

RADOJKA JONOVIĆ<sup>1</sup>, LJILJANA AVRAMOVIĆ<sup>1</sup>  
 MILE BUGARIN<sup>1</sup>, RADMILA MARKOVIĆ<sup>1</sup>  
 ZORAN STEVANOVIC<sup>1</sup>, MARKO JONOVIĆ<sup>2</sup>

Originalni naučni rad  
 UDC:669.35:622.772.002.84

## Proces luženja bakra iz rudarskog otpada sa otpadnim vodama

*Rudarstvo je, kao glavna industrijska grana u Boru, tokom proteklih sto godina, imalo ogroman uticaj na životnu okolinu samog grada, ali i šireg regiona. Kao posledica rudarenja nastaju kisele rudničke otpadne voda koje se generišu iz kopovskih raskrivki i flotacijskih jalovišta. Ove kisele rudničke vode slivaju se ka akumulaciji „Robule“ i Borskoj reci, koja pripada slivu reke Timok, i zajedno sa čvrstim otpadom predstavljaju opasnost po životnu okolinu regiona, dok raskrivka i jalovište predstavljaju „rudnik na otvorenom“ u kome se nalazi oko 148.000 t bakra. Tema ovog rada je mogućnost integralnog tretmana otpadnih rudničkih voda i vanbilansnih delova ležišta. Urađena je detaljna fizičko-hemijska karakterizacija rudničkih otpadnih voda iz akumulacije „Robule“, karakterizacija raskrivke deponovane na „Oštrejskom“ planiru kao i karakterizacija flotacijskog jalovišta. Izvršena su ispitivanja procesa luženja bakra iz uzorka raskrivke sa kiselim otpadnim vodama i postignut stepen izluženja od 67 % bakra, kao i luženja bakra iz uzoraka jalovine sa stepenom izluženja bakra od 76 %.*

**Ključne riječi:** bakar, luženje, rudarski otpad, otpadne vode

### UVOD

Najčešće primenjivan postupak u svetu za valorizaciju bakra iz vanbilansnih rudničkih materijala je hidrometalurški postupak. Postupak se sastoji od sledećih faza: usitnjavanje, luženje, solventna ekstrakcija i elektrolitičko izdvajanje bakra. Hidrometalurški postupak je primenjen u zemljama (SAD, Čile, Australija, i Peru) koje imaju lako dostupne vanbilansne depozite sa niskim sadržajem bakra i sa više oksidnih oblika [1, 2].

Količina odložene kopovske raskrivke na „Oštrejskom“ planiru procenjuje se na  $56 \times 10^6$  t, sa srednjim sadržajem ukupnog bakra od 0.21%, i  $27 \times 10^6$  t jalovine odložene na napuštenom borskom flotacijskom jalovištu. Prisutna količina bakra u navedenim vanbilansnim sirovinama od oko  $148 \times 10^3$  t bakra. Ova količina bakra ne može da se valorizuje klasičnim pirometalurškim postupcima već zahteva istraživanja u cilju primene hidrometalurških postupaka. Bakar prisutan u vanbilansnim sirovinama predstavlja značajan ekonomski resurs ukoliko se valorizuje na adekvatan način uz prihvatljivu i održivu tehnologiju. U suprotnom, predstavlja veliki generator zagađenih rudničkih voda koje se direktno ulivaju u sliv Borske reke, pri čemu se znatno utiče i na kvalitet vode nizvodno do Timoka, i dalje sve do Dunava.

Adrese autora: <sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, <sup>2</sup>TMF, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4

Rad primljen: 10. 01. 2013.

U radu je data fizičko-hemijska karakterizacija rudničkih otpadnih voda iz akumulacije „Robule“, raskrivke deponovane na Oštrejskom planiru kao i flotacijskog jalovišta. Formirani su tehnološki uzorci za laboratorijska istraživanja procesa luženja bakra. Ispitani su parametri perkolacionog i agitacionog luženja bakra. Raskrivka sa „Oštrejskog planira“ tretirana je postupkom perkolacionog luženja simuliranjem uslova koji vladaju na terenu. Ispitani su parametri koji utiču na povećanje bakra u lužnim rastvorima. Flotacijska jalovina tretirana je postupkom agitacionog luženja. Definisani su parametri perkolacionog i agitacionog luženja kopovske raskrivke i flotacijske jalovine sa rudničkim otpadnim vodama iz akumulacije „Robule“.

### EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA REZULTATA

Za fizičko-hemijsku karakterizaciju uzorkovano je flotacijsko jalovište u Boru sa 2 profila i ukupno 4 mesta (oko 50 kg jalovine), dok je sa „Oštrejskog“ planira formiran tehnološki uzorak u ukupnoj količini od 250 kg. Granulometrijski sastav kompozitnog uzorka flotacijske jalovine flotacijskog jalovišta u Boru prikazan je u tabeli 1.

U tabeli 2 prikazan je granulometrijski sastav tehnološkog uzorka sa „Oštrejskog“ planira nakon drobljenja uzorka do krupnoće 100% - 12.5 mm.

Tabela 1 - Granulometrijski sastav kompozitnog uzorka - polje 1 napušteno Borsko jalovište

Otvor sita, mm	+0.295	+0.208	+0.147	+0.104	+0.074	-0.074 + 0
Masa uzorka, %	1.3	4.6	7.9	10.1	8.2	67.9

Tabela 2 - Granulometrijski sastav izdrobljenog tehnološkog uzorka

Otvor sita, mm	-12.5+10	+8.0	+5.0	+3.3	+1.1	-1.1 + 0
Masa uzorka, %	18.5	19.1	24.5	12.3	19.4	6.2

U tabeli 3 prikazan je sadržaj ukupnog i oksidnog bakra i gvožđa u kompozitnom uzorku flotacijske jalovine sa borskog flotacijskog jalovišta kao i u formiranom tehnološkom uzorku sa „Oštrejskog“ planira.

Tabela 3 - Sadržaj ukupnog i oksidnog bakra i gvožđa u uzorcima

Uzorcima	Cu-uk	Cu-ox	Fe
Tehnološki uzorak - Oštrejski planir, %	0.23	0.12	7.21
Napušteno Borsko flotacijsko jalovište, % (površinski sloj dubine do 1 m)	0.034	0.0029	6.85
Napušteno Borsko flotacijsko jalovište, % (slojevi od 3 do 20 m dubine)	0.43	0.18	16.56

Veoma nizak sadržaj ukupnog, a pre svega oksidnog bakra u površinskom sloju borskog flotacijskog jalovišta (debljina površinskog sloja od 2 do 3 m) pokazuje kakav je efekat kiselih kiša na rastvaranje prisutnih komponenata u jalovini, pri čemu generisane kisele rudničke vode sa sobom nose jone rastvorenih teških metala. To prouzrokuje kontaminaciju površinskih i podzemnih vodotokova. Laboratorijska ispitivanja procesa luženja vršena su na uzorcima iz dubljih slojeva borskog flotacijskog jalovišta u kome je prosečni sadržaj ukupnog bakra 0.44%, pri čemu je učešće oksidnog bakra do 60%.

Rudnička voda iz akumulacije „Robule“ ima sledeći hemijski sastav:

Cu-69,10 mg/dm<sup>3</sup>; Pb <0.05 mg/dm<sup>3</sup>; Zn-26.30 mg/dm<sup>3</sup>; Cd-0.12 mg/dm<sup>3</sup>;

Ni-0.34 mg/dm<sup>3</sup>; Cr<0.02 mg/dm<sup>3</sup>; Se<0.020 mg/dm<sup>3</sup>; As<0.010 mg/dm<sup>3</sup>;

Fe-739.00 mg/dm<sup>3</sup>; susp. mater.-12.0 mg/dm<sup>3</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-8243,10 mg/dm<sup>3</sup>;

Sadržaj metala je iznad zakonom propisanih maksimalno dozvoljenih vrednosti, a izmerena pH vrednost od 3.5 ukazuje na kisel karakter otpadne vode iz akumulacije „Robule“.

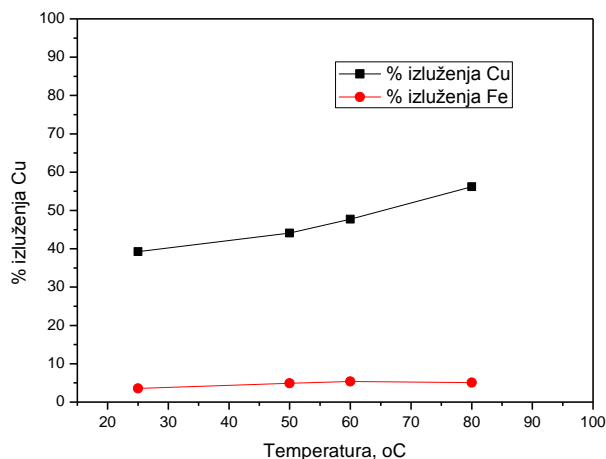
Formirani kompozitni uzorak sa „Oštrejskog“ planira tretiran je postupkom perkolacionog luženja. Kao lužni rastvor korišćena je otpadna rudnička voda iz akumulacije „Robule“ nakon korekcije pH vrednosti sa sumpornom kiselinom. Eksperimenti luženja izvedeni su na opremi laboratorijskog tipa koja se sastoji od dve kolone za perkolaciono luženje izrađene od pleksiglasa dimenzija: DxL= 90 x 900mm, DxL=150x900mm, i prateće opreme. Nakon eksperimentalnog istraživanja definisani su optimalni parametri luženja na uzorku od 8 kg:

- Lužni rastvor, „Robule“ voda, pH 1,5
- Č: T=1:1,5
- Vreme luženja: 5 dana (I ciklus) + 5 dana (II ciklus)
- Vreme prirodne oksidacije: 5 dana (između ciklusa)
- Protok: 300 ml/h

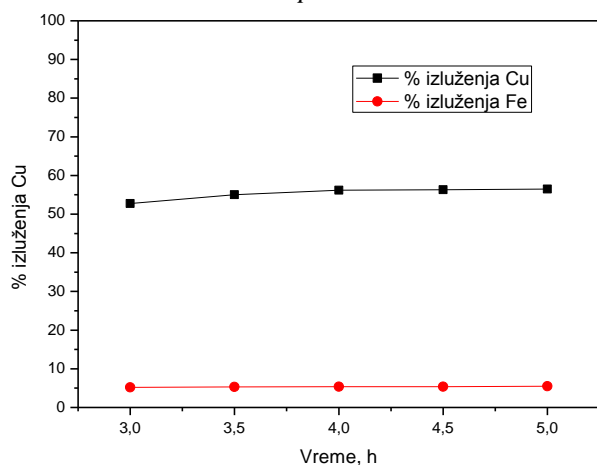
Nakon procesa luženja postignut je stepen izluženja bakra od 67 % Cu, a sadržaj bakra u rastvoru od 4,16 g/l predstavlja polazni rastvor za SX-EW proces (solventna ekstrakcija-elektrolitičko izdvajanje bakra).

Urađen je TCLP test (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) uzorka Oštrejskog planira dobijenog nakon perkolacionog luženja. Rezultati testa ukazuju na mogućnost bezbednog odlaganja čvrstog ostatka nakon luženja po životnu okolinu.

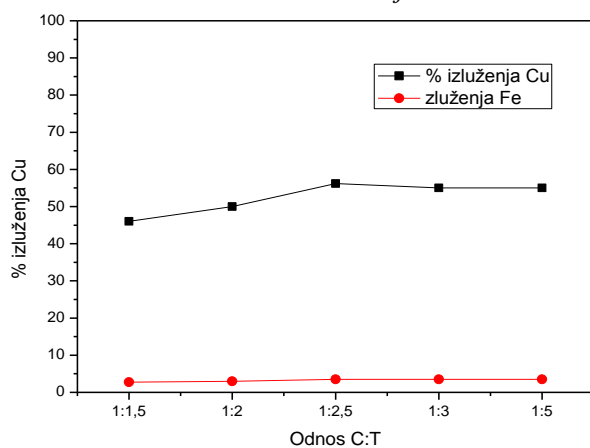
Uzorcima sa flotacijskog jalovišta su tretirani postupkom agitacionog luženja. Opiti su izvedeni u staklenom laboratorijskom reaktoru sa mehaničkim mešanjem. Rezultati luženja uzoraka sa starog flotacijskog jalovišta, prikazani su na slikama 1,2 i 3.



Slika 1 - Zavisnost stepena izluženja bakra od temperature



Slika 2 - Zavisnost stepena izluženja bakra od vremena luženja



Slika 3 - Zavisnost stepena izluženja bakra od odnosa Č:T

Postignut je stepen izluženja bakra od 61% pri temperaturi od 90°C, vremenu 3 h i odnosu Č:T=1:2,5. U prisustvu oksidansa, ferisulfata, postignut je veći stepen izluženja bakra od 76%. Rastvori posle luženja sa sadržajem bakra do 1.5 g/dm<sup>3</sup> pogodni su za SX-EW proces.

## ZAKLJUČAK

Nakon procesa luženja jalovine i raskrivke dobijen je obogaćeni bakronosni rastvor povoljnih kvalitativno-kuantitativnih karakteristika za proces SX-EW. Dalja istraživanja vršiće se u pravcu definisanja uslova SX-EW i dobijanja bakra komercijalnog kvaliteta. Na taj način bi se prikupljanjem rudničkih voda, njihovoj recirkulaciji u procesu kontrolisanog luženja rudarskog otpada pored ekonomskog postigao i ekološki efekat.

## Zahvalnost

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj pomoći (Projekat TR 37001)

## LITERATURA

- [1] Rotuska, T. Chmielewski, Growing Role of Solvent Extraction in Copper Ores Processing, Physico-chemical Problems of Mineral Processing, 42 (2008) 29-36
- [2] G. Morrison, H. Freiser, Solvent Extraction in Analytical Chemistry, John Wiley and Sons, Inc., New York, (1957).
- [3] Z. Stevanović, M. Antonijević, R. Jonović, Lj. Avramović, R. Marković, M. Bugarin, Leach-Sx-Ew Copper Revalorization from Overburden of Abandoned Copper Mine Cerovo, Eastern Serbia, Journal of Mining and Metallurgy 45 B (1) (2009) 45 – 57.
- [4] Lj. Avramović, R. Jonović, M. Bugarin, Z. Stevanović, V. Gardić, R. Kovačević, Purification of Waste Water Generated in the RTB Bor, International Conference on Innovative Technologies IN-TECH 2011 Bratislava, Slovakia, 2011, 30-32.

**ABSTRACT****COPPER LEACHING PROCESS FROM THE OVERBURDEN MATERIALS WITH WASTE WATER**

*Mining, as a major industry in Bor, over the past hundred years, had an enormous impact on the environment of the city itself, but also for the region. Arise as a result of mining acid mine waste water that is generated from flotation tailings and overburden. These acidic mine waters flowing toward the accumulation of "Robule" and the Bor river, which belongs to the Timok River, and along with solid waste pose a threat to the environment of the region, while the overburden and tailings are "open mine" which is about 148,000 t copper. The theme of this work is the possibility of an integrated waste treatment of mine waters and off parts of the deposit. Underwent detailed physical and chemical characterization of mining waste water from reservoirs "Robule," characterization of overburden deposited in "Oštrelj" plans and characterization of flotation tailings. The studies of leaching of copper from overburden samples with acidic waste water and reached the level of 67% leaching of copper and copper leaching from overburden samples with levels of copper leaching by 76%*

**Key words:** copper, leaching, overburden materials, waste water

Paper received: 10.01.2013.

Scientific paper