

Cu

UDC 669.3
YU ISSN 0351-0212

BAKAR COPPER

број 1

volumen 32

2007



UDC: 553:622.272(045)=861

**FAKTORI GEOLOŠKO-EKONOMSKE OCENE
TEKUĆEG ZAHVATA – JAMA BOR**

**GEOLOGICALY – ECONOMIC ESTIMATE
FACTOR'S OF CURRENT PUSH-BACK – „JAMA BOR“**

M. Maksimović*, M. Jovanović*, K. Nikolić**

*Institut za bakar Bor, **RTB Bor, RBB

Izvod

Tehno-ekonomska (u daljem tekstu TEO) ili geološko-ekonomska ocena ležišta mineralnih sirovina predstavlja metodološki postupak koji analizira sve geološke, tehničke, ekonomske i druge faktore, i iz njih izvedene pokazatelje značajne za ostvarenje budućih ekonomskih efekata u daljem istraživanju ili eksploataciji određenih ležišta. Tehničko-ekonomska ocena u sklopu Elaborata o rudnim rezervama je zakonska obaveza, kojom se dokazuju bilansne rudne rezerve, na kojima se, shodno zakonskim odredbama, baziraju rudarski projekti.

Ključne reči: tekući zahvat, rudne rezerve, ekonomski tip rude, troškovi, cena koštanja, investicije

Abstract

Geologically-economic estimate (TEO) of mineral resource deposits is technical metode which analyse all geological, technical, economic and other aspects (factors), important for economical effects of future researches and exploitations some mineral deposits. Geo-economic estimate (TEO) like part of Elaborate of mineral reserve's is obligation and law, which show forth balance reserves – like base (law and order) of mining projects.

Key words: push-back, mineral reserve's, economical type of mineral, expense (expenditure), price of cost, investments (investiture).

UVOD

Proračunom rudnih rezervi u ležištu bakra Bor (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”), utvrđene su rudne rezerve sa stanjem 31.XII 2004. godine.

Objektivna geološko-ekonomska ocena polazi od analize više karakterističnih faktora koji se, prema radovima S. Jankovića (1960, 1967), S. Jankovića i D. Milovanovića (1968), D. Milovanovića (1975, 1976), izdvajaju u sledeće grupe:

- metalogenetski faktori,
- geološki faktori,
- tehničko-eksploatacioni faktori,

- tehnološki faktori,
- regionalni faktori,
- tržišni faktori,
- socijalno-ekonomski i politički (društveno-ekonomski) faktori.

Analiza faktora geološko-ekonomske ocene ležišta izvršena je za tekući zahvat jer se pojedini polazni parametri, potrebni za analizu faktora geološko-ekonomske ocene, ne mogu izdvojiti za svaku rudno telo posebno, već su zajednički za sva rudna tela.

Rudno telo "Brezanik"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "Brezanik" u predviđenom otkopnom prostoru su 1.494.900 t rude sa: 1,314% Cu, odnosno 19.635,84 t bakra; 17,36% S, odnosno 259.473,80 t sumpora; 0,261 g/t Au, odnosno 390,4 kg zlata; 2,054 g/t Ag, odnosno 3.070 kg srebra.

Proračunate rudne rezerve, uz iskorišćenje pri eksploataciji 64,14% i razblaženje od 5,1% daju 1.022.531 t industrijskih rezervi rude sa:

- srednjim sadržajem Cu od 1,207%, odnosno sa 12.340 t bakra;
- srednjim sadržajem S od 15,50%, odnosno sa 158.543 t sumpora;
- srednjim sadržajem Au od 0,256 g/t, odnosno sa 261,5 kg zlata;
- srednjim sadržajem Ag od 1,734 g/t, odnosno sa 1.773 kg srebra.

Rudno telo "Tilva roš"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "Tilva roš" u predviđenom otkopnom prostoru su 1.104.218 t rude, sa: 0,88% Cu, odnosno 9.714 t bakra; 11,684% S, odnosno 129.019 t sumpora; 0,179 g/t Au, odnosno 198 kg zlata; 1,019 g/t Ag, odnosno 1.125 kg srebra. Ako se pri eksploataciji ostvari iskorišćenje 80% i razblaženje rude od 7,5%, mogu se očekivati, kao industrijske rezerve, 991.169 t rude sa:

- srednjim sadržajem Cu od 0,814%, odnosno sa 8.071 t bakra;
- srednjim sadržajem S od 11,445%, odnosno sa 113.444 t sumpora;
- srednjim sadržajem Au od 0,171 g/t, odnosno sa 169 kg zlata;
- srednjim sadržajem Ag od 0,995g/t, odnosno sa 986 kg srebra.

Rudno telo "P₂A"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "P₂A" u predviđenom otkopnom prostoru su: 1.899.586 t rude sa: 0,908% Cu, odnosno 17.247 t bakra; 8,3% S, odnosno 156.121 t sumpora; 0,435 g/t Au, odnosno 826 kg zlata i 1,775 g/t Ag, odnosno 3.375 kg srebra.

Proračunate rudne rezerve, uz iskorišćenje u eksploataciji 80% i razblaženje

od 13,0%, daju industrijske rezerve od 1.776.344 t rude sa:

- srednjim sadržajem Cu od 0,829%, odnosno sa 14.729 t bakra;
- srednjim sadržajem S od 8,2%, odnosno sa 144.922 t sumpora;
- srednjim sadržajem Au od 0,455 g/t, odnosno sa 809 kg zlata;
- srednjim sadržajem Ag od 1,723 g/t, odnosno sa 3.061 kg srebra.

TEKUĆI ZAHVAT (RUDNA TELA “BREZANIK”, “TILVA ROŠ” I “P₂A”)

Iz ležišta bakra Bor sada se otkopava ruda iz rudnih tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”. Podzemna eksploatacija rudnih tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A” se, po planskim dokumentima i u Glavnom rudarskom projektu eksploatacije ispod XIII horizonta, naziva Tekući zahvat. Polazni parametri za ekonomska sagledavanja dati su u *Studiji opravdanosti kratkoročnog investiranja (period 2006 - 2011. god.) u proizvodnju koncentrata bakra u RTB – Bor*. Sagledavanje ekonomskih efekata izvršeno je do nivoa ekonomske dobiti.

Rezerve

Proračunate rudne rezerve za Tekući zahvat, u predviđenom otkopnom prostoru, su 4.498.704 t rude, sa: 1,036% Cu, odnosno 46.597 t bakra; 12,106% S, odnosno 544.614 t sumpora; 0,314 g/t Au, odnosno 1.414,4 kg zlata i 1,683 g/t Ag, odnosno 7.571 kg srebra.

Proračunate rudne rezerve u sklopu Tekućeg zahvata, uz iskorišćenje rude 74,73% i razblaženje od 10,52% daju 3.790.044 t industrijskih rezervi rude sa:

- srednjim sadržajem Cu od 0,927%, odnosno sa 35.140 t bakra;
- srednjim sadržajem S od 11,0%, odnosno sa 416.910 t sumpora;
- srednjim sadržajem Au od 0,327 g/t, odnosno sa 1.240 kg zlata;
- srednjim sadržajem Ag od 1,536 g/t, odnosno sa 5.820 kg srebra.

Investicije

Ukupne investicije iznose: 5.528.532 US\$, zaokruženo 5.530.000 US\$.

Troškovi proizvodnje

Osnova za proračun troškova proizvodnje su normirani radovi i materijalni imputi dati u *Studiji opravdanosti kratkoročnog investiranja (period 2006 - 2011. god.) u proizvodnju koncentrata bakra u RTB-Bor*. Troškovi proizvodnje su sistematizovani u grupe:

- troškovi kapitala,
- troškovi materijala,
- troškovi rada.

Troškovi kapitala su fiksni troškovi koji ne zavise od obima proizvodnje i pod njima se podrazumeva:

- amortizacija,
- održavanje,
- troškovi osiguranja imovine.

Cena proizvodnje

Cena koštanja proizvodnje iznosi:

“Brezanik”: po 1 t iskopane rude troškovi iznose 16 US\$; troškovi flotacije po 1 t rude iznose 4,6 US\$; ukupno: 20,6 US\$/t.

”Tilva roš”: po 1 t iskopane rude troškovi iznose 9,5 US\$; troškovi flotacije po 1 t rude iznose 4,6 US\$; ukupno: 14,1 US\$/t.

“P₂A”: po 1 t iskopane rude troškovi iznose 10,5 US\$; troškovi flotacije po 1 t rude iznose 4,6 US\$; ukupno: 15,1 US\$/t.

Ukupno Tekući zahvat (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”): po 1 t iskopane rude troškovi iznose 11,72 US\$; troškovi flotacije po 1 t rude iznosi 4,6 US\$; ukupno: 16,32 US\$/t.

Flotacijska iskorišćenja

Flotacijska iskorišćenja: bakar, prosečno 86,8 %; zlato, prosečno 45 %; srebro, prosečno 55 %.

Prodajna cena

Računato je sa prodajnom cena gotovih proizvoda (koncetrat bakra):

1. Bakar (u koncentratu)	2.310 US\$/t
2. Zlato (u koncentratu)	12.350US\$/kg
3. Srebro (u koncentratu)	185 US\$/kg.

Cene su sagledane na bazi dosadašnjeg ostvarenja plana i prognoze, kao i strukture plasmana na domaćem i stranom tržištu, i prognoze cena na svetskom tržištu za period trajanja projekta.

FAKTORI GEOLOŠKO–EKONOMSKE OCENE

U sklopu predmetne tehničko-ekono-mske ocene (TEO) analiziraju se najbitniji karakteristični faktori.

GEOLOŠKI FAKTORI

Geološki faktori TEO posebno su značajni kada se ocena vrši u fazi prospekcije i istraživanja, pri čemu se određuje perspektivnost istraživanog ležišta kao i celishodnost daljih istraživanja. Međutim, isti ti faktori imaju značaj i u oceni na bazi rezultata poodmaklih kao i završnih istraživanja, ali i eksploatacije kao što je to u konkretnom slučaju, kada se vrši TEO ležišta čija eksploatacija traje preko 100 godina, odnosno rudnih tela čija je eksploatacija u toku.

Geološki faktori imaju, uglavnom, prirodni karakter, a među njima su najznačajniji: ekonomski tip rude, ekonomski tip ležišta, razmere, morfološke karakteristike ležišta i faktori vezani sa prostornim položajem ležišta.

Ekonomski tip rude

U rudnim telima “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A” orudnjenje je štokverkno-impregnacionog i masivno-sulfidnog tipa. Rudni minerali bakra se javljaju u obliku žica, nagomilanja, žilica i impregnacija, a nastali su iz hidrotermalnih rastvora. Sadržaj bakra u rudi se kreće od 0,8% do 1,3%, sa povišenim sadržajem sumpora u rudi. U svetskim razmerama ovakve rude se eksploatišu u manjem obimu, a u našoj zemlji iz ovih ruda je bila glavna produkcija bakra u prethodnom periodu rudarenja, pri čemu su dobro razrađeni svi aspekti eksploatacije i obogaćivanja. Glavni minerali bakra su kovelin, halkozin i enargit, a u manjoj meri (ispod 5%) halkopirit, bornit i luzonit.

Ekonomski tip rudnih tela

Rudno telo “Brezanik” je sa masivno-sulfidnim i štokverkno-impregnacionim orudnjenjem. Rudna tela “Tilva roš” i “P₂A”, su sa žično-impregnacionim orudnjenjem. Rudna tela su sa malim rezervama, a srednji sadržaji bakra po rudnim telima su sledeći: “Brezanik” 1,31% Cu; “Tilva roš” 0,88% Cu i “P₂A” 0,91% Cu. Sa nacionalnog aspekta nemaju prvorazredni značaj, ali za RBB, odnosno za Jamu Bor vrlo su bitni, jer omogućavaju kontinuitet proizvodnje do početka eksploatacije rudnog tela “Borska reka”.

Razmere rudnih tela

Rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A” su u završnoj fazi eksploatacije. Preostale količine rude u tim rudnim telima su male, a nepovoljno je i što sa dubinom sadržaj bakra u rudi opada (u rudnim telima “Tilva roš” i “P₂A”). Razmere rudnih tela, odnosno količina preostalih rezervi, značajni su sa aspekta održavanja proizvodnje u vremenskom periodu pripreme rudnog tela “Borska reka” za eksploataciju.

Morfološke karakteristike

Oblik i prostorni položaj rudnih tela veoma su značajni za način njihove eksploatacije i utiču na troškove dobijanja mineralne sirovine.

Rudno telo "Brezanik" je u obliku izduženih zona sa žicama u vidu izduženih sočiva. Ova izduženja idu od 50 do 150 m po pravcu severoistok-jugozapad, a u poprečnom preseku debljina im varira od nekoliko metara, pa do nekoliko desetine metara.

Rudno telo "Tilva roš" ima oblik nepravilnog stuba koji strmo zaleže. U dubljim delovima, jedinstveno rudno telo se račva poput stabla u delu korena, a posle kote -46 m rudna mineralizacija se javljala u vidu mlazevitih koncentracija.

Rudno telo "P₂A" ima oblik štoka sa pravcem pružanja severozapad-jugoistok. Po dubini se nastavlja ispod XV horizonta.

Koeficijent varijacije (V)

Koeficijent varijacije (V%) odražava ravnomernost (neravnomernost) ili promenljivost distribucije korisnih komponenti, odnosno orudnjenja u ležištu - rudnom telu. Prema proračunatom koeficijentu varijacije, navedena rudna tela karakterišu se neravnomernim ("Tilva roš", "P₂A") do vrlo neravnomernim orudnjenjem ("Brezanik").

Rudno telo "Brezanik"

Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "Brezanik" proračunat je prilikom izrade elaborata o rudnim rezervama 1975. godine u konturi graničnog sadržaja bakra 0,4%. Proračun je izvršen na bazi oprobavanja bušotina sa površine terena, bušotina iz jamskih prostorija i istražnih rudarskih radova, u probama sa graničnim sadržajem bakra 0,4 %. Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "Brezanik" je 135 %, što znači da je u rudnom telu distribucija bakra vrlo neravnomerna.

Rudno telo "Tilva roš"

Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "Tilva roš" proračunat je na osnovu rezultata oprobavanja 32 istražne bušotine koje su izbušene posle 1990. godine. Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "Tilva Roš" iznosi 46,6 % u konturi graničnog sadržaja bakra 0,4 %, što znači da je distribucija bakra u rudnom telu neravnomerna (odnosno neravnomerna do ravnomerna).¹ (U prilogu 24/2 dat je prikaz proračuna koeficijenta varijacije sadržaja: Cu, S, Au, Ag, i As za rudno telo "Tilva roš").

Rudno telo "P₂A"

¹ Orudnjenje se smatra ravnomernim ako je koeficijent varijacije sadržaja korisne komponente (V%) do 40%, a neravnomernim ako je koeficijent varijacije sadržaja korisne komponente (V%) od 40 do 100%.

Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "P₂A" proračunat je na osnovu rezultata oprobavanja 82 istražna rada (bušotina i istražnih hodnika). Koeficijent varijacije sadržaja bakra za rudno telo "P₂A" iznosi 54,6% u konturi graničnog sadržaja bakra 0,4%, što znači da je distribucija bakra u rudnom telu neravnomerna. (u prilogu 25/2 dat je prikaz proračuna koeficijenta varijacije sadržaja: Cu, S, Au, Ag, i As za rudno telo "P₂A").

Koeficijent rudonosnosti (K_r)

Koeficijent rudonosnosti (K_r) u rudnim telima računa se na bazi kvantifikacija udela jalovine u konturi rezervi. Koeficijent rudonosnosti (K_r) u rudnim telima "Brezanik", "Tilva roš" i "P₂A" proračunat je na bazi odnosa količina rude, prema količinama celokupne iskopine, po formuli:

$$K_r = \frac{q_r}{q_o}, \text{ gde je:}$$

K_r – koeficijent rudonosnosti;

q_r – količina rude (masa);

q_o – ukupne količine iskopine (otkopana masa, rude i pratećih stena).

Po rudnim telima dobijene su sledeće vrednosti koeficijenta rudonosnosti:

Rudno telo "Brezanik"

(q_r = 958.800 t; q_o = 1.022.531 t)

$$K_r = \frac{958.800}{1.022.531} = 0,938.$$

Rudno telo "Tilva roš"

(q_r = 883.374 t; q_o = 991.169 t)

$$K_r = \frac{883.374}{991.169} = 0,891;$$

Rudno telo "P₂A"

(q_r = 1.519.669; q_o = 1.776.344)

$$K_r = \frac{1.519.669}{1.776.344} = 0,856.$$

Metalogenetski faktori

Ležište bakra Bor nalazi se u Timočkom magmatskom kompleksu u okviru Borskog rudnog polja.

Timočki magmatski kompleks je deo Borske metalogenetske zone koja je deo Karpatsko-Balkanske metalogenetske provincije kao sastavnog dela Tetisko-Evroazijskog metalogenetskog pojasa. Borska metalogenetska zona se odlikuje većim brojem ležišta bakra od kojih su najznačajnija:

- Centralno i Severno porfirsko ležište bakra u Majdanpeku (Južni i Severni revir) sa nizom manjih satelitskih rudnih tela bakra – porfirskih, masivno-sulfidnih, Cu-piritskih i Pb-Zn-Cu polimetaličnih, kao i sa pojavama masivno-sulfidnih polimetaličnih Pb-Zn-Cu-Au-Ag ruda (Čoka Marin 1, 2 i 3) u blizini Majdanpeka;
- Vanbilansna porfirsko ležišta bakra na Crnom Vrh kod Bora - Valja strž i Dumitru potok, sa nizom manjih porfirskih ležišta i/ili pojava bakra, zatim sa pojavama masivno-sulfidnih ruda (Lipa, Čoka kuruga), kao i sa ležištima i pojavama skarnovskih polimetaličnih Pb-Zn-Cu ruda (ležište Valja saka);
- Ležišta bakra u hidrotermalno izmenjenoj zoni Mali Krivelj – Cerovo (porfirsko, cementaciona i masivno-sulfidna);
- Porfirsko ležište bakra Veliki Krivelj;
- Ležište bakra Bor sa, do sada, pronađenih 29 rudnih tela bakra masivno-sulfidnog, štokverknog-impregnacionog, žičnog, pretaloženog i porfirskog tipa;
- Ležište bakra Borska reka, kao ležište koje u geološkom smislu može da se tretira kao rudno telo ležišta Bor, ali se posebno elaborira i u tehničko-ekonomskom smislu predstavlja posebno ležište, ne samo zbog veličine i velike dubine zaleganja, nego i zbog činjenice da njegova eksploatacija treba da bude predmet posebnog privrednog poduhvata;
- Pojave i ležišta bakra u okolini Bora (polimetalična Pb-Zn-Cu-Au-Ag mineralizacija Brestovca i Metovnice).

Sva pobrajana ležišta i rudne pojave nalaze se u zoni dužine oko 70 km i širine do 20 km. Pored rudnih pojava i ležišta bakra, na istim terenima nalaze se i brojna ležišta zlata koja su bila u eksploataciji ili su geološki istraživana.

Rudarenje u okolini Bora počinje još od perioda pre Rimljana i sa dužim ili kraćim prekidima traje do današnjih dana, što je i razumljivo s obzirom na veliki broj ležišta i pojava ruda bakra i zlata. Od 1903. godine počinje eksploatacija bakra praćena savremenijim rudarsko-geološkim istraživanjima u okviru Borske metalogenetske zone. Tokom stogodišnjeg perioda, do danas, je geološki istraženo preko 60 rudnih tela i pojava.*

Ležište Bakra Bor nalazi se u Timočkom magmatskom kompleksu. Većina rudnih tela u ležištu su tokom prethodnog perioda bila eksploatisana. Nisu eksploatisana rudna tela “Borska reka”, “Borski potok ” i “Kamenjar 2”.

Rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A” geološki su istraživana u dugom vremenskom periodu od 50-tih godina prošlog veka do današnjih dana. U rudnim telima “Tilva roš” i “P₂A” istražnim radovima indicirana je mineralizacija bakra i u dubljim delovima ispod nivoa –75 m. Krajnja dubina pojave rudne mineralizacije nije utvrđena.

Neposredno u okolini rudnih tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A” nalaze se rudna tela “Borska reka”, “Kamenjar 2” i rudno telo “D”. Rudno telo “Borska reka” je porfirsko rudno telo, sa geološkim rezervama preko 600.000.000 t rude i srednjim sadržajem oko 0,6% Cu. Rudno telo “Kamenjar 2” je štokverknopregnacionog tipa, sa geološkim rezervama oko 1.500.000 t rude i srednjim sadržajem oko 0,6% Cu, dok je rudno telo “D” masivno-sulfidnog tipa orudnjenja, sa geološkim rezervama oko 1.300.000 t rude i srednjim sadržajem oko 0,7% Cu. Geološkim istražnim radovima ova rudna tela nisu u potpunosti istražena. U dubljim delovima ovih rudnih tela takođe je koncentrisana mineralizacija bakra.

Na bazi rezultata obavljenih geoloških istraživanja, naročito u dubljim nivoima rudnih tela “Tilva roš” i “P₂A”, zaključeno je da se u tim delovima, ispod XIII horizonta, nalazi više odvojenih račvi (ogranaka, «korenova») tih rudnih tela, odnosno izolovanih i razdvojenih orudnjenih zona sa rudom, koju, pored ostalog, odlikuje i niži sadržaj bakra. Zbog toga, bilansnost tih ruda bakra nije izvesna, odnosno radi se o rudi koja je bliska nekada izdvajanoj klasi uslovno bilansnih rezervi.

Može se zaključiti da su metalogenetski faktori povoljni, bez obzira na već stogodišnji period neprekidne eksploatacije i pratećih istraživanja. Jer, prognozne geološke rezerve (rudna tela “Borska reka”, “Kamenjar 2”, “D” i rudna tela Tekućeg zahvata) su reda veličine oko 650.000.000 t rude sa srednjim sadržajem oko 0,6% Cu.

Tehničko-eksploatacioni faktori

Eksploatacija rudnih tela u borskoj Jami započela je pre 100 godina i do današnjih dana se sa manjim ili većim intenzitetom i značajem odvija bez prekida.

Od otkrića Borskog ležišta, u njemu je geološki istraženo 29 i eksploatisano 26 rudnih tela površinskim kopom u Boru i iz Jame Bor. Tokom svih ovih godina usled intenzivne eksploatacije otkopana je većina rudnih tela. Površinski kop u Boru je prestao sa radom 1993. godine sa dnom kopa na koti –1 m. Poslednjih godina proizvodne egzistencije površinskog kopa, odnosno u toku eksploatacije rude bakra na najnižim etažama površinskog kopa, intenzivirana je jamska eksploatacija, a od 1993. godine do danas ruda se iz borskog ležišta ek-

sploatiše samo podzemno.

Sada se eksploatišu delovi rudnih tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”. Eksploatacija u ova tri rudna tela se, po planskim dokumentima i u Glavnom rudarskom projektu eksploatacije ispod XIII horizonta, naziva Tekući zahvat. Rudno telo “Brezanik” se eksploatiše u prostoru između kote +90 m i kote +120 m. Rudno telo “Tilva roš” se eksploatiše sa nivoa –31 m. Rudno telo “P₂A” je u pripremi za eksploataciju sa nivoa –15 m.

Završetak eksploatacije u ova tri rudna tela predviđa se oko 2010. godine, kada bi trebalo da počne eksploatacija rudnog tela “Borska reka”.

Izradom Elaborata o rudnim rezervama stvara se osnova za izradu rudarskih projekata za predviđeni vek eksploatacije 5 godina. Osnovni parametri koji su ušli u ekonomsku računicu su:

- Granični sadržaj otkopavanja, 0,4% Cu za “Brezanik”; 0,5% Cu za “Tilva roš” i 0,6% Cu za “P₂A”;

- Rudne rezerve u projektovanom zahvatu:

- ruda	4.498.704 t,
- srednji sadržaj Au	0,314 g/t,
- srednji sadržaj Ag	1,683 g/t.

- Eksploatacione rudne rezerve:

- ruda	3.790.044 t
- srednji sadržaj Cu	0,927%;
- srednji sadržaj Au	0,327 g/t;
- srednji sadržaj srebra	1,536 g/t.

- Kapacitet proizvodnje godišnje iznosi 758.009 t rude. Projektovani iznos investicionih ulaganja bi bio:

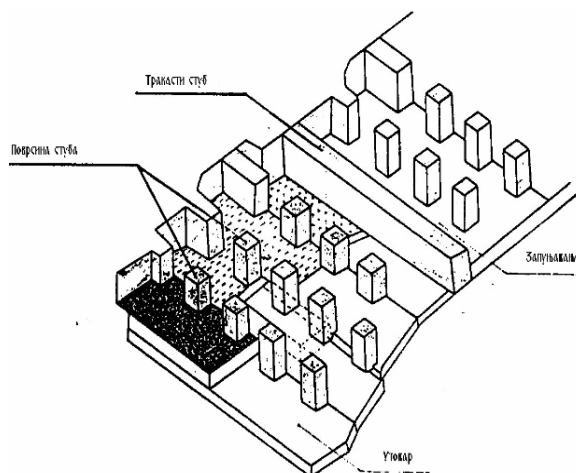
• rudarsko-gradevinski radovi	2.404.000 US\$,
• oprema	3.126.000 US\$.
Ukupno	5.530.000 US\$.

- Broj potrebnih radnika:

• Jama Bor	635,
• Flotacija Bor	113.
Ukupno	740.

- Metode otkopavanja po rudnim telima bi bile sledeće:

1) Rudno telo “Brezanik” se eksploatiše primenom “poststubne metode otkopavanja sa zapunjavanjem otkopnog prostora hidroflotacijskom jalovinom” (sl. 1). Ova metoda diktira i strogo odgovarajuću geometriju otkopavanja. Promene u interpretaciji geoloških rezervi rude i kontura rudnog tela za otkopavanje, koje se odnose na nivoe K 90, K 100, K 110, K 120, i K 130, neće uticati na promenu metode otkopavanja, odnosno i dalje će se primenjivati ista metoda otkopavanja.



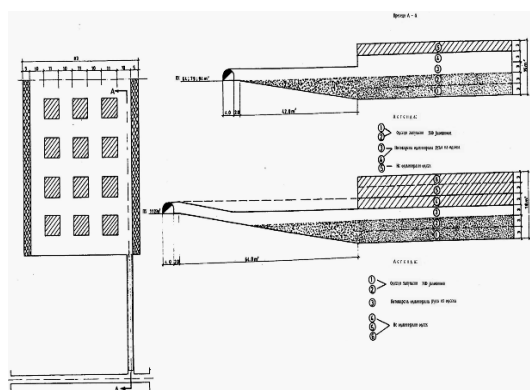
Sl. 1. Aksonometrijski prikaz komorno-stubne metode otkopavanja rudnog tela «Brezanik» sa zapunjavanjem otkopnog prostora hidro-flotacijskom jalovinom

Otkopavanje poststubnom metodom sa zapunjavanjem otkopnog prostora hidroflotacijskom jalovinom za tražene nivoe otkopavanja u rudnom telu "Brezanik" nastaviće se sa geometrijom otkopne metode koja je i do sada bila u primeni, odnosno:

- stubovi će biti kvadratnog oblika dimenzije 11×11 m;
- širina trakastih stubova iznosiće 5 m;
- raspon između trakastog i kvadratnog stuba, kao i raspon između kvadratnih stubova iznosiće 10 m;
- otkopni blokovi imaće tri reda kvadratnih stubova;
- širina otkopnog bloka biće 73 m i
- sigurnosna ploča između IV i I otkopnog nivoa iznosiće 8 m.

Otkopava se bušačko-minerskim radovima sa utovarom i transportom adminirane rude do rudnih okana. Ruda se obara miniranjem horizontalnih mina u povlačenju. Posle obaranja rude, sa oborene rude se, po potrebi, podgrađuje otkop. Otkopavanje se u odsecima visine 3 m. Otkopni blokovi su ograničeni

trakastim stubovima. U njima se nalaze „post“ stubovi koji se ostavljaju zbog stabilnosti samog otkopa. Pre zapunjavanja otkopnog prostora otkopavaju se dva odseka, a pre otkopavanja novog odseka jedan odsek se zapunjava. Skica metode otkopavanja sa karakterističnim preseccima data je na slici 2



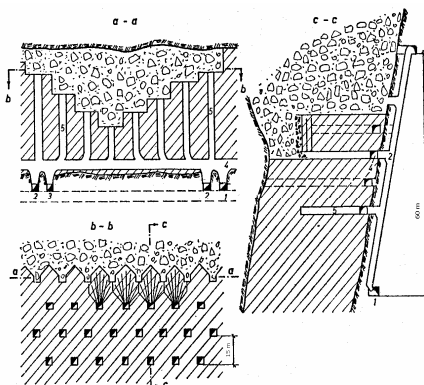
SI. 2. Skica poststubne metode otkopavanja sa zapunjavanjem otkopanog prostora hidro-flotacijskom jalovinom sa karakterističnim preseccima

2) Rudna tela “Tilva roš” i “P₂A” se eksploatišu primenom „švedske varijante” podetažnog otkopavanja sa zarušavanjem.

Podetažna metoda otkopavanja sa zarušavanjem, i to „švedska varijanta”, metoda je koja se, uglavnom, primenjuje za otkopavanje manje vredne rude koja nije sklona većoj oksidaciji, samozapaljenju i lepljivosti. Spada u visoko-produktivne metode otkopavanja sa većim gubicima i većim osiromašenjem rude.

Otkopavanje se vrši odozgo naniže. Rudno telo je podeljeno na podetaže koje se nalaze na visinskom odstojanju od 15 m. Priprema za otkopavanje sastoji se od izrade podetažnih hodnika na svakoj podetaži.

Na svakoj podetaži se izrađuju otkopni hodnici koji su međusobno paralelni i koji se nalaze na osnovnom rastojanju od 14 m, jedan od drugog. Pri tome, otkopni hodnici niže podetaže uvek se lociraju tako da u vertikalnom preseku budu tačno između otkopnih hodnika sa više etaže tj. nalaze se međusobno raspoređeni u vidu polja na šahovskoj tabli, kako je to prikazano na slici 3, presek b-b. Podetaže i podetažni hodnici su međusobno povezani sa Glavnim servisnim niskopom. Glavni servisni niskop povezuje i osnovne horizonte na koje je podeljeno rudno ležište i koji se nalaze na svakih 80 m visine.



Sl. 3. Skica podetažne metode otkopavanja sa zarušavanjem sa karakterističnim preseccima

Tehnologija otkopavanja je zasnovana na klasičnim bušačko-minerskim radovima sa utovarom, transportom i izvozom rude sa otkopa. Za bušenje minskih bušotina u otkopnim hodnicima primenjuju se specijalna bušača kola (SIMBA), koja buše dugačke minske bušotine odozdo naviše u lepezastom rasporedu.

Utovar odminirane (oborene) rude i transport iz otkopnog hodnika obavlja se dizel utovaračima (Wagner ST-6C). Utovarom rude iz otkopa stvara se prazan otkopan prostor u koji se zarušavaju stenske mase koje se nalaze iznad rudnog tela. Rudna okna povezuju podetažne nivoe sa glavnim izvoznim horizontom. Iz rudnih okana ruda se istače preko vibrododavača na transportne trake kojima se dalje izvozi do izvoznog okna, a preko njega dalje na površinu.

Tabela 1. Prognozni metal bilans za Tekući zahvat

A	Masa T,%	Bakar		Sumpor,%		Zlato		Srebro	
		Cu %	I Cu%	S%	I S%	Au g/t	I Au%	Ag g/t	I Ag%
B	C	D	E	F	G	H	I	J	
R	100	0,9	100	11	100	0,3	100	1,5	100
K	3,6	22,4	86,8	43	14	4,2	45	23,5	55
J	96,4	0,1	13,2	9,8	86	0,2	55	0,7	45

Tehnološke operacije bušenja, miniranja, utovara, transporta i izvoza rude, ponavljaju se, kako je dinamikom otkopavanja predviđeno.

Provetravanje podetaža se obavlja protočno pri čemu se sveža vazдушna struja uvodi preko servisnog okna i servisnog niskopa, pa preko podetaža do

otkopnih hodnika. Otkopni hodnici se provetravaju separatno. Istrošena vazдушna struja se izvodi napolje preko ventilacionih okana sa kojima su povezane sve podetaže.

Odvodnjavanje otkopa je gravitaciono, pri čemu se voda spušta do najnižeg nivoa preko podetaža, servisnog niskopa i dalje do pumpnih stanica. Pumpne stanice preko cevovoda izbacuju otpadnu vodu napolje kroz servisno i delom kroz izvozno okno.

TEHNOLOŠKI FAKTORI

Ruda se nakon otkopavanja usitnjava i hemijski tretira. Zatim se flotacijski koncentrišu korisne komponente, odnosno dobija bakrov koncentrat. Postupak tehnološkog tretmana i flotacijske koncentracije rude iz ležišta Bor je tokom više decenija u procesu proizvodnje usavršavan i prilagođavan tehnološkom tipu rude. Utvrđeni su sledeći tehnološki ciklusi:

- a) Mlevenje rude:
 - gustina pulpe u mlinu 1900-2000 kg/m³,
 - sadržaj klase -0,074 mm 60-65%,
 - reagensi: kreč, kolektori, penušač.
- b) Kondicioniranje:
 - vreme kondicioniranja 11,3 min,
 - gustina pulpe u mlinu 1200-1220 kg/m³,
 - pH vrednost 11,8,
 - reagensi: penušači.
- c) Osnovno flotiranje:
 - vreme flotiranja 14,7 min,
 - gustina pulpe 1100 kg/m³,
 - pH vrednost pulpe 11,8 do 12,
 - reagensi: penušač.
- d) Prvo prečišćavanje:
 - vreme prečišćavanja 19,55 min,
 - pH vrednost pulpe 12,0-12,1.
- e) Drugo prečišćavanje:
 - vreme prečišćavanja 10,28 min,
 - pH vrednost pulpe 12,1-12,2.
- f) Treće prečišćavanje:
 - vreme prečišćavanja 5,86 min,
 - pH vrednost pulpe 12,1-12,2.

Na osnovu tehnološke šeme dat je prognozni metal - bilans koji je prikazan u tabeli 1.

Tehnološki parametri flotacijskog ulaza-izlaza su:

- količina rude	3.790.044 t
- sadržaj bakra u rudi	0,927%
- sadržaj sumpora u rudi	11,0%
- sadržaj zlata u rudi	0,327 g/t
- sadržaj srebra u rudi	1,536 g/t
- koncentrat Cu, vlažni	151.270 t
- koncentrat Cu, suvi	136.143 t
- sadržaj Cu u koncentratu	22,4%
- sadržaj S u koncentratu	43%
- sadržaj Au u koncentratu	4,097 g/t
- sadržaj Ag u koncentratu	23,512 g/t
- količina Cu u koncentratu	30.501,33 t
- količina S u koncentratu	58.541 t
- količina Au u koncentratu	557,789 kg
- količina Ag u koncentratu	3.200,94 kg
- iskorišćenje bakra	86,8%
- iskorišćenje sumpora	14%
- iskorišćenje zlata	45%
- iskorišćenje srebra	55%.

Posle flotacije, koncentrat ide na metaluršku preradu u topionicu u Boru. Tu se dobijaju gotovi proizvodi, odnosno metal bakar sa 94% iskorišćenja iz koncentrata, zatim zlato sa 90% iskorišćenja i srebro, takođe sa 90% iskorišćenja iz koncentrata.

REGIONALNI FAKTORI

Regionalni ili ekonomsko-geografski faktori su često veoma značajni za TEO ležišta. Rentabilnost proizvodnje i ekonomičnost iskorišćenja ležišta u velikoj meri zavisi od njegove lokacije u odnosu na potrošače, odnosno tržište, zatim od uslova izgradnje rudnika i postrojenja za obogaćivanje i preradu, kao i od uslova za snabdevanje rudnika i pratećih objekata u periodu proizvodnje. Uticaj regionalnih faktora na rentabilnost eksploatacije ležišta bakra Bor se može sagledati kroz sledeće:

- Jama Bor ima svu potrebnu infrastrukturu, sa svim neophodnim uslovima za neometano obavljanje jamske eksploatacije.
- Postoje svi ostali neophodni uslovi za neometano odvijanje proizvodnje i prerade rude:
- provetravanje,

- odvodnjavanje,
- unutrašnji transport i izvoz rude izvoznim oknom,
- unutrašnja infrastruktura,
- rudarska oprema i mehanizacija,
- objekti na površini,
- stručna radna snaga,
- neposredna blizina industrijskih objekata za pripremu i preradu rude - flotacija i topionica bakra,
- energetske izvori,
- vodosnabdevanje,
- jalovišta,
- mogućnost prodaje bakra putem prodajne mreže RTB-a Bor i drugo.

Prema tome, regionalni faktori su povoljni i pozitivno utiču na dalju valorizaciju rude bakra iz ležišta Bor.

TRŽIŠNI FAKTORI

Tržišni faktori, od kojih su najvažniji cena proizvoda i mogućnost plasmana, imaju veliki uticaj pri TEO, jer bitno utiču na rentabilnost proizvodnje. Dugoročno posmatrano, kada je u pitanju bakar, na svetskom tržištu su u poslednje vreme izraženi povoljni trendovi kretanja cena i mogućeg plasmana.

Ono što je za proizvodnju i plasman bitno, za rudnik sa aktivnom eksploatacijom i preradom, to su kratkoročne varijacije cena i variranje ponudopotražnje na tržištu. One su česte i mogu da potraju i više godina, sa vrlo malom mogućnošću iole pouzdanijeg prognoziranja. Ovakve varijacije su ponekad bez lako shvatljive logike, a posledica su raznih događaja i odnosa u svetu, od ekonomskih, preko političkih do spekulativnih. Kako je proizvodnja i prerada mineralnih sirovina jedan kompleksan, skup i dugoročan posao, vrlo je teško (i skupo) zaustaviti ili smanjiti proizvodnju u vreme povremenih padova cene na svetskom tržištu.

Tržišna cena bakra, kao jedan od osnovnih faktora rentabilnosti eksploatacije, istovremeno utiče i na granični sadržaj otkopavanja i bilansnost rudnih rezervi. Od septembra 2003. godine, kada je cena katodnog bakra na svetskom tržištu bila ispod 2.000 US\$/t, evidentan je stalni porast cene, tako da je za period avgust-oktobar 2005. godine cena bakra u proseku iznosila oko 3.900 US\$/t. Cena bakra na LMI 20. oktobra 2005. godine je iznosila 4.105 US\$/t. U navedenom periodu (septembar 2003. – oktobar 2005. god.) srednja cena katodnog bakra na svetskom tržištu iznosila je preko 2.800 US\$/t. Prognoze svetskih stručnjaka za oblast tržišta bakra govore da će cena katodnog bakra i narednih godina biti visoka i da će se zadržati oko 4.000 US\$/t, što je povoljno za proizvođače. Međutim, posebna nepoznanica je buduće ponašanje

Kine koja je svojim velikim kupovinama "pogurala" cene preko dosadašnjeg rekorda. Pored cene na svetskom tržištu, veoma su značajni i troškovi dobijanja proizvoda kao i stepen prerade sirovine. U tom pogledu, povećanjem proizvodnje i poboljšanjima u tehnološkom procesu u rudniku Jama Bor, troškovi dobijanja bakra po toni će se smanjiti.

DRUŠTVENO-EKONOMSKI FAKTORI

Mineralne sirovine u sistemu prirodnih resursa imaju vrlo značajan položaj. One su bitan element nacionalnog bogatstva i deo proizvodnih potencijala društva. U celini, a posebno kod bakra, one su i osnova vojne industrije kao i faktor obezbeđenja ratne opreme, kao materijalne osnove za odbranu zemlje. Takođe obezbeđuju njenu ekonomsku, političku i socijalnu nezavisnost.

ZAKLJUČAK

Pored rentabilnosti, kao jednog od osnovnih uslova i pokazatelja efikasnosti ulaganja u istraživanja i eksploataciju mineralnih sirovina, mora se voditi računa i o opštem društvenom značaju (korisnosti) određene sirovine u odnosu na interese celokupne zajednice. Međutim, u ređim slučajevima mogu se zanemariti ili staviti u drugi plan ekonomski efekti, jer i proizvodi nerentabilne eksploatacije, u specifičnim uslovima mogu imati poseban društveni značaj i interes. U našim uslovima kada se ležišta eksploatišu u privredno nerazvijenim krajevima i slabiji ekonomski efekti u odnosu na prosečne, znače mnogo za sredinu koja je ekonomski nerazvijena. U svetu postoji čitav niz primera zanemarivanja ekonomskih efekata na račun pozitivnih socijalno-ekonomskih uticaja rudničke proizvodnje.

Mora se, ipak, naglasiti, da poslednjih godina, shodno opšte prihvaćenim principima i postulatima savremenog potrošačkog društva, ekonomski efekti i rentabilnost proizvodnje ipak predstavljaju dominantne faktore koji utiču na konačnu odluku o tome da li započinjati, odnosno nastavljati, ili ne, eksploataciju određenog ležišta.

Konkretno, u slučaju ležišta bakra Bor (rudna tela "Brezanik", "Tilva roš" i "P₂A") nema sumnje u pogledu velikog društveno-ekonomskog značaja njegove eksploatacije, pogotovo ako ta eksploatacija može biti rentabilna.

Literatura

1. Janković S., 1990: Rudna ležišta Srbije-Republički fond za geol. istraž. i Rudarskogeološki fakultet, Beograd, 760 s.
2. Janković S., R. Jelenković, D. Koželj, 2002: Borsko ležište bakra i zlata - RTB Bor – Institut za bakar, Bor.
3. Janković S., Milovanović D., 1985: Ekonomska geologija i osnovi ekonomike mineralnih sirovina - Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 403 s.
4. Maksimović M., Nikolić K. i dr., 2005: Elaborat o rezervama ležišta bakra Bor (rudna tela "Brezanik", "Tilva Roš" i "P₂A"), 31.XII 2004., RTB Bor-grupa, Institut za bakar Bor, Zavod za geologiju, Fond stručne dokumentacije Zavoda za geologiju IBB-a, Bor.

UDC: 622.342(045)=861

**OCENA POTENCIJALNOSTI PRIMARNIH LEŽIŠTA ZLATA U
RUDNOJ ZONI BLAGOJEV KAMEN**

**EVALUATION OF POTENTIALITY THE PRIMARU GOLD DEPOSIT IN
THE ORE ZONE BLAGOJEV KAMEN**

Dr M. Bugarin, Dr M. Ljubojev
Institut za bakar Bor

Izvod

Rudna zona Blagojev kamen (u daljem tekstu RZBK) prostire se od Dunava, na severu, do Debelog Luga, na jugu, dužine preko 30 km, a širine od 5 do 10 km.

Na zapadnoj strani RZBK graniči se granitoidnim kompleksom hereinske starosti, a sa istočne kristalastim škriljcima II grupe (gnajsevi, anfiboliti) i andezitima gornjokredne starosti. Andeziti su zastupljeni duž jugoistočne granice RZBK u kojima su otkrivena ležišta bakra i zlata Rudnika Majdanpek.

Osnova RZBK izgrađena je od vendkambrijske vulkanogeno-sedimentne formacije metamorfisane u funkcije aktinolitiskih, serilitiskih i epidotskih, hloritskih škriljaca. Unutar ove formacije konstatovane su brojne kvarcne žice različitog stepena orudnjenosti zlatom, šelitom, polimetaličnom mineralizacijom, zatim, probojima gabroidnih stena, plagiogranita i andezita.

Istraživanja zajedno sa eksploatacijom zlatonosnih kvarcnih žica i karbonatnih sočiva sa šelitom i zlatom, počinju početkom prošlog veka u sledećim vremenskim intervalima: 1933-1940 god., 1949-1963. god., 1987-1999. god. Ukupne količine zlata iz pomenutih perioda iznose oko 5.000 kg a volframa oko 1.300 t.

Ključne reči: *sadržaj zlata, kvarcne žice*

Abstract

The ore zone Blagojev Kamen (in further text «OZBK») is extended from the river Danube in the north to Debeli Lug in the south , lenght over 30 km, width in a range from 5-10 km.

In the west side, the «OZBK» is bordered on the east side with crystallized shales of IInd group (gneisses, amphibolites) and andesites of the Upper Cretaceous age. The andesites are represented along south-east border of «OZBK» where copper and gold deposits of the Majdanpek Mine were discovered.

Key words: *gold deposit, quartz veins*

TIPOVI MINERALIZACIJE

Unutar RZBK, na osnovu genetsko-metalogenetskih izučavanja, autor izdvaja (po osnovu načina postanka) tri tipa mineralizacije zlata u kvarcnim žicama:

a) Singenetska mineralizacija je nastala tokom stvaranja vendkambrijske vulkanogeno-sedimentne formacije i magmatsko-metamorfni procesa koji su se dešavali u toj formaciji.

b) Epigenetska mineralizacija je stvarana naknadno usled procesa mlađih faza magmatizma, naročito za vreme alpijske metalogenetske epohe, za koju se smatra da je najproduktivnija u pogledu formiranja ležišta bakra i zlata na prostorima istočne Srbije, a samim tim i na prostoru RZBK.

c) Epigenetsko-singenetska mineralizacija nastala je u procesu remobilizacije tokom alpijske metalogenetske epohe. Ovaj tip mineralizacije je od ekonomskog značaja u pogledu zlata i najzastupljeniji je duž istočnog prostora RZBK.

Što se tiče volframa (čiji je glavni mineral šelit), on je, verovatno, produkt singenetske mineralizacije u mermernim sočivima u vreme metamorfni procesa koji su kasnije nastali tokom evolucije mlađih erogenih faza. Sadržaj zlata u ovim žicama kreće se do 6 g/t.

PROSTORNA RAZMEŠTENOST KVARCNIH ŽICA I NJIHOVA POTENCIJALNOST

Unutar RZBK jasno su izdvojene četiri zone FACIJA (sl.1.) u kojima se zapaža određena zakonitost u pogledu sadržaja zlata i drugih elemenata od ekonomskog značaja:

1. Zapadna zona čiji osnovni fundament predstavljaju aktinolitski škriljci, prostorno je smeštena u vidu „pojasa“, jasno strukturno izdvojena, ima pravac pružanja S-J kao RZBK, a duž zapadne strane graniči se hercinskim granitima.

Kvarcne žice unutar ove facije su brojne, malih su moćnosti, često su grupisane u vidu brojanica duž strukturnih zona koje su moćne 1-5 m, a pružaju se više stotina metara sa čestim prekidima, odnosno isklinjavaju kako po padu tako i po pružanju.

Sadržaj zlata se kreće od 0 do 2,5 g/t.

U okviru ove facije do sada nisu obavljena nikvakva bušenja niti rudarski radovi.

Od prospekcijskih radova, mestimično je izrađivan raskop na određenim

kvarcnim žicama i uzimanje suvog šliha. Rezultati tih ispitivanja ukazuju da se sadržaj zlata kreće u intervalu od 0,2 do 2,5 g/t.

Kvarcne žice su, uglavnom, sterilne, mineralizacija je skoncentrisana po obodu kvarcnih žica i to, uglavnom, piritom i zlatom. Karakteristično je da se sterilne kvarcne žice lako prepoznaju po izgledu i strukturi, mlečnobeke su boje, kompaktne, bez limonitizacije. Ovakve kvarcne žice su prisutne kako duž folijacije aktinolitskih škrljaca tako i u strukturnim zonama u vidu traka gradeći strukturu nalik na „tortu“. Ono što je ostalo nedefinisano u pomenutoj aktinolitskoj faciji jeste sadržaj zlata unutar strukturne zone, znači svih umetaka unutar strukturne zone.

U tim zonama, koje mogu u pojedinim slučajevima biti moćne i do 15 m, može se očekivati sadržaj zida i iznad jednog grama po toni orudnjene mase i to kao posledica metamorfnih procesa koji su izvršili remobilizaciju i predeponovanje mineralne komponente. Te strukture su povoljan kolektor za naknadno obogaćenje mineralne komponente.

Po našem mišljenju, ova zona je na poslednjem mestu u odnosu na preostale tri u pogledu koncentracije zlata kao i drugih minerala, od ekonomskog značaja. U svakom slučaju, ne može se u potpunosti odbaciti kao neinteresantna za istraživanje, pogotovo kada se radi o pomenutim strukturnim zonama u vidu traka i sa većom moćnošću.

2. Zona metamorfnih vulkanogeno-sedimentnih škrljaca obogaćena biotitom i sericitom.

Ova zona se naslanja na prethodnu, slične je forme u pogledu prostiranja i karakteristična je što se jedino, u njoj, za sada, nalazi šelit koji je eksploatisan oko 15 godina. Sredina u kojoj se koncentriše šelit su mermerna (karbonatna) sočiva, gde se sadržaj WO_3 kreće oko 0,4%, a sadržaj zlata do 6 g/t.

Ova zona je detaljno istražena u prostoru (gde su naznačeni rudni reviri koje deli reka Veliki Pek) od oko 1 km po pružanju, 0,5 km po moćnosti i po dubini do nivoa Velikog Peka, tj. oko 80 m od najviše tačke na kojoj je definisan izdanak orudnjenih žica. Treba imati na umu da su pored karbonatnih sočiva konstatovane i kvarcne žice sa zlatom bez šelita. Moćnost karbonatnih sočiva kreće se od 1 do 15 m, po pružanju prostiru se i do 60 m, a po dubini 30-40 m.

Kvarcne žice sa zlatom javljaju se kao brojanice unutar rudne strukture, kao i pojedinačne kvarcne žice čije se pružanje prostire i preko 100 m, sa diskontinuitetom kako po pružanju tako i po padu.

U ovoj zoni prisutan je znatno veći broj mlečnobelih kvarcnih žica (čija

debljina, u proseku, retko prelazi 0,5 m'). Prema ličnoj proceni, zastupljene su u znatno većem procentu u odnosu na orudnjene kvarcne žice.

Ono što je karakteristično za ovu formacionu zonu jeste da su duž granice sa sledećom formacijom u pravcu istoka konstatovani proboji andezita kredne starosti, koji se smatraju nosiocem epigenetske mineralizacije. To može da ukazuje i na mineralizaciju polimetalne mineralizacije tipa Čoka Marin, gde se sadržaj zlata kreće preko 15 g/t rude, a veličine je preko 1×10^6 tona rude. Na takav tip mineralizacije ukazuju delom i ispitivanja u narednoj formacionoj zoni koja ima bolje predispozicije za takav tip orudnjenja.

Što se tiče perspektivnosti ove zone, mišljenja smo, da treba nastaviti istraživanja južno od postojećih radova u pravcu Markove krčme, kako kvarcnih žica, tako i andezitnih proboja i okolne sredine u kojima su utisnuti andeziti. Takođe, smo mišljenja da treba obratiti pažnju na grafitične škriljce (područje Brodica-Čubera) koji se mestimično javljaju, a poznato je da su oni povoljan kolektor za koncentraciju zlata u ovom slučaju za epigenetske procese koncentracije.

3. Zona hloritsko-sericitsko-epidotske facije škriljaca

Ova zona predstavlja (za sada) „najbogatiju” faciju sa zlatom unutar kvarcnih žica u odnosu na celu RZBK koja je do sada istraživana. U okviru nje otkrivena su tri ležišta i to Čubera, Sveta Barbara i Grabova reka.

Unutar ove zone, zahvaljujući prisustvu hloritskih škriljaca, epigenetski procesi alpijske faze su imali znatan uticaj u remobilizaciji mineralne komponente, kako singenetske tako i epigenetske, deponujući duž katakliziranosti kvarcnih žica singenetskog porekla zlato i ostale prateće minerale.

Prostorno pomenuta ležišta su veoma bliska timočkom magmatskom kompleksu (TMK) čiji je produkt porfijsko ležište bakra i zlata Majdanpek, a koji je od Grabove reke udaljen oko 6 km.

Na potvrdu te teorije ukazuju činjenice da su tokom 1990. godine, pri otkrivanju, u obodu Južnog revira bakra u Majdanpeku konstatovane (unutar škriljaca) potpuno iste kvarcne žice sa istom mineralizacijom i približnim sadržajem zlata kao u Grabovoj reci. Izotopna ispitivanja Pb su pokazala da se radi o istoj starosti mineralizacije, odnosno da su nastali iz hidrotermalnih rastvora za vreme alpijske metalogenetske epohe.

Mineralizacija kvarcnih žica u primarnim delovima je zastupljena

prisustvom galenita, sfalerita, sitnozrnog piritu u vidu traka duž podine i povlake kvarcne žice, debljine i po 2-3 cm, masivnog orudnjenja sa sadržajem zlata preko 20 g/t.

U oksidacionim delovima, gde su kvarcne žice limonitisane, sadržaj zlata se kreće i preko 30 g/t. Oksidaciona zona se, uglavnom, kreće oko 20-50 m od površine terena. Kvarcne žice su relativno postojane po pružanju i dosežu i do 300 m, dok po podu su konstatovane i do 100 m.

Stepen istraženosti zone je dosta mali zato što su istraživanja koja su do sada obavljena ujedno bila i eksploatacija. Odnosno, na području RZBK nije bilo frontalnih istraživanja, već parcijalnih tj. pronađe se zlatonosna žica i kako se istražuje tako se eksploatiše sve dok ima ekonomsku opravdanost. Uopšteno rečeno, maksimalna količina koja se vadila iz RZBK nije prelazila 35.000 t rude/god.

Ležište Sveta Barbara po pružanju je istraženo oko 0,5 km, po širini 150 m, a po dubini oko 110 m tj. do kote 270 (nivo asfaltnog puta Kučevo-Majdanpek). Lateralno, kao u pravcu severa i juga, ovo ležište nije ozbiljnije istraživano.

Ležište Grabova reka po pružanju je definisano oko 800 m, po širini oko 100 m, a po dubini 80 m. Nastavak istraživanja po pružanju i lateralno nije detaljnije obavljen. Prema mišljenju autora, ovo ležište je najbogatije u RZBK zlatom i u nastavku južne zone, u pravcu Todorove reke i kopa Majdanpek, treba očekivati i bogatije partije kvarcnih žica zlatom i polimetalima.

Treba imati na umu da je južni nastavak strukture dislociran tektonskom strukturom koja radnu strukturu raslojava na dva dela sa suprotnim padom od istraživane strukture, odnosno od pozicije postojećih rudarskih radova.

Pored kvarcnih žica obogaćenih zlatom, potencijalnost treba očekivati u andezitskim probojima u južnom delu, u polimetalichnoj mineralizaciji tipa Severnog revira kao što su, Dolovi, Tenka, Starica, Č.Marin. Potencijalne su i pojedine strukturne zone unutar hloritsko-epidotskih škriljaca sa trakama kvarca, gde sadržaj zlata može dostići i preko 1 g/t, a moćnost se kreće od 5 do 10 m, dok se pružanje može očekivati i više stotina metara.

Sledeća potencijalnost ove facije u pogledu zlata, može se očekivati u plagiogranitima koji su zastupljeni u prostoru između Grabove reke i Todorove reke na krajnjem jugu pomenute facije. Treba imati na umu da se plagiograniti nalaze u neposrednoj blizini kvarcnih žica koje imaju visoki sadržaj zlata. Nije redak slučaj da se i u plagiogranitima nalaze sočiva kvarcnih žica sa sadržajem zlata i preko 20 g/t rude (hodnik 424 koji povezuje niskop 394 u 6. reci).

Plagiograniti sa generalnog pružanja SZ-JI, subvertikalni, izrazito

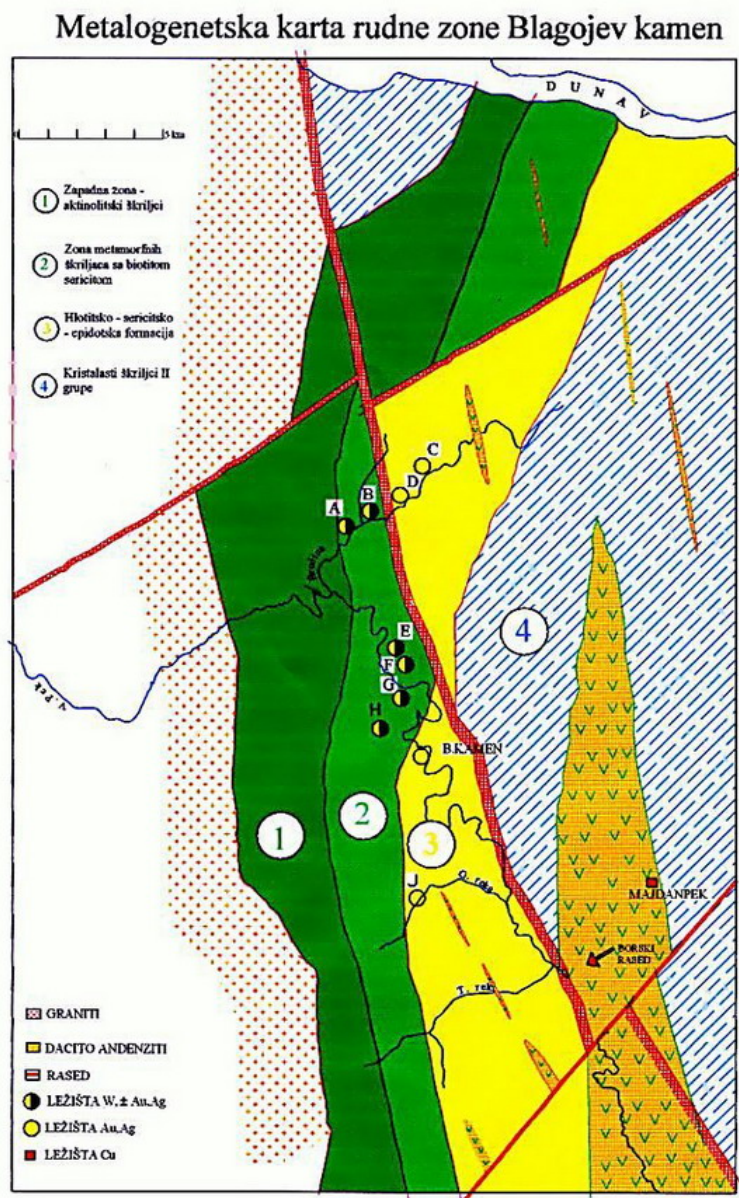
kataklizirani sa različitim stepenom mineralizacije, uglavnom sitnozrni pirit sa mestimičnim žilicama galenita i sfalerita. Sa povećanjem prisutnosti polimetalnih minerala povećava se i sadržaj Au. Generalno gledano, mineralizacija unutar plagiogranita je u vidu impregnacija čija prostorna razmeštenost, do sada, nije dovoljno proučena da bi se zaključila određena zakonomernost prostornog razmeštaja u pogledu varijacije sadržaja korisnih komponenti unutar samih plagiogranita. Sadržaji zlata iz rudarskih radova koji su presekli jedan dajk plagiogranita kreće se oko 0,5 g/t, dok oscilacije pojedinih proba prelaze i preko 3 g/t zlata.

Kod plagiogranita treba imati na umu da postoje, makroskopski, dve vrste i to: ružičasti plagiograniti, u kojima je manje prisutna mineralizacija i koji se smatraju ekonomski neinteresantni u pogledu zlata, i svetložučkasti, sa manjom nijansom pigmenta ružičastih primesa, gde je sadržaj SiO₂ preko 85%, koji mogu biti ekonomski interesantni u pogledu sadržaja zlata, naročito u kaolinisanim partijama. Ovaki tipovi su zastupljeni u južnom delu ležišta Grabova reka.

Pored pomenutih litoloških članova ove formacije, autori su mišljenja da u južnom delu ove formacije treba obaviti potrebna istraživanja (pre svega geofizička) u cilju definisanja i otkrivanja povoljne strukture za izradu jedne strukturne bušotine od oko 500 do 800 m. Jer, metalogenska izučavanja ovoga prostora ukazuju na mogućnost porfirske mineralizacije, ili polimetalne, kao produkta procesa neposredne blizine porfirskog ležišta bakra Majdanpek.

4. Četvrta zona je facija kristalastih škrljaca II grupe (gnajsevi i leptinoliti) koji su nastavak prethodne zone (zona 3) unutar koje je delom formirano porfirsko ležište bakra Majdanpek.

Ovaj prostor je veoma istraživan, naročito zapadno od severnog revira Majdanpeka i u pravcu severa ka Dunavu. U njemu treba očekivati nastavak polimetalne mineralizacije koja je konstatovana u Severnom reviru, koji ima više tipova mineralizacije: piritisku, polimetalnu, porfirsku, gde su, pored bakra, zlato i srebro glavna ekonomska komponenta. Na ovom delu je potrebno sagledati lokaciju za jednu strukturnu bušotinu dubine do 600 m. Pre bušenja potrebna su opsežna sagledavanja i analiza metalogenetskih karakteristika ovog područja od strane eksperta, zatim primena geofizičkih ispitivanja u cilju sagledavanja mogućnosti dubinskog istražnog bušenja u okviru potencijalnog prostora, odnosno lokacije.



Sl. 1. Metalogenetska karta rudne zone Blagojev kamen

ZAKLJUČAK

- Prostor RZBK je, očigledno, veliki sa malim stepenom istraženosti u odnosu na prostor zona sa povoljnim metalogenetskim karakteristikama u kojima je prisutnost zlata i drugih metala znatno povećana.
- Stepem potencijalnosti zlata i drugih korisnih komponenti unutar RZBK je izdvojen po zonama, što veoma olakšava dalju strategiju i metalogenetsko sagledavanje potencijalnosti budućim istraživanjima.
- U znatno pouzdanom stepenu su razdvojeni litološki članovi sa procenom stepena koncentrata zlata i prognoznim stepenom orudnjenosti, što olakšava dalji pristup u istraživanju.
- Naznačena je korelativna veza mineralizacije sa porfirskom mineralizacijom bakra, što u metalogenetnom značaju predstavlja bitan pristup u daljem istraživanju kompletne zone.
- Autori su mišljenja da treba izabrati lokaciju za koju je potrebno prethodno uraditi studiju detaljne potencijalnosti određenog lokaliteta iz koje će proisteći projekat istraživanja po principu postupnosti i rudosnosti budućih istraživanja i primenjenih metoda.

Literatura

1. M. Bugarin, V. Trujić: Nanosna ležišta zlata - procesi formiranja nanosa, istraživanje i ocena, analitika i tehnologija, Monografija, Institut za bakar Bor, 2006. god.
2. M. Bugarin, G. Slavković: Tehno-ekonomska ocena, studija, projekata, rudnih ležišta; Monografija, Institut za bakar, Bor 2006. god.
3. M. Bugarin: Geneza ležišta zlata Blagojev kamen - doktorska disertacija, RGF-Beograd 1993. god.
4. M. Bugarin: Geološko-ekonomska ocena ležišta zlata u rudnom polju Blagojev kamen sa posebnim osvrtom na Grabovu reku - magistarski rad RGF - Beograd 1991. god.

UDC: 549:552.3(045)=861

**PRILOG POZNAVANJU PETROLOŠKO - MINERALOŠKIH
KARAKTERISTIKA LEŽIŠTA GABRA “CRNA REKA”
KOD ŽAGUBICE**

**CONTRIBUTION TO PETROLOGICAL – MINERALOGY
CHARACTERISTICS OF GABBRO-DEPOSIT „CRNA REKA“
FROM ZAGUBICA**

S. Krstić, V. Ljubojev, M. Jovanović
Institut za bakar Bor

Izvod

Ležište gabra “Crna reka” nalazi se oko 10 km jugozapadno od Žagubice. Ležište je neposredno pored Crne reke, koja pripada slivu reke Velika Tisnica.

Geološka istraživanja i proučavanja šire okoline pokazala su relativno prostu geološku građu, tri osnovna litološka člana: granitoidi, gabrovi i metamorfisani glinovito-laporoviti sedimenti (korniti). Putem geoloških istraživanja gabra na ležištu “Crna reka” dobro su upoznate njegove geološke karakteristike, a kratak petrološko - mineraloški prikaz predmet je ovog rada.

Ključne reči: gabbro, geološke karakteristike, petrološko - mineraloške karakteristike, ležište.

Abstract

Gabbro-deposit „Crna reka“ exist about 10 km far-off, at south-west side from Žagubica. The deposit is near the river „Crna reka“, which flow into „Velika Tisnica“ river.

Geological research work's and investigation of largest area, show us a simple geological bild–litology, entire this interesting zone

There are three basic litological elements: granitoids, gabbro's and metamorphed argillaceous sediments (corneits). With new geological investigation work's on gabbro-deposit „Crna reka“, we got relevant (precise) geological characteristic's (data-information's) and mineralogy-petrological characteristic's, which compact (basic) description is object of this work (text).

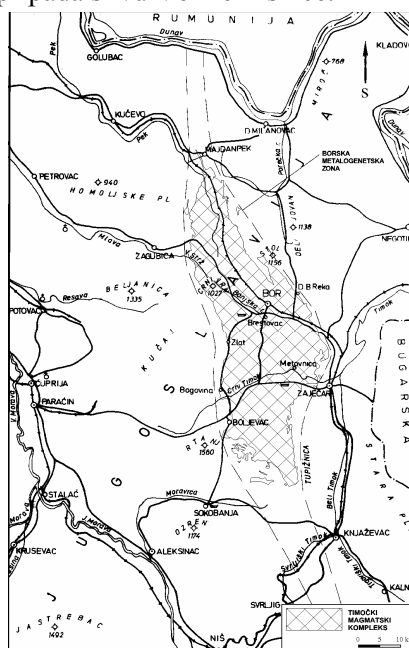
Key words: gabbro, geological research, petrological – mineralogy characteristic's, deposit.

UVOD

Ležište ukrasnog kamena - gabra "Crna reka" nalazi se oko 10 km jugozapadno od Žagubice (slika 1 i slika 2). Administrativno pripada Opštini Žagubica. Pored ležišta protiče Crna reka koja pripada slivu Velike Tisnice.



Sl. 1. Geografski položaj pregledne karte (slika desno) šireg područja Žagubice u Srbiji



Sl. 2. Pregledna geografska karta sa ucrtanim položajem Žagubice i položajem Timočkog magmatskog kompleksa

Ležište se sastoji od 2 plutonita, približno istih dimenzija, ukupne površine oko 30 ha. Pravac pružanja plutonita je SZ-JI i S-J. Dubina zaleganja nije definisana i u centralnom delu plutonita iznosi više od 90,00 m (podina nije nabušena).

Ukupne rezerve ukrasnog kamena su približno 1.000.000 m³ stenske mase (A+B+C₁ kategorija). Prema kvalitetu i rezervama ovaj gabra pripada petoj grupi ležišta ukrasnog kamena, koju čine magmatske stene.

PRIMENJENA METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Primena gabra se zasniva na njegovim svojstvima: fizičkim, hemijskim, tehničko-tehnološkim, koja uopšteno nazivamo tehničkim svojstvima.

Istraživanja su obuhvatila različite metode bitne za definisanje, prvenstveno, kvaliteta ukrasnog kamena.

Ovim istraživanjem dobijen je kvalitet stenske mase (gabra) i određena je mogućnost njegove primene kao:

- ukrasni, arhitektonsko-gradjevinski i/ili
- tehničko-gradjevinski kamen.

GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Geološka istraživanja su do sada obavljena u cilju utvrđivanja svih parametara koji definišu kvalitet (izrada karte varijeteta ukrasnog kamena i dr.) i rezerve ležišta ukrasnog kamena "Crna reka" - gabro kod Žagubice.

Istražno bušenje

Istražno bušenje obavljeno je samo u području severnog plutonita. Ukupno je izbušeno 1283,5 metara bušenjem 18 istražnih bušotina.

Sve bušotine su geološki kartirane, oprobavane i hemijski analizirane na sadržaj sumpora (S).

Bušotine su oprobavane na 5 m "tačkastom" metodom.

Istražne etaže

Izradom dveju istražnih etaža "Plato" i "Sever B-3" istražen je centralni i severni deo gabroidnog plutonita.

Istražna etaža "Plato" nalazi se u centralnom delu severnog gabroidnog plutonita, na levoj obali Crne reke. Istražna etaža "Sever B-3" nalazi se u neposrednoj blizini bušotine B-3, u njenom severnom delu. Na ovim etažama je, između ostalog, obavljeno:

- izrada karte varijeteta ukrasnog kamena;
- fizičko-mehanička ispitivanja na 2 uzorka (R-4 i R-5) sa etaže "Sever B-3";
- tehnološka ispitivanja na etaži "Sever B-3" (kvalitet obrade stenske mase, dekorativna svojstva, veličina blokova, stepen iskorišćenja stenske mase i dr.).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istražnog bušenja

Na osnovu rezultata istražnog bušenja i obrade uzoraka (uzetih iz jezgra bušotine) u cilju definisanja dekorativnih svojstava i varijeteta stenske mase,

utvrđeno je da u ležištu preovlađuje varijetet – *crni gabro*.

Geološkim kartiranjem jezgra istražnih bušotina utvrđeno je da gabro pokazuje više varijeteta (dekorativna svojstva se prvenstveno ogledaju u visokom sjaju dobijenih ploča, u tamnoj (crnoj boji), ravnomernom i ujednačenom rasporedu veličine i oblika zrna) po:

- veličini zrna i
- po boji.

U bušotinama su konstatovane i manje tektonske zone, pukotine i prsline, mineralizacija (impregnacije pirita, ređe enargita i halkozina), prisutnost kvarcnih žica (debljine do 1 cm), neravnomerna zrnovitost itd.

Pukotine su, delom, zaglinjene ili prevučene sericitom (slika 3.). Pojedine pukotine su kliznog karaktera (konstatovane su strije).

Prisutna je (u gornjim intervalima) zona oksidacije predstavljena limonitskim prevlakama duž pukotina.

U svim bušotinama konstantno je prisutan pirit, uglavnom u obliku impregnacija, manjih nagomilanja ili žilica.

Sistemi kvarcnih žica i žilica su santimetarskih debljina u svim pravcima od subhorizontalnog do subvertikalnog. (slika 4.).



Sl. 3. Sistemi pukotina u gabru »Crna reka« u bušotini B-14/2



Sl. 4. Izgled gabra »Crna reka« sa kvarcnim žicama u bušotini B-15/2

Rezultati hemijskih analiza na sadržaj sumpora (S) pokazuju da je sadržaj sumpora (S) u bušotinama od 0,2% do 1% a najčešće je oko 0,8%(S).

Analize na ispitivanim uzorcima gabra nalazišta "Crna reka", ukazale su da ovi uzorci ne sadrže veće količine hlorida, sulfata i sulfida štetnih po beton i on se može se upotrebiti za proizvodnju betona.

Rezultati istraživanja istražnih etaža

Na istražnoj etaži "Plato" do sada je izvađeno oko 280 m³ materijala.

Na istražnoj etaži "Sever B-3" ukupna količina izvađenog materijala je oko 100 m³. Na ovoj etaži dobijeno je više komercijalnih blokova i tumbolona u odnosu na etažu "Plato". Dimenzije izvađenih blokova (tumbolona) sa istražnih etaža su od 0,1 – 1,0 m³, ređe veće (tabela 1. i 2.). Oblik izvađenih blokova je najčešće paralelopipedan, ređe pločast. Blokovi najčešće imaju najmanje dve ravne i paralelne strane, a oštre i prave ivice. Lučenje blokova (tumbolona) je pravilno do nepravilno paralelopipedno.

Tabela 1. Kategorizacija monolita prema zapremini i dužini (N:Bilbija Tehnička petrografija)

Klasa	Zapremina (m ³)	Dužina (m)
Gromade	veća od 10	veća od 3,5
Blokovi:		
veliki	10 – 6	3,5 - 3
srednji	6 – 2	3 – 2
mali	2 – 0,6	2 – 1
Blokčići i (tumboloni)	0,5 – 0,25	manja od 1

Prema zapremini, koja se kreće od 0,3 do 1,0 m³ pripada klasi malih blokova (tabela br. 1). Prema približnim dimenzijama, koje iznose 80x70x100 cm, pripada klasi blokčića tj. tumbolona (tabela br. 2.) odnosno, prema zapremini i dužini spada u VI kategoriju (tabela br. 2).

Tabela 2. Kategorizacija monolita prema dužini (N:Bilbija Tehnička petrografija)

Kategorija I	od 300 cm i više
Kategorija II	od 250 do 299 cm
Kategorija III	od 200 do 249 cm
Kategorija IV	od 150 do 199 cm
Kategorija V	od 100 do 149 cm
Kategorija VI	do 99 cm

- Fizičko-mehanička ispitivanja su izvedena na 2 uzorka (R-4 i R-5) sa etaže "Sever B-3"
- Tehnološka ispitivanja (kvalitet obrade stenske mase, dekorativna svojstva, mogućnost dobijanja, veličina blokova, stepen iskorišćenja stenske mase i dr.).

U procesu tehnološke obrade utvrđeno je da se blokovi i tomboloni lako seku, a nakon glačanja (poliranja) izrezane ploče dobijaju visok sjaj.

Posle finalne obrade izrezane ploče imaju ravne i glatke površine, a prave i stabilne ivice, koje se ne krzaju.

Dekorativna svojstva se prvenstveno ogledaju u visokom sjaju dobijenih ploča, u tamnoj (crnoj boji), ravnomernom i ujednačenom rasporedu veličine i oblika zrna.

O kvalitetu obrade najbolje govori činjenica da jedna od dobijenih ploča ima maksimalne dimenzije:

100x30x15 cm (furnir ploča).

Na osnovu merenja iskorišćenja nekoliko blokova utvrđeno je da se izmerene i proračunate vrednosti kreću u granicama od 40-75%.

PETROLOŠKO-MINERALOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Područje ležišta idući od zapada ka istoku, karakterišu sledeći stene i njihovi varijeteti:

- metamorfisani glinovito-laporoviti sedimenti (korniti);
- sitnozrni gabro (kontaktna zona);
- srednjezrni gabrovi (stene u kojima su smešteni ekonomski interesantni blokovi i tomboloni);
- gabrodioriti (prelaz ka kiselim plutonitima) i
- granitoidi (kiselilaramijski plutonit).

Mineraloško – petrografska svojstva i karta varijeteta

U svim bušotinama je registrovano prisustvo melanokratnih (crnih) gabrova. Njihovo učešće je daleko veće nego što se pretpostavljalo pri izradi prvobitne karte varijeteta (1994. god.). Mezokratni gabrovi (gastro-dioriti) su registrovani u domenu bušotina B-5 i B-8, što ukazuje na kontakt sa laramijskim kiselim plutonitom (granodiorit).

U bušotini B-5 je registrovano prisustvo kornita, koji se u kratkim intervalima naizmjenično smenjuje sa mezokratnim gabrovima (gastro-dioriti) u intervalu 11,50 – 36,70 m.

U cilju definisanja kontakta gabrova sa okolnim stenama u zapadnom delu ležišta izbušena je bušotina B-11 (dubine 80 m). Iako su se u ovom delu ležišta očekivali korniti ili, eventualno, kontakt kornita i gabrova, kontakt nije utvrđen.

Registровано je prisustvo sitnozrnog gabra, uglavnom metamorfisanog, a jezgro bušotina nema intervale kompaktnosti veće od 30 cm. Boja ovih stena je zelenkasta, te podsećaju na kornite, tako da ovo područje možemo izdvojiti kao kontaktnu zonu između kompaktnih melanokratnih gabrova i metamorfisanih glinovito-laporovitih karbonatnih krednih sedimenata.

U pojedinim bušotinama utvrđeno je prisustvo sulfidnih minerala u obliku skrama duž prslina, ređe u impregnacijama i to:

- B – 5 u intervalu 36,00 m – 36,70 m
- B-10 u intervalu 51,00 m – 54,00 m
- B-11 celom dužinom
- B-12 u intervalu 57,00 – 60,00 m

Takođe je konstatovano prisustvo kvarcnih žica debljine 2,0 do 3,0 m i to u bušotinama:

- B-1 u intervalu 15,00 – 20,00 m
- B-2 u intervalu 69,00 – 85,00 m
- B-10 u intervalu 44,50 – 50,00 m

Minimalna dužina mernih intervala kompaktnosti iznosi 30 cm.

Najveća debljina produktivne mase registrovana je u bušotinama: B-2 (84 m), B-3 (37 m), B-4 (69 m) i B-11 (76 m).

Debljina jalovinskog pokrivača se kreće u granicama od 0,5 m (B-8) do 17 m (B-3 i B-4).

Maksimalna vrednost intervala kompaktnosti registrovana je u bušotini B-2 (dubine 88 m) u intervalu 39-44 m.

Najveća koncentracija najdužih intervala kompaktnosti registrovana je u domenu nivoa Crne reke koja prolazi kroz centralni deo severnog gabroidnog plutonita.

Vrednost merenih padova pukotina i prslina u bušotinama kreću se od 0°-90°.

Na osnovu ovih ispitivanja gabra utvrđene su sledeće osobine:

- Makroskopski izgled gabra - Stena je tamnosive do plavičaste boje, masivne teksture, neravnog preloma, sa hrapavom prelomnom površinom i oštrim ivicama loma. Na površinama svežeg preloma konstatovane su limonitske prevlake (žutocrvenkaste boje).
- Mikroskopski izgled gabra - Stena je masivne teksture, hipidiomorfno zrnaste strukture, izgrađena od zrna plagioklasa, monokliničnog piroksena, olivina i biotita, kao bitnih minerala. Sporedni minerali su: apatit i metalični minerali, dok su sekundarni: prenit i neobiotit.

∴ Plagioklasi se javljaju izduženi, pritkasti, ređe u tabličastim zrnima veličine 0,5x1,7 mm do 1x3 mm, ređe u većim zrnima. Retko se na kontaktima dva zrna plagioklasa javlja sekundarni prenit.

- ∴ Monoklinični pirokseni – augit je hipidiomorfno do alotriomorfno oblika veličine zrna od 1,00x1,30 mm do 3,00x6,00 mm. Uklapa bazične plagioklase i metalične minerale. Slabo je biotitisan.
- ∴ Olivini su nepravilnih do izometričnih formi zrna veličine od 0,5 do 1.0 mm. Ispresecani su nepravilnim pukotinama duž kojih se nalaze metalični minerali. Često se oko zrna olivina zapažaju reakcioni rubovi izgrađeni od piroksena.
- ∴ Biotit je ređi. Javlja se u krupnim, nepravilno raspoređenim masama u steni ili se javlja u vidu nagomilanja sitnih liski neobitita, koje su uglavnom koncentrisane oko metaličnih minerala.
- ∴ Rombični pirokseni su retki. Uklapaju sitna zrna apatita.
- ∴ Apatit je sporedan mineral. Javlja se u štapičastim do nepravilnim zrnima.
- ∴ Metalični minerali se javljaju kao samostalna zrna dimenzija 0,30-1,00 mm ili su rasuti po celoj steni.

I u samim srednjezrnim gabrovima, koji predstavljaju ležište ukrasnog kamena od zapada ka istoku postoje promene, kako u pogledu boje, tako i u pogledu strukture, a delom i sastava. Na osnovu toga izdvojeni su varijeteti i urađena je za ležište karta varijeteta.

- Melanokratni gabrovi – zauzimaju centralni i zapadni deo ležišta.
- Mezokratni gabrovi – nalaze se u istočnom delu ležišta, dok se u centralnim delovima retko javljaju.

Na osnovu rezultata istražnog bušenja i istražnih etaža, utvrđeno je da u ležištu “Crna reka” prevladuje varijetet – **crni gabro**.

Literatura

1. N. Bilbija: Tehnička petrografija–svojstva i primena kamena. 1984, Beograd.
2. Grupa autora: Tumač lista Žagubica (OGK 1:100.000)–L 34–140. 1970 god. Savezni geološki zavod, Beograd.
3. Milenko Jovanović: Projekat geoloških istraživanja ukrasnog kamena “Crna reka”-gabro kod Žagubice u 2006. godini; 2006. Institut za bakar, Bor, Zavod za geologiju.

UDC: 553:622.272(045)=861

**POKAZATELJI TEHNIČKO-EKONOMSKE OCENE RUDNIH TELA U
EKSPLOATACIJI U JAMI BOR**

**INDICATES OF GEO(TECHNICALLY) – ECONOMIC ESTIMATION
FOR MINERAL DEPOSITS IN EXPLOITATION IN „JAMA BOR“**

M. Maksimović, dipl.inž.geol. *, M. Jovanović, dipl.inž.geol. *,
K. Nikolić, dipl.inž.geol. *
*Institut za bakar Bor

Izvod

Tehničko–ekonomska ili geološko–ekonomska ocena ležišta mineralnih sirovina je u suštini analiza svih faktora i pokazatelja koji su značajni za ostvarenje budućih ekonomskih efekata u daljem istraživanju ili njihovoj eksploataciji. Tehničko–ekonomska ocena (u daljem tekstu TEO) u sklopu Elaborata o rudnim rezervama je zakonska obaveza i njome se dokazuju bilansne rudne rezerve, na kojima se, shodno zakonskim odredbama, baziraju rudarski projekti.

Pokazatelji geološke ocene predstavljaju osnovu za utvrđivanje vrednosti istraživanog ležišta i svrstani su u tri osnovne grupe: prirodne, vrednosne i sintetske.

Ključne reči: *geološko–ekonomska ocena, rudne rezerve, ekonomski tip rude, cena koštanja, investicije*

Abstract

Geologicaly(technically)-economic estimate (TEO) of mineraly resource deposit's is basicaly – technical metode which analyse all factors and indicators which are important for economical effects in future researches and eksploations of mineral deposits. Geo.–economic estimate (TEO), like part of Elaborate of mineral reserve's resources is obligation and law, which show forth bilance reserves – like base (law and order) of mining projects.

Indicators of geo.–economic estimate like base for fortification of value to investigated (re-searched) deposit, and they are classify in three basic groupe: natural, value and synthetics.

Key words: *geologicaly-economic estimate, mineral reserve's, economical type of mineral, price of cost, investments (investiture).*

UVOD

Faktori geološko-ekonomske ocene se, prema radovima S. Jankovića (1960,1967), S. Jankovića i D.Milovanovića (1968), D.Milovanovića (1975,1976), izdvajaju u sledeće grupe:

- metalogenetski faktori
- geološki faktori,
- tehničko-eksploatacioni faktori,
- tehnološki faktori,
- regionalni faktori,
- tržišni faktori,
- socijalno-ekonomski i politički (društveno-ekonomski) faktori.

Pokazatelji geološko-ekonomske ocene nalaze se u tesnoj vezi sa faktorima geološko-ekonomske ocene i mogu se svrstati u tri osnovne grupe:

- prirodne, u užem i širem smislu,
- vrednosne,
- sintetske.

NATURALNI POKAZATELJI

Naturalni pokazatelji su brojni i dele se na prirodne pokazatelje u užem i širem smislu.

U grupu prirodnih svrstavaju se svi pokazatelji koji su izraženi u fizičkim jedinicama mere, (prirodni u užem smislu), kao i pokazatelji proračunati kombinovanjem prirodnih pokazatelja u užem smislu i vrednosnih pokazatelja (prirodni u širem smislu).

Naturalni pokazatelji u užem smislu:

- Geološke rezerve mineralnih sirovina (rude i korisne komponente);
- srednji sadržaj korisne komponente;
- srednji sadržaj štetnih, odnosno nepoželjnih komponenti;
- srednja moćnost;
- srednja moćnost jalovih proslojaka.

Rudno telo "Brezanik"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "Brezanik" u predviđenom otkopnom prostoru su 1.494.900 t rude sa: 1,314% Cu, odnosno 19.635,84 t bakra; 17,36% S, odnosno 259.473,80 t sumpora; 0,261 g/t Au, odnosno 390,4 kg zlata; 2,054 g/t Ag, odnosno 3.070 kg srebra.

Proračunate rudne rezerve, uz iskorišćenje pri eksploataciji 64,14% i razblaženje od 5,1% daju 1.022.531 t industrijskih rezervi rude sa: srednjim sadržajem Cu od 1,207%, odnosno sa 12.340 t bakra; srednjim sadržajem S od 15,50%, odnosno sa 158.543 t sumpora; srednjim sadržajem Au od 0,256 g/t, odnosno sa 261,5 kg zlata; srednjim sadržajem Ag od 1,734 g/t, odnosno sa 1.773 kg srebra.

Rudno telo "Tilva roš"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "Tilva roš" u predviđenom otkopnom prostoru su 1.104.218 t rude, sa: 0,88% Cu, odnosno 9.714 t bakra; 11,684% S, odnosno 129.019 t sumpora; 0,179 g/t Au, odnosno 198 kg zlata; 1,019 g/t Ag, odnosno 1.125 kg srebra. Ako se pri eksploataciji ostvari iskorišćenje 80% i razblaženje rude od 7,5%, mogu se očekivati, kao industrijske rezerve, 991.169 t rude sa: srednjim sadržajem Cu od 0,814%, odnosno sa 8.071 t bakra; srednjim sadržajem S od 11,445%, odnosno sa 113.444 t sumpora; srednjim sadržajem Au od 0,171 g/t, odnosno sa 169 kg zlata; srednjim sadržajem Ag od 0,995g/t, odnosno sa 986 kg srebra.

Rudno telo "P2A"

Proračunate geološke rudne rezerve rudnog tela "P₂A" u predviđenom otkopnom prostoru su: 1.899.586 t rude sa: 0,908% Cu, odnosno 17.247 t bakra; 8,3% S, odnosno 156.121 t sumpora; 0,435 g/t Au, odnosno 826 kg zlata i 1,775 g/t Ag, odnosno 3.375 kg srebra.

Proračunate rudne rezerve, uz iskorišćenje u eksploataciji 80% i razblaženje od 13,0%, daju industrijske rezerve od 1.776.344 t rude sa: srednjim sadržajem Cu od 0,829%, odnosno sa 14.729 t bakra; srednjim sadržajem S od 8,2%, odnosno sa 144.922 t sumpora; srednjim sadržajem Au od 0,455 g/t, odnosno sa 809 kg zlata; srednjim sadržajem Ag od 1,723 g/t, odnosno sa 3.061 kg srebra.

Naturalni pokazatelji u širem smislu:

Naturalni pokazatelji u širem smislu su vrlo brojni i svaki tip ležišta, pored zajedničkih, ima i specifične pokazatelje, u širem smislu. Generalno, za ležište bakra Bor, veći značaj imaju sledeći naturalni pokazatelji (u širem smislu):

- Minimalni ekonomski sadržaji korisne komponente;
- minimalni sadržaj otkopavanja ili granični sadržaj;
- maksimalna debljina jalovih partija (ispod graničnog sadržaja) koje se mogu selektivno otkopavati pri projektovanom načinu otkopavanja;
- optimalna i maksimalna dubina eksploatacije rudnog tela ili ležišta
- koeficijent rudosnosti;

- maksimalni dozvoljeni sadržaj štetnih komponenti;
- koeficijent za preračunavanje i svođenje vrednosti pratećih korisnih komponenti na osnovnu korisnu komponentu;
- gubici pri eksploataciji i preradi rude (rudnički, flotacijski, topionički);
- razblaženje sadržaja korisne komponente pri eksploataciji;
- eksploatacione rezerve rude, odnosno korisne komponente;
- industrijske rezerve rude i metala;
- kapaciteti (dnevni, godišnji);
- primenjene metode eksploatacije i prerade;
- sadržaj korisnih i štetnih komponenti u koncentratu (kvalitet koncentrata);
- utrošak rude za dobijanje tone koncentrata ili finalnog proizvoda i dr.

MINIMALNI EKONOMSKI SADRŽAJ

Minimalni ekonomski sadržaj je onaj sadržaj korisne komponente u proračunskom bloku čija vrednost posle ekstrakcije (u koncentratu) obezbeđuje naknadu svih troškova eksploatacije i prerade rude, uključujući i odgovarajuće troškove amortizacije investicionih objekata, ali i odgovarajuću dobit. Za proračun minimalnog ekonomskog sadržaja u rudnim telima ležišta bakra Bor, primenjena je formula kada se sadržaj izražava u procentima:

$$\omega = \frac{(C_e + C_s) \cdot K_{pf} \cdot 100}{C_p \cdot (1 - K_{ra}) \cdot E_o}, \text{ pri čemu je:}$$

ω – minimalni ekonomski sadržaj korisne komponente u (%);

C_e – cena eksploatacije 1 t rude (otkopavanja, rudnički transport i dr.), u US\$;

C_s – cena prerade 1 t rude, US\$;

K_{pf} – profitni koeficijent;

C_p – prodajna cena (na veliko), US\$;

K_{ra} – koeficijent razblaženja rude pri eksploataciji (sa umanjenjem sadržaja korisne komponente i povećanjem količine rovne rude);

E_o – iskorišćenje korisne komponente pri obogaćivanju, ekstrakciji korisne komponente.

Novčane vrednosti su sračunate, u US\$, posebno po rudnim telima, a na osnovu ovih proračunatih vrednosti za tekući zahvat

Ukupno Tekući zahvat (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”)

C_e – 11,72 US\$/t;

C_s – 4,6 US\$/t;

$K_{pf} - 1,05$ (5% profit);
 $C_p - 2.310$ US\$/t (2.532 US\$/t jer je uključena i vrednost Au i Ag);
 $K_{ra} - 0,1052$ (10,52%);
 $E_o - 0,868$ (86,8%).

Onda je: $\omega = 0,955\%$ Cu;
 odnosno: $\omega = 0,871\%$ Cu (uključujući i vrednost Au i Ag).

Na osnovu sračunatih vrednosti proizilazi da na nivou finalnog proizvoda (koncentrata), Au i Ag iz Tekućeg zahvata povećavaju vrednost bakra za 9,6%.

GRANIČNI SADRŽAJ

Granični sadržaj otkopavanja je granica između bilansne rude i jalovine. U našem konkretnom slučaju to je najniži sadržaj korisne komponente u rudi, pri čemu se eksploatacija izvodi bez gubitaka, čime se obezbeđuje prosta reprodukcija. To znači da troškovi eksploatacije moraju biti pokriveni vrednošću iskoristive komponente. Istovremeno, na ovaj način odvojena jalovina je uslovna kategorija jer i sadržaji bakra u uslovnoj jalovini u okviru konture graničnog sadržaja (po rudnim telima: 0,4% Cu; 0,5% Cu i 0,6% Cu), u pojedinim slučajevima, mogu biti i povišeni.

Granični sadržaj je veoma promenljiv ekonomski pokazatelj na koga utiču brojni činioci, pa je podložan varijacijama i u pogledu vremena i u pojedinim delovima rudnog tela. Zato je potrebno praćenje barem neophodnih elemenata koji na njega utiču počev od cene tržišnog proizvoda, preko troškova proizvodnje do raznih bonifikacija koje na njega utiču.

Granični sadržaj otkopavanja u konkretnom slučaju je statička veličina i neophodan je za proračun rudnih rezervi, odnosno za okonturivanje rudnog tela kod koga je postepen prelaz rude u jalovinu.

Granični sadržaj otkopavanja korisne komponente mora biti viši od sadržaja u jalovini posle obogaćenja najmanje za onu veličinu koja treba da obezbedi pokrivanje troškova ekstrakcije korisne komponente iz rude, vodeći računa o razblaženjima i iskorišćenjima u procesu dobijanja tržišnog proizvoda. Određivanje ovog pokazatelja se vrši na više načina, a najčešće:

- direktnim proračunom,
- metodom varijanti ili
- metodom analogije.

Ovom prilikom je, nakon sagledavanja distribucije Cu u rudnim telima, usvojen granični sadržaj 0,4% Cu za rudno telo "Brezanik", 0,5% Cu za rudno telo "Tilva roš" i 0,6% Cu za rudno telo "P₂A", pri čemu je moguće ostvariti najpovoljniji finansijski efekat.

MINIMALNA DEBLJINA JALOVIH PARTIJA

Konture rudnih tela definisane su na bazi kompleksnog sagledavanja ukupnih količina rude i sadržaja korisne komponente bakra koja je neophodne za rentabilnu eksploataciju i preradu rude. Nakon sagledavanja usvojeno je da važeći parametar graničnog sadržaja bude 0,4% Cu za rudno telo "Brezanik", 0,5% Cu za rudno telo "Tilva roš" i 0,6% Cu za rudno telo "P₂A", čime se postiže odgovarajući kvalitet i količina rudnih rezervi.

Shodno karakteru sadržaja i distribucije mineralizacije bakra u rudnom telu, može se zaključiti da se bogatiji deo rudnih tela u konturi graničnog sadržaja, prostorno nalazi u centralnim delovima. Mestimično su, u okviru projektovane eksploatacione konture (otkopnih blokova), bogatiji delovi razdvojeni jalovinom, koja se shodno usvojenoj metodi jamske eksploatacije ne može selektivno eksploatisati. Međutim, uslovna jalovina kao takva, ipak pokazuje izvesne sadržaje bakra i očekuje se da prilikom buduće eksploatacije, na bazi priliva dela uslovne jalovine u rovnu rudu, efekat razblaženja i osiromašenja rovne rude ne bude povišen. Debljina i površina tih jalovih partija po rudnim telima je sledeća:

- 1) Rudno telo "Brezanik" – debljina se kreće oko 4-5 m, a površina oko 2.400 m²;
- 2) Rudno telo "Tilva roš" - debljina se kreće od 2 do 24 m, a površina oko 4.000 m²;
- 3) Rudno telo "P₂A" - debljina se kreće od 2 do 12 m, a površina oko 7.500 m².

Gubici pri eksploataciji i preradi mineralne sirovine (rudarski i flotacijski) i razblaženje pri eksploataciji

Shodno usvojenoj metodi eksploatacije, sračunati gubici pri eksploataciji i razblaženja razlikuju se po rudnim telima.

1) Rudno telo "Brezanik"

Proračunate eksploatacione rezerve u predviđenom otkopnom prostoru su 1.494.900 t, sa: sadržajem bakra 1,314% i količinom bakra 19.635,84 t; sadržajem zlata 0,26 g/t i količinom zlata 390,387 kg; sadržajem srebra 2,054 g/t i količinom srebra 3.071 kg.

- Zadato (očekivano) iskorišćenje rude je 64,14% i osiromašenje rude 5,1%.
- Očekivane količine jalovine u rovnoj rudi je 63.731 t, sa: sadržajem bakra 0,228% i količinom bakra 12.339,78 t; sadržajem zlata 0,256 g/t

i količinom zlata 16,32 kg; sadržajem srebra 1,734 g/t i količinom srebra 110,51 kg.

- Očekivane količine rovne rude su 1.022.531 t, sa: sadržajem bakra 1,207% i količinom bakra 12.380 t; sadržajem zlata 0,256 g/t i količinom zlata 261,53 kg; sadržajem srebra 1,734 g/t i količinom srebra 1.773 kg.
- Flotacijska iskorišćenja iznose za bakar 86,8%, za zlato 45% i za srebro 55%.

2) Rudno telo "Tilva roš"

- U predviđenom otkopnom prostoru eksploatacione rezerve rude su 1.104.218 t, sa: sadržajem bakra 0,88% i količinom bakra 9.714 t; sadržajem zlata 0,179 g/t i količinom zlata 198 kg; sadržajem srebra 1,019 g/t i količinom srebra 1.125 kg.
- Zadato (očekivano) iskorišćenje rude je 80% i razblaženje 7,5%.
- Očekivane količine jalovine su 107.795 t, sa: sadržajem bakra 0,278% i količinom bakra 934,3 t; sadržajem zlata 0,103 g/t i količinom zlata 11,1 kg; sadržajem srebra 0,8 g/t i količinom srebra 86,2 kg.
- Očekivane količine rovne rude su 991.169 t, sa: sadržajem bakra 0,814% i količinom bakra 8.071 t; sadržajem zlata 0,171 g/t i količinom zlata 169 kg; sadržajem srebra 0,995 g/t i količinom srebra 986 kg.

3) Rudno telo "P2A"

- Eksploatacione rezerve rude u predviđenom otkopnom prostoru su 1.899.586 t, sa: sadržajem bakra 0,908% i količinom bakra 17.244 t; sadržajem zlata 0,435 g/t i količinom zlata 826 kg; sadržajem srebra 1,775 g/t i količinom srebra 3.375 kg.
- Zadato (očekivano) iskorišćenje rude je 80%, a razblaženje rude 13,0%.
- Očekivane količine jalovine je 256.675 t, sa: sadržajem bakra 0,364% i količinom bakra 931,3 t; sadržajem zlata 0,578 g/t i količinom zlata 148,4 kg; sadržajem srebra 1,413 g/t i količinom srebra 362,68 kg.
- Očekivane količine rovne rude je 1.776.344 t, sa: sadržajem bakra 0,829% i količinom bakra 14.729 t; sadržajem zlata 0,455 g/t i količinom zlata 809 kg; sadržajem srebra 1,723 g/t i količinom srebra 3.061 kg.

4) Ukupno Tekući zahvat (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P2A”)

- Eksploatacione rezerve rude u predviđenom otkopnom prostoru su 4.498.704 t, sa: sadržajem bakra 1,036% i količinom bakra 46.597 t; sadržajem zlata 0,314 g/t i količinom zlata 1.414,387 kg; sadržajem srebra 1,683 g/t i količinom srebra 7.571 kg.
- Zadato (očekivano) iskorišćenje rude je 74,73% i osiromašenje rude 10,52%.
- Očekivane količine jalovine su 428.201 t, sa: sadržajem bakra 0,3206% i količinom bakra 1.372,8 t; sadržajem zlata 0,411 g/t i količinom zlata 175,82 kg; sadržajem srebra 1,306 g/t i količinom srebra 559,39 kg.
- Očekivane količine rovne rude su 3.790.044 t, sa: sadržajem bakra 0,927% i količinom bakra 35.140 t; sadržajem zlata 0,327 g/t i količinom zlata 1.239,53 kg; sadržajem srebra 1,536 g/t i količinom srebra 5.820 kg.

Flotacijska iskorišćenja iznose: za bakar 86,8%; za zlato 45% i za srebro 55%. Nakon eksploatacije i obogaćenja, iskorišćenje i gubici na bakru, zlatu i srebru, po rudnim telima su:

1) Rudno telo “Brezanik”

- Bakar: Sa 64,14% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 86,8% iskorišćenja u flotaciji: $0,6414 \times 0,868 = 0,5567 = 55,67\%$ iskorišćenja i 44,33% gubitaka.
- Zlato: Sa 64,14% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 45,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,6414 \times 0,45 = 0,2886 = 28,86\%$ iskorišćenja i 71,14% gubitaka.
- Srebro: Sa 64,14% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 55,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,6414 \times 0,55 = 0,3528 = 35,28\%$ iskorišćenja i 64,72% gubitaka.

2) Rudno telo “Tilva roš”

- Bakar: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 86,8% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,868 = 0,6944 = 69,44\%$ iskorišćenja i 30,56% gubitaka.
- Zlato: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj i 45,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,45 = 0,36 = 36\%$ iskorišćenja i 64% gubitaka.
- Srebro: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 55,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,55 = 0,44 = 44\%$ iskorišćenja i 56% gubitaka.

3) Rudno telo "P2A"

Bakar: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 86,8% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,868 = 0,6944 = 69,44\%$ iskorišćenja i 30,56% gubitaka

Zlato: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 45,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,45 = 0,36 = 36\%$ iskorišćenja i 64% gubitaka.

Srebro: Sa 80% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 55,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,8 \times 0,55 = 0,44 = 44\%$ iskorišćenja i 56% gubitaka.

4) Ukupno Tekući zahvat ("Brezanik", "Tilva roš" i "P2A")

Bakar: Sa 74,73% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 86,8% iskorišćenja u flotaciji: $0,7473 \times 0,868 = 0,6486564 = 64,87\%$ iskorišćenja i 35,13% gubitaka.

Zlato: Sa 74,73% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 45,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,7473 \times 0,45 = 0,336285 = 33,63\%$ iskorišćenja i 66,37% gubitaka.

Srebro: Sa 74,73% iskorišćenja rezervi u eksploatacionoj konturi i 55,0% iskorišćenja u flotaciji: $0,7473 \times 0,55 = 0,411015 = 41,10\%$ iskorišćenja i 58,9% gubitaka.

Kapaciteti

U tabeli 1. dati su kapaciteti proizvodnje po rudnim telima i ukupno u tekućem zahvatu po godinama trajanja projekta.

Tabela 1: Kapaciteti proizvodnje po rudnim telima i ukupno u tekućem zahvatu, po godinama trajanja projekta

Godina	Proizvodnja	"Brezanik"	"Tilva Roš"	"P ₂ A"	Tekući zahvat (ukupno)
A	B	C	D	E	F
2006.	t	124.000	304.300	146.200	574.500
	Cu%	0,985	0,588	0,742	0,713
	t Cu	1.221	1.790	1.085	4.096
2007.	t	247.300	207.875	466.370	921.545
	Cu%	1,249	0,880	0,890	0,984
	t Cu	3.090	1.830	4.149	9.069
2008.	t	247.300	207.875	466.370	921.548
	Cu%	1,218	0,909	0,893	0,984
	t Cu	3.012	1.890	4.166	9.068

2009.	t	247.300	207.878	466.370	921.548
	Cu%	1,224	1,015	0,727	0,926
	t Cu	3.027	2.110	3.392	8.529
2010.	t	156.631	63.238	231.034	450.903
	Cu%	1,271	0,713	0,838	0,971
	t Cu	1.990	451	1.937	4.378
Σ2006-2010.	t	1.022.531	991.169	1.776.344	3.790.044
	Cu%	1,207	0,814	0,829	0,927
	t Cu	12.340	8.071	14.729	35.140

Utrošak rude za tonu koncentrata

Za dobijanje 1 tone definitivnog koncentrata bakra potrebno je:

- Rudno telo "Brezanik": 21,38 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 1,207% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Rudno telo "Tilva roš": 3,17 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,814% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Rudno telo "P2A": 31,13 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,829% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Ukupno Tekući zahvat (rudna tela "Brezanik", "Tilva roš" i "P2A"): 27,84 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,927% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.

Utrošak rude za tonu bakra u koncentratu

Za dobijanje 1 tone definitivnog koncentrata bakra potrebno je:

- Rudno telo "Brezanik": 95,47 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 1,207% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Rudno telo "Tilva roš": 141,48 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,814% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Rudno telo "P2A": 138,94 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,829% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.
- Ukupno Tekući zahvat (rudna tela "Brezanik", "Tilva roš" i "P2A"): 124,26 t rovne rude sa srednjim sadržajem od 0,927% Cu u rovnoj rudi i iskorišćenjem od 86,8% Cu.

VREDNOSNI POKAZATELJI

Sagledavanje ekonomskog značaja jednog ležišta u prvim fazama istraživanja izražava se preko naturalnih pokazatelja. Ovakvo prikazivanje ima karakter opšte i nepotpune ocene. Kod istraženih ležišta, gde je stepen istraženosti na nivou strukture rudnih rezervi potrebne za projektovanje i

otvaranje ležišta, a pogotovo kada se radi o ležištima u eksploataciji, kao što je slučaj sa ležištem Bor, prirodni pokazatelji nisu dovoljni jer se traži daleko preciznije i potpunije sagledavanje ekonomske vrednosti ležišta. Zato se, zajedno sa prirodnim, koriste i vrednosni pokazatelji. U ovoj fazi ocena se može vršiti na bazi pojedinačnih vrednosnih pokazatelja ili se proračunava jedan reprezentativan sintetički pokazatelj u kome su najznačajniji pokazatelji vrednosnog karaktera.

Cena konačnog produkta

Cena konačnog produkta, u konkretnom slučaju bakra (ekvivalent bakra uključujući sve prateće korisne komponente) jedan je od najznačajnijih vrednosnih pokazatelja ocene ležišta i retko se prikazuje samostalno, već najčešće u poređenju sa troškovima proizvodnje.

Prema podacima u *Studiji opravdanosti kratkoročnog investiranja (period 2006 - 2011. god.) u proizvodnju koncentrata bakra u RTB Bor* i proračunu troškova, tržišna vrednost je 20,57 US\$/t rude, a troškovi su 16,32 US\$/t, iz čega se vidi da je proizvodnja rentabilna, pri prodajnoj ceni u koncentratu za Cu=2.310 US\$/t, Au=12.350 US\$/kg i Ag=185 US\$/kg.

Rentabilnost

Rentabilnost, produktivnost i ekonomičnost su najvažniji pokazatelji, odnosno osnovni principi ekonomskih načela reprodukcije. Princip rentabilnosti zahteva da se ostvari što veći dohodak sa što manjim ulaganjem, odnosno angažovanjem sredstava za reprodukciju. Izračunava se po formuli:

$$R_b = \frac{D}{S_a}, \text{ ako se izražava u procentima,}$$

onda je $R_b = \frac{D}{S_a} \times 100$ (10%; 20% itd.),

gde je:

- R_b – rentabilnost (delovi jedinice: 0,1; 0,2 itd.);
- D – dohodak (planiran ili ostvaren), novčana jedinica;
- S_a – angažovana sredstva (osnovna i obrtna), novčane jedinice.
 - Ukupno tekući zahvat (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P2A”)

U konkretnom slučaju: D = 61.862.417 US\$, pa je:

$$R_b = 25,9\%.$$

Ovakav iznos R_b može se smatrati sasvim zadovoljavajućim.

SINTETIČKI POKAZATELJI

Sintetički pokazatelji su složeni, jer sadrže niz pojedinačnih vrednosnih pokazatelja. Najpoznatiji i najčešće upotrebljavani u geološko-ekonomskoj oceni (i u TEO) su:

- vrednost ležišta i rezervi u njemu, bez uzimanja faktora vremena u obzir,
- pokazatelji ekonomske klasifikacije rudnih rezervi,
- ekonomska (vrednosna) ocena ležišta mineralnih sirovina po različitim metodologijama,
- cena jedne tone istraženih rezervi i dr.

Vrednost ležišta bez uzimanja vremenskog faktora u obzir (statički pristup)

Vrednost ležišta bez uzimanja vremenskog faktora u obzir svodi se na iskazivanje uslovne vrednosti korisnih komponenti koje ležište sadrži, odnosno koje bi se eksploatacijom i preradom mogle dobiti. U suštini, kao merilo ekonomske vrednosti može se uzeti razlika između vrednosti korisnih komponenti koje se mogu iskoristiti iz ležišta i troškova koji se mogu podneti za njihovo dobijanje. Najčešće korišćena formula za vrednosnu ocenu ležišta je:

$$V = (V_i - T_i) \times (R - G), \text{ gde je:}$$

V - uslovna vrednost ležišta, novčana sredstva;

V_i - vrednost korisnih komponenti koje se mogu dobiti iz ležišta (novčana jedinica/t rude);

T_i - troškovi potrebni za dobijanje korisnih komponenti (novčana jedinica/t rude);

R - rezerve mineralne sirovine - korisne komponente (tona);

G – ukupni gubici u fazi eksploatacije i prerade mineralne sirovine (tona).

Uslovna vrednost jedinice rezervi je:

$$V_j = V_u : R_e,$$

gde je:

V_j – uslovna vrednost jedinice rezervi, (US\$);

V_u - uslovna vrednost rudnog tela (ležišta), (US\$);

R_e – eksploatacione rezerve (t).

- Primenjujući ove obrasce za rudna tela Tekućeg zahvata, ("Brezanik", "Tilva roš" i "P2A"), dobija se njegova vrednost:

$V = 16.107.687$ US\$, gde su: $V_i = Cu = 18,60$ US\$/t rude;

$Au = 1,815$ US\$/t rude; $Ag = 0,156$ US\$/t rude;

Ukupno $V_i = Cu + Au + Ag = 20,57$ US\$/t rude.

$T_i = 16,32$ US\$/t rude

$R = 4.498.704$ t rude

$G = 708.660$ t (gubitak rezervi rude u projektovanom zahvatu).

Uslovna vrednost jedinice rezervi je:

$$V_j = V_u : R_e$$

gde su:

$$V_u = 16.107.687 \text{ US\$};$$

$$R_e = 3.790.044 \text{ t},$$

te sledi da je:

$$V_j = 16.107.687 : 3.790.044 = 4,25 \text{ US\$}/t \text{ rude}.$$

Vrednost ležišta sa uzimanjem vremenskog faktora u obzir (dinamički pristup)

Vrednost ležišta sa uzimanjem vremenskog faktora u obzir može se izraziti preko neto sadašnje vrednosti i/ili interne stope rentabilnosti. Istraživanje, eksploatacija i primarna prerada mineralnih sirovina odvija se u određenom vremenskom periodu i pod dejstvom veoma različitih uticaja, zavisno od dužine toga perioda. Realno je očekivati da će u dužem periodu uticaj različitih rizika (geoloških, rudarskih, ekonomskih i ostalih) biti veći, pa se ovo mora imati u vidu prilikom utvrđivanja ekonomske (vrednosne) ocene ležišta i rudnika, odnosno obuhvatanjem i uticaja vremenskog faktora. Sve primenjene metode po ovom principu zasnivaju se na svođenje budućih efekata ulaganja na njihovu sadašnju vrednost (vrednost na dan ocene). Koeficijent (pokazatelj) takvog svođenja (diskontovanja) je veličina recipročna složenom interesu.

Prilazi ovom problemu u osnovi su vezani za političko-ekonomski sistem društvenog uređenja zemlje za koju se ocena obavlja. Duskora je u tom pogledu

pravljena oštra razlika između zemalja različitog političkog uređenja. S obzirom na aktuelno stanje političkih i društveno-političkih prilika u svetu, kao i u našoj državi, kao dominantni i najznačajniji faktor i vrednosni pokazatelj koji direktno utiče na geološko-ekonomsku ocenu (TEO) ležišta, jeste faktor rentabilnosti, odnosno mogućnost profita.

U savremenim uslovima, rudnici su predmet kupoprodaje, a ležišta mineralnih sirovina su predmet koncesija, odnosno kupovine prava na eksploataciju, pa se njihova vrednost određuje veličinom profita koji se dobija njihovom eksploatacijom u određenom vremenskom periodu. Skoro jedan vek bila je aktuelna metoda H.D. Hoskolda, po kojoj se vrednost jednog ležišta menja sa stepenom njegovog iscrpljenja i u momentu njegovog iscrpljenja uloženi kapital, zajedno sa odgovarajućom kamatom, treba da bude u potpunosti povraćen. Za izračunavanje sadašnje vrednosti za jedno ležište (rudno telo) koristi se formula:

$$V_p = \frac{A}{\frac{r}{R^u - 1} + r_1},$$

gde su :

- V_p - sadašnja vrednost rudnika,
- A - godišnji profit rudnika,
- r - normalna akumulativna stopa,
- r_1 - spekulativna stopa,
- u - broj godina.

Uslovna vrednost jedinice rezervi je: $V_j = V_u : R_e$, gde je:

- V_j – uslovna vrednost jedinice rezervi, (US\$);
- V_u - uslovna vrednost rudnog tela (ležišta), (US\$);
- R_e – eksploatacione rezerve (t).

- Primenjujući ove obrasce za rudna tela Tekućeg zahvata (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P2A”) dobija se njegova vrednost:

- A – 3.204.617 US\$;
- r – 8%
- r_1 – 6%
- u - 5 godina.

Sledi da je:

$$V_p = 13.905.523 \text{ US$}.$$

Uslovna vrednost (V_j) jedinice rezervi je: $V_j = V_u : R_e$, gde su:

$$V_u = 13.905.523 \text{ US\$};$$

$R_e = 3.790.044 \text{ t}$, te sledi da je:

$$V_j = 13.905.523 : 3.790.044 = 3,67 \text{ US\$/t rude.}$$

Neto sadašnja vrednost (NPV)

NVP je savremeniji način ocene vrednosti ležišta mineralnih sirovina koji se često upotrebljava. Neto sadašnja vrednost projekta definisana je kao razlika između priliva i odliva gotovine. Svi godišnji tokovi gotovine po unapred određenoj diskontnoj stopi, diskontuju se na nultu tačku vremena (početak implementacije) po sledećoj formuli:

$$NPV = (R_0 - C_0) + \frac{R_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{R_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n}$$

gde je:

R_0, R_1, \dots, R_n – prihodi u odgovarajućim godinama (novčane jedinice);

C_0, C_1, \dots, C_n – troškovi (rashodi) u odgovarajućim godinama (novčane jedinice);

r – diskontna stopa.

Za utvrđivanje NPV (neto sadašnje vrednosti) ležišta Bor - Tekući zahvat, počecemo od parametara r , koji je 8%.

Vrednost rude i troškovi proračunati su po rudnim telima, definisanim parametrima (cena proizvoda, troškovi eksploatacije i prerade, gde su ugrađeni i troškovi investicionih ulaganja po jednoj toni rude).

Uslovna vrednost jedinice rezervi je:

$$V_j = V_u : R_e,$$

gde je:

V_j – uslovna vrednost jedinice rezervi, (US\$);

V_u - uslovna vrednost rudnog tela (ležišta), (US\$);

R_e – eksploatacione rezerve (t).

- Primenjujući ove obrazce za rudna tela Tekućeg zahvata (“Brezanik”, “Tilva roš” i “P2A”) dobija se njegova vrednost:

$$NPV = 72.742 + \frac{4.978.165}{(1,08)^1} + \frac{4.973.392}{(1,08)^2} + \frac{3.892.684}{(1,08)^3} + \frac{2.106.101}{(1,08)^4},$$

pa se dobija po godinama:

Godina	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2006-2010.
US\$:	72.742	4.609.412	4.263.882	3.090.138	1.548.047	13.584.221

$$NPV = 13.584.221 \text{ US\$}.$$

Uslovna vrednost (V_j) jedinice rezervi je: $V_j = V_u : R_e$, gde su:

$$V_u = 13.584.221 \text{ US\$};$$

$$R_e = 3.790.044 \text{ t},$$

te sledi da je: $V_j = 13.584.221 : 3.790.044 = 3,58 \text{ US\$/t rude}$.

U tabeli 2 dati su proračun, vrednosti rude, troškovi i dobit tekućeg zahvata ("Brezanik", "Tilva roš" i "P₂A") za trajanje projekta od 5 godina.

Tabela 2: Proračun vrednosti, troškova i dobiti, za Tekući zahvat ("Brezanik", "Tilva roš" i "P₂A")

Godina proizvodnje	Godišnja proizvodnja	Prihod US\$	Rashod-trošak US\$	Neto "Cash flow" US\$
A	B	C	D	E
2006.	574.500	9.125.392	9.052.650	72.742
2007.	921.545	20.045.770	15.067.605	4.978.165
2008.	921.545	20.041.039	15.067.647	4.973.392
2009.	921.545	18.960.331	15.067.647	3.892.684
2010.	450.903	9.712.969	7.606.868	2.106.101
Ukupno, 2006-2010	3.790.044	77.885.501	61.862.417	16.023.084

$$\text{Neto "Cash flow"} = (\text{prihod}) - (\text{rashod})$$

Kada se veličina NPV podeli sa diskontovanom sumom kapitalnih ulaganja, dobija se veličina koja se naziva "ratio sadašnje vrednosti" ("Present value ratio" ili PVR) ili indeks rentabilnosti, koja se računa prema sledećoj formuli:

$$PVR = \frac{NPV}{J \times (1+r)^n}, \text{ gde je:}$$

J – kapital uložen u rekonstrukciju rudnika = 5.530.000 US\$;

r – profitna stopa = 8%;

n – period eksploatacije ležišta = 5 godina, pa je:

$$PVR = = 1,6718251 \text{ US\$} \approx 1,67 \text{ US\$}.$$

Rezultati proračuna PVR znače da se Tekući zahvat ležišta Bor (rudna tela

“Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) ocenjuje prema vrednosti eksploatacionih rezervi u ležištu koje dolazi na svaki uloženi US\$ u rekonstrukciju rudnika. Deo uložениh investicija (u sistem za odvodnjavanje, sistem ventilacije, sistem servisiranja i sistem transporta, izvoza i drobljenja) zajednički je za sva rudna tela. S obzirom na to da je raščlanjenje uložениh sredstava u navedene investicione radove po rudnim telima teško izvodljivo, proračun PVR urađen je zbirno za ceo zahvat. Projekat eksploatacije dela ležišta (Tekući zahvat) jприhvatljiv je ako je njegova sadašnja vrednost (NPV) veća od nule.

ZAKLJUČAK

- Rentabilnost (Rb): za rudno telo “Brezanik” je 25,2%; za rudno telo “Tilva roš” je 23,2%; za rudno telo “P₂A” je 27,8%; za Tekući zahvat ukupno (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) je 25,9%.
- Vrednost ležišta bez uzimanja vremenskog faktora u obzir (statički pristup), (V): za rudno telo “Brezanik” je 5.327.386 US\$; za rudno telo “Tilva Roš” je 3.251.034 US\$; za rudno telo “P₂A” je 7.522.817 US\$; za Tekući zahvat ukupno (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) je 16.107.687 US\$;
- Vrednost ležišta sa uzimanjem vremenskog faktora u obzir (dinamički pristup), (Vp): za rudno telo “Brezanik” je 4.611.527 US\$; za rudno telo “Tilva roš” je 2.816.915 US\$; za rudno telo “P₂A” je 6.477.082 US\$; za Tekući zahvat ukupno (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) je 13.905.523 US\$.
- Neto sadašnja vrednost (NPV): za rudno telo “Brezanik” je 4.460.275 US\$; za rudno telo “Tilva roš” je 2.687.650 US\$; za rudno telo “P₂A” je 6.436.622 US\$; za Tekući zahvat ukupno (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) je 13.584.221 US\$.
- Indeks rentabilnosti (PVR): za Tekući zahvat ukupno (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”) je 1,67 US\$.

Za period eksploatacije i prerade od 5 godina, pokazuje se pozitivan finansijski efekat i ukazuje da će buduća proizvodnja biti rentabilna, što je dokaz da su proračunate rudne rezerve bilansne.

Literatura

1. Janković S: Rudna ležišta Srbije; Republički fond za geol. istraž. i Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1990, 760 s.
2. Janković S., R. Jelenković, D. Koželj: Borsko ležište bakra i zlata - RTB Bor – Institut za bakar, Bor, 2002
3. Janković S., Milovanović D: Ekonomska geologija i osnovi ekonomike mineralnih sirovina. – Rudarskogeološki fakultet, Beograd, 1985, 403 s.
4. Maksimović M., Nikolić K. i dr., 2005: Elaborat o rezervama ležišta bakra Bor (rudna tela “Brezanik”, “Tilva roš” i “P₂A”), 31.XII 2004., RTB Bor-grupa, Institut za bakar Bor, Zavod za geologiju, Fond stručne dokumentacije Zavoda za geologiju IBB-a, Bor.

UDC: 622.26(045)=861

**NEKE OD POSTAVKI MEHANIČKIH MODELA SADEJSTVA –
INTERAKCIJE PODGRADE SA STENSKIM MASIVOM**

**SOME ASSUMPTIONS OF MECHANICAL MODELS OF
SUPPORT INTERACTION WITH ROCK MASSIF**

R. Popović, M. Ljubojev, M. Bugarin
Institut za bakar Bor

Izvod

U radu je analizirano sadejstvo podgrade sa stenskim masivom koristeći mehaničke modele; elastični, elastoviskozni, krutoplastični, elastoplastični, elastoplastični nejednorodni i viskozoplastični.

Posmatrano sa stanovišta iskustva, rudarska podgrada se može smatrati krutom i elastičnom konstrukcijom, a može i da poseduje određena svojstva tečenja.

U zavisnosti od rudarsko-geoloških uslova, a pri izboru metodologije proračuna podgrade, moraju se ispoštovati zahtevani režimi njenog rada.

Ključne reči: stenski masiv, podgrada

Abstract

This work presents the analyzing of support interaction with rock massif by the use of mechanical models: elastic, elastoviscous, rigidplastic. From an aspect of experience, the mining support is a rigid and elastic construction. Depending on mining – geological conditions, the required work regimes have to be filled.

Key words: rock massive, support

UVOD

Stenski masiv u kojem se izvode rudarski podzemni radovi, poseduje složena mehaničko-deformaciona svojstva. Izradom podzemne prostorije, proces deformisanja se najčešće razvija u neuravnoteženom stanju, razvijajući se u vremenu po određenim zakonima. Pravilno shvatanje tih procesa, te realno prognoziranje razvoja deformacija, zahteva poznavanje zakonitosti kojoj se stenski masiv potčinjava.

Razvoj deformacija i pojava tečenja stena, potčinjavaju se zakonima geologije. Opterećenje na podgradu podzemnih rudarskih prostorija zavisi od niza uticajnih faktora koji se moraju istraživati i definisati za svaku lokaciju.

TEORETSKE POSTAVKE

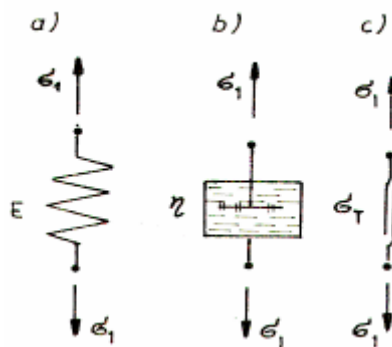
Proračun opterećenja na rudarsku podgradu zasniva se na matematičkom opisu mehaničkih modela uzajamnog sadejstva podgrade sa okolnim stenskim masivom. Pri tome se javljaju dva osnovna tipa:

1. Dejstvo stenskog masiva kao spoljno opterećenje na podgradu nezavisno od deformabilnosti podgrade.
2. Dejstvo stenskog masiva na podgradu kao unutrašnji faktor i statički neodređen sistem „podgrada-stena“. Rešenje se izvodi iz uslova zajedničkih pomeranja i jednakih napona na kontaktu podgrada-stenski masiv.

U teoretskim izučavanjima sadejstva podgrade sa stenskim masivom koriste se sledeći modeli:

- elastični,
- elastoviskozni,
- krutoplastični,
- elastoplastični,
- elastoplastični nejednorodni i
- viskozoplastični.

U osnovi svih navedenih modela leže modeli idealnih tela: elastično, viskozno i plastično telo (sl. 1).



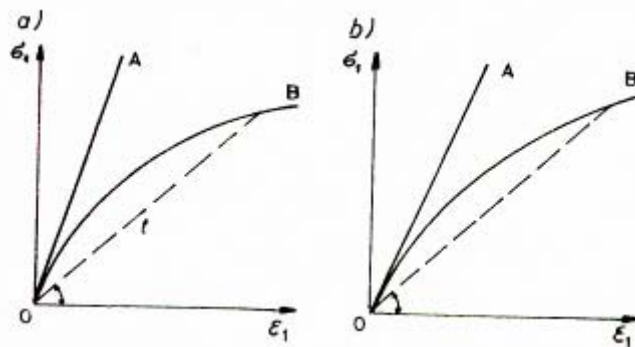
Sl. 1. Model idealnih tela
(a – elastično; b – viskozno; c – plastično)

Idealno elastično telo

Model idealno elastičnog tela je predstavljen u obliku opruge (sl. 1.a). Vezu između normalnog napona σ_1 i odgovarajuće deformacije ε_1 pri jednoosnom istezanju opisuje zakon Houk-a:

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 \text{ [MPa]} \quad (1)$$

- E [MPa], modul elastičnosti materijala,
- ε_1 , relativna deformacija po dužini.



Sl. 2. Grafička predstava linearnog i nelinearnog zakona
(a – elastični; b – viskozni)

Linearni zakon (σ, ε), prikazan je na sl. 2.a prava (OA). Pri složenom naponskom stanju, elastična sredina se, takođe, ponaša po opštem zakonu Houk-a. Za nelinearno elastičnu sredinu (u smislu uspostavljanja oblika i dimenzija posle rasterećenja), jednačina deformaacija ima sledeći oblik:

$$\sigma_1 = f_{(\varepsilon_1)} \cdot \varepsilon_1; f_{(\varepsilon_1)} > 0 \quad (2)$$

gde je: $f_{(\varepsilon_1)}$ – funkcija, određena eksperimentalno i definisana krivom (OB) sl. 2.a,

a brojčana vrednost je jednaka tangensu ugla nagiba prave (OB), sl. 2.a

Model nelinearno-elastičnog tela takođe se može predstaviti oprugom sa nelinearnom karakteristikom. U složenom naponskom stanju za predstavljanje nelinearno-elastične sredine primenjuju se jednačine teorije elastoplastičnih deformacija.

Idealno linearno-viskozno telo

Model idealno linearno-viskozno tela sastoji se od klipa sa otvorima smeštenim u cilindru sa viskoznom tečnošću (sl. 1.b). Veza napon-deformacija pri jednoosnom zatezanju ili pritisku definiše Neuwtn-ov zakon viskoziteta:

$$\sigma_1 = \eta \cdot \frac{d\varepsilon_1}{dt} \quad (3)$$

gde je: - η , koeficijent viskoziteta,

$$- \frac{d\varepsilon_1}{dt} = \dot{\varepsilon}_1, \text{ brzina deformacija.}$$

Na sl. 2.b, navedena veza je predstavljena pravom OA. Pri složenom naponskom stanju komponente brzine deformacija vezane su sa komponentima napona opštim zakonom Neuwtn-a. Kod nelinearno deformabilnih tela pri jednoosnom stanju napona, deformacije podržavaju nelinearno viskozno tečenje na sledeći način:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \varphi_{(\sigma_1)} \cdot \sigma_1; \varphi_{(\sigma_1)} > 0 \quad (4)$$

gde je: - $\varphi_{(\sigma_1)}$, funkcija, određuje se laboratorijskim ispitivanjem za svaki materijal,

a brojčano je jednaka tangensu ugla nagiba prave (OB), sl. 2.b

Idealno plastično telo

Model (Kulonov) idealno plastičnog tela predstavljen je na sl. 1.c, u obliku elementa suvog trenja. Pretpostavlja se da se pri naponu manjem od napona tečenja telo ne deformiše. Pri narastanju napona do granice tečenja σ_T^* , deformacije tečenja se razvijaju pri konstantnom naponu, koji nazivamo uslovom tečenja.

$$\sigma_1 = \sigma_T \quad (5)$$

Pri korišćenju elastičnog modela sadejstva podgrade sa stenskim masivom prihvata se kao elastična ili linearno deformabilna izotropna sredina u kojoj su naponi i deformacije međusobno vezani linearnom zavisnošću. Svojstva elastične sredine karakteriše modul elastičnosti, a linearnu deformaciju – modul deformacije, praćen koeficijentom proporcionalnosti nezavisno od prirode deformacija.

** σ_T , granica tečenja čvrstih stena, o kojoj mnogi autori govore, vrlo je problematična, jer se nigde u literaturi ne navodi njena vrednost za određenu stenu. U inženjerskoj praksi koristi se pojam dugotrajne čvrstoće, koja, se takođe, određuje eksperimentalno. (Autor)

U nekim slučajevima, stenski masiv možemo razmatrati kao anizotropno elastičnu sredinu i to u delovima koji predstavljaju transversalno-izotropnu sredinu. To je stenski masiv čija su mehaničko-deformaciona svojstva postojana u različitim pravcima u ravni izotropije, a različita u pravcima upravno na ravan izotropije. [1]

Realni stenski masiv predstavlja složeno mehaničko-deformabilno stanje i istovremeno može posedovati: elastična, viskozna i plastična stanja u različitim formama i odnosima.

U elastoviskoznoj sredini Kelvina, naponi su zbir napona izazvanih elastičnom deformacijom i napona izazvanih viskoznom otporom.

$$\sigma_1 = E \cdot \varepsilon_1 + \eta \frac{d\varepsilon_1}{dt} \quad (6)$$

Opšti integral navedene jednačine ima sledeći oblik:

$$\varepsilon_1 = e^{-\frac{t}{\tau_n}} \left(\varepsilon_{10} + \frac{1}{\eta} \int_0^t \sigma_1^\tau n dt \right) \quad (7)$$

- ε_{10} , deformacija u vremenu $t = 0$

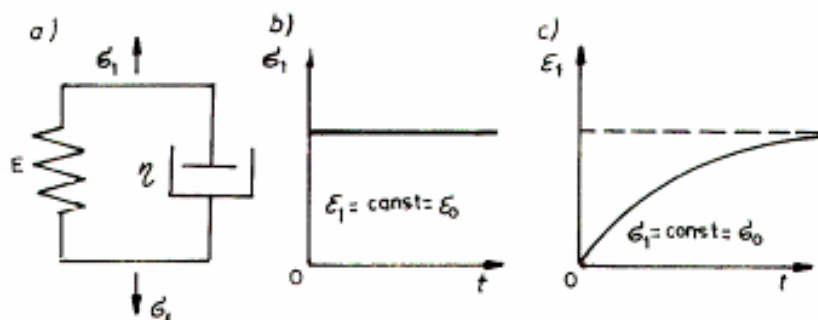
- $\tau_n = \frac{\eta}{E}$, vreme relaksacije, tj. vreme u kojem se početna-zadana deformacija, posle prestanka opterećenja, smanji za e puta

Ako se u realnom stenskom masivu deformacije održavaju konstantnim $\varepsilon_1 = \text{const.} = \varepsilon_{10}$, tada i naponi ostaju konstantni $\sigma_1 = \varepsilon_{10} \cdot E$.

Ako se pak, prvo zadani naponi održavaju konstantnim $\sigma_1 = \text{const.} = \sigma_{10}$, deformacije postepeno rastu težeći vrednosti $\frac{\sigma_0}{E}$, po sledećem zakonu:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_{10}}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}} \right) \quad (8)$$

Navedena svojstva elastoviskozne sredine sastoje se iz elastičnog (sl. 1.a) i linearno-viskozno (sl. 1.b) elementa povezano paralelno (sl. 3.a), a naponi i deformacije navedenog modela su prikazani na sl. 3.b i 3.c.



Sl. 3 – Model elastoviskozne sredine Kelvina
(a – mehanički model; b – promena napona u vremenu pri konstantnoj deformaciji; c – promena deformacija pri konstantnom naponu)

Elastoviskozna relaksirajuća sredina

Model elastoviskozne relaksirajuće sredine ili Maksvel-ov model prikazan je na sl. 4. Tu sredinu opisuju sledeće jednačine:

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma_1}{dt} + \frac{\sigma_1}{\eta} \quad (9)$$

Integriranjem (9) sledi:

$$\sigma_1 = e^{-\frac{t}{\tau_n}} \left(\sigma_{10} + E \int_0^t \frac{d\varepsilon_1}{dt} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_n}} dt \right) \quad (10)$$

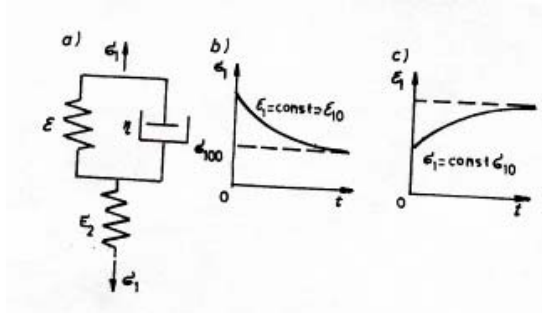
Ako u početnom trenutku vremena deluje konstantan napon $\sigma_1 = \text{const.} = \sigma_{10}$, to u sredini izaziva trenutnu elastičnu deformaciju $\varepsilon_{10} = \frac{\sigma_{10}}{E}$,

koja se dalje razvija konstantnom brzinom $\dot{\varepsilon}_1 = \text{const.}$

Pri otklanjanju napona (rasterećenje), brzina deformacije postaje jednaka nuli, no zadržava se preostala deformacija (sl. 4.b). Pri zadatoj konstantnoj deformaciji: $\varepsilon_1 = \text{const.} = \varepsilon_{10}$ iz izraza (10) dobije se:

$$\sigma_1 = \sigma_{10} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_n}}; \sigma_{10} = E \cdot \varepsilon_{10} \quad (11)$$

što ukazuje na pad napona, tj. na početak relaksacije napona. Navedeno svojstvo je karakteristično za većinu stena.



Sl. 4. Opšti model elastoviskozne sredine
(b – promena napona u vremenu pri konstantnoj deformaciji;
c – promena deformacija pri konstantnom naponu)

Svojstva relaksirajuće sredine Maksvela i elastoviskozne sredine Kelvina objedinjena u opšti model linearne sredine, obrazuju povezivanje elastičnih i viskoznih elemenata sa različitim modelima elastičnosti i viskoznosti. Šema modela je prikazana na sl. 4. Proces modela opisuju sledeće jednačine uključujući tri osnovna parametra: E_1 ; E_2 i η .

$$E_1 \cdot \varepsilon_1 + \eta \frac{d\varepsilon_1}{dt} = \left(1 + \frac{E_1}{E_2}\right) \cdot \sigma_1 + \frac{\eta}{E_2} \cdot \frac{d\sigma_1}{dt} \quad (12)$$

Pri zadatoj konstantnoj deformaciji $\varepsilon_1 = \text{const.} = \varepsilon_{10}$, promena napona se odvija na sledeći način:

$$\sigma_1 = \varepsilon_{10} \left[E' + (E_2 - E') \cdot e^{-\frac{t}{\eta(E_1 + E_2)}} \right] \quad (13)$$

$$E' = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$$

što potvrđuje relaksaciju napona do granične veličine $\sigma_{1\infty} = E' \cdot \varepsilon_{10}$, (sl. 4.b).

Pri konstantnom naponu $\sigma_1 = \text{const.} = \sigma_{10}$, deformacije se razvijaju po sledećoj zakonomernosti:

$$\varepsilon_1 = \sigma_{10} \left[\frac{1}{E'} + \frac{1}{E_1} \cdot e^{-\frac{t}{\eta E_1}} \right] \quad (14)$$

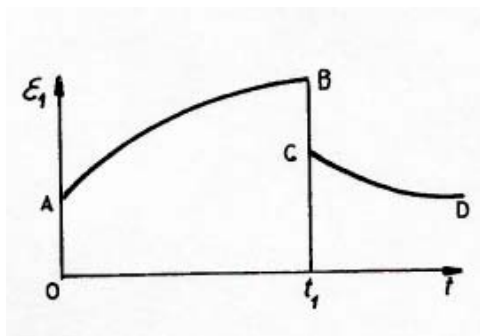
što potvrđuje da se dostiže granična deformacija $\varepsilon_{1\infty} = \frac{\sigma_{10}}{E'}$, sl. 4.c.

Mora se jasno reći da, iako je višeelementni model glomazan (sl. 4), nije uvek podesan za obuhvatanje sva svojstva deformabilnosti realnog stenskog masiva. Za konzistentnije predstavljanje realnog stenskog masiva, prikladnije su jednačine Bolcmana:

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{E_0} + \int_0^t Q(t-\tau) \sigma_1(\tau) d\tau \quad (15)$$

- $Q(t-\tau)$, koeficijent puzanja, uključuje u sebe monotono opadajuću funkciju, karakterističnu za dati stenski masiv
- E_0 , trenutni modul elastičnosti
- t , vreme od početka prvog opterećenja
- $0 \leq \tau \leq t$ promenljivi parametar integrala, pri konstantnom naponu jednak početnom $\sigma_1(t) = \sigma_{10}$, promena deformacija se odvija na sledeći način (sl.5, kriva (AB))

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_0}{E_0} + \sigma_{10} \int_0^t Q(t-\tau) d\tau = \left[\frac{1}{E_0} + \int_0^t Q(s) ds \right] \quad (16)$$



Sl. 5. Grafički prikaz promene deformacija pri opterećenju i rasterećenju nasledne sredine

Ako u početnom intervalu vremena $0 \leq t \leq t_1$, deluje konstantan napon $\sigma_1 = \text{const.} = \sigma_{10}$, koji se zatim ukloni, tada deformacija pri $t > t_1$ se smanjuje. Ovu pojavu nazivamo obrnutim puzanjem (sl. 5, kriva (CD)), a opisuje je sledeći izraz:

$$\varepsilon_1(t) = \sigma_{10} \int_0^{t_1} Q(t-\tau) d\tau = \sigma_{10} \int_{t-t_1}^t Q(s) ds \quad (17)$$

Pri dovoljenoj zadatoj deformaciji $\varepsilon_1 = \varepsilon_1(t)$, naponi se određuju polazeći od izraza (15), koji se prevodi u linearno integralenje jednačine drugog reda tipa Volter-a. Rešenje ima sledeći oblik:

$$\sigma_1(t) = E \cdot \varepsilon_1(t) - \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon_1(\tau) d\tau \quad (18)$$

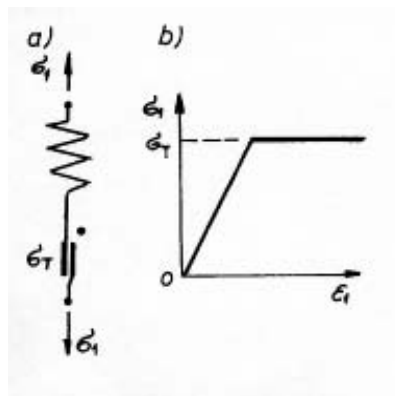
$R(t-\tau)$, rezolventan niz $Q(t-\tau)$ i naziva se koeficijentom relaksacije.

Neki oblici niza:

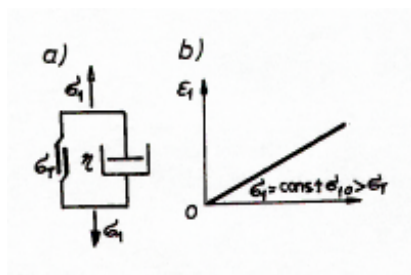
$$Q(t-\tau) = \frac{a}{1-\tau}; \quad a - \text{const.}$$

$$Q(t-\tau) = \frac{a}{(t-\tau)^\alpha}; \quad 0 < \alpha < 1 \quad (\text{Abelov niz})$$

$$Q(t-\tau) = \frac{a \cdot e^{-\frac{(t-\tau)}{\tau_n}}}{(t-\tau)^\alpha}; \quad \tau_n \text{ i } \alpha - \text{const.}$$



Sl. 6. Model elastoplastične sredine
(a – mehanički analog; b – grafik deformacije)



Sl. 7. Model viskoznooplastične sredine
(a – mehanički analog; b – grafik deformacije u vremenu)

Elastoplastični model sadejstva podgrade sa stenskim masivom primenjuje se za stensku sredinu koja se do granice tečenja (σ_T) elastično deformiše, a plastično tečenje nastupa pri konstantnom naponu (σ_T). Ovaj proces se modelira sjedinjenjem elastičnog (sl. 1.a) i plastičnog (sl. 1.c) elementa u model (sl. 6). Primenjuje se na stenski masiv koji poseduje koheziju i ugao unutrašnjeg trenja i sa veoma izraženom plastičnošću.

Krutoplastični model sadejstva podgrade sa okolnom stenom primenjuje se na one stenske sredine čije osnovno pomeranje proizilazi iz narušene zone oko izgrađene prostorije pod dejstvom sopstvene težine, sa uzimanjem u obzir neelastičnih deformacija. Uticaj elastične deformacije masiva iza narušene zone pomeranja praktično je zanemarljiv i on se kao takav, u ovom slučaju, smatra krutim. Ovaj model se primenjuje u sipućim i veoma ispucalim stenama.

Elastoplastični nejednorodni model uzima u obzir narušenu zonu i sledstveno tome, promenu fizičkomehaničkih svojstava stena u narušenoj zoni oko podzemne prostorije u procesu sadejstva podgrade sa stenskim masivom. Pri tome se stena u narušenoj zoni ponaša kao sipuća sredina ili eventualno poseduje minimalnu koheziju.

Viskoznooplastični model primenjuje se pri rešavanju problema istiskivanja podinskih ili bočnih stena u podzemnu prostoriju, što je svojstveno stenama pri izradi podzemne prostorije na velikim dubinama, opterećenih veoma velikim podzemnim pritiskom. Takva stenska sredina se modelira vezivanjem viskoznog i plastičnog elementa (sl. 7.a). Stena se ne deformiše pri naponu manjem od granice tečenja (σ_T). Pri $\sigma_1 = \text{const} = \sigma_{10} > \sigma_T$, deformacije se razvijaju brzinom koja je proporcionalna razlici napona $\sigma_{10} - \sigma_T$ (sl. 7.b).

Jednačina naponskog stanja ima sledeći oblik:

$$\sigma_1 = \sigma_T + \eta \frac{d\varepsilon_1}{dt}, \quad \text{pri } \sigma_1 > \sigma_T$$

Specifičnost stena koje se ponašaju po ovom zakonu je da se u području malih napona deformacije ne razvijaju.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Posmatrano sa stanovišta iskustva, rudarska podgrada se može smatrati krutom i elastičnom konstrukcijom, a može da poseduje i određena svojstva tečenja.

Teoretski proračun podzemnog pritiska na podgradu mora se zasnivati na matematičkim opisima mehaničkih modela sadejstva podgrade sa okolnim stenskim masivom.

U zavisnosti od rudarsko-geoloških uslova, a pri izboru i proračunu podgrade, moraju se ispoštovati sledeći režimi njenog rada:

1. Režim zadatog opterećenja - podgrada opterećena odvojeno od masiva klizećim blokovima ili ispadajućim delovima. U ovom slučaju pomeranje konture podgrade praktično ne utiče na veličinu usvojenog opterećenja. Ovaj režim rada podgrade karakterističan je za kapitalne podzemne prostorije izgrađene u sipućem i veoma ispucalom delu stenskog masiva.
2. Režim uzajamno uticajnih deformacija. Pomeranje masiva zavisi od otpora podgrade. Ovaj režim je najkarakterističniji za širok dijapazon uslova održavanja kapitalnih rudarskih podzemnih prostorija.
3. Režim zadatih deformacija. Otpornost podgrade praktično ne utiče na veličinu pomeranja stena. Podgrada se pomera zajedno sa stenskom konturom pod dejstvom nesavladivih deformacija stenskog masiva. Ovaj režim rada je najkarakterističniji za pristupne podzemne prostorije otkopnim jedinicama, a naročito kad se nađu u zoni uticaja oslonačkih pritisaka.
4. Kombinovani režim, predstavlja sjedinjavanje više režima rada.

Literatura

1. Ratomir Popović: Anizotropija deformacionih svojstava kamene soli, Zbornik radova, RGF Beograd, 2000.god.
2. Ratomir Popović: Analiza stabilnosti nepodgrađene neposredne krovine u jami „Kukača“ – Kakanj, Zbornik radova, RGF Tuzla, 1987.god.
3. Ratomir Popović: Primena teorije kastiljanija pri određivanju preseka luka i razmaka između lukova podgrade na primeru RMU „Đurđevik“, Arhiv za

- rudarstvo i geologiju, Tuzla 1987.god.
4. Ratimir Popović: Pograda u visokoplastičnim glinama, Rudarski glasnik, RGF Beograd, 1995.god.
 5. Milenko Ljubojev, Ratimir Popović: Određivanje vremena stabilizacije deformisane površine terena za urbanističko korišćenje, Rudarski radovi 2/2001, Bor
 6. Milenko Ljubojev, Ratimir Popović: Deformisanje stenskog masiva i sleganje površine terena uzrokovanih podzemnom eksploatacijom mineralnih sirovina, Rudarski radovi 1/2001, Bor

TERMODINAMIKA SISTEMA Ti-Al-Mn

THERMODYNAMICS OF Ti-Al-Mn SYSTEM

Dr A. Kostov¹, Prof. dr. inž. B. Friedrich²

¹Institut za bakar Bor, ² RWTH Aachen,
IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling, Germany

Izvod

U ovom radu je prikazana termodinamika Ti-Al-Mn sistema. Dobijeni rezultati uključuju definisanje termodinamičkih veličina stanja kao što su aktivnosti, koeficijenti aktivnosti, parcijalne i integralne vrednosti za Gibsove energije mešanja i ekscesne Gibsove energije na različitim temperaturama: 2000K, 2073K i 2100K. Za sve termodinamičke proračune korišćen je FactSage.

Ključne reči: termodinamika, Ti-Al-Mn sistem, FactSage

Abstract

Thermodynamics of Ti-Al-Mn ternary system is shown in this paper. Obtained results involved thermodynamic determination of activities, coefficient of activities, partial and integral values for enthalpies and Gibbs energies of mixing and excess energies at different temperatures: 2000K, 2073K and 2100K. The FactSage are used for all thermodynamic calculations.

Key words: thermodynamics, Ti-Al-Mn system, FactSage

UVOD

Legure na bazi titana, zbog svojih povoljnih i atraktivnih osobina koje podrazumevaju dobru kombinaciju male težine i velike čvrstoće, sve više nalaze praktičnu primenu u avionskoj i automobilskoj industriji, ali i u svim oblastima visokotemperaturne primene. Dok su legure titana sa manjim sadržajem aluminijuma krte i obezbeđuju umerenu otpornost prema oksidaciji, dotle legiranje manganom povećava njihovu rastegljivost, jačinu, otpornost na oksidaciju i koroziju. Pa ipak, u literaturi nema mnogo podataka o termodinamičkim osobinama ternarnog sistema Ti-Al-Mn.

Treba imati u vidu da je za višekomponentne sisteme legura na bazi titana vrlo teško dobiti eksperimentalne podatke o njihovim termodinamičkim osobinama i karakteristikama, prvenstveno zbog nemogućnosti izvođenja eksperi-

menata na izrazito visokim temperaturama, kao i zbog nepostojanja odgovarajućih eksperimentalnih tehnika i uređaja koje bi omogućili takvu vrstu ispitivanja. Zbog toga, da bi se jedan takav višekomponentni i visokotemperaturni sistem legura ispitao, najčešće se koriste teorijski proračuni, matematički modeli i predviđanja termodinamičkih osobina.

U ovom radu biće prikazani rezultati termodinamičkih osobina ternarnog sistema Ti-Al-Mn i njegova tri sastavna binarna sistema dobijena na trima različitim temperaturama i uz korišćenje FactSage termohemijskog softvera.

LITERATURNI PREGLED

Legure na bazi titana su bili prvi materijali kod kojih su se primenili proračuni faznih dijagrama stanja. Međutim, ti prvi proračuni imali su u početku ograničenja u modelovanju zbog neuzimanja u obzir elemenata kao što su kiseonik i azot [1].

Prošlo je skoro 30 godina od kada su prvu prezentaciju i proračun faznog dijagrama stanja za titanske legure predstavili Kaufman i Nesor [2] na Drugoj svetskoj konferenciji o titanu. Oni su predstavili seriju kompjuterskih proračuna faznih dijagrama za legure na bazi titana i čak prve početne proračune za binarni Ti-Al sistem. Kaufman i Nesor [2] su pokazali da neki binarni i ternarni fazni dijagrami titanskih legura, naročito beta izomorfni sistemi kao što su Ti-V i Ti-Nb, mogu biti prikazani jednostavnim regularnim i subregularnim modelima.

Ipak, kombinacija hemijskog afiniteta titana prema elementima kao što su kiseonik, ugljenik i azot, i njihov naizmenično snažan uticaj na faznu ravnotežu znači da čak i jednostavna legura kao što je Ti-6Al-4V treba da se posmatra kao šestokomponentni sistem. Mada su Kaufman i Clougherty [3] proračunali i napravili dijagram stanja za sistem Ti-O ovaj rad uopšte nije proširio izradu baze podataka koja bi mogla da se iskoristi za višekomponentne legure titana, uz dodatne zahteve za elemente kao što su O, C i N.

Gros, Ansara i Allbert [4] kao i Lee *et al* [5] koristili su u svojim radovima metodu CALPHAD za predviđanje fazne ravnoteže u titanskim legurama. Gros *et al* [4] je termodinamički procenio faznu ravnotežu između tečne faze, β -Ti, α -Ti i α 2-Ti3Al faze u oblasti dijagrama stanja sa većim sadržajem titana. Ujedinjenim subrešetkastim modelom opisao je Gibsove energije za sređenu α 2-Ti3Al fazu i nesređenu α -Ti fazu. Međutim, modeli koji su korišćeni u ova dva rada imaju i svoje nedostatke jer nisu uključili uticaj lakih metala koji mogu dovesti do razlike između eksperimentalnih i dobijenih temperatura T^B u opsegu 60-80 °C.

Murray [6] je, takođe, u svom radu primenio isti ujedinjeni formalizam da

bi definisao Gibsovu energiju za tri sredene faze, dok su Ohnuma *et al* [7] eksperimentalno proučavali fazne ravnoteže između čvrstih faza sa većim sadržajima titana, koje su određivali na uzorcima sa pažljivo kontrolisanim nivoom zagađenja kiseonikom.

Koreni CALPHAD pristupa leže u matematičkom opisu termodinamičkih veličina stanja faza od interesa za ispitivanje. Ako se radi o stohimetrijskim jedinjenjima, onda se sastav može definisati, a matematičku formulu iskoristiti za opisivanje osnovnih veličina stanja kao što su entalpija i entropija. U slučaju kada faze postoje u širokom intervalu stohimetrije, što je najčešći slučaj kod metalnih materijala, tada se koriste drugi matematički modeli kojima se proračunava uticaj sastava na promenu slobodne energije. Detalji ovakvog modela i njegova procedura mogu se naći u radovima Ansare [8].

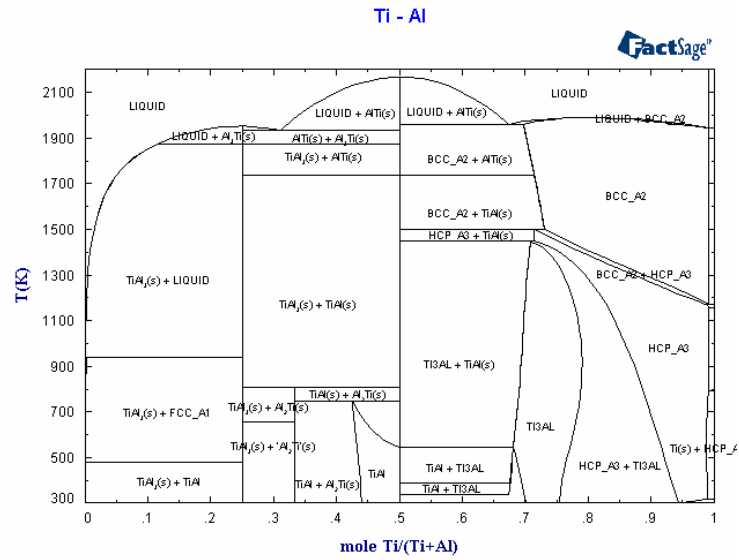
Jedan od prvih pokušaja proširenja sistema na bazi titana na ternarne legure učinjen je od strane Kattnera i Boettingera [9] i to za sistem Ti-Al-Nb. Međutim, iako je oblik dijagrama stanja razumljiv, autori nisu uzeli u obzir uređenu β fazu koja ima strukturu B_2 CsCl i koja se javlja u gotovo svim sistemima Ti-Al-X gde je X jedan od vatrostalnih metala kao što su niobijum i vanadijum. Saunders [10] je radio na seriji ternarnih sistema Ti-Al-X, gde je X=Cr, Mn, Mo, Nb, V i pokazao je da je u prezentovanju fazne ravnoteže važno uključiti ovu sredenu fazu, prevashodno zbog praktičnog interesa i pravljenja razlike između sredene i nesredene strukture, pogotovo kada se radi o definisanju mehaničkih osobina legura.

Na kraju ovog literaturnog pregleda spomenućemo još i rad Liu Jingqi *et al* [11] o termodinamičkoj analizi sistema Gd-Mn-Ti korišćenjem X-ray difrakcije i diferencijalno-termijske analize za izotermalni presek na temperaturi od 773K.

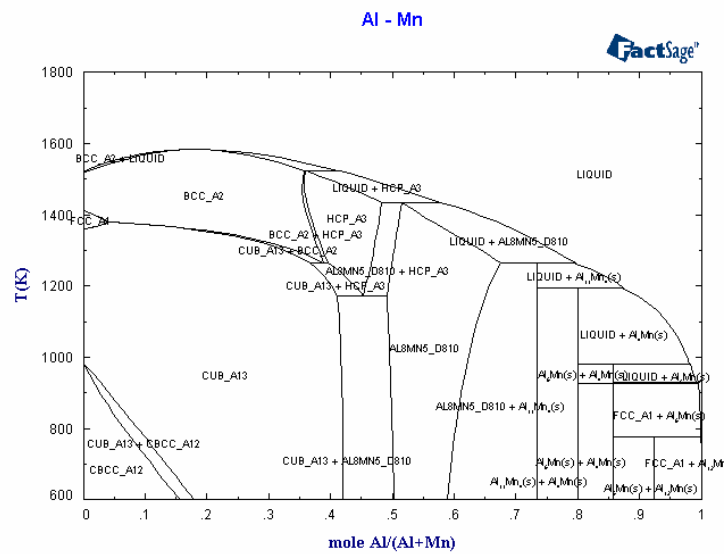
REZULTATI TERMODINAMIČKE ANALIZE

Rezultati termodinamičkog predviđanja u sistemu Ti-Al-Mn urađeni su korišćenjem FactSage thermo-chemical software and databases na temperaturama 2000K, 2073K i 2100K.

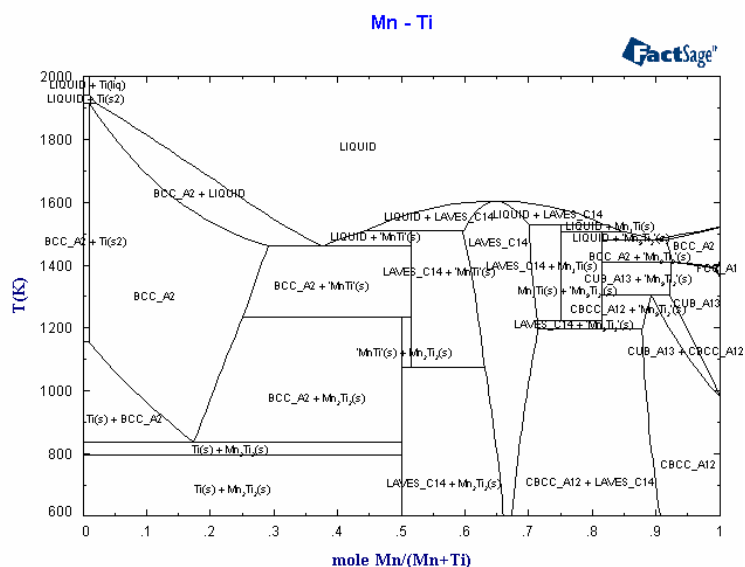
Fazni dijagrami binarnih sistema Ti-Al, Al-Mn i Ti-Mn proračunati su pomoću FactSage i rezultati su prikazani na slikama 1-3.



SI.1. Fazni dijagram sistema Ti-Al



SI.2. Fazni dijagram sistema Al-Mn



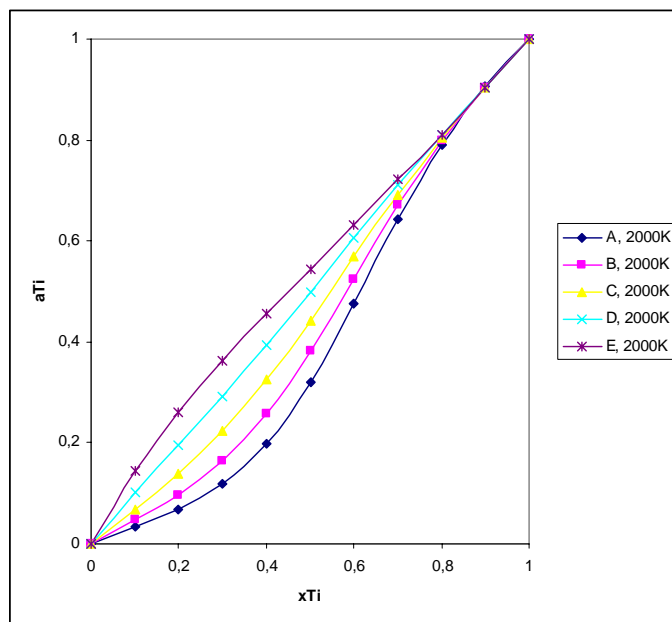
Sl.3. Fazni dijagram sistema Mn-Ti

Termodinamički proračuni veličina stanja u ispitivanom ternarnom sistemu Ti-Al-Mn urađeni su za 5 različitih poprečnih preseka i iz sva tri ugla legure. Sastavi ispitivanih legura prikazani su u tabeli 1.

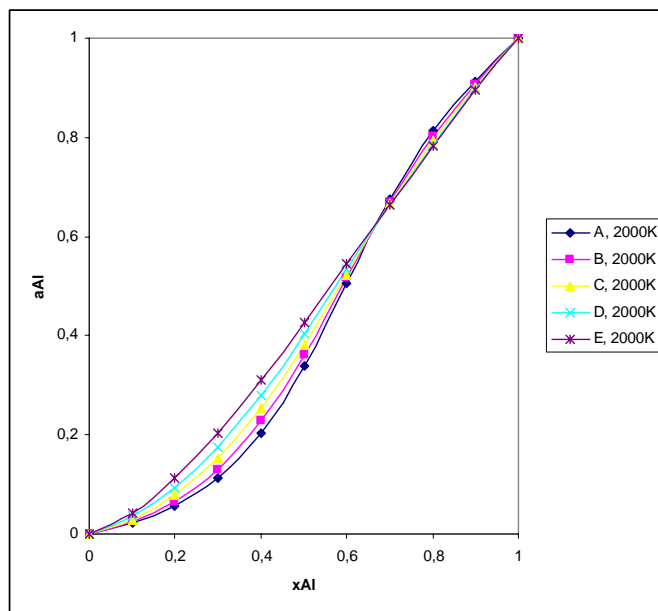
Tabela 1. Sastavi ternarnih legura u svim ispitivanim presecima

Preseci	A	B	C	D	E
$x_{Al} : x_{Mn}$	9:1	7:3	5:5	3:7	1:9
$x_{Ti} : x_{Mn}$	9:1	7:3	5:5	3:7	1:9
$x_{Ti} : x_{Al}$	9:1	7:3	5:5	3:7	1:9

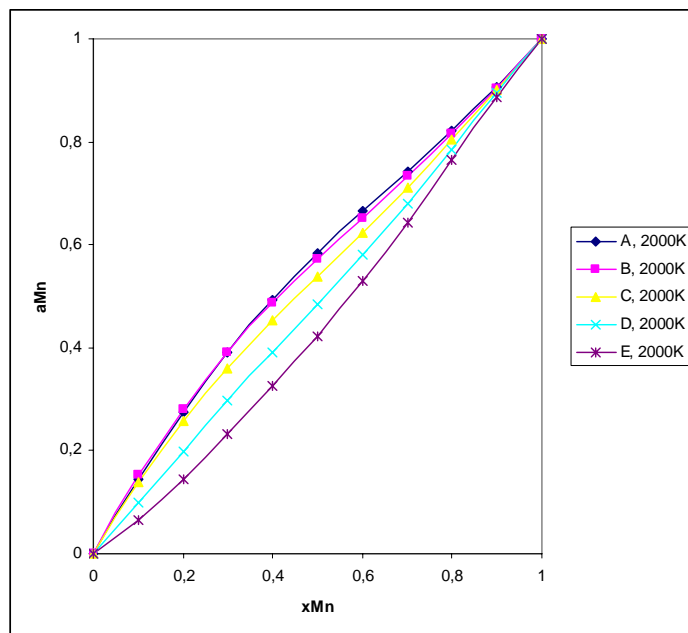
Vrednosti aktivnosti za titan, aluminijum i mangan u ispitivanom ternarnom sistemu Ti-Al-Mn na temperaturama 2000 K i 2100 K prikazani su na slikama 4-9, respektivno.



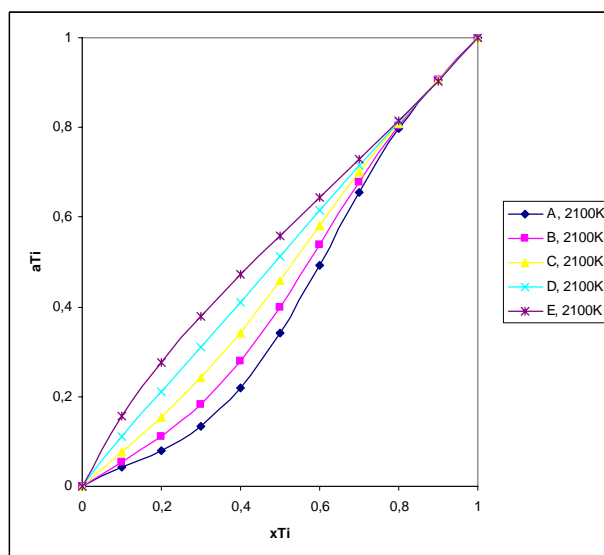
SI.4. Aktivnost titana u sistemu Ti-Al-Mn na 2000K



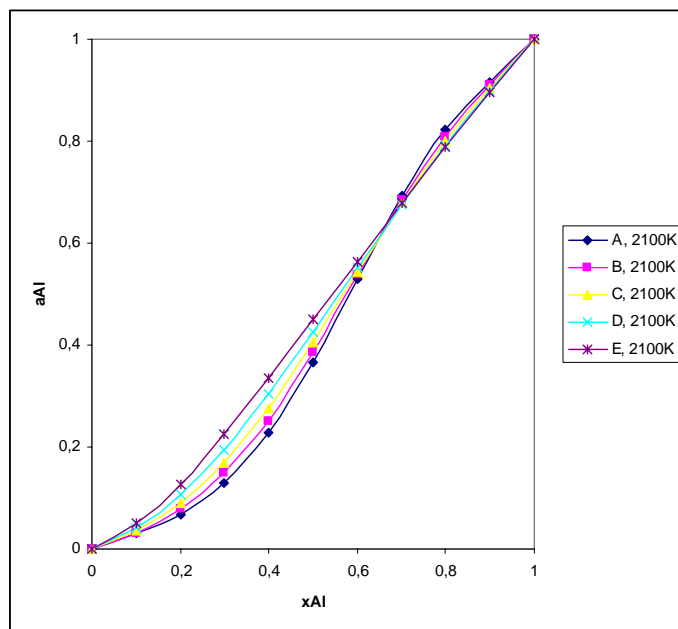
SI.5. Aktivnost aluminijuma u sistemu Ti-Al-Mn na 2000K



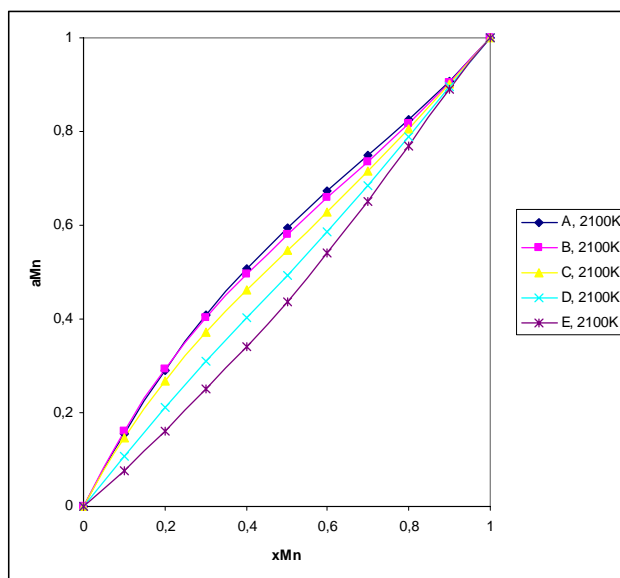
SI.6. Aktivnost mangana u sistemu Ti-Al-Mn na 2000K



SI.7. Aktivnost titana u sistemu Ti-Al-Mn na 2100K



Sl.8. Aktivnost aluminijuma u sistemu Ti-Al-Mn na 2100K



Sl.9. Aktivnost mangana u sistemu Ti-Al-Mn na 2100K

ZAKLJUČAK

Fazni dijagrami i termodinamičke veličine stanja za ternarni sistem Ti-Al-Mn na temperaturama 2000 K, 2073 K i 2100 K proračunati su korišćenjem termohemijskog softvera FactSage.

Binarni sistemi Ti-Al i Ti-Mn imaju negativne vrednosti integralne Gibsove ekscije energije, dok binarni sistem Ti-Mn ima pozitivne vrednosti. Uzimajući ovo u obzir, aluminijum može biti izabran za simetričnu komponentu u modelima za termodinamičko predviđanje.

Vrednosti entalpija mešanja, kao i Gibsovih energija mešanja, ukazuju da je najjače hemijsko privlačenje između komponenata aluminijuma i mangana, a najslabije između titana i mangana. U slučaju ispitivanih preseka posmatranih iz ugla aluminijuma, vrednosti entalpije mešanja su pod jakim uticajem binarnog sistema Ti-Mn.

Vrednosti za aktivnosti titana se proporcionalno smanjuju, a vrednosti aktivnosti mangana se proporcionalno povećavaju u sistemima Ti-Al i Al-Mn, dok vrednosti aktivnosti aluminijuma opadaju sa povećanjem sadržaja titana, a smanjuju se sa povećanjem sadržaja mangana i sve legure se ponašaju prema zakonitostima Raoultovog zakona.

Imajući u vidu da u literaturi ne postoje eksperimentalni podaci za ispitivani ternarni sistem Ti-Al-Mn, rezultati dobijeni i prikazani u ovom radu predstavljaju dobru polaznu osnovu za dalju termodinamičku analizu koja bi uključila uporednu analizu ovih rezultata sa nekim budućim kritičnim eksperimentalnim rezultatima.

Dobijeni termodinamički podaci za ternarni Ti-Al-Mn sistem pružaju kompletno termodinamičko opisivanje i daju potpunu optimalizaciju ovog sistema.

ZAHVALNOST

Autor se zahvaljuje Fondaciji Alexander von Humboldt iz Bona, Nemačka, na pruženoj pomoći pri izradi ovog istraživačkog rada.

Literatura:

1. N. Saunders, *Titanium '95: Science and Technology*, eds. P. Bleckinsop, W.J. Evans and H.M. Flower, Institute of Materials, London, 1996, p.2167.
2. L. Kaufman and H. Nesor, *Calphad*, 2 (1978) 325.
3. L. Kaufman and E.V. Clougherty, *AIME Met. Soc. Conf., Metallurgy at High Pressures and High temperatures*, Vol.22, Gordon and Breach, New York, 1964, p.322.
4. J.P. Gros, I. Ansara, M. Allibert, *Proc. 6th World Conference on Titanium*, Vol.III, P. Lacombe, R. Tricot and G. Beranger eds., Les Editions de Physique, Paris, 1989, p. 1553.
5. H.M. Lee, J.-R. Soh, Z.-H. Lee, Y.-S. Kim, *Scripta Met.*, 29 (1993) 497.
6. J.L. Murray, *Metall. Trans. A*, 9 (1988) 243.
7. I. Ohnuma, Y. Fujita, H. Mitsui, K.Ishikawa, R. Kainuma, K. Ishida, *Acta Materialia*, 48 (2000) 3113.
8. I. Ansara, *Int. Met. Reviews*, 22 (1979) 20.
9. U.R. Kattner, W.J. Boettinger, *Mater. Sci. Eng.*, A152 (1992) 9.
10. N. Saunders, *CALPHAD XXIV*, Kyoto, Japan, May 21-26, 1995.
11. L. Jingqi, Q. Jiqin, D. Ren, Z. Yinghong, Hg Jinli, *Journal of Alloys and Compounds*, 414 (2006) 97-99.

UDC: 669.184(045)=861

**ZATVARANJE CIKLUSA PRERADE KONVERTORSKIH PRAŠINA NA
ODELJENJU KONVERTORA**

**CLOSING THE CYCLE OF PRODUCTION AND PROCESS THE
CONVERTER DUST IN THE CONVERTER SECTION**

B. Čađenović, S. Ivanović, T. Apostolovski-Trujić
Institut za bakar Bor

Izvod

Nastojanja pogona Topionice i Rafinacije su da se na najoptimalniji tehničko-tehnološki i energetski način rešavaju problemi vezani za iskorišćenje hladnih materijala u toku topljenja i rafinacije bakra. Tehnologija je takva da se najviše hladnog materijala stvara na konvertorskom odeljenju. Veliki deo nastalih hladnih materijala predstavlja prašina za čiju dalju preradu još uvek nije pronađeno adekvatno rešenje.

Cilj ovog rada je iznalaženje mogućnosti da se konvertorska prašina na najpogodniji način ponovo vrati u proces i to na sam njen izvor, tj. na odeljenje konvertora, čime bi se zatvorio ciklus nastanka i prerade.

Ključne reči: konvertorska prašina, konvertor

Abstract

The aim of Copper Smelt and Refinery are optimal technical-technology and energetical mode to solve the problems tied for exploit cold materials in the copper smelting process. Technology is such that the most cold materials makes at converter department. The great part of cold materials present the dust for whom ahead process not find the adequate solution yet.

The aim of paper is the investigation of possibility returning in the process the converter dust on the optimum mode in the source, concerning to converter department, whereby the cycle of begin and process the dust in converter was closed.

Key words: converter dust, converter

UVOD

Na konvertorskoj liniji prašina nastaje na nekoliko mesta i na tim mestima se i sakuplja. Sa svakog od njih posebnim sistemima za transport vraća se u proces proizvodnje prema projektu "Tehnički kiseonik u Topionici u Boru". Međutim, svi ti sistemi ne funkcionišu tako dobro, a problemi nastaju i u agregatima u kojima se prašina prerađuje.

Imajući u vidu da se prašina nastala na odeljenju konvertora, uglavnom vraća na preradu u tehnološki postupak topljenja, tačnije u plamenu peć, a da pri tome izaziva dosta poteškoća, nameće se potreba za iznalaženjem nekog drugog, pogodnijeg načina njene dalje prerade .

S obzirom na to da je ta prašina nastala na odeljenju konvertora, najlogičniji način je da se na tom odeljenju i preradi. Prateći savremene postupke dobijanja bakra i tehnološka poboljšanja procesa kod starijih tehnologija, došli smo na ideju da nastalu konvertorsku prašinu vratimo u konvertor njenim direktnim ubrizgavanjem kroz duvnice konvertora u rastop.

Ovakvim pristupom zatvorili bismo ciklus prerade hladnih materijala na odeljenju konvertora ne remeteći karakteristike procesa, skratili bi put hladnog materijala, i izbegli probleme prisutne prilikom pretapanja prašine u plamenim pećima i u određenim granicama smanjili zaprašenost konvertorskih gasova.

Uz minimalna investiciona ulaganja u uređaje i opremu ostvarili bi višestruku dobit, tako da smatramo da je ovakav način prerade hladne konvertorske prašine i moguć i isplativ.

Samim tim otvara se mogućnost prerade i drugih vrsta finih prašina, pa čak i bogatih bakronosnih prosušeni koncentrata ovim postupkom direktnog ubrizgavanja u rastop preko duvnica konvertora.

U zavisnosti od perioda rada konvertora, dobijaju se i različiti hemijski sastavi prašina. Naravno, pri radu konvertora "na bakar" u prašini preovlađuje bakar (80% do 90%), dok je sastav prašine pri radu "na šljaku" varijabilan. Naime, usled korišćenja SiO_2 neujednačenog granulometrijskog sastava (često ima suviše sitne frakcije), sitne frakcije bivaju izbačene iz konvertora i pone-sene gasovima konvertorovanja, te je prašina u tim momentima bogatija kvarcom. Nakon uspostavljanja termomehaničkog režima rada konvertora, procenat kvarca u prašini opadne i za čitavih 10%, pa i više. Procenat bakra u prašini pri radu konvertora "na šljaku" iznosi između 40% i 50%.

Imajući u vidu da se u sadašnjim uslovima proizvodnje u RTB-u po operaciji stvori oko 10 t prašine sa srednjim hemijskim sastavom oko 50% Cu, nije teško zaključiti da se u prašinama nalazi zarobljena znatna količina bakra, što je i u bolje stojećim Topionicama u svetu, alarmantno.

KLASIFIKACIJA PRAŠINA NASTALIH NA ODELJENJU KONVERTOROVANJA

Na konvertorskom odeljenju dolazi do stvaranja tri vrste konvertorskih prašina koje se člankastim transporterima odvođe do plamene peći, čineći ciklus njihove prerade zatvorenim. Te prašine su :

1. Konvertorska prašina iz rashladnih komora konvertora koja se sakuplja na četiri lokacije. To su tzv. "gruba prašina" širokog granulometrijskog opsega (od 70 μm do preko 3 mm, a često ima komada veličine i preko 200 mm).
2. Konvertorska prašina iz sabirne komore, koja se skuplja na jednoj lokaciji.
3. Konvertorska prašina iz elektrofiltera koja se skuplja na dve lokacije

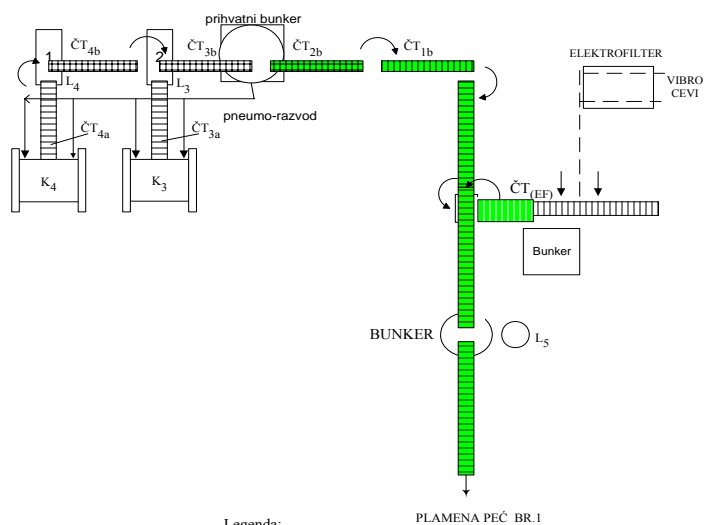
Zbog sličnih veličina zrna, prašine iz sabirne komore i elektrofiltera nazivaju se "finim prašinama".

Na preradu u plamenu peč br. 1, sabirnim člankastim transporterima vraćaju se dve vrste konvertorskih prašina:

- konvertorska prašina iz rashladnih komora i
- objedinjena konvertorska prašina koju čine prašina iz sabirne komore i elektrofiltera.

OPIS POSTOJEĆEG STANJA

Transport povratne bakronosne prašine sa odeljenja konvertorovanja obavlja se prema projektu "Tehnički kiseonik u topionici bakra Bor". U međuvremenu, u nekoliko navrata, pokušano je da se određenim rekonstrukcijama na sistemima za transport prašina otklone problemi koji su nastajali po prvobitnom tehničkom rešenju. Međutim, ni oni nisu dali neke znatno bolje rezultate, odnosno, neka bitnija poboljšanja. Postojeće stanje sakupljanja, transporta i prerade prašina na plamenoj peći br. 1 prikazano je na slici 1. U slučaju rada plamene peći br. 2 prašina se kamionskim transportom odvozi do bedinga, a odatle trakama dodaje u plamenu peč.



Legenda:

- K-3 , K-4- konvertori
- ČT_{3a} - ČT_{4a} - člankasti transporteri za prašinu iz rashladnih komora
- ČT_{1b} - ČT_{4b} - člankasti transporteri za objedinjenu prašinu iz rashladnih komora
- ČT_(EF) - člankasti transporter za prašinu iz elektrofiltera
- L₁ - L₅ - lokacije odlaganja konvertorskih prašina
- - člankasti transporteri koji nisu u funkciji
- 1, 2 - mali prihvatni bunker

Sl. 1. Šema postojećeg stanje sakupljanja, transporta i prerade prašina na plamenoj peći br.1 u Topionici bakra u Boru

Člankasti transporteri kojima se prašina odvodi iz rashladnih komora (ima ih četiri) rade međutim sledećih pet jedinica transportera, kojima prašina treba da dođe do mesta sjedinjavanja sa prašinama iz sabirne komore i elektrofiltera nisu u funkciji. Najnovijom izmenom u sistemu transporta konvertorskog gasa, kao i konačnim opredeljenjem da se radi samo sa konvertorima K3 i K4, situacija se umnogome izmenila. Celokupna vuča gasa od konvertora do mešne kule D-108 ostvaruje se uz pomoć Bitnerove duvaljke. Sakupljanje prašine se sada ostvaruje na dve postojeće lokacije. Prva je iza rashladne komore gde se sistemom člankastih transportera prašina doprema do kible koja je postavljena unutar betonskog ozidanog štuta koji omogućuje prilaz viljuškara samo sa jedne strane, a druga je tamo gde se vibro-cevima i člankastim transporterom doprema do kible postavljene na kosom redleru pored sabirne komore.

KOLIČINA I KVALITET KONVERTORSKIH PRAŠINA

Praćenjem količina stvorene konvertorske prašine utvrđeno je da se pri najnepovoljnijim uslovima rada (dodavanje sitnog hladnog materijala, dodavanje sitnog kvarca, loše otprašivanje itd.) stvara oko 10 t prašine po operaciji. Od toga oko 70 do 75 % otpada na prašinu nastalu ispod konvertora i prašinu iz rashladnih komora, oko 25 do 30 % na prašinu iz elektrofiltera, uključujući i gubitak prašine od 0,2 do 0,5 % koja biva ponesena gasovima procesa konvertorovanja.

Hemijski i mineraloški sastav nastalih konvertorskih prašina nije stalan (ujednačen), već varira u širokim granicama, a najviše zavisi od perioda rada konvertora („na šljaku“ ili „na bakar“), kao i od toga da li se radi o prašini iz rashladne komore, sabirne komore ili o prašini iz elektrofiltera.

Ustanovljeno je da se procenat bakra u konvertorskim prašinama kreće od 38 % do čak 87 %. U tabelama 1 i 2 uzeti su podaci iz perioda kada se transport gasa odvijao preko sabirne komore uz pomoć KK i Bitnerove duvaljke. U priloženim tabelama dat je hemijski sastav konvertorskih prašina, sa tadašnje tri lokacije.

U tabeli 2 prikazan je hemijski sastav uzorkovanih prašina koje predstavljaju trenutno stanje na odeljenju konvertora. Uzeti su uzorci sa osam različitih mesta iste gomile i nakon homogenizacije na hemijsku analizu poslani su uzorci koji predstavljaju srednji hemijski sastav prašine rashladne komore (uzorak1) i prašine SF-filtera (uzorak 2).

Tabela 1. Hemijski sastav konvertorskih prašina

komponenta		Cu ukupni	Cu sulfid.	Cu oksid.	Fe ukupni	SiO ₂	S	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄
Prašina iz rashladne komore, %	Rad "na šljaku"	53,80	47,58	6,22	10,89	10,88	14,82	6,62	1,94
		61,32	57,99	3,33	2,47	17,39	16,00	5,09	1,33
	Rad "na bakar"	83,82	81,76	2,06	2,07	2,04	8,3	1,16	1,27
		86,92	69,56	17,36	0,78	1,25	8,20	0,37	0,68
Prašina, %	Iz sabirne komore	42,74	39,87	2,87	8,66	29,96	9,11	4,67	4,67
		67,20	59,10	8,10	6,20	5,15	12,00	4,48	3,78
	Iz elektro-filtera	48,11	34,58	13,53	10,42	8,24	9,52	5,96	7,25
		36,82	29,39	7,43	5,63	29,83	10,60	4,00	3,48
	Objedinjena sabirna komora + elektrofilter	40,53	32,93	7,60	8,82	23,88	7,36	6,33	5,55
		66,30	64,46	1,84	4,19	2,42	14,30	2,72	3,30

Tabela 2. Srednji hemijski sastav uzorkovanih konvertorskih prašina

Element	Oznaka uzorka	
	Uzorak 1 Konvertorska prašina iz rashladne komore, %	Uzorak 2 Konvertorska prašina iz SF filtra, %
Cu	65,92	26,30
S	5,15	12,97
SiO ₂	16,41	16,17
Fe	4,23	7,33
Fe ₂ O ₃	6,05	10,48
Fe ₃ O ₄	0,10	0,18
specifična težina	4,92 g/cm ³	4,89 g/cm ³

Zavisno od perioda rada konvertora dobijene prašine imaju različite hemijske sastave. Primetno je da se pri radu konvertora "na šljaku" procenat SiO_2 u prašini povećava, a sadržaj Cu, smanjuje. Prilikom rada konvertora "na bakar" prašine postaju izuzetno bogate "na bakar" (preko 80%), pa s obzirom na količinu prašine proizvedene po operaciji (10 t), dolazi se do zaključka da se velike količine korisnog metala nalaze u njima. Kako je već napomenuto, konvertorske prašine su različite krupnoće čestica. Njihov granulometrijski sastav, slično kao i hemijski sastav, zavisi od vrste prašine, odnosno od mesta na kome nastaje, kao i od perioda rada konvertora. U tabeli 3. prikazane su granulometrijske analize konvertorskih prašina.

Tabela 3. *Granulometrijske analize konvertorskih prašina*

Veličina sita (μm)	Prašina iz rashladne komore		Prašina iz sabirne komore		Prašina iz elektrofiltera	
	(g)	%	(g)	%	(g)	%
+1,25	140,7	11,61	57,4	5,06	5,0	0,68
+1,00	240,1	19,82	11,6	1,02	0,7	0,09
+0,63	259,8	21,44	52,1	4,58	4,1	0,57
+0,50	186,2	15,37	13,6	1,20	1,4	0,19
+0,25	153,9	12,70	97,2	8,57	17,1	2,32
+0,20	106,2	8,76	277,5	24,46	27,3	3,72
+0,16	80,3	6,63	107,7	9,50	62,5	8,50
+0,10	25,3	2,09	434,3	38,30	436,2	59,3
+0,08	5,3	0,44	13,5	1,19	37,7	5,13
-0,08	13,8	1,14	69,5	6,12	143,4	19,5
Σ	1211,6	100	1134,4	100	735,4	100

Na osnovu tabele može se zaključiti da je najkrupnija prašina iz rashladne komore kod koje je oko 80% čestica krupnije od 0,25 mm, a da je najsitnija elektrofilterska prašina kod koje je 85 % čestica sitnije od 0,16 mm. Najveći deo čestica, prašine iz sabirne komore, oko 80%, nalazi se u opsegu granulacija ispod 0,5 mm i iznad 0,1 mm.

Vrednosti nasipnih težina konvertorske prašine date su u tabeli 4.

Tabela 4. *Nasipne težine konvertorskih prašina*

Nasipna težina	Prašina iz rashladne komore		Prašina iz sabirne komore		Prašina iz elektrofiltera	
(g/cm^3)	3,08	2,91	2,61	2,46	2,03	1,96

Iz prethodne tabele se može uzeti da je nasipna težina prašina iz rashladne komore oko $3,0 \text{ g}/\text{cm}^3$, a da je specifična težina $4,92 \text{ g}/\text{cm}^3$ Ovako usvojene

eksperimentalne vrednosti će predstavljati polazne podatke za neophodne mašinske proračune.

ENERGETSKE MOGUĆNOSTI PROCESA KONVERTOROVANJA

Tehnološki režim rada konvertora zasnovan je na diskontinualnosti i autogenosti samog procesa. Samim tim svaka konvertorska operacija predstavlja posebnu celinu. S druge strane, pri konvertorovanju bakrenaca proces se odvija potpuno autogeno, bez upotrebe dodatnog goriva.

Proces konvertorovanja sastoji se iz dva osnovna perioda i to :

1. Prvi period produvavanja - "duvanje na šljaku"
2. Drugi period produvavanja - "duvanje na bakar"

Između ova dva perioda produvavanja postoji međuperiod koji se naziva "duvanje na beli mat".

Govoreći o osnovnom režimu rada konvertora prvenstveno mislimo na toplotne mogućnosti konvertora, odnosno, uvek treba poći od činjenice da je konvertorovanje čist autogeni proces. Takođe, ako se u obzir uzme diskontinualan rad konvertora u I periodu, sa jedne strane, i autogenost procesa, sa druge strane, izvodi se zaključak da je konvertorovanje veoma složena tehnološka operacija.

Režim rada konvertora u I periodu produvavanja, odnosno duvanja na šljaku, zavisi, uglavnom, od obima reakcija oksidacije sulfida železa koje su glavni nosilac egzotermnosti procesa. Oksidacioni proces pri konvertorovanju bakrenca obezbeđuje, pored toplote potrebne za odvijanje procesa konvertorovanja, i višak toplote koja se koristi za pretapanje hladnih bakronosnih materijala i prašina. S druge strane, dodavanjem hladnog materijala ne dozvoljava se pregrevanje konvertora. Šaržiranje hladnog materijala obavlja se i u I i II periodu. Ponekad se hladan materijal dodaje i u III, dok se u IV periodu to izbegava zbog smanjenja viška toplote. Osnovu autogenosti procesa u ovom periodu rada konvertora čini reakciona toplota oksidacije FeS i šljakovanja FeO sa dodatim kvarcem SiO₂ do fajalita (2FeOxSiO₂).

Beli mat produvava se u poslednjem (najčešće četvrtom) stepenu ili pri kraju poslednjeg stepena "duvanja na šljaku". Svrha produvavanja belog mata je pažljivo odšljakivanje i skoro potpuno odstranjivanje šljake iz konvertora, tako da ostane relativno čist beli mat. Pri produvavanju na beli mat kupka mora dobro da se progreje zbog što potpunijeg raslojavanja faza (šljaka-beli mat), tj. zbog što potpunijeg odšljakivanja. Šaržiranje Bakrenci i kvarc šaržiraju se oprezno i to, uglavnom zbog korekcije belog mata. Zaostala šljaka može izazvati posledice pri duvanju "na bakar", tj. dovesti do fenomena "naduvavanja" konvertora i izbacivanja rastopa iz njega.

Period duvanja "na bakar" (produvavanje belog mata) razlikuje se od pro-

duvanja u I periodu (“duvanje na šljaku”) po tome što teče kontinuirano, odnosno duvanje se ne prekida, sem na kratko, zbog šaržiranja hladnog bakra (retur, jaja, stari bakar). U ovom periodu osnovni nosilac autogenosti procesa je toplota oksidacije sumpora iz sulfida bakra. Egzotermnost ove reakcije obezbeđuje, pored toplote za odvijanje procesa, i izvesni višak toplote. Kraj perioda duvanja “na bakar” (dobijanje blister bakra) određuje se na osnovu opadanja temperature kupke, smanjenja protoka vazduha kroz duvnice i smanjenja količina izlaznih gasova. Imajući u vidu cilj ovog projektnog zadatka, ubrizgavanje hladne bakronosne prašine kroz duvnice direktno u rastop konvertora, s jedne strane, i iznete energetske mogućnosti, s druge strane, može se izvesti zaključak da je ovakav način prerade prašine moguć jer postoji dovoljan višak toplote, tj. dovoljno energetske rezerve za njeno topljenje.

Ubrizgavanjem prašine kroz duvnice, ona se ubacuje u zonu reakcije i zonu maksimalne temperature, te se usled njenog granulometrijskog sastava (sitna, veličine zrna ispod 2 mm) skoro trenutno topi. Veoma mala količina prašine, usled svoje specifične težine (oko $4,9 \text{ g/cm}^3$) u odnosu na specifičnu težinu kupke (šljaka 4 g/cm^3 , bakrenac $4,8 \text{ g/cm}^3$), ima mogućnost da bude ponesena sa konvertorskim gasovima.

ZAKLJUČAK

U cilju zatvaranja ciklusa prerade konvertorskih prašina na mestu njihovog nastanka, odnosno na odeljenju konvertorovanja, mogućih je preraditi ponovnim vraćanjem u konvertor. S obzirom na to da je prašina sitna, najlogičnija prerada je ubrizgavanjem kroz duvnice konvertora direktno u zonu najveće temperature. Kako se time ne narušava energetska stabilnost agregata postupak je moguć i ostvariv. Zbog toga će biti urađeno idejno rešenje sistema za preradu konvertorske prašine na ovaj način.

Literatura

1. Ž. D. Živković, V. Savović: Fizičko-hemijske osnove procesa topljenja i konvertorovanja u metalurgiji bakra, TF Bor, 1996.
2. D. Maček i dr: Idejni tehnološko-mašinski projekat transporta i prerade konvertorskih prašina u plamenim pećima, Institut za bakar, Bor, 1995.
3. Lj. Radosavljević: Poboljšanja u sistemu transporta prašine u Topionici, Institut za bakar, Bor, 1979.
4. Ž. Živković, V. Savović: Principi metalurške termodinamike, TF Bor, 1997.
5. M. Spasić, D. Vučurović: Teorija metalurških procesa, deo I, TMF Beograd, 1968.
6. M. Šašić: Transport fluida cevima, Mašinski fakultet, Beograd.

**KRITIČNI USLOVI POVEĆANJA EMISIJE SUMPOR-DIOKSIDA U
USLOVIMA DISKONTINUIRANOG RADA REAKTORA U
TOPIONICI BAKRA U BORU**

**CRITICAL INCREASEMENT OF SULPHUR DIOXIDE EMISSION
DURING THE DISCONTINUOUS FLUID-BED ROASTER PRODUCTION
IN COPPER SMELTER BOR**

T. Apostolovski-Trujić, Lj. Mišić, S. Ivanović
Institut za bakar Bor

Izvod

Na liniji prženja u Topionici bakra u Boru, diskontinualni režim rada reaktora direktno utiče na zastoje u radu Fabrike sumporne kiseline, pri čemu dolazi do znatnog povećanja emisije koncentracije sumpor-dioksida, kao posledice emitovanja netretiranog reaktorskog gasa.

U ovom radu analizirani su rezultati merenja parametara reaktorskog gasa na mernim mestima postavljenim iza elektrostatičkih filtera. Rezultati merenja koncentracije sumpor-dioksida pokazuju znatno prekoračenje granične vrednosti emisije za topionice bakra, u uslovima diskontinuiranog režima rada reaktora.

Ključne reči: sumpor-dioksid, reaktorski gas, fabrika sumporne kiseline

Abstract

In this paper, the measurement results of fluid-bed gas parameters are analyzed. The Sulfuric acid plant work break is induced by discontinuous fluid-bed roaster production. In that case, the concentration of sulfur dioxide is 30 times higher in non-treated fluid-bed gases. Because, of the valid maximum value of sulfur dioxide emission in Copper Smelters, the obtained results shows high over limit.

Key words: sulfur dioxide, fluid-bed roaster gas, Sulfuric Acid Plant

UVOD

Operacija prženja predstavlja proces pripreme koncentrata za naredne metalurške operacije topljenja. Suština procesa je u zagrevanju materijala u odgovarajućoj atmosferi i do određene temperature, na kojoj ne dolazi do topljenja, sa ciljem da se koncentratu promeni sastav. Drugim rečima, pri prženju se odvijaju procesi između čvrstih i gasovitih materijala, bez pojave tačne faze.

U metalurgiji bakra obavlja se delimično oksidaciono prženje. Cilj ovakvog načina prženja je da se odgori sumpor u količini koja nam je potrebna da bi se kasnije, u procesu topljenja, dobio bakrenac bogat bakrom, da bi se isušio materijal, dobio gas bogat na SO₂ za proizvodnju sumporne kiseline i materijal što brže preneo u agregat za topljenje.

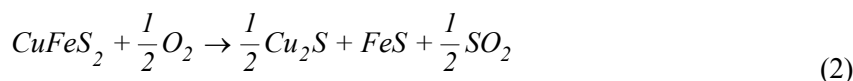
Pri prženju, metalni sulfidi, prisutni u koncentratu, izlažu se na određenoj temperaturi, dejstvu kiseonika iz vazduha. Sulfid svakog metala ima određenu temperaturu paljenja, tj. takvu temperaturu pri kojoj se oksidacija sulfida odvija tako intenzivno da je količina toplote izdvojena reakcijom oksidacije dovoljna za samostalno odvijanje procesa u celokupnoj masi materijala.

Temperatura paljenja sulfida koja određuje početak prženja zavisi od njihovih fizičkih osobina, specifične toplote, toplotne provodljivosti, gustine sulfida i produkata njegove oksidacije, veličine čestica itd.

U toku procesa prženja dolazi do reakcija disocijacije viših sulfida na niže, oksidacije sumporovih para do SO₂ i delimične oksidacije nižih sulfida do oksida.

U uslovima koji vladaju u Topionici bakra u Boru, stepen odsumporavanja pri prženju iznosi oko 50 %.

Osnovne hemijske reakcije koje opisuju proces prženja su sledeće:



Reakcije po jednačinama 1, 2 i 3 odvijaju se do kraja. Reakcija po jednačini 4 odvija se do odgovarajućeg (potrebnog) sadržaja FeS za obrazovanje bakrenca željenog sastava.

Zaprašeni reaktorski gas sa sadržajem SO₂ od 18 % vol (računato na suv gas i stepen desulfurizacije 52,5 %) prolazi kroz sistem za otprašivanje preko primarnih i sekundarnih ciklona, sprej kule do elektrostatičkih filtera. Neotprašeni reaktorski gas nije pogodan za preradu u Fabrici sumporne kiseline, čiji je početak rada uslovljen uključivanjem zona u elektrostatičkim filterima, a za početak rada tih filtera potrebno je dodatno vreme za postizanje radne temperature.

Merenje parametara gasnih tokova

U toku 2002. godine, na liniji prženja, u radu je bio reaktor R1. Kontrola Parametri reaktorskog gasa kontrolisani su na mernim mestima iza elektrofiltera 1 i 2 (MM8/1 i MM8/2). Merenja parametara gasa na MM 8/1 i MM 8/2 obavljena su istovremeno i ukupno 205 puta. Prosečni mesečni parametri rada reaktora R1 za 2002. godinu prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Prosečni mesečni parametri rada reaktora R1 za 2002. godinu

mesec	Prerađeno suvog koncentrata	Prerađeno šarže	Vremensko iskorišćenje	Zastoji
	(t)	(t)	(%)	(h.min)
Januar	12532	15293,02	59,6	300.55
Februar	17536	21362,64	83,7	109.25
Mart	20479	25288,88	95,9	30.40
April	16547	20763,64	81,6	132.10
Maj	20652	25581,2	95,3	35.05
Jun	19205	23325,76	93,7	45.05
Jul	21544	26465,58	90,8	68.25
Avgust	22640	27767,8	87,7	91.10
Septembar	18968	22915,28	88,9	79.40
Oktobar	18835	22920,8	81,4	138.10
Novembar	16779	20598,5	81,00	136.35
Decembar	8580	10623,88	44,9	409.40

Za merenje parametara gasnih tokova korišćene su sledeće metode i aparature:

- Analiza gasa na SO₂, CO₂, CO i O₂ rađena je Orsat-ovim aparatom, a sadržaj SO₂ je određivan i jodometrijskom metodom;
- Brzina i protok gasa su određivani merenjem pritiska i brzine gasa pomoću Pitot-Prandtl-ove cevi i mikromanometra;
- Zapršenost gasa je određivana prosisavanjem gasa pomoću sonde i merenjem vuče gasa kroz aparaturu pomoću mikromanometra;
- Temperatura je merena digitalnim termometrom sa termoparom Ni-Cr-Ni;

Na osnovu tih merenja, u tabeli 2 prikazane su prosečne godišnje vrednosti parametara reaktorskog gasa nakon otprašivanja u elektrostatičkim filterima 1 i 2.

Tabela 2. Prosečne godišnje vrednosti parametara reaktorskog gasa nakon otprašivanja u elektrostatičkim filterima 1 i 2 (za 2002. god.)

Reaktor u radu	MM	Sastav gasa			p _{st}	t _{gasa}	Brzina i protok gasa		Količina prašine	
		SO ₂	CO ₂	O ₂			w	Q _o	q _o	G _h
		vol %					Pa	°C	m/s	m ³ _N /h
R1	8/1	8,86	0,2	7,84	-697	286	10,80	20462	0,0719	1,46
	8/2	8,68	0,2	8,14	-712	282	10,60	20001	0,0702	1,37

Tokom 2002. god. Fabrika sumporne kiseline-K2 imala je problema u radu zbog čestih zastoja linije prženja. U januaru 2002. god. Fabrika H₂SO₄ - K2 nije bila u radu, a u decembru je vremensko iskorišćenje rada fabrike bilo svega 18 %, što je uticalo na srednje godišnje vremensko iskorišćenje od samo 63 %.

Rad Fabrike sumporne kiseline-K2 praćen je kontrolom ulaznog gasa na: MM1, D1, D2 i na gas analizatoru, kontrolom konverzije SO₂ gasa u kontaktnom kotlu, kao i kontrolom izlaznog gasa na W23 i emisionog gasa na dimnjaku D6. Prosečni mesečni parametri rada Fabrike sumporne kiseline-K2 za 2002. godinu prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Prosečni mesečni parametri rada Fabrike sumporne kiseline - K2 u 2002. god.

Mesec	Sadržaj SO ₂ u ulaznom gasu	Količina gasa	Zastoji	Vremensko iskorišćenje	Vanredni zastoji
	% vol	m ³ _N /h	h	%	dan
Januar	-	-	744	0	31
Februar	6,53	36000	157	77	2
Mart	6,44	39000	45	94	-
April	5,88	30000	265	63	7
Maj	5,77	47000	61	92	-
Jun	5,92	43500	56	92	-
Jul	5,77	35000	98	86	-
Avgust	6,11	35000	422	43	16
Septembar	5,57	45000	381	47	14
Oktobar	5,59	49000	203	73	6
Novembar	5,64	53000	161	78	4
Decembar	6,40	19000	607	18	20
Srednja vrednost/ukupno	5,97	39227	3200	63	100

Nakon tretiranja u sistemu za otprašivanje gasa, reaktorski gas se sistemom gasovoda pomoću duvaljki odvodi do Fabrike sumporne kiseline-K2. Preradom reaktorskog gasa, koncentracija SO₂ se smanjuje oko 30 puta i za 2002. godinu iznosila je 0,32 vol %.

Vreme zastoja u radu Fabrike sumporne kiseline uslovljeno neradom elektrostatičkih filtera i emisija sumpor-dioksida sa linije prženja u tim uslovima dati su u tabeli 4. Grafički prikaz emisije SO₂ gasa iz elektrostatičkih filtera 1 i 2, za 2002. godinu, dat je na slici 1.

Tabela 4. Emisija SO₂ gasa iz elektrostatičkih filtera 1 i 2 za 2002. god.

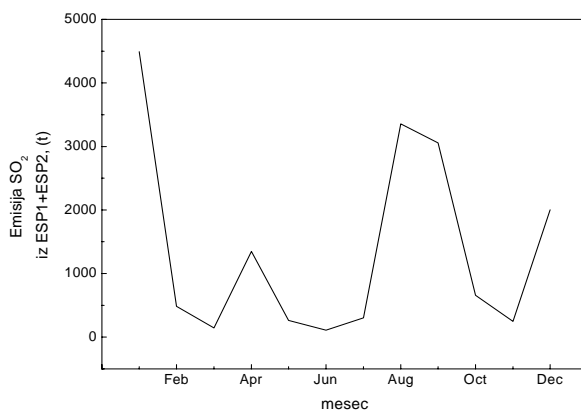
Mesec	Zastoji K2*	Zastoji R1*	Zastoji (K2-R1)*	Emisija SO ₂ iz ESP1*	Emisija SO ₂ iz ESP2*	Ukupna emisija SO ₂ iz ESP1+ESP2
	h			t		
Januar	744	300,92	443,08	2295,15	2197,68	4492,83
Februar	157	109,42	47,58	246,46	236,00	482,46
Mart	45	30,67	14,33	74,23	71,08	145,31
April	265	132,17	132,83	688,06	658,84	1346,9
Maj	61	35,08	25,92	134,27	128,56	262,83
Jun	56	45,08	10,92	56,57	54,16	110,73
Jul	98	68,42	29,58	153,22	146,72	299,94
Avgust	422	91,17	330,83	1713,70	1640,92	3354,62
Septembar	381	79,67	301,33	1560,89	1494,60	3055,49
Oktobar	203	138,17	64,83	335,82	321,56	657,38
Novembar	161	136,58	24,42	126,50	121,12	247,62
Decembar	607	409,40	197,6	1023,57	980,10	2003,67
					Suma	16459,78

*K2 Fabrika sumporne kiseline br.2

*R1 Fluo-solid reaktor 1

*ESP1 Elektrostatički filter 1

*ESP2 Elektrostatički filter 2



Sl. 1. Prikaz emisije SO₂ gasa iz elektrostatičkih filtera 1 i 2, za 2002. godinu

ZAKLJUČAK

U uslovima diskontinualnog rada reaktora na liniji prženja u Topionici bakra u Boru, nakon početka procesa prženja šarže u reaktoru, potrebno je dodatno vreme za postizanje radne temperature elektrostatičkih filtera. To uslovljava dodatne zastoje u radu Fabrike sumporne kiseline, s obzirom da neotprašeni reaktorski gas nije pogodan za dalju preradu.

Prema rezultatima merenja parametara reaktorskog gasa prikazanim u tabeli 2, za period januar-decembar 2002. godine, i prema analizi dobijenih rezultata prosečnih mesečnih parametara rada reaktora R1 i Fabrike sumporne kiseline-K2, prikazanim u tabelama 1 i 3, može se zaključiti da diskontinualan rad linije prženja dovodi do drastičnog povećanja emisije SO₂ gasa, što je prikazano u tabeli 4.

Imajući u vidu da je granična vrednost emisije SO₂ gasa za topionice bakra 1200 mg/m³_N za maseni protok iznad 5 kg/h, u uslovima zastoja Fabrike sumporne kiseline uslovljenih diskontinualnim radom reaktora, ta vrednost postaje drastično veća i iznosi 250.571 mg/m³_N.

Sa stanovišta ekologije ova vrednost emisije predstavlja veliki problem i zahteva dodatno angažovanje za njegovo rešavanje.

Literatura

1. T. Apostolovski-Trujić: Ispitivanja parametara gasnih tokova u TIR-u za 2002. godinu, Institut za bakar, Bor, 2003.
2. P. Šukletović, S. Ivanović: Optimalizacija parametara rada agregata prženja i topljenja, Institut za bakar, Bor, 1999.
3. Pravilnik o graničnim vrednostima emisije, načinu i rokovima merenja i evidentiranja podataka, Republika Srbija, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd, 1997.

UDC: 658.567:669.3(045)=861

RECIKLAŽA METALNOG OTPADA - BAKAR I BAKARNE LEGURE

METAL WASTE RECYCLING – COPPER AND COPPER – BASED ALLOUS

R. Todorović, D. Urošević, G. Slavković
Institut za bakar Bor

Izvod

Sekundarne sirovine obojenih metala, pored uspešne zamene primarnih sirovina, pri preradi zahtevaju mnogo manja investiciona sredstva za izgradnju prerađivačkih kapaciteta, manja je potrošnja energenata i izrazito je očuvanje neobnovljivih prirodnih resursa. Manje je i zagađivanje prirodne sredine otpadnim produktima pri preradi. Osnovni cilj prerade otpadaka obojenih metala jeste da se dobiju sekundarne sirovine čiji je sastav blizak sastavu materijala od kojih otpad potiče. To znači da je potrebna što preciznija selekcija otpadaka po vrstama materijala i grupama sličnog hemijskog sastava. Na taj način će u punoj meri doći do izražaja sve prednosti dobijanja sekundarnih sirovina iz otpadaka u poređenju sa dobijanjem primarnih metala iz ruda. Svetske cene prerade bakarnog skrapa se kreću od 150 – 300 Eura/toni katode, zavisno od kvaliteta skrapa i regiona prikupljanja.

Ključne reči: sirovine, otpadak, primarna sredina, zagađenje, bakarni skrap, ulaganja, trošak, prerada

Abstract

Second raws of nonferrous metals besaid succes substitution for primary raws at their refinement require much lesser investment of building refinements capacity, lesser expenditure of energy and racily are saving unregeneration nature sources, less is environment pollution with waste products at refinement. The basic purpose of waste treatment of nonferrous metals is obtaining second raws with similar make up like primary raws. This means that need to make yet precision waste selection by sorts of material and groups with similar chemical make up. That way will bring all preferences of obtainig second raws from waste in contrast of obtaining primary metals from ores. Worlds copper scrap refinement prices are from 150 to 300 EUR per ton depend of copper scrap quality and collection region.

Key words: raw, waste, environment, pollution, copper scrap, investment, expenditure, refinement

UVOD

Otpadni bakar zauzima sve veći udeo kao sirovina za dobijanje gotovih proizvoda na bazi bakra, prvenstveno što već poseduje akumuliranu veliku količinu uloženog rada i znatno je ekološki prijatniji u odnosu na preradu rude bakra.

Sekundarni bakar je već decenijama veliki izvor proizvodnje i potrošnje bakra u svetu. Bakar ima visok stepen reciklaže u odnosu na mnoge druge obojene metale. Računa se da se oko dve trećine upotrebljenog bakra vremenom može ponovo koristiti kao sekundarna sirovina. Za razliku od rudnih rezervi, sekundarni bakar predstavlja obnovljivi resurs za proizvodnju bakra.

Amortizacioni otpadi obojenih metala potiču iz privrede gde se resorbuju osnovna sredstva, odbacuju pohabani, oštećeni ili istrošeni delovi pri popravkama ili remontima mašina, uređaja ili instrumenata ili odbacuje ambalaža, odnosno predmeti široke potrošnje koji sadrže obojene metale. U području bakarnih legura značajnu stavku zauzima reciklaža topovskih i drugih bojevih čaura.

Osnovni cilj prerade otpadaka obojenih metala jeste da se dobiju sekundarne sirovine čiji je sastav blizak sastavu materijala od kojih otpaci potiču. To znači da je potrebna što preciznija selekcija otpadaka po vrstama materijala i grupama sličnog hemijskog sastava. Na taj način će u punoj meri doći do izražaja sve prednosti dobijanja sekundarnih sirovina iz otpadaka u poređenju sa dobijanjem primarnih metala iz rudnih nalazišta.

Sekundarni obojeni metali ne samo što su uspešna zamena za primarne sirovine, već je za njihovu proizvodnju potrbno mnogo manje investicionih sredstava radi izgradnje kapaciteta prerade, manja je potrošnja energije i izrazito je očuvanje neobnovljivih prirodnih izvora (ruda). Manje je i zagađenje prirodne sredine otpadnim produktima pri preradi, a i velika je tehnološkičnost prerade.

Po proizvodnji obojenih metala iz sekundarnih sirovina vodeći položaj u svetu zauzimaju SAD. One proizvode oko polovine ukupnog bakra dobijenog u zapadnim zemljama iz proizvodnog i amortizacionog otpada. U Rusiji je u 2000. godini bilo planirano da se priprema proizvodnog i amortizacionog otpada povećati na 70-95% u odnosu na 1985. god. Dok je globalna struktura potrošnje sekundarnog bakra prema nameni u zapadnom svetu relativno stabilna, ona je veoma različita po pojedinim zemljama. U 1997. god. potrošnja bakra u SAD, Japanu i zemljama zapadne Evrope iznosila je 3.973.000 t ili 83% ukupne potrošnje ovih sirovina u zapadnom svetu. U proizvodnji rafinisanog bakra u Nemačkoj je utrošeno je 55,5%, Belgiji 87,8%, Kanadi 71,3%, Francuskoj 49,6% i Velikoj Britaniji 58,6%. Na drugoj strani, ta potrošnja je u Japanu iznosila samo 11,9%, Italiji 10,4% i SAD 25,3%.

Kod nas je do 1990. godine (SFRJ) dobijano oko 20.000 t obojenih metala

iz sekundarnih sirovina.

Iako ne raspolažemo svim podacima o potrošnji sekundarnih sirovina u zemljama bivšeg socijalističkog bloka, važno je istaći da je 2000. godine u Kini utrošeno 329.400 t ovih sirovina za proizvodnju rafinisanog bakra ili 23,6% ukupne proizvodnje, a u Rusiji 307.200 t, ili 37,6%.

RECIKLAŽA METALNOG OTPADA NA BAZI BAKRA I BAKARNIH LEGURA

Sekundarni bakar je već decenijama veliki izvor proizvodnje i potrošnje bakra u svetu. Bakar ima visok stepen reciklaže u odnosu na mnoge druge obojene metale. Računa se da se oko dve trećine upotrebljenog bakra može vremenom ponovo koristiti kao sekundarna sirovina. Za razliku od rudnih rezervi, sekundarni bakar predstavlja obnovljivi resurs za proizvodnju bakra.

Amortizacioni otpadi obojenih metala potiču iz privrede, gde se resorbuju osnovna sredstva, odbacuju pohabani, oštećeni ili istrošeni delovi pri popravkama ili remontima mašina, uređaja ili instrumenata ili odbacuje ambalaža, odnosno predmeti široke potrošnje u kojima su sadržani obojeni metali. U području bakarnih legura značajnu stavku zauzima reciklaža topovskih i drugih bojevih čaura.

Otpadni bakar sve veći udeo zauzima kao sirovina za dobijanje gotovih bakarnih proizvoda prvenstveno što u sebi već ima akumuliranu veliku količinu rada i znatno je ekološki prijatniji u odnosu na preradu rude bakra.

Po proizvodnji obojenih metala iz sekundarnih sirovina vodeći položaj u svetu zauzimaju SAD. One proizvode oko polovine ukupnog bakra dobijenog u zapadnim zemljama iz proizvodnog i amortizacionog otpada. U Rusiji, 2000. godine bilo je predviđeno da se priprema proizvodnog i amortizacionog otpada poveća na 70-95% u odnosu na 1985.god.

Dok je globalna struktura potrošnje sekundarnog bakra prema nameni u zapadnom svetu relativno stabilna, ona je veoma različita po pojedinim zemljama.

U 1997.god. potrošnja bakra u SAD-u, Japanu i zemljama zapadne Evrope iznosila je 3.973.000 t ili 83% ukupne potrošnje ovih sirovina u zapadnom svetu. U proizvodnji rafinisanog bakra u Nemačkoj je utrošeno 55,5%, Belgiji 87,8%, Kanadi 71,3%, Francuskoj 49,6% i Velikoj Britaniji 58,6%.

Na drugoj strani, ta potrošnja je u Japanu iznosila samo 11,9%, Italiji 10,4% i SAD 25,3%.

Kod nas je do 1990. god. dobijeno oko 20.000 t obojenih metala iz sekundarnih sirovina.

Iako ne raspolažemo svim podacima o potrošnji sekundarnih sirovina u zemljama bivšeg socijalističkog bloka, važno je istaći da je u 2000. god. u Kini

utrošeno 329.400 t ovih sirovina za proizvodnju rafinisanog bakra ili 23,6% od ukupne proizvodnje, a u Rusiji 307.200 t, ili 37,6%.

Osnovni cilj prerade otpadaka obojenih metala je da se dobiju sekundarne sirovine čiji je sastav blizak sastavu materijala od kojih otpaci potiču. To znači da je potrebna što preciznija selekcija otpadaka po vrstama materijala i grupama sličnog hemijskog sastava. Na taj način će u punoj meri doći do izražaja sve prednosti dobijanja sekundarnih sirovina iz otpadaka, u poređenju sa dobijanjem primarnih metala iz prirodnih nalazišta.

Sekundarni obojeni metali ne samo što uspešno zamenjuju primarne sirovine, već je za njihovu proizvodnju potrebno mnogo manje investicionih sredstava za izgradnju kapaciteta prerade, manja je potrošnja energije i izrazito očuvanje neobnovljivih prirodnih izvora (ruda). Manje je i zagađivanje prirodne sredine otpadnim produktima pri preradi, a i velika je tehnološkičnost prerade zbog postojanosti obojenih metala na veliki broj razarajućih agenasa.

KLASIFIKACIJA OTPADAKA OD BAKRA I BAKARNIH LEGURA

Razvrstavanje otpadaka na bazi bakra i njegovih legura na bakarni, mesingani i bronzani omogućava bolju, jednostavniju i jeftiniju proizvodnju, kontrolu kvaliteta i dr.

Navedene grupe bakarnog otpada sadrže sledeće vrste materijala:

Bakarni otpadak

- Otpadak Cu provodnika bez izolacije;
- bakar nelemljeni i nekalaisani;
- škart livenih, kovanih i presovanih komada;
- otpadak kalaisanog i lemljenog bakra;
- otpadak bakarnih provodnika struje, kalaisanih bez izolacije;
- otpadak bakarnih proizvoda sa izolacijom: paketiran, nekalaisan i nelemljen;
- otpadak bakarnih provodnika : kalaisani sa izolacijom, lakirani;
- bakarna strugotina;
- komadast bakarni otpadak, nerazdvojen;
- otpadak provodnika sa izolacijom, azbestnom, lakiranom i PVC;
- otpadak rotora elektromotora;
- bakarne troske....

Mesingani otpadak

- Otpadak mesinga- kalaisan, legura Ms-63;

- otpadak razdvojenih hladnjaka automobila, traktora, aviona;
- otpadak nerazdvojenih hladnjaka;
- puščane čaure, topovske čaure;
- mesingani otpadak puščanih, revolverskih, topovskih čaura, cevi, hladnjaci i dr.

Bronzani otpadak

- Bronzana zvona sa sadržajem kalaja od 10-20%;
- bronzani novac (Al-bronze);
- zaptivni prstenovi parnih cilindra (Pb-bronze).

Prema nekim autorima bakarni otpad se deli:

- prema fizičkom izgledu,
- prema hemijskom sastavu,
- po pokazateljima kvaliteta.

Ova podela prikazana je tabelarno (tabela br.1).

Tabela 1. Podela bakarnog otpada

Prema fizičkom izgledu	Prema hemijskom sastavu	Po pokazateljima kvaliteta
-krupnogabaritni otpadak; -strugotina; -praškasti otpadak bakra i bakarnih legura; -kalaisani predmeti od bakra....	- Svrstava se u 13 grupa: -od 1. do 8.grupe je različiti mesingani otpadak; -od 9. do 10. grupe su kalaj-ne i druge bronzne; -od 11. do 12. grupe su razni otpaci od bakra; -13. grupa je mešani otpad na bazi bakra, mesinga i bronzne;	- Podeljen je u tri grupe: I grupa obuhvata visok sadržaj metala gde nečistoće ne prelaze 3%. II grupa obuhvata Cu – otpadak sa sadržajem nečistoća do 10%. III grupa obuhvata Cu-otpadač sa prisutnim nečistoćama preko 10%.

Jugoslovenski standard koristi norme koje su približne DIN-standardu. Prema JUS-u za sekundarne sirovine u području bakra i bakarnih legura (JUS. C. Z2. 150 i JUS .C. Z2. 152) klasifikacija je izvedena u četiri grupe (Tabela br.2).

Tabela 2. Klasifikacija sekundarnih sirovina prema JUS-u

Otpaci i sekundarne sirovine od bakra	Otpaci i sekundarne sirovine od legura bakra sa Zn	Otpaci i sekundarne sirovine od legura bakra SrSn i legura bakra Sn, Pb i Zn	Otpaci od legura bakra SrAl
Cu-žica, užad, profili, granule, lim, cevi, trake, kalaisani bakar, bakarna strugotina, troska, pepeo, mulj, nisko legirani bakarni otpad.	Otpadak raznih legura bakra Sr-Zn, lim, valjani otpadak, presovani i vučeni otpadak, čaure, stari komadi Cu-Zn legura, materijal sa prevlakom ili bez nje, mešani komadi svih vrsta legura Cu-Zn, strugotine, troška, pepeo, mulj, filter prašina.	Komadast otpadak, strugotina, mešana strugotina svih vrsta legure, legura bakra sa Sn, sita, mreže, troska, pepeo, filterprašina	Komadast otpadak, strugotina, troska, pepeo, mulj, filter prašina.

Za kvantitativnu procenu nastajanja otpadaka na bazi bakra, najpovoljnija podela bakarnog otpatka je na sledeće tri grupe:

- reciklacioni (vlastiti) otpadak,
- otpadak pri obradi,
- amortizacioni otpadak (Tabela br.3).

Tabela 3. Podela bakarnog otpatka prema kvantitativnoj proceni

Reciklacioni Cu-otpada	Otpadak pri obradi	Amortizacioni otpadak
Nastaje pri proizvodnji katodnog bakra i njegovoj preradi.	Nastaje pri finalnoj potrošnji bakra, obradi livenih, valjanih vučenih proizvoda od bakra i bakarnih legura, izradi gotovih proizvoda koji sadrže Cu.	Nastaje pri ispadanju iz upotrebe proizvoda koji sadrže bakar (po isteku amortizacionog perioda).

IZVORI SEKUNDARNIH SIROVINA NA BAZI BAKRA

Glavni izvori sekundarnog bakra su zemlje razvijenog sveta, što je i razumljivo, s obzirom na koncentraciju svetskih kapaciteta za preradu bakra i realni potencijal za reciklažu starog bakra. Takođe, preko 80% ukupnih sekundarnih sirovina se troši u tim zemljama. Veoma je razvijen sistem sakupljanja, sortiranja i pripreme za preradu svih sirovina kako bi se iskoristile

sve korisne komponente i ostvarili najpovoljniji ekonomski efekti.

Otpaci obojenih metala i legura nastaju u svim granama privrede. Procesni otpad nastaje u procesu proizvodnje i prerade metala, a amortizacioni ispadanjem iz upotrebe različitih osnovnih sredstava u privredi i predmeta široke potrošnje.

Osnovni izvori otpadnih legura na bazi bakra su preduzeća sledećih grana industrije:

- elektrotehničke	16,2%
- automobilske	7,2%
- crne metalurgije	6,4%
- železničko putničkog transporta	4,9%
- obojene metalurgije	3,9%
- brodogradnje	3,9%

Osnovni izvori procesnog otpada kod Cu i Cu legura su sledeći:

- kod topljenja metala i legura-šljake, prašine;
- kod proizvodnje valjanih proizvoda-strugotina, ogorina, opiljci;
- kod livenja-hranitelji i ulivni sistemi šljake;
- iz proizvodnje kablovske industrije-odresci žice;
- kod hemijske industrije-iskorišćeni muljevi i talozi, katalizatori;
- kod mehaničke obrade polufabrikata-odresci, strugotine, opiljci.

Struktura sirovinskih resursa određuje se iz odnosa amortizacionog i proizvodnog otpada, što se bitno razlikuje za pojedine obojene metale.

Za bakar i njegove legure proizvodni otpad iznosi 65% a amortizacioni otpad 35%.

Recirkulacioni bakarni otpad (sopstveni otpad) nastaje pri metalurškoj proizvodnji legura (šljake i prašine), valjanju (odresci krajeva, strugotine, opiljci od rezanja blokova, kovarina), livenju (ulivnici, šljake, razni ostaci pri livenju), izvlačenju, kovanju, kablovskoj proizvodnji i dr.

Pri valjanju blokova, kod svakog prolaska kroz valjke, noževima se skida sa obe strane oksidisani površinski sloj. Debljina sloja je različita: za bakarne odlivke iznosi oko 2 mm a za legure 2-4 mm. Posle valjanja odsecaju se krajevi i strane. Pri livenju legura u blokove i trupce, kao i pri livenju raznih predmeta od bakra i legura na bazi Cu, zaostaje izvesna količina metala u livnom sistemu koji, zajedno sa strugotinama stvorenim pri sečenju trupaca i blokova, čini otpad koji recirkuliše. U livnicama armatura, kao i u livnicama fazonskih odlivaka, javlja se škart tj. predmeti sa greškom koji, takođe, predstavljaju sopstveni otpad.

Kod proizvodnje valjane žice, otpad se stvara u obliku bakarnog špona kod skalpiranja polazne bakarne žice koja ulazi u krusibe. Otpad se presuje i

predstavlja otpad visoke čistoće koji može da se koristi za proizvodnju legura i poluproizvoda. U fabrikama žice, pri izvlačenju Cu- žice na vazduhu usled reakcije bakra sa kiseonikom iz vazduha, stvara se otpad u vidu ljuspica. Pored naznačenog kvalitetnog otpada, u livnicama i valjaonicama stvara se i niskokvalitetan otpad. To su razne vrste šljaka, prašine i muljevi.

Metalni deo iz livničkih šljaka vraća se u proces dobijanja legura, a sitne frakcije šljake i prašina izlaze iz ciklusa proizvodnje i čine trgovački otpad.

Količina recirkulacionog otpada nije ista u svim zemljama, već zavisi od tehničkog nivoa zemlje, primenjene tehnologije, proizvodne discipline itd. Te količine su u odnosu na količine recirkulacionog otpada u Srbiji, bile veće za 13% do 1975. god; 14% od 1976 do 1980: 18% od 1981 do 85; i 20% od 1986 do 1990.

Količina arecirkulacionog otpada u SFRJ kretala se između 153-456 kg/t katodnog bakra. Od toga u Srbiji 122-397 kg/t katodnog bakra. Količine nastajanja recirkulacionog otpada u Srbiji kroz periode se menjala sa tendencijom opadanja.(Tabela br.4).

Tabela 4. Nastajanje recirkulacionog otpada

Godina	Proizvodnja katodnog bakra	Recirkulacioni otpad	
1960.	35.069 t	11.452	32.65 %
1970.	89.511 t	26.933	30.09 %
1980.	131.300 t	35.628	27.13 %
1990.	151.400 t	18.567	12.26 %

Procentualno učešće pojedinih sektora proizvodnje recirkulacionog otpada u odnosu na ukupno stvorenu količinu, prikazano je u tabeli br.5.

Tabela 5

Sektori proizvodnje	Učešće sektora u stvaranju recirk otpada %		
	1960-1970.	1971-1980.	1981-1990.
Proizvodnja valjanih limova od bakra	0,50	0,43	0,48
Proizvodnja valjanih limova od legura	24,45	25,04	31,96
Proizvodnja šipki i profila od bakra	11,24	15,54	6,47
Proizvodnja šipki i profila od legura	32,16	22,96	9,48
Proizvodnja bakarnih cevi	5,15	6,37	14,07
Proizvodnja cevi od legura	2,86	2,79	3,42
Proizvodnja valjane žice	9,36	9,70	11,03
Proizvodnja dinamo žice	0,50	0,44	0,48
Proizvodnja lak žice	1,11	1,68	2,17
Proizvodnja armatura	6,80	9,57	9,84

Proizvodnja ostalih livenih predmeta	5,97	5,44	10,58
--------------------------------------	------	------	-------

Iz priloženog se vidi da je u celokupnom izlaznom recirkulacionom otpadu, najznačajniji otpad pri valjanju i izvlačenju, što ukazuje na nesavršenstvo primenjenih tehnologija i na znatne rezerve njegovog sniženja kod uvođenja novih tehnologija.

Procentualni udeo trgovačkog otpada, u odnosu na ukupne količine recirkulacionog otpada na nivou SFRJ, iznosio je oko 24%. Od toga: 3,2% odnosilo se na cevi od legura; 8,84% na cevi od bakra; 1,65% na lak-žicu; 0,47% na dinamo-žicu; i 10,02% na valjanu žicu.

PRERADA SEKUNDARNIH SIROVINA NA BAZI BAKRA I BAKARNIH LEGURA U RTB-U BOR GRUPE SISTEMU

U svim fabrikama, RTB-Bor grupe, u kojima postoje peći za topljenje metala i legura, koriste se u određenoj količini odgovarajuće sekundarne sirovine na bazi bakra . Najveći prerađivači sekundarnih sirovina na bazi bakra i bakarnih legura su:

1. Livnica bakra i bakarnih legura;
2. TIR-pogon topionice i plamene rafinacije;
3. FOM- Prokuplje;
4. Fabrika lak žice-Bor;
5. Fabrika armatura-Bor.

U ranijem periodu količina prerađenih sekundarnih sirovina na bazi bakra i bakarnih legura je bila mnogo veća jer je uslovljena odgovarajućim odnosom u izradi gotovih proizvoda.

U vezi sa tim veća proizvodnja podrazumeva i veću potrošnju.

Najveći prerađivač sekundarnih sirovina u 2002. god. u RTB Bor bila je Topionica u pogonu konvertora, gde se, uglavnom, prerađivao sav otpadni materijal na bazi bakra sa povećanim sadržajem nečistoća.

- Otpadni materijal sa većim sadržajem nečistoća je pretapan « na šljaku» u količini od 18.552 t/god.
- Otpadni materijal sa manjim sadržajem nečistoća prerađen u II fazi na bakru u količini od 5.156 t/god.
- U drugoj fazi na bakru u konvertoru je prerađeno 41.780 t/god. anoda.
- Takođe je prerađeno, na liniji konvertora, 615 t/god. otpadnog bakra iz livnice bakra i bakarnih legura u Boru.

Skoro sav otpadni materijal je prerađivan u konvertorima.

U livnici bakra i bakarnih legura u 2002. god. prerađena je sledeća količina

sekundarnih sirovina:

- bakarni otpaci	1.818 t
- mesingani otpaci	785 t
- bronzani otpaci	56 t
- šljaka	36 t

Oko 700 t bakarnog pres-ostatka iz Fabrike bakarnih cevi u Majdanpeku, je prerađeno u Asarko-peći direktno u blokove i trupce.

Ostale sekundarne sirovine, posle odgovarajuće pripreme, prerađene su na linijama mesinga i bronzne i u Fazonskoj livnici u indukcionim i plamenim lončastim pećima.

U FOM-u Prokuplje, takođe, se koristi sopstveni tehnološki otpad (recirkulacioni otpadak) nastao u toku tehnološkog procesa livenja, valjanja i žarenja bakra i bakarnih legura. Pored ovoga, koriste se sekundarne sirovine kod proizvodnje traka za kovani novac.

PRIMARNA PRIPREMA OTPADAKA NA BAZI BAKRA I BAKARNIH LEGURA

Priprema otpadaka na bazi bakra i bakarnih legura podrazumeva njihovo dovođenje u stanje koje će obezbediti efikasnu metaluršku preradu. Kvalitetna priprema otpadaka doprinosi minimalnim gubicima metala pri metalurškoj preradi.

Priprema bakra i bakarnih legura uključuje sledeće osnovne operacije:

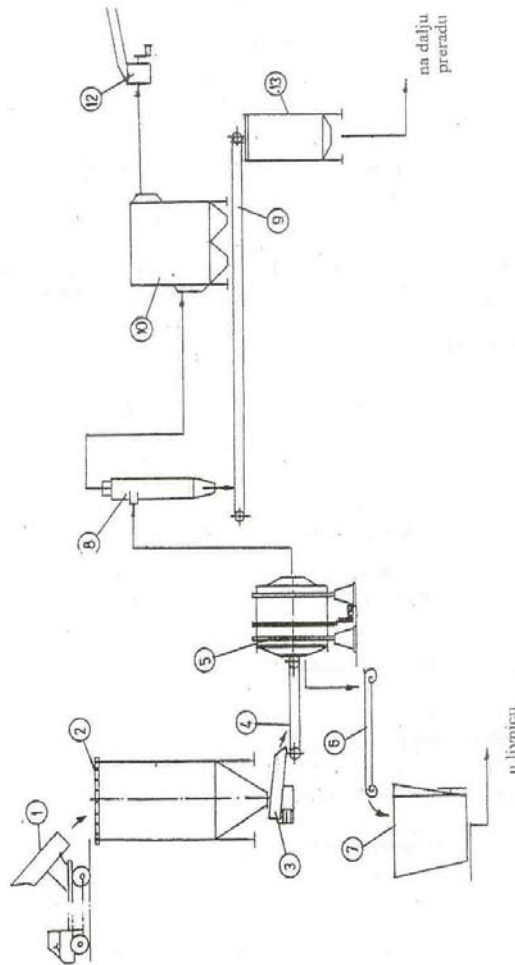
- sortiranje pomoću stiloskopa (sortiranje po vrsti, po krupnoći...);
- magnetna separacija;
- razdvajanje (sečenje, drobljenje);
- odmaščivanje i sušenje;
- paketiranje i briketiranje;
- elektrostatička separacija.

Osnovni cilj prerade otpadaka bakra i bakarnih legura je da se regeneriše u bakarni otpadak, koji je blizak sastavu materijala od kojeg otpad potiče. Postoje opšte tehnološke šeme i razrađene tehnološke šeme po vrstama otpadaka za pripremu otpadaka na bazi bakra, mesinga i bronzne. Ove šeme imaju poseban značaj pri valorizaciji bakra iz bakarnih otpadnih sirovina.

Priprema mesingane šljake

Mesingana šljaka je sirovina različitog hemijskog i granulometrijskog sastava. Sastoji se iz mesinganih komada granulacije do 500 mm, a više od sitnih metalnih i nemetalnih čestica granulacije ispod 2 mm. U prilogu ovoga je data tehnološka šema pripreme mesingane šljake (sl.1). Kao završni proizvod

dobija se koncentrat koji se koristi u livnicama bakra i bakarnih legura kao šarža za dobijanje mesinga. Mesingana prašina iz ciklona i filtera prerađuje se u sklopu prerade niskokvalitetnog bakarnog otpada.

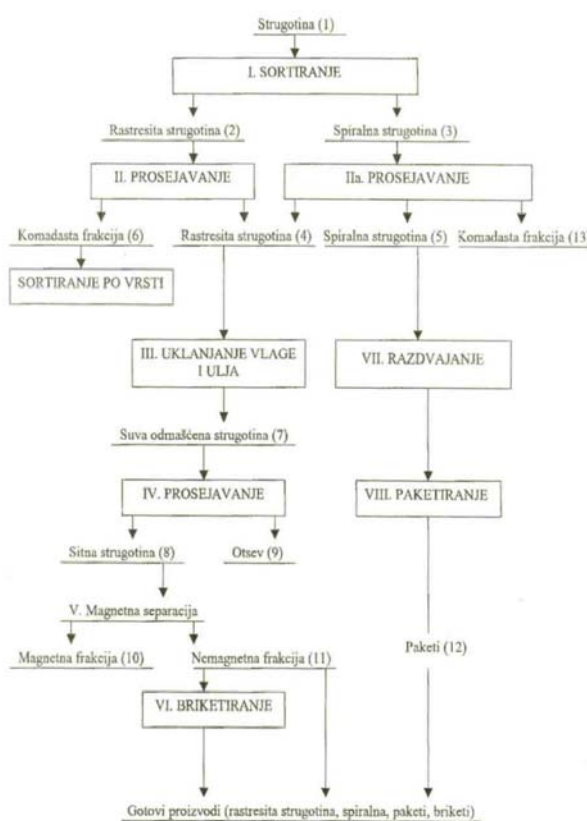


Sl. 1. Tehnološka šema pripreme mesingane šljake

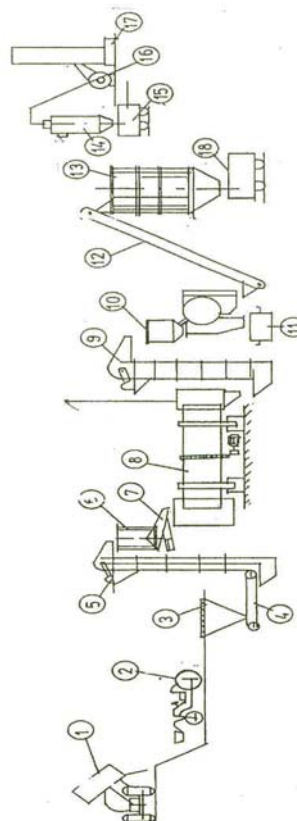
Priprema bakarne i mesingane strugotine

Strugotina bakra i bakarnih legura obrađuje se po tehnološkoj šemi datoj u prilogu (sl.2). Rastresita i spiralna strugotina se skladira odvojeno. Iz opšte tehnološke šeme za preradu strugotine proizašao je konkretan tehnološki proces

za pripremu rastresite mesingane strugotine, po kojoj se priprema mesingana strugotina u Livnici bakra i bakarnih legura u Boru (sl.3).



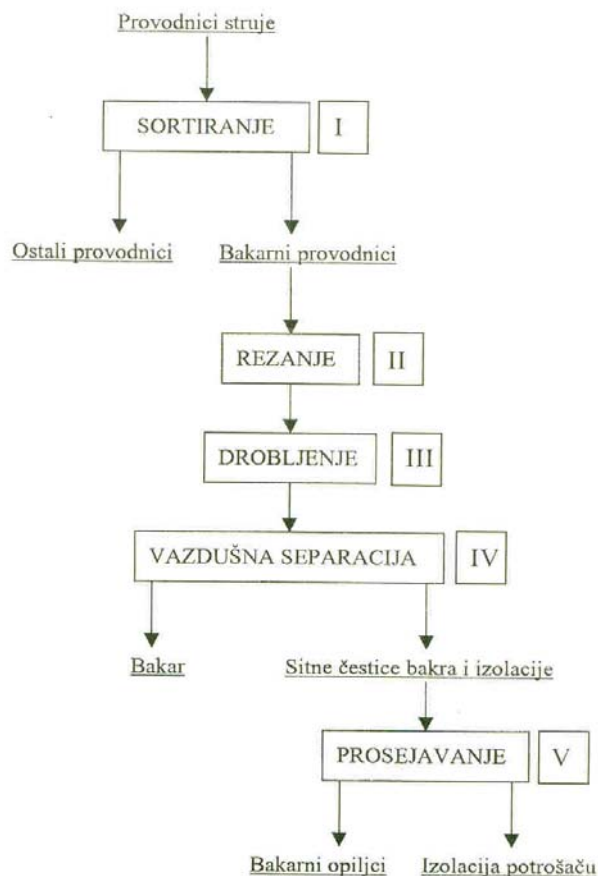
Sl. 2. Tehnološki postupak pripreme strugotine bakra i legura bakra



Sl. 3. Aparativna tehnološka šema pripreme rastresite bakarne i mesingane strugotine

Priprema kablova i provodnika

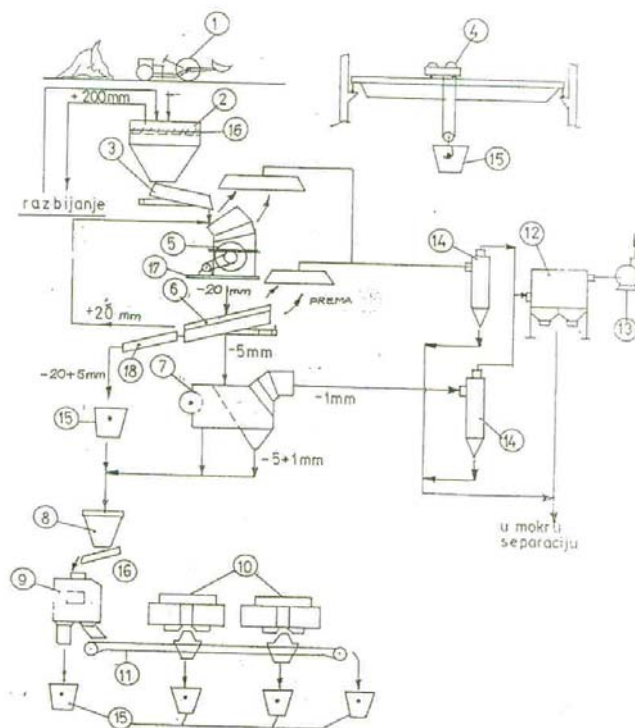
Cilj pripreme kablova i provodnika sa izolacijom je odvajanje obojenih metala –bakra od izolacije. Na sl. 4 prikazan je tehnološki postupak pripreme provodnika. Po sličnom postupku prerađuju se kablovi i provodnici u Jagodini. Ako se proces dobro vodi od početka do kraja može se dobiti 99% čist bakar.



Sl. 4. Tehnološki postupak pripreme provodnika struje

Priprema mešanog otpatka

Ovaj otpadak je trgovačkog karaktera i u najvećem broju slučajeva je mešavina različite vrste otpadaka: kablova, žice sa izolacijom ili bez nje, odlivaka, prašine kao i drugih metalnih i nemetalnih delova. Tehnologija koja je prikazana tehnološkom šemom na sl. 5 treba da omogući izdvajanje bakarnog, mesinganog i bronzanog otpatka u posebne metalne koncentrate koji će se daljim metalurškim tretmanom dovesti do legure određenog kvaliteta.



Sl. 5. Aparativna tehnološka šema prerade mešanog bakarnog otpada

PRERADA BAKARNOG OTPATKA

Bakarni otpadak pripremljen odgovarajućim tehnološkim postupcima pretvoren je u vrednosnu sekundarnu sirovinu za dalju metaluršku preradu u livnicama i topionicama. Kvalitet pripreme otpadaka neposredno utiče na kvalitet metalurške prerade, a samim tim i na kvalitet dobijenih proizvoda. Radi što boljeg iskorišćenja bakarnog otpatka najbolje je svrstati ga u četiri osnovne grupe:

- bakarni otpaci,
- mesingani otpaci,
- bronzani otpaci i
- otpaci ostalih legura bakra.

Ovakvom klasifikacijom omogućeno je da se iz sekundarnog bakra prvenstveno proizvodi katoda, a da se sekundarne sirovine na bazi legura koriste za dobijanje odgovarajućih legura. Takav način prerade je najracio-

naljniji i svi korisni elementi sadržani u sekundarnim sirovinama se valorizuju kroz gotov proizvod.

Sekundarne bakarne sirovine mogu da se prerade postojećom tehnologijom dobijanja bakra u katodu (preko konvertora, plamene peći, anodne peći, šahtne peći dr.)

U konvertoru se mogu preradivati sekundarne bakarne sirovine sa sadržajem bakra preko 96% (odmašćen bakarni špon, žica paljena i bez izolacije, stari bakar, blister i dr.).

Sama činjenica da je u konvertorima moguće pretopiti, bez dodatnog goriva (na način egzotermnih hemijskih reakcija), do 20% bakarnog skrapa ili hladnog blistera u odnosu na bakar iz koncentrata, ukazuje na priliku dodatnog ostvarivanja prihoda pretapanjem skrapa u konvertorima i kasnijom rafinacijom.

Pored konvertora u RTB-u (TIR) postoji i druga infrastruktura i oprema koja može da se upotrebi za pretapanje otpadnog bakarnog skrapa.

Prema preliminarnim sagledavanjima, program prerade sekundarnog bakra je veoma atraktivan i sa vremenom sve više dobija na tome iz više razloga. Internacionalne cene prerade bakarnog skrapa kreću se od 150-300 eura/toni katode, zavisno od kvaliteta skrapa i regiona.

Dugoročno gledano, projekat prerade bakarnog skrapa mora da se razmatra integrisano sa projektom modernizacije topionice u cilju stvaranja fleksibilnog kapaciteta za preradu koncentrata i sekundarnog bakra.

U anodnoj peći (za plamenu rafinaciju bakra), zajedno sa blister-bakrom, uz korišćenje dopunskog zagrevanja, može se preradivati sekundarni bakar sa sadržajem bakra preko 99,6% (Cu špon odmašćen, Cu otpadak i dr.).

Sekundarne sirovine sa sadržajem bakra preko 99,95% (oljušćeni kablovi žica, Cu-cevi i dr.) prerađuju se u Asaro-peći, direktno u blokove i trupce. Ovde je količina sekundarnih sirovina limitirana do 30% u odnosu na katodni bakar.

Legure na bazi bakra dobijaju se kako iz primarnih tako i iz sekundarnih sirovina. Tako pri dobijanju Ms58, sekundarni bakar (druga klasa) dodaje se u količini 10-15%, a ostalo su sekundarne sirovine na bazi mesinga. Pored toga, sekundarni bakar (druga klasa) može se koristiti za dobijanje bronzne. Mesing marke Ms65, Ms72 i više, izrađuje se od katode.

Pri pretapanju sekundarnih sirovina na bazi bakarnih legura mora se voditi računa o gubicima usled odgorevanja metala, a oni zavise od vrste peći, vrste goriva, vremena topljenja i veličine površine metala koji dolazi u dodir sa vazduhom. Gubici kod odgorevanja metala pri pretapanju kreću se od 1,5 do 15%.

Za topljenje primarnih kao i sekundarnih sirovina u cilju dobijanja legura na bazi bakra koriste se razni agregati: plamene lončaste peći (stacionarne i nagibne), plamene peći (stacionarne koritaste plamene peći i bubnjaste peći), električne peći (elektrolučne, elektrootporne, indukcione peći).

Lončaste peći (stabilne i nagibne) koriste se u slučajevima kada je

potrebna manja količina istopljenog metala. Potrebna količina toplote dobija se sagorevanjem gasovitog ili tečnog goriva. Čvrsto gorivo se retko upotrebljava zbog niskog iskorišćenja toplote. Najširu primenu za topljenje primarnih i sekundarnih sirovina našli su grafitni lonci izrađeni od mešavine šamota, usitnjenog koksa, grafita, vatrostalnog materijala...

Topljenje primarnih i sekundarnih sirovina na bazi bakra i bakarnih legura u plamenim pećima (stacionarne, nagibne, rotacione) obavlja se u slučajevima kada su potrebne veće količine metala za livenje krupnih odlivaka. U plamenim pećima metal se zagreva neposrednim kontaktom sa plamenim i odlazećim gasovima i toplotom zračenja produkata sagoravanja i užarenih zidova peći. Time se obezbeđuje potpunije iskorišćenje toplote u poređenju sa lončastim pećima.

Prednosti plamenih peći u odnosu na lončaste su: proizvodnja veće količine rastopa homogenog sastava u toku procesa, uspešna rafinacija rastopa topiteljima zbog male dubine i veće površine metalnog kupatila, pretapanje krupnijih otpadaka.

Nedostaci su: neposredni kontakt rastopa metala sa plamenom, otežana regulacija atmosfere peći, mogućnost zasićenja rastopa metala gasovima.

Električne peći (elektrolučne, elektrootporne i indukcione peći), u poređenju sa plamenim i lončastim pećima, imaju sledeća preimućstva: mogućnost postizanja visokih temperatura (do 1500°C i više), jednostavnija regulacija temperature, odsustvo uzajamnog dejstva metala i pećnih gasova, mogućnost topljenja metala u željenoj sredini, visoka proizvodnost peći, minimalno sagorevanje legirajućih elemenata, visok koeficijent korisnog dejstva i dr.)

Radi uspešnog vođenja procesa topljenja potrebno je odrediti redosled topljenja komponenata šarže. Kod topljenja legura treba se voditi osnovnim pravilom da najpre treba topiti osnovni metal, pa tek posle toga u istopljenu masu uvoditi ostale komponente šarže. U Fabrici lak žice u Boru koristi se sopstveni otpad gole žice u količini od cca 200 t. Mada je osvojena tehnologija prerade otpadne lak žice, ona se ne koristi zbog nedostatka odgovarajuće peći za pretapanje i odvajanje laka pirometalurškim postupkom. Veći prečnici lak-žice se mehanički čiste od nanesenog laka i tako vraćaju na pretapanje u mrežno-frekventnoj dvokomornoj peći.

Nastali špon u Fabrici bakarne žice u Boru, prilikom skalpiranja dip-forming žice, deo se koristi u sopstvenoj peći pri proizvodnji dip-forming žice, a deo se pretapa u Livnici bakra i bakarnih legura.

ZAKLJUČAK

Otpadni bakar zauzima sva veći udeo kao sirovina za dobijanje gotovih bakarnih proizvoda, prvenstveno što već ima akumuliranu veliku količinu rada i znatno je ekološki prijatniji u odnosu na preradu rude bakra. Na sve ove

tehničko-tehnološko-ekološke prednosti, često država možeda utiče pozitivno ili negativno svojim stimulisanjem kroz poreske olakšice ili nametom visokih poreskih stopa pri prometu sekundarnih sirovina.

Ono što uliva optimizam u budućoj reciklaži metalnog otpada na bazi bakra i bakarnih legura je primer jednog skladišta otpada obojenih metala velike nemačke firme „FREU SAG“ u Esenu, gde se na placu nalazio otpad u vrednosti od 25 x 106 Ddem. Iz ovog se može zapaziti kakav je odnos industrijski razvijenih zemalja prema bakarnom otpadu tj. bakarnoj sirovini. Sve što uđe u skladište odmah se odvaja i klasira tako da na pojedinim poljima imamo granule (seckanu Cu-žicu iz provodnika i kablova) sa sadržajem bakra od 99%, a na drugim poljima bakar nižeg, ali tačno definisanog kvaliteta.

Dalja upotreba ovako klasirnog otpada je uprošćena i obezbeđuje standardni kvalitet proizvoda koji se proizvode iz ovih sirovina. Dobijeni podaci o klasifikaciji i cenama otpadnog bakra i legura na bazi bakra, u odnosu na katodu čija je cena označena sa 100% ostale cene su sledeće:

- katoda	100%
- bakar fabrički komadasti, alternativni bakar-uložak	95.1%
- bakar-sekundarni komadasti	86.4%
- bakar-materijal iz rafinacije, baza 95% Cu	81.2%
- bakar-mesing-hladnjaci	44.1%
- crveni liv (RG) sekundarni, baza 80% Cu i 3%Zn	59.7%
- teški i armaturni mesing, alternativa sekundarni mesing	54.8%
- sekundarni materijal – MS-58, max. 0,3%Sn i 1-3% Pb	62.9%
- strugotina-MS-58	60.2%
- sekundarni materijal-MS-63	65.7%

Na osnovu napred iznetog opravdano je postaviti jedan tehnološki i informacioni sistem koji bi definisao pravilo ponašanja (procedure) prema otpadnim sirovinama na bazi bakra. Očigledno je da bi uvođenjem savremenog sistema manipulacije sa materijalom bila bitno poboljšana ekonomija poslovanja sa sekundarnim sirovinama.

Literatura

1. Ilija Ilić, Zvonko Gulišija, Nataša Radovanović, Miroslav Sokić, Vladislav Matković, Joksिम Marinković: RESURSI I RECIKLAŽA SEKUNDARNIH SIROVINA OBOJENIH METALA, Bor, 2002.
2. JUS: STANDARDI I KLASIFIKACIJE SEKUNDARNIH SIROVINA, Beograd, 1989.
3. Ninoslav Cvetanović: Bakar u svetu, Bor, 2005.

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Kategorizaciju rada određuje recenzent.

Pri pisanju i pripremi rukopisa za štampu treba se pridržavati sledećih uputstava:

Rad treba da sadrži: izvod (8-10 redova) na srpskom i engleskom jeziku, ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, eksperimentalni deo, prikaz rezultata, diskusiju i zaključak.

Na prvoj strani je naslov rada na srpskom i engleskom jeziku (naslov rada ne treba da sadrži simbole, formule i skraćenice). Ispod naslova staviti ime i prezime svakog autora sa titulom, naziv i mesto institucija u kojima rade autori. Na kraju prve strane navesti punu adresu jednog autora, radi prepiske.

Rukopis treba da bude otkucan sa jedne strane lista A4 formata.

Preporučuje se da celokupan rukopis, uključujući sve priloge, ne bude veći od 15 strana.

Autori su dužni da se pridržavaju Međunarodnog sistema jedinica (SI) i Zakona o mernim jedinicama i merilima (Službeni list SFRJ 32(1976)341), kao i preporučenih IUPAC-ovih simbola fizičkih i hemijskih veličina (Glasnik hemijskog društva, Beograd 39(1974) 319-328).

Literaturni navodi se numerišu onim redom kojim se pojavljuju u tekstu arapskim brojevima normalne veličine u uglastim zagradaama a spisak navedene literature se prilaže na kraju. Skraćene nazive časopisa treba navoditi prema Međunarodnom kodeksu za skraćivanje naslova pojedinačnih publikacija koji je naveden u JUS-u A.02.200 i u Službenom listu SFRJ 46(1981). Radovi se navode na sledeći način:

- [1] R. Vračar, G. Jovanović, K. Cerović, S. Stopić, Ž. Kamberović, Metalurgija, 3(1997)243.
- [2] B. A. Wills, Mineral Processing Technology, Pergamon Press, Oxford, 1979, str. 35.

Skraćenice i simbole treba objasniti pri prvoj upotrebi u tekstu, a može se dati njihov spisak na kraju rukopisa.

Rukopis rada se dostavlja na adresu:

Časopis Bakar
Institut za bakar
Indok centar
19210 Bor

Molimo autore da radove obavezno dostavljaju u 2 štampana primerka i snimljene na diskete, CD ili E-mail adresu:

- indok@ibb-bor.co.yu

Za obaveštenja koristiti telefon: 030/435-198.

SADRŽAJ
CONTENS

M. Maksimović, M. Jovanović, K. Nikolić FAKTORI GEOLOŠKO-EKONOMSKE OCENE TEKUĆEG ZAHVATA – JAMA BOR GEOLOGICALY – ECONOMIC ESTIMATE FACTOR'S OF CURRENT PUSH-BACK – „JAMA BOR“	1
Dr M. Bugarin, Dr M. Ljubojev OCENA POTENCIJALNOSTI PRIMARNIH LEŽIŠTA ZLATA U RUDNOJ ZONI BLAGOJEV KAMEN EVALUATION OF POTENTIALITY THE PRIMARU GOLD DEPOSIT IN THE ORE ZONE BLAGOJEV KAMEN	19
S. Krstić, V. Ljubojev, M. Jovanović PRILOG POZNAVANJU PETROLOŠKO - MINERALOŠKIH KARAKTERISTIKA LEŽIŠTA GABRA „CRNA REKA“ KOD ŽAGUBICE CONTRIBUTION TO PETROLOGICAL – MINERALOGY CHARACTERISTICS OF GABBRO-DEPOSIT „CRNA REKA“ FROM ZAGUBICA	27
M. Maksimović, M. Jovanović POKAZATELJI TEHNIČKO-EKONOMSKE OCENE RUDNIH TELA U EKSPLOATACIJI U JAMI BOR INDICATES OF GEO(TECHNICALLY) – ECONOMIC ESTIMATION FOR MINERAL DEPOSITS IN „EXPLOITATION IN „JAMA BOR“	35
R. Popović, M. Ljubojev, M. Bugarin NEKE OD POSTAVKI MEHANIČKIH MODELA SADEJSTVA – INTERAKCIJE PODGRADE SA STENSKIM MASIVOM SOME ASSUMPTIONS OF MECHANICAL MODELS OF SUPPORT INTERACTION WITH ROCK MASSIF	53
Dr A. Kostov, Prof. dr. inž. B. Friedrich TERMODINAMIKA SISTEMA Ti-Al-Mn THERMODYNAMICS OF Ti-Al-Mn SYSTEM	65
B. Čadenović, S. Ivanović, T. Apostolovski-Trujić ZATVARANJE CIKLUSA PRERADE KONVERTORSKIH PRAŠINA NA ODELJENJU KONVERTORA CLOSING THE CYCLE OF PRODUCTION AND PROCESS THE CONVERTER DUST IN THE CONVERTER SECTION	75
T. Apostolovski-Trujić, Lj. Mišić, S. Ivanović KRITIČNI USLOVI POVEĆANJA EMISIJE SUMPOR-DIOKSIDA U USLOVIMA DISKONTINUIRANOG RADA REAKTORA U TOPIONICI BAKRA U BORU CRITICAL INCREASEMENT OF SULPHUR DIOXIDE EMISSION DURING THE DISCONTINUOUS FLUID-BED ROASTER PRODUCTION IN COPPER SMELTER BOR	83
R. Todorović, D. Urošević, G. Slavković RECIKLAŽA METALNOG OTPADA - BAKAR I BAKARNE LEGURE METAL WASTE RECYCLING – COPPER AND COPPER – BASED ALLOUS	89

BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada iz oblasti koje se bave problemima dobijanja i prerade bakra kao i dodirnih oblasti. Izlazi dva puta godišnje.

Glavni i odgovorni urednik

Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik,
dopisni član JINA

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Đorđe Stanković, dipl. inž.

Urednik

Vesna Marjanović, dipl. inž.

Tehnički urednik

Suzana Cvetković

Redakcioni odbor

Prof. dr Vlastimir Trujić,
Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik
Dr Ana Kostov, viši naučni savetnik
Dr Mile Bugarin, viši naučni savetnik
Dr Miroslav Ignjatović, naučni savetnik
Prof. dr Milan Antonijević,
Prof. dr Zvonimir Stanković,
Prof. dr Velizar Stanković,
Prof. dr Nedeljko Magdalinović

Izdavački savet

Dragan Bojović, dipl.inž.,
Blaža Lekovski, dipl.inž.,
Dragoljub Cvetković, dipl.inž.,
Mr Dragan Milivojević,
Mr Novica Milošević, dipl.hem.

Lektor

Ljubiša Aleksić

Izdavač

RTB Bor
Institut za bakar Bor
Indok centar

Adresa redakcije

Institut za bakar Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
Tel. 030/435-198, Fax 030/435-175
E – mail: indok@ibb-bor.co.yu

Priprema za štampu

Institut za bakar Bor, Zavod za informacione sisteme

Štampa

Grafomedtrade Bor

Tiraž: 150 primeraka

COPPER is a magazine based on rich tradition of expert and scientific work from the field of copper production and treatment as well as from the familiar fields of science. It is published twice a year.

Editor-in-chief

D. Sc. Milenko Ljubojev
High scientific collaborator

Executive editor-in-chief

B. Sc. Đorđe Stanković

Editor

B. Sc. Vesna Marjanović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Editorial Board:

Prof. D.Sc. Vlastimir Trujić,
D.Sc. Milenko Ljubojev,
D.Sc. Ana Kostov,
D.Sc. Mile Bugarin,
D.Sc. Miroslav Ignjatović,
Prof. D. Sc. Milan Antonijević,
Prof. D.Sc. Zvonimir Stanković,
Prof. D.Sc. Velizar Stanković,
Prof. D.Sc. Nedeljko Magdalinović,

Publishing Council

B.Sc. Dragan Bojović,
B.Sc. Blaža Lekovski,
B. Sc. Dragoljub Cvetković,
M.Sc. Dragan Milivojević,
M.Sc. Novica Milošević

Lectors

Ljubiša Aleksić

Publisher

RTB Bor
Copper Institute Bor
Indok center

Editorial office adress

Institut za bakar Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
Phone 030/435-198, Fax 030/435-175
E – mail: indok@ibb-bor.co.yu

Preparation for Copper Institute Bor,

Department of Informatics

Printed in Grafomedtrade Bor

Circulation: 150 copies

broj 1 volumen 32 2007

BAKAR 32(2007)1 COPPER