

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
Технички факултет у Бору  
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Број:

Бор, 7.11. 2013.год.

Предмет: Покретање поступка за валидацију и верификацију техничког решења

У складу са Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата („Службени гласник РС“ бр. 38/2008), обраћамо се Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору са молбом да покрене поступак за валидацију и верификацију техничког решења под називом:

„Развој технологије за прераду флотацијске јаловине применом комбинованог пирометалуршког и хидрометалуршког поступка у циљу добијања бакра и заштита животне средине “

Аутора:

др Нада Штрбац, ред.проф. ,Технички факултет у Бору,  
др Иван Михајловић, ван. проф., Технички факултет у Бору,  
Александра Митовски,асистент, Технички факултет у Бору,  
др Мирослав Сокић, виши научни сарадник,ИТНМС, Београд,  
др Драгана Живковић, ред.проф. Технички факултет у Бору и  
др Бранислав Марковић , научни сарадник,ИТНМС у Београду.

Техничко решење ( М84 битно побољшана постојећа технологија ), резултат је реализације пројекта:

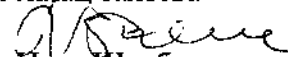
–пројекат бр. ТР 34023: “Развој технолошких процеса прераде нестандарних концентрата бакра у циљу оптимизације емисије загађујућих материја “ ,  
руководилац проф. др Нада Штрбац, Технички факултет у Бору

-пројекат бр.ON 172037 :“ Савремени вишекомпонентни метални системи и наноструктурни материјали са различитим функционалним својствима “  
руководилац проф. Др Драгана Живковић, Технички факултет у Бору и

За рецензенте предлажемо:

2. др Ана Костов,научни саветник Института за рударство и металургију у Бору и
2. Др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета у Београду.

Подносилац захтева



Проф.др Нада Штрбац

Универзитет у Београду,Технички факултет у Бору

Универзитет у Београду  
Технички факултет у Бору  
Број: VI/4-12-17  
Бор, 19. 11. 2013. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно научно веће Факултета, на седници одржаној 19. 11. 2013. године, донело је

## ОДЛУКУ

I Прихвата се Захтев за валидацију и верификацију техничког решења под називом: „Развој технологије за прераду флотацијске јаловине применом комбинованог пирометалуршког и хидрометалуршког поступка у циљу добијања бакра и заштита животне средине“, аутора др Наде Штрбац, редовног професора Техничког факултета у Бору, др Ивана Михајловића, ванредног професора Техничког факултета у Бору, Александре Митовски, дипл. инжм металург., асистента Техничког факултета у Бору, др Мирослава Сокића, вишег научног сарадника ИТНМС-а у Београду, др Драгане Живковић, редовног професора Техничког факултета у Бору и др Бранислава Марковића, научног сарадника ИТНМС-а у Београду, које је настало као резултат реализације пројеката: „Развој технолошких процеса прераде нестандартних концентрата бакра у циљу оптимизације емисије загађујућих материја“, ТР 34023 у области Материјали и хемијске технологије.

II Прихвата се предлог предложених рецензената:

1. др Ана Костов, научни саветник Институт за рударство и металургију Бор;
2. др Жељко Камберовић, редовни професор Технолошко металуршког факултета у Београду.

III Захтев за валидацију и верификацију техничког решења под називом: „Развој технологије за прераду флотацијске јаловине применом комбинованог пирометалуршког и хидрометалуршког поступка у циљу добијања бакра и заштита животне средине“, аутора др Наде Штрбац, редовног професора Техничког факултета у Бору, др Ивана Михајловића, ванредног професора Техничког факултета у Бору, Александре Митовски, дипл. инжм металург., асистента Техничког факултета у Бору, др Мирослава Сокића, вишег научног сарадника ИТНМС-а у Београду, др Драгане Живковић, редовног професора Техничког факултета у Бору и др Бранислава Марковића, научног сарадника ИТНМС-а у Београду саставни је део ове одлуке.

Доставити:

- продекану за НИР
- именованима
- архиви

ПРЕДСЕДНИК

НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА



ДЕКАН

Проф. др Милан Антоновић

**TEHNIČKO REŠENJE  
(M84)**

**BITNO POBOLJŠANA POSTOJEĆA TEHNOLOGIJA:**

**RAZVOJ TEHNOLOGIJE ZA PRERADU FLOTACIJSKE JALOVINE  
PRIMENOM KOMBINOVANOG PIROMETALURŠKOG I  
HIDROMETALURŠKOG POSTUPKA U CILJU DOBIJANJA BAKRA I  
ZAŠTITA ŽIVOTNE SREDINE**

## **1. Autori tehničkog rešenja**

Prof. dr Nada Štrbac, dipl.inž.  
Prof. dr Ivan Mihajlović, dipl.inž.  
Asistent Aleksandra Mitovski, dipl.inž.  
Dr Miroslav Sokić, dipl. inž.  
Prof. dr Dragana Živković, dipl. inž.  
Dr Branislav Marković, dipl. inž.

## **2. Naziv tehničkog rešenja**

Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine

## **3. Ključne reči**

Flotacijska jalovina, postupci prerade, dobijanje bakra.

## **4. Tehničko rešenje proizašlo kao rezultat projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja za treću istraživačku godinu 2013.**

Projekat br. TR34023: „Razvoj tehnoloških procesa prerade nestandardnih koncentrata bakra u cilju optimizacije emisije zagađujućih materija”, rukovodilac prof. dr Nada Štrbac, TF Bor

Projekat br. ON172037: „Savremeni višekomponentni metalni sistemi i nanostrukturni materijali sa različitim funkcionalnim svojstvima“, rukovodilac prof. dr Dragana Živković, TF Bor

## **5. Godina kada je tehničko rešenje kompletirano i od kada se primenjuje**

2013. godina

## **6. Korisnik tehničkog rešenja**

RTB Bor Grupa – Topionica i rafinacija bakra Bor

## **7. Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi**

Materijali i hemijske tehnologije

## 1. Uvodne napomene

Značajan porast u globalnoj potrošnji metala praćen je odgovarajućim porastom u rudarskoj proizvodnji. Sa druge strane, porast proizvodnje metala rezultuje u progresivnom osiromašivanju rudnih rezervi, kao primarnih sirovina. Pri proizvodnji bakra pirometalurškom preradom koncentrata, pored osnovnog proizvoda-katodnog bakra, obrazuju se i akumuliraju različiti nusproizvodi-šljake, otpadni gasovi, prašina, i dr. sa značajnim sadržajem i drugih metala pored bakra. Stoga je neophodno razmotriti potencijalne tehnologije za obogaćivanje i preradu postojećih jalovišta, metalurških šljaka, dimne prašine, itd.

Flotacijska jalovišta su izvori zagađivanja ne samo sa aspekta degradiranja područja gde su jalovišta locirana, već i zbog prašine koja zagađuje vazduh i raznosi se na okolno zemljište, već i zbog spiranja flotacijskog materijala putem kiše, zatim prodora zagađene vode i njeno odvođenje u vodotokove.

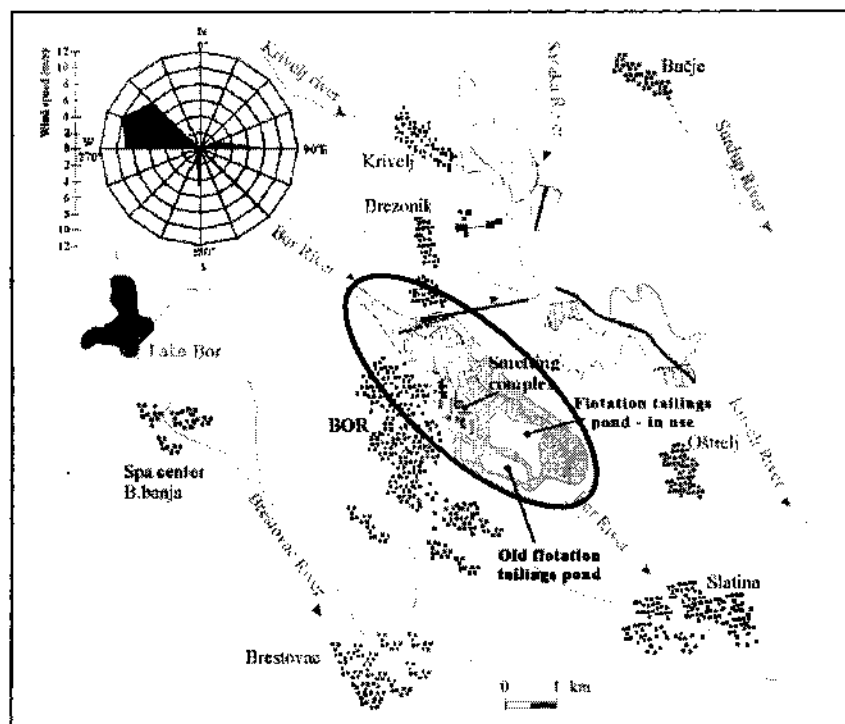
Takođe treba napomenuti da prerada otpadnih sekundarnih sirovina omogućuje kompleksno iskorišćenje sirovine uz istovremeno minimalne utroške rada i energije, pri čemu su dobijeni proizvodi iz sekundarnih sirovina potpuno adekvatni proizvodima dobijenim iz primarnih sirovina.

## 2. Problematika i stanje u oblasti razvoja tehnologije prerade flotacijske jalovine

Nekoliko poslednjih decenija posebno se naglašava postojanje ekološke problematike industrijskih jalovišta i odlagališta. Dostupna literatura ukazuje na sve intenzivnije istraživačke napore kako bi se negativni efekti već postojećeg stanja ublažili, odnosno modifikovanja postojećih tehnologija i razvoja novih, čistijih tehnologija kojima bi se negativni efekti proizvodnje minimizirali.

Flotacijska jalovina starog Borskog flotacijskog jalovišta (slika 1), pored toga što predstavlja permanentnog zagađivača zemljišta, vode i vazduha, sadrži i značajne količine korisnih komponenti, pre svega bakra i plemenitih metala.

Uzimajući u obzir količinu jalovine, kao i sadržaj korisnih komponenti, jalovina predstavlja potencijalnu sirovinu za valorizaciju bakra i plemenitih metala. Veliku teškoću predstavlja kompleksan mineraloški sastav, odnosno veliko učešće oksidnih minerala koji su nastali procesom oksidacije u dužem vremenskom periodu, a što zahteva primenu komplikovanih tehnologija prerade.



Slika 1. Lokacija flotacijskog jalovišta blizu Bora

Masa jalovine na jalovištu procenjuje se na oko 27 miliona tona, sa srednjim sadržajem bakra od oko 0,2-0,4 %, što znači da se u istom nalazi oko 50-100 hiljada tona bakra. Jalovište borskog postrojenja za flotacijsku koncentraciju nalazi se zapadno i jugozapadno od samog postrojenja. Ono ispunjava nekadašnje korito borske reke u kome je deponovana jalovina. Flotacijsko jalovište zauzima površinu od 43,6 ha i nalazi se između objekata RTB-a i naselja „II kilometar“. Celo jalovište je prostorno podeljeno branama od ciklonirane jalovine na tri polja (polje I, polje II i polje III).

### 3. Problem koji se rešava tehničkim rešenjem

Tehničkim rešenjem se prikazuje tehnološki postupak za valorizaciju bakra iz flotacijske jalovine i odlaganje procesnog ostatka na ekološki bezbedniju lokaciju, čime se postižu pozitivni ekonomski i ekološki efekti, obzirom da se postiže maksimalno moguće iskorišćenje na korisnoj komponenti, dok će krajnji otpadni materijal predstavljati daleko manju ekološku pretnju nego što je to danas.

Tokom sprovedenih istraživanja u okviru navedenog projekta došlo se do tehničkog rešenja koje je moguće primeniti u cilju dobijanja bakra iz flotacijske jalovine. Sam postupak ekstrakcije bakra uključuje i pirometalurški i hidrometalurški tretman otpadne flotacijske jalovine.

### 4. Suština, opis i karakteristike tehničkog rešenja

Za eksperimentalna istraživanja izvršeno je uzorkovanje sa dubine 10 metara, na lokaciji Jalovište - Polje I. Određivanje granulometrijskog sastava uzorka izvršeno je u skladu sa standardom SRPS ISO 2591-1:1992, prosejavanjem mokrim postupkom.

Hemijska analiza ispitivanih uzoraka određena je standardnom procedurom, dok je EDXRF spektroskopija izvršena na uređaju Canberra sa radioizotopima za ekscitaciju: Am-241 i sa katodnom cevi.

Rentgenska difrakciona analiza korišćena je za određivanje i praćenje faznog sastava uzorka. Ispitivanja su vršena na rentgenskom difraktometru „PHILIPS“ model PW-1710, sa zakrivljenim grafitnim monohromatorom i scintilacionim brojačem. Intenziteti difraktovanog  $\text{CuK}\alpha$  rentgenskog zračenja ( $\lambda=1,54178 \text{ \AA}$ ) mereni su na sobnoj temperaturi u intervalima  $0,02 \text{ } 2\theta$  i vremenu od 0,5 sekundi, u opsegu od  $4^\circ$  do  $65^\circ \text{ } 2\theta$ . Rentgenska cev bila je opterećena sa naponom od 40 kV i struji 30 mA, dok su prerezi za usmeravanje primarnog i difraktovanog snopa bili  $1^\circ$  i 0,1 mm.

Uzorci su tretirani na taj način što su najpre bili podvrgnuti sulfatizacionom prženju, a potom luženju sa vodom, u različitim vremenskim intervalima. Sulfatizaciono prženje vršeno je do temperature od 523 K u vremenu 1-12 časova. Luženje je vršeno pri odnosima  $\text{Č} : \text{T} = 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3$  i  $1 : 4$  u vremenskim intervalima luženja od 20 minuta do 60 minuta.

U tabeli 1 prikazan je hemijski sastav i polaznog uzorka.

Tabela 1. Hemijski sastav polaznog uzorka

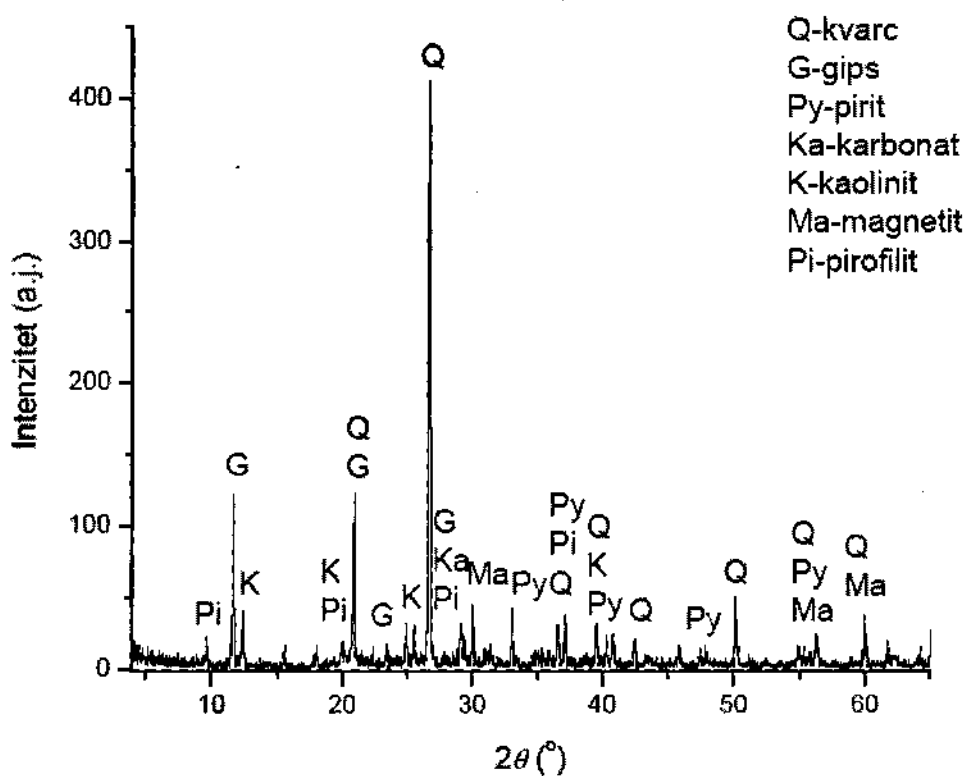
Komponenta	Sadržaj, mas %	Komponenta	Sadržaj, mas %
$\text{Cu}_{\text{uk}}$	0,24	$\text{SiO}_2$	56,72
$\text{Cu}_{\text{ox}}$	0,005	$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,64
$\text{Cu}_{\text{sulf}}$	0,235	Fe	8,65
S	10,56	Zn	0,005
As	0,026	Mn	0,011
Pb	0,003	CaO	0,95
Sn	0,0071	MgO	0,052
Sb	0,003	Ostatak	< 10
Ba	0,0048	Au (g/t)	0,1
Sr	0,011	Ag (g/t)	1,1

Granulometrijski sastav polaznog uzorka prikazan je u tabeli 2.

Tabela 2. Granulometrijski sastav polaznog uzorka

$\mu\text{m}$	M, %	R, % prosev	D, % odsev
-0,600+0,425	3,00	3,00	100,00
-0,425+0,300	11,00	14,00	97,00
-0,300+0,212	12,80	26,80	86,00
-0,212+0,106	18,80	45,60	73,20
-0,106+0,075	8,40	54,00	54,40
-0,075+0,053	6,60	60,60	46,00
-0,053+0,038	4,40	65,00	39,40
-0,038	35,00	100,00	35,00

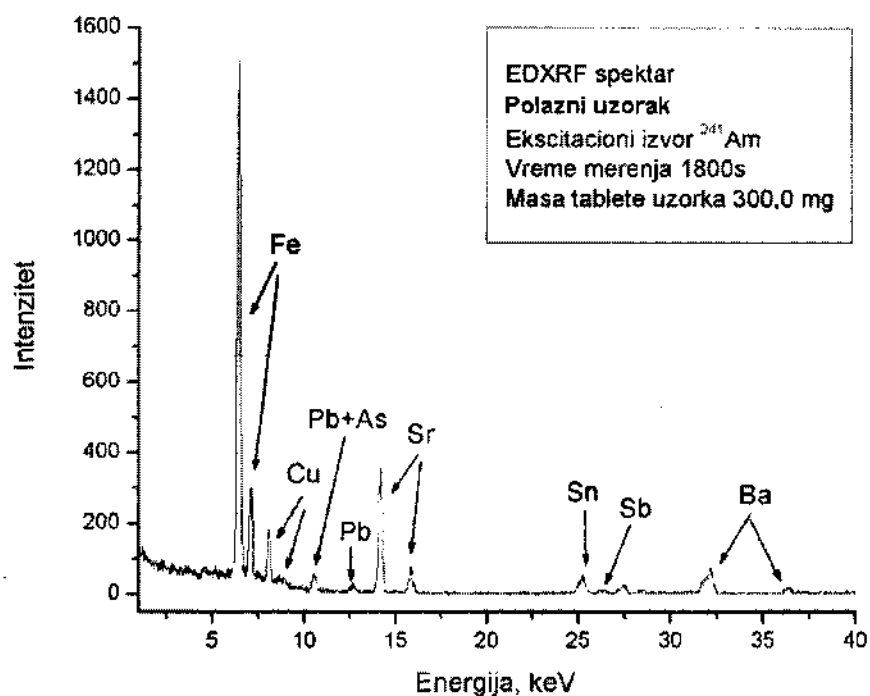
Na slici 2 prikazani su rezultati X-ray analize ispitivanog polaznog uzorka jalovine.



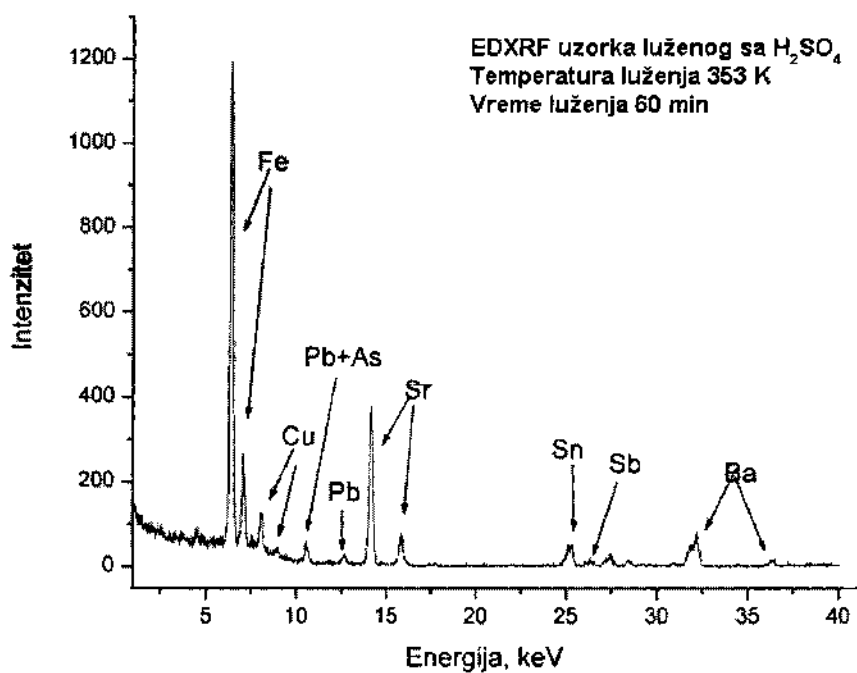
Slika 2. Rezultati X-ray analize polaznog uzorka jalovine

U analiziranom uzorku utvrđeno je prisustvo sledećih minerala: kvarca, gipsa, pirita, karbonata, kaolinita, magnetita i pirofilita.

Rezultati EDXRF spektroskopije polaznog uzorka i uzorka nakon tretmana sa sumpornom kiselinom, prikazani su na slikama 3 i 4.



Slika 3. EDXRF polaznog uzorka

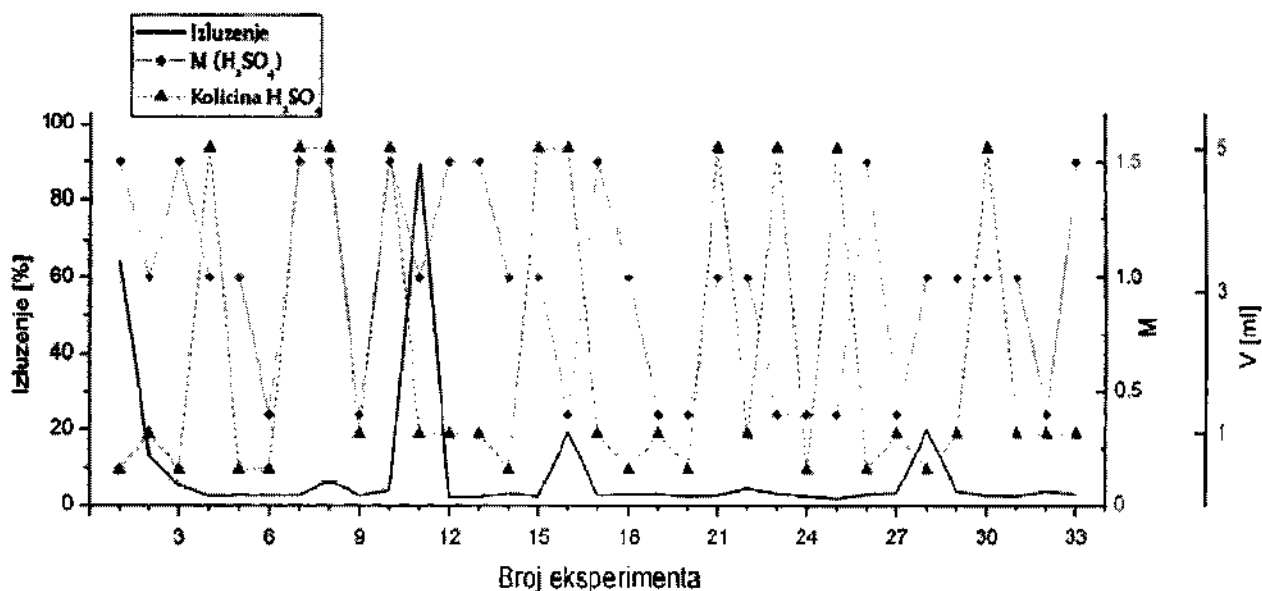


Slika 4. EDXRF uzorka luženog sumpornom kiselinom 60 minuta na temperaturi 353 K

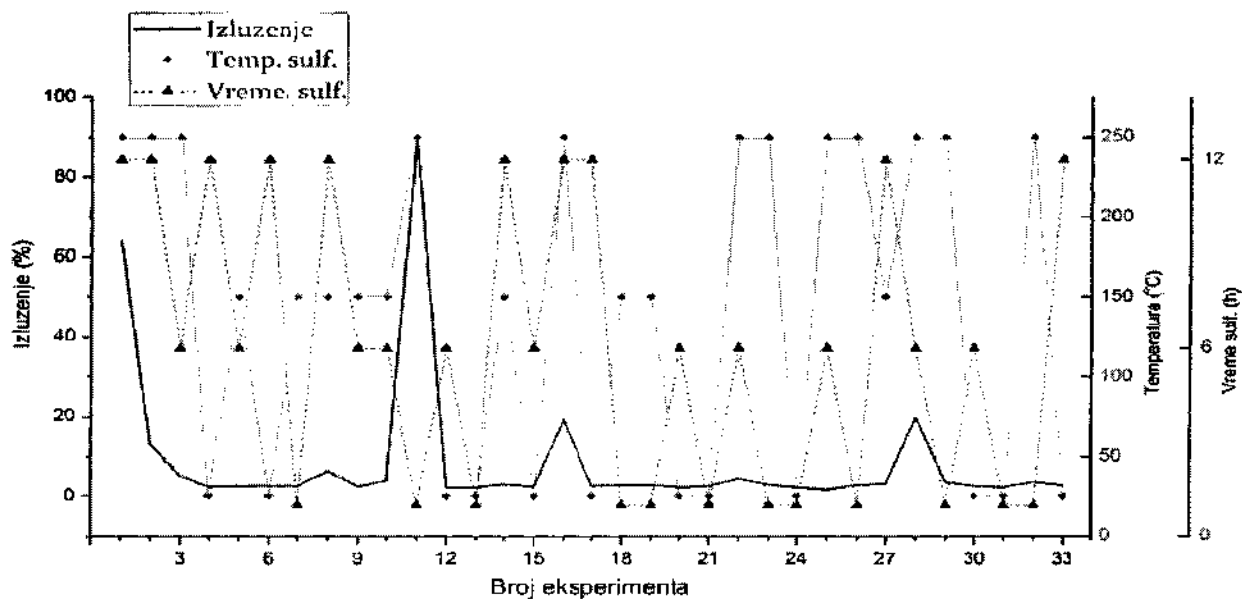
Dobijeni rezultati (Slike 3 i 4) ukazuju na prisustvo bakra u polaznom uzorku. Takođe treba napomenuti da se sadržaj bakra snižava nakon hidrometalurškog tretmana, što potvrđuju i rezultati hemijske analize, jer je u datom slučaju postignut stepen izluženja od 65 %.

Na slikama 5 i 6 prikazani su rezultati stepena izluženja bakra u funkciji koncentracije sumporne kiseline, odnosa Č : T, vremena i temperature sulfatizacije.





Slika 5. Zavisnost stepena izluženja bakra u funkciji koncentracije sumporne kiseline i odnosa čvrsto-tečno



Slika 6. Zavisnost stepena izluženja bakra u funkciji vremena i temperature sulfatizacije

Dobijeni rezultati ukazuju da se najveći stepen izluženja bakra od približno 90 % (89,57 %) postiže pri sledećim parametrima: odnos faza Č : T = 1 : 4; temperatura luženja 323 K; vreme luženja 40 minuta; koncentracija  $H_2SO_4$  1M; vreme sulfatizacije 1h, i temperatura sulfatizacije 525 K.

Kao potvrda rezultata eksperimentalnih istraživanja, primenjena je statistička metoda faktorskog dizajna eksperimenta, koja je uključivala sledeće faze: statistički dizajn eksperimenta, procenu koeficijenata kroz matematički model i statističku analizu.

Osam faktora je izabrano za karakteristične parametre procesa, prikazanih u tabeli 3.

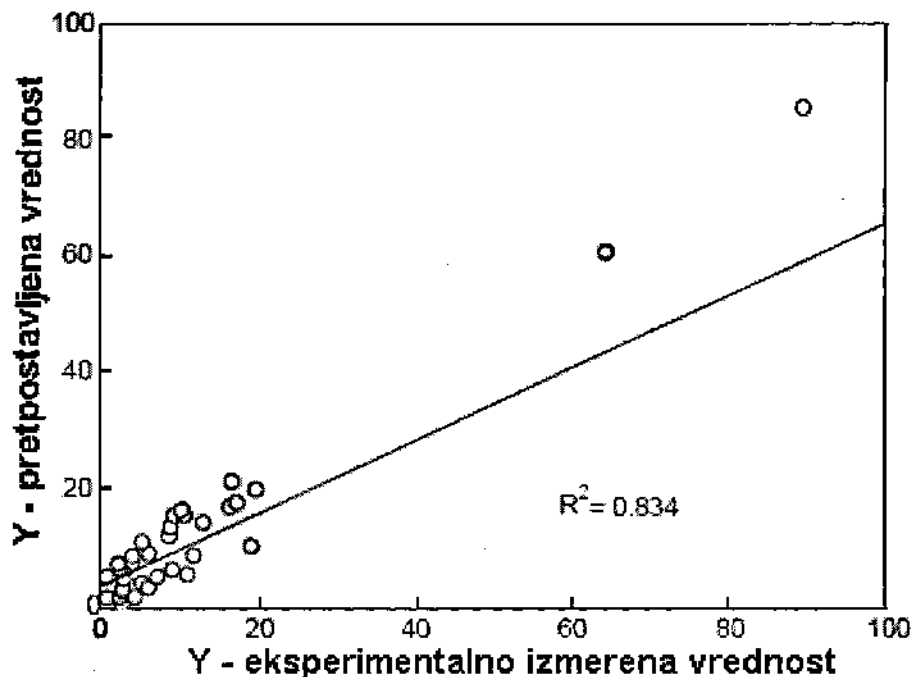
Tabela 3. Karakteristični parametri procesa podeljeni po nivoima

FAKTOR	MAKSIMALNI NIVO	SREDNJI NIVO	MINIMALNI NIVO
Odnos čvrsto-tečno tokom sulfatizacije ( $X_1$ )	100 : 1	50 : 1	10 : 1
Temperatura sulfatizacije, °C ( $X_2$ )	250	150	25
Vreme sulfatizacije, h ( $X_3$ )	12	6	1
Odnos čvrsto-tečno tokom luženja ( $X_4$ )	1 : 1	1 : 2	1 : 4
Temperatura luženja, °C ( $X_5$ )	80	50	25
Vreme luženja, min ( $X_6$ )	60	40	20
Brzina mešanja, min <sup>-1</sup> ( $X_7$ )	600	300	100
Koncentracija H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , M ( $X_8$ )	1,5	1	0,4

Model prvog reda primenjen je za fitovanje eksperimentalnih podataka. Sa osam faktora, i tri faktorska nivoa predloženi faktorski dizajn plana eksperimenta zahtevao je 27 eksperimenata sa dodatnih 6 replikanata radi procene eksperimentalne greške. Eksperimenti su izvođeni slučajnim izborom. Rezultati ekstrakcije bakra ubačeni su u bazu podataka kao izlazna varijabla Y. Primenom MLRA na rezultate prvih 27 eksperimenata, dobijen je model prvog reda. Vrednosti koeficijenata koji su imali statističku značajnost ( $p < 0,01$ ) uključeni su u krajnju jednačinu modela, datog izrazom 1.

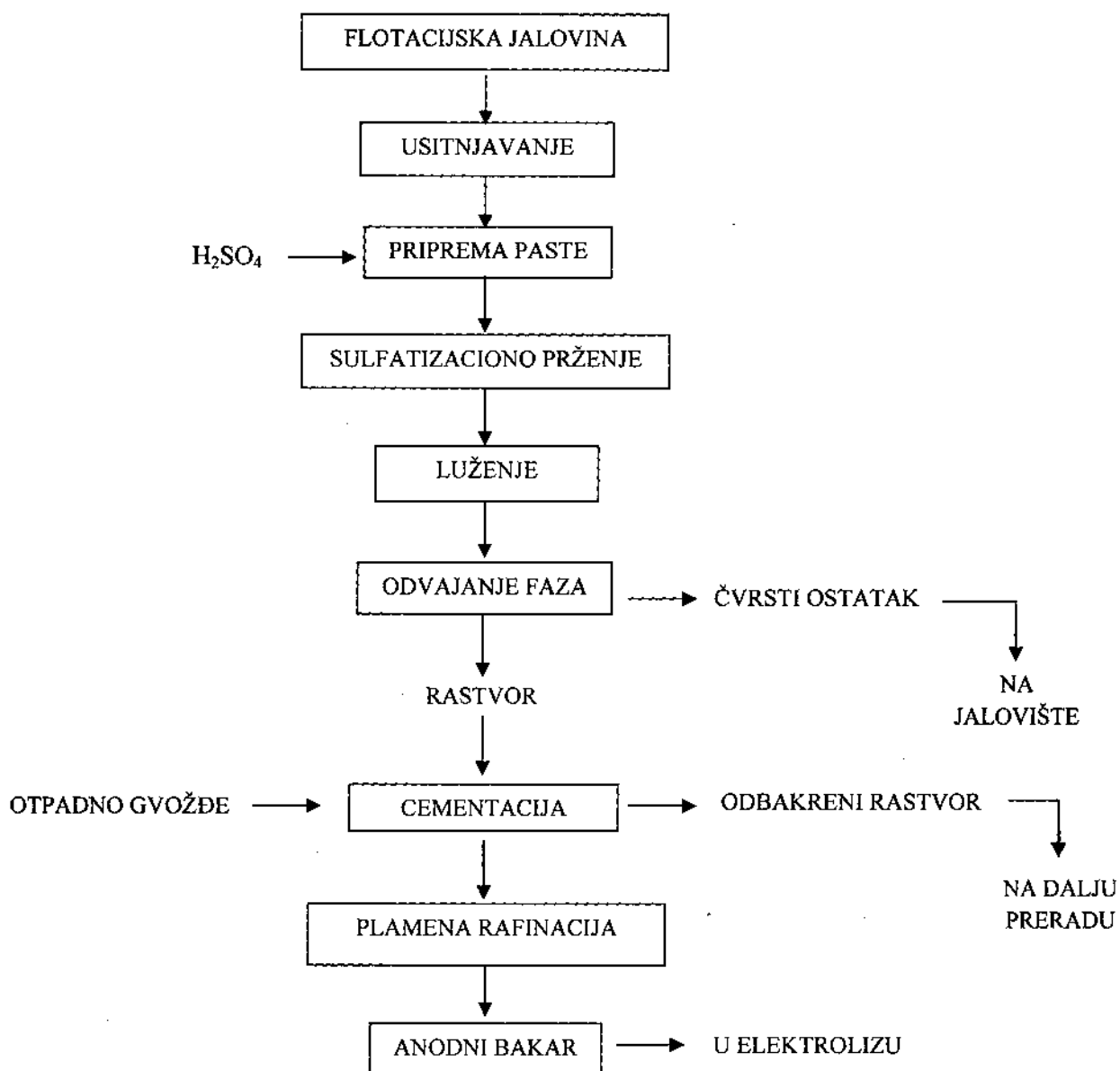
$$Y = -30,513 - 0,401X_1 + 0,743X_5 + 0,819X_6 - 0,001X_1X_2 - 0,002X_1X_5 - 0,219X_2X_4 + 0,004X_2X_5 + 0,075X_2X_8 + 5,215X_3X_4 - 0,108X_3X_6 + 0,002X_3X_7 - 0,793X_3X_8 + 0,314X_5X_8 \quad (1)$$

Na slici 7 prikazana je korelacija između eksperimentalno određenih vrednosti izluženja bakra iz flotacijske jalovine i vrednosti pretpostavljenih modelom. Visoka vrednost  $R^2$  ukazuje na jaku vezu između pretpostavljenih i eksperimentalno dobijenih vrednosti, što znači da se dobijeni model prvog reda može primeniti za predviđanje i optimizaciju procesa ekstrakcije bakra iz flotacijske jalovine sa zadovoljavajućom tačnošću.



Slika 7. Korelacija između eksperimentalno dobijenih i modelom pretpostavljenih vrednosti izluženja bakra

Na osnovu rezultata eksperimentalnih istraživanja, predložena je tehnološka šema ekstrakcije bakra iz flotacijske jalovine, prikazana na slici 8.



Slika 8. Principijelna tehnološka šema dobijanja bakra iz flotacijske jalovine

### 3. Zaključna razmatranja

Imajući u vidu količinu jalovine, kao i sadržaj korisnih komponenti, jalovina predstavlja potencijalnu sirovinu za valorizaciju bakra i plemenitih metala, kako sa ekonomskog, tako i sa ekološkog stanovišta. Visoka cena bakra na svetskom tržištu čini ovaj projekat održivim, jer finansijska sredstva dobijena prodajom bakra mogu se koristiti za remedijaciju i bezbedno uklanjanje otpadnih materijala koji bi ostali nakon ekstrakcije bakra iz trenutno postojeće flotacijske jalovine.

Eksperimentalna istraživanja iz kojih je proisteklo tehničko rešenje pokazala su da je kombinovanim pirometalurško-hidrometalurškim tretmanom flotacijske jalovine moguće efikasno izdvojiti bakar. Treba napomenuti da se najveći stepen izluženja bakra od približno 90% postiže pri sledećim parametrima: odnos Č:T-1:4; temperatura luženja: 323K; vreme luženja: 40 minuta; koncentracija  $H_2SO_4$ -1M; vreme sulfatizacije 1h pri temperaturi od 523K.

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

### Tehničkog fakulteta u Boru

Predmet:	Recenzija tehničkog rešenja kategorije M 84 - Bitno poboljšana postojeća tehnologija
Naziv tehničkog rešenja:	Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine
Autori:	Prof. dr Nada Štrbac, dipl.inž. Prof. dr Ivan Mihajlović, dipl.inž. Asistent Aleksandra Mitovski, dipl inž Dr Miroslav Sokić, dipl. inž. Prof. dr Dragana Živković, dipl. inž. Dr Branislav Marković, dipl. inž.

#### Mišljenje recenzenta

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehničkog fakulteta u Boru, broj VI/4-12-17 od 19. 11. 2013. godine određena sam za recenzenta tehničkog rešenja pod nazivom „*Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine*“ koji predstavlja rezultat istraživanja autora u okviru projekata br. TR34023 i ON172037, čiju realizaciju finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Na osnovu analize priloženog materijala Nastavno-naučnom veću Tehničkog fakulteta u Boru, prilažem sledeće:

#### M I Š L J E N J E

Tehničko rešenje pod nazivom „*Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine*“ prikazano je na 10 stranica A4 formata, i sadrži 8 slika i 3 tabele. Tehničko rešenje je obrađeno u skladu sa zahtevima definisanim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača („Službeni glasnik RS“ br. 38/2008).

Sadržaj tehnološkog rešenja obuhvata sledeće celine:

1. Naslovna strana, koja sadrži podatke o: autorima tehničkog rešenja; naziv tehničkog rešenja; ključne reči; naziv projekata iz kojih je tehničko rešenje proizašlo kao rezultat finansiranja resornog ministarstva za treću istraživačku godinu 2013; korisnike tehničkog rešenja; godinu kada je tehničko rešenje kompletirano; i oblast i naučnu disciplinu na koju se tehničko rešenje odnosi
2. Uvodne napomene
3. Problematika i stanje u oblasti razvoja tehnologije prerade flotacijske jalovine
4. Problem koji se rešava tehničkim rešenjem
5. Suština, opis i karakteristike tehničkog rešenja
6. Zaključna razmatranja

U prvom delu tehničkog rešenja autori su detaljno obrazložili problematiku i stanje u oblasti razvoja tehnologije prerade flotacijske jalovine, sa detaljnim literaturnim pregledom dosadašnjih istraživanja u svetu. Flotacijska jalovišta su izvori zagađivanja ne samo sa aspekta degradiranja područja gde su jalovišta locirana, već i zbog prašine koja zagađuje vazduh i raznosi se na okolno zemljište, već i zbog spiranja flotacijskog materijala putem kiše, zatim prodora zagađene vode i njeno odvođenje u vodotokove. Nekoliko poslednjih decenija posebno se naglašava postojanje ekološke problematike industrijskih jalovišta i odlagališta. Dostupna literatura ukazuje na sve intenzivnije istraživačke napore kako bi se negativni efekti već postojećeg stanja ublažili, odnosno modifikovanja postojećih tehnologija i razvoja novih, čistijih tehnologija kojima bi se negativni efekti proizvodnje minimizirali. Flotacijska jalovina starog Borskog flotacijskog jalovišta (slika 1), pored toga što predstavlja permanentnog zagađivača zemljišta, vode i vazduha, sadrži i značajne količine korisnih komponenti, pre svega bakra i plemenitih metala. Uzimajući u obzir količinu jalovine, kao i sadržaj korisnih komponenti, jalovina predstavlja potencijalnu sirovinu za valorizaciju bakra i plemenitih metala. Veliku teškoću predstavlja kompleksan mineraloški sastav, odnosno veliko učešće oksidnih minerala koji su nastali procesom oksidacije u dužem vremenskom periodu, a što zahteva primenu komplikovanih tehnologija prerade.

U drugom delu tehničkog rešenja autori su detaljno opisali tehnologiju prerade flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka. Sva istraživanja propraćena su većim brojem eksperimenata i dokumentovana različitim metodama ispitivanja, prevashodno karakterizacije polazne sirovine, procesnih parametara i izlazne veličine, odnosno stepena iskorišćenja bakra. Poboljšana tehnologija potkrepljena je principijelnom tehnološkom šemom dobijanja bakra iz flotacijske jalovine.

Prikazani rezultat – bitno poboljšana tehnologija za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštite životne sredine, od značaja je obzirom da se implementacijom ove poboljšane tehnologije postiže maksimalno moguće iskorišćenje na korisnoj komponenti, tj. bakru, dok će krajnji otpadni materijal predstavljati daleko manju ekološku pretnju nego što je to danas slučaj.

Originalnost tehničkog rešenja ogleda se u implementaciji novih procesnih parametara i načinu tretmana flotacijske jalovine koji predstavlja kombinaciju pirometalurškog i hidrometalurškog tretmana u cilju maksimalne utilizacije zaostalog bakra iz jalovine.


Na osnovu analize priloženog tehničkog rešenja, podnosim sledeći

## ZAKLJUČAK

Dokumentacija tehničkog rešenja „*Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine*“ pripremljena je u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača („Službeni glasnik RS“ br. 38/2008). Tehničko rešenje jasno i detaljno prezentuje oblast i naučnu disciplinu, problem koji se se tehničkim rešenjem rešava, stanje rešenosti u svetu i kod nas, opis tehničkog rešenja, sa karakteristikama i mogućnostima primene. Na osnovu izloženih argumenata predlažem da se tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju **M84 – Bitno poboljšana postojeća tehnologija** pomenutog pravilnika.

Bor, decembar 2013. god.

RECENZENT



dr Ana Kostov, naučni savetnik

**Predmet:** Recenzija tehničkog rešenja kategorije M84-Bitno poboljšana postojeća tehnologija

**Naziv tehničkog rešenja:** Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštite životne sredine

**Autori:** Prof. dr Nada Štrbac, dipl.inž.  
Prof. dr Ivan Mihajlović, dipl.inž.  
Assistent Aleksandra Mitovski, dipl inž  
Dr Miroslav Sokić, dipl. inž.  
Prof. dr Dragana Živković, dipl. inž.  
Dr Branislav Marković, dipl. inž.

#### Mišljenje recenzenta

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehničkog fakulteta u Boru, broj VI/4-12-17 od 19.11.2013. godine, određen sam za recenzenta tehničkog rešenja pod nazivom „Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštite životne sredine“ koje predstavlja rezultat istraživanja autora u okviru projekata

TR34023: „Razvoj tehnoloških procesa prerade nestandardnih koncentrata bakra u cilju optimizacije emisije zagađujućih materija”, rukovodilac prof. dr Nada Štrbac, TF Bor

i  
ON172037: „Savremeni višekomponentni metalni sistemi i nanostrukturalni materijali sa različitim funkcionalnim svojstvima“, rukovodilac prof. dr Dragana Živković, TF Bor

Na osnovu analize priloženog materijala, Naučnom veću Tehničkog fakulteta prilažem sledeće:

#### **MIŠLJENJE**

Tehničko rešenje pod nazivom „Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštite životne sredine“ je prikazano na 10 stranica A4 formata, i sadrži 8 slika, 3 tabele i šemu tehnološkog postupka. Tehničko rešenje je obrađeno u skladu sa zahtevima definisanim Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača („Službeni glasnik RS“ br. 38/2008).

Sadržaj tehnološkog rešenja obuhvata sledeće celine:

1. Naslovna strana, koja sadrži podatke o: autorima tehničkog rešenja; naziv tehničkog rešenja; ključne reči; naziv projekata iz kojih je tehničko rešenje proizašlo kao rezultat finansiranja resernog ministarstva za treću istraživačku godinu, korisnika tehničkog rešenja; godinu kada je tehničko rešenje verifikovano; i oblast i naučnu disciplinu na koju se tehničko rešenje odnosi

2. Uvodne napomene
3. Problematika i stanje u oblasti razvoja tehnologije prerade flotacijske jalovine
4. Problem koji se rešava tehničkim rešenjem
5. Suština, opis i karakteristike tehničkog rešenja
6. Zaključna razmatranja

U prvom delu tehničkog rešenja autori su detaljno obrazložili problematiku i stanje vezano za preradu flotacijske jalovine. Flotacijska jalovina starog Borskog flotacijskog jalovišta, pored toga što predstavlja permanentnog zagađivača zemljišta, vode i vazduha, sadrži i značajne količine korisnih komponenti, pre svega bakra i plemenitih metala. Masa jalovine na jalovištu procenjuje se na oko 27 miliona tona, sa srednjim sadržajem bakra od oko 0,2-0,4 %, što znači da se u istom nalazi oko 50-100 hiljada tona bakra. Veliku teškoću pri njenoj preradi predstavlja kompleksan mineraloški sastav. Implementacijom tehnološkog postupka za preradu flotacijske jalovine vrši se valorizacija bakra i odlaganje procesnog ostatka na ekološki bezbedniju lokaciju, čime se postižu pozitivni ekonomski i ekološki efekti.

U drugom delu tehničkog rešenja autori su detaljno opisali tehnologiju prerade flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog tretmana. Sva istraživanja propraćena su velikim brojem eksperimenata i dokumentovana rezultatima hemijskih, fizičko-hemijskih i mineraloških ispitivanja.

Prikazan tehnološki postupak prerade je kompleksan i čine ga sledeće osnovne faze: usitnjavanje jalovine, priprema paste uz dodatak sumporne kiseline, sulfataciono prženje, luženje, filtriranje, cementacija i plamena rafinacija. Kao finalni proizvod dobija se bakar u anodama, odakle se po postojećoj tehnologiji elektrolizom dobija katodni bakar komercijalnog kvaliteta.

U zaključnim razmatranjima su posebno naglašeni ekonomski i ekološki efekti primene Tehnološkog postupke prerade flotacijske jalovine. Visoka cena bakra na svetskom tržištu čini ovaj projekat održivim, jer finansijska sredstva dobijena prodajom bakra mogu se koristiti za remedijaciju i bezbedno uklanjanje otpadnih materijala koji bi ostali nakon ekstrakcije bakra iz trenutno postojeće flotacijske jalovine. Primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka prerade flotacijske jalovine iskorišćenje bakra dostiže čak 90%.

Na osnovu analize priloženog tehničkog rešenja, podnosim sledeći

## ZAKLJUČAK

Dokumentacija tehničkog rešenja „*Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštite životne sredine*“ pripremljena je u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača („Službeni glasnik RS“ br. 38/2008). Tehničko rešenje jasno i detaljno prezentira oblast i naučnu disciplinu, problem koji se tehničkim rešenjem rešava, problematiku i stanje prerade flotacijske jalovine, opis tehničkog rešenja, sa karakteristikama i mogućnostima primene.

Na osnovu izloženih argumenata predlažem da se tehničko rešenje prihvati i svrsta u kategoriju M84 – **Bitno poboljšana postojeća tehnologija**, pomenutog pravilnika.

Beograd, decembra 2013.

RECENZENT



dr Željko Kamberović, redovni profesor TMF





**„RUDARSKO – TOPIONIČARSKI BASEN BOR“ GRUPA**  
**„TOPIONICA I RAFINACIJA BAKRA BOR“**  
DRUŠTVO SA OGRANIČENOM ODGOVORNOŠĆU · U RESTRUKTURIRANJU

Telegram: „TIR“ Bor, Teleks: 19286, Telefaks: 425-380,  
Telefon: 030/425-576, 421-576, 422-877, 423-171, 435-489

**Predmet:** Dokaz o prihvaćenom i primenjenom tehničkom rešenju pod nazivom *“Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine”*

U okviru projekta TR 34023 finansiranog od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, pod nazivom *“Razvoj tehnoloških procesa prerade nestandardnih koncentrata bakra u cilju optimizacije emisije zagađujućih materija”*, rukovodilac Prof. dr Nada Štrbac, period 2011-2014. tokom treće godine istraživanja, razvijena je bitno poboljšana postojeća tehnologija, do koncepcije tehničkog rešenja, pod nazivom:

**“Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine”**


*autora:*


Prof. dr Nada Štrbac, dipl.inž.  
Prof. dr Ivan Mihajlović, dipl.inž.  
Asistent Aleksandra Mitovski, dipl.inž.  
Dr Miroslav Sokić, dipl. inž.  
Prof. dr Dragana Živković, dipl. inž.  
Dr Branislav Marković, dipl. inž.

S obzirom da je osnovna delatnost RTB-TIR Bor metalurška prerada bakronosnih sirovina i proizvodnja bakra, smatramo korisnim sve poslove-projekte koji obrađuju razvoj procesa i tehnologija proizvodnje bakra.

Imajući ove činjenice u vidu, TIR Topionica i Rafinacija, u svojstvu participanta, je zainteresovana za rezultate projekta TR 34023. Istraživačke aktivnosti na projektu TR 34023 u 2013. godini, pored ostalog rezultirale su i tehničkim rešenjem pod nazivom *“Razvoj tehnologije za preradu flotacijske jalovine primenom kombinovanog pirometalurškog i hidrometalurškog postupka u cilju dobijanja bakra i zaštita životne sredine”* koje je prihvaćeno i biće implementirano u skladu sa strategijom poslovanja i razvojnim aktivnostima TIR-Topionica Bor. Imajući u vidu značaj ovakvih istraživanja, smatramo da dalja istraživanja u ovoj oblasti i na ovom projektu treba nastaviti.

Decembra 2013. god.

  
RTB Bor-Topionica i Rafinacija  
Direktor, Todorović Boban, dipl. inž. met.



Универзитет у Београду  
Технички факултет у Бору  
Број: VI/4-13-9  
Бор, 18. 12. 2013. године

На основу чл. 47. Статута Техничког факултета у Бору, Наставно научно веће Факултета, на седници одржаној 17. 12. 2013. године, донело је

## ОДЛУКУ

**I** Прихвата се Извештај рецензената и техничко-технолошко решење, под називом: „Развој технологије за прераду флотацијске јаловине применом комбинованог пирометалуршког и хидрометалуршког поступка у циљу добијања бакра и заштита животне средине“, аутора: др Наде Штрбац, редовног професора Техничког факултета у Бору, др Ивана Михајловића, ванредног професора Техничког факултета у Бору, Александре Митовски, дипл. инж металург., асистента Техничког факултета у Бору, др Мирослава Сокића, вишег научног сарадника ИТНМС-а у Београду, др Драгане Живковић, редовног професора Техничког факултета у Бору и др Бранислава Марковића, научног сарадника ИТНМС-а у Београду.

**II** Извештај рецензената и техничко-технолошко решење, под називом: „Развој технологије за прераду флотацијске јаловине применом комбинованог пирометалуршког и хидрометалуршког поступка у циљу добијања бакра и заштита животне средине“, аутора: др Наде Штрбац, редовног професора Техничког факултета у Бору, др Ивана Михајловића, ванредног професора Техничког факултета у Бору, Александре Митовски, дипл. инж металург., асистента Техничког факултета у Бору, др Мирослава Сокића, вишег научног сарадника ИТНМС-а у Београду, др Драгане Живковић, редовног професора Техничког факултета у Бору и др Бранислава Марковића, научног сарадника ИТНМС-а у Београду, саставни су део ове Одлуке.

**Доставити:**

- продекану за НИР
- архиви

ПРЕДСЕДНИК  
НАСТАВНО НАУЧНОГ ВЕЋА  
ДЕКАН  
Проф. др Милан Антонијевић

