



www.ror.edu.rs

UDK: 628.4:005:622(497.11) ; 502.174:622(497.11)

UPRAVLJANJE OTPADOM IZ RUDARSTVA – NASTANAK I MOGUĆNOST PRERADE

MINING WASTE MANAGEMENT – GENESIS AND POSSIBILITY OF PROCESSING

Grozdana Bogdanović[#], Milan Trumić, Maja Trumić, Dejan V. Antić

Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, Srbija

IZVOD – Intenzivna eksploatacija i prerada rude bakra na području Borskog okruga dovela je do degradacije velikih površina zemljišta i deponovanja velikih zapremina čvrstog otpada (rudnička raskrivka i jalovina, flotacijska jalovina, topionička šljaka) i pojave kiselih rudničkih voda. Karakteristika ovih otpada je da sadrže značajne količine bakra i drugih elemenata i permanentno dovode do zagađenja zemljišta, vode i vazduha.

U radu su prikazani i analizirani industrijski tehnogeni otpadi nastali u rudarstvu i preradi metala, kao i njihova mogućnost prerade.

Cljučne reči: RTB Bor, rudnička jalovina, flotacijska jalovina, šljaka, rudničke vode, životna sredina

ABSTRACT – Intensive exploitation and processing of copper ore in Basin Bor has led to degradation of large areas of land, depositing huge volumes of solid waste (mining and flotation tailings, smelting slag, etc.) and the occurrence of acid mine drainages (AMD's). Characteristics of these wastes, that contain significant amounts of copper and other elements, permanently lead to pollution of soil, water and air.

This paper presents and analyzes industrial technogenic wastes from mining industry and metal production as well as ability for their processing.

Keywords: Mining and Smelting Basin Bor, mining tailings, flotation tailings, smelting slag, acid mine drainages, environment

UVOD

U savremenoj praksi proizvodnje obojenih, retkih i plemenitih metala, sve veća pažnja se posvećuje mogućnošću tretiranja sirovina sa niskim sadržajem metala, s obzirom da su nestale, ili su veoma ograničene rezerve bogatih ruda. Istovremeno, intenzivan razvoj tehnike u svetu uslovljava veću potrošnju metala, što

kao posledicu ima višestruki porast cene metala poslednjih godina.

Najveći intenzitet opadanja bakra u rudi prisutan je u zemljama Južne Amerike. U Čileu, sadržaj bakra u rudi koja je eksploatisana u poslednjih dvadeset godina smanjen je za blizu 23 %, a u Peruu za oko 20 %. U SAD i Kanadi smanjenje sadržaja bakra u rudi je bilo izraženo do sredine osamdesetih godina, a zatim je došlo

[#]Kontakt adresa autora: Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Srbija. E-mail: gbogdanovic@tf.bor.ac.rs

* Rezultati saopšteni u ovom radu su proistekli iz istraživanja na projektima OI 172031, TR 33007 i TR 37001 finansiranim od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

do izvesne stabilizacije, iako na relativno niskom nivou. Prosečan sadržaj bakra u rudnicima u SAD bio je niži u 2000. godini za 27,4 %, u odnosu na nivo u 1970. godini. Rudnici bakra RTB-a Bor koji su se na početku XX veka svrstavali među svetske rudnike sa najvećim sadržajem bakra (prosečno 5-6 % bakra u rudi), završavaju isti vek sa prosečnim sadržajem bakra ispod 0,4% i svrstavaju se među najsiromašnije u svetu [1].

Razvoj tehnoloških procesa za korišćenje niskoprocenatnih i kompleksnih sirovina, zahteva masovnu proizvodnju što naročito pri površinskom otkopavanju rude ima jako negativan uticaj na životnu sredinu. Štetan uticaj rudarskih aktivnosti ogleda se u degradiranju velikih površina zemljišta (površinski kopovi), deponovanju velikih zapremina čvrstog otpada (rudnička raskrivka, jalovina i flotaciona jalovina) i pojavi kiselih rudničkih voda. Pri metalurškoj preradi polimetalčnih ruda i koncentrata, pored dobijanja osnovnih metala, dolazi do stvaranja međuproizvoda (šljake, prašine i muljevi).

Značaj prerade ovakvih sirovina je sve veći zbog smanjenja rezervi mineralnih sirovina iz kojih je tehnološki moguće i ekonomski opravdano dobijanje metala [2-5].

Veći deo industrijskog otpada može se danas korisno upotrebiti, te predstavlja sekundarne sirovine. U poređenju sa rudarskom eksploatacijom, pripremom, obogaćivanjem i metalurškom preradom rudnih sirovina, proizvodnja obojenih metala iz sekundarnih sirovina ima čitav niz prednosti od kojih su najvažnija sledeća [6] :

- Niska investiciona ulaganja
- Visoka tehnološka efikasnost, posebno iz kvalitetnih sekundarnih sirovina
- Manja potrošnja energije
- Smanjenje potrošnje neobnovljivih resursa mineralnih sirovina
- Smanjenja zagađenja životne sredine.

U ukupnom obimu proizvodnje i potrebi tržišta za obojenim metalima, uloga sekundarnih metala i legura iz sekundarnih sirovina je veoma značajna. Porast potrošnje obojenih metala i sve strožiji propisi u oblasti zaštite životne sredine takođe nameću pitanje reciklaže i dobijanja vrednih metala iz ovakvih sirovina.

Jedan od nacionalnih prioriteta za dostizanje održivog razvoja u Republici Srbiji odnosi se na zaštitu i unapređenje životne sredine i racionalno korišćenje prirodnih resursa. U okviru Nacionalne strategije održivog razvoja na osnovu analize postojećeg mineralno - sirovinskog kompleksa u Republici Srbiji,

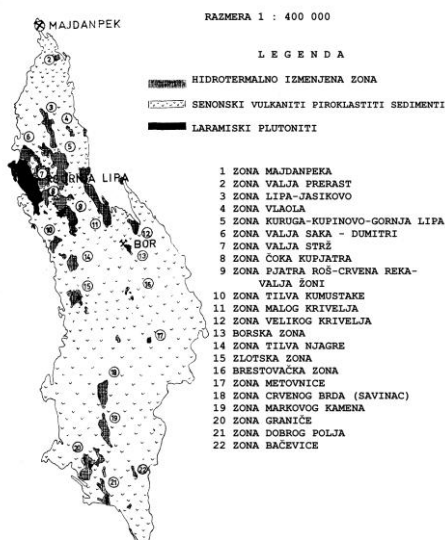
definisani su sektorski ciljevi u oblasti održivog razvoja mineralnih sirovina, koji pored ostalog uključuju nalaženje novih ležišta i racionalno korišćenje postojećih prirodnih resursa uz primenu čistijih tehnologija kao i ispitivanje vrednosti zaostalih mineralnih sirovina u jalovištima i deponijama rudnika [7]. Način korišćenja resursa u smislu održive proizvodnje i potrošnje, ostaje kritično pitanje koje se ne može rešiti bez adekvatne politike upravljanja otpadom. Osnove Tematske strategije EU o održivom korišćenju prirodnih resursa su postvaljene na tvrdnji da adekvatno upravljanje otpadom smanjuje pritisak na prirodne resurse i redukuje zagađenje u nastalog preradom istih. To podrazumeva integraciju i usaglašavanje ciljeva i mera svih sektorskih politika, harmonizaciju nacionalnih propisa sa zakonodavstvom EU i njihovu punu primenu [8].

1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I KOLIČINE OTPADA

Osnovu većeg dela industrijskog razvoja čine neobnovljivi mineralni resursi: rude, nemetali i energetske sirovine. Timočki eruptivni masiv je odavno poznat po bakronosnim orudnjenjima, koja pored minerala bakra nose u sebi i znatne količine minerala gvožđa, arsena, molibdena, plemenite metale (zlato, srebro i dr.), kao i različite vrste nemetalčnih sirovina. Ovaj masiv se nalazi u Istočnoj Srbiji, na čijem prostoru postoje tri aktivna rudnika bakra (Bor, Veliki Krivelj i Majdanpek) i četvrti rudnik u ponovnom otvaranju Cerovo - Cementacija 1.

Rudarska proizvodnja u Boru otpočela je 1903.godine podzemnom eksploatacijom. Površinski kop Bor je otvoren 1912. godine i eksploatisan je do 1986. godine. U opštini postoje još dva površinska kopa rude bakra – u Velikom Krivelju (otvoren 1979.) i Cerovu (otvoren 1990 a zatvoren 2002). Povoljni tržišni uslovi, diktirani dobrom cenom bakra na Londonskoj berzi, omogućili su kombinatu bakra ponovo otvaranje rudnika Cerovo u 2011.godini. Pored ovih rudnika gde su rezerve detaljno istraživane, postoji i niz lokaliteta gde je vršeno delimično istraživanje bakronosnih orudnjenja.

Na slici 1. je prikazan geološki sklop hidrotermalne zone Timočke eruptivne oblasti sa oznakama lokaliteta gde su uočene i registrovane pojave orudnjenja bakra [9].



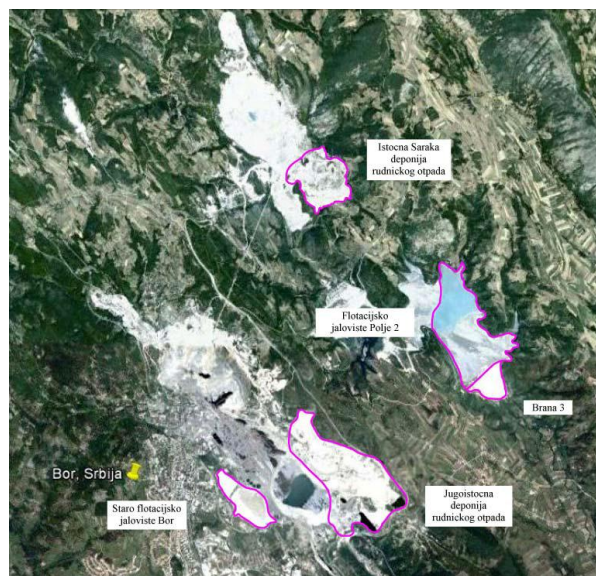
Slika 1. Hidrotermalna izmenjena zona Timočke eruptivne oblasti

Kao potencijalne sirovine za proizvodnju bakra podrazumevaju se sve otpadne sirovine dobijene eksploatacijom ležišta mineralnih sirovina, pripremom i preradom otkopanih sirovina, tkz. tehnogene sirovine. U tehnogene sirovine spadaju rudničke raskrivke sa nižim sadržajem bakra i uz prisustvo oksidnih minerala bakra, stara flotacijska jalovišta kao i šljake, prašine i muljevi nastali pri pirometalurškoj preradi koncentrata bakra. Otpad RTB Bor uglavnom se deponuje na otvorenom prostoru, ili u krugu odgovarajućih pogona. Osnovne otvorene deponije rudničke raskrivke i jalovine nalaze se kod Bora, Velikog Krivelja i Cerova, a deponije flotacijske jalovine u Boru i Velikom Krivelju.

Dosadašnjim rudarenjem i metalurškom preradom koncentrata bakra na teritoriji opštine Bor deponovano je oko:

- 450×10^6 t raskrivke,
- 207×10^6 t flotacijske jalovine,
- 23×10^6 t topioničke šljake.

Ovaj otpad predstavlja 99,95 % ukupno deponovanog otpada na teritoriji opštine Bor [9]. Po svakom stanovniku Borske opštine deponovano je 11133 t raskrivke i jalovine. Na slici 2 su prikazane lokacije deponija sa naznačenim mestima gde je u okviru projekta Svetske banke predviđena sanacija jalovišta i deponija za odlaganje rudničkog otpada u zoni rudnika Bor.



Slika 2. Lokacije deponija rudničkog otpada nastalog u RTB Bor sa označenim objektima za sanaciju [20]

Topionička šljaka je tehnogena otpadna sirovina koja se odlikuje visokim sadržajima bakra, ali i plemenitih metala (0,65% Cu; 0,4 g/t Au; 7,5g/t Ag). Deponovana je u neposrednoj blizini prerađivačkih kapaciteta, a takođe, svakodnevno nastaje od 700 do

1000 t šljake, u zavisnosti od kapaciteta prerade [11,12]. U tabeli 1 su prikazane približne količine i sadržaj bakra u odloženim otpadnim sirovinama na određenim lokacijama, kao i vrednost osnovne korisne komponente (bakra) u njima.

Tabela 1. Količina rudničkog otpada i metalurške šljake i sadržaj bakra [9]

		Deponije otpada	Količine (Mt)	Sadržaj Cu (%)	Cu (t)	Vrednost (miliona US\$)
Jalovina površinskih kopova	Bor	“Visoki planir”	150	0,15	225000	1691,0
		“Severni planir”	20	0,3	60000	450,9
		“Planir RTH”	60	0,1	60000	450,9
		“Unutrašnje odlagalište”	28	0,2	56000	420,9
	V. Krivelj	“Planir V. Krivelj”	170	0,1	170000	1277,7
	Cerovo	“Planir Cerovo”	22	0,18	40000	300,6
Flotacijska jalovina	Bor	Staro flotacijsko jalovište	27	0,3	81000	608,8
		Flotacijsko jalovište RTH	50	0,2	100000	751,6
	V. Krivelj	Flotacijsko jalovište V. Krivelj	130	0,15	195000	1465,5
Metalurška šljaka	Bor	Metalurška šljaka	16,5	0,65	107000	804,2
Ukupno:			673,5		1094000	8222,1

* Cena bakra na dan 21.12.2011. godine 7515,6 US\$/t

Nakon otkopavanja i odlaganja raskrivke i jalovine, sulfidna mineralizacija stenske mase biva izložena vazduhu i atmosferilijama, što dovodi do procesa hemijske i biohemijske oksidacije sulfidnih minerala i stvaranja rudničkih voda.

1.1. Rudnička raskrivka i jalovina

Eksplatacijom mineralnih sirovina metodom površinskog otkopavanja, što je u RTB-u Bor najčešći slučaj, stvaraju se ogromne količine otpadnog materijala: raskrivke i jalovine (partije ruda sa niskim sadržajem sulfidnih minerala, partije oksidne rude, itd.). Rudničke raskrivke i jalovine predstavljaju materijale koji se sastoje od stenske mase ili izdrobljene mase, koji se karakteriše velikim rasponom granulacije – od veoma velikih delova stena do sitnozrnih čestica i prašine. Uopšteno, ovi otpadni materijali se u Timočkom eruptivnom regionu, sastoje od magmatskih stena (andezit, dacit, piroklastiti, itd) i sedimentnih stena (krečnjak, peščari i dr.) i sadrže vrlo malu ili nikakvu vrednost mineralizacije [9].

Za vreme eksploatacije rude na površinskom kopu Bor vršeno je odlaganje raskrivke i jalovine na lokalitetima „Visoki planir“ (nazvan i Oštrejski planir), na „Severnom planiru“, rudničkoj deponiji rudnog tela „H“ (RTH). Najveća količina jalovine je odložena na Visokim planirima gde je ukupno odloženo

oko 150 miliona tona jalovine, sa procenjenim sadržajem bakra od 0,15% od čega 20 % može da se predstavi kao bakar u obliku oksidnih minerala, a od sulfidnih minerala su prisutni halkozin, kovelin, i neznatan sadržaj halkopirita. Iz Tabele 1 se vidi da je sa površinskog kopa u Boru, u toku njegovog aktivnog rada odloženo oko 250 miliona tona jalovine.

U toku eksploatacije na površinskom kopu Veliki Krivelj formirana su dva odlagališta raskrivke i to na lokalitetima Todorov potok i Saraka potok, pri čemu su ova dva odlagališta odvojena i nalaze se na suprotnim stranama površinskog kopa Veliki Krivelj. Do sada je ukupno odloženo oko 170 miliona tona jalovine sa sadržajem bakra na ovim odlagalištima oko 0,1 %. Najveći sadržaj bakra je u obliku sulfidnih minerala, i to najviše halkopirita, zatim halkozin i kovelin u mnogo manjoj meri.

Godine 1990. započeto je otvaranje površinskog kopa Cerovo – Cementacija 1 koji je bio u eksploataciji do 2002.godine. U aktivnom periodu eksploatacije je ukupno odloženo 22 miliona tona raskrivke sa sadržajem bakra koji je bio manji od 0,2 %. Najzastupljeniji sulfidni mineral bakra u jalovini je bio halkozin, a u manjoj meri kovelin i halkopirit. Od nesulfidnih minerali su uglavnom bili prisutni malahit i azurit sa prisustvom kuprita i tenorita [1, 9].

Odlaganje raskrivke i jalovine na deponijama u Boru, Velikom Krivelju i Cerovu je vršeno kamionskim

transportom pri čemu su stvoreni nepovoljni uslovi za tretiranje ove sirovine luženjem. Podloga terena na kome je odlagan material je bila nepripremljena, što je sa aspekta luženja i zaštite okoline, vrlo nepovoljna situacija.

1.2. Flotacijska jalovina

Flotacijska jalovina nastaje u procesima flotacijske koncentracije mineralnih sirovina i predstavlja izuzetno usitnjeni materijala (50 – 90 % klase krupnoće -0,074 mm). Flotacijska jalovina nosi određeni deo sulfidne i povećani deo oksidne mineralizacije metala koji nisu koncentrisani postupkom flotiranja. Raspodela bakra po klasama krupnoće je karakteristična i prisutna je najviše u sitnijim klasama, ispod 10 μ m, i to kako sulfidnog tako i nesulfidnog oblika. Jalovina procesa flotacijske koncentracije deponuje se na flotacijskim jalovištima gde se sedimentacijom vrši delimično razdvajanje faza. U zavisnosti od perioda u kojem je jalovina odlagana kao i mineralizacije ležišta iz koga je nastala može imati manju ili veću mineralnu vrednost.

Flotacijsko jalovište Bor locirano je u dolini Borske reke, a formiranje flotacijskog jalovišta počelo je 1933. godine, kada je počela sa radom flotacija u Boru. Deponovanje jalovine vršeno je sve do 1987. godine, kada je taj proces preseljen u otkopani prostor rudnog tela H, u neposrednoj blizini. Prethodno, teren je grubo poravnat i iznivalisan kako bi moglo da počne odlaganje, koje je vršeno u okviru tzv. tri polja. U starom flotacijskom jalovištu odložena je jalovina sa sadržajem metala koji je približan sadržaju u prirodnim resursima koji se trenutno eksploatišu. Staro flotacijsko jalovište rudnika bakra Bor je odavno predmet istraživanja u cilju iznalaženja mogućnosti valorizacije bakra i drugih korisnih komponenti (plemeniti metali, pirit, kaolin).

Sa početkom rada flotacije Veliki Krivelj, krajem 1982.godine, počinje deponovanje flotacijske jalovine u dolini Kriveljske reke, u neposrednoj blizini rudnika. Kompletni akumulacioni prostor jalovišta Veliki Krivelj je, sa tri brane, podeljen u dva polja, odnosno jalovište se sastoji od dva bazena - polja za odlaganje jalovine i tri brane.

1.3. Topionička šljaka

Topioničke šljake, kao tehnogeni otpadi koji nastaju topljenjem koncentrata bakra, su veoma različite u pogledu fizičkih, mineraloških i hemijskih osobina. Ove

razlike se javljaju usled raznovrsnosti ruda, koncentrata i topitelja koji se koriste u procesu topljenja, kao i usled primenjenih tehnologija topljenja.

Bakarna šljaka se sastoji pretežno od fajalita i magnetita i čvrstih sulfidnih rastvora Cu-Fe-S koji su u obliku kapljica uklopljeni u gvožđe-silikatnoj osnovi. Odlikuje se visokim sadržajima bakra, ali i plemenitih metala (0,65% Cu; 0,4 g/t Au; 7,5g/t Ag). Deponovana je u neposrednoj blizini prerađivačkih kapaciteta, u količini od 16-18 miliona tona, a takođe, svakodnevno nastaje od 700 do 1000 t šljake, u zavisnosti od kapaciteta prerade [11]. Industrijska prerada topioničke šljake se vrši u pogonu Flotacije Bor od 2001.godine.

1.4. Rudničke vode

Nakon otkopavanja i odlaganja raskrivke i jalovine, sulfidna mineralizacija stenske mase biva izložena vazduhu i atmosferilijama, što dovodi do procesa hemijske i biohemijske oksidacije sulfidnih minerala i pojave rudničkih voda. Rudničke vode se pojavljuju u obliku prirodnih izvora u rudnicima bakra, odakle se ispumpavaju, ili slobodno otiču u obližnje potoke i rečice, zagađujući ih. One se karakterišu niskom pH vrednošću (najčešće u intervalu od 3 do 4) i visokom koncentracijom sulfata i jona metala kao što su gvožđe, magnezijum, cink, a sadrže i manje koncentracije kadmijuma, olova, bakra i nikla [13]. S obzirom na ogromne količine odloženih raskrivki i jalovine, periodi izluživanja se uglavnom mere decenijama nakon završetka rudarskih aktivnosti.

2. PRERADA OTPADNIH TEHNOGENIH SIROVINA

Prerada tehnogenih i sekundarnih sirovina omogućava uštedu primarnih sirovina, uštedu u energiji i zaštitu životne sredine. S obzirom na to da su tokom višedecenijske proizvodnje bakra u Boru i bližoj okolini formirana odlagališta sa ogromnom količinom otpadnih materijala (raskrivke i jalovine površinskih kopova, flotacijska jalovišta i odlagališta topioničke šljake), kao i na to da ovi materijali imaju negativan uticaj na životnu sredinu, nameće se pitanje njihove sanacije i mogućnosti reciklaže.

Otpad iz procesa pripreme mineralnih sirovina (rudnička i flotacijska jalovina) može se upotrebiti za popunjavanje praznih otkopnih prostora, ili za saniranje i remedijaciju eksploatacionih rudničkih površina, nakon čega bi sledela i njihova biološka rekultivacija. Sanacija

starih površinskih kopova u Boru je urađena tako što je površinski kop "rudno telo H" zapunjeno flotacijskom jalovinom, a otvoreni Površinski kop Bor se zapunjava raskrivkom sa Površinskog kopa Veliki Krivelj koja se dovozi transportnom trakom.

Flotacijska jalovina se već koristi u svetu za dobijanje raznih opekarskih proizvoda [14]. Postoji dosta primera gde se rudnički otpadi koriste kao građevinski materijali, za izgradnju autoputeva, ali je ponekad njihova primena onemogućena zbog sklonosti ka luženju dela komponenti, nepovoljnog granulometrijskog sastava, i dr.

Uobičajeno je u svetu da se za dobijanje bakra iz rudničkih jalovina i flotacijskih jalovišta, koriste hidrometalurški postupci (luženje, solventna ekstrakcija i elektroliza). Staro flotacijsko jalovište rudnika bakra Bor je odavno predmet istraživanja u cilju iznalaženja mogućnosti valorizacije bakra i drugih korisnih komponenti jer dosadašnja istraživanja nisu omogućila da se nađe tehnološki opravdano rešenje [15-17].

Topioničke šljake, kao tehnogeni otpadi koji nastaju topljenjem koncentrata bakra, su veoma različite u pogledu fizičkih, mineraloških i hemijskih osobina. Povoljne fizičko mehaničke i hemijske karakteristike šljake omogućavaju primene ove vrste otpada kao dodatak različitim materijalima kao što je cement, u opekarskoj industriji, industriji abraziva, staklarskoj industriji, itd. [18]. Kada je sadržaj bakra i drugih metala u šljaci povoljan, pristupa se njenom daljem tretmanu primenom flotacijskih postupaka, a takođe se vrše istraživanja dobijanja metala i hidrometalurškim postupcima [11, 16]. Industrijska prerada topioničke šljake se vrši u pogonu Flotacije Bor od 2001. godine.

Treba istaći i to da pored reciklaže ranije deponovanih otpadnih materijala ništa manje nije važno ni recikliranje otpadnih materijala iz tekuće prerade mineralnih sirovina, čime će se tehnološki procesi na ovim prostorima uvesti u kategoriju održivih tehnologija.

U RTB Bor se samo manji deo rudničkih voda iz Jame Bor kolektira (plave vode), delimično oslobađa od jona bakra u postrojenju za cementaciju; prepumpava u flotacijsko jalovište, a odatle recirkuliše u proces flotacijske koncentracije rudnika Veliki Krivelj. Ostali deo odlazi u Kriveljsku reku dodatno povećavajući njenu zagađenost. Na osnovu analiza kvaliteta vode može se uočiti njena višegodišnja zagađenost jonima bakra i gvožđa, a primetna je i povećana kiselost vode kao i značajna koncentracija suspendovanih čestica koje reci daju karakterističnu žutu boju. Da bi se jasnije video

uticaj Kriveljske reke na unos zagađujućih komponenti u Borsku reku, a preko nje na Timok i dalje Dunav, potrebno je poznavati i količine ovih voda.

Rudničke otpadne vode je potrebno prethodno tretirati do potrebnog nivoa za ispuštanje u rečne vodotokove. Za prečišćavanje otpadnih voda se najčešće koriste fizičke metode prečišćavanja, hemijske metode (neutralizacija, precipitacija i dr.), fizičko-hemijske metode (adsorpcioni procesi, flotacioni procesi, ekstrakcioni procesi, membranski i elektrohemijski procesi), biohemijske metode prečišćavanja i kombinovane metode [19].

Proizvodnju bakra u RTB-u Bor, u Boru, od samog njenog početka pratilo je ekološko zagađenje zemljišta, vode i vazduha. Za rešavanje višedecenijskog zagađenja u Boru dobijena su sredstva Svetske banke za obnovu i razvoj, koja će omogućiti sanaciju flotacijskih jalovišta, flotacijskih brana i odlagališta rudničkog otpada (raskrivke), koji su rezultat proizvodne aktivnosti rudnika bakra. U okviru ovog projekta predviđena je sanacija sledećih objekata: polje 2 flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj, staro borsko flotacijskog jalovište, brana 3 flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj, deponija rudničkog otpada "Saraka" i Jugoistočna deponija rudničkog otpada [20]. Način korišćenja resursa, baziran na kompleksnom planiranju upravljanjem mineralnim resursima, ostaje kritično pitanje koje se ne može rešiti bez adekvatne politike upravljanja otpadom.

ZAKLJUČAK

Sve intenzivniji razvoj ljudskog društva bazira se na razvoju industrijske proizvodnje i energetike, zbog čega se nameće potreba obimnije eksploatacije rudnog bogatstva, odnosno mineralnih sirovina. Republika Srbija spada u red zemalja sa raznovrsnim i relativno bogatim mineralnim resursima, pri čemu su ležišta bakra koncentrisana u timočkom eruptivnom basenu. Značajnija ležišta bakra se nalaze u Majdanpeku, Boru, Velikom Krivelju i Cerovu, a takođe postoji i niz lokaliteta gde je vršeno delimično istraživanje bakronosnih orudnjenja.

Dugogodišnja eksplotacija u Boru i okolini je u velikoj meri uticalo na životnu sredinu, preko degradacije velikih površina zemljišta (površinski kopovi), deponovanju velikih zapremina čvrstog otpada (raskrivka i jalovina), pojave otpadnih voda i zagađenja vazduha. Neke od otpadnih sirovina sadrže korisne komponente, bakar i plemenite metale u granicama ekonomske isplativosti njihove prerade. Veći deo

industrijskog otpada može se danas korisno upotrebiti, te predstavlja sekundarne sirovine. Reciklažom otpadnih sirovina nastalih pri eksploataciji i preradi mineralnih sirovina i topljenju koncentrata, omogućava se ponovo korišćenje materijala koji nemaju upotrebnu vrednost. Na ovaj način se otpadu nastalom u rudarstvu daje nova upotrebna vrednost i istovremeno smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu.

LITERATURA

1. Mitrović, Z.; Jovanović, M. *Sto godina borskog rudarstva 1903-2003. Sedamdeset pet godina basenskih flotacija 1929-2003*; RTB Bor i Megatrend univerzitet Beograd: Bor, 2007.
2. Milijić, Z. Životna sredina i održiva proizvodnja RTB-a Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1, 1-10.
3. Mihajlović, B.; Miličević, Ž. Održivi razvoj proizvodnje rude bakra u RTB Bor. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1, 11-22.
4. Janković, P.; Marjanović, T.; Lekovski, B. Metalurgija bakra i održivi razvoj. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1, 23-33.
5. Trumić, M. Ž.; Bogdanović, G. D.; Trumić, M. S.; Bugarinović, S. J. Industrial waste and its environmental impact - case study of Bor, ISWA Beacon 2011: Public-private partnership and hazardous waste in developing countries in SEE, Middle East and Mediterranean Region, 08th -10th December 2010, Novi Sad, Serbia, 2010; pp 117-122.
6. Ilić, I.B.; Gulišija, Z.P.; Sokić, M.D. *Reciklaža metaličnih sekundarnih sirovina*; ITNMS: Beograd, 2010.
7. Nacionalna strategija održivog razvoja, na osnovu čl. 17, st. 1. i čl. 45, st. 1 Zakona o Vladi, „Službeni glasnik RS”, br. 55/05, 71/05-ispravka i 101/07.
8. Mihajlov, A. Segment održivog korišćenja prirodnih resursa i integralnog upravljanja otpadom: Reciklaža. *Reciklaža i održivi razvoj* **2010**, 3, 1-8.
9. Program dugoročnog razvoja RTB Bor, Hidrometalurgija bakra, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 1993.
10. Marjanović, T.; Trumić, M.; Marković, Lj. *Local Environmental Action Plan*; The Municipality of Bor: Bor, 2003.
11. 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, 31-40.
12. Stanojlović, R.; Štirbanović, Z.; Sokolović, J. Primena nove tehnologije u funkciji održive prerade topioničke šljake. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1, 34-42.
13. Bogdanović, G.; Antonijević, M.; Milanović, Z.; Šerbula, S.; Milić, S. Analiza stanja rudničkih voda Rudnika bakra Bor, Zbornik radova II Simpozijum reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Sokobanja, Srbija, 2007; pp 269-275.
14. Radojević, Z.; Delić - Nikolić, I.; Miličić, L.; Terzić, A. Održivo korišćenje mineralnih sirovina u proizvodnji građevinskih materijala u Srbiji, Zbornik radova 6. Simpozijum reciklažne tehnologije i održivi razvoj, Sokobanja, Srbija, 2011; pp 102-108.
15. Lottermoser, B.G. *Mine wastes: Introduction to Mine Wastes*; Springer: Berlin Heidelberg, 2003.
16. Al-Abed, S.R.; Jegadeesan, G.; Purandare, J.; Allen, D. Leaching behavior of mineral Processing waste: Comparison of batch and column investigations. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, 153, 1088–1092.
17. Antonijević, M.M.; Dimitrijević, M.D.; Stevanović, Z.O.; Šerbula, S.M.; Bogdanović, G.D. Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, 158, 23–34.
18. Gorai, B.; Jana, R.; Premchand, K. Characteristics and utilisation of copper slag. *Resources, Conservation and Recycling* **2003**, 39: 299-313.
19. Stanković, V.; Božić, D.; Gorgievski, M.; Bogdanović, G. Heavy metal ions adsorption from mine waters by sawdust. *Chemical Industry and Chemical Engineering* **2009**, 15(4), 237–249.
20. Studija procene stanja životne sredine za sanaciju jalovišta i deponija za odlaganje rudničkog otpada u zoni rudnika Bor (kao deo projekta Regionalni razvoj Bora – Br. Projekta p092999), 2011.