



www.ror.tf.bor.ac.rs

Stručni rad

UDK 669.334:628.477.6

ANALIZA GUBITAKA BAKRA U SVIM FAZAMA NJEGOVE PROIZVODNJE I NJIHOVA POTENCIJALNOST ZA RECIKLIRANJE

ANALYSIS OF THE COPPER LOSSES IN ALL THE PRODUCTION PHASES AND THEIR RECYCLING POTENTIAL ON THE EXAMPLE OF VELIKI KRIVELJ OPEN PIT

Miodrag Žikić^{1, #}, Branislav Mihajlović², Milan Živković², Saša Stojadinović¹
Radoje Pantović¹, Daniel Kržanović³

¹Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, VJ 12, Bor, Srbija

²Rudnici bakra Bor, Kestenova 8, Bor, Srbija

³Institut za rudarstvo i metalurgiju, Zeleni bulevar 36, Bor, Srbija

Primljen: 14. oktobar 2013. Prihvaćen: 4. decembar 2013.

IZVOD – Zbog činjenice da su bogatija i plića ležišta bakra uglavnom otkopana sada se eksploatišu ona siromašnija i dublja. To uslovljava da površinski kopovi postaju sve veći, odnosno da se angažuju velike količine iskopina, a kao finalni proizvod dobija mala količina korisne komponente, tj. bakra.

Značajni deo bakra ostane neiskorišćen, odnosno gubi se sa jalovinom iz pojedinih tehnoloških faza. Zato je potrebno izvršiti analizu koja treba da pokaže koliko bakra ostane neiskorišćeno, odnosno izgubi se sa jalovinom, a nakon toga odgovoriti na pitanje da li je moguće odloženu jalovinu naknadno tretirati kao tehnogeno ležište, tj. reciklirati, kako bi se iz nje dobile dodatne količine bakra.

Upravo početnom analizom bavi se ovaj rad a na primeru proizvodnje katodnog bakra iz rude koja je otkopana 2012. godine na površinskom kopu Veliki Krivelj, koji posluje u okviru Rudarsko-topioničarskog basena Bor-Grupe. Praktično, u radu je dat pregled količina bakra koje se „gube“ pri procesu otkopavanja, flotacijske koncentracije, metalurške koncentracije i elektrolitičke rafinacije.

Ključne reči: bakar, proizvodnja, jalovina, reciklaža

ABSTRACT – Due to the fact that richer deposits and deposits situated at lower depths are mainly extracted at present day deeper and poorer deposits are in exploitation. This results in open pits being larger, the amount of excavated material increases and the final product is a small amount of the commodity, i.e. copper.

Significant amount of copper is lost with waste from each technological phase. It is essential to conduct an analysis which would show how much copper is lost and then to determine if it is possible to treat the waste as a technogene deposit, that is recycle it in order to recover additional amounts of copper.

This article is an initial case study analysis of the cathode copper production from the ore mined during 2012. At Veliki Krivelj open pit copper mine operating within the RTB Bor Group.

[#] Kontakt adresa autora: M. Žikić, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Srbija.
E-mail: mzikic@tf.bor.ac.rs

Practically, the article gives an overview of the copper amounts lost during excavation, flotation, metallurgical processing and finally during electrolytic refinement.

Key words: copper, production, waste, recycling

1. UVOD

Površinska eksploatacija siromašne rude bakra, kakva je ona u ležištu Veliki Krivelj, koji posluje u okviru Rudarsko-topioničarskog basena Bor-Grupe primenom diskontinualne tehnologije, podrazumeva otkopavanje velikih količina stenskog materijala i dobijanje male količine bakra, pri čemu se deo bakra ne iskoristi, odnosno „izgubi“ sa jalovinom iz svih tehnoloških faza. [1] Ovi gubici su u prošlosti bili značajni s obzirom da se otkopavala bogatija ruda i da tehnologija nije bila efikasna. Na taj način stvorena su tehnogena ležišta koja postaju interesantna za ponovnu eksploataciju, tj. recikliranje, jer je u međuvremenu cena bakra značajno povećana, a tehnološki postupci usavršeni i postali efikasniji. [2,3]

U ovom radu prikazani su rezultati analize gubitaka bakra sa jalovinom iz pojedinih tehnoloških faza od otkopavanja na površinskom kopu Veliki Krivelj do elektrolitičke rafinacije u Elektrolizi u Boru, odnosno potencijalnosti te jalovine za recikliranje bakra koji je u njima. Da bi se dobili krajnji rezultati analizom je obuhvaćena 2012. godina.

Pošto se u radu koristi termin reciklaža daje se njegovo opisno tumačenje, tj. objašnjenje.

Reciklaža je ponovno vraćanje sporednih produkata i ostataka koji nastaju u proizvodnji i potrošnji u kružni tok proizvodnja-potrošnja.

Moderna nauka obuhvata i ekonomsko-tržišni aspect reciklaže jer svako vraćanje materijalnog dobra u kružni tok proizvodnja-potrošnja predstavlja ekonomsku dobit. Ovo novo shvatanje ekologije najbolje ilustruje činjenica da se od kraja 80-tih godina u stručnoj literaturi koristi novi termin "privreda otpada".

U konkretnom slučaju pod terminom reciklaža podrazumeva se izdvajanje bakra iz jalovina koje su nastale prilikom njegove primarne proizvodnje iz rude bakra.

2. TEHNOLOŠKE FAZE PRI PROIZVODNJI KATODNOG BAKRA

Opisno može da se kaže da pri proizvodnji katodnog bakra iz rude sa površinskog kopa Veliki Krivelj, postoje četiri osnovne tehnološke faze, i to:

- otkopavanje rude i raskrivke-jalovine,
- flotacijska koncentracija (koja podrazumeva i prethodno usitnjavanje),
- topljenje koncentrata bakra i
- elektrolitička rafinacija anodnog bakra.

Otkopavanje rude vrši se po klasičnoj diskontinualnoj tehnologiji koja podrazumeva bušenje i miniranje, utovar, kamionski transport rude do primarne drobilice, njeno drobljenje i deponovanje.

Otkopavanje raskrivke-jalovine vrši se delom po opisanoj klasičnoj diskontinualnoj tehnologiji, kao i ruda, a delom po kombinovanoj tehnologiji koja podrazumeva bušenje i miniranje, utovar, kamionski transport raskrivke do primarne drobilice, njeno drobljenje, tračni transport i odlaganje konzolnim odlagačem.

Deponovana primarno izdrobljena ruda predstavlja kraj tehnološke faze otkopavanja i početak tehnološke faze flotacijske koncentracije.

Primarno izdrobljena ruda se dalje usitnjava sekundarnim i tercijskim drobljenjem i dvostepenim mlevenjem nakon čega se flotira, da bi se dobio koncentrat bakra. Pošto nije moguće sav bakar prevesti u koncentrat deo se trenutno gubi, odnosno odlazi sa flotacijskom jalovinom na jalovište. [4, 5, 6]

Dalji tretman bakarnog koncentrata podrazumeva njegovo topljenje nakon koga se dobija bakar u obliku anoda, a da bi se dobio tzv. „čisti“ ili katodni bakar anode se podvrgavaju elektrolitičkoj rafinaciji, nakon koje katoda ima 99,99 % bakra, pri čemu su u ovoj tehnološkoj fazi gubici bakra najmanji.

Za potrebe analize koju opisuje ovaj rad dve zadnje tehnološke faze su objedinjene kao jedna i ona nazvana metalurška koncentracija, s obzirom da je gubitak bakra pri elektrolitičkoj rafinaciji zanemarljiv u odnosu na gubitke pri topljenju. Imajući to u vidu analizirane tehnološke operacije su:

- otkopavanje,
- flotacijska koncentracija i
- metalurška koncentracija

Otkopavanje:

Prilikom otkopavanja relativno velika količina bakra odlazi sa rudničkom jalovinom na jalovišta. To je

posledica činjenice da u ležištu bakra Veliki Krivelj nema jasne ili oštre granice između rude i jalovine već je ona određena trenutnim graničnim sadržajem bakra.

U 2012. godini sve iskopine koje su imale više od 0,15% bakra tretirane su kao ruda i usmeravane na dalju preradu, a one sa manjim sadržajem kao jalovina. Znači, trenutno „izgubljeni“ bakar u rudničkoj jalovini ustvari predstavlja preostali bakar u njoj nakon definisanja ekonomičnog graničnog sadržaja.

Međutim, i rudnička jalovina nije ujednačenog sadržaja pa se zato daju potrebna objašnjenja.

Pored iskopina koje imaju manje od 0,15 % bakra rudničku jalovinu čine i one koje uopšte nemaju bakra. Zbog toga se prve zovu nesterilna rudnička jalovina a druge sterilna rudnička jalovina.

Sterilnu jalovinu čine delovi ležišta po rasednim zonama, koji se zovu „dajkovi“, a u kojima uopšte nema bakra, kao i deo masiva van ležišta koji se nalazi u tekućem zahvatu kopa.

Shodno do sada stečenom iskustvu udeo sterilne jalovine opredeljen je na 30% od ukupne jalovine, što znači da je udeo nesterilne jalovine 70%.

Da se ne bi precenila količina bakra u nesterilnoj jalovini ona je izračunata pod pretpostavkom da je prosečan sadržaj bakra u njoj 0,1%.

Specifičnost u vezi rudničke jalovine je i to da se oko 5 % neminovno otkopa zajedno sa rudom u graničnim delovima orudnjenja, što predstavlja osiromašenje rude. Praktično, za tu količinu je manje raskrivke odloženo na rudničkim jalovištima.

Flotacijska koncentracija:

Nemogućnost potpunog izdvajanja minerala bakra u flotaciji uslovljava da jedan deo odlazi na flotacijska jalovišta, pa se i u ovom slučaju koristi termin (trenutni) „gubici“ bakra pri flotiranju. S obzirom da je flotacijska jalovina već usitnjena i da sadrži određenu količinu minerala bakra opravdano je tretirati je kao tehnogeno ležište. [6]

Metalurška koncentracija:

Nakon topljenja koncentrata bakra dobijaju se anode koje u sebi sadrže oko 99,77% bakra. I pri ovoj tehnološkoj fazi deo bakra se „gubi“ tj. odlazi sa šljakom na topioničko jalovište, tzv. „šljakište“, i ustvari takođe predstavlja tehnogeno ležište. [7,8]

Kako je zapisano, gubici bakra pri elektrolitičkoj rafinaciji su zanemarljivi u odnosu na one pri topljenju.

U prethodnim poglavljima korišćeni su različiti termini za deo bakra koji nije valorizovan u okviru tehnoloških faza njegove proizvodnje pri čemu je naglašeno da su to trenutno ne valorizovane količine bakra jer je izvesno da će u budućnosti veći deo tog bakra biti valorizovan primenom usavršenih tehnologija. Ipak, radi jednostavnosti izražavanja, u narednim poglavljima termin „nevalorizovan bakar“ biće zamenjen terminom „gubici bakra“.

3. GUBICI BAKRA U OKVIRU TEHNOLOŠKIH FAZA NJEGOVE PROIZVODNJE

Da bi se odredili gubici bakra u okviru tehnoloških faza njegove proizvodnje u 2012. godini, iz ležišta Veliki Krivelj, najpre se daju podaci o količinama iskopina (1):

Rudnička jalovina	18 217 787 t
Ruda	9 391 350 t
Iskopine	27 609 137 t

Shodno prethodno datim objašnjenjima količine nesterilne i sterilne rudničke jalovine iznose:

Količina nesterilne rudničke jalovine	
$0,7 * 18\,217\,787\text{ t} =$	12 752 451 t
Količina sterilne rudničke jalovine	
$0,3 * 18\,217\,787\text{ t} =$	5 465 336 t
Ukupna količina rudničke jalovine	18 217 787 t

Gubici pri otkopavanju:

Pri usvojenom sadržaju bakra u ne sterilnoj jalovini od 0,10% količina bakra koja se nalazi u njoj, odnosno koji se trenutno gubi zajedno sa njom, iznosi:

Količina bakra u nesterilnoj jalovini	
$12\,752\,451\text{ t} * 0,001 =$	12 752 t

Ako je prosečan sadržaj vlage u rudi 3,7% onda količina suve rude iznosi:

$$9\,391\,350\text{ t} * 0,963 = 9\,043\,870\text{ t}$$

Pri prosečnom sadržaju bakra u rudi od 0,268 % ukupna količina bakra u njoj u 2012. godini bila je:

Količina bakra u otkopanoj rudi	
$9\,043\,870\text{ t} * 0,00268 =$	24 238 t

Ukupna količina bakra u masivu predstavlja zbir količine bakra u nesterilnoj jalovini i količine bakra u rudi, odnosno:

$$12\,752\text{ t} + 24\,238\text{ t} = 36\,990\text{ t}$$

Gubici pri flotacijskoj koncentraciji:

Nakon flotacijske koncentracije količina bakra u koncentratu iznosila je 18 462 t [1], pa razlika između

količine bakra u rudi i u koncentratu ustvari predstavljaj gubitak bakra u ovoj tehnološkoj fazi.

Količina bakra koja se gubi pri flotacijskoj koncentraciji $24\,238 - 18\,462 = 5\,776$ t

Gubici pri metalurškoj koncentraciji:

Ako je prosečno metalurško iskorišćenje 0,9 tada količina katodnog bakra iznosi.

Količina katodnog bakra

$$18\,462 \text{ t} \cdot 0,9 = 16\,616 \text{ t}$$

Razlika u količini bakra u koncentratu i količini bakra u katodama ustvari predstavlja gubitak bakra u okviru metalurške koncentracije, i on iznosi:

$$18\,462 \text{ t} - 16\,616 \text{ t} = 1\,846 \text{ t}$$

Ukupni gubici:

Gubici pri otkopavanju (rudnička jalovina) 12 752 t

Gubici pri flotacijskoj koncentraciji (flotacijska jalovina) 5 776 t

Gubici pri metalurškoj koncentraciji (metalurška jalovina) 1 846 t

Ukupni gubici 20 374 t

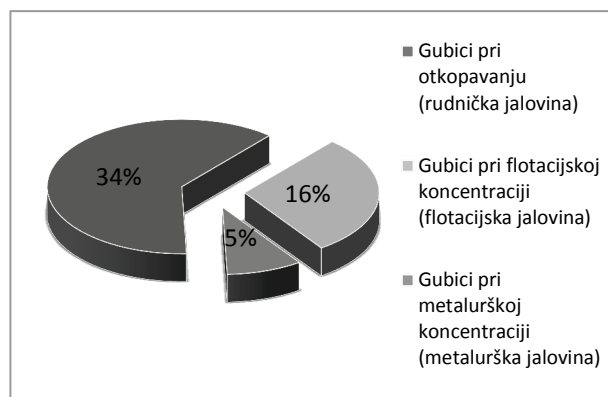
Ukupni gubici bakra u procentualnom iznosu, u odnosu na ukupnu količinu bakra u masivu, zaokruženi na cele brojeve, grafički su prikazani na slici broj 1, a iznose:

Gubici pri otkopavanju (rudnička jalovina) 34 %

Gubici pri flotacijskoj koncentraciji (flotacijska jalovina) 16 %

Gubici pri metalurškoj koncentraciji (metalurška jalovina) 5 %

Ukupni gubici 55 %



Slika broj 1. Grafički prikaz raspodele ukupnih gubitaka bakra

Na kraju se zaključuje da od ukupne količine bakra, koji se nalazi u masivu (100%), u katodni bakar se prerađi 45 %, a 55% se trenutno izgubi, što znači da se veća količina bakra izgubi u odnosu na onu koja se proizvede, a što ukazuje na veliku potencijalnost jalovina koje u tim procesima nastaju.

Radi jasnije prezentacije prethodni rezultati prikazani su i grafički na slici broj 2.

	Otkopavanje	Flotacijska koncentracija	Metalurška koncentracija	
Masiv 36 990	24 238	18 462	16 616	16 616
		5 776	1 846	
	12 752		20 374	20 374

	Otkopavanje	Flotacijska koncentracija	Metalurška koncentracija	
100	66	50	45	45
		16	5	
	34		55	55

Slika broj 2. Količine i gubici bakra (t) u okviru tehnoloških faza njegove proizvodnje

Na ovom stadijumu razvoja tehnike i tehnologije opisani gubici su neminovni, pri čemu se čine stalni naponi da se iskorišćenje bakra poveća, odnosno smanje gubici. Slična situacija je i u drugim firmama koje se bave proizvodnjom bakra za koju se ruda otkopava površinskim putem.

4. POTENCIJALNOST JALOVINE IZ POJEDINIH TEHNOLOŠKIH FAZA PROIZVODNJE BAKRA ZA RECIKLIRANJE

Prethodno opisani gubici bakra u odloženim jalovinama iz pojedinih tehnoloških faza u okviru njegove proizvodnje predstavljaju ustvari potencijalna tehnogena ležišta iz kojih je moguće recikliranjem dobiti bakar.

Po podacima LME prosečna cena bakra za 2012. godinu bila je 7 949 US\$/t pa je teorijska finansijska potencijalnost pojedinih jalovina sledeća:

Rudnička jalovina

$12\,752\text{ t} * 7\,949\text{ US\$/t} = 101\,365\,647\text{ US\$}$

Flotacijska jalovina

$5\,776\text{ t} * 7\,949\text{ US\$/t} = 45\,913\,424\text{ US\$}$

Metalurška jalovina

$1\,846\text{ t} * 7\,949\text{ US\$/t} = 14\,673\,854\text{ US\$}$

Ukupno $161\,953\,925\text{ US\$} \approx 162 \times 10^6$

Upoređenja radi vrednost katodnog bakra proizvedenog u 2012. godini iz rude sa površinskog kopa Veliki krivelj iznosi:

Vrednost katodnog bakra $16\,616\text{ t} * 7\,949\text{ US\$/t} = 132\,080\,584\text{ US\$} \approx 132 \times 10^6$

Za sada nema efikasne tehnologije koja bi mogla ekonomično da eksploatiše bakar iz odložene rudničke jalovine ali će ona svakako biti realizovana onda kada cena bakra bude dovoljno visoka, a što je vrlo izvesno u bližoj budućnosti, imajući u vidu razvoj tehnologija luženja.

Potencijalnost flotacijske jalovine je izrazitija zbog toga što nju ne treba usitnjavati s obzirom da je to urađeno u okviru primarnog tretmana rude.

Do sada je razvijeno više tehnologija pomoću kojih je moguće reciklirati bakar iz flotacijske jalovine, i one su potvrđene ali u laboratorijskim uslovima, međutim problem je u tome što one nisu ekonomski opravdane. Naravno, i u ovom slučaju ekonomičnost će biti postignuta onda kada se cena bakra poveća.

Što se tiče potencijalnosti topioničke jalovine-šljake ona je izvesna a tehnologija za recikliranje-dobijanje bakra iz nje potvrđena je i u pogonima RTB-a, s tim što

ekonomska opravdanost zavisi od cene bakra na svetskoj berzi.

ZAKLJUČAK

Kako su bogatija i plića ležišta bakra uglavnom otkopana sada se eksploatišu ona siromašnija i dublja što uslovljava da su površinski kopovi sve veći, odnosno da se angažuju velike količine iskopina, a kao finalni proizvod dobija mala količina korisne komponente, tj. bakra.

Značajni deo bakra ostane neiskorišćen, odnosno ode sa jalovinom iz pojedinih tehnoloških faza, pa je zato potrebno izvršiti analizu koja treba da pokaže koliko bakra ostane neiskorišćeno, odnosno ode sa jalovinom. Na osnovu te analize saznaće se da li je moguće odloženu jalovinu naknadno tretirati kao tehnogeno ležište, tj. reciklirati, kako bi se iz nje dobile dodatne količine bakra.

Upravo početnom analizom bavi se ovaj rad a na primeru proizvodnje katodnog bakra iz rude koja je otkopana 2012. godine na površinskom kopu Veliki Krivelj, koji posluje u okviru Rudarsko-topioničarskog basena Bor-Grupe.

U radu je dat pregled količina bakra koje se trenutno „gube“ u okviru tehnoloških faza otkopavanje, flotacijska koncentracija i metalurška koncentracija.

Rezultati analize pokazuju da od ukupne količine bakra u ležištu (100%) veći deo ostane trenutno neiskorišćen, tj. ode sa jalovinom (55%), a manji deo se valorizuje u krajnji proizvod, tj. bakar u obliku katoda (45%).

Opisani gubici posledica su trenutnog stanja tehnike i tehnologije koje se primenjuju za proizvodnju bakra, pri čemu je slično stanje i u drugim firmama koje se bave proizvodnjom bakra.

Prethodno znači da jalove iz pojedinih tehnoloških faza sadrže značajne količine bakra, odnosno da su potencijalne za recikliranje, pa ih zato treba tretirati kao tehnogena ležišta i usavršavati tehnologije za njihovu eksploataciju.

Činjenice da je bakar skup metal i da se potražnja za njim povećava obavezuju da se njegova proizvodnja poveća. Međutim, pored povećanja primarne proizvodnje bakra njega je moguće dobiti i recikliranjem jalovine koja je nastala pri njegovoj primarnoj proizvodnji.

LITERATURA

1. Godišnji izveštaj o poslovanju RBB-a za 2012. godinu.
2. Stanojlović, R.; Sokolović, J.; Štirbanović, Z.; Milenković, A. Zajednička prerada topioničke šljake i stare flotacijske jalovine RB Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1(1), 1-7.
3. Stanojlović, R.; Štirbanović, Z.; Sokolović, J. Primena nove tehnologije u funkciji održive prerade topioničke šljake RTB-a Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1(2), 34-42.
4. Stanojlović, R.; Sokolović, J.; Štirbanović, Z.; Marjanović, T. Ekonomski isplativ, tehnološki moguć i ekološki opravdan proces zajedničke prerade rudarskih tehnogenih otpada, topioničke šljake i stare flotacijske jalovine RTB-a Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2009**, 2(1), 31-40.
5. Bogdanović, G.; Trumić, M.; Trumić, M.; Antić, D. Upravljanje otpadom iz rudarstva-nastanak i mogućnost prerade. *Reciklaža i održivi razvoj* **2011**, 4(1), 37-43.
6. Stevanović, Z.; Marković, Z.; Milanović, D.; Obradović, Lj. Reciklaža starog borskog flotacijskog jalovišta. *Bakar* **2006**, 31(1-2), 83-90.
7. Pušica, S.; Stanojlović, R.; Marković, Z.; Nikolić, R. Industrijska reciklaža topioničke šljake. *Bakar* **2006**, 31(1-2), 67-82.
8. Štirbanović, Z.; Marković, Z.; Stanojlović, R.; Sokolović, J. Svetska iskustva u preradi topioničke šljake kao primeri ekonomske i ekološke opravdanosti. Zbornik radova Ekološka istina, Soko Banja, Srbija 2008; pp. 197-204.