednosti | |

Težinski koeficijenti kriterijuma se računaju na bazi Satijeva procedure (skale). Zatim se vrši provera stepena konzistentnosti, koji treba da ima vrednost manju od 0,1. Ako to nije slučaj, moraju se promeniti određene vrednosti (ocene), koje su unete u matricu poređenja sve dok stepen konzistentnosti ne padne ispod vrednosti od 0,1.

Na bazi toga, formira se matrica poređenja pomoću skale date u tabeli 1.

U tabeli 2 prikazana je ova matrica (dimenzija 5x5), dobijena na osnovu empirijske procene donosioca odluke (tima eksperata) sa ciljem da se odredi značaj svakog pojedinačnog kriterijuma za određivanje jačine potreba i očekivanja zainteresovanih strana.

Uz pomoć softvera Criterium Decision Plus dobijeni su rezultati koji su prikazani u tabeli 3.

Tabela 2. Matrica poređenja za kriterijume

| Kriterijumi | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| C ₁ | 1 | 7 | 1 | 5 | 3 |
| C ₂ | | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/2 |
| C ₃ | | | 1 | 1 | 2 |
| C ₄ | | | | 1 | 3 |
| C ₅ | | | | | 1 |

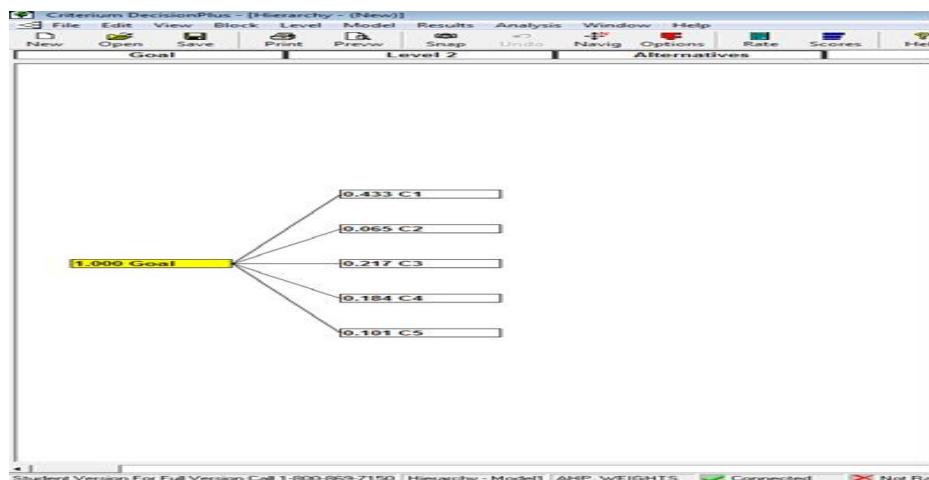
3. ANALIZA REZULTATA

U tabeli 3 prikazan je raspored uticaja razumevanja potrebe i očekivanja zainteresovanih strana u odnosu na kontekst organizacije. Analiza je bitna za implementaciju integrisanog sistema menadžmenta (ISM) organizacije. Menadžeri organizacija su ti koji stalno osluškuju šta se oko njenog radnog okruženja događa.

Tabela 3. Rezultati dobijeni AHP kalkulacijama

| Kriterijum | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Težinski koeficijenti kriterijuma | 0,433 | 0,065 | 0,217 | 0,184 | 0,101 |
| Koeficijent konzistentnosti | 0,082<0,100 | | | | |

Na slici 1 dat je šematski prikaz hijarhije potrebe i očekivanja. Prikazan je raspored zainteresovanih strana i njihov uticaj potreba i očekivanja.



Sl. 1. Hijarhija potreba i očekivanja

Predstavljena metodologija pruža mogućnost organizaciji za rešavaje njihovih zahteva na osnovu standarda ISO 9001:2015.

Po hijarhijskoj analizi, kupci ili korisnici (C1) kao zainteresovane strane zauzimaju prvo mesto, na drugom mestu su vlasnici (C3), treće mesto potreba i očekivanja zauzimaju menadžeri (C4), četvrto mesto zaposleni (C5), dok peto mesto dobavljači (C2).

Korisnici (C1) analizom razumevanja njihovih potreba i očekivanja imaju najveći uticaj na kontekst organizacije, jer imaju najveću vrednost težinskog koeficijenta 0,433. Shodno tome, njihov uticaj na kontekst organizacije za njihovo razumevanje potreba i očekivanja ima najveći procenat, i to 43,3%. Znači organizacija mora da ima percepciju za svoje kupce i njihove zahteve. Njen opstanak i strategija planiranja zavise najviše od njihovih potreba. Ako proizvodi i usluge organizacije ne zadovoljavaju potrebe i očekivanja kupaca, organizacija mora da menja svoje proizvode u skladu sa njihovim potrebama. Njihovi zahtevi moraju biti dokumentovani, tako da uvek mora da postoji anketa koju popunjavaju kupci prilikom korišćenja proizvoda i usluga. Znači stalno anketiranje korisnika ili kupca.

Profit organizacije je najvažniji vlasnicima, a i primenjena metoda nam pokazuje da vlasnici organizacije njihove potrebe i očekivanja iznose u odnosu na ostale zainteresovane strane sa 21,7%, jer težinski koeficijenat iznosi 0,217, to znači da su vlasnici na drugom mestu. Vlasnici su ti koji donose strateške odluke pri rešavanju realnih konfliktnih problema, projektovanje i implementacije sistema menadžmenta kvalitetom organizacije.

Na trećem mestu su menadžeri (C4) čiji je težinski koeficijenat 0,184. Njihove potrebe i očekivanja imaju 18,4% uticaja na razumevanje konteksta organizacije. Razlog za to je što menadžeri moraju posedovati neophodno znanje, koje će im pomoći da brzo reaguju na sve događaje i promene u svojim organizacijama.

Četvrto mesto zauzimaju zaposleni (C5) čiji je težinski koeficijenat 0,101, što znači da na kontekst organizacije razumevanje njihovih potreba i očekivanja utiču sa 10,1% na radno okruženje organizacije. Od zaposlenih zavisi da li će se sve aktivnosti odvijati u skladu sa ciljevima organizacije. Ostvareni ciljevi donose bolje performanse organizaciji.

Dobavljači, kao analizirane zainteresovane strane, zauzimaju peto mesto, jer njihov težinski koeficijenat iznosi 0,065. To znači da dobavljači u savremenom poslovanju u lancu snabdevanja proizvodnog sistema organizacije sa 6,5% utiču na kontekst organizacije.

AHP analiza pokazuje da razumevanje njihovih potreba i očekivanja za isporuku opreme na vreme i to po najpovoljnijim cenama, poverenje i smanjenje troškove isporuke robe utiču na kontekst organizacije sa 6,5%.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je da se predloži metodologija za evaluaciju razumevanja potreba i očekivanja zainteresovanih strana radi boljeg upoznavanja konteksta organizacije.

Razumevanje potreba i očekivanja zainteresovanih strana klauzula 4.2. je u sklopu tačke 4. Konteksta organizacije u ISO 9000:2015 kao izmena.

ISO 9001:2015 zahteva da menadžment organizacije identifikuje zainteresovane strane i njihove relevantne zahteve u cilju implementacije Sistema Menadžmenta Kvalitetom (QMS).

U radu je urađena multikriterijumska analiza potrebe i očekivanja zainteresovanih strana. Zainteresovane strane su dužne da poštuju zakonske regulative i da rade po međunarodnom ISO standardu 9001:2015. Razumevanje potreba i očekivanja zainteresovanih strana je urađena implementacijom AHP metode. Hijararhija potreba i očekivanja je sledeća: Kupci ili korisnici (C1) su na prvom mestu gde su njihove potrebe relevantne i to sa 43,3% za Sistem Menadžmenta Kvalitetom organizacije; na drugom mestu su vlasnici (C3) sa 21,7%; na trećem mestu su menadžeri (C4) koji utiču na razumevanje konteksta organizacije sa 18,4%; na četvrtom mestu su zaposleni (C5) sa 10,1%, i na petom mestu su dobavljači (C2) čiji procentualni deo iznosi 6,5%.

Predložena metodologija je urađena da bi se upoznali interno i eksterno okruženje organizacije u cilju efikasnije implementacije Sistema Menadžmenta Kvalitetom (QMS). Implementacijom QMS se zadovoljavaju specifične potrebe organizacije i potrebe zainteresovanih strana.

Očekivanja i potrebe zainteresovanih strana se menjaju u zavisnosti od promene tržišta, tako da organizacije trpe ogromne promene proizvoda i usluga. QMS poseduje standarde po kojima se prate i analiziraju zahtevi svih zainteresovanih strana.

Urađena metodologija služi kao pomoći alat za uspostavljanje i održavanje QMS, a menadžerima da bolje upoznaju svoju organizaciju i njene pozicije u odnosu na potrebe zainteresovanih strana.

Primenjena metodologija u ovom radu ima svoje prednosti za rešavanje konfliktne potrebe i očekivanja zainteresovanih strana.

Predlog za dalje istraživanje je integracija AHP i SWOT analize organizacije koja daje analizu snage, slabosti, prilike i pretnje organizacije.

ZAHVALNICA

Istraživanja su finansirana od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kao deo projekta TR33023 pod nazivom: „Razvoj tehnologije flotacijske koncentracije rude bakra i plemenitih metala radi postizanja boljih tehnoloških rezultata“.

LITERATURA

- [1] ISO standard 9001:2015
- [2] D. Bogdanović, Upravljanje promenama, Izdavač Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, 2016.

-
- [3] S. Miletić, Dž. Paunković, D. Bogdanović, D. Mihajlović, MCDM metode kao podrška strateškom odlučivanju za održivo poslovanje u rudarskim kompanijama, *Ekologica*, Vol. 24, 85 (2017) 182-187.
 - [4] D. Bogdanović, Lj. Obradović, S. Miletić, Selection the Optimum Method of Rehabilitation the Degraded Areas Around the Bor River Downstream from the Flotation Tailing Dump Bor, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, 4 (2014) 137-156.
 - [5] S. Miletić, D. Bogdanović, Dž. Paunković, Selection the Optimal Model of Integrated Sustainable Management System in the Mining Companies, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, 2 (2015) 181-204.
 - [6] S. Miletić, D. Bogdanović, D. Milanović, Advantages of Implementation the Process Model for Sustainable Business Operations of Mining Companies, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, 3 (2016) 71-82.
 - [7] A. Bufardi, D. Gheorghe, P. Hirouchakis, Multicriteria Decision-Aid Approach for Product end-of-life Alternative Selection, *International Journal of Production Research*, 42(16) (2004) 3139–3157.
 - [8] I. Mergias, K. Moustakas, M. Papadopoulos, M. Loiyidou, Multi-criteria Decision Aid Approach for the Selection of the Best Compromise Management Scheme for ELVs: the Case of Cyprus, 2007.
 - [9] D. Wu, D.L. Olson, Supply Chain Risk, Simulation, and Vendor Selection, *International Journal of Production Economics*, Management Department Faculty Publications, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada M5S 3G8, 114 (2) (2008) 646-655.
 - [10] S. Urošević, D. Karabašević, D. Stanukić, M. Maksimović, An Approach to Personnel Selection in the Tourism Industry Based on the Swara and Waspas Methods, *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, Vol. 51, 1 (2017) 75-88.
 - [11] T.L. Saaty, *The Analytical Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, USA, 1980.
 - [12] W.B. Lee, H. Lau, Z. Liu, S. Tam, A Fuzzy Analytical Hierarchy Process Approach in Modular Product Design, *Expert System*, 18 (1) (2001) 32-42.
 - [13] A. Erdila, H. Erbiyik, Selection Strategy via Analytic Hierarchy Process: an Application, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195 (2015) 2618-2628.
 - [14] T. Bartusková, A. Krestab, Application of AHP Method in External Strategic Analysis of the Selected Organization, *Procedia Economics and Finance*, 30 (2016) 146– 154.
 - [15] D. Bogdanović, S. Miletić, Personnel Evaluation and Selection by Multicriteria Decision Making Method, *Journal of Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 48 (3) (2014) 179-196.

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega uredništvo donosi odluku o objavljinju. Rad priložen za objavljinje treba da bude pripunjlen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripunjleni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

Obim i font. Rad treba da je napisan na papiru A4 formata (210x297 mm), margine (leva, desna, gornja i donja) sa po 25 mm, u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman, veličine 12, sa razmakom 1,5 reda, obostrano poravnat prema levoj i desnoj margini. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

Naslov rada treba da je isписан velikim slovima, bold, na srpskom i na engleskom jeziku. Ispod naslova rada piše se imena autora i institucija u kojoj rade. Autor rada zadužen za korespondenciju sa uredništvom mora da navede svoju e-mail adresu za kontakt u fusuotu.

Izvod se nalazi na početku rada i treba biti dužine do 200 reči, da sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke. Veličina fonta je 10, italic.

Ključne reči se navode ispod izvoda. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6. Veličina fonta je 10, italic.

Izvod i ključne reči treba da budu date i na engleski jezik.

Osnovni tekst. Radove treba pisati jezgrovito, razumljivim stilom i logičkim redom koji, po pravilu, uključuje uvodni deo s određenjem cilja ili problema rada, opis metodologije, prikaz dobijenih rezultata, kao i diskusiju rezultata sa zaključcima i implikacijama.

Glavni naslovi trebaju biti urađeni sa veličinom fonta 12, bold, sve velika slova i poravnati sa levom marginom.

Podnaslovi se pišu sa veličinom fonta 12, bold, poravnato prema levoj margini, velikim i malim slovima.

Slike i tabele. Svaka ilustracija i tabela moraju biti razumljive i bez čitanja teksta, odnosno, moraju imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenje oznaka, šifara, skraćenica i sl.). Tekst se navodi ispod slike, a iznad tabele. Redni brojevi slika i tabela se daju arapskim brojevima.

Reference u tekstu se navode u uglačastim zagradama, na pr. [1,3]. Reference se prilažu na kraju rada na sledeći način:

[1] B.A. Willis, Mineral Procesing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, str. 35. (za poglavje u knjizi)

[2] H. Ernst, Research Policy, 30 (2001) 143–157. (za članak u časopisu)

[3] www: <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (za web dokument)

Navodenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

Zahvalnost se daje po potrebi, na kraju rada, a treba da sadrži ime institucije koja je finansirala rezultate koji se daju u radu, sa nazivom i brojem projekta; ili ukoliko rad potiče iz magistarske teze ili doktorske disertacije, treba dati naziv teze/disertacije, mesto, godinu i fakultet na kojem je odbranjena. Veličina fonta 10, italic.

Radovi se šalju prevashodno elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je: Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs

Telefon: 030/454-260; 030/454-108

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

COPPER Journal is published twice a year and publishes the scientific, technical and review paper works. Only original works, not previously published and not simultaneously submitted for publications elsewhere, are accepted for publication in the journal. The papers are anonymously reviewed by the reviewers after that the Editorial decided to publish. The submitted work for publication should be prepared according to the instructions below as to be included in the procedure of reviewing. Inadequate prepared manuscripts will be returned to the author for finishing.

Volume and Font Size. The paper needs to be written on A4 paper (210x297 mm), margins (left, right, top and bottom) with each 25 mm, in the Microsoft Word later version, font Times New Roman, size 12, with 1.5 line spacing, justified to the left and right margins. It is recommended that the entire manuscript cannot be less than 5 pages and not exceed 10 pages.

Title of Paper should be written in capital letters, bold, in Serbian and English. Under the title, the names of authors and their affiliations should be written. Corresponding author must provide his/her e-mail address for contact in a footnote.

Abstract is at the beginning of the paper and should be up to 200 words include the aim of the work, the applied methods, the main results and conclusions. The font size is 10, italic.

Keywords are listed below the abstract. They should be minimum 3 and maximum of 6. The font size is 10, italic.

Abstract and Keywords should be also given in English language.

Basic Text. The papers should be written concisely, in understandable style and logical order that, as a rule, including the introduction part with a definition of the aim or problem of the work, a description of the methodology, presentation of the obtained results as well as a discussion of the results with conclusions and implications.

Main Titles should be done with the font size 12, all capital letters and aligned to the left margin.

Subtitles are written with the font size 12, bold, aligned to the left margin, large and small letters.

Figures and Tables. Each figure and table must be understandable without reading the text, i.e., must have a serial number, title and legend (explanation of marks, codes, abbreviations, etc.). The text is stated below the figure and above the table. Serial numbers of figures and tables are given in Arabic numbers.

References in the text are cited in square brackets, e.g. [1,3]. References are enclosed at the end of the paper as follows:

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, p. 35. (*for the chapter in a book*)

[2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (*for the article in a journal*)

[3] <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (*for web document*)

Citation of the unpublished works is not preferable and, if it is necessary, as much as possible completed data source should be listed.

Acknowledgement is given, as needed, at the end of the paper and should include the name of institution that funded the given results in the paper, with the project title and number; or if the work is resulted from the master thesis or doctoral dissertation, it should give the title of thesis/dissertation, place, year and faculty/university where it was defended. Font size is 10, italic.

The manuscripts are primarily sent by e-mail or in other electronic form.

Editorial Address: Journal COPPER
 Mining and Metallurgy Institute Bor
 35 Zeleni bulevar, 19210 Bor
 E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs
 Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-108

We are thankful for all authors on cooperation.

SADRŽAJ
CONTENS

| | |
|---|----|
| Srđana Magdalinović, Dragiša Stanujkić, Dragan Milanović, Vesna Marjanović, Nenad Magdalinović, Miomir Mikić, Sladana Krstić | |
| MINERALIZACIJA SA LOKALITETA KRIVELJSKI KAMEN - RUDA LEŽIŠTA VELIKI KRIVELJ - MOGUĆNOST ZAJEDNIČKE PRERADE - | |
| MINERALIZATION FROM THE LOCALITY OF KRIVELJSKI KAMEN - ORE DEPOSITS VELIKI KRIVELJ - THE POSSIBILITY OF JOINT PROCESSING- | 1 |
| Miomir Mikić, Radmilo Rajković, Milenko Jovanović, Daniela Urošević | |
| PRIKAZ I STANJE GLAVNIH OBJEKATA FLOTACIJSKOG JALOVIŠTA VELIKI KRIVELJ I KOLEKTORA KRIVELJSKE REKE KOD BORA | |
| OVERVIEW AND CONDITION OF THE MAJOR FACILITIES OF THE FLOTATION TAILING DUMP VELIKI KRIVELJ AND COLLECTOR OF THE KRIVELJ RIVER NEAR BOR | 13 |
| Nikola Stanić, Saša Stepanović, Željana Sekulović, Miljan Gomilanović | |
| UPOREDNA ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE I EMISIJE CO₂ ZA DISKONTINUALNI I KOMBINOVANI SISTEM TRANSPORTA NA PRIMERU POVRŠINSKOG KOPA SEVERNI REVIR | |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION AND CO ₂ EMISSION FOR DISCONTINUOUS AND COMBINED TRANSPORT SYSTEM AT THE OPEN PIT NORTH MINING DISTRICT | 19 |
| Miljan Gomilanović, Stefan Milanović, Nikola Stanić, Aleksandar Doderović, Nikola Simić | |
| IMPLEMENTACIJA SAVREMENIH TEHNOLOGIJA U CILJU KONTROLE RADOVA NA BUŠENJU I MINIRANJU | |
| IMPLEMENTATION OF THE MODERN TECHNOLOGIES IN ORDER TO CONTROL THE DRILLING AND BLASTING WORKS | 31 |
| Nikola Stanić, Saša Stepanović, Marko Mitrović, Aleksandar Doderović | |
| ANALIZA STABILNOSTI KOSINA UNUTRAŠNJEGL ODLAGALIŠTA KUTLOVAČA U FUNKCIJI REKONFIGURACIJE DTO SISTEMA NA POVRŠINSKOM KOPU POTRLICA | |
| ANALYSIS OF SLOPE STABILITY OF THE INTERNAL LANDFILL OF KUTLOVAČA IN A FUNCTION OF RECONFIGURATION THE DTO SYSTEM AT THE OPEN PIT POTRLICA | 43 |
| Dana Stanković, Ana Kostov, Biserka Trumić, Aleksandra Milosavljević | |
| DOBIJANJE I RAFINACIJA PALADIJUMA IZ IZRAĐENIH Pd-HVATAČA | |
| PALLADIUM RECOVERY AND REFINING FROM SPENT Pd-CATCHER | 59 |

| | |
|---|-----|
| Branka Pešovski, Danijela Simonović, Vesna Krstić | |
| RAZLIČITE VRSTE NANOMATERIJALA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA | |
| DIFFERENT TYPES OF NANOMATERIALS FOR THE WASTEWATER TREATMENT | 65 |
| Stefan Đordievski, Suzana Stanković | |
| ACIDITET I ALKALITET VODE BORSKE REKE I TIMOKA | |
| ACIDITY AND ALKALINITY OF WATER OF THE BOR RIVER AND TIMOK RIVER | 81 |
| Lidija Bućan, Radmila Marković, Ljubiša Obradović, Radojka Jonović, Ljiljana Avramović | |
| TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA PRERADE FLOTACIJSKE JALOVINE L-SX-EW METODOM | |
| TECHNO - ECONOMIC ANALYSIS OF FLOTATION TAILINGS PROCESSING BY L-SX-EW METHOD | 91 |
| Slavica Miletić, Dejan Bogdanović, Miroslav Ignjatović | |
| ANALIZA ZAHTEVA ZAINTERESOVANIH STRANA | |
| ANALYSIS OF THE STAKEHOLDER REQUESTS | 101 |
