



mines engineering

YU ISSN 1451-0162

UDC 622

RUDARSKI RADOVİ

2/2008

komitet za podzemnu eksploraciju mineralnih sirovina

KOMITET ZA PODZEMNU EKSPLOATACIJU MINERALNIH SIROVINA
COMMITTEE OF UNDERGROUND EXPLOITATION OF THE MINERAL DEPOSITS

RUDARSKI RADOVI

Izдавач:

Komitet za podzemnu eksploataciju mineralnih sirovina Resavica-Republika Srbija
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,
Naučnotehnološka Informatika

Za izdavača:

Predsednik UO
Dr Mirko Ivković – viši naučni saradnik
Telefon: 035/627-566

Redakcioni odbor:

Prof. dr Živorad Miličević, redovni profesor
Akademik prof. dr Mladen Stjepanović
Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik
Dr Mirko Ivković, viši naučni saradnik
Dr Miroslav Ignjatović, naučni savetnik
Dr Miroslav R. Ignjatović, viši naučni saradnik
Dr Dragan Zlatanović
Dr Mile Bugarin, viši naučni saradnik
Prof. dr Dušan Gagić, redovni profesor
Dr Miodrag Denić
Prof. dr Nebojša Vidanović

Izдавачки savet:

Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik
Prof. dr Živorad Miličević
Mr Radivoje Milanović
Prof. dr Radoje Pantović
Prof. dr Vitor Milić
Prof. dr Miodrag Žikić
Dr Dragan Urošević, viši naučni saradnik
Savo Perendić, dipl.inž.
Mr Zlatko Dragosavljević, dipl.inž.
Siniša Tanacković, dipl.inž.
Mr Jovo Miljanović

Glavni i odgovorni urednik:

Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik,
dopisni član JINA
Telefon: 030/454-109

Zamenik glavnog i odgovornog urednika:

Dorde Stanković, dipl.inž. spec. za AOP

Urednik:

Vesna Marjanović, dipl.inž.

Lektor:

Ljubiša Aleksić, prof.

Tehnički urednik:

Suzana Cvetković

Adresa redakcije:

Institut za rudarstvo i metalurgiju bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
Tel. 030-435-198, Fax: 030-435-175
E-mail: nti@irmbor.co.rs

Priprema za štampu:

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor
Ljiljana Mesarec

Štampa: Grafomedtrade Bor

Tiraž: 100 primeraka

MINES ENGINEERING

Publisher:

Committee Of Underground Exploitation Of
The Mineral Deposits Resavica
Mining and Metallurgy Institute,
Scientifictechnological Informatics

For publisher:

President
D. Sc Mirko Ivković
Phone: 035/627-566

Editorial Board:

Prof. D. Sc. Živorad Miličević
Academ. prof. D. Sc. Mladen Stjepanović
D. Sc. Milenko Ljubojev
D. Sc. Mirko Ivković
D. Sc. Miroslav Ignjatović
D. Sc. Miroslav R. Ignjatović
D. Sc. Dragan Zlatanović
D. Sc. Mile Bugarin
Prof. D. Sc. Dušan Gagić
D. Sc. Miodrag Denić
Prof. D. Sc. Nebojša Vidanović

Publishing Council:

D. Sc. Milenko Ljubojev
Prof. D. Sc. Živorad Miličević
M. Sc. Radivoje Milanović
Prof. D. Sc. Radoje Pantović
D. Sc. Vitor Milić
Prof. D. Sc. Miodrag Žikić
D. Sc. Dragan Urošević
B. Sc. Savo Perendić
M. Sc. Zlatko Dragosavljević
B. Sc. Siniša Tanacković
M. Sc. Jovo Miljanović

Editor-in-chief:

D. Sc Milenko Ljubojev
Phone: 030/454-109

Executive editor in chief:

B.Sc. Đorde Stanković

Editor:

B.Sc. Vesna Marjanović

Proofreading:

Ljubiša Aleksić, prof.

Technical Editor:

Suzana Cvetković

Editorial office address:

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, 35 Zeleni bulevar
Phone: 030-435-198, Fax: 030-435-175
E-mail: nti@irmbor.co.rs

Preparation for printing:

Mining and Metallurgy Institute,
Ljiljana Mesarec

Printed in: Grafomedtrade Bor

Circulation: 100 copies

Vodeći nacionalni časopis iz oblasti eksploracije mineralnih sirovina „RUDARSKI RADOVI“
po mišljenju Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine zaveden pod brojem 413-00-1550-2011-01

*Slađana Krstić, Vesna Ljubojev, Milenko Ljubojev, Miroslava Maksimović**

GEOLOŠKA ISTRAŽENOST ULJNIH ŠKRILJACA U OKOLINI SELA VINA**

GEOLOGICAL INVESTIGATION OIL SHALES NEAR VILAGE VINA

Izvod

U radu se iznosi pregled geološke istraženosti domaćih uljnih škriljaca u okolini sela Vina. Ukazuje se na probleme u vezi sa mogućim budućim istraživanjima i na mogućnosti primene u energetici i industriji.

Ključne reči: *uljni škriljac, kerogen, bitumen, problem budućih istraživanja.*

Abstract

A survey is given of geological investigations of domestic oil shales near village Vina. Problems of future exploration are discussed and possibilities of their application in industry and as energy source are indicated.

Key words: *oil shales, kerogen, bitumen, problem of future exploration.*

UVOD

Rezultati dosadašnjih prospekcijskih i detaljnih geoloških proučavanja predstavljaju polaznu osnovu za nova dopunska geološka i hemijsko-tehnološka istraživanja uljnih škriljaca u okolini sela Vina (slika br. 1).

Ujni škriljci su finozrne – (do pelitske) - glinovito-laporovito-karbonatne sedimentne serije vrlo složenog i promenljivog sastava i osobina. Nastaju u specifičnim uslovima sedimentacije, akumu-lacije i hemijske transformacije organske supstance.

Organski deo uljnih škriljaca, koji se obično nalazi u manjoj količini u odnosu na mineralni deo (od nekoliko procenata do nekoliko desetina procenata), vodi poreklo od biomase nižih biljaka (alge i bakterije), a ređe od ostataka viših kopnenih biljaka (spore, polen, kutikule, tkiva i td.).

Oko 95% organskog materijala uljnih škriljaca je u obliku kerogena koji po definiciji nije rastvoran ni u organskim ni u neorganskim rastvaračima. Ostatak organskog materijala koji se naziva „bitumen“ rastvoran je u organskim rastvaračima.

* Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

** Ovaj rad je proistekao iz Projekta broj 17005 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

Prilikom zagrevanja škriljca bez prisustva vazduha na oko (i preko) 550°C (piroliza, švelovanje) organski materijal se razlaže na ulje, gasovite proizvode i na čvrsti ostatak relativno bogat ugljenikom, koji zaostaje sa mineralnim materijalom u vidu polukoksa.

Ovaj proces predstavlja osnovu klasične prerade uljnih škriljaca.

U zavisnosti od geneze, petrografskeg sastava i kvaliteta, uljni škriljci Srbije su istraživani kao sirovina za primenu:

- u industriji građevinarstva i cementa;
- kao hemijsko-tehnološka sirovina;
- i kao energetska sirovina (kao sirovina i izvor energije).

Rezultati dosadašnjih istraživanja uljnih škriljaca u svetu i kod nas ukazuju da se celokupna problematika mora posmatrati sa različitih aspekata a oni moraju biti usmereni na utvrđivanje:

- optimalnih metoda istraživanja i kriterijuma geološko-tehnološke valorizacije,
- prostornog rasporeda,
- uslova nastanka u različitim depozicionim sistemima,
- kvaliteta prema tipu kerogena, prinosu ulja iz švelne analize i mineralnom sastavu,
- prognoznih i eksploatacionih rezervi,
- rudarsko-geoloških uslova eksploatacije i
- mogućnosti prerade i korišćenja.

Objavljeni podaci i fondovski materijali pokazuju da je stepen istraže-nosti uljnih škriljaca u Srbiji neu-jednačen.

GEOLOŠKA ISTRAŽENOST ULJNIH ŠKRILJACA U OKOLINI SELA VINA

Uljni škriljci u okolini sela Vina pripadaju velikom Timočkom rov-sinklinorijumu (Senonsko tektonskom rovu) i to njegovom knjaževačkom delu (slika br. 1).

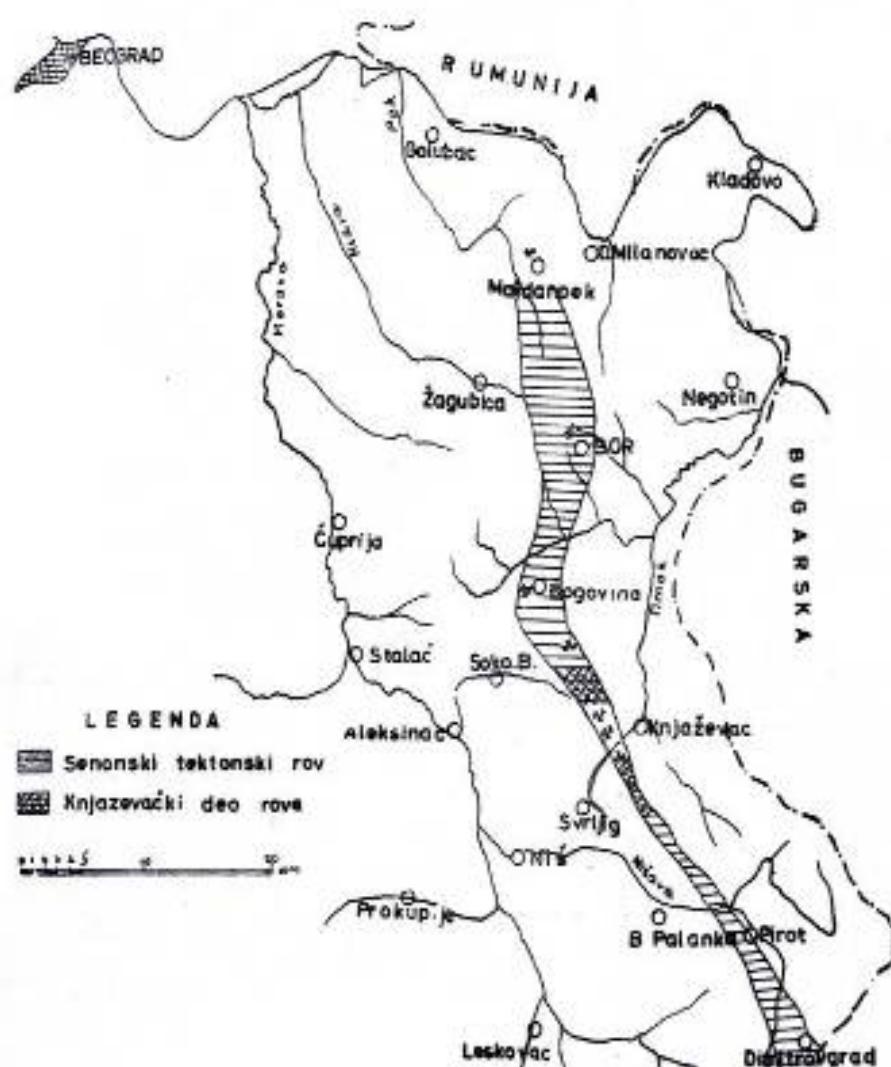
S obzirom na to da je u tom delu ugalj eksplorisan u rudniku Dobra Sreća (još u 19 veku, a sada rudnik nije u eksploataciji, odnosno pripada nizu zatvorenih timočkih rudnika) uljni škriljci u okolini sela Vina istraživani su samo radi geološkog izučavanja povlatnih i podinskih slojeva ugljonošne serije koja je eksplorisana.

Slojevi uglja ekonomične debeline vremenski su vezani za danski kat na prelazu u tercijar.

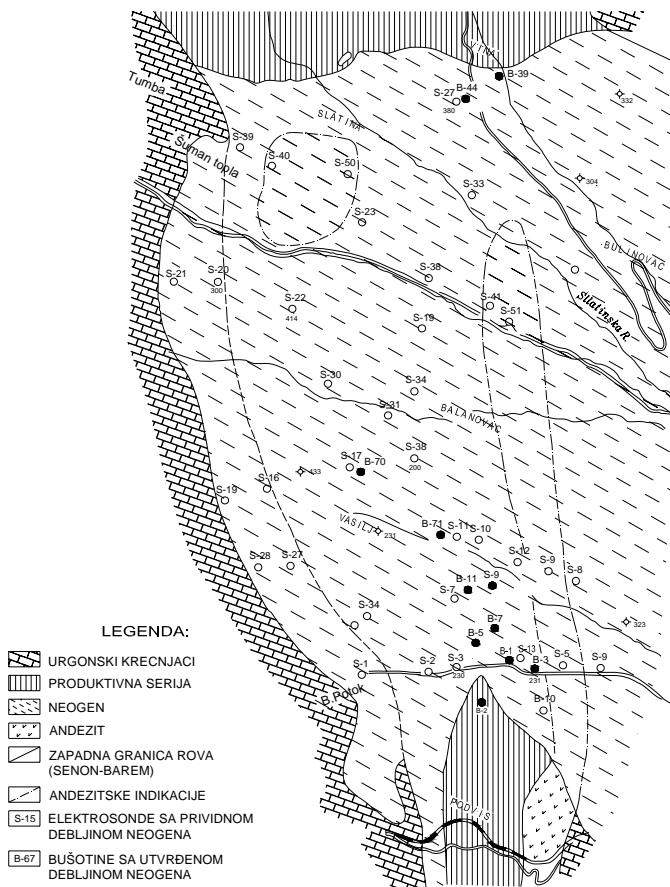
Razlozi za zatvaranje ovog rudnika kamenog uglja su brojni, iako se pouzdano zna da sve rezerve nisu otkopane. Ali, o tome ovde nema potrebe da se detaljno govorи.

Stepen metamorfizma (stepen karbonifikacije) se u timočkom rov-sinklinorijumu (ovde se zadržavamo na knjaževački deo rova) zakonomerno smanjuje idući od severa, gde je najviši, ka jugu, gde je kod sela Okolište i Miranovac sadržaj ugljenika na granici koja deli mrke od kamenih ugljeva.

U okolini sela Vina sadržaj ugljenika iznosi više od 83%. Ovaj fenomen (slika br. 2) je posledica temperaturnog dejstva magmatskih intruziva odnosno na metamorfizam uglja u severnom, a slabije u južnom delu (na jugu se intruzivi skoro i ne javljaju, već samo efuzivni magmati).



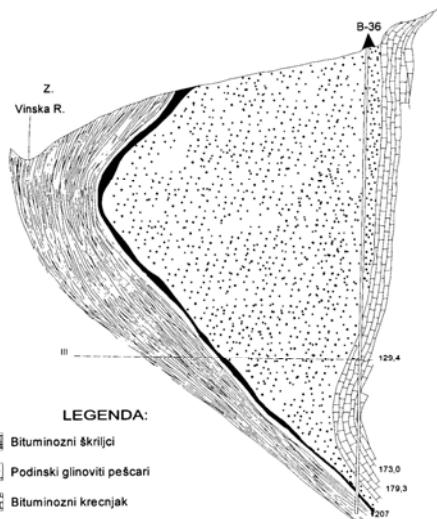
Sl. 1. Knjaževački deo rova i njegov položaj u Senonskom tektonskom rovu istočne Srbije



Sl. 2. Položaj andezita i debljina neogena između Podvisa i Dobre sreće na osnovu geofizičkih ispitivanja iz 1959. godine

Geološke i tektonske karakteristike područja u okolini sela Vina su vrlo složene. Ugljonosna serija je debljine preko 1.000 metara, sadrži slojeve i proslojke uglja u više horizonata.

Najveći značaj imaju slojevi uglja iz viših delova serije. Drugim rečima, glavni ugljeni sloj koji se nalazi između podinskih peščara i povlatnih bituminoznih škriljaca (slika br. 3).



Sl. 3. Poprečni geološki profil, oko 300 m severno od glavnog okna u rudniku Dobra sreća (R 1:1000).

Ugljena serija obuhvata podinske horizonte od marinskih sedimenata (inoceramsko-foranimferski laporci, glinci i peščari, rudistni krečnjaci, aktinelski peščari sa retko razvijenim slojevima uglja - u lokalitetu Soguljan potok) i sedimenata bočatnih i lagunsko-bočatnih facija (cirenski peščari sa slojevima uglja van eksploracije i crvena serija sa proslojcima uglja).

Ugljonosni deo čini podinski glinoviti peščar sa slojevima uglja, glavni ugljeni sloj debljine 2-3 metara (sočivastog oblika sa zadebljanjima i do 20 metara) i povlatni bituminozni škriljci preko kojih leže slatkvodne naslage bituminoznih škriljaca i kvarcnih peščara.

Deo serije zaključno sa bočatnim cirenskim peščarima pripada mastrihtu, a crvena serija, bituminozni krečnjaci, podinski peščar, bituminozni škriljci i završni peščari (sa škriljcima u smenjivanju) pripadaju danskom katu.

Ugljonosna serija je ubrana u više antiklinala i sinklinala u kojima su slojevi skoro vertikalni, pa i delom

prevrnuti. Izuzetak je zapadni deo u okolini sela Zorunovac gde su slojevi skoro horizontalni, ali su u tom delu istovremeno zadržani u vidu tektonski spuštenog bloka – tektonskog rova mladeg datuma.

O ugljonosnosti u okolini sela Vina neće se detaljnije govoriti u ovom radu. Može se samo napomenuti da ugalj eksplorisan u rudniku Dobra sreća pripada grupi koksnih, odnosno gasnih kamenih vrsta a da se zaostale rezerve uglja (uglavnom u nižim horizontima) procenjuju na oko jedan milion tona uglja (što nije zanemarljivo).

KARAKTERISTIKE ULJNIH ŠKRILJACA U OKOLINI SELA VINA

Timočki rov-sinklinorijum na dužini, od preko 50 kilometara sa debljinom od 20 do 200 i više metara, predstavljaju bituminozni škriljci danske starosti. To je ogroman prostor i mora se priznati – znatne rezerve.

Koncentracije ulja u ovim bituminoznim škriljcima su vezane za podinske delove. Tačnije posmatrano, u odnosu na sloj kamenog uglja ulje se

javlja u većim količinama bliže sloju kamenog uglja preko koga inače leži.

Sadržaj ulja u škriljcima zнатно varira.

U zoni iznad ugljenog sloja (debljine oko 10 metara) sadržaj ulja iznosi od 5 do 12%.

Prema rezultatima ranijih istraživanja u okolini sela Vina nalaze se uljni škriljci pretežno lamozitskog tipa (kao i u drugim delovima knjaževačkog dela timočkog rova).

U okolini sela Vina sadržaj organske supstance je procenjen na oko 5,4 zap. %, i prinosom ulja od 2,6 mas. %.

Rezerve C2 kategorije procenjene su na oko 150 miliona tona, a rezerve D1 kategorije na oko 700 miliona tona. U tabeli br. 1 su prikazani raspoloživi podaci o geološkim i hemijsko-tehnološkim karakteristikama uljnih škriljaca okoline sela Vina.

Tabela br. 1.:Raspoloživi podaci o geološkim i hemijsko-tehnološkim karakteristikama uljnih škriljaca u okolini sela Vina.

Srednji sadržaj	Rezerve l/t (106 t)	
	Uљe	Škriljac
Prinos ulja l/t	21	850
Kerogen zap. (%)	2,6	5,4
Preovlađujući tip kerogena	b, c	
Srednja debljina paketa (m)	31,0	
Debljina paketa (m)	20-80	
Oznaka paketa	1	
Površina (km ²)	25,0	
Nalazište	Vina - Zubeljanac	
Basen rov	Senonski tektonski	

ZAKLJUČAK

Rezultati sadašnjih prospektivskih i detaljnih geoloških proučavanja uljnih škriljaca u okolini sela Vina u knjaževačkom delu timočkog rov-sinklinorijuma predstavljaju polaznu osnovu za nova dopunska geološka i hemijsko-tehnološka istraživanja.

Na osnovu raspoloživih podataka sve o stepenu istraženosti i ekonomskom značaju uljnih škriljaca u okolini sela Vina treba prihvati uslovno:

- Prognozne površine sa uljnim škriljcima iz tabele br. 1, i ostale karakteristike, treba daljim
- istraživanjem popeti na visok stepen istraženosti Aleksinačkog ležišta uljnih škriljaca, odnosno;

- Dopunskim geološkim istraživanjima potrebno je izvršiti prekategorizaciju datih rezervi.

LITERATURA

1. Ercegovac M., (1990): Geologija uljnih škriljaca. Građevinska knjiga Beograd;
2. Milaković B., (1986): Neki rezultati geološko-tehnoloških istraživanja uljnih škriljaca timočke zone istočne Srbije. Savetovanje o istraživanju, proizvodnji i perspektivi korišćenja uljnih škriljaca. April 1986, Izvod radova, Beograd, str. 22-24;
3. Petković K., (1975): Bituminozni (uljni) škriljci Srbije. Geologija Srbije, Kaustobiolitički knj. VII, Beograd, str. 197-221.

UDK: 550.8.01:622 (045)=861

Milenko Jovanović, Miodrag Mikić, Vladimir Marinković*

ANALIZA REZULTATA VIŠEGODIŠnjEG GEOLOŠKOG ISTRAŽIVANJA NA LOKALITETU KIRDŽIJSKI POTOK

ANALYSIS OF RESULTS FROM GEOLOGICAL RESEARCHING PROCESS ON COOPER DEPOSIT AREA IN TO LOCALITY „KIRIDŽIJSKI POTOK”

Izvod

Istraživano područje (lokalnost: Kiridžijski potok) pripada tzv. Timočkom magmatskom kompleksu, u okviru zone Cerova i neposrednoj blizini sela Mali Krivelj. Sa geološkog aspekta teren istraživanog područja je predstavljen: hornblenda – biotit andezitima i njihovim piroklastitima, tufovima, hidroermalno izmenjenim stenama, konglomeratima, peščarima i dr.

Tražene informacije, dobijene dugogodišnjim istražnim procesom, predstavljene su parametrima koji određuju: tačan lokalitet, dimenzije rudnih tela i njihov oblik, rastojanje izmedju njih, kao i definisanje potencijalnog područja, interesantnog sa gledišta pojave Cu – mineralizacije. Očekivanja su u smjeru pronaalaženja većeg broja malih rudnih tela (rudnih mugli), masivne mineralizacije, na širem istražnom prostoru, na bazi dobijenih geoloških informacija (podataka) i nastavka mineralizovane tektonske zone.

Dosadašnja istraživanja i dobijeni rezultati su pozitivni kada je reč o potencijalnosti ovog područja, i ukazuju na opravdanost nastavka istražnog procesa na ovom prostoru.

Ključne reči: bakar, masivna mineralizacija, ležište, istražni prostor, istražni proces.

Abstract

Interesting space for investigation (Kiridžijski potok - locality) belongs to Timok magmatic complex, inside „Cerovo“ area, near Mali Krivelj - village. Rock types present in geological structure are hornblende – biotite andesite and their pyroclastics, tuffs, hydrothermal changed rocks, conglomerates and sandstones, etc.

The most interested informations we expect from this long researching process and relevant results are (data's about): depth and shape, layout and dimensions of deposits, distance between them, define and point potential area for finding Cu - mineralisation.

Expectations for existence of more small deposits of massive mineralisation in the widest investigation area (tectonic zone) are based on real geological informations.

This is good base for further successfully researching process on this locality, with positive results, as finite.

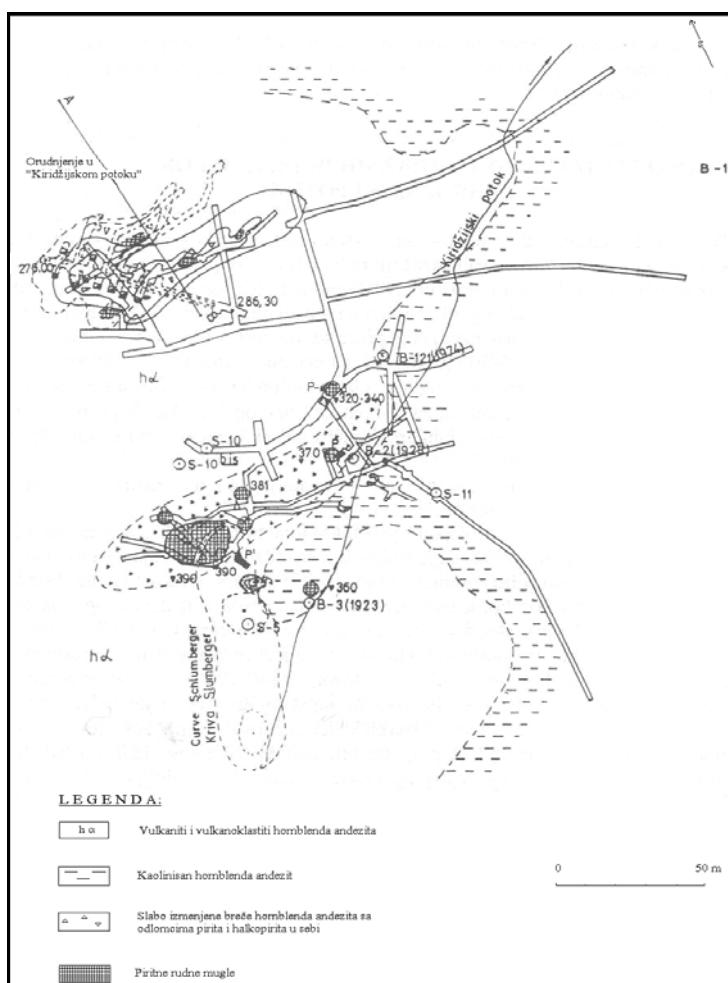
Key words: copper, massive mineralisation, deposit, investigation area, researching process

* Institut a rudarstvo i metalurgiju, Bor

UVOD

Rudno telo pod nazivom »Kiridžijski potok«, locirano je u neposrednoj blizini Malog Krivelja. Istraživanja na ovim prostorima počela su još početkom prošlog veka. Godine 1906-e urađen je potkop ispod nekoliko starih raskopina u gvožđevitoj masi. Potkop je rađen kroz kaolinisane andezite impregnisane piritom. U 1910-oj godini otkriveno je rudno telo dimenzija 15x10x6 m sa oko 6.000 t rude i oko 6 % Cu. Orudnjenje se javlja u vidu sočiva. Pružanje je I – Z, sa padom od 500 ka severu.

Nalazilo se u zdrobljenom andezitu prožetim impregnacijama i nagomilanjima pirita i halkozina za sadržajem 3 – 9 % Cu. Na ovom terenu su radovi nastavljeni posle II svetskog rata. U periodu 1959-61g. u zoni timocitskog vulkanoklastita otkriveno je orudnjenje sa 26.000 t rude i 1.54 % Cu, 16.12 g/t Ag i 2.80 g/t Au. Orudnjenje se javlja u vidu rudnih mugli različite veličine 0.3 do 3.0 m (Slika 1). Glavni rudni minerali su: pirit, enargit, halkopirit, sfalerit, bornit, tetraedrit i halkozin.

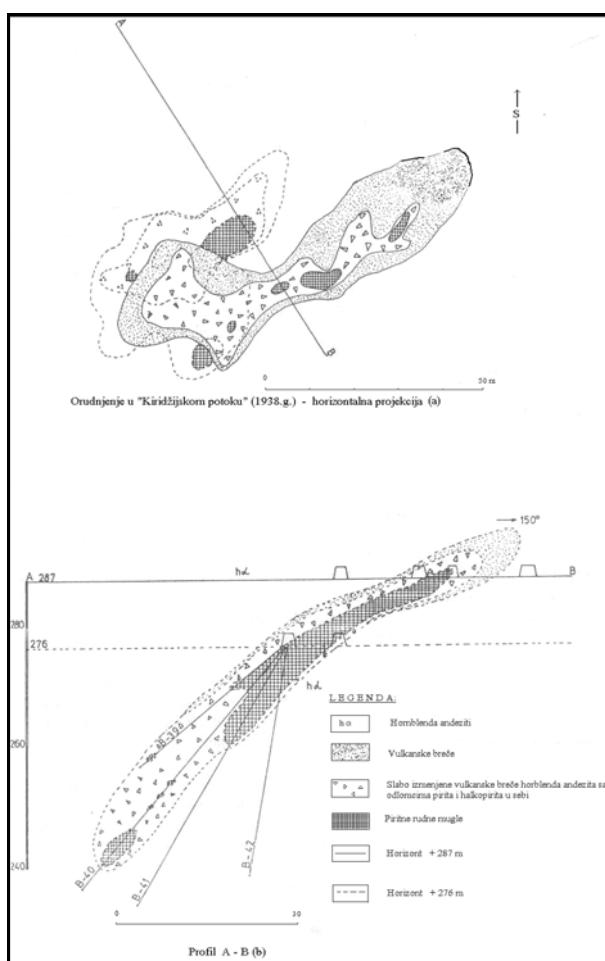


Sl. 1. Ležište "Kiridžijski potok" sa podacima starih istražnih radova (1938.g)

Ova orudnjenja (u vidu mugli) smeštene su u andezitskim vulkanskim brečama koje su lokalno izrazito silifikovane. Orudnjenje ima izdužen, nepravilni oblik i horizontalni preseci su pretežno eliptičnog oblika. Po pružanju se mogu pratiti više desetina metara, a smeštene su u kaolinisanim zonama oko kojih su usko razvijene zone propilitizacije. Kontakti vulkanskih breča, kao kaolinisanih i okolnih stena su izrazito tektonski. Orudnjenje se najčešće sastoji od haotično razbacanih piritskih mugli u kojima je učešće pirita 40 – 80%, pri čemu se minerali bakra javljaju u vidu cementa. U pojedinim delovima vulkanskih breča,

po obodu rudnosne zone zapažaju se lokalno impregnacije, mlazevi i tanke žice pirita i enargita (sadrže 0.2 – 0.4 %Cu).

Dosadašnjim geološkim istraživanjima otkrivena su dva ovakva rudna tela koja su stvorena, najverovatnije, u istim uslovima i kontrolisana istim strukturama razlaganja. Gornje rudno telo (pada pod uglom od 45° prema SSI) dugo je oko 150 m, sa naglim (tektonskim) iskljinjavanjem i debljine je 10 do 15 m, dok je drugo rudno telo otkriveno na horizontima 276 m i 286 m (slika 2), gde je praćeno u dužini od oko 80 m i debljine do 20 m. Pod blagim je nagibom.



Sl. 2. Geološka karta horizonata (a) i geološki profil ležišta (b) "Kiridžijski potok"

Mineralna parageneza u ležištu „Kiridžijski potok“ nije dovoljno ispitana jer postoje kontradiktorni podaci. Kad su u pitanju minerali bakra jasno se razlikuju mugle sa enargitom i luzonitom, od mugli sa halkopiritom i tetraedritom.

Pirit je, najzastupljeniji rudni mineral, dok je enargin najvažniji nosilac bakra u ležištu. Pirit je, ujedno, i najstariji rudni mineral u ležištu, a javlja se i u vidu gelskih formi (meljenkovit-pirit), koje su pretežno iskristalisale, a ponekad gel-pirit cementuje katalaziranu osnovu. Pored njih se mestimično javljaju halkopirit, lokalno bornit, a veoma retko luzont, famatinit, tetraedrit, koji ponekad mogu biti praćeni baritom. Enargin se obično javlja kao cement kataklaziranih pirita, a ponekad obrazuje sopstvene tanke žice. Lokalno može biti praćen baritom. Halkopirit se zapaža veoma retko i to u piritskim muglama u kojima je enargin ili odsutan ili neznatno zastupljen. Uz halkopirit, mestimično se javi tetraedrit, kao i bornit koji ga potiskuje. Retko se u sfaleritima javlja halkopirit u vidu izdvojenog čvrstog rastvora. Ovu mineralizaciju karakteriše povišeni sadržaji zlata i njegovo pojavljivanje je najverovatnije vezano za pirit i, delom, za enargin.

Istražni i eksploracioni radovi su se odvijali na više horizontata: blizu površine (u periodu 1906-1910.g.); između horizonata K +276 m i K +286 m, kao i na horizontu K +371m (pre i posle II Svetskog rata), a 1968. godine su obustavljeni svi radovi na ovom lokalitetu.

Tokom 2002. godine na prostoru šire okoline ležišta „Kiridžijski potok“ izbušeno je deset bušotina: B-13, B-14, B-15, B-16, B-17 i B-18, B-601, B-601a, B-603 i B-604 (ukupne dužine bušenja 2268.5 m) i tri bušotine: B-602, B-605 i B-606 (ukupne dužine bušenja 892.8 m) tokom 2003. godine. Nakon 2003. godine na ovom prostoru nije bilo istražnih radova. Ukupno na ovom lokalitetu izbušeno je 3161.3 m. Istražni radovi izvedeni su radi provere geofizičkih

rezultata, kao i radi potvrde indicija da u ovom istraživanom prostoru postoji mogućnost pronalaska malih, izdvojenih masivno sulfidnih orudnjena, odnosno pronalaska nastavka mineralizovane tektonske zone koja je u dva navrata i eksplorisana.

Istraživanje je bilo usmereno u dva pravca:

- Prvi je prema lokalnosti Kraku Bugaresku, gde je tokom 1997. godine istražnom buštinom nabušena rudna mugla koja po svojim mineraloškim karakteristikama odgovara tipu mineralizacije „Kiridžijskog potoka“.
- Drugi je prema lokalitetu Čoka Lupuli, čiji su vrhovi izgrađeni od silifikovanog i kaolinisanog materijala (slično zonama u kojima se nalazio masivno-sulfidni tip mineralizacije „Kiridžijskog potoka“) – a u cilju provere geofizičkih rezultata (još 1920-te poznati geofizičar Conrad Schlumberger je izveo geofizička ispitivanja sopstvenog potencijala – SP i ustanovio postojanje negativnog električnog centra na ovom lokalitetu).

Sve bušotine su geološki kartirane i oprobane. U zavisnosti od: vrste stene, tipa i stepena izmenjenosti stene, zavisi je dužinski interval oprobavanja izvađenog jezgra za formiranje pojedinačnih proba. One su analizirane na: bakar, zlato, srebro i sumpor. Od ostatka sprašenih proba formirani su kompozitni uzorci i analizirani su na: Mo, As, Hg, Ag i Au. Rezultati hemijskih analiza pojedinačnih proba pokazani su u tabeli br.1.

Na osnovu detaljnog kartiranja istražnih bušotina, kao i delimičnih rezultata hemijskih ispitivanja možemo zaključiti:

- Orudnjenje u obliku mugli (rudoklastiti) sa masivnim sulfidima odloženim duž tektonske zone nalaze se u „svežim“, skoro neizmenjenim vulkanoklastitima i vulkanitim hornblendna-biotitskog sastava. Odnosno, uz

samu mineralizaciju se nalaze uske zone hidrotermalno izmenjenih stena

koje su u najvećoj meri kaolinisane, slabije hloritisane i slabo silifikovane.

Tabela br.1. – Prikaz orudnjениh intervala i srednjeg sadržaja bakra, srebra i zlata u bušotinama

Red. br.	Oznaka bušotina	Dužina (m)	Orudjeni interval (m)	Sred. sadr. Cu (%)	Napomena
1.	B-13	205.5	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu
2.	B-14	200.5	93.00 – 94.00 99.00 – 100.00 106.00 – 107.00	0.57 0.49 0.67	
3.	B-15	202.5	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu
4.	B-16	203.5	114.00 - 121.00 180.00 – 182.00	1.37 0.56	
5.	B-17	200.0	10.00 - 20.00 67.00 - 69.00 75.00 – 76.00 90.00 – 95.00	0.58 0.59 1.17 0.41	
6.	B-18	208.0	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu
7.	B-601	195.0	-	-	Izrada analiza u toku
8.	B-601A	300.0	-	-	Izrada analiza u toku
9.	B-603	293.5	162.00 – 164.00	2.14	
10.	B-604	264.0	-	-	Izrada analiza u toku
11.	B-602	300.0	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu
12.	B-605	300.8	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu
13.	B-606	292.0	-	-	Sadržaji manji od 0.2% Cu

- Mineralizacija je predstavljena uglavnom piritom, halkopiritom, enartitom, sfaleritom, bornitom, tetraedritom i halkozinom, a sadržaji bakra u ovim mineralizovanim zonama su relativno visoki i praćeni su povišenim sadržajima Au, Ag, As.
- Povećani sadržaji Au, Ag i As nisu isključivo vezani za zone rudnih mugli,
- već se javljaju i u izdvojenim delovima hidroermalno izmenjenih vulkanoklastita i vulkanita andezitskog sastava. Od hidroermalnih izmena dominira kaolinizacija, dok su silifikacija i sericitizacija nešto slabijeg inteziteta.
- Većina bušotina je obustavljena u slabo hidroermalno izmenjenim vulkanoklastitima i vulkanitima hornblendna-bioti-

tskog andezita, koji su očuvali svoju reliktnu porfirsku strukturu, a od hidrotermalnih izmena se javljaju: kaolinizacija, hloritizacija, piritizacija, a mestimično je prisutna i silifikacija. To je tzv. propilitska zona (zeleni prsten) i podseća na vrh zone iznad porfirskih mineralizacija na severozapadu i jugoistoku borskog rudnog polja.

Sve ovo ukazuje na jednu širu zonu izmenjenih stena, koja se prostire kako prema ISI (Čoka Lupuli), kao i na suprotnu stranu ka ZJZ (prema lokalitetu Kraku Bugaresku). Samim tim predstavlja i potencijalnu mogućnost postojanja međusobne povezanosti ova dva lokaliteta (odnosno da je ova zona perspektivna u mogućnosti pronalaska manjih, skrivenih, masivno-sulfidnih rudnih tela), što bi trebalo da predstavlja jedan od prioritetnih zadataka u budućim geološkim istraživanjima na ovom lokalitetu.

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 interes celokupne zajednice. Međutim, u redim 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.

Geološka istraživanja neispitanih ili nedovoljno ispitanih prostora i određivanje njihove potencijalnosti su od vitalne važnosti za razvoj države i (u manjem) lokalne zajednice, na čijoj se teritoriji nalazi. Osim ekonomskog, zastupljen je i strateški značaj ovakvog vida istraživanja, i eventualno, dalje eksploatacije.

Kao posledicu (u pozitivnom smislu) ovog dugogodišnjeg istražnog procesa i dobijenih, relevantnih rezultata, očekujemo definisanje i potvrdu podataka koji bi dali jasniju sliku o: dubini i obliku, pružanju i dimenzijama rudnih tela, rastojanju izmedju njih, kao i definisanje potencijalnog područja, interesantnog sa gledišta pojave Cu – mineralizacije. Očekivanja su u smeru pronalaska većeg broja manjih masivno-sulfidnih rudnih tela (rudnih mugli), na širem istražnom prostoru, na bazi dobijenih (potvrđenih) geoloških informacija (podataka) i nastavka postojeće mineralizovane tektonske zone.

Dosadašnja istraživanja i dobijeni rezultati predstavljaju dobru osnovu za uspešan nastavak istražnog procesa na ovom prostoru, sa (očekivano) pozitivnim rezultatima.

UDK: 662.7(045)=861

*Lidija Đurđevac-Ignjatović, Dragan Ignjatović**

OGLED TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE NA PRIMERU FLOTACIJSKE JALOVINE SA KRIVELJSKE BRANE 1-A**

TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON THE SAMPLE OF FLOTATION TAILINGS FROM FLOOD-GATE VELIKI KRIVELJ 1-A

Izvod

Postoji više načina određivanja elemenata unutrašnjeg otpora tla, kohezije i ugla unutrašnjeg trenja, pomoću laboratorijskih ogleda, među kojima su najpoznatiji direktno smicanje, triaksijalna kompresija i ogleda jednoaksijalna čvrstoća na pritisak. U ovom radu će biti opisani rezultati „CU“ triaksijalnog ogleda.

Ključne reči: ogled triaksijalne kompresije, „CU“ triaksijalni ogleda.

Abstract

There are several ways for determining elements of internal resistance of soil, cohesion and angle of internal friction, with laboratory tests, such as test of direct shear, triaxial compression test and monoaxial compressive strength. In this text will be describe the results of „CU“ triaxial test.

Key words: triaxial compression test, „CU“ triaxial test

UVOD

Jedan od ogleda za određivanje elemenata unutrašnjeg otpora tla, kohezije i ugla unutrašnjeg trenja je ogled triaksijalne kompresije. Glavna prednost ogleda triaksijalne kompresije u odnosu na ogled direktnog smicanja je u homogenijem polju napona, uz mogućnost merenja pornih pritisaka ili promena zapremine u procesu deformisanja.

Prema načinu ispitivanja koriste se tri standardna postupka koji se, pre svega, razlikuju po uslovima dreniranja u pojedinim fazama opterećivanja:

1. NEDRENIRANI ogled, („U“ ogled), postupak bez dreniranja u obe faze ogleda odnosno „brzi ogled“. Često se naziva i „UU“ ili nekonsolidovani nedrenirani ogled.
2. KONSOLIDOVANI NEDRENIRANI ogled, („CU“ ogled), postupak sa

* Institut a rudarstvo i metalurgiju, Bor

** Ovaj rad je proistekao iz Projekta broj 17004 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

konsolidacijom u prvoj fazi i bez dreniranja u drugoj.

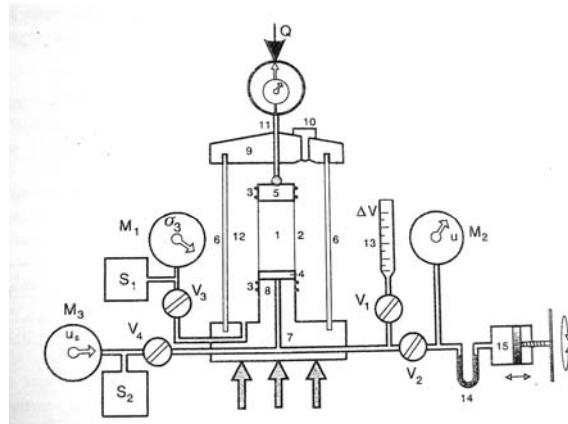
3. DRENIRANI ogled, („D“ ogled), postupak sa dreniranjem u obe faze ogleda odnosno „spori ogled“. Često se naziva i „CD“ ili konsolidovani drenirani ogled.

Za sve tri vrste ogled se najčešće podrazumeva da su uzorci potpuno zasićeni vodom. U svakom od navedenih ogleda meri se promena aksijalnog napona u funkciji aksijalne deformacije uzorka pri konstantnoj veličini radijalnih napona.

U ovom radu biće opisan konsolidovani nedrenirani ogled, koji je izведен na flotacijskoj jalovini, od koje je sagrađena brana 1-A.

IZGLED APARATURE ZA TRIAKSIJALNI OGLED

Ogled je izведен na triaksijalnom uređaju firme Controls. Uredaj za triaksijalno ispitivanje prikazan je na slici



Sl. 1. Šematski prikaz triaksijalnog aparata

Uredaj (S_1) omogućava kontinualno održavanje konstantnog svestranog pritiska i njegovo automatsko korigovanje, uz merenje na manometru (M_1). Pritisak tečnosti u čeliji preko gumene membrane deluje svestranim naponima na uzorak.

Aksijalna, vertikalna, sila se nanosi na uzorak preko ploče na pijedestalu sa donje strane uzorka, i krute ploče preko kuglice

1 i sastoji se od okvira sa dva stupca i pokretnom poprečnom gredom i osnove koja sadrži mehaničku jedinicu za bočni pritisak, elektromotora, elektronske komponente i kontrolne komande. Na postolju uređaja se nalazi cilindrična čelija od pleksiglasa u koju se postavlja pripremljen uzorak. Cilindar se postavlja na donju masivnu metalnu ploču koja je dugim vijcima vezana za poklopac, tako da formira zatvoreni prostor čelije. Na poklopcu se nalazi ventil za ispuštanje vazduha iz čelije kada se ona napuni vodom pod pritiskom. Sastavni deo masivne ploče je postolje za postavljanje uzorka, pijedestal, koji je kanalima u masivnom postolju i cevima povezan sa svim ostalim uređajima, tako da preko porozne ploče omogućava prenošenje pritisaka ili protoka vode iz uzorka.

u kontaktu sa klipom koji prolazi kroz otvor u sredini gornjeg poklopca do sistema za registrovanje sile sa gornje strane.

Uredaj (S_2) služi za nanošenje povratnog hidrostatičkog pornog pritiska u_s a njegova veličina se kontroliše manometrom (M_3). On omogućava da se

nanese kontrolisana veličina hidrostatičkog pritiska u unutrašnjost uzorka, kako bi se obezbedilo potpuno zasićenje uzorka. U slučaju primene povratnog pornog pritiska njegova veličina se bira tako da ne menja veličinu efektivnog napona, što istovremeno zahteva povećanje svestranog pritiska za istu veličinu.

TOK ISPITIVANJA

Materijal, koji je korišćen za triaksijalno „CU“ ispitivanje, je uzorkovan sa flotacijske brane 1-A. Karakteristike materijala su sledeće:

- zapreminska težina $15,90 \text{ kN/m}^3$,
- specifična težina $25,70 \text{ kN/m}^3$,
- vлага u prirodnom stanju $8,07\%$.



Sl. 2. Izgled triaksijalnog aparata za tlo sa pratećom opremom

Materijal se uzorkuje cilindrom, dimenzija $103 \times 51 \text{ mm}$. Uzorak se istisne i ugradi u gumenu membranu, koja se na krajevima pričvršćuje gumenim prstenovima za laku ploču (kapu) i postolje (pijedestal). Tako uzorkovani materijal se ugradi u cilindričnu celiju od pleksiglasa. Celija se pričvrsti velikim zavrtnjima za poklopac i u nju se pusti voda. Kada je cilindar ispunjen vodom, može se aplikovati bočni pritisak na uzorak. Veličina bočnog pritiska se može podesiti prema potrebi. U ovom slučaju je, za prvi korak merenja, aplikovan bočni pritisak od 50 kPa . Tokom primene ovog pritiska, preko računara se može očitavati

grafik zavisnosti pornog pritiska od vremena. U ovoj fazi se može očitati i parametar B, koji predstavlja odnos pornog i čelijskog pritiska. Cilj je da parametar B dostigne vrednost oko 0,95 kada možemo reći da je uzorak zasićen. Ovo predstavlja prvu fazu „CU“ ogleda.

Ako je parametar B manji od 0,95, prelazi se na sledeći korak. To je korak u kome idemo na drugi stepen zasićenja. Preko uređaja (S_2), koji služi za nanošenje povratnog hidrostatičkog pornog pritiska, nanosi se kontrolisana veličina hidrostatičkog pritiska u unutrašnjost uzorka, kako bi se najveći deo vazduha između

membrane i uzorka i u porama istisnuo, a ostatak rastvorio u pornoj vodi. Prilikom primene povratnog pornog pritiska mora se voditi računa da se njegova veličina bira tako da ne menja veličinu efektivnog naponu, što zahteva istovremeno povećanje svestranog pritiska za istu veličinu. U našem slučaju, zadržana je vrednost bočnog pritiska od 50 kPa i aplikovan je povratni hidrostatički pritisak od 30 kPa. Ovaj korak se primenjuje sve dotle dok se vrednost porno pritiska ne ustali (smanji). Vrednost porno pritiska možemo očitati tokom samog procesa na dijagramu vreme-porni pritisak.

Ako i nakon ovog koraka zasićenje uzorka nije potpuno, potrebno je ponovo primeniti samo bočni pritisak na sam uzorak. Isključuje se vod sa povratnim pritiskom, a na uzorak se nanosi veći bočni pritisak. U našem slučaju, bočni pritisak je povećan na 100kPa. Tokom procesa se proverava vrednost parametra B. Ako parametar B dostigne vrednost 0,95 prekidamo ovaj korak i nastavljamo sa ogledom. U slučaju da parametar B nije dostigao željenu vrednost, potrebno je ponoviti drugi korak zasićenja uzorka, uz primenu hidrostatičkog pritiska u unutrašnjost uzorka.

Kada parametar B dostigne željenu vrednost, proces zasićenja je završen i može se preći na proces *konsolidacije*. U procesu konsolidacije povećava se čelijski pritisak.

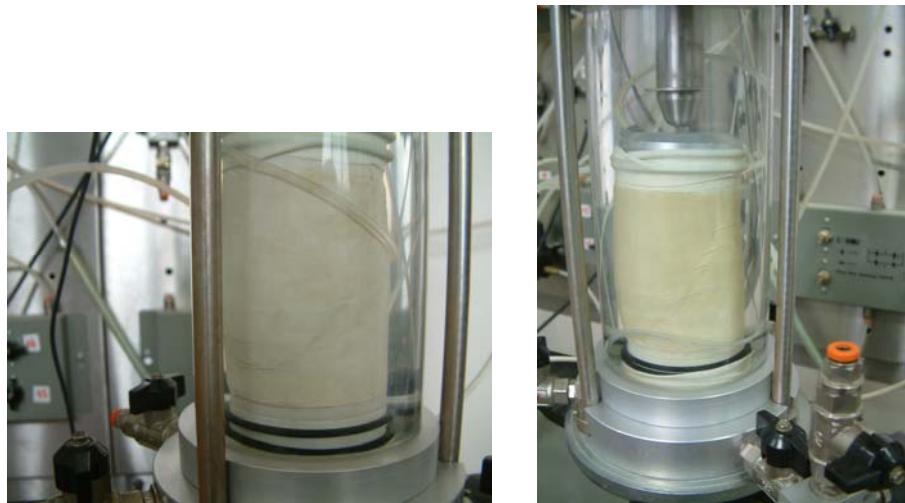
Razlika između čelijskog pritiska i povratnog pritiska predstavlja *konsolidaciju*. U ovom koraku dolazi do povećanja zapremine uzorka, što možemo očitati na dijagramu promene zapremine u jedinici vremena.

Nakon završetka procesa konsolidacije i pre početka nanošenja aksijalnog opterećenja, otvara se ventil (V_1), kako bi se merio porni pritisak tokom deformisanja do loma.

Princip naošenja aksijalnog opterećenja je sledeći:

Uz pomoć numeričkog selektora koji se nalazi na prednjoj ploči, podešava se početna brzina (mm/min) u skladu sa vrstom ispitivanja koje će se obaviti. Prema izabranoj brzini, mikroprocesor prenosi impulse koji aktiviraju elektronsku ploču i obezbeđuje konstantno kretanje pokretnе poprečne grede. Nanošenje opterećenja ide sve dotle dok se na uzorku ne registruju deformacije loma uzorka. Sve ovo se može i očitati sa grafika $\epsilon - (\sigma_1 - \sigma_3)$. Kada vrednost $(\sigma_1 - \sigma_3)$ dostigne konstantu, proces loma se može prekinuti, a dobijena vrednost napona se koristi za crtanje Morovih krugova.

Za kompletan ogled se, najčešće ispituju najmanje 3 uzorka sa različitim veličinama svestranih (bočnih) pritisaka σ_3 u čeliji. U suštini, prvi uzorak se izlaže najmanjim usvojenim naponima, drugi najmanje dvostrukoj veličini pritiska primjenjenom na prvom uzorku, a treći sa najmanje dvostrukom veličinom pritiska upotrebljenom za drugi uzorak.

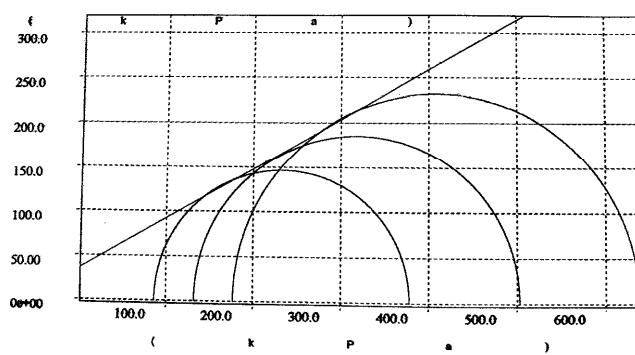


Sl. 3. Izgled slomljenog uzorka

GROUP OF CU TESTS 1/4							
Customer data							
Customer	:	Laboratorija					
Address	:	Zeleni bulevar 35					
site	:	Srbija					
Boring	:	1					
Sample	:	1					
Depth	:	1					

Specimen characteristics							
Sample	H ₀ mm	A ₀ cm ²	γ _s g/cm ³	γ _w g/cm ³	W ₀ %	W _r %	S _r %
1	100.00	20.000	1.611	1.500	8.066	6.666	28.167
1	97.550	20.420	1.613	1.561	3.344	6.430	23.274
3	99.199	20.420	1.562	1.451	7.687	6.802	24.846

Characteristics of failure stage							
Sample	σ' _{1s} kPa	σ' _{2s} kPa	BP kPa	ε _f %	σ _f -σ _{1s} kPa	σ _f '/σ _{1s} '	dū kPa
1	180.00	180.00	-1.000	7.523	462.27	3.611	3.971
1	135.00	135.00	-1.000	6.993	369.24	3.749	2.527
3	90.000	90.000	-1.000	9.656	282.88	4.261	0.015



Results	
Φ'	: 29.18 Deg.
C'	: 35.77 kPa

Sl.4. Grafički prikaz rezultata triaksijalnog ogleda

ZAKLJUČAK

Triaksijalni ogled je najprecizniji ogled za određivanje unutrašnjeg otpora tla (kohezije i ugla unutrašnjeg trenja). Ova vrsta ogleda („CU“) se najčešće primenjuje jer najviše odgovara naponskom stanju u prirodnom tlu. Obavlja se na koherentnom i nekoherentnom tlu.

Zbog dugog trajanja ova vrsta ogleda se retko obavlja. Pošto nedreniran ogled sa konsolidacijom uz merenje pritiska porne vode, daje praktično iste rezultate kao i

ostale vrste triaksijalnih ogleda, ovaj ogled se i najčešće primenjuje.

LITERATURA

- [1]. Nikola Najdanović, Radmilo Obradović, Mehanika tla u inženjerskoj praksi, Beograd, 1999.
- [2]. Milan Maksimović, Mehanika tla, Beograd, Grosknjiga 1995.
- [3]. Dr Milenko Ljubojev, Ratimir Popović: Osnove geomehanike, RTB Bor, Institut za bakar Bor, 2006.

UDK: 551.49:624.19(045)=861

*Sladana Krstić, Vesna Ljubojev, Milenko Ljubojev**

NIVO PODZEMNIH VODA NA DELU PROJEKTOVANE TRASE TUNELA**

LEVEL OF UNDERGRAUND WATER IN A PART OF DESIGNED TUNEL ROUTE

Izvod

U ovom radu biće ukratko prikazana morfološka svojstva terena, hidrogeološka svojstva terena i dobijeni rezultati o nivou podzemnih voda u 5 istražnih bušotina.

Ključne reči: podzemne vode, stenska masa, trasa tunela, istraživanja.

Abstract

This works present briefly the morphological characteristics of terrain, hidrogeological characteristics and obtained data on the undergraund water level and five exploration drill holes

The basic target of geological researches for Kaona area (locality) is control of results (data's) from earlier investigation period, of outcrops on the top of the terrene.

Width this geological researches and basic geological princip's (law) we shall got estimate of potentiality for the Kaona area (location) like a quartzite deposite. Quality of quartzite (from the Kaona deposite) should be satisfactoriliably (ready) for use in chemical industry, metallurgy and fireproof industry.

Key words: undergraund water, rock mass, tunel route, exploration.

UVOD

Istražni radovi na području projektovane trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke (slika 1 i slika 2) dali su osnovne karakteristike terena i to:

- geološka građa i sklop terena;
- kvalitet stenske mase;

- stepen ispučalosti stenske mase;

- nivo podzemnih voda;

- fizičko – mehanička svojstva terena i dr.

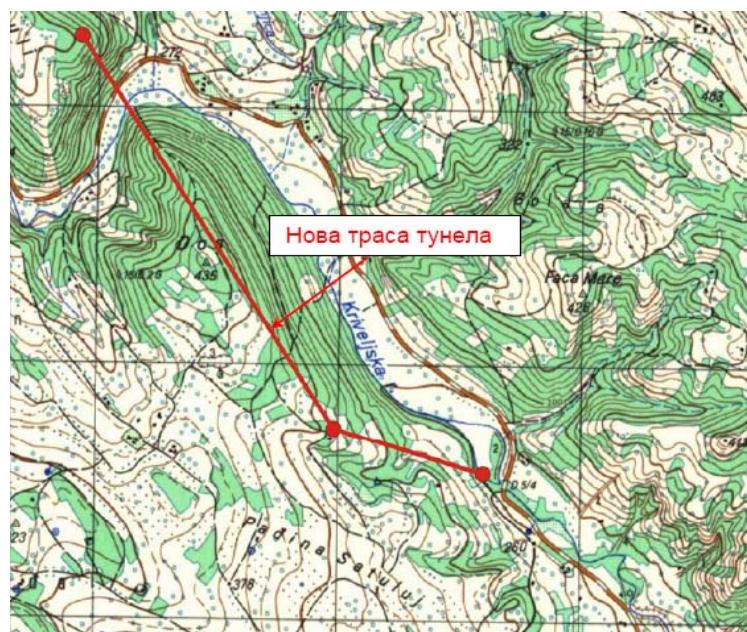
Cilj svih ovih istraživanja je sagledavanje geotehničkih uslova radi izgradnje projektovane trase tunela kojim će se izmestiti Kriveljska reka.

* Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

** Ovaj rad je proistekao iz Projekta broj 17004 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije



Sl. 1. Deo „polja 2“ ispod koga će proći projektovana trasa tunela



Sl. 2. Položaj projektovane trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke

Akumulacioni prostor jalovišta dobijen je pregrađivanjem doline branama 1A, 2A i 3A koje su izgrađene od ciklonskog peska. Jalovište se sastoji od „polja 1“ (staro jalovište) i „polja 2“ (novo jalovište)

koje je aktivno od 1990. godine i u koje se odlaže celokupna jalovina iz kriveljske flotacije.

S obzirom na to da su brane dostigle svoju projektovanu kotu K+350 u „polju

2“ je moguće odlaganje jalovine samo do polovine 2008. godine. Zato je neophodno nadvišenje brana do kote K+385.

Izgradnja novog tunela (slika 2) na desnoj strani Kriveljske reke omogućila bi izvođene ovog nadvišenja, a samim tim i povećanje zapremine akumulacionog prostora.

Ovo polje se ne može nadvisiti dok se postojeći kolektor ispod „polja 2“ ne stavi van funkcije izgradnjom novog tunela.

Terenski istražni radovi obavljeni su u periodu od septembra 2007. godine do januara 2008. godine.

VRSTE I OBIM TERENSKIH ISTRAŽIVANJA

Ukupna dužina nove trase tunela iznosi 2.400 metara. Projektovana trasa tunela za izmeštanje Kriveljske reke prolazi od padine Tilva satuli, prolazi ispod samog flotacijskog jalovišta („polje 2“) u dužini od 200 metara (slika 1), a zatim nastavlja

preko padine Satuli. Zatim trasa menja azimut i skreće ka istoku do izlaznog portala koji se nalazi nizvodno od brane 3A.

Duž projektovane trase tunela (slika 3) kojim će se izmestiti Kriveljska reka u cilju sagledavanja sastava, odnosno saznanja o svim karakteristikama litoloških članova prisutnih po dubini izbušeno je 5 geoloških istražnih bušotina. Sve bušotine su:

- detaljno inženjersko-geološki kartirane;
- oprobane za laboratorijska hemijska ispitivanja;
- oprobane za ispitivanja ispučalosti stenskog masiva (RQD);
- oprobane za fizičko-mehanička ispitivanja i za ispitivanja deformacionih parametara stenske mase.



Sl. 3. Situacioni plan flotacijskog jalovišta „Veliki Krivelj“

MORFOLOGIJA TERENA

Ispitivani teren u morfološkom pogledu se odlikuje velikim visinskim razlikama. Pripada brdsko-planinskom tipu terena sa razvijenim reljefom.

Nagibi i padine su promenljivi sa malim zaravnima i blago zaobljenim vrhovima.

Ovakvo formiranje padina dogodilo se pod uticajem egzogenih sila koje su dale opšte fizičko-mehaničke karakteristike stenske mase.

Ulagani portal tunela nalazi se na brdu Tilva satuli, a izlazni portal u podnožju padine Satuli (kota gornje kalote je K+266, a kota donje kalote je K+245).

Formiranje flotacijskog jalovišta dovelo je do toga da je deo istraživanog prostora potpuno izmenio svoju morfološku u nekadašnjoj dolini Kriveljske reke.

GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Istraživani teren je izgrađen od:

- sedimenata gornje krede (turon-senon) koje čine peščari, laporci i glinci. Stene su, uglavnom, sveže i jedre, blago ubrane, sa prisutnim prslinama i pukotinama (zjapeće). Paralelna i kosa laminacija predstavljena je brzim smenjivanjem krupnih i sitnijih partijskih lamine. Lamine imaju debljinu od nekoliko centimetara, a retko do više decimetara. Smenjivanje je najčešće između lamina alevritskih peščara i laporaca, a retke su pojave gline (debljine nekoliko milimetara);

- kvarternih sedimenata koje čine deluvijalne i eluvijalne naslage i nasuti flotacijski materijal. Deluvijalna glina se javlja na zaravnima i blagim padinama i u njoj se sreću odlomci osnovne stenske mase ne veći od 2 centimetara (grus). Debljina sloja je relativno ujednačena (u buštinama B-2k i B-4k iznosi 0.35 do 0.80 metara). Površinski deo sloja je kultivisan (humus u B-3k).

Grus se javlja kao peščarsko-laporoviti. Javlja se na strmijim padinama, površine terena, a čest je i ispod deluvijalne gline.

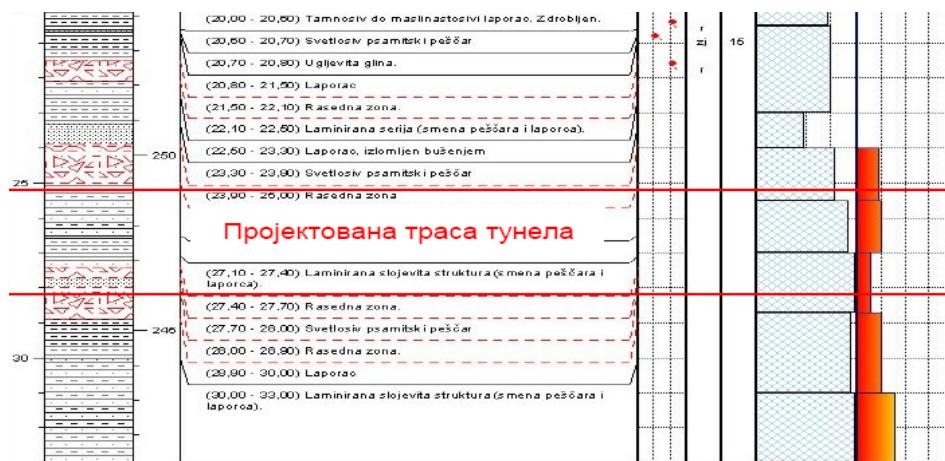
Degradirani peščari i laporci su, u stvari, usitnjeni odlomci osnovne stenske mase. Dostižu debljinu maksimalno do oko 5 metara.

Nasuti materijal flotacijske jalovine je prašinast do peskovit i kvazihomogen. Malog je rasprostranjenja. Debljina je neznatna u trupu lokalnog puta (bušotina B-2k), a oko 1,0 metar na lokaciji istražne bušotine B-5k.

MERENJE NIVOA PODZEMNIH VODA

Nivo podzemnih voda u istražnim buštinama meren je 48 sati posle ispiranja od isplačnih fluida i izmereni su različiti nivoi.

Najviši nivo podzemnih voda konstatovan je u istražnoj bušotini B-5k gde je na 1,10 metara (slika 4), a najniži nivo je utvrđen u bušotini B-3k na 48,0 metru (slika 5).



Sl. 4. Detalj bušotine B-5



Sl. 5. Detalj bušotine B-3

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАŽIVANJA

Teren je izgrađen od stenskih masa u kojima je razvijena pretežno prslinsko – pukotinska poroznost i međuzrnska poroznost.

U stenama koje su zastupljene na istraživanom terenu formiraju se dva tipa izdani:

- zbijene izdani i
- izdani sa slobodnim nivoom vode.

Na osnovu kartiranja istražnih bušotina sve nabušene sredine se mogu izdvajati u dve grupe i to u:

1. grupu dobro vodopropusnih stena;
2. kompleks vodopropusnih stena i vodonepropusnih stena.

Dobro vodopropusne stene su predstavljene kvartarnim naslagama (grus, deluvijalno-glinovita drobina i degradirane stene. U njima je dobro razvijena pukotinska i međuzrnska poroznost kao i poroznost u vidu creva i cevi. Ove stene su

izraziti hidrogeološki kolektori sa funkcijom rezervoara i sprovodnika.

Kompleks vodopropusnih i vodonepropusnih stena čini flišna serija (peščari, laporci i glinci). Poroznost je pretežno pukotinska, gde se nepravilno smenjuju vodopropusne i vodonepropusne stene, a sve to utiče na više međusobno odvojenih izdani.

Ove stene se prema svojoj funkciji dele na:

- hidrološke kolektore i
- hidrološke izolatore.

Sagledavanje terena sa stanovišta saznanja o nivou podzemnih voda jedan je od bitnih elemenata koji je ovim ispitivanjem rešen, a samim tim i definisan jedan od geotehničkih uslova za izgradnju projektovanog tunela.

LITERATURA

1. Savić D., Živković D.: Tehnički izveštaj o rezultatima izvedenih terenskih geoloških istraživanja stena trase tunela za izmeštanje Kriveljske reke. (2008), Geoing Beograd

Ratomir Popović, Lidija Đurđevac Ignjatović, Daniela Urošević*

KONSOLIDACIJA I KOEFICIJENT VODOPROPUSNOSTI FLOTACIJSKOG ODLOŽENOG MATERIJALA**

CONSOLIDATION AND COEFFICIENT OF WATER PERMEABILITY THE DUMPED FLOTATION MATERIAL

Izvod

U radu je razmotreno ponašanje zasićenog flotacijskog materijala koji je izložen promeni napona na koju reaguje uglavnom promenom zapremine i koeficijenta poroznosti. Koeficijent vodopropusnosti se određuje preko koeficijenta konsolidacije i direktnim merenjem protoka vode kroz uzorak u triaksijalnoj ćeliji sa permeametrom pri konstantnom pritisku.

Ključne reči: flotacijski materijal, poroznost, koeficijent vodopropustljivosti

Abstract

In this paper is considered behaviour of saturated flotation material, which is exposed to variable stress, and it reacts by changing volume and porosity coefficient. Water permeability coefficient is determining by coefficient of consolidation and by direct measuring of water flow through the sample in triaxial cell with permeameter during constant pressure.

Key words: flotation material, porosity, water permeability coefficient

UVOD

Zasićen flotacijski materijal izložen promeni napona uglavnom reaguje promenom zapremine. Veličina promene zapremine praktično je jednaka količini istisnute vode iz pora i zavisi od veličine nanetih napona i elastične deformacije zrna flotacijskog materijala. Razvoj promene zapremine zavisi, između ostalog, i

od vodopropusnosti, odnosno od vremena potrebnog za evakuaciju određene količine vode iz elementa odloženog flotacijskog materijala. **Proces postepenog smanjivanja zapremine, opadanja veličine pornog pritiska i povećanja efektivnih napona naziva se procesom konsolidacije.** Matematičko objašnjenje ovog u opštem slučaju trodimenzionog problema, veoma je složeno, čak i uz prepostavku

* Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

** Ovaj rad je proistekao iz Projekta broj 17004 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

idealno elastičnog skeleta tla, jer osim jednačina kontinuiteta protoka vode, treba zadovoljiti i jednačine kompatibilnosti teorije elastičnosti.

Ako zapremina pora u elementu tla ostaje konstantna i ako usvojimo da je voda nestišljiva, tada ukupan dotok vode u element tla mora biti jednak količini vode koja iz elementa istekne:

$$\begin{aligned} q_x + q_y + q_z &= \\ &= (q_x + dq_x) + (q_y + dq_y) + \dots \quad (1) \\ &+ (q_z + dq_z) \end{aligned}$$

Po Darsijevom zakonu hidraulički gradijent je:

$$i = \frac{dh}{dz},$$

a porni pritisak je:

$$u = \gamma_w h,$$

te će brzina strujanja biti:

$$v = -ki = -k \frac{dh}{dz} = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial h} \quad (2)$$

Jednačina kontinuiteta (1) za jednodimenzionalno kretanje vode može se napisati u sledećem obliku:

$$-\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{d\epsilon_v}{dt} \quad (3)$$

Gradijent promene zapremine izrazimo preko gradijenta efektivnog normalnog naponu:

$$\frac{d\epsilon_v}{dt} = m_v \frac{\partial \sigma_z}{\partial t} \quad (4)$$

Gradijent promene zapremine mora biti jednak negativnoj vrednosti gradijenta pornog pritiska:

$$\frac{d\epsilon_v}{dt} = -m_v \frac{\partial u}{\partial t} \quad (5)$$

$$m_v \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (6)$$

Sada će diferencijalna jednačina konsolidacije imati sledeći oblik:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{m_v \gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (7)$$

U izrazu (7) javlja se novi parametar C_v , kojeg nazivamo koeficijentom konsolidacije i u sebi sadrži koeficijent vodopropusnosti k i stišljivosti m_v ili M_s

$$C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} = \frac{k \cdot M_s}{\gamma_w} \quad (8)$$

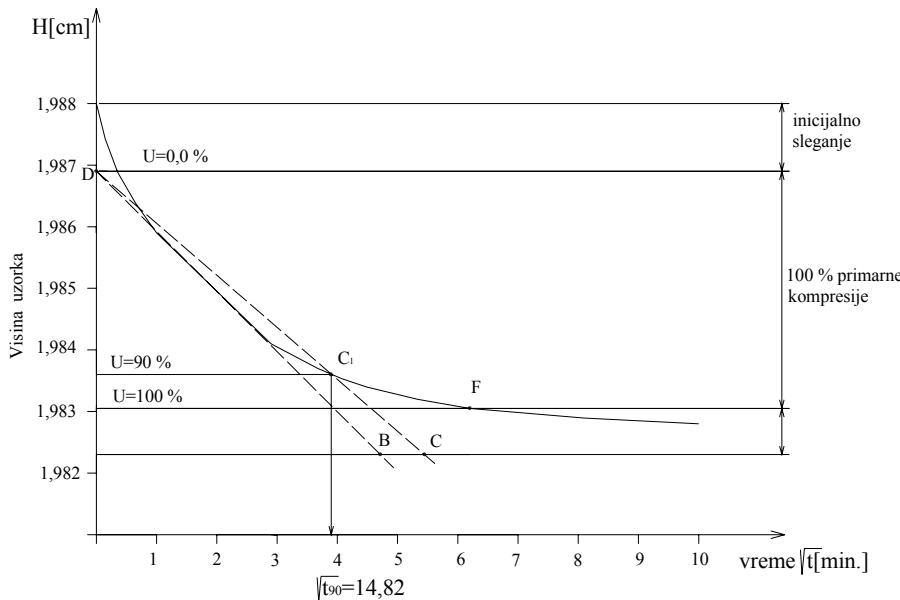
$$m_v = \frac{I}{M_s};$$

M_s - edometarski koeficijent stišljivosti.

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONSOLIDACIJE

Koeficijent konsolidacije definisan je izrazom (8) određuje se analizom rezultata merenja tokom edometarskog opita. U edometru ispitivani uzorak se jednodimenzionalno deformešte te pretpostavke teoretskog rešenja odgovaraju uslovima opita.

Na dijagramu sl. 1 prikazan je grafik konsolidacije u razmeri kvadratnog korena vremenskog faktora.



Sl. 1. Grafik za određivanje koeficijenta konsolidacije metodom kvadratnog korena vremenskog toka

Presek linije DC sa eksperimentalnom krivom dobije se tačka C_1 , kojoj odgovara konsolidacija $u = 90 \ [\%]$, iz koje seочitava veličina $\sqrt{t_{90}}$. Vrednost T_v za $u = 90 \ [\%]$ iznosi 0,848 iz čega proizilazi koeficijent konsolidacije:

$$C_v = 0,848 \cdot \frac{H^2}{t_{90}} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

$$H = 1,9785 \text{ [cm]}, \\ t_{90} = 14,82 \text{ [min]}$$

$$C_v = 0,848 \cdot \frac{1,9785^2}{14,82 \cdot 60} = \\ = 3,73 \cdot 10^{-3} \text{ [cm}^2/\text{s}]$$

Koristeći izraz (8) izračunava se koeficijent vodopropusnosti:

$$k = \frac{C_v \cdot \gamma_w}{M_s} = \frac{3,73 \cdot 10^{-3} \cdot 9,807}{6410} \text{ [m/s]}$$

$$k = 5,71 \cdot 10^{-10} \text{ [m/s].}$$

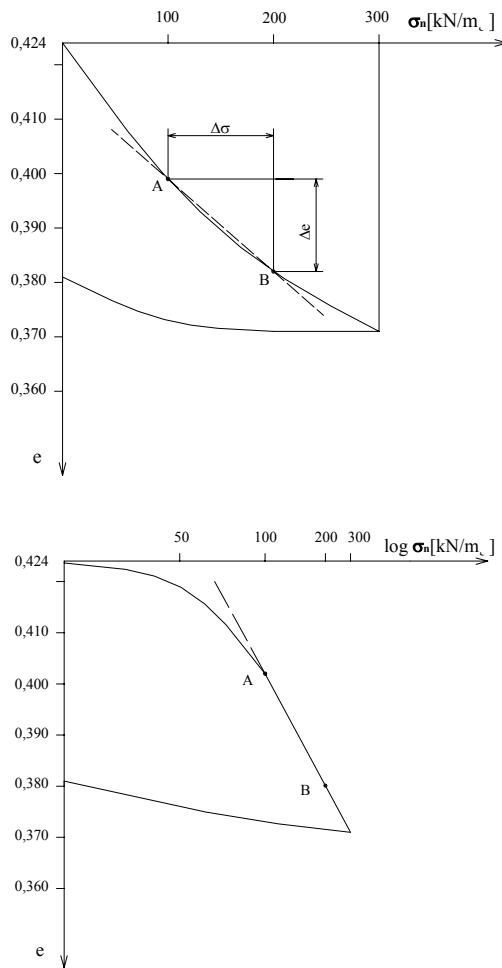
Sa fundamentalne tačke gledišta, uputno je razmatrati vezu između efektivnih napona i koeficijenta poroznosti, s obzirom na to da se promene zapremine odvijaju usled promene zapremine pora, kao i da se zrna flotacijskog materijala ponašaju kao nedeformabilna. Karakteristična zavisnost između koeficijenta poroznosti i napona je prikazana na slici 2. Na linearном dijagramu (sl. 2a), za neki priraštaj napona, segment A-B na krivoj se može aproksimirati pravom. Nagib prave A-B je *koeficijent stišljivosti* a_v . Polazeći od:

$$\Delta\varepsilon_I = \Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta e}{1+e} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

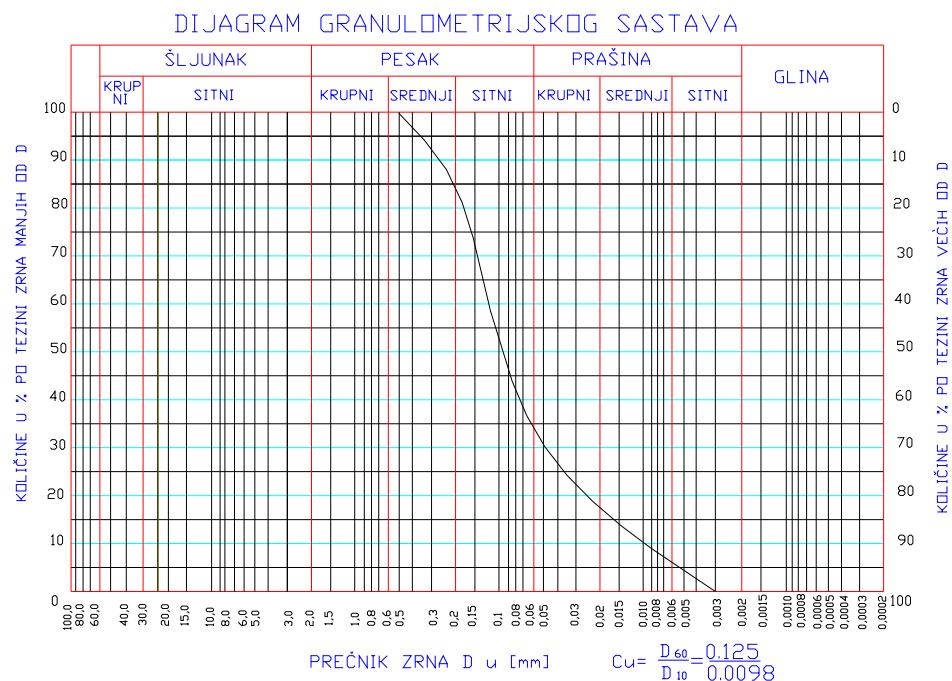
dobija se:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_z} = (1+e_0) \cdot \frac{\Delta \varepsilon_z}{\Delta \sigma_z} = \\ = (1+e_0) \cdot \frac{I}{M_s} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

Podrazumeva se da koeficijent stišljivosti a_v zavisi od početnog napona i veličine priraštaja napona, a kao konstanta se može koristiti samo kao aproksimacija realne nelinearne zavisnosti koeficijenta poroznosti od napona. Ovde treba naglasiti da je pesak znatno manje stišljiv od gline, te za njega nije realno primeniti izraz (8) za određivanje koeficijenta vodopropusnosti, nego se određuje isključivo eksperimentom na datom materijalu.



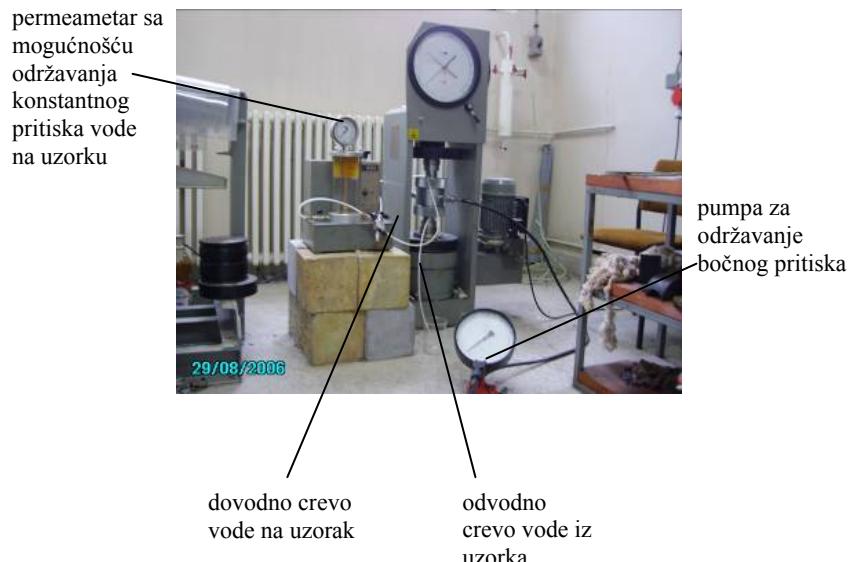
Sl. 2. Promena koeficijenta poroznosti s promenom napona



Sl. 3 Granulometrijska kriva ispitivanog flotacijskog materijala brane 1-A

U tabeli br.1 prikazane su vrednosti koeficijenta vodopropusnosti određene na dva načina.

Metodologija određivanja	Koeficijent vodopropusnosti k [m/s]
Putem koeficijenta konsolidacije, C_v	$5,71 \cdot 10^{-10}$
U triaksijalnoj čeliji sa permeametrom	$4,5 \cdot 10^{-7}$ pri $5 \cdot 10^{-5}$ dolazi do iznošenja materijala



Sl.4 Permeametar sa konstantnim pritiskom vode na uzorak u triaksijalnoj čeliji

ZAKLJUČAK

Koeficijent filtracije ili koeficijent vodopropusnosti za pesak prikazan na sl. 3 nije realno odrediti preko koeficijenta konsolidacije, jer je pesak manje stišljiv od glina. Koeficijent vodopropusnosti ne može se izračunati jer je to veoma složena funkcija koja zavisi od veličine i rasporeda pora i oblika prostora kroz koji se voda kreće. Iz navedenih razloga za materijale granulometrijskog sastava prikazanim na sl. 3 jedini ispravan način definisanja koeficijenta vodopropusnosti je direktno puštanje vode kroz uzorak, kako je to prikazano na sl.4.

LITERATURA

1. Elaborat o izvršenim fizičko-mehaničkim i deformacionim ispitivanjima materijala flotacijske brane 1-A, Kričevlj, Laboratorija za geomehaniku i ispitivanje matrijala Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru, decembar 2007. godine.
2. Ratomir Popović, Milenko Ljubojev, Mile Bugarin, definisanje koeficijenta filtracije flotacijske brane i principi efektivnih napona, Trebinje, oktobar 2007. godine, Savetovanje rudara i geologa 2007. godine.

UDK: 622.7:669.2/8.(045)=861

*Oliver Dimitrijević, Mr Zoran Stevanović, Zoran Ilić**

VERIFIKACIJA POSTOJEĆE OPREME ZA FLOTIRANJA I PREČIŠĆAVANJA TOPIONIČKE ŠLJAKE

DESIGNING OF THE EXISTING EQUIPMENT FOR FLOTATION AND CLEANING WITH REGRINDING OF SMELTER SLAG

Izvod

U radu je prikazano prilagođavanje i verifikacija postojeće opreme za flotiranje i prečišćavanje sa domeljavanjem topioničke šljake, na osnovu predloženog tehnološko-tehničkog rešenja i rezultata tehnoloških ispitivanja procesa u laboratorijskim uslovima i urađene tehnno-ekonomske analize.

Urađen je shodno projektom zadatku, tehnološkom projektu i podlogama dobijenim od investitora, prema važećim tehničkim propisima i pravilnicima o sadržaju projekta.

Ključne reči: topionička šljaka, flotiranje, tehnološka ispitivanja.

Abstract

This work presents the adaptation and verification of existing equipment for flotation and cleaning with regrinding of smelter slag, based on the proposed technological-technical solution and results of technological investigations of process in laboratory conditions and carried out techno-economical analysis.

The work was done regarding to the project task, technological project and supports obraiend from the investor, according to the current technical regulations and rule books on project content.

Key words: smetler slag, flotation technological inestigations

UVOD

OSNOVNO FLOTIRANJE SA PRE- ČIŠĆAVANJEM

I - Opis tehnološkog procesa

Tehnološka šema ove faze procesa prikazana je na crtežu. Eksperimentalnom flotacijskom preradom šljake nije konstatovana potreba domeljavanja osnovnog koncentrata.

Projektnim zadatkom predviđeno je da se osnovno i kontrolno flotiranje sa prečišćavanjem odvija potpuno odvojeno na sekcijama B i C, zato što se u narednom periodu predviđa i prerada izvesne količine jamske rude, čime se izbegava mešanje ovih dveju sirovina.

Prikaz situacije, dispozicije opreme u flotaciji, podrumu flotacije, kao i preseci objekta sa opremom, dati su kao crteži.

* Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

FLOTIRANJE NA C-SEKCIJI

Preliv hidrociklona sa baterije (poz. 3080) se gravitacijski uvodi u flotacijsku mašinu Denver, (poz. 1230 A), na osnovno flotiranje minerala bakra sa plemenitim metalima. Flotacijska mašina se sastoji od 8 komora tipa DR 300, zapremine komore 300 Cuft, ili $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne geometrijske zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$.

Otok ove flotacijske mašine se gravitacijski uvodi u flotacijsku mašinu „Wemco“, (poz. 1230 B), na kontrolno flotiranje minerala bakra sa plemenitim metalima. Ova flotacijska mašina se sastoji od 8 komora NO 120x90, zapremine komore 300 Cuft, ili $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne geometrijske zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$.

Rezerva flotacijskim mašinama (poz. 1230 A i B) su flotacijske mašine (poz. 2450 i 3450), koje se sastoje od dva reda flotacijskih mašina „Wemco“ No 120x120, jedinične zapremine komore 400 Cuft, ili $11,2 \text{ m}^3$, odnosno ukupne geometrijske zapremine od $2 \times 67,2 \text{ m}^3$, što je identično sa zapreminom flotacijskih mašina (poz. 1230 A i B).

Jalovina flotacijskih mašina (poz. 1230 A i 1230 B) ili alternativno flotacijskih mašina (poz. 2450 i 3450) predstavlja definitivnu flotacijsku jalovinu i transportuje se u zgušnjivače broj 6, 7 i 8.

Konačna flotacijska jalovina će se preko zgušnjivača br. 6, 7 i 8 zgušnjavati u prvom stepenu, a nakon toga će se, odvojeno od jalovine iz rude, deponovati u postojeće flotacijsko jalovište.

I prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

Osnovni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 1230 A) i kontrolni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 1230 B) spajaju se i preko muljne pumpe (poz. 2240) ili alternativno (poz. 3240), transportuju na prvo prečišćavanje koncentrata u flotacijsku mašinu (poz. 3330) ili alternativno u flotacijsku mašinu (poz. 2330). Flotacijska mašina je

„Denver“ sa 10 komora tipa DR 100, jedinične geometrijske zapremine komore od $2,8 \text{ m}^3$ ili 28 m^3 ukupne zapremine.

Produceno flotiranje otoka I prečistača

Otok I prečistača iz flotacijske mašine (poz. 3330) se preko muljne pumpe (poz. 421 AB) transportuje na produženo flotiranje u flotacijsku mašinu „Denver“, (poz. 10330 A) ili alternativno u flotacijsku mašinu (poz. 10330 B), koja se sastoji od 7 komora tipa „DR 300“, jedinične zapremine komore $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine mašine $58,8 \text{ m}^3$.

II prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

Prvi puta prečišćeni osnovni i kontrolni koncentrat u flotacijskoj mašini (poz. 3330) spaja se sa svih 10 komora i preko muljne pumpe (poz. 420C) transportuje na drugo prečišćavanje u flotacijsku mašinu (poz. 3270) - prvi deo - sa 4 komore, tipa „DR 100“, jedinične zapremine $2,8 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine $11,2 \text{ m}^3$. Alternativno, za drugo prečišćavanje može da služi i flotacijska mašina (poz. 430), tipa „Denver“ sa 8 komora, „DR 100“, dvo-struko veće zapremine nego flotacijska mašina (poz. 3270).

Otok flotacijske mašine (poz. 3270) se gravitacijski uvodi u pumpu (poz. 2240), preko koje se vraća na čelo prvog prečišćavanja.

III prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

Koncentrat II prečišćavanja sa mašine (poz. 3270) ili alternativno sa mašine (poz. 430), se preko muljne pumpe (poz. 3241 C) uvodi u flotacijsku mašinu (poz. 3270) - drugi deo - sa dve komore, ukupne zapremine mašine $5,6 \text{ m}^3$, na treće prečišćavanje.

Koncentrat trećeg prečišćavanja je definitivni koncentrat flotiranja bakra sa plemenitim metalima i on se preko pumpe (poz. 280) transportuje na filtražu bakra, dok se otok flotacijske mašine (poz. 3270 ili 430), drugi deo sa dve komore,

gravitacijski vraća na čelo drugog prečiščavanja.

Otok flotacijske mašine (poz. 10330 A) ili alternativno (poz. 10330 B), koja služi za produženo flotiranje otoka I prečiščavanja, predstavlja definitivnu flotacijsku jalovinu i transportuje se u zgušnjivače 6, 7 i 8.

Koncentrat flotacijske mašine (poz. 10330 A) ili alternativno (poz. 10330 B), preko muljnih pumpi (poz. 345 i 435) transportuje se u flotacijsku mašinu (poz. 2410) ili, alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 3410).

Flotacijska mašina (poz. 2410) je „Wemco No 120x120“, sa 6 komora, jedinične zapremine komore 400 Cuft ili $11,2 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$, dok je flotacijska mašina (poz. 3410) isto „Wemco“, ali No 120x90, sa 8 komora, jedinične zapremine $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine $67,2 \text{ m}^3$.

Koncentrat flotacijske mašine (poz. 2410 ili 3410) se preko muljne pumpe (poz. 420 AB) uključuje na čelo drugog prečiščavanja koncentrata sa sekcije B, u flotacijsku mašinu (poz. 1270) ili, alternativno, u mašinu (poz. 2270).

Otok flotacijske mašine (poz. 2410 ili 3410) se preko muljne pumpe (poz. 421 AB) vraća na čelo flotacijske mašine (poz. 10330 A ili B), na dopunsko flotiranje.

FLOTIRANJE NA B SEKCIJI

Preliv hidrociklona sa baterije (poz. 2080) se gravitacijski uvodi u flotacijsku mašinu „Denver“, (poz. 3230 A), na osnovno flotiranje minerala bakra sa plemenitim metalima. Flotacijska mašina se sastoji od 8 komora tipa „DR 300“, zapremine komore 300 Cuft, ili $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne geometrijske zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$.

Otok ove flotacijske mašine se gravitacijski uvodi u flotacijsku mašinu „Wemco“, (poz. 3230 B), na kontrolno flotiranje minerala bakra sa plemenitim metalima. Ova flotacijska mašina se sastoji od 8 komora NO 120x90, zapremine

komore 300 Cuft, ili $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne geometrijske zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$.

Rezerva flotacijskim mašinama (poz. 3230 A i B) su identične flotacijske mašine (poz. 2230 A i 2230 B).

Jalovina flotacijskih mašina (poz. 3230 A i 3230 B) ili alternativno flotacijskih mašina (poz. 2330 A i 2330 B) predstavlja definitivnu flotacijsku jalovinu i ista se transportuje u zgušnjivače broj 6, 7 i 8.

Konačna flotacijska jalovina će se preko zgušnjivača br. 6, 7 i 8 zgušnjavati u prvom stepenu, a nakon toga će se, odvojeno od jalovine iz rude, deponovati u postojeće flotacijsko jalovište.

I prečiščanje osnovnog koncentrata bakra

Osnovni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 3230 A) i kontrolni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 3230 B) spajaju se i preko muljne pumpe (poz. 435), transportuju na prvo prečiščavanje koncentrata u flotacijsku mašinu (poz. 2410) ili, alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 3410).

Flotacijska mašina (poz. 2410) je „Wemco“ No 120x120, sa 6 komora, jedinične zapremine komore 400 Cuft ili $11,2 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine mašine $67,2 \text{ m}^3$, dok je flotacijska mašina (poz. 3410) isto „Wemco“, ali No 120x90, sa 8 komora, jedinične zapremine $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine $67,2 \text{ m}^3$.

Produceno flotiranje otoka I prečistača

Otok I prečistača iz flotacijske mašine (poz. 2410) preko muljne pumpe (poz. 421 AB) transportuje se na produženo flotiranje u flotacijsku mašinu „Denver“, (poz. 10330 A) ili alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 10330 B), koja se sastoji od 7 komora tipa „DR 300“, jedinične zapremine komore $8,4 \text{ m}^3$, odnosno ukupne zapremine mašine $58,8 \text{ m}^3$.

II prečiščavanje osnovnog koncentrata bakra

Prvi put prečišćen osnovni i kontrolni koncentrat u flotacijskoj mašini (poz.

2410) spaja se sa svih 6 komora i preko muljne pumpe (poz. 420 AB) transportuje na drugo prečišćavanje u flotacijsku mašinu (poz. 1270) - prvi deo - sa 4 komore, tipa „DR 100“, jedinične zapremine 2,8 m³, odnosno ukupne zapremine 11,2 m³. Alternativno, za drugo prečišćavanje može da služi i flotacijska mašina (poz. 2270) istih karakteristika kao mašina (poz. 1270).

Otok flotacijske mašine (poz. 1270) gravitacijski se uvodi u pumpu (poz. 435), preko koje se vraća na čelo prvog prečišćavanja.

III prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

Koncentrat II prečišćavanja sa mašine (poz. 1270) ili alternativno sa mašine (poz. 2270), preko muljne pumpe (poz. 3241 AB) uvodi se u flotacijsku mašinu (poz. 1270) - drugi deo - sa dve komore, ukupne zapremine maštine 5,6 m³, na treće prečišćavanje.

Tabela 1. Određeni parametri proračuna

			12C	14B	9C	6C	2D	12B	15B	9B	6B	
6	Gustina čvrste faze	γ_c	t/m ³	3,521	3,414	3,650	3,950	3,579	3,552	3,417	3,650	3,950
11	Zapreminski protok pulpe	V_p	m ³ /h	229,36	436,81	48,04	5,51	1152,3	228,54	16,86	48,65	6,74
13	Gustina pulpe	γ_p	t/m ³	1,037	1,027	1,063	1,354	1,097	1,047	1,076	1,086	1,354
15	Naziv prečnik	NV	mm	150	200	150	200	400	300	100	300	200
16	Prečnik cevi	D	mm	150	207	150	207	399	309	100	309	207
17	Poprečni presek	A	m ²	0,017	0,033	0,017	0,033	0,125	0,075	0,007	0,075	0,034
18	Zapreminski protok pulpe	q	m ³ /s	0,064	0,12	0,013	15·10 ⁻⁴	0,32	0,063	46·10 ⁻⁴	0,085	18·10 ⁻⁴
20	Srednji prečnik zrna	d	mm	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
23	Visina dizanja	H	m	10	10	10	10	12	14	17	14	10
24	Dužina cevovoda	L	m	60	100	40	33	150	70	106	50	33
25	Pumpe za hidromešavinu	poz.		2240 ili 3240	421A i B	420C	3241C	340AB	435AB	345	420AB	3241AB

Brzina taloženja čestica:

$$W = 506 \cdot d^{3/2} (\gamma_c - 1)^{5/6} = \\ = 506 \cdot 0,006^{1,5} (3,521 - 1)^{0,83} = \\ = 0,235 \cdot 2,154 = 0,5 \text{ cm/sec} = \\ = 0,005 \text{ m/sec.}$$

Kritična brzina strujanja pulpe:

Koncentrat trećeg prečišćavanja je definitivni koncentrat flotiranja bakra sa plemenitim metalima i on se preko pumpe (poz. 280) transportuje na filtražu bakra, dok se otok flotacijske mašine (poz. 1270 ili 2270), drugi deo sa dve komore, gravitacijski vraća na čelo drugog prečišćavanja.

PRORAČUNI, FLOTIRANJE NA C-SEKCIJI

I prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

2. Osnovni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 1230 A) i kontrolni koncentrat sa flotacijske mašine (poz. 1230 B) spajaju se i preko **muljne pumpe (poz. 2240)** ili **alternativno (poz. 3240)**, transportuju na prvo prečišćavanje koncentrata u flotacijsku mašinu (poz. 3330), ili alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 2330).

$$V_{kr} = 9,8 \cdot \sqrt[3]{D} \cdot \sqrt[4]{W} \cdot (\gamma_p - 0,4) = \\ = 9,8 \sqrt[3]{0,15} \cdot \sqrt[4]{0,005} \cdot (1,037 - 0,4) = \\ = 0,88 \text{ m/sec}$$

Brzina strujanja kroz cevovod:

$$V_{stv} = \frac{q}{A} = \frac{0,064}{0,017} = 3,76 \text{ m/sec; } \rightarrow V_{stv} > V_{kr}$$

Koeficijent trenja

$$\lambda = \frac{I}{\left(2 \log \frac{D}{k} + 1,14\right)^2} =$$

$$= \frac{I}{\left(2 \log \frac{150}{0,15} + 1,14\right)^2} = 0,019$$

$k = 0,15 \text{ mm}$ – veličina neravnina na zidovima cevi

Otpori u cevovodu za čistu vodu:

$$i_0 = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{0,019}{0,15} \cdot \frac{3,76^2}{2 \cdot 9,81} =$$

$$= 0,09 \text{ m/m}$$

Otpori u cevovodu:

$$i_{kr} = 0,73 \cdot \gamma_p \cdot \sqrt{\gamma_p - 1} \cdot \frac{\sqrt{W}}{\sqrt[3]{g \cdot D}} =$$

$$= 0,73 \cdot 1,037 \cdot \sqrt{1,073 - 1} \cdot \frac{\sqrt{0,005}}{\sqrt[3]{g \cdot 0,15}} =$$

$$= \frac{0,2 \cdot 0,07}{1,135} = 0,0123 \text{ m/m}$$

- Izračunavanje jediničnog pada pritiska u cevovodu:

$$i = i_0 + \left(i_{kr} - i_0 \left(\frac{V_{kr}}{V_{stv}} \right)^2 \right) \sqrt[4]{\frac{V_{kr}}{V_{stv}}} =$$

$$= 0,09 + \left(0,012 - 0,09 \left(\frac{0,88}{3,76} \right)^2 \right) \sqrt[4]{\frac{0,88}{3,76}} =$$

$$= 0,095 \text{ m/m}$$

Otpor u krivinama, broj krivina 4, ekvivalentana dužina $I' = 4 \cdot 5 = 20 \text{ m}$

- Ukupna visina (napor pumpe) "H_{uk}"

$$H_{uk} = H_{geod} + H_{gub} + H_p =$$

$$= 10 + (60 + 20) 0,1 = 17,8 \text{ m},$$

$$\text{usvajam } H_{uk} = 18 \text{ m}$$

$$Qp = 229,36 \text{ m}^3/\text{h} = 63,7 \text{ l/sec}$$

- Za ove vrednosti odgovara postojeća horizontalna pumpa za hidromešavinu
- HPHZ 200/150-poz.2240B ili HPHZ 125/100-poz.3240A
- Snaga elektromotora za pogon pumpe

$$N = \frac{Q_p \cdot H_{uk} \cdot \gamma_p}{102 \cdot \eta_p \cdot \eta_e} \cdot 1,2 =$$

$$= \frac{63,7 \cdot 18 \cdot 1,037}{102 \cdot 0,65 \cdot 0,925} \cdot 1,2 = 23 \text{ kW}$$

Usvaja se standardni motor N=55kW koji je sada postojeći na poz.2240 ili na poz.3240

- Broj obrtaja pumpa n_p=830 obr/min
- Broj obrtaja motora n_{mot}=1480 obr/min
- Prenosni odnos remenice:

$$u = \frac{n_{mot}}{n_p} = \frac{1480}{830} = 1,78$$

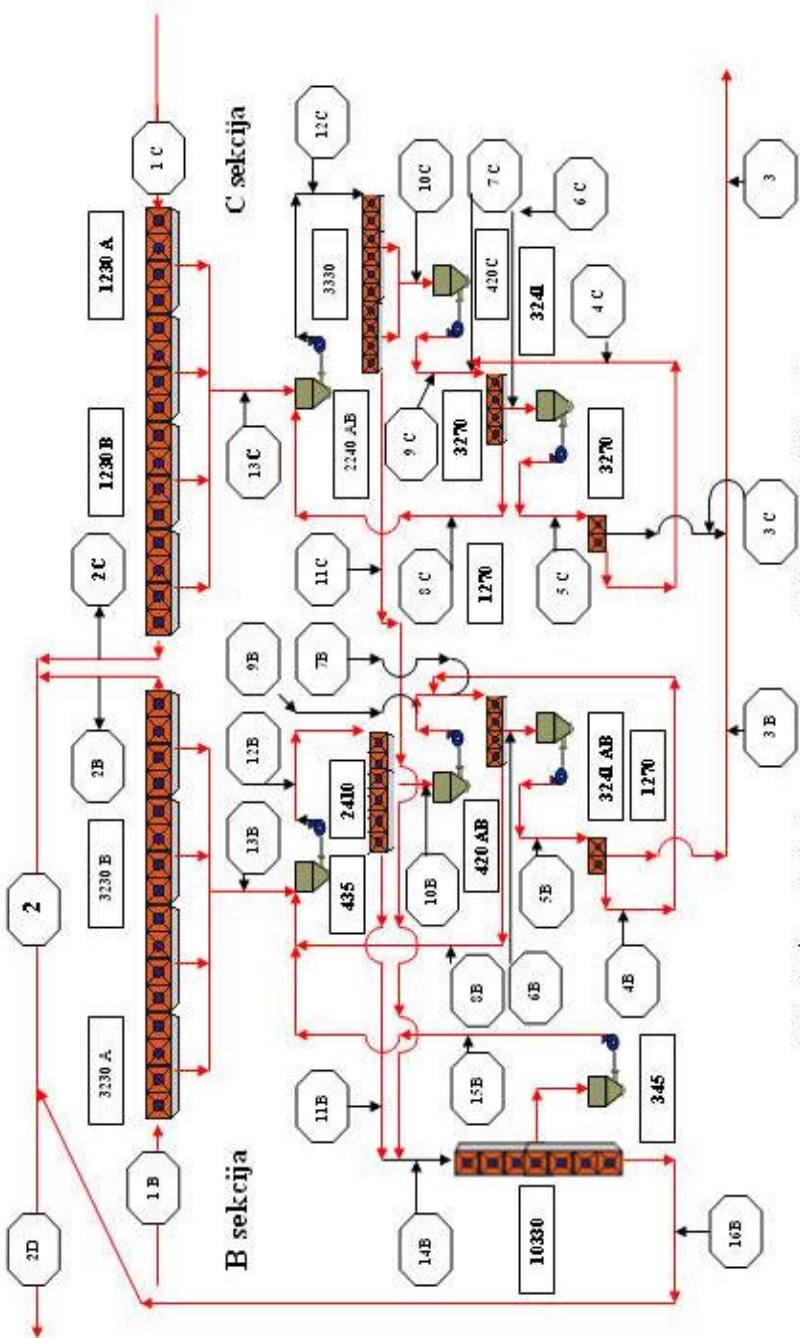
- **Muljna pumpa poz. 2240 ili poz. 3240**

- **Proizvođač: FOD-Bor**

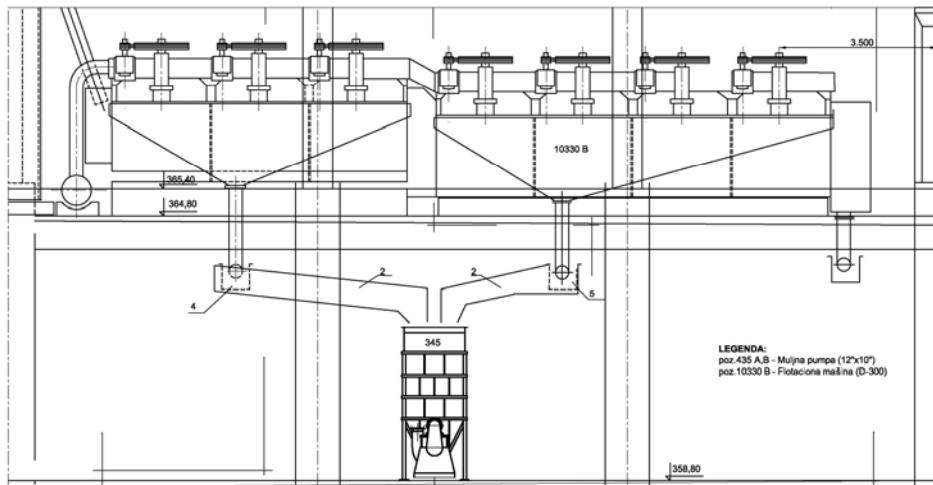
Tip: HPHZ 200x150 (8"x6")

- Protok pulpe 100-400 m³ / h
- Napor pumpe 10-22 m
- Broj obrtaja 840 °/min
- **Motor: "SEVER"- Subotica**
- Snaga 55 kW
- Broj obrtaja 1500 °/min

Takođe, su verifikovane i ostale pumpe za hidromešavinu sa cevovodima, ovde je dat prikaz proračuna samo za jednu poziciju.



Sl. 1. Šema kretanja masa u osnovnom flotiranju i prečišćavanju



Sl.2. Dipozicija opreme u flotaciji –Presek “A-A”-

Produceno flotiranje otoka I prečistača

1. Otok I prečistača iz flotacijske mašine (poz. 3330) se preko **muljne pumpe - tip: HPHZ 250 X 200 (10''X 8'') i tip: HPHZ 200x150 (8''x 6'')** (poz. 421 AB) transportuje na produženo flotiranje u flotacijsku mašinu „Denver“, (poz. 10330 A) ili, alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 10330 B).

II prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

2. Prvi put prečišćeni osnovni i kontrolni koncentrat u flotacijskoj mašini (poz. 3330) spaja se sa svih 10 komora i preko **muljne pumpe tip: HPHZ 200x150 (8''x 6'')** (poz. 420C) transportuje na drugo prečišćavanje u flotacijsku mašinu (poz. 3270)

III prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

3. Koncentrat II prečišćavanja sa mašine (poz. 3270) ili, alternativno, sa mašine (poz. 430), preko **muljne pumpe tip: HPHZ 125x100 (5''x 4'')** (poz. 3241 C) uvodi se u flotacijsku mašinu (poz. 3270)

4. Otok flotacijske mašine (poz. 10330 A) ili, alternativno, (poz. 10330 B), koja služi za produženo flotiranje otoka I prečišćavanja, predstavlja definitivnu flotacijsku jalovinu i transportuje se preko **muljnih pumpi tip: HPHZ 300 X 250 (12''X 10'') poz. 340** u zgušnjivače 6, 7 i 8.

5. Koncentrat flotacijske mašine (poz. 10330 A) ili, alternativno, (poz. 10330 B), preko **muljnih pumpi tip: HPHZ 300 X 250 (12''X 10'') (poz. 345 i 435)** transportuje se u flotacijsku mašinu (poz. 2410) ili, alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 3410).

6. Koncentrat flotacijske mašine (poz. 10330 A) ili, alternativno, (poz. 10330 B), preko **muljnih pumpi tip: HPHZ 125x100 (5''x 4'')** (poz. 345 i 435) transportuje se u flotacijsku mašinu (poz. 2410) ili, alternativno, u flotacijsku mašinu (poz. 3410)

7. Koncentrat flotacijske mašine (poz. 2410 ili 3410) preko **muljne pumpe tip: HPHZ 300 X 250 (12''X 10'')** (poz. 420

AB) uključuje se na čelo drugog prečišćavanja koncentrata sa sekције B, u flotacijsku mašinu (poz. 1270) ili, alternativno, u mašinu (poz. 2270).

FLOTIRANJE NA B SEKCIJI

III prečišćavanje osnovnog koncentrata bakra

8. Koncentrat II prečišćavanja sa mašine (poz. 1270) ili, alternativno sa mašine (poz. 2270), preko **muljne pumpe tip: HPHZ 200 X 150 (8 "X 6 ") (poz. 3241 AB)** uvodi se u flotacijsku mašinu (poz. 1270)

Takođe su verifikovane i ostale pumpe za hidromešavunu sa cevovodima, ali to u ovom radu nije dato.

ZAKLJUČAK

Na osnovu dosadašnjih saznanja i uhoodavanja postrojenja za tretiranje

topioničke šljake može se reći da je u uslovima kontinuirane proizvodnje predložena i instalisana oprema opravdala očekivanja zadata projektom.

Testiranje odnosno procena kvaliteta opreme vršena je sa topioničkom šljakom iz Topionice Bor i shodno tome izvršena su neophodna tehnološka prilagodavanja jer se instalisana oprema ranije koristila za druge polazne materijale.

LITERATURA

1. Zakon o izgradnji objekata, (Sl. Glasnik R. Srbije 84/2003).
2. Zakon o bezbednosti i zaštiti na radu, (Sl. Glasnik RS br.101/2005).
3. Postojeća tehnička dokumentacija i ostala literature.

UDK: 621.967.2:622.7(045)=861

*Zoran Ilić, Branislav Rajković, Oliver Dimitrijević**

**VERIFIKACIJA POSTOJEĆE MAŠINSKE OPREME
(TRAKASTIH TRANSPORTERA) U PROCESU MLEVENJA I
KLASIRANJA ŠLJAKE U POGONIMA BORSKE FLOTACIJE**

**VERIFICATION OF THE EXISTING MECHANICAL EQUIPMENT
(BELT CONVEYORS) IN THE PROCESS OF SLAG GRINDING AND
SIZING IN THE FLOTATION PLANTS IN BOR**

Izvod

U procesu prerade topioničke šljake kao otpadne sirovine u Rudniku bakra Bor, koja poseduje specifične karakteristike, kako fizičke tako i hemijske, koristi se mašinska oprema projektovana za transport i preradu rude bakra.

U ovom radu istražena je mogućnost iskorišćenja tehničko-tehnoloških karakteristika postojeće mašinske opreme, odnosno linija trakastih transporterata za prevoz ove vrste materijala u procesu mlevenja i klasiranja šljake u pogonima Flotacije u Boru.

Ključne reči: topionička šljaka, bakar, flotacija, trakasti transporter

Abstract

The existing mechanical equipment, designed for transport and processing of copper ore, is used in the process of smelter slag processing as the waste raw material in the Copper Mines Bor, that its specific characteristics, both physical and chemical.

This works presents the investigated possibility for recovery the technical-technological characteristics of the existing mechanical equipment, that is a line of belt conveyors for transport of this material type in the process of slag grinding and sizing in the Flotation Plants in Bor.

Key words: smelter slag, copper, flotation, belt conveyor

* Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

UVOD

Zbog sve naglašenije potrebe za dragocenom strateškom sirovinom čija cena poslednjih godina na svetskoj berzi metala rapidno raste, a zbog sve siromasnijih ležišta i nalazišta u svetu, pa i kod nas, započelo se sa traženjem rešenja za dobijanje bakra iz otpadnih sirovina.

U Boru je posebna pažnja usmerena na preradu topioničke šljake nastale tokom višegodišnje nepotpune iskorišćenosti rude bakra u tehnološkim procesima, a neki bi rekli i zbog loše iskazanih normativa u vremenima koja su daleko iza nas. Naime, norma čas je bio izražen u tonama izlivenog bakrenca, te je u cilju ostvarivanja što boljih proizvodnih rezultata, a zbog uskog grla u proizvodnji i nemogućnosti prerade, izlivena veća količina čistog bakrenca na deponijama šljake.

Bilo na ovakav ili onakav način, tek ukupne zalihe šljake smeštene na deponiji, a nastale nakon vekovne eksploatacije i prerade rude bakra na prostorima borskog basena procenjene su na oko sedamnaest miliona tona. Treba uzeti u obzir da se i daljom preradom rude bakra dobija oko tona šljake dnevno, da je sadržaj bakra

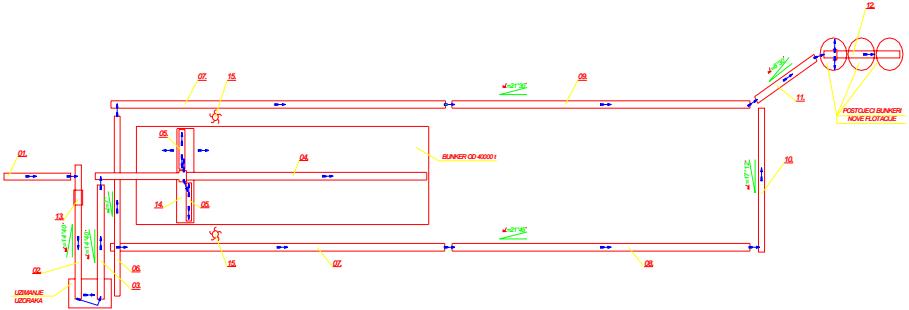
(0,6-0,8)%; zlata 0,4 g/t; srebra 7,5 g/t; visinu cene na svetskoj berzi metala i plemenitih metala, te da je to već gotova polazna sirovina, uticaj na ekološke i druge aspekte, posedovanje pogonskih objekata i izvesne opreme za preradu itd.

Pritom naravno, ne zanemarujući i određenu problematiku u proizvodnom procesu, smatra se da postoji ekonomski opravdanost u preradi ove vrste sirovine.

Jedan od zadatka iz okvira problematike u proizvodnom procesu, a što je i tema ovog rada, jeste i analiza postojećih trakastih transporteru u procesu mlevenja i klasiranja šljake. Analiza u smislu, provere kapaciteta, performansi i tehničkih karakteristika radi postojeće opreme koja je projektovana za preradu bakarne rude zadovoljenja potreba prerade šljake od 1.200.000 tona godišnje nivou postojeće

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Šema trakastih transporteru uključenih u proces mlevenja i klasiranja šljake u pogonima Flotacije u Boru data je na sl.1. Od pogona sekundarnog i tercijarnog jamskog drobljenja do bunkera nove flotacije.



Sl. 1. Šema trakastih transporterera

LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 01. Horizontalni transporter $Q=1400 \text{ t/h}$ | 09. Kosi transporter $Q=500 \text{ t/h}$ |
| 02. Kosi transporter $Q=1400 \text{ t/h}$ | 10. Kosi transporter $Q=850 \text{ t/h}$ |
| 03. Kosi transporter $Q=1400 \text{ t/h}$ | 11. Kosi transporter $Q=1000 \text{ t/h}$ |
| 04. Horizontalni transporter $Q=1400 \text{ t/h}$ | 12. Horizontalni transporter $Q=1000 \text{ t/h}$ |
| 05. Horizontalno-reverzibilni transporter $Q=850 \text{ t/h}$ | 13. Automat.vaga za merenje rude |
| 06. Kosi transporter $Q=70 \text{ t/h}$ | 14. Pokretni transportni most |
| 07. Horizontalni kosi transporter $Q=850 \text{ t/h}$ | 15. Rotacioni dodavač rude |
| 08. Kosi transporter $Q=500 \text{ t/h}$ | |

PRORAČUN TRAKASTOG TRANSPORTERA (POZ.7.1 I 7.2)

Oba transporterera su istovetnih karakteristika

• Polazni podaci

- proizvođač: „Arsenije Spasić“,
- kapacitet: $Q=850 \left[\frac{\text{t}}{\text{h}} \right]$,
- vrsta materijala: izdrobljena šljaka,
- krupnoća: GGK=12 [mm],

- nasipna gustina: $\rho = 2210 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$,
- dužina transporta: $L=129,8 \text{ [m]}$,
- ugao nagiba transporterera: $\beta = 13^\circ$,
- visina dizanja materijala na traci: $H=3 \text{ [m]}$,
- brzina trake: $v = 1,54 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$,
- prenosni odnos reduktora: $i = 40$ (tip KHT-65 „14.OKTOBAR“),
- snaga elektromotora $P = 37 \text{ [kW]}$,

- broj obrtaja elektromotora
 $n = 1500 \text{ [min}^{-1}\text{]},$
- tip trake 800/6 EP 160 5/2,
- širina trake $b = 800 \text{ [mm]},$
- dimenzije pogonskog doboša $\varnothing 800 \times 950$ (tip A),
- dimenzije povratnog doboša $\varnothing 630 \times 950$ (tip C),
- dimenzije zateznog doboša $\varnothing 630 \times 950$ (tip C),
- dimenzije otklonskih doboša $\varnothing 320 \times 950$ (tip B),
- ugao prirodnog pada materijala u kretanju $\varphi = 15^\circ$,
- ugao nagiba bočnih nosećih rolni $\lambda = 20^\circ$,
- projektovani kapacitet za rudu bakra $Q = 700 \left[\frac{t}{h} \right],$
- Stvarna brzina transportne trake:

$$v = \frac{D_{pog} \cdot \pi \cdot n_{iz}}{60} = \frac{0,8 \cdot \pi \cdot 37,5}{60} \left[\frac{m}{s} \right] = \\ = 1,57 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$n_{iz} = \frac{n_{EM}}{i} = \frac{1500}{40} \left[\text{min}^{-1} \right] = 37,5 \left[\text{min}^{-1} \right]$$

- **Površina preseka materijala na traci**

$$A = \frac{I}{k_1 \cdot k_2} \cdot \frac{Q}{3600 \cdot \rho \cdot v} = \\ = \frac{I}{0,9 \cdot 0,87} \cdot \frac{330}{3600 \cdot 2,21 \cdot 1,54} \left[m^2 \right] = \\ = 0,0337 \left[m^2 \right]$$

- $k_1 = 0,9$ - koeficijent smanjenja teorijskog kapaciteta zbog neravnomernog i nepotpunog nasipanja

- $k_2 = 0,87$ - koeficijent smanjenja kapaciteta zbog nagiba transporterata za $\beta = 17^\circ$

- **Aktivna širina trake:**

$$b_I = \sqrt{\frac{A \cdot 3600}{f}} = \sqrt{\frac{0,0337 \cdot 3600}{465}} \left[m \right] \\ = 0,51 \left[m \right]$$

- $f = 465$ - faktor oblika preseka nasipa za $\varphi = 15^\circ$ i $\lambda = 20^\circ$

- **Stvarna širina trake:**

$$b \geq \frac{b_I + 0,05}{0,9} = \frac{0,51 + 0,05}{0,9} \left[m \right] = 0,622 \left[m \right]$$

- Postojeća traka širine $b = 800 \text{ [mm]}$ zadovoljava u pogledu kapaciteta i krupnoće materijala prema JUS M.D2.050.

- **Snaga za pogon transporterata.**

- **Obodna sila na pogonskom bubnju.**

$$F_{bo} = c \cdot t \cdot L \cdot \left(G_t + \frac{G}{3600 \cdot v} \right) + \\ + \frac{G \cdot H}{3600 \cdot v}$$

$$F_{bo} = 1,53 \cdot 0,025 \cdot 129,8 \cdot \\ \cdot \left(0,8 + \frac{3237,3}{3600 \cdot 1,57} \right) + \\ + \frac{3237,3 \cdot 3}{3600 \cdot 1,57} \left[kN \right] = 8,5 \left[kN \right]$$

- Težina na 1h transportovanog materijala:

$$G = Q \cdot g = 330 \cdot 9,81 \left[\frac{kN}{h} \right] = \\ = 3237,3 \left[\frac{kN}{h} \right]$$

- Faktor povećanja vučne sile koji uzima u obzir sporedne otpore u pogonu transportera za
- $L = 129,8 \text{ [m]}$
- $c = 1,53$
- Koeficijent trenja za teške uslove rada:
- $t = 0,025$
- Težina pokretnih delova transportera (trake, bubnjeva i valjaka) na 1m dužine nošenja trake:

$$G_t = 0,8 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

- Visina dizanja tereta na traci:
 $H = 3 \text{ [m]}$
- Brzina trake:

$$\nu = 1,57 \left[\frac{m}{s} \right].$$

- Dužina nošenja trake:
 $L = 129,8 \text{ [m]}.$

- **Potrebna snaga na vratilu pogonskog doboša**

$$P_{bo} = F_{bo} \cdot \nu = 8,5 \cdot 1,57 \text{ [kW]} = 13,345 \text{ [kW]}$$

- **Efektivna snaga na vratilu doboša**

$$P_{ef} = P_{bo} + P_d + P_v = 13,345 + 2 + 10,38 \text{ [kW]} = 15,104 \text{ [kW]}$$

- **Dodatna snaga za čistač trake:**

$$P_d = 1,6 \cdot b \cdot \nu \cdot n = 1,6 \cdot 0,8 \cdot 1,57 \cdot 1 \text{ [kW]} = 2 \text{ [kW]}$$

- **Dodatna snaga za savlađivanje otpora trenja na vodicama na mestu usipnog koša:**

$$P_v = 0,08 \cdot L_b = 0,08 \cdot 129,8 \text{ [m]} = 10,38 \text{ [m]}$$

- **Snaga elektromotora:**

$$P_m = \frac{P_{ef}}{\eta} = \frac{25,725}{0,8} \text{ [kW]} = 32,15 \text{ [kW]}$$

- Stepen korisnosti mehaničkog prenosa pogona (od elektromotora do vratila pogonskog bubnja) $\eta = 0,8$
- Postojeći elektromotor snage PEM = 37 [kW] zadovoljava u pogledu snage.

- **Ukupna vučna sila na obodu pogonskog bubnja:**

$$F_b = \frac{P_{ef}}{\nu} = \frac{25,725}{1,57} \text{ [kN]} = 16,38 \text{ [kN]}$$

- **Vučna sila u traci:**

$$\begin{aligned} F_l &= F_t = F_b \cdot \left(I + \frac{I}{e^{\mu - \alpha_r} - 1} \right) = \\ &= 16,38 \cdot \left(I + \frac{I}{e^{0,15 \cdot 3,665} - 1} \right) \text{ [kN]} = \\ &= 38,65 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

- Koeficijent trenja između trake i pogonskog doboša $\mu = 0,15$
- Ugao obuhvata trake i doboša:
 $\alpha = 210^\circ$
- Ugao α u radijanima: $\alpha = 3,665 \text{ [rad]}$

- **Zatezna sila na silaznom ogranku trake:**

$$F_2 = F_t - F_b = 38,65 - 16,38 \text{ [kN]} = 22,28 \text{ [kN]}$$

- **Rezultujuća sila na pogonskom dobošu:**

$$F_r = \sqrt{F_l^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_l \cdot F_2}$$

$$\begin{aligned} F_r &= \sqrt{38,65^2 + 22,28^2 - 2 \cdot 38,65 \cdot 22,28 \cdot \cos 210^\circ} = \\ &= 59,0 \text{ [kN]} \end{aligned}$$

- Provera prečnika pogonskog doboša prema moći nošenja:

$$D = \frac{360 \cdot F_b}{p \cdot \pi \cdot \alpha \cdot b} = \\ = \frac{360 \cdot 16,38}{30 \cdot \pi \cdot 210 \cdot 0,8} [m] = 0,372 [m]$$

- Moć prenošenja sile sa bubnja na traku:

$$p = 30 \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$

- Provera prečnika pogonskog doboša prema broju umetaka trake

$$D \geq (0,125 \div 0,18) \cdot z = \\ = (0,125 \div 0,18) \cdot 6 [m] = 0,75 \div 1,08 [m]$$

- Snaga po broju obrtaja

$$s = \frac{P_{ef}}{n} = \frac{25,725}{34,6} \left[\frac{kW}{min^{-1}} \right] = \\ = 0,74 \left[\frac{kW}{min^{-1}} \right]$$

- Broj obrtaja pogonskog bubnja:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \\ = \frac{60 \cdot 1,45}{\pi \cdot 0,8} [min^{-1}] = 34,6 [min^{-1}]$$

Postojeći pogonski doboš dimenzija Ø800x950 tipa A zadovoljava po svim kriterijumima.

- Provera prečnika zateznog i povratnog doboša:

$$D_{zat} = D_{pov} \geq (0,1 \div 0,125) \cdot 6 [m] = \\ = 0,6 \div 0,75 [m]$$

Postojeći povratni i zatezni doboš dimenzija Ø630x950 tipa C zadovoljavaju.

$$D_{ot} \geq (0,08 \div 0,1) \cdot z = \\ = (0,08 \div 0,1) \cdot 6 [m] = 0,48 \div 0,6 [m]$$

Postojeći otklonski doboši dimenzija Ø320x950 ne zadovoljavaju i treba ih zameniti dobošima od φ(500÷600)mm.

- Provera izbora gumene trake.

- Broj umetaka od veštačkih vlakana:

$$z = \frac{11 \cdot F_t}{b \cdot \sigma_m} + I = \frac{11 \cdot 38,657}{0,8 \cdot 160} + I = 4,32$$

- Prekidna sila umetka:

$$\sigma_m = 160 \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Postojeća traka 800/6 EP160 5/2 zadovoljava u pogledu zatezne čvrstoće jer ima 6 umetaka.

Postupak računanja ostalih transporter je identičan.

Sračunate vrednosti ostalih transporter date su tabelarno.

Tabela 1.

	Zadati kapacitet	Dužina transp.	Širina trake	Brzina trake	Visina dizanja	Nagib trake	Snaga E.M.	Prenosni odnos red.	Tip trake
	Q(t/h)	L(m)	B(mm)	V(m/s)	H(m)	$\alpha(^{\circ})$	N(kW)	i	Fab.oznaka
7.1	330	129.8	800	1.45	3	13	37	40	800/6xEP-200-5/2
7.2	330	129.8	800	1.45	3	13	37	40	800/6xEP-200-5/2
8	330	141.2	800	1.85	3.5	21.45	160	40	800/6xEP-200-5/2
9	330	140.2	800	1.85	41.5	21.30	125	40	800/6xEP-200-5/2
10	330	5.7	800	1.65	1.7	17.21	12.5	31.5	800/6xEP-200-5/2
11	330	56	1000	1.85	8	8.30	75	35.5	1000/6xEP-250-5/2
12	330	53.3	1000	1.85	3.5	-	40	35.5	1000/6xEP-250-5/2
2015	0...90	3	1000	0...3	-	-	2.2	-	800/4xEP-200-4/2
3015	0...90	3	1000	0...3	-	-	2.2	-	800/4xEP-200-4/2
2020	0...250	23	800	1.65	-	-	-	-	
3020	0...250	23	800	1.65	-	-	-	-	

ZAKLJUČAK

Provera tehničko-tehnoloških karakteristika trakastih transporterera izvršena je u skladu sa važećim standardima i propisima za tu grupu mašina.

Svi navedeni transporteri u globalu zadovoljavaju predviđene projektovane kapacitete i mogu se koristiti za transport ove vrste materijala predviđene granulacije. Neophodno, ali trenutno ne i nužno, jeste da se kod prvog generalnog servisa zamene postojeći otklonski bubenjevi, novim-većeg prečnika.

Valjci, bubenjevi, zavrtnji za pričvršćivanje bubenjeva, uređaji za čišćenje, zatezna stanica i ostali delovi moraju se kontrolisati i održavati prema uputstvima koje je dao proizvođač, naročito u pogledu rokova i upotrebljenog materijala.

Sistem trakastih transporterera u procesu mlevenja i klasiranja šljake u pogonima Flotacije u Boru može se pustiti u trajni pogon tek nakon probnog rada, tehničkog pregleda i dobijanja dozvole za upotrebu objekta od nadležnog organa.

LITERATURA

1. Institut za bakar - Bor: Dopunski rudarski projekat – Tehnološki projekat izvedenog stanja postrojenja za preradu krečnjaka
2. Zvonimir Mitrović, mr Rodoljub Jovanović: Osnovna konцепција i tehnološki projekat
3. Sedamdeset pet godina basenskih flotacija 1929...2003.
4. N. Magdalinović: Priprema mineralnih sirovina
5. R. Borović: Transportne trake, Savremena administracija, Beograd, 1979 god.
6. D. Vitas - M.Trbojević: Mašinski elementi I, Naučna knjiga, Beograd, 1971 god.
7. D. Vitas - M.Trbojević: Mašinski elementi II, Naučna knjiga, Beograd, 1970 god.
8. S. Veriga: Mašinski elementi I, Mašinski fakultet, Beograd, 1973 god.
9. B. Kraut: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982 god.
10. E. F. Gobel, Dr Ing: Rubber Sprinas Desing, A.Halsted Press Book, NeW Jork, 1974 god.
11. M. Bogner i dr: Zbirka propisa u mašinstvu I, Građevinska knjiga, Beograd, 1983 god.
12. M. Bogner i dr: Zbirka propisa u mašinstvu II, Građevinska knjiga, Beograd, 1984 god.
13. Katalozi proizvođača opreme: Transportne trake "Arsenije Spasić" - Zaječar i dr.
14. JUS-Standardi: JUS M.D2.050; JUS M.D2.060

UDK: 621.65:622.26(045)=861

*Oliver Dimitrijević, Mr Bojan Drobnjaković, Zoran Stojanović**

**UGRADNJE KLIPNIH PUMPI SA MEMBRANAMA
U GLAVNOM POSTROJENJU ODVODNJAVANJA JAME
U XV HORIZONTU**

**MOUTING OF PISTON PUMPS WITH MEMBRANES INTO THE
MAIN PLANT FOR UNDERGROUND MINE DEWATERING
ON THE XV LEVEL**

Izvod

U radu je dat izbor lokacija pumpne hale sa postrojenjem klipno-memranskih pumpi, tako da se pumpe gravitaciono nalivaju direktno sa najniže tačke, novoizgrađene prihvatzne dvodelne vertikalne šahte, koja ima ulogu gravitacionog odvajača-taložne komore, na dnu, na početku predtaložnika, neodmuljeno vodom preko usisnog vodova.

Zato je kroz ovaj tehničko-mašinski projekat dato rešenje, detaljna obrada objekata i ugradnje postrojenja za odvodnjavanje muljevite vode.

Ključne reči: *klipno-memranskih pumpi, gravitaciono, vertikalne šahte, muljevite vode.*

Abstract

This work gives a selection of location for the pump hall the plant of piston-membrane pump such as the pumps have gravity feeding directly from the lowest point of the newly constructed acceptable two-part chute with a role of gravity separator-setting chamber on the bottom at the starting point of pre-sedimentation tank by slurry water over the suction line. Due to this, a solution and detail processing of facility and mounting of plant for dewatering the slurry water is given in this technical-mechanical projekt.

Key words: *piston-membrane pumps, gravity, vertical shutes, slurry water*

UVOD

Investitor RTB BOR-GRUPA D.O.O.
RBB BOR-u restrukturiranju, u okviru
Dopunskog rudarskog projekta ugradnje

klipnih pumpi sa membranama u glavnom postrojenju odvodnjavanja Jame u XV horizontu, a u skladu sa predviđenim rudarskim prostorijama za odvodnjavanje putem projektnog zadatka, izabira opremu

* Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

za odvodnjavanje sa kojom već raspolaže ili će nabaviti: pumpe, motori, cevovodi, ventili i dr. (dato u projektnom zadatku).

Glavno pumpno postrojenje za odvodnjavanje Jame na XV horizontu, tj kota na K-76, obavlja se centrifugalnim KSB-pumpama tipa HAK 150/8, protoka $Q=200 \text{ m}^3/\text{h}$, u građeno je pet pumpi i prirodnom pripremom vode taloženjem čvrste materije u predtaložnicima, vodosabirnicima i bunarima. Pumpe su povezane svaka sa po jednim cevovodom, tri su NV200 a dva su NV250, dužine oko 550 m, i pumpaju vodu kroz servisno okno na površinu, na kotu K+436. Čišćenje istaloženog mulja u objektima odvodnjavanja tehnički je složeno i skupo. Zato je kroz ovaj tehničko-mašinski projekat dato rešenje detaljna obrada objekata i ugradnje postrojenja za odvodnjavanje muljevite vode.

Osnovni parametri za projektovanje postrojenja su: normalni priliv vode $300 \text{ m}^3/\text{h}$, sadržaj čvrste materije u vodi 1,55%, geodetska visina pumpanja 600 m, vrednost Ph ispod 3, postojeći objekti glavnog odvodnjavanja i postrojenje centrifugalnih pumpi sa potisnim cevovodima.

Lokacija pumpne hale sa postrojenjem klipno-membranskih pumpi je na početku, ispod postojećih predtaložnika, na koti-92, tako da se pumpe gravitaciono nalivaju direktno sa najniže tačke novoizgrađene prihvratne dvodelne vertikalne šahte, koja ima ulogu gravitacionog odvajača-taložne komore, na dnu na početku predtaložnika, neodmuljenom vodom preko usisnog voda. Oba predtaložnika imaju funkciju rezervoara-akumulatora vode za normalan rad pumpi.

Postojeće objekte odvodnjavanja, pumpne kapacitete, potisne cevovode, energetska postrojenja i rudarske prostorije su optimalno iskorišćene i uklopljene u

jedinstven sistem odvodnjavanja sa potrebnim rezervnim kapacitetima.

Realizacija ovog tehničkog projekta, zbog ekonomskih mogućnosti investitora, projektovana je u dve faze i to:

Prva faza: izgradnja kompletnih rudarskih građevinskih objekata za dve klipno-membranske pumpe. Nabavka i ugradnja jedne klipne pumpe sa membranom kapaciteta ispumpavanja oko $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Rad pumpe sa punim kapacitetu na ispumpavanju muljevite jamske vode. Ispumpavanje ostatka odmuljene vode obavljće se preko postojećeg postrojenja sa centrifugalnim pumpama gde se utvrđuju i rezervni kapacitet.

Druga faza: Ugradnja druge klipne pumpe sa membranom. Ispumpavanje celokupnog normalnog pliliva jamske vode sa muljem preko klipno-membranskog postrojenja. Postrojenje sa centrifugalnim pumpama čini rezervni kapacitet i kapacitet za ispumpavanje povećanih priliva vode uz prethodno odmuljivanje.

Projektom je obrađeno:

Tehnički opis objekata i postrojenja sa proračunima i grafičkom dokumentacijom.

Lokacija, dimenzije pumpne hale, pristupnih prostorija, uskopa za potisni cevovod i veza sa taložnicima za usisni vod.

Dat je opis klipno-mebranske pumpe sa proračunima veličine kapaciteta, napora pumpe, snaga motora i dr.

Mašinski radovi na ugradnju i montaži postrojenja sa usisnim vodom.

Dat je izbor, proračun i montaža potisnog cevovoda sa armaturom cevovoda i spajanje sa postojećim potisnim cevovodima u postojočoj pupnoj hali na koti K-76.

Povremeno se prinudno, mehanički izdvaja mulj u predtaložnicima iz vode koja odlazi na postrojenje centrifugalnih pumpi i ispumpavanje preko klipno-membranske pumpe.

Dopremanje istaloženog mulja iz vodosabirnika i bunara centrifugalnog postrojenja, obavlja se muljno uronjenom pumpom MUP, zatim mobilnim elastičnim crevima NV75 i ispumpavanjem preko klipno-membranske pumpe.

Pumpno postrojenje radi automatski.

Snabdева se tehničkom vodom za ispiranje i komprimiranim vazduhom za rad pumpi.

Tehnički mašinski projekat, urađen je shodno projektnom zadatku, Investitor RBB, podlogama i rešenjima datim u rudarskom delu ovog projekta. Projekat je urađen prema važećim tehničkim propisima i pravilnicima o sadržini projekata.

ODVODNJAVANJE SA NIVOA XV HORIZONTA

Za odvodnjavanje XV horizonta predviđene su još dve klipne pumpe sa membranom tipa GEHO ZPM 800 duplex, visina bacanja 600 m, protoka od po 150 m³/h, sa elektromotorima snage od po 400 kW, sa odgovarajućom armaturom i cevovodima.

Pumpe se montiraju u pumpnoj sali na K-92 m i povezale bi se na cevovod NV200, dužine 1482 m, montiran u dve linije kroz servisni niskop sve do servisnog okna, odnosno postojeće pupne stanice na koti K-75, gde se priključuju na postojeće cevovode NV200 sve do uliva u kanal, na koti K+500, kriveljske flotacije za transport jalovine i slobodnim padom voda bi dospela do Kriveljskog jalovišta.

GEHO PUMPE su sa jednim osnovnim ciljem za odvod zamuljene vode pod pritiskom za najzahtevanija radna okruženja i pravilno odlaganje mulja. Pumpa je testirana od proizvođača, ofarbana i zaštićena. Pumpa je urađena u skladu sa međunarodno priznatim standardima, npr. DIN, kao i sa internim GEHO standa-

rdima. Voda sa muljem se pumpa kombinovanom hidrauličko-mehaničkom akcijom: klipova sa radilicama, kružnog toka tečnosti, dijafragmi i usisnih i ispusnih ventila. Dijafragme se izrađuju procesom „prethodnog modeliranja“ (oblikovanja), čime se eliminiše naknadni pritisak i dodatno naprezanje materijala pri rastezanju; rutinska zamena dijafragme je nakon 8.000 do 12.000 radnih sati. Pokretanje dijafragme reguliše centralna upravljačka poluga, čiji je pozicioni hod kontrolisan pri pokretanju u bilo kom smeru. Na ovaj način se obezbeđuje dodatna zaštita od preprenaprezanja dijafragme, a uklanjanjem cirkularne tečnosti (ukoliko je to neophodno), sprečava se pritisak same dijafragme na ispusne otvore. Cirkularna tečnost se dozira po potrebi i ima ulogu da sprečava istezanje dijafragme ili njeno udaranje o zadnji zid. Hod kontrolne/upravljačke poluge dijafragme se kontroliše pri svakoj operaciji pumpe. Da bi se sprečilo preveliko istezanje dijafragme do koga dolazi usled eventualnog nedostatka cirkulacione tečnosti, u dijafragmu se, posebnim postupkom vulkanizacije, ugrađuje potpuno odvojen/zaštićen granični disk.

Pumpa je opremljena dijagnostičkim/supervizornim kontrolnim panelom, PLC ima ulogu kontrole, indikovanja i započinjanja svih pumpnih operacija, kao i izvođenje svih logističkih, alarmirajućih i redosledom organizovanih funkcija. Ovakav kontrolni sistem omogućava operatoru kompletну inerciju u operacijama pumpe. Svako kućište dijafragme ima poklopac koji se lako podiže i ima ulogu automatskog fiksiranja dijafragme u okvir spojnice, po njenoj montaži. Jedini potrošni (neotporni na habanje) delovi pumpe su ventili, koji se lako održavaju. Korisniku je na raspolaganju veliki izbor različitih elastomera i dizajnerskih opcija koje optimiziraju radni vek ventila i

omogućavaju adaptaciju na reologiju mulja, njegove karakteristike i ponašanje.

U standarnu opremu pumpe spada i ispusni damper (prigušnica). Usisni stabilizatori mogu imati ulogu da povećaju raspoloživi NPSH ili obezbede stabilan dotok iz dovodnog mehanizma pumpe. Oni reduciraju variranje pritiska na centralnom uređaju za snabdevanje gasom; to opterećenje gasnog uređaja prisutno je pri indiciranju pritiska protokom ili akcelerativno, što se postiže komresijom nitrogena ili vazduha. Veličina prigušnice proporcionalna je mogućnostima pumpe, načinu rada i određenom/prepostavljenom variranju pritiska.

Pogon pumpe je pravilno zaštićen da bi se sprečila njegova kontaminacija iz okruženja. Antifricijski (protiv trenja) kuglični ležajevi omogućavaju da pumpa po potrebi radi sa veoma malom pulsacijom (hod klipa) kada je pritisak na ispustu maksimalan. Pumpa poseduje i interni sistem za smanjenje pritiska na cirkularnu tečnost, što štiti kućište dijaphragme od preteranog pritiska, a pogon od preopterećenja. Jeftini tipovi diskova se ne koriste za sprečavanje zastoja/isključenja uređaja.

Prodavac garantuje da će materijal odabran za konstrukciju delova pumpe, koji su vezani za sekciju sa vodom, odgovarati materijalu koja se pumpa, odnosno uzorku mulja koji je dat na testiranju i biti bez prisustva korozije.

Materijal koji se pumpa, jamska voda, pH mulja manje od 3, sadržaj čvrste materije 1,5-5%, ali može biti i do 23,3%.

Pumpa je fabrikovana da zadovoljava sledeće operativne zahteve: stalni kapacitet: $125 \text{ m}^3/\text{h}$, pritisak na ispustu mah:80 bara, rad: neprekidno, radni sati godišnje: 8.000 h.

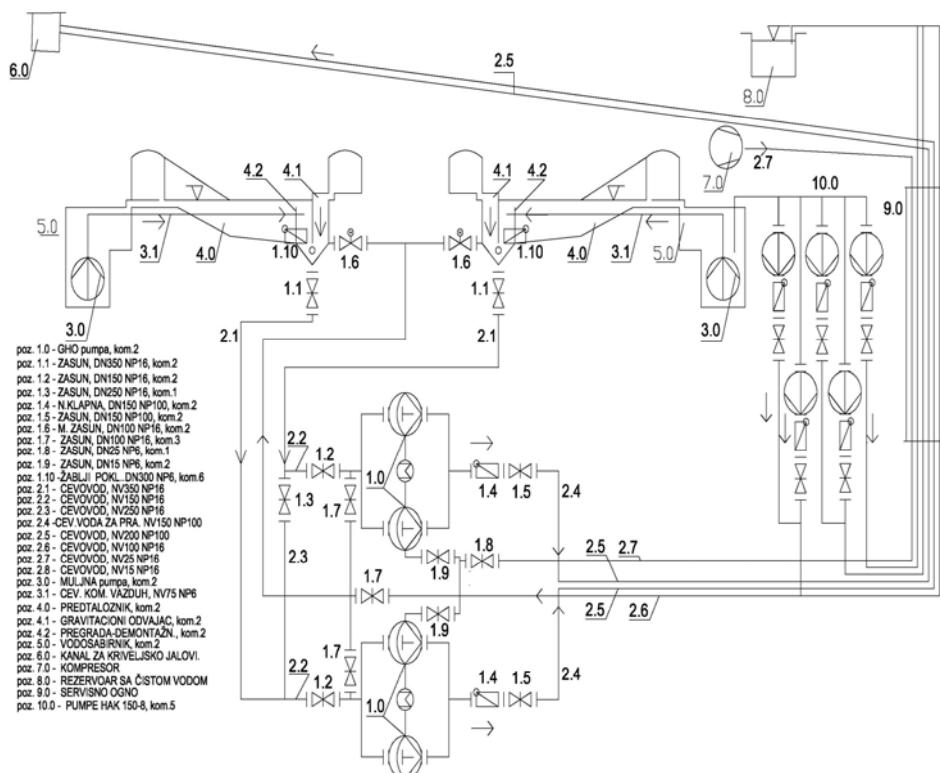
Pumpa zadovoljava sledeće zahteve u pogledu perfomansi: volumetrijska (zapreminska) produktivnost: 93 %, pulsacija (hod klipa): 79 spm, snaga pod mah pritiskom: 350 kW.

Pogon: liveni okvir pogona, sa zaptivkama za osovine i kontrolnim poklopцима, što obezbeđuje zaštitu od uticaja spoljnih uslova; zaštitna kutija za klipnu osovinu, što štiti lubrikant od zagađenja i onemogućava njegovo curenje; kompaktna konstrukcija sa pogonskim osovinama i ugrađenim jednostrukim helikoidnim preciznim zupčanicima; liveni klip na kugličnim ležajevima; anti frikcioni nosači/ležišta; krstaste glave sa zamenljivim vođicama; izduženja krtstastih glava/klipova konstruisanih u vidu sekcija, što omogućava jednostavnu zamenu klipova; ugrađeni sistem za lubrikaciju pod pritiskom, sa pritiskom kapaciteta 100% (motor snage 0,75 kW i jednostruki filter), poboljšan nezavisnim sistemom za lubrikaciju prskanjem.

Mokri delovi: mokri delovi konstruisani u segmentima, što omogućava uklanjanje i zamenu individualnih delova pri održavanju; samoaktivirajući, elastični (opružni) konusni ventili sa elastomerom i ležišta ventila veličine i od materijala koji minimiziraju habanje i abraziju prisutne pri radu sa abrazivnim muljem. Ležišta ventila su konusna, sa kontaktom površinom metal-na-metal i metal-na-elastične materijale. Kontakt metal-na-metal apsorbuje diferencijale visokog pritiska na ventilima. Zaptivni prsten se, pri radu, tare o konusni ventil, te je izložen abraziji i zamoru materijala izazvanim prisustvom muljevitih čestica na kontaktu površinu elastomera. Generalno, prsten koji je pohaban sa jedne strane, može biti okrenut i ponovo korišćen; kontrolni

pumni ventili, uobičajene veličine, montirani su individualno, i na način koji omogućava lak pristup pri održavanju; ležišta ventila su konvergentna (kupasta), što omogućava hidraulički ispust ulja pri zameni; uljno-hidraulički pritisak prisutan u jednom delu kućišta ventila omogućava lako i brzo održavanje ventila; dijafragme su preoblikovane (oblik i elastičnost postignuti prethodnom obradom), konturne i sa odgovarajućim navodnjenjem položaja, čime se od abrazije štite pokretni delovi

pumpe; kućišta dijafragmi su oblikovana tako da minimiziraju pritisak na područje priključnog prstena (spone), koji je i sam ugrađen tako da štiti od diskrapacija pritiska; košuljice cilindra i klipova su izrađene od materijala otpornih na habanje; klip uklizava u precizno izrađene košuljice cilindra, obložen 0,2 mm širokom oplatom od tvrdog hroma, što poboljšava zaštitu od habanja i omogućava manjefrekventnu zamenu.



PRORAČUNI

*Odvodnjavanje XV horizonta, K-75 m sa is-pumpavanjem kroz servisno okno na površini
Proračun prečnika cevovoda*

Usisni vod se sastoji od: zasun DN350, kolena NV350, dve T-račve NV350/250, dva reducira NV350/250, zasun DN250, reducir NV250/150, kolena NV150, pravolinijskih deonica: NV350 dužina $lu_1+lu_2=3,55+5,5=9,05$ m, NV250 dužina $lu_3=1,5$ m, NV150 dužina $lu_4=0,85$ m.

Potisni vod se sastoji od: nepovratne klapne DN150, zasuna DN150, kolena NV150-600, koleno NV150- 900-2 kom., prelazni komad NV150/200, pravolinijskih deonica: NV150 dužine $lp_1=0,5+2,3+0,8=3,6$ m, NV200 dužina $lp_2=$ m.

Predviđa se postavljanje potisnog cevovoda od dva paralelna cevovoda, za dve pumpe za paralelan rad. Šema cevovoda i dispozicija opreme data je u grafičkoj dokumentaciji.

Dužina usisnog cevovoda $lu=12,5$ m, a u njegovu armaturu ulaze: dva preijemna zasuna, dva kolena, dve T-račve i dva prelazna komada.

Dužina potisnog cevovoda je $lp = 3,6+270+512+700=1486$ m; njegova armatura je: jedana povratna klapna, jedan zasun, jedno proširenje i devet kolena.

Prečnik potisnog cevovoda računa se po obrascu:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 150}{\pi \cdot 3600 \cdot 1,3}} = 0,2 [m],$$

gde je:

$w = 1,3$ m/s, pretpostavljena brzina strujanja vode.

Na potisnom delu armatura je DN 150, brzina strujanja vode je:

$$w = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 150}{0,15^2 \cdot 3600 \cdot 3,14} = 2,35 [m/s]$$

Usvaja se prečnik $d_p = 150$ mm, pri kome je $W_p=2,35$ m/s

Prečnik usisnog cevovoda iznosi:

$$d_u = 0,0188 \sqrt{\frac{Q}{w}} = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{300}{0,86}} = 0,35 [m]$$

usvaja se $d_u = 350$ mm, pri kome je $w_n = 0,86$ m/s

Proračun manometarske visine ili napora pumpe

$$H_{man} = H_g + \sum gub$$

Keoficijent trenja λ zavisi od vrste strujanja fluida i karakteristike cevovoda. Vrstu strujanja definiše Rejnoldsov broj koji je određen izrazom:

$$Re = w \cdot D / v,$$

gde je:

D - (m) unutrašnji prečnik cevovoda,
 w -(m/s)srednja brzina protizanja,
 $v=1,06 \cdot 10^{-6}$ (m^2/s) kinematska viskoznost.

Za usisni cevovod:

$$Re = 0,86; 0,35 / 1,06 \cdot 10^{-6} = 2,8 \cdot 10^5$$

$$\begin{aligned} \lambda_n &= 0,0054 + \frac{0,396}{Re^{0,3}} = \\ &= 0,0054 + \frac{0,396}{280000^{0,3}} = 0,0145 \end{aligned}$$

Za potisni cevovod:

$$Re = 1,3 \cdot 0,2 / 1,06 \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot 10^5$$

$$\begin{aligned} \lambda_n &= 0,0054 + \frac{0,396}{Re^{0,3}} = \\ &= 0,0054 + \frac{0,396}{250000^{0,3}} = 0,0149 \end{aligned}$$

Gubici u cevovodu iznose:

$$\begin{aligned}
\Sigma gub &= \left(\lambda_n \frac{I_u}{d_g} + \Sigma \xi_{ui} \right) \frac{w_n^2}{2g} + \\
&+ \left(\lambda_p \frac{l_p}{d_p} + \Sigma \xi_{ip} \right) \frac{w_p^2}{2g} = \\
&= \left(0.015 \frac{12,5}{0,35} + 2,1 \right) \frac{0,86^2}{2 \cdot 9,81} + \\
&+ \left(0.015 \frac{1486}{0,2} + 5,85 \right) \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} = \\
&= 0,1 + 10 = 10,1m
\end{aligned}$$

$$\Sigma gib = 10,1 [m]$$

Ovde je:

$$\begin{aligned}
\Sigma \xi_{in} &= 0,1 + 0,2 + 1,4 + 0,05 + 0,1 + 0,05 + \\
&+ 0,2 = 2,1
\end{aligned}$$

Koeficijenti otpora za usisni vod su:
0,1-zasun DN350, 0,2-kolena NV350, 1,4-dve T-račve NV350/250, 0,05-dva reduciraju NV350/250, 0,1-zasun DN250, 0,05-reducir NV250/150, 0,2-kolena NV150, .

Ovde je:

$$\Sigma \xi_{ip} = 1,5 + 0,1 + 0,2 + 0,2 \cdot 15 + 0,05 + 1 = 5,85$$

Koeficijenti otpora za potisni vod su:
1,5-nepovratne klapne DN150, 0,1-

zasunana DN150, 0,2-kolena NV150-600, 0,2-koleno NV150-900-15 kom., 0,05-prelazni komad NV150/200, 1-zlaz.

Iz dijagrama za određivanje otpora proticanja $h_t = 1m/100 m$ pravih metalnih cevi, u zavisnosti od unutrašnjih prečnika cevovoda NV200 mm, srednje brzine strujanja $W = 1,3 m/s$ i protoka $Q = 150 m^3/h$. Očitana vrednost h_t treba pomnožiti sa 1,7
 $\Sigma gib = 1,7 \cdot 1m/100m \cdot 1486m = 25 [m]$

$$H_{nan} = H_g + \Sigma gub = 500 + 76 + 25 = 601 [m]$$

$$H_{man} = 601 (m)$$

Snaga pogonskog motora za pogon pumpi

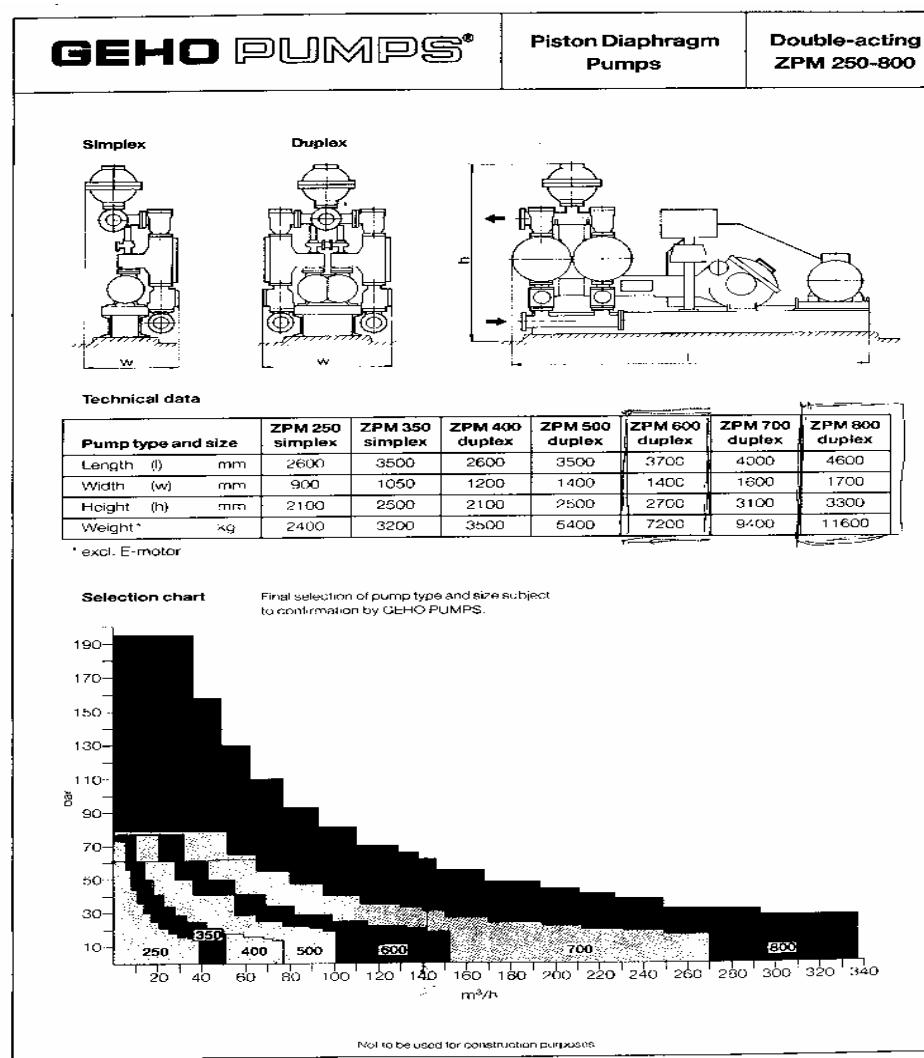
Snaga pogonskog motora iznosi:

$$N_m = \frac{Q_{pg} H_{man}}{1000 \eta_p} = \frac{150 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 601}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,7} = 351 [kW]$$

Usvaja se elektromotor sa: $N=400 kW$, $n=1488 \text{ } ^\circ/\text{min}$.

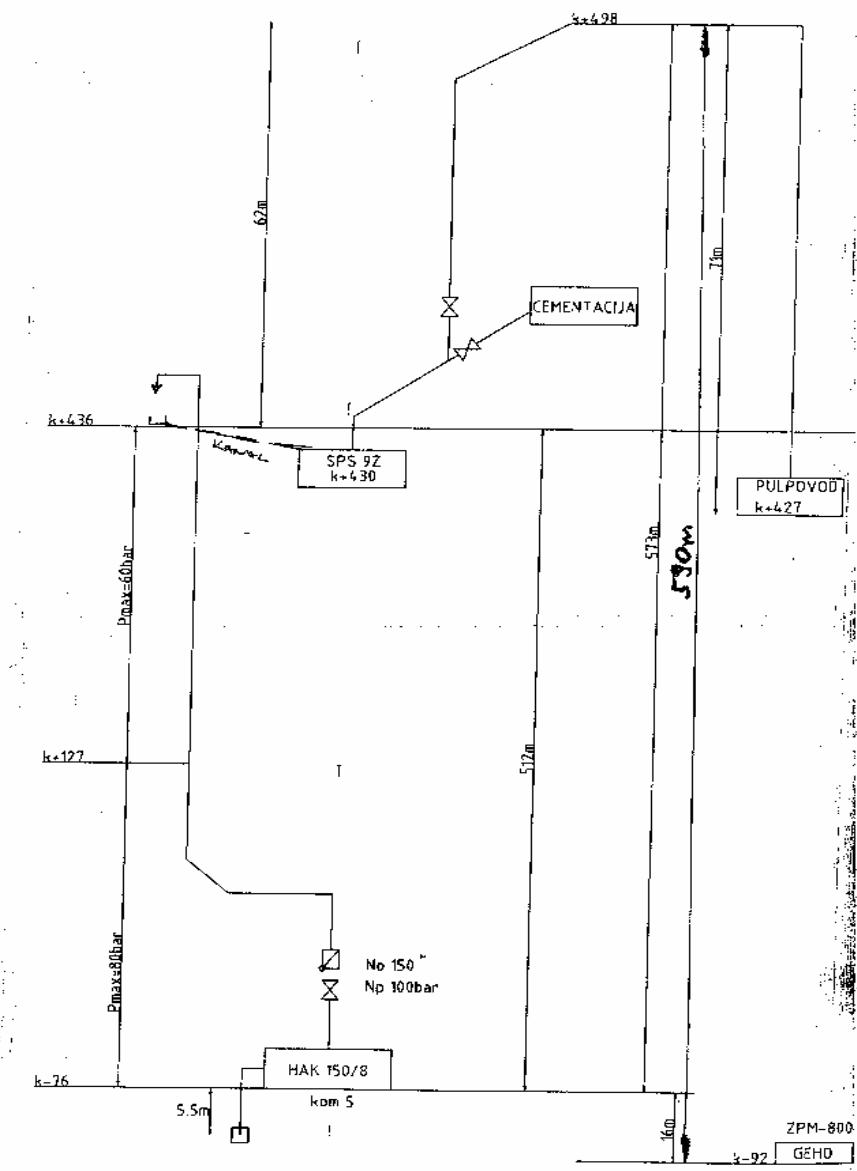
Koeficijent rezerve snage motora je:

$$k_m = \frac{N_{st}}{N_{pt}} = \frac{400}{351} = 1,13$$



Sl. 2. Geho pumpe

GEODETSKE VISINE PUMPANJA VODE IZ XV HORIZONTA



Sl. 3. Geodetske visine pumpanja vode sa XV horizonta

**PREDMER I PREDRAČUN OPREME SA UGRADNJOM ZA
PROJEKAT UGRADNJE GEHO PUMP**

Ukupno, PRVA FAZA GRADNJE	$103,8 \cdot 10^6$
Ukupno, DRUGA FAZA GRADNJE	$73,2 \cdot 10^6$

ZAKLJUČAK

GEHO PUMPE koriste se sa jednim osnovnim ciljem za odvod zamuljene vode pod pritiskom iz najzahtevanijih radnih okruženja i pravilno odlaganje mulja.

Prva faza: izgradnja kompletne rudarskih građevinskih objekata za dve klipno-membranske pumpe. Nabavka i ugradnja jedne klipne pumpe sa membranom, kapaciteta ispumpavanja oko $150 \text{ m}^3/\text{h}$. Rad pumpe sa punim kapacitetom na ispumpavanju muljevite jamske vode. Ispumpavanje ostatka odmuljene vode obavljaće se preko postojećeg postrojenja sa centrifugalnim pumpama, gde se utvrđuje i rezervni kapacitet.

LITERATURA

1. Priručnik za projektovanje pupnih postrojenja, niš 1995. god. Andelković Miloš.
2. Katalog firme Geho pumps.
3. Tehnološke operacije, mašinski fakultet beograd, 1974.god. Dr. ing. Dimitrije Voronjec.
4. Katalog elektromotora „Sever“- Subotica.
5. Katalog za armaturu AGH MIN-Gadžin Han.
6. Prospekti, katalozi, tehničke informacije i dr.
7. Glavni projekti odvodnja-vanja jame u boru i dr.

UDK: 622.271:622.235(045)=861

*Radoje Pantović**, *Lazar Kričak***

METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA UZROKA RAZLETANJA KOMADA STENE PRI MINIRANJU NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

METHODOLOGY OF THE DETERMINATION CAUSES OF THE FLYROCK AT BLASTING ON OPEN PITS

Izvod

Razletanje komada kamena najčešći je uzrok teških povreda i pogibija pri miniranju na površinskim kopovima. U ovom radu analiziran je uzorok razletanja i empirijskih postupaka za prognozu dometa letećih komada. Do razletanja dolazi usled neusklađenog odnosa između energije eksploziva i geomehaničkih svojstava stenske mase i preusmeravanja energije eksploziva ka zonama sa oslabljenim otporom.

Rešenja diferencijalnih jednačina kretanja komada kamena, kroz realnu sredinu – vazduh, mogu biti prikazana u obliku balističkih tablica. Polazeći od podataka datih u balističkim tablicama [4], korišćenjem odgovarajućeg algoritma, u programu Microsoft Excel, formirano je preko 200 trajektorija komada stene, za različite kombinacije početnih brzina, uglova izbacivanja i veličina letećih komada stene. Na osnovu analize dobijenih trajektorija utvrđeno je nekoliko značajnih zakonitosti razletanja, koje su prikazane na slikama 4, 5 i 6.

Empirijske zavisnosti između parametara miniranja i početne brzine izbacivanja komada kamena i utvrđene trajektorije komada, iskorišćene su za analizu uzroka razletanja komada pri masovnom miniranju na površinskom kopu andezita „Kamenica“.

Ključne reči: površinski kopovi, miniranje, razletanje komada, trajektorije, linija najmanjeg otpora

Abstract

During blasting on open pits, flyrock is the common cause of accidents resulting in hard injuries or even death. This paper analyses the causes of flyrock and empirical formulae for flyrock distance prognosis. Flyrock caused is often by disproportion between explosive energy and geo-mechanical properties of the surrounding rock mass and pre-distribution of explosive energy to undisturbed zone with decreased burden.

The solution of these differential equations should present in the form of ballistics tables. On basic this tables [4], using appropriate algorithm, in Microsoft Excel software, formed is over 200 trajectories for different combinations of the flying particle, impact velocity, impact angle. Based on analysis of this trajectory, determined are some significant conclusions, which are showing on figures 4, 5 and 6.

* Dr Radoje Pantović, dipl.inž.rud., Tehnički fakultet Bor

** Dr Lazar Kričak, dipl.inž.rud., Rudarsko-geolшки fakultet, Beograd

Empirical equations between blasting parameters and initial flyrock velocity, and define trajectories, are exploited especially to analysis of flyrock causes in case of blasting on „Kamenica“ quarry.

Key words: open pits, blasting, flyrock, trajectories, burden

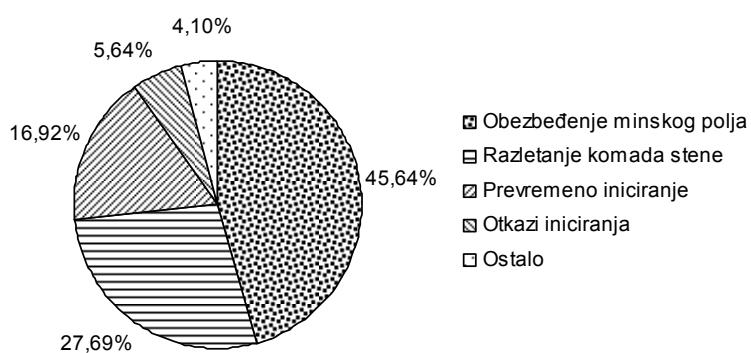
UVOD

Miniranje je operacija koju prate najveće opasnosti pri površinskoj eksploataciji mineralnih sirovina. Pri detonaciji eksplozivnih punjenja za vrlo kratko vreme oslobađa se velika količina energije, što dovodi do vrlo velikog pritiska na zidove bušotine, ekspanzije bušotine i prodiranja gasovitih produkata detonacije u pukotine miniranog stenskog masiva. Stenska masa se drobi i odbacuje sa etaže.

Uslovno se mogu izdvojiti dva tipa pokretanja stenske mase. Prvo je odbacivanje celokupne minirane stenske mase, uglavnom napred horizontalno, a drugo je razletanje pojedinačnih komada stene.

Kada dođe do velike lokalne koncentracije pritiska gasovitih produkata detonacije, razletanje komada stene je neizbežno.

Usled incidenata pri izvođenju miniranja na površinskim kopovima u SAD, u periodu 1978–2001. a godina, 45 osoba je poginulo, a 367 je povređeno [1]. Osnovni uzroci tih incidenata vezani su za: obezbeđenje zabrane pristupa u opasnu zonu minskog polja, razletanje komada stene, prevremeno iniciranje i otkazivanje iniciranja eksplozivnih punjenja. Na slici 1 prikazano je učešće pojedinih uzroka nesrećnih slučajeva pri izvođenju miniranja. Učešće prva dva uzroka u ukupnom broju incidenata koji su vezani za razletanje komada stene je dominantno (73,33 %).



Sl. 1. Uzroci incidenata pri miniranju na površinskim kopovima u periodu 1978–2001 godine [1]

UZROCI RAZLETANJA KOMADA STENE PRI MINIRANJU

Razletanje komada minirane stenske mase nastaje kada nema usklađenog

odnosa između energije eksplozivnog punjenja i otpora okružujuće stenske mase, odnosno kada postoji višak energije eksploziva za određenu liniju najmanjeg otpora, kada je čep neadekvatan ili kada se

gasoviti produkti detonacije vrlo brzo preusmere i probiju kroz geološki oslabljene zone. Do razletanja komada dolazi usled pogrešnog rasuđivanja pri projektovanju, nepovoljnih fizičko-mehaničkih i strukturnih karakteristika stena i grešaka pri izvođenju miniranja.

Razletanje komada može se javiti sa etažne kosine i sa gornje etažne ravni, odnosno iz zone čepa.

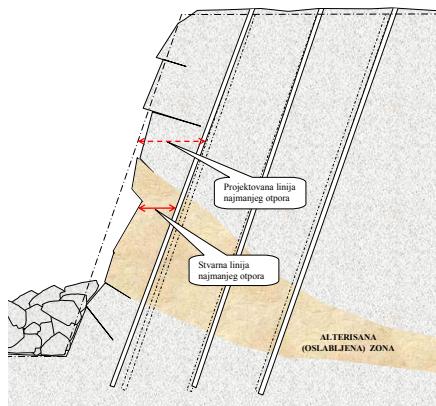
Faktori koji mogu dovesti do povećanog razletanja pojedinačnih komada stene mogu da se svrstaju u tri grupe: personalni, operativni i faktori stenske sredine [2].

Personalni faktori. Mineru su direktno odgovorni za posledice miniranja, zbog toga moraju biti obučeni prema odgovarajućim standardima. Analize nesreća nastalih usled razletanja komada ukazuju da je u 80÷90 % slučajeva uzrok bio ljudski faktor. U personalne faktore koji utiču na smanjenje sigurnosti miniranja spadaju:

- neadekvatni projekti i uputstva za izvođenje miniranja,
- nepravilno obučeni i uvežban personal koji izvodi miniranje,
- nejasne granice odgovornosti i nadzora nad procesom miniranja,

- zanemarivanje uputstava i pravila sigurnosti,
- loša procena opasnosti pre miniranja,
- nekorektan pregled položaja i punjenja bušotina i strukture stenskog masiva,
- nedovoljan broj radnika pri izvođenju miniranja,
- olako i brzo donošenje odluka, prekomerno samopouzdanje, rizikovanje i rutinski rad, nemar, napažnja, žurba, zamor, stres.

Nedovoljna linija najmanjeg otpora je jedan od osnovnih uzroka razletanja. Sa smanjenjem odnosa linije najmanjeg otpora prema prečniku bušotine ispod 20, naglo se povećava opasnost od razletanja komada stene. Stvarna (efektivna) linija najmanjeg otpora menja se po visini etaže i može biti i manja i veća od projektovane, što zavisi od odnosa realnih profila etažnih kosina i položaja minskih bušotina (Sl. 2). U zoni smanjene linije najmanjeg otpora olakšan je probor gasovitih produkata detonacije, čime se stvaraju preduslovi za pojačano razletanje. Nepotovareni deo stenske mase, u donjem delu etaže, može uticati na povećanje otpora pri podu, što primorava gasove da se probijaju ka slobodnoj površini u višim delovima etažne kosine.



Sl. 2. Ilustracija odnosa projektovanih (isprikidane linije) i stvarnih (pune linije) položaja bušotina i etažne kosine

Prekomerno punjenje bušotina eksplozivom predstavlja čest uzrok razletanja. Postojanje kaverni i šupljina može dovesti do povećanja lokalne koncentracije energije usled nagomiljanja eksploziva u njima.

Nekvalitetan i nedovoljan čep može dovesti do preranog probijanja gasova iz bušotine i razbacivanja komada stene kroz usta bušotine. Posebnu opasnost predstavljaju razlabavljeni komadi u zidovima bušotine ili slobodni komadi stene u čepu.

Kada je vreme usporenja pravilno izabrano pokrenuta stenska masa prethodnog reda služi kao zaštita od razletanja komada iz narednog reda bušotina. Ukoliko je to vreme preveliko ovaj zaštitni efekat se gubi.

Usled devijacije bušotina dolazi do smanjenja ili uvećanja linije najmanjeg otpora (Sl. 2). Smanjenje linije najmanjeg otpora i zbližavanje podnih delova susednih eksplozivnih punjenja dovodi do visoke lokalne koncentracije eksploziva, čime se uvećava opasnost od pojave razletanja komada.

Faktori stenske sredine. Otpornost stenskog masiva prema miniranju u istoj minskoj seriji varira od bušotine do bušotine. Nažalost, ovome se često ne poklanja potrebna pažnja. Strukturne anomalije u miniranom stenskom masivu (kaverne, pukotine, rasedi, slabи proslojci, mulj i mek materijal u osnovnoj steni, oštećenja i klizne površine, prevesci) dovode do neusklađenog odnosa između količine energije eksploziva i otpornosti stene prema miniranju i predstavljaju vrlo važan uzrok razletanja komada stena pri miniranju. Kroz oslabljene delove miniranog masiva gasovi se znatno lakše probijaju nego kroz ostali deo stenske mase. Kaverne su posebno opasne kada se koriste rasuti eksplozivi i kada se nađu u zoni prvog reda.

PROGNOZA DOMETA LETEĆIH KOMADA STENE

Domet letećih komada stene pri miniranju zavisi od njihove početne brzine i ugla izbacivanja, inercionih (veličine i gustine) i aerodinamičkih karakteristika (oblika i hrapavosti), topografije terena, vетра i drugih okolnosti koje mogu imati čisto slučajni karakter. Zbog toga je razloga, znatan rizik da prognozirani domet letećih komada pri svakom miniranju bude premašen.

Empirijski postupci prognoze dometa

Na bazi terenskih istraživanja i eksperimenata koja je izvršilo SveDeFo (Swedish Detonic Research Foundation) utvrđen je izraz za prognozu najvećeg dometa komada i optimalne veličine letećeg komada, pri izbacivanju komada iz etažne kosine. Pri ostalim jednakim uslovima najveći domet dostiže komad optimalne veličine. Za specifičnu potrošnju veću od $0,2 \text{ kg/m}^3$, domet letećih komada stene (L) iznosi [3]:

a optimalni srednji prečnik letećih komada (ϕ), pri kome se postiže najveći domet, može se odrediti po izrazu:

gde je:

q – specifična potrošnja eksploziva (kg/m^3),

d – prečnik bušotine (inča).

U slučaju miniranja sa smanjenom linijom najmanjeg otpora ili čepom bušotine, komad optimalne veličine može biti odbačen na maksimalno rastojanje (L_{max}) od:

Maksimalni domet komada postiže se kada je odnos linije najmanjeg otpora i prečnika bušotine u opsegu 9 ÷13. Iza ovog rastojanja verovatnoća pogibije je manja od verovatnoće pogibije od udara groma u toku od 10 godina. Dakle, iza je „sigurna“ zona.

Prema rezultatima istraživanja, koja je obavio Lundborg, pri rastojanjima preko $200 \div 300$ m, oblik i veličina komada imaju poseban značaj za maksimalni domet, dok inercija komada i otpor vazduha imaju značaj na čitavoj putanji letećeg komada. Normalni opseg brzina komada odminirane stenske mase je $10 \div 30$ m/s, pri čemu ne dolazi do pojave letećih komada. Kod većine incidenata sa razletanjem komada početna brzina je iznosila 100 m/s i više. Početna brzina komada stene (vo) iz stenskog masiva u najvećoj meri zavisi od mase eksplozivnog punjenja i linije najmanjeg otpora [3] :

gde je :

W – linija najmanjeg otpora (m),
 p – masa eksploziva po metru dužnom
 bušotine (kg/m),
 c – konstanta.

Pored navedenog empirijskog postupka, za prognozu dometa letećih komada pri miniranju, koristi se metodologija Workmana, Terrock model [3], itd.

Kinematska analiza razletanja

Matematičko opisivanje kretanja letećih komada stene pri miniranju, primenom diferencijalnih jednačina, predstavlja složen zadatak, iz sledećih razloga:

- Stenska masa se drobi na komade različitih dimenzija i oblika, od kojih zavisi otpor kretanju komada kroz vazduh.

- Teško je tačno određivanje početne brzine i ugla izbacivanja komada. Ako je početna brzina poznata sa tačnošću $\pm 10\%$, rasturanje proračunske vrednosti dometa komada iznosi $\pm 20\%$.
 - Brzine i pravci kretanja komada menjaju se pri njihovom sudaranju u letu. Velike poremećaje unose gasoviti proizvodi eksplozije koji se kreću kroz odminiranu masu, ali sa brzinama koje značajno prevazilaze brzine kretanja komada.
 - Pri kretanju komada stene na malim međusobnim rastojanjima vazduh između njih takođe se uvlači u kretanje, što značajno menja uslove međudejstva letećih komada sa sredinom i sa drugim komadima.

Međutim, kretanje letećih komada stene, kroz vazduh, može se opisati sistemom diferencijalnih jednačina, uz sledeće pretpostavke:

- smer vektora sile otpora vazduha suprotan je smeru vektora brzine komada;
 - od trenutka izletanja iz kupole razaranja odminirane stenske mase do pada na teren, komadi stene koji se kreću kroz vazduh nemaju međusobni uticaj;
 - poprečna sila, koja deluje na komad stene koji rotira pri kretanju kroz vazduh, može se zanemariti pošto znatan uticaj ima samo na krupne komade pri malim brzinama kretanja i
 - vazduh je nepokretan, pa je uticaj vetra na domet komada isključen.

Jednačina kretanja letećih komada stene u vektorskom obliku je

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -k_0 \cdot v_o \cdot \vec{v} + \vec{g} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

gde je:

\vec{v} - jedinični vektor brzine

\vec{g} - vektor ubrzanja zemljine teže,

t – vreme.

k_o - koeficijent otpora vazduha.

Viskozitet vazduha dovodi do otpora trenja, a pritisak vazduha, na koji nailazi leteći komad, dovodi do otpora pritiska. Oba otpora čine otpor kretanju komada kroz vazduh, koji zavisi od odnosa između dimenzija komada, njegove gustine i brzine kretanja.

Koeficijent otpora vazduha približno može da se odredi prema izrazu:

gde su:

x_k - veličina komada stene (m),

ρ - gustina (kg/m^3).

Projektujući vektore ubrzanja iz jednačine (5) i vektore brzine na dve međusobno upravne ose dobija se sistem od četiri međusobno zavisne diferencijalne jednačine. Njihovo rešavanje može se izvršiti samo numeričkim metodama. Međutim, za proračune koji obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost, može se sastaviti jednostavniji sistem diferencijalnih jednačina koji se mogu intergaliti u konačnom obliku. Kretanje komada kamena kroz vazduh može se nezavisno posmatrati u kosougaonom koordinatnom sistemu yOz i to u pravcu vektora početne brzine (osa z) i u pravcu sile zemljine teže (osa y). U oba pravca na komad kamena deluje sila otpora vazduha čija veličina odgovara komponentama brzine u tim pravcima (v_z i v_y). Kretanje komada u tom slučaju može se opisati sledećim sistemom diferencijalnih jednačina:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -k_0 \cdot v_z^2 \quad \dots \dots \dots \quad (7a)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = g - k_0 \cdot v_y^2 \quad \dots \dots \dots \quad (7b)$$

Za početne uslove integracije: $t = 0$, $z = 0$, $y = 0$, $v_z = v_0$ i $v_x = 0$, rešenje jednačina (7a i 7b) je:

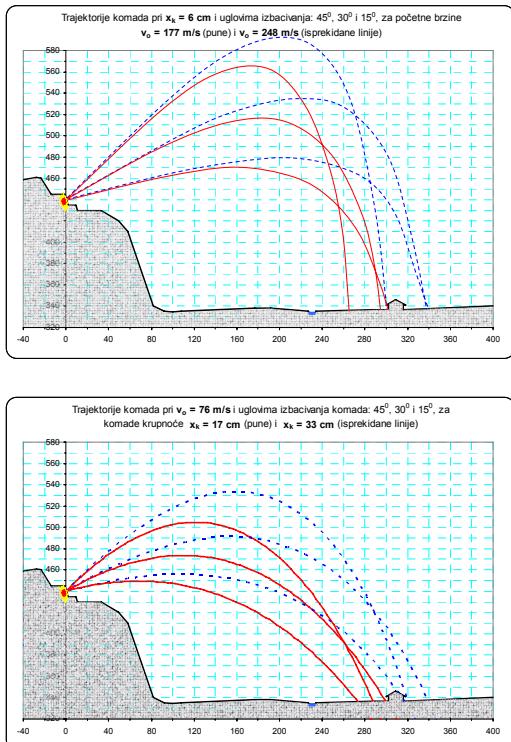
$$z = \frac{1}{k_0} \cdot \ln[I + k_0 v_0 t] \dots \dots \dots \quad (8a)$$

$$y = \frac{I}{k_0} \ln \frac{e^{2t\sqrt{k_0 g}} + I}{2e^{t\sqrt{k_0 g}}} \quad \dots \dots \dots \quad (8b)$$

Rešenja diferencijalnih jednačina (8a i 8b) mogu biti data u obliku balističkih tablica. Za proizvoljne vrednosti vremena t mogu se sračunati koordinate z i y. Ulagane parametre u balističkim tablicama [4] predstavljaju: početna brzina komada ($v_0 = (14 \div 248) \text{ m/s}$), ugao izbacivanja komada prema horizontali $\theta = (15 \div 85)^\circ$ i koeficijent otpora vazduha ($k_o = (10 \cdot 4 \div 10 \cdot 2) \text{ m}^{-1}$).

Spajanjem dobijenih tačaka, čije su koordinate date u balističkim tablicama, može se dobiti trajektorija kretanja komada stene kroz vazduh. Tačka preseka trajektorije sa profilnom linijom terena predstavlja mesto pada letećeg komada, odnosno njegov domet.

Na osnovu podataka datih u balističkim tablicama, korišćenjem odgovarajućeg algoritma, u programu Microsoft Excel, formirano je 211 trajektorija komada stene različite veličine, izbačenih pod različitim uglovima sa različitim početnim brzinama. Zbog ograničenog prostora, na slici 3, prikazano je samo 12 trajektorija za različite kombinacije početnih brzina, uglova izbacivanja i krupnoće letećih komada stene.



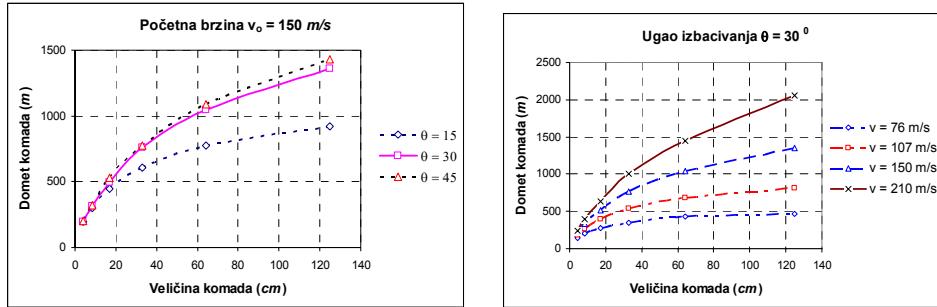
Sl. 3. Trajektorije komada stene za: istu krupnoću komada (6 cm) i različite početne brzine i uglove izbacivanja (a) i iste početne brzine komada (76 m/s) i različitu krupnoću i uglove izbacivanja (b)

Na osnovu analize svih trajektorija utvrđeno je nekoliko interesantnih zakonitosti razletanja komada stena izbačenih silom eksplozije pri miniranju na površinskim kopovima, koje su prikazane na slikama 4, 5 i 6. Na navedenim slikama date su zavisnosti dometa letećih komada od početne brzine,угла изbacivanja и величина komada. Promenom jednog od ova tri parametra, pri konstantnim vrednostima druga dva, dobijene su parcijalne zavisnosti dometa letećih komada za svaki parametar posebno.

Zavisnosti dometa komada od njegove veličine, pri različitim početnim brzinama

i uglovima izbacivanja, prikazane su na slici 4. na osnovu čije analize se može zaključiti sledeće:

- pri izbacivanju komada pod istim углом и са истом почетном брзином, његов дomet пovećава се са повећањем његове величине према приближно логаритамској зavisности;
- увећање домета комада, са повећањем његове величине, израžеније је код ситнијих него код крупнијих комада и
- промене у дometу комада са променом угла изbacivanja израžеније су код крупнијих комада.

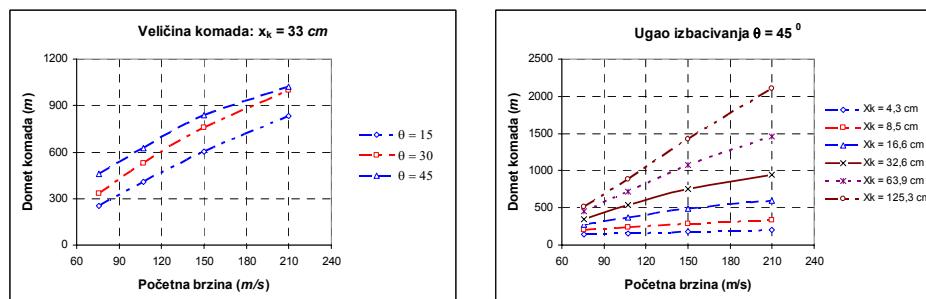


Sl. 4. Domet komada u zavisnosti od veličine komada pri: različitim uglovima izbacivanja i istoj početnoj brzini od 150 m/s (a) i različitoj početnoj brzini izbacivanja i istom uglu izbacivanja od 30° (b)

Zavisnosti dometa komada od njegove početne brzine, pri različitim veličinama i uglovima njihovog izbacivanja, prikazane su na slici 5. Na osnovu analize može se zaključiti sledeće:

- domet letećih komada uvećava se sa uvećanjem početne brzine komada

prema približno linearnej zavisnosti i - uvećanje dometa komada usled porasta njihove početne brzine izraženo je kod krupnih komada, dok je kod sitnijih zanemarljivo.



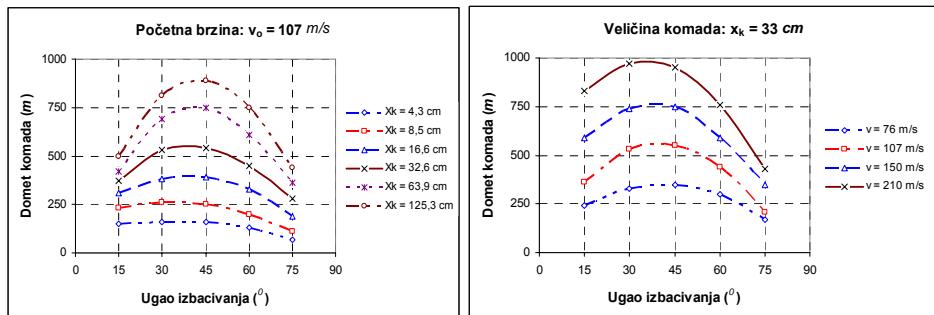
Sl. 5. Domet u zavisnosti od početne brzine komada pri: istom prečniku komada od 33 cm za različite uglove izbacivanja (a) i različitim veličinama komada za ugao izbacivanja od 45° (b)

Zavisnosti dometa komada od ugla izbacivanja, pri različitim veličinama i početnim brzinama njihovog izbacivanja, prikazane su na slici 6. Na osnovu analize date slike može se zaključiti sledeće:

- maksimalni domet komada postiže se njihovim izbacivanjem pod uglovima u rasponu $(30 \div 45)^\circ$, pri

čemu se maksimalni domet kod krupnih komada postiže pod većim, a kod sitnijih komada pod manjim uglovima izbacivanja i

- uticaj ugla izbacivanja komada na njihov domet izraženiji je kod krupnijih komada i velikih početnih brzina.



Sl. 6. Domet komada u zavisnosti od ugla izbacivanja pri: različitim veličinama komada i istoj početnoj brzini od 107 m/s (a) i različitim početnim brzinama izbacivanja i istoj veličini komada od 33 cm (b)

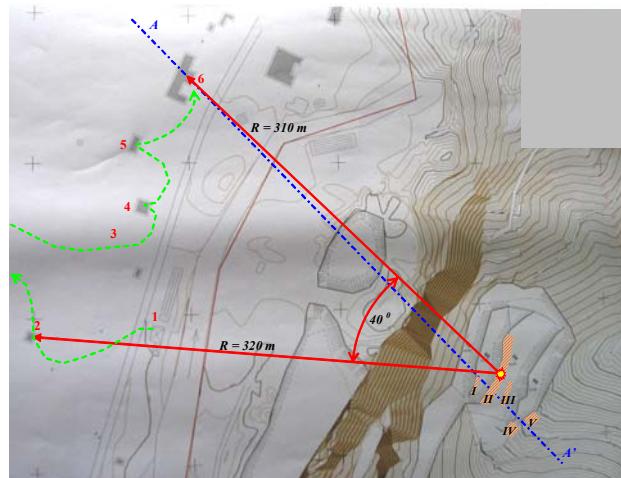
ANALIZA RAZLETANJA KOMADA KAMENA NA PRIMERU PK „KAMENICA“

Na površinskom kopu andezita „Kamenica“ kod Kraljeva, 05. maja 2007. godine, obavljeno je masovno miniranje, pri kome je došlo do većeg obima razletanja komada minirane stene, koje se, na sreću, završilo samo materijalnom štetom na nekoliko objekata.

Miniranje je izvedeno na tri etaže, pri čemu je minsko polje činilo pet minskih sekcija (Sl. 7), sa ukupno 121 buštinom prečnika 89 mm. Dubina buštin je varirala od 3 m do 15,5 m, a mase eksplozivnih punjenja od 2 kg do 63,5 kg eksploziva. Minske bušotine su bile raspoređene po pravougaonoj mreži (2,8 x 3,0) m, sa nagibom od 70 °.

Za miniranje su korišćeni patronirani emulzioni eksplozivi Emulgit 82GP 60/2000 (542 kg) i Emex AN 65/2500 (3925 kg). Maksimalna količina eksploziva po intervalu usporenja, odnosno po minskoj bušotini, iznosila je 63,5 kg. Za iniciranje su upotrebljeni neelektrični detonatori tipa Rudnel 17/500. Dužina čepa iznosila je minimalno 2,6 m.

Pri obilasku terena na 15 lokacija pronađeni su komadi andezita različitih dimenzija od (5 ÷ 80) cm, oblika i stepena alterisanosti. Na slici 7 prikazane su lokacije oštećenih objekata na desnoj strani puta Kraljevo-Goč i njihova rastojanja od minskog polja, a na slici 8 strelicama su označeni pogodeni objekti, posmatrano sa površinskog kopa. Snimci karakterističnih oštećenja usled razletanja komada andezita prikazani su na slici 9.



Sl. 7. Topografska situacija sa položajem minskih sekcija (I – V), putanjom obilaska terena (isprekidana linija) i nekoliko objekata (lokacija) pogodenih komadima stene: 1 – strugara, 2, 4 i 5 – kuće, 3 – šljivik, 6 – kafana



Sl. 8. Strelicama su označeni objekti pogodeni komadima andezita



Sl. 9. Oštećenja usled razletanja komada kamena

Odminirana stenska masa ostala je vrlo krupna, dok je razletanje bilo veliko. Primenjena tehnologija mini-

ranja nije omogućili da se oslobođena energija eksploziva bolje iskoristi za koristan rad drobljenja stenske mase.

Smanjeno iskorišćenje energije za drobljenje stene dovelo je do povećanja utroška energije na nekorisne i opasne oblike rada, kao što je razbacivanje komada kamena.

Veličina konkretnе minske serije ne može se smatrati uzročnikom razletanja komada. Međutim, tako velika minska serija zahtevala je dosta vremena za pripremu miniranja i analizu etažnih profila, strukturne građe miniranog masiva, geometrijskih položaja bušotina, konstrukcije eksplozivnih punjenja, šeme rušenja.

Imajući u vidu da se u andezitu nisu mogle pojaviti kaverne ili veće šupljine i da je eksploziv bio patroniran, povećana koncentracija eksploziva u bušotini, kao eventualni uzrok razletanja komada, isključena je iz razmatranja. Vremena usporenja, kao ni redna veza u mreži sistema iniciranja, kojom je obezbeđeno dijagonalno rušenje, takođe, nisu mogli biti uzročnik razletanja komada.

Ugrožavanju objekata letećim komadima pogodovali su nepovoljna orientacija čela etaža prema ugroženim objektima (Sl. 7 i 8), kao i nagib minskih bušotina od 70° .

Analizirajući uticaj ugla izbacivanja komada, prema slici 3, može se zaključiti da komadi izbačeni pod uglom od 30° imaju veći domet od komada izbačenih pod uglom od 45° . Interesantno je zapaziti da komad prečnika 6 cm ima najveći domet pri uglu izbacivanja od 15° . Ovakav uticaj ugla izbacivanja na domet komada posledica je otpora vazduha i topografske situacije (visinska razlika između minskog polja i objekata iznosila je oko 100 m).

Simulacije prema modelu koji je razvio St George [5], ukazuju da komadi izbačeni iz etažne kosine imaju znatno veći domet, od komada izbačenih iz zone čepa i da, pre svega, oni ugrožavaju okolinu. Na osnovu

položaja proboga crepa na krovu i tavanske ploče, jednim istim komadom kamena, na kući (4) i oblika kratera u livadi ispod šljivika (3) (Sl. 7 i 9), može se proceniti da je ugao, pod kojim su komadi kamena padali po terenu, bio oko 60° prema horizontali. Ovaj ugao i utvrđeni oblici trajektorija ukazuju da se radi o razletanju komada iz etažne kosine, a ne iz zone čepa.

Korišćenjem izraza (1, 2 i 3), za uslove izvedenog miniranja (prečnik bušotina 89 mm i specifična potrošnja eksploziva oko 0.5 kg/m^3), određeni su:

- maksimalna domet komada stene za regularne uslove miniranja: $L = 150$ m,
 - optimalna srednji prečnik komada: $\phi = 0,23$ m,
 - maksimalna domet komada za nepovoljne uslove miniranja: $L_{\max} = 600$ m.

Pri obilasku terena utvrđen je domet komada andezita preko 300 m, što prevazilazi vrednost dobijenu prema izrazu (1). Ovo ukazuje da je odnos stvarne (efektivne) linije najmanjeg otpora i prečnika bušotina, u pojedinim delovima minske serije, bio nepovoljan.

Polazeći od izraza (4) može se odrediti efektivna linija najmanjeg otpora, prema sledećem izrazu:

Za koncentraciju eksploziva, koja je iznosila $p = 4,2 \text{ kg/m}^3$ bušotine, i srednju vrednost konstante $c = 27$ (za andezit), sledi:

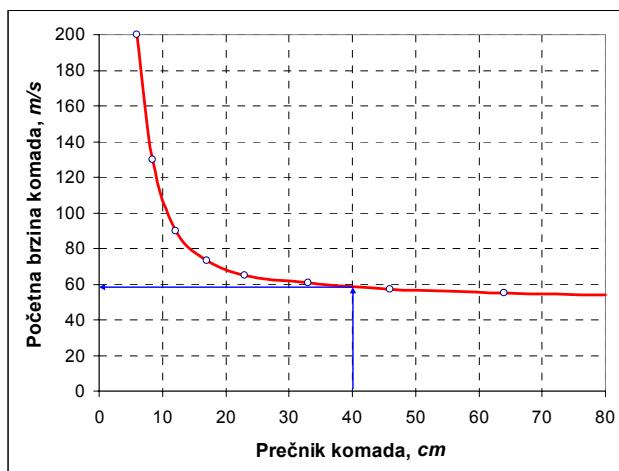
$$W \approx 26 \cdot v_0^{-0.77} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

Ova zavisnost omogućava da se, za konkretni slučaj, na osnovu početne brzine komada (V_0) odredi odgovarajuća vrednost efektivne linije najmanjeg otpora (W).

Radi utvrđivanja početne brzine komada, analizaran je veći broj

prethodno utvrđenih trajektorija komada izbačenih iz etažne kosine u minskoj sekciji II, od kojih je na slici 3 prikazano 12 trajektorija. Trajektorije su urađene za profil terena A-A', koji prolazi kroz minsko polje i objekat br. 6 prema slici 7.

Imajući u vidu da je objekat br. 6, a koji je od minskog serije bio udaljen oko 310 m, pogoden komadom kamena prečnika oko 0,4 m, na slici 10 utvrđena je minimalna početna brzina izbacivanja od 60 m/s, koju je taj komad morao imati.



Sl. 10. Odnos prečnika i početne brzine komada, pri kome se obezbeđuje dolet do oštećenog objekta br. 6

Korišćenjem izraza (10) za prethodno utvrđenu početnu brzinu komada, utvrđeno je da je vrednost efektivne linije najmanjeg otpora iznosila samo $W = 1,1$ m, umesto 2,8 m, kako je predviđeno projektom. Odnos efektivne linije najmanjeg otpora i prečnika minskih bušotina, u tom slučaju, iznosio je samo: $W / d = 1,1 / 0,89 \approx 12,5$. Ovako mala vrednost efektivne linije najmanjeg otpora vezana je za delove minskog sekcijskog II u prvom redu bušotina. To predstavlja osnovni uzrok razletanja komada kamena, pri izvedenom miniranju na površinskom kopu „Kamenica“.

Otpor stenske mase ne zavisi samo od rastojanja bušotine od slobodne površine, već i od promenljive otpo-

rnosti stenske mase prema miniranju. Osim preko geometrijske vrednosti efektivne linije najmanjeg otpora, otpornost stenskog masiva prema miniranju zavisi i od njegovih mehaničkih i strukturnih karakteristika koje se menjaju po visini etaže (alterisana zona na slici 2). Na taj način, heterogena građa miniranog andezitskog masiva dodatno je pogodovala razletanju komada.

ZAKLJUČAK

Do pojačanog razletanja komada stene pri miniranju na površinskim kopovima može doći usled neusklađenih odnosa između količine energije eksploziva, parametara miniranja i geomehaničkih karakteristika minirane ste-

nske mase. Faktori razletanja mogu da se svrstaju u tri grupe: personalni, operativni i faktori stenske sredine. Intenzitet razletanja komada u najvećoj meri zavisi od: početne brzine i početnog ugla izbacivanja i inercionih i aerodinamičkih karakteristike komada, topografije terena, vетра i drugih faktora.

Domet letećih komada može da se prognozira prema odgovarajućim empirijskim izrazima ili modelima. Približna rešenja sistema diferencijalnih jednačina kretanja komada stene kroz vazduh data su u balističkim tablicama [4]. Visok je rizik da prognozirani domet pri svakom miniranju bude premašen.

Radi analize uticaja pojedinih faktora razletanja, na osnovu podataka datih u balističkim tablicama, korišćenjem odgovarajućeg algoritma, u programu Microsoft Excel, formirano je 211 trajektorija komada stene različite veličine, izbačenih pod različitim uglovima, sa različitim početnim brzinama. Zbog ograničenog prostora, u radu je prikazano samo 12 trajektorija.

Na osnovu analize svih trajektorija utvrđene je nekoliko značajnih kinematskih zakonitosti razletanja komada stena, i to:

- domet komada izbačenih pod istim uglom i sa istom početnom brzinom uvećava se sa uvećanjem njihove veličine, prema približno logaritamskoj zavisnosti;
- uvećanje dometa komada, sa povećanjem njihove veličine, izraženje je kod sitnijih nego kod krupnijih komada,
- domet komada uvećava se sa uvećanjem početne brzine komada prema približno linearnoj zavisnosti,
- uvećanje dometa komada usled porasta njihove početne brzine

izraženo je kod krupnih komada, dok je kod sitnijih zanemarljivo,

- maksimalni domet komada postiže se pri njihovom izbacivanju pod uglovima u rasponu ($30 \div 45$) 0, pri čemu se maksimalni domet kod krupnih komada postiže pod većim, a kod sitnijih komada pod manjim uglovima izbacivanja.

Postupak utvrđivanja uzroka razletanja prikazan je na primeru razletanja do kog je došlo pri masovnom miniranju izvedenom 05. 05. 2007. godine, na površinskom kopu andezita „Kamenica“, kod Kraljeva. Za utvrđivanje uzroka razletanja komada iskorišćena je empirijska zavisnost (4) između koncentracije eksplozivnog punjenja i linije najmanjeg otpora, sa jedne, i početne brzine komada stene, sa druge strane.

Na osnovu analize karakterističnih pojava u minskom polju, dometa i krupnoće komada andezita, uglova pod kojim su komadi padali na teren, i velikog broja trajektorija, utvrđeno je da su komadi doleteli sa etažne kosine, a ne iz zone čepa.

Za poznato rastojanje jednog objekta od minskog serije i poznatu veličinu komada kamena, utvrđena je minimalna početna brzina izbacivanja od 60 m/s, koju je taj komad morao imati. Korišćenjem izraza (10), za datu početnu brzinu komada, utvrđena je vrednost efektivne linije najmanjeg otpora, od samo $W = 1,1$ m, umesto projektovane vrednosti od 2,8 m. U konkretnom slučaju to predstavlja osnovni uzrok razletanja komada kamena.

Opasnost od razletanja komada stena ne zavisi samo od stvarnih rastojanja eksplozivnih punjenja od slobodne površine, već i od promenljive otpornosti stenske mase prema miniranju, koja se menja duž etažne kosine. Heterogena građa miniranog

andezitskog masiva dodatno je pogodovala razletanju komada.

Prikazana metodologija utvrđivanja uzroka razletanja komada kama, može dati pozitivan doprinos za sprečavanje nesrećnih slučajeva i obezbeđenja sigurnijeg miniranja na površinskim kopovima.

LITERATURA

1. V. Kecojevic, M. Radomsky, Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents, *Safety Science* 43 (2005) 739–750.
2. R. Pantović, M. Zikić, S. Stojadinović, Studija o uzrocima razletanja kamenih komada pri miniranju na P. K. „Kamenica“, Tehnički fakultet, Bor, 2007.
3. A. B. Richards, A. J. Moore, Flyrock Control – By Chance or Design. ISEE Conference, New Orleans, 2002.
4. A. A. Čeringovskij, Primenenie napravljenogo vzryva v gornom dele i stroiteljstve, Nedra, Moskva, 1976.
5. J. D. St George, M. F. L. Gibson, Estimation of Flyrock Travel Distance: A Probabilistic Approach, Explo 2001, Hunter Valley, New South Wales, Australia, 2001.
6. T. S. Bajpayee, T. R. Rehak, G. L. Mowrey, D. K. Ingram, Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security, *Journal of Safety Research* 35 (2004) 47–57.

UDK: 622.24.05(045)=861

*Radoje Pantović, Živorad Miličević**

PROGNOZA BRZINE BUŠENJA DUBOKIH BUŠOTINA HIDRAULIČKIM BUŠAĆIM ČEKIĆIMA

PROGNOSIS OF LONG HOLE PENETRATION RATE USING THE HYDRAULIC ROCK DRILLS

Izvod

U ovom radu, na osnovu teorijskih i eksperimentalnih terenskih istraživanja i laboratorijskih ispitivanja, dobijeni su matematički izrazi za prognozu brzine bušenja dubokih minskih bušotina.

Radi sagledavanja uticaja dužina bušotina i karakteristika stena na brzinu bušenja, na otkopima rudnih tela "Tilva roš" i "P2A" u borskoj Jami, izvršena su hronometrijska snimanja procesa bušenja bušilicama Simba H 253 i uzeti odgovarajući uzorci rude za laboratorijska ispitivanja indeksa bušivosti rude na Tehničkom fakultetu u Boru.

Utvrđene zavisnosti brzine bušenja od dužine bušotina i bušivosti stena i analiza uticaja prečnika bušotina, snage bušaćih čekića i ostalih faktora na brzinu bušenja, bili su podloga za definišanje matematičkih izraza za prognoziranje početne i srednje mehaničke brzine bušenja dubokih bušotina, pri primeni bušilica sa hidrauličkim bušaćim čekićima. Faktori koji figurišu u tim izrazima su: indeks bušivosti stena, perkusiona snaga bušaćih čekića, prečnik i dužina bušotina.

Ključne reči: hidraulični bušači čekići, duboke minske bušotine, indeks bušivosti, brzina bušenja

Abstract

Based on the theoretical and experimental investigations and laboratory tests, in this article, given are mathematical formulae for prognosis of the percussive longhole drilling penetration rate.

Because of determination of the depth of drilling and rock properties influence on the penetration rate, at working level, the ore body "Tilva Roš" and "P2A", in Bor's mine, chronometer records of drilling process, with Simba H253 drills, are done. From location, where are recording done, the ore samples are taken. Special laboratory devices at Technical faculty in Bor treat these samples.

Formulae for determine mechanical muzzle and middle penetration longhole drilling rates, with hydraulic rock drills is determined on basis of above field records, laboratory research of ore drillability and science date analysis from hole diameter, percussive power of drills and other factors influence. In these formulae main factors is drilling rate index, percussive drills power, length and diameter holes.

Key words: hydraulic rock drills, long blast hole, rock drillability, penetration rate

* Dr Radoje Pantović, dipl.inž.rud., Tehnički fakultet Bor
Dr Živorad Miličević, dipl.inž.rud., Tehnički fakultet Bor

UVOD

Uvođenjem bušilica sa hidrauličnim bušačim čekićima u podzemne rudnike, 1976. godine, učinjen je jedan od najznačajnijih koraka u razvoju tehnologije bušenja. Nove mogućnosti bušenja minskih bušotina, u pogledu povećanja prečnika i dužina minskih bušotina, porasta produktivnosti i smanjenja troškova bušenja, pogodovale su razvoju novih produktivnijih metoda podzemnog otkopavanja, pri čemu je do posebnog izražaja došao prelazak sa podetažnog na etažno obaranje rude.

Bušilice sa hidrauličnim bušačim čekićima superiornije su u odnosu na bušilice sa pneumatskim čekićima u pogledu: brzina i kapaciteta bušenja, mogućnosti bušenja bušotina većih prečnika i dužina, pouzdanosti, energetske efikasnosti, troškova bušenja, ergonomskih uslova rada.

Brzina perkusivnog bušenja, kao osnovni pokazatelj tehničkih mogućnosti bušilica, zavisi od više faktora koji se mogu svrstati u tehničke, tehnološke i prirodne. Parametri režima bušenja i karakteristike bušačeg pribora čine tehničke faktore. Tehnološke faktore predstavljaju geometrijski parametri bušenja, a prirodni faktor je stena sa svojim, za bušenje značajnim, karakteristikama. U literaturi se mogu naći postupci i empirijski izrazi za prognozu brzine perkusivnog bušenja, koji se uglavnom odnose na pneumatske bušače čekiće. U opštem slučaju mehanička brzina bušenja izražava se kao funkcija faktora brzine bušenja u sledećem obliku [1]:

$$v \approx k_v \cdot \frac{P_u}{d^n \cdot f^r} \quad \dots \dots \dots (1)$$

gde su:

v - brzina bušenja,

P_u - angažovana udarna snaga bušačeg čekića,

d - prečnik bušotine,

f - koeficijent čvrstoće stene po Protođakonovu,

k_v - koeficijent,

n - eksponent uticaja prečnika bušotine, koji iznosi $n = 1,5 - 2$ i

r - eksponent, koji ukazuje na uticaj čvrstoće stena ($r = 1 - 1,25$).

Perkusiona snaga bušačeg čekića, prečnik bušotina i otpornost stene prema bušenju, osnovni su faktori za koje se vezuje brzina bušenja. Ostali faktori su u manjoj meri uticajni. Postoje izrazi u kojima umesto koeficijenta f, figurišu druge karakteristike otpora prema bušenju kao što su: specifična energija drobljenja, specifična energija bušenja, tvrdoča i dinamički otpor stene prema gnječenju [2].

Primenom navedenih postupaka i izraza za prognozu brzine bušenja hidrauličkim bušačim čekićima, dobijaju se nerealne vrednosti. Pored toga, ti postupci su vezani su kratke minskе bušotine i zanemaruju značaj dubine minskih bušotina. Imajući to u vidu, u ovom radu prikazana su teorijska, terenska i laboratorijska istraživanja, na osnovu kojih je dobijen matematički izraz za prognozu brzine bušenja dubokih minskih bušotina bušilicama sa hidrauličkim bušačim čekićima.

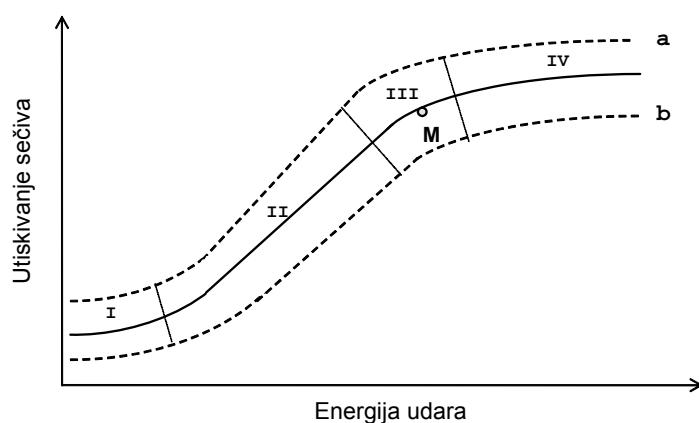
UTICAJ PARAMETARA REŽIMA BUŠENJA

Režim udarnog bušenja određuju: energija i učestalost udara, broj obrtaja i obrtni moment, sila potiska i protok vode ili vazduha za ispiranje bušotina. Efikasnost, odnosno brzina bušenja, zavisi od veličina i usaglašenosti navedenih parametara.

Izlazna perkusiona snaga bušačeg čekića predstavlja proizvod energije i

učestalosti udara. Sa porastom energije udara povećava se dubina prodiranja bradavica kruna u stenu na čelu bušotine, što je ilustrovano slikom 1. Pri lakin udarima gotovo da ne dolazi do drobljenja stene (sektor I). Povećanjem energije udara dolazi do srazmernog povećanja razaranja stene (sektor II). Posle izvesnog povećanja efekta udara, utiskivanje sečiva u stenu, sa porastom energije udara, neznatno se povećava (sektor III). U ovom slučaju smrvljena stena ima ulogu "jastuka", štiteći stenu od udara. Ovde se postiže gotovo maksimalna brzina bušenja bez prekomernog utroška energije, pa je efekat udara najveći. Dalje povećanje energije udara uzaludan je pokušaj da se poveća brzina bušenja (sektor IV). Mekše stene se razaraju lakše, pa je utiskivanje sečiva veće (kriva „a“), dok je kod čvršćih stena, pri istoj energiji udara, utiskivanje sečiva manje (kriva „b“).

Dva bušaća čekića sa istim perkusionim snagama ali sa različitim brojem udaraca postizaju različite brzine bušenja u istim uslovima. Bušaći čekić sa nižom energijom udara, ali sa većom učestalošću udara, ostvaruje veću brzinu bušenja. Međutim, isti bušaći čekić znatno je osetljiviji na povećanje prečnika i dužina bušotine i otpornosti stena prema bušenju, tako da se radna tačka M (slika 1) brže pomera ulevo u sektor II ili naniže prema krivoj "b". Kod savremenih hidrauličnih čekića, kroz promenu dužine hoda klipa i pritiska ulja u udarnom mehanizmu, postoji mogućnost promene perkusione snage, što omogućava da se pri promeni ostalih faktora, radna tačka zadrži u sektoru III, odnosno da se buši u optimalnom režimu.



Sl. 1. Odnos energije udara i dubine utiskivanja sečiva [3]

Odnosi između perkusionih snaga tri karakteristična tipa hidrauličkih bušaćih čekića i odgovarajućih prosečnih relativnih brzina bušenja, koji su utvrđeni na osnovu analize podataka firme Atlas Copco [4] prikazani su u tabeli 1. Odstupanja između navedenih odnosa su vrlo mala, što

potvrđuje prethodno navedenu proporcionalnost između snage bušaćeg čekića i brzine bušenja (izraz 1). Na osnovu toga važi sledeća parcijalna zavisnost:

$$v = f(P_u) = k_I \cdot P_u \quad \dots \quad (2)$$

gde je: k_I - konstanta.

Tabela 1. Odnosi perkusionih snaga i brzina bušenja [1]

Tip hidrauličkog bušačeg čekića	COP 1238 : COP 1838 : COP 4050
Odnos perkusionih snaga čekića, kW	12 : 20 : 34
Relativan odnos perkusionih snaga	0,60 : 1 : 1,70
Prosečan relativan odnos brzina bušenja	0,59 : 1 : 1,68

Za postizanje maksimalno moguće brzine bušenja treba izabrati odgovarajuću silu potiska [5] i obrtni moment i obezbediti efikasno čišćenje bušotina od bušače sitneži. Poseban značaj ima pravilan izbor krune. Veličinu, oblik, broj i raspored sečiva ili umetaka od tvrde legure treba izabrati prema karakteristikama stene i parametrima režima bušenja.

UTICAJ GEOMETRIJSKIH PARAMETARA BUŠENJA

Dužina, prečnik i nagib bušotina, kao osnovni geometrijski parametri bušenja, u velikoj meri utiču na brzinu bušenja.

Dužina bušotina. Usled porasta mase bušače kolone i broja spojeva u njoj, sa porastom dužine bušotina, dolazi do pogoršanja uslova prenosa udarne energije. Ovo dovodi do odgovarajućih energetskih gubitaka i smanjenja brzine bušenja. S obzirom na to da na svakom nastavku bušačeg pribora dolazi do određenih energetskih gubitaka, udarna snaga, koju kruna predla steni za određeno vreme, zavisi od broja šipki u koloni. Primena dužih bušačih šipki obezbeđuje efikasniji prenos udarne energije.

Analiza hronometrijskih snimanja procesa bušenja u borskoj Jami

U cilju sagledavanja uticaja dužine bušotina i karakteristika stena na mehaničku brzinu bušenja, pri primeni bušilica sa hidrauličkim bušačim čekićima, na otkopima rudnih tela "Tilva Roš" i "P₂A" u borskoj „Jami“, izvršena su hronometrijska snimanja ciklusa bušenja i

uzeti uzorci rude za laboratorijska ispitivanja njene bušivosti.

Za otkopavanje navedenih rudnih tela primenjuje se švedska varijanta metode podetažnog zarušavanja. Buši se bušilicama tipa SIMBA H 253 sa hidrauličkim bušačim čekićima COP 1238. Za bušenje se koristi bušaći pribor T 45, sa MF-šipkama dužine 1,5 m i bradavičastim krunama, različitih dizajana i proizvodača. Bušotine prečnika 76 mm i dužina do 25,5 m raspoređene su u lepezama (najčešće 6 bušotine) i usmerene naviše.

Na osnovu hronometrijskih snimanja, za sve bušotine u svih 16 lepeza, utvrđene su vrednosti mehaničkih brzina bušenja za svaku bušaču šipku po redosledu nastavljanja u bušačoj kolni. Na slici 2 prikazane su vrednosti relativnih brzina bušenja za odgovarajuće dubine i regresionom analizom utvrđena korelativna zavisnost. Najviše vrednosti koeficijenata korelacije ($R^2 = 0,7697$) dobijene su za eksponencijalnu korelativnu zavisnost. Analiza terenskih snimanja procesa bušenja omogućila je da se uticaj dubine bušenja na brzinu bušenja kvantitativno izrazi preko parcijalne zavisnosti oblika:

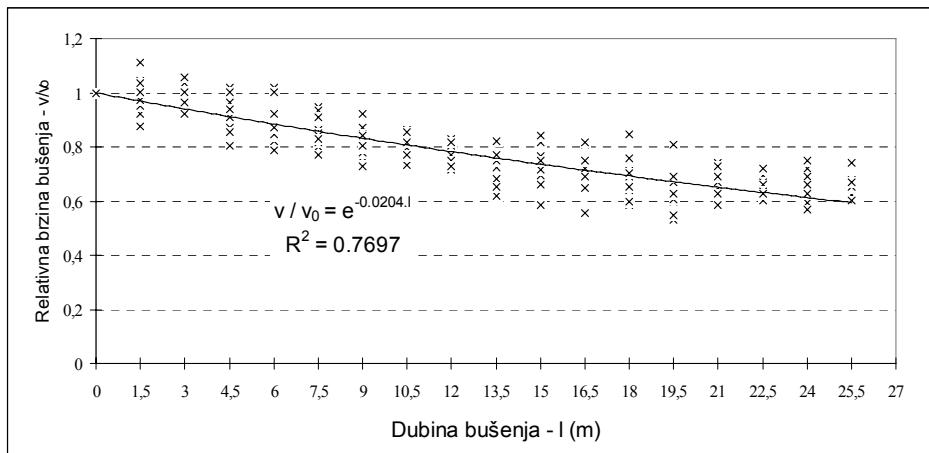
$$v = f(l) = v_0 \cdot e^{-\delta \cdot l} = v_0 \cdot e^{-0,02 \cdot l} \quad \dots \dots (3)$$

gde je:

v_0 (m/min) - početna brzina bušenja,

l (m) - dubina bušenja koja se povećava od usta bušotine do njene konačne dubine i

δ - pokazatelj pada brzine bušenja.



Sl. 2. Zbirni prikaz utvrđenih relativnih brzina bušenja za odgovarajuće dubine bušenja i eksponencijalne korelativne zavisnosti

Prečnik bušotine. Povećanjem prečnika bušotine udarna energija raspodeljuje se na veću površinu, čime se smanjuje energija po jedinici površine, a time i brzina bušenja. Smanjenje prečnika za istu udarnu energiju izaziva suprotan efekat. Zbog izraženijeg efekta stešnjnosti, specifična energija razaranja pri bušenju veća je kod bušotine manjeg prečnika.

Na osnovu podataka koje je *Atlas Copco* dao za svoja tri hidraulična bušaća čekića [4], na slici 3 prikazane su tačke koje odgovaraju uslovima za stene prosečne čvrstoće. Potom je tragano za najpogodnijim korelativnim zavisnostima,

između prečnika bušotine i brzine bušenja. Regresiona analiza ukazuje da se te zavisnosti najbolje mogu izraziti:

- eksponencijalnom

$$v = f'(d) = c \cdot e^{-\beta \cdot d} \quad \dots \dots \dots (4)$$

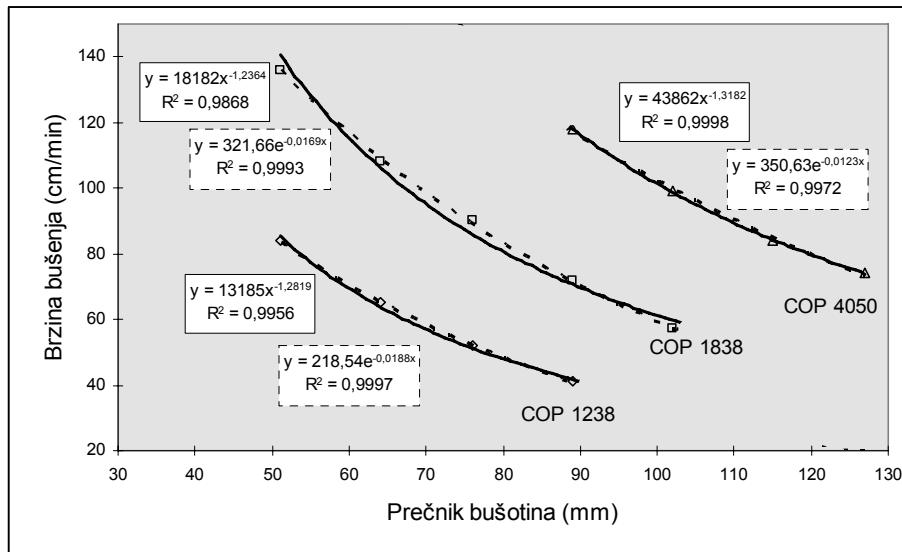
- hiperboličnom korelativnom zavisnošću

$$v = f''(d) = b / d^n \quad \dots \dots \dots (5)$$

gde su:

b, c - empirijski koeficijenti i

β, n - eksponenti.



Sl. 3. Prosečne brzine bušenja za različite prečnike bušotina

Vrednosti eksponenta β na slici 3 ukazuju da on zavisi od tipa bušačeg čekića. Pad brzine bušenja pri povećanju prečnika, kod snažnijih bušačih čekića, manje je izražen, pa su i vrednosti navedenog eksponenta manje. Međutim, na osnovu analize efikasnosti bušenja za tri bušača čekića ne mogu se dobiti pouzdani zaključci o zavisnosti eksponenta β od snage bušačeg čekića.

Vrednosti eksponenata n ukazuju da je, vrednostima $n > 1,5$, koje se najčešće navode u literaturi [1], kada je u pitanju bušenje dubokih bušotina hidrauličkim čekićima, uticaj prečnika bušotina na brzinu bušenja prenaglašen. Pri usvojenoj prosečnoj vrednosti eksponenta $n = 1,28$, zavisnost brzine bušenja od prečnika bušotina, može da se izrazi parcijalnom funkcijom oblika:

$$v = f(d) = \frac{k_2}{d^{1,28}} \quad \dots \quad (6)$$

gde je:

k_2 - konstanta.

Nagib bušotina. Osnovni faktori koji utiču na promenu brzine bušenja pri promeni nagiba bušotina su sila potiska i efikasnost čišćenja bušaće sitneži. Kod bušotina usmerenih naviše, u cilju održavanja stalne sile potiska krune na stenu, neophodno je obezbediti odgovarajuće povećanje sile potiska. Situacija je obrnuta kod bušotina usmerenih nadole, pri čemu je kod dubljih bušotina nekada neophodno, umesto potiska, obezbediti da se bušaći pribor vuče.

UTICAJ KARAKTERISTIKA STENA

Između pokazatelja fizičko-mehaničkih i strukturnih karakteristika stena, sa jedne strane, i brzine bušenja, sa druge u literaturi se mogu naći brojne empirijski utvrđene zavisnosti. Međutim, korelativna

veza kod tih zavisnosti uglavnom nije zadovoljavajuća. Mehanizam razaranja stena pri bušenju znatno se razlikuje od mehanizma razaranja stena pri ispitivanju „standardnih“ karakteristika. Zbog ovoga su definisani testovi za utvrđivanje otpornosti stena prema bušenju, koji podražavaju mehanizam udara krune u stenu i na taj način realnije iskazuju otpornost stena prema razaranju bušenjem.

U laboratorijskim uslovima mogu se izvesti testovi za utvrđivanje indeksa bušivosti (I_b), koji predstavlja relativnu meru otpora pojedinih tipova stena prema bušenju. Indeks bušivosti određuje se pomoću odgovarajućeg dijagrama, na osnovu dve prethodno utvrđene veličine i to: Sievers-ove vrednosti (SJ) i pokazatelja drobivosti (S_{20}) [3]. Testovima minijaturnog rotacionog bušenja uzoraka stene određuje se vrednost SJ, a takozvanim švedskim testom drobivosti pokazatelj drobivosti S_{20} .

Visoka korelativnost indeksa bušivosti i brzine bušenja na terenu objašnjava se sličnošću između mehanizma razaranja kod testova za utvrđivanje indeksa bušivosti i mehanizma razaranja stene pri bušenju. Preko indeksa bušivosti „iskazuju“ se osobine od posebnog značaja za proces razaranja pri bušenju, kao što su: krupnoća zrna, struktura, vezivnost, postojanje mikropukotina, lomljivost minerala.

REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA INDEKSA BUŠIVOSTI

Na lokacijama na kojima su napred navedena hronometrijska snimanja, uzeti

su uzorci rude bakra u cilju utvrđivanja pokazatelja bušivosti.

U Laboratoriji za tehnologiju bušenja i miniranja, na Tehničkom fakultetu u Boru, uzorci su na odgovarajućim uređajima [1] podvrgavani testovima za utvrđivanje indeksa bušivosti.

Utvrđene vrednosti indeksa bušivosti (I_b) i odgovarajuće početne brzine bušenja (v_0), grafički su prikazane na slici 4. Regresionom analizom utvrđena je linearna korelativna zavisnost u obliku:

$$v_0 = 0,0238 \cdot I_b + 0,093 \quad \dots\dots\dots (7)$$

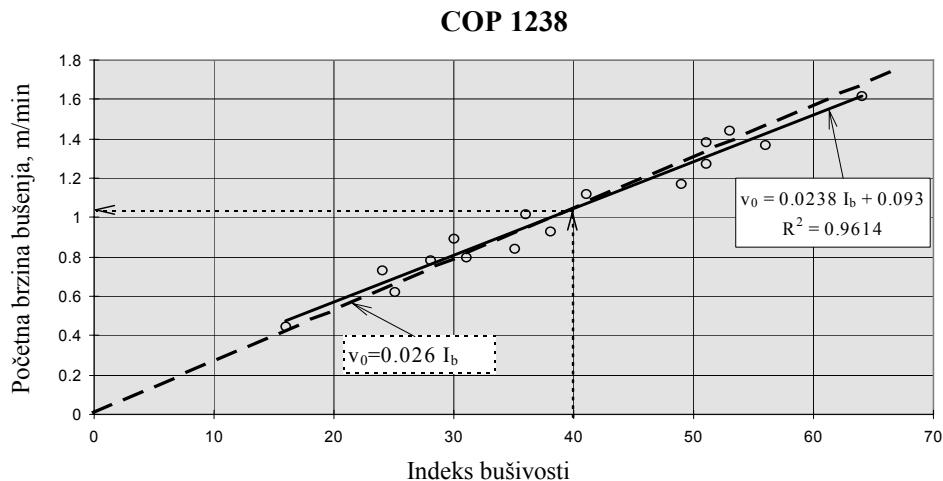
koja je na slici 4 prikazana pravom linijom. S obzirom na visok koeficijent korelacije ($R^2 = 0,9614$) između ovih veličina postoji visoka korelativnost.

Zavisnost brzine bušenja od indeksa bušivosti može da se, bez značajnijeg gubitka preciznosti, umesto izrazom (7), jednostavnije iskaže sledećom linearnom proporcionalnošću:

$$v_0 = f(I_b) = k_3 \cdot I_b = 0,026 \cdot I_b \quad \dots\dots\dots (8)$$

gde je: k_3 - konstanta.

Ova zavisnost je prikazana isprekidanom pravom, na slici 4. Lako se može uočiti da se najveća odstupanja u vrednostima brzina bušenja, sračunata prema izrazu (8) u odnosu na vrednosti sračunate prema izrazu (7), mogu javiti kod stena sa najmanjim i najvećim otporom prema bušenju. S obzirom na to da te razlike u najnepovoljnijem slučaju ne prelaze 3%, aproksimacija data izrazom (8) je prihvatljiva.



Sl. 4. Zavisnost početne brzine bušenja od indeksa bušivosti

DEFINISANJE MATEMATIČKOG IZRAZA ZA PROGNOZU BRZINE BUŠENJA

Utvrđene zavisnosti brzine bušenja od dužine bušotina i bušivosti stena i analiza podataka o uticaju prečnika bušotina, snage bušaćih čekića i ostalih faktora na brzinu perkusivnog bušenja, predstavljaju podlogu za definisanje matematičkog izraza za prognoziranje brzine bušenja dugačkih minskih bušotina, pri primeni bušilica sa hidrauličkim bušaćim čekićima.

Prethodna razmatranja ukazuju da brzina bušenja, u najvećoj meri, zavisi od: dužine bušotina, parametara bušivosti stena, prečnika bušotina i udarne snage bušaćeg čekića. Prema tome, opšti oblik zavisnosti brzine bušenja od osnovnih faktora brzine bušenja je:

$$v = f(P_u, l, d, I_b) \quad \dots \dots \dots (9)$$

Početna brzina bušenja može da se izrazi kao proizvod parcijalnih funkcija (2), (6) i (8):

$$v_0 = f(P_u) \cdot f(d) \cdot f(I_b) \quad \dots \dots \dots (10)$$

odnosno:

$$v_0 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot P_u \cdot I_b \cdot d^{-1,28} \quad \dots \dots \dots (11)$$

Zamenjujući proizvod konstanti jednom konstantom ($k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = k$), dobija se izraz:

$$v_0 = k \cdot P_u \cdot I_b \cdot d^{-1,28} \quad \dots \dots \dots (12)$$

Iz ovog izraza može se izraziti konstanta k :

$$k = \frac{v_0}{I_b \cdot P_u \cdot d^{-1,28}} \quad \dots \dots \dots (13)$$

Bušenje minskih bušotina prečnika $d = 76$ mm, u rudnim telima "Tilva roš" i "P₂A", vršeno je bušilicama SIMBA H 253

sa hidrauličnim bušaćim čekićem COP 1238, pri čemu je pritisak ulja u mehanizmu perkusije iznosio 16 MPa, a dužina hoda klipa odgovarala je stepenu II. Angažovana udarna snaga čekića, pri ovakvom režimu bušenja, iznosila je $P_u = 10,5$ kW. Pri tome, početna brzina bušenja u rudi sa indeksom bušivosti $I_b = 40$, prema grafiku na slici 4, iznosi $v_0 = 1,04$ m/min. Za navedene uslove, prema izrazu (13), dobija se vrednost konstante $k = 0,633$.

Konstanta k zavisi od režima bušenja, tipa i zatupljenosti krune ali se, za optimalan odnos parametara režima bušenja i pravilno izabranu i oštru bušaću krunu, može prihvatiti navedena vrednost. Sa pogoršanjem režima bušenja i tupljenjem krune konstanta k se smanjuje. Zamenjujući vrednost konstante k u izraz (12) dobija se izraz za određivanje početne brzine bušenja hidrauličnim bušaćim čekićima u obliku:

$$v_0 = 0,633 \cdot I_b \cdot P_u \cdot d^{-1,28} \quad (\text{m/min}) \quad (14)$$

Polazeći od izraza (3) i (14), dobija se izraz na osnovu koga se može prognozirati brzina bušenja na proizvoljnoj dubini bušotine (l), u obliku:

$$v = 0,633 \cdot I_b \cdot P_u \cdot d^{-1,28} \cdot e^{-0,02l} \quad .(15)$$

Srednja mehanička brzina bušenja (v_{sr}), od usta bušotine do njene konačne dubine (L), jeste:

$$v_{sr} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L v_0 \cdot e^{-0,02 \cdot l} \cdot dl, \quad(16)$$

odakle, nakon integracije, sledi:

$$v_{sr} = \frac{v_0 \cdot (1 - e^{-0,02 \cdot L})}{0,02 \cdot L}, \quad(17)$$

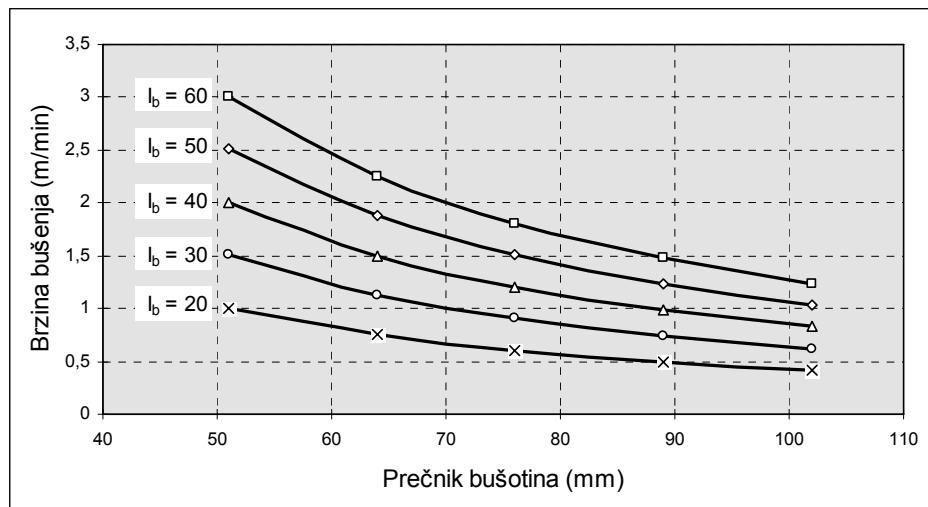
S obzirom na izraz (14), konačno se dobija matematički izraz za prognozu srednje mehaničke brzine bušenja dubokih minskih bušotina primenom bušilica sa hidrauličkim bušaćim čekićima:

$$v_{sr} = \frac{32 \cdot I_b \cdot P_u \cdot d^{-1,28} \cdot (1 - e^{-0,02L})}{L} \quad (\text{m/min}) \quad(18)$$

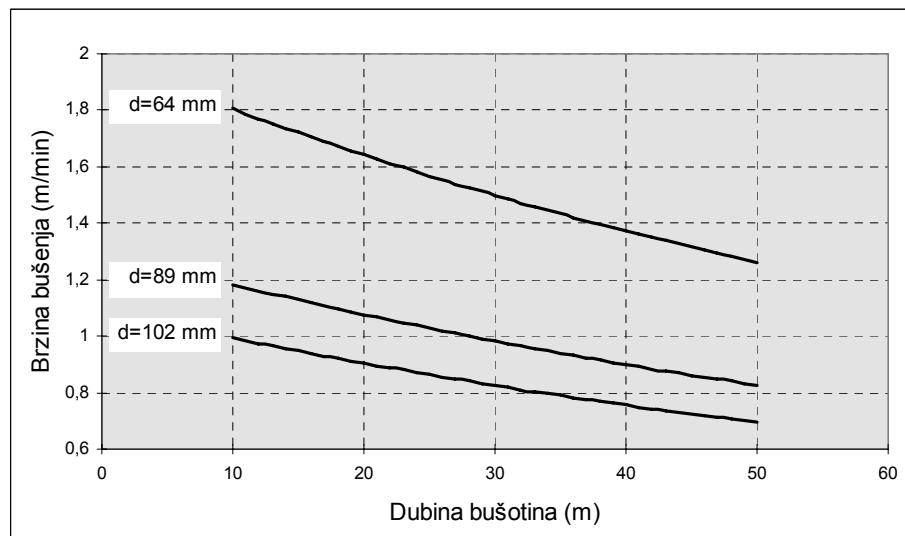
Izraz (18) grafički je ilustrovan zavisnostima brzine bušenja od:

- prečnika bušotine, u stenama različite bušivosti, pri dubini bušotine $L = 30$ m, (slika 5) i
- dubine bušotine, pri različitim prečnicima bušotine, u steni sa $I_b = 40$ (slika 6).

U oba slučaja računato je sa 80 % angažovanja udarne snage bušaćeg čekića COP 1838 ME.



Sl. 5. Uticaj prečnika bušotina na brzinu bušenja pri različitoj bušivosti stena



Sl. 6. Uticaj dubine bušotina na brzinu bušenja pri različitim prečnicima bušotina

najvećoj meri, zavisi od: dužine i prečnika bušotina, bušivosti stene i udarne snage bušaćeg čekića.

Na osnovu hronometrijskih snimanja procesa bušenja na otkopima rudnih tela "Tilva roš" i "P₂A" u borskoj Jami,

U odnosu na izraze tipa (1) izrazi (14) i (18) razlikuju se u sledećem:

- umesto drugih karakteristika stene, kao pouzdani pokazatelj otpornosti prema bušenju, uveden je indeks bušivosti I_b ;
- uticaj prečnika bušotina izražen je hiperboličkom zavisnošću preko pokazatelja čija je vrednost od $n = 1,28$ niža od onih koje se obično navode u literaturi i
- uticaj dubine bušotina na brzinu bušenja hidrauličnim bušaćim čekićima izražen je preko eksperimentalno utvrđene vrednosti pokazatelja pada brzine bušenja $\delta = 0,02$.

ZAKLJUČAK

Postojeći empirijski izrazi i postupci za prognozu brzine perkusivnog bušenja, uglavnom se odnose na pneumatske bušače čekiće i ne omogućavaju pouzdanu prognozu brzine bušenja dubokih minskih bušotina hidrauličkim bušaćim čekićima. Pored toga, ti postupci su vezani za kratke bušotine i zanemaruju značaj dubine bušotina. Imajući to u vidu, na osnovu teorijskih, terenskih i laboratorijskih istraživanja, u ovom radu utvrđeni su empirijski izrazi za prognozu brzine bušenja dubokih bušotina bušilicama sa hidrauličkim čekićima. Brzina bušenja, u

utvrđene su relativne brzine bušenja za odgovarajuće dubine bušenja i parcijalna korelativna zavisnost brzine bušenja i dubine bušotina. Sa lokacijama na kojima su obavljena hronometrijska snimanja uzeti su odgovarajući uzorci rude, koji su podvrgavani ispitivanju indeksa bušivosti. Utvrđena je visoka korelativnost indeksa bušivosti i brzine bušenja.

Polazeći od parcijalnih zavisnosti (2), (6) i (8) utvrđen je matematički izraz (14) za prognozu početne brzina bušenja (v_0). Za prognozu srednje mehaničke brzine bušenja (v_{sr}) dubokih bušotina, od usta do konačne dubine bušotine, utvrđen je matematički izraz (18). Izraz je grafički ilustrovan zavisnostima brzine bušenja od: bušivosti stena, prečnika i dubine bušotina (slike 5 i 6).

Matematički izraz za prognozu srednje mehaničke brzine bušenja hidrauličnim bušaćim čekićima, u odnosu na postojeće izraze, koji se mogu naći u literaturi, odlikuje se drugačijim vrednovanjem uticaja otpornosti stena prema bušenju, prečnika i dubine bušotina.

Na osnovu analize snimanja procesa bušenja u borskoj Jami utvrđeno je da brzina bušenja opada sa dubinom po eksponencijalnoj zavisnosti (izraz (3)) prema pokazatelju pada brzine bušenja $\delta = 0,02$. Prema parcijalnoj hiperboličnoj zavisnosti (izraz (6)), uticaj prečnika bušotina na brzinu bušenja iskazan je preko pokazatelia $n = 1,28$. S obzirom na utvrđenu visoku korelativnost između brzine bušenja i indeksa bušivosti (izraz (8)) u izrazu za prognozu brzine bušenja, umesto koeficijenta f , figurise indeks bušivosti I_b .

LITERATURA

1. R. Pantović, Određivanje optimalnih parametara bušenja dubokih minskih bušotina kod visokoproizvodnih metoda podzemnog otkopavanja, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet, Bor, 1999.
2. K. I. Ivanov, A. M. Cipkis, Burenije špurov i skvažin samohodnimi šahtnim ustanovkami, Nedra, Moskva, 1983.
3. Drilling and blasting in underground mines, Tamrock, Helsinki, Finland, 1986.
4. Prospekti Atlas Copco.
5. R. Beccu, Basic mechanics of top-hammer drilling – the importance of good contact at the bit-rock interface, WME, 1992/2, p. 16-17.

UDK: 621.967.2:622.33(045)=861

*Ljiljana Janošević, Miroslav Ignjatović, Oliver Dimitrijević**

**IZBOR NAČINA PREMOŠĆAVANJA DOLINE REKE RADUŠE U
PODRUČJU LEŽIŠTA KAMENOGLA UGLJA „PROGORELICA“ –
BALJEVAC ZA PROLAZAK TRAKASTOG TRANSPORTERA**

**THE SELECTION OF SPANING METHOD THE RIVER RADUŠA
VALLEY IN THE AREA OF STONE COAL DEPOSIT
„PROGORELICA“ – BALJEVAC FOR CONVEYOR BELT
PASSING THROUGH**

Izvod

Važan deo projektovanja eksploracije kamenog uglja u ležištu „Progorelica“ – Baljevac je rešenje načina transporta uglja trakastim transporterom od površinskog otkopa do utevarne stanice teretne vazdušne žičare u Tadenju. Dužina trakastog transporterera od platoa bunkera do dodavača u Tadenju je 515 m. Na osnovu profila terena, urađen je profil trase za trakasti transporter u čijem je središnjem delu dolina kojom protiče reka Raduša. Ona je u letnjem periodu širine ne veće od 3 m, a može i da presuši, ali u kišnom periodu, kada se slije sva voda sa okolnih padina, može da dođe do plavljenja cele doline u širini i do 100 m, odnosno do max. dubine od 4 m a brzina vode u slučaju bujice dostiže 10 m/s.

Postoji više načina rešavanja ovog problema. U ovom radu će biti predstavljena dva moguća rešenja, koja su obrađena prema želji investitora, sa ciljem da se ukaže na prednosti svake pojedinačne varijante i ključnog elementa na osnovu kojeg je izabran način premošćavanja doline u ovom konkretnom primeru.

Ključne reči: trakasti transporter, profil trase, plavljenje doline, premošćavanje.

Abstract

The important part in designing the exploitation of stone coal deposit „Progorelica“ – Baljevac is a solution of transport method for coal by conveyor belt from the open pit to the loading station of freight cable-railway in Tadenje. Conveyor belt is 515m long from steel bin plate to feeder in Tadenje. Based on configuration in this region in middle of which is the river Radusa, trace profile has been made for conveyor belt. The river Raduša is about 3m wide in summer period and it could even dry, but in the rainy periods when the water from surrounded hills confluence, it could flood all the valley in widenes of 100m, 4m deep with max. Speed 10 m/s in case of rapid flood.

There are few methodes of solution of this problem. This work will present two possible solutions, that were analised, in order to respect the wish of Investor, with the aim to show the advantage of each one, and the key element that was the base in deciding process for valley spaning in this particular case.

Key words: conveyor belt, ,trace profile, flood the vally,spaning.

* Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

UVOD

Prema postojećoj konfiguraciji terena urađen je profil trase za trakasti transporter. Poštovane su norme i standardi za trakaste transportere, te je maksimalni nagib terena na silaznom delu trake 15^0 , a maksimalni nagib na usponu 18^0 . Radijus konkavne krvine je $R=17$ m, a konveksne $R=128$ m. Središnjim delom doline protiče rečica Raduša. Na osnovu vizuelnih zapažanja investitora i topografije terena kota vode neće preći kotu +440,00 m odnosno max. dubina neće preći 4 m, a brzina vode u slučaju bujice 10 m/s.

Da bi se na tom delu izbeglo plavljenje trakastog transportera, projektovan je čelični transportni most grednog sistema, sa glavnim grednim nosačem na koti +440,6 m (kota gornje ivice nosača), pri čemu je traka na koti +441,6 m. Na taj način su sekcije koje nose traku zaštićene od vode i pri max. nivou, a voda nesmetano protiče između čeličnih stubova (u varijanti I), odnosno između obalnih potpornih zidova – oslonaca mosta (u varijanti II), čime se ne remeti prirodan tok, ne povećava prirodan nivo i brzina vode.

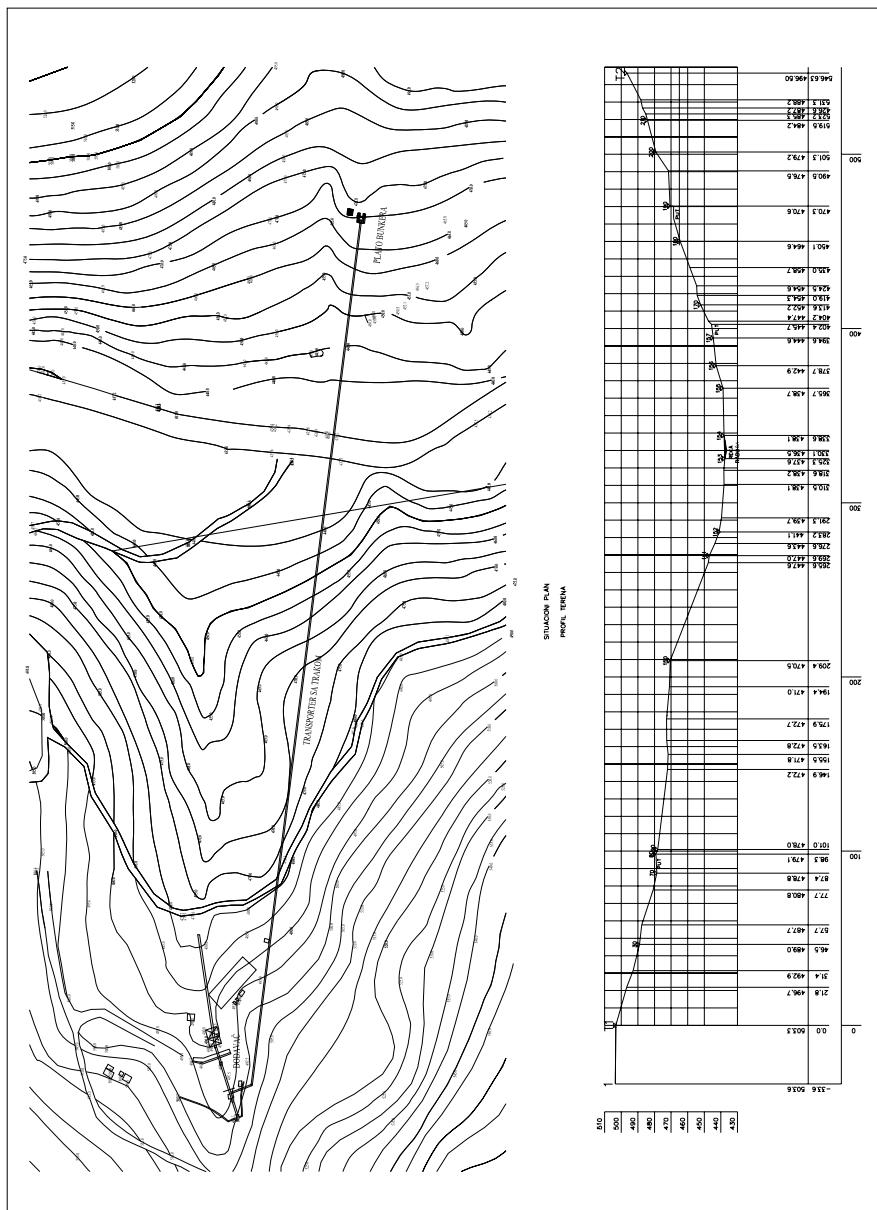
Varijanta I

Po ovoj varijanti je cela dolina, u dužini od 111 m, premošćena čeličnim stubovima na rastojanju od 3 m+18x6 m. Svi stubovi su urađeni kao ravanski rešetkasti (pokretni oslonci) osim jednog koji je prostorni rešetkasti (nepokretni oslonac) i od koga se levo i desno omogućava neometan rad konstrukcije. Zatezna stanica je smeštena u polju do prostornog stuba i na njega prenosi

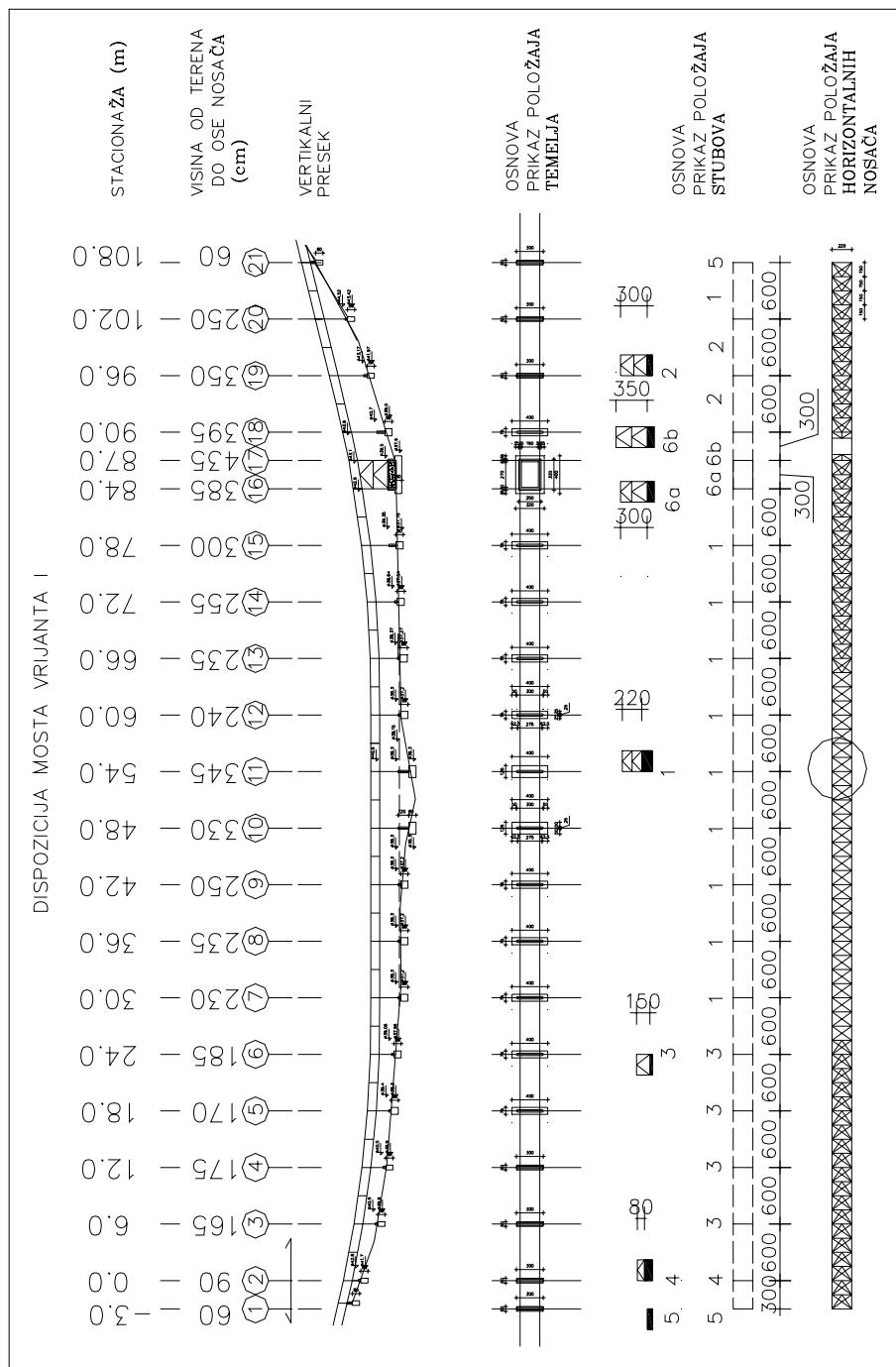
eventualne horizontalne sile. Prema rastojanju od terena do glavnog nosača menja se i visina stubova. Stubovi su zato podeljeni u 4 tipa, tako da je kod svih stubova istog tipa visina i oblik čeličnog dela stuba ista, dok se visina betonskog dela menja zavisno od konfiguracije terena.

Glavni nosači mosta su dva paralelna nosača grednog sistema raspona 18 x 6 m, na rast 220 cm sistema proste grede. Na njih se upravno oslanjaju glavni i sekundarni poprečni nosači na svakih 150 cm dužine i, ujedno, obezbeđuju pritisnutu nožicu glavnog nosača od bočnog izvijanja. Glavni poprečni nosači primaju uticaje od sekcija koje nose transportnu traku i pešačke staze, a sekundarni samo od pešačke staze, i prenose ih na glavni nosač. Za prijem horizontalnih sila vetra izrađen je sistem od ukrštenih dijagonala koje zajedno sa glavnim i poprečnim nosačima, čine rešetkasti spreg u horizontalnoj ravni.

Oblik betonskih stubova i temelja ravanskih stubova je takođe ravanski, a sam betonski stub je polukružno urađen kako bi se smanjio koeficijent pritiska na isti od vode. Temelj prostornog stuba je kontra ploča. Ispod temelja treba uraditi sloj od mršavog betona $d=5$ cm i sloj šljunka $d=15$ cm zbijenosti $MS=30.000$ kN/m^2 . Svi temelji stubova su na dubini $D_y= 80$ cm kako bi se onemogućilo smrzavanje tla na temeljnoj spojnici i visine su 80 cm čime se izbegava mogućnost ispiranja tla iznad temelja sa čijim se sadejstvom ušlo u proračun.



Sl.1. Situacioni plan i profil tunela



Sl. 2. Dispozicija mosta varijanta I

Varijanta II

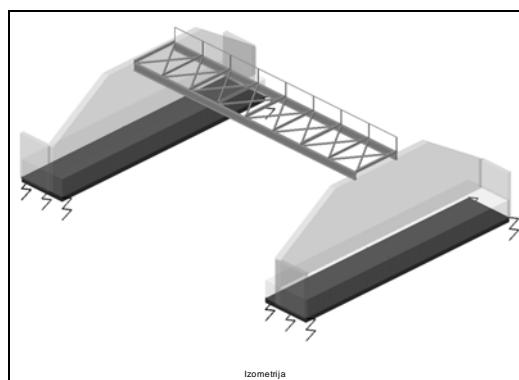
Po ovoj varijanti je cela dolina uradena u nasipu širine 300 cm (u vrhu nasipa) do kote +440.6 m, a samo je u središnjem delu ostavljen jedan propust širine 12 m. Zatezna stanica je smeštena u AB šahu i na nju prenosi eventualne horizontalne sile. Potporni zidovi (obalni oporci) su pločastog sistema od MB 20 i njihova uloga je kako da prime uticaje od mosta, tako i da drže zemljani nasip ispred tj. iza mosta. Na zidu se, u dva nivoa izvode drenažne rupe F40 mm radi ocedivanja vode. Bočne strane nasipa pored potpornog zida, u dužini od min 20 m sa svake strane i visine 2 m, obezbediti od ispiranja slojem od mršavog betona $d=10$ cm i drenažnim cevima sa zaštitnom mrežom na krajevima. Temelji su na dubini $D_y=80$ cm kako bi se onemogućilo smrzavanje tla na temeljnoj spojnici i visine su 80 cm. Ispod temelja treba uraditi sloj od „mršavog“ betona $d=5$ cm i sloj šljunka $d=15$ cm zbijenosti $M_s=30.000 \text{ kN/m}^2$.

Glavni nosači mosta su dva paralelna nosača grednog sistema raspona 12 m na rast 220 cm sistema proste grede.

U pogledu poprečnih nosača kao i sprega za vetar dispozicija samog mosta je u svemu rešena kao u varijanti I, što je, uostalom, diktirano rastojanjem nožica sekcija od 300 cm u podužnom pravcu i 110 cm u poprečnom pravcu..

Prilikom izrade nasipa na kosinama treba da se uradi potrebno je izvršiti sledeće:

- skidanje sloja humusa,
- planiranje i zasecanje kosina, tj. izrada kaskada u odnosu $B:H=2:1$ kako bi se sprečilo klizanje nasipa,
- valjanje pod tla do $M_s=30.000 \text{ kN/m}^2$,
- planiranje i valjanje kosina nasutom zemljom u slojevima do 30 cm, zbijanjem do $M_s=30.000 \text{ kN/m}^2$,
- radi zaštite od ispiranja nasip zatravniti, a na vrhu kosine izraditi ivičnjak (betonski zub) $h=10-15$ cm, dužine 3 m,
- bočne strane nasipa prema prirodnom tlu raditi u nagibu $B:H=2:1$
- bočne strane useka raditi u nagibu prema postojećem tlu $B:H=1,5:1$.



Sl. 3. Izometrijski prikaz varijanta II

PRIKAZ REZULTATA

Za obe varijante je urađen predmer i predračun radova za građevinski deo, čija je rekapitulacija data u donjoj tabeli.

Upoređivanjem ukupnih iznosa cene radova, vidi se da je varijanta I, čiji je ukupan iznos 4,736.055.00 din za 170.296.00 din skuplja od varijante II čiji je ukupan iznos 4,565.759.00 din. To znači

da je varijanta I skuplja za 3,7% od varijante II, što ne čini veliku razliku, te ne predstavlja merodavan uslov za izbor rešenja

REKAPITULACIJA

	VARIJANTA I	VARIJANTA II
PRIPREMNI RADOVI	7.500.00	7.500.00
ZEMLJANI RADOVI	822.200.00	2.109.649.00
BET. I ARM. BET. RADOVI	710.300.00	1.263.850.00
ARMIRAČKI RADOVI	614.750.00	579.800.00
ČELIČNA KONSTRUKCIJA	2.581.305.00	582.800.00
RAZNI RADOVI	-	22.160.00
UKUPNO	4.736.055.00	4.565.759.00

DISKUSIJA

Ako, međutim, pojedinačno pogledamo stavke predmeta i predračuna, videćemo da u prvoj varijanti dominantan iznos od 54.5 % ukupne „cene koštanja“ predstavlju troškovi za nabavku, transport i montažu čelične konstrukcije, dok troškovi zemljanih radova iznose svega 17.4%. U II varijanti dominantan iznos od 46.2% ukupne cene koštanja predstavlju troškovi za zemljane radove, dok troškovi nabavke, transporta i montaže čelične konstrukcije iznose svega 12.8 %.

Kako investitor raspolaže sopstvenom mehanizacijom i radnom snagom za izvođenje zemljanih radova i kako je količina useka približno jednaka količinama materijala potrebnim za formiranje nasipa, investitor se odlučio za varijantu II. Na taj način će iznos od 2.109.649.00 din pokriti angažovanjem sopstvene mehanizacije i radne snage, a takođe će izbeći troškove vezane za odvoženje zemlje iz useka na deponiju.

ZAKLJUČAK

Izbor optimalnog tehničkog rešenja prilikom projektovanja građevinskih objekata u rudarstvu obuhvata iznalaženje najcelishodnijeg rešenja po pitanju stabi-

lnosti, funkcionalnosti i upotrebljivosti, pri čemu je od velikog značaja i analiza „cene koštanja“ za svaku pojedinačnu varijantu.

Ispravnim sagledavanjem potreba i mogućnosti Investitora može se izabrati najpovoljnije rešenje za svaki konkretan slučaj ponaosob.

LITERATURA

1. Dragan Buđevac i Bratislav Stipanić: „Metalni mostovi“, univerzitetski udžbenik; Univerzitet u Beogradu; 1989
2. Branko Zarić, Bratislav Stipanić i Dragan Buđevac: „Čelične konstrukcije u građevinarstvu“, univerzitetski udžbenik; Univerzitet u Beogradu; 1989
3. Živorad Radosavljević: „Armirani Beton“ knjiga 1, univerzitetski udžbenik; Univerzitet u Beogradu; 1990
4. Živorad Radosavljević: „Armirani Beton“ knjiga 2-teorija graničnih stanja, univerzitetski udžbenik; Univerzitet u Beogradu; 1990
5. Živorad Radosavljević: „Armirani Beton“ knjiga 3 - elementi armirano-betonских konstrukcija, univerzitetski udžbenik; Univerzitet u Beogradu; 1990

UDK: 622.7(045)=861

BSc Merike Gericke*, Vesna Conić. **, Mr Dragan Milanović**,
Dr Vladimir Cvetkovski**

NOVI TRETMAN FLOTACIJSKIH KONCENTRATA IZ RUDNIKA BAKRA RTB-a BOR

NEW TREATMENT OF FLOTATION CONCENTRATES FROM RTB COPPER MINE

Izvod

Ogledi feri-luženja i mikrobiološkog luženja koncentrata bakra su izvedeni na laboratorijskom nivou. Ispitivana je kinetika sa efikasnošću iskorišćenja bakra ogledima feri-luženja i mikrobiološkog luženja. Dva koncentrata bakra, iz Rudarsko-topioničarskog basena Bor, (RTB Bor), Rudnika bakra Majdanpek i „Veliki Krivelj“ iz Srbije, dobijena su u Institutu za Rudarstvo i Metalurgiju, Bor, flotacijskim postupkom na MINPRO kontinualnoj laboratorijskoj flotacijskoj opremi. Zatim su urađene hemijske i mineraloške analize na tim koncentratima. Oba uzorka flotacijskih koncentrata bakra iz RTB-a Bor sadržala su oko 17 % Cu i korišćena su za naredna istraživanja. Ogledi luženja su izvedeni na oba flotacijska koncentrata koji su domleveni do finoće od 90% -10 µm. Mineraloška studija pokazuje da ovi koncentrati imaju strukturu, sa 65% halkopirita i 31-35 % pirita u kristalnoj formi. Pogodni ogledi bioluženja u reaktorima su izvedeni na 70°C. Uticaj temperature i redox-potencijala na ekstrakciju bakra, (Cu) i kinetiku procesa ustanovljen je ogledima feri-luženja. Zatim su ogledi obavljeni u kontinualnom trostopenom laboratorijskom reaktorskom sistemu na 70 °C upotrebom Mintek ekstremno termofilne kulture bakterija. Iskorišćenje bakra od 98 % i 99% je postignuto tokom ovih ogleda luženja. Ovo su veoma dobri rezultati, zbog toga, možemo sugerisati novu tehnološku šemu tretmana dva koncentrata bakra iz RTB-Bor.

Ključne reči: luženje, bioluženje, extrakcija, iskorišćenje bakra.

Abstract

The Ferric leach tests and microbial leaching of a copper concentrates were carried out on a laboratory scale. The rate of Ferric leach tests and microbial leaching with efficacy of copper recovery were examined. Two Cu-concentrates, from Mining & Smelting Basin Bor (RTB Bor), copper mines Majdanpek and Veliki Krivelj from Serbia, Europe, were received from Copper Institute Bor by flotation proces in MINPRO continuous flotation laboratory equipment. Chemical and mineralogical analyses were performed on the concentrate. The both flotation copper

* Mintek, Biotehnoško Odelenje, Randburg 2125 Južna Afrika

**Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Srbija

concentrate sample from RTB Bor has been used in this study, containing around 17% Cu. The leaching tests have been carried out on a both flotation concentrate of ground samples 90% less than 10 µm. The mineralogical study showed that this concentrates has a structure, with 65% Chalcopyrite and 31-35% Pyrite in the crystal form. Batch bioleach amenability tests were completed at 70°C. Ferric leach tests, evaluating the effect of temperature and redox potential on Cu extraction and kinetics are in progress. Amenability test work is currently being performed in continuously operated 3-stage reactor systems at 70°C, using the Mintek extreme thermophile culture. The copper recovery of 98% and 99% were attained during the leach tests work. This are very good results, because that, we can suggest a new technological flow-sheet treatment two Cu-concentrates, from RTB Bor.

Key words: leaching, bioleaching, extraction, copper recovery.

UVOD

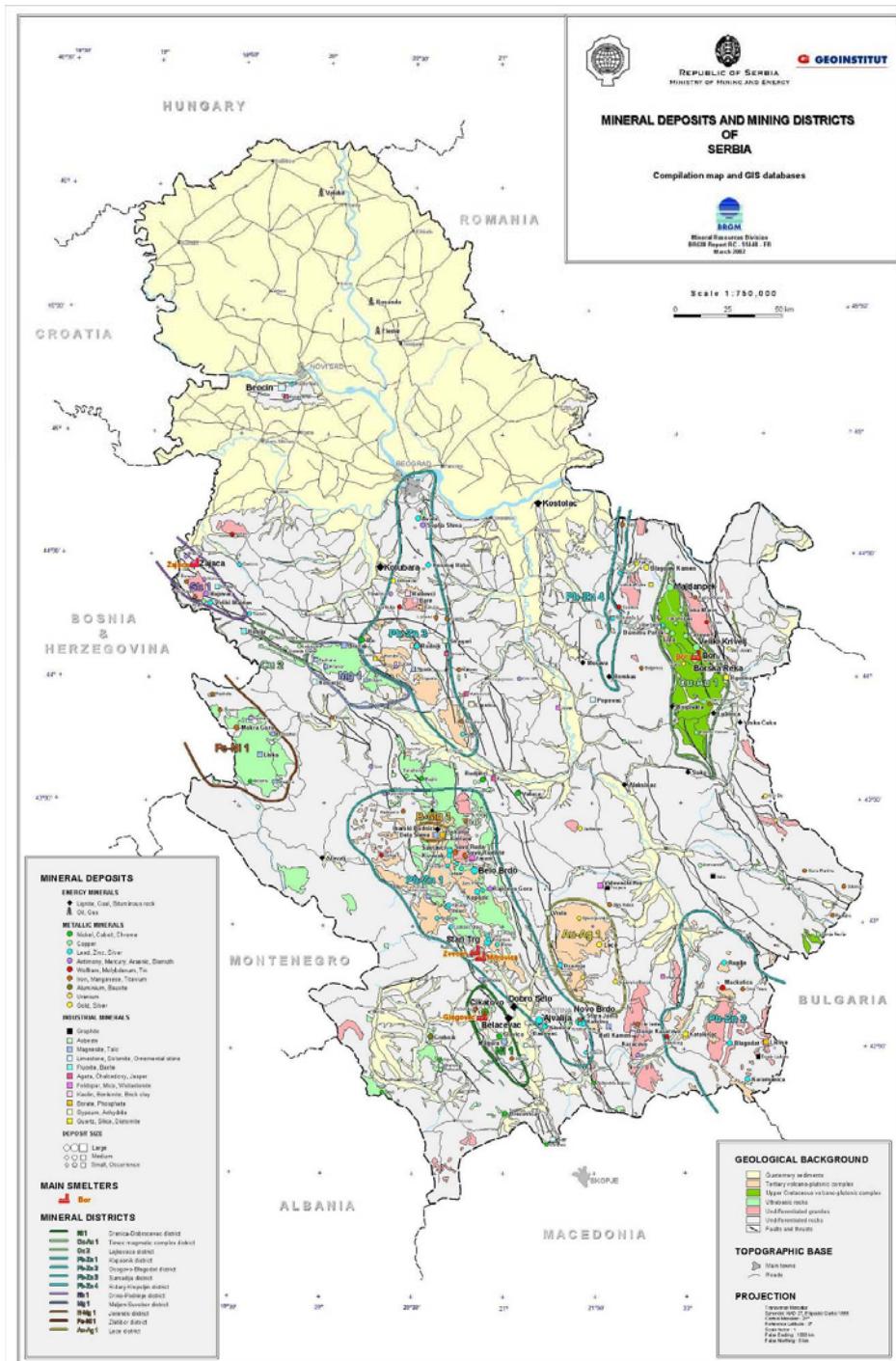
U ovom radu je prikazano dobijanje flotacijskih koncentrata, zatim hemijski i biološki tretman tih koncentrata za postizanje bolje ukupne valorizacije bakra. Rudnici bakra „Majdanpek“ i „Veliki Krivelj“ su locirani blizu grada Bora u istočnoj Srbiji. Ova oblast je poznata po kompleksnoj geološkoj strukturi gde su dominantne magmatske stene u odnosu na sedimentne. Sulfidni minerali su deponovani u adezitima i njihovim ekvivalentima, sa sadržajem bakra u opsegu 0,3-0,6%. Na sl.1 možemo videti rudarsku oblast Srbije i mineralna ležišta.

Sveobuhvatna fizičko – hemijska karakterizacija materijala bila je prethodno urađena. Zatim je su dobijeni flotacijski koncentrati bakra. Uzorci rude bakra iz RTB Bor, Rudnika bakra Majdanpek i „Veliki Krivelj“ flotirani su pod optimalnim parametrima na laboratorijskom nivou.

Dva koncentrata bakra su dobijena u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor flotacijskim postupkom. Dobijeni koncentrati korišćeni su za naredna hemijska i biološka ispitivanja.

Hemijske i meneraloške analize su obavljene na koncentratima kao i serijsko ambijentalno biološko luženje. Ispitivanje je rađeno na 70°C u kadama. Ogledi feriluženja su izvođeni radi ocenjivanja uticaja temperature i redox-potencijala na ekstrakciju bakra. Protočni ambijentalni testovi su bili izvedeni u kontinualnom radnom trostopenom reaktorskom sistemu na 70°C korišćenjem Mintekove (Južna Afrika), extreme thermofiline culture bakterija.

Sve ovo je rađeno sa ciljem da se sadašnja niska industrijska iskorišćenja bakra u flotacijskom pogonu i u pogonu topionice preduprede i da se pokuša iznalaženje različitog tehnološkog tretmana ovih ruda od postojećeg.



Sl. 1. Mineralna ležišta i rudarske oblasti Srbije

PRIPREMA I KARAKTERIZACIJA UZORKA

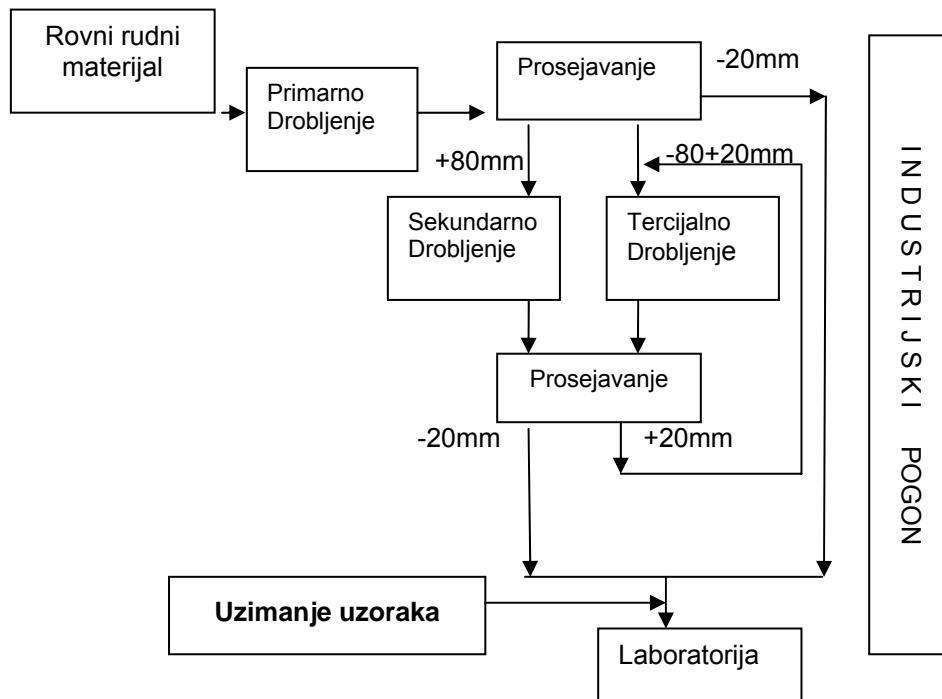
Uzorci za ova istraživanja su uzeti iz izdrobljene rude u flotacijskom postrojenju "Veliki Krivelj" ispod bunkera finalnog proizvoda drobljenja na ulazu u industrijski mlin. U majdanpečkoj flotaciji obavili smo sličnu aktivnost. Na sl.2 možemo videti principijelu šemu sa mestom iznošenja uzorka iz finalnog proizvoda drobljenja rude u industrijskom pogonu. Ovi uzorci su prvo usitnjeni, a zatim homogenizirani standardnim laboratorijskim metodom. Tada je uzorak sveden do krupnoće 100% -3,327 mm. Posle toga je korišćen za određivanje Bondovog indeksa u mlinu sa šipkama i

kuglama, a i zatim za druga tehnološka istraživanja. Fizičko hemijska karakterizacija polaznih rudnih uzoraka bila je određena uobičajenim laboratorijskim metodama. Te karakteristike su predstavljene u tabeli 1. Uzorci specimena su uzeti iz iste rude za mineralošku karakterizaciju i x-rey analize.

X-ray analiza je izvedena u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor na "Simens" aparaturi upotrebo Cu-antikatode sa filtriranjem emisije Ni-filterom (napona 40 kV i strujnim intezitetom 20 mA). Određeni kvalitativni sastav bio je veoma sličan za oba rudna uzorka bakra: halkopirit CuFeS₂; pirit, FeS₂ i minerali jalovine.

Tabela 1. Fizičko-hemijske karakteristike uzorka rude iz rudnika bakra "Majdanpek" i "Veliki Krivelj", RTB Bor

Uzorak rude:	"Veliki krivelj"	"Majdanpek"
Fizičke karakteristike	Vrednosti i jedinice mere:	
Gustina i prirodna pH vrednost	$\rho = 2700,0 \text{ kg/m}^3$; pH 7,20	$\rho = 2475,0 \text{ kg/m}^3$; pH 6,75
Bondov radni index	Wi (KWh/t)	Wi (KWh/t)
Mlin sa: šipkama / kuglama	11.13 / 13.96	11.6 / 14.2
Hemijske karakteristike	Sadržaj :	Sadržaj :
Cu-ukup.	0.24 %	0.41 %
Cu-ox	0.012%	0.014 %
Cu-sulfid.	0.228 %	0.396 %
S	4.7 %	3.5 %
SiO ₂	57.2 %	53.5 %
Fe	6,2 %	4.6 %
Fe ₃ O ₄	0.7 %	1.5%
Al ₂ O ₃	15.6 %	13.20 %
Au	< 0.09 g/t	< 0.12 g/t
Ag	< 0.8 g/t	< 1.0 g/t
MgO	2.32 %	1.10 %
Na ₂ O	1.68 %	1.45 %
K ₂ O	1.97 %	1.54 %
CaO	3.07 %	3.77 %

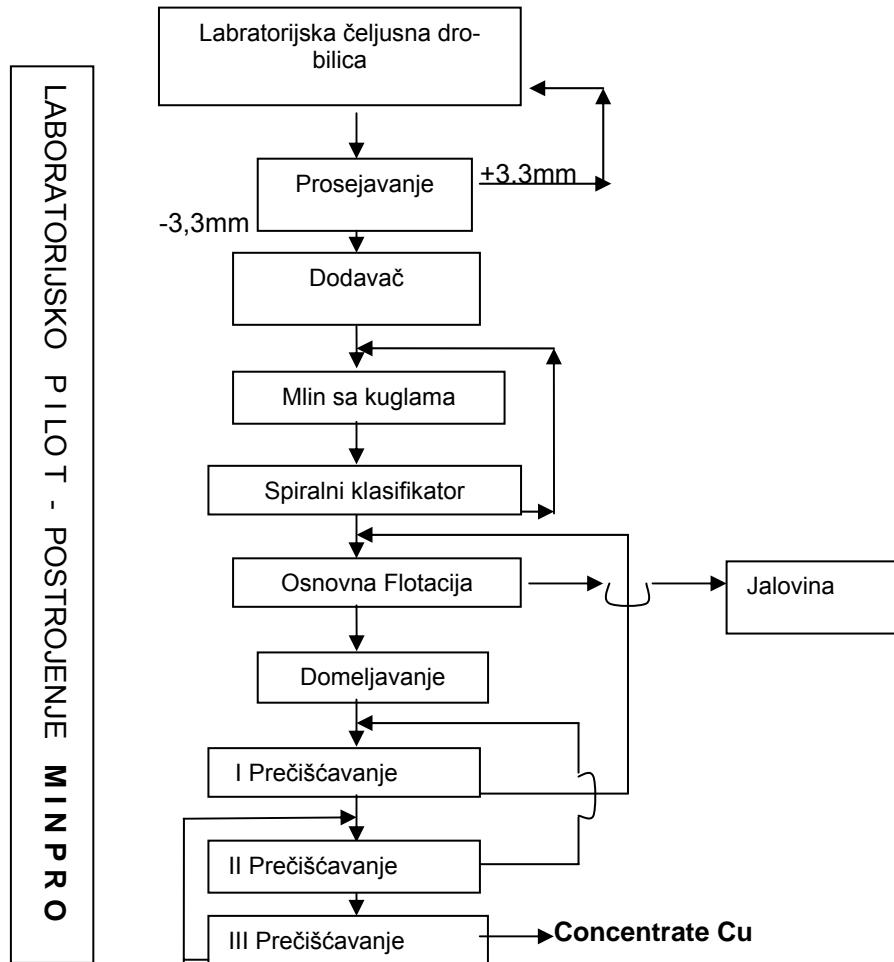


Sl. 2. Tehnološka šema uzimanja uzorka iz finalnog proizvoda drobljenja

DOBIJANJE FLOTACIJSKOG KONCENTRATA

Niska industrijska iskorišćenja bakra u flotacijskom pogonu i u topionici od 75–80% i 89–93% respektivno, nalažu pokušaj različitog tehnološkog tretmana ovih ruda. Za dobijanje boljeg iskorišćenja bakra, a u vezi relativno dobrog sadržaja bakra u obema rudama dobijenim iz Majdanpeka i Velikog Krivelja (oko 0,3% Cu), preliminarni testovi flotacije su izvedeni na laboratorijskom nivou sa polaznim rudnim uzorcima. Istraživana je prvo finoča mlevenja rovnog materijala koja je određena mlevenjem u laboratorijskom mlinu sa kuglama. Ona obezbeđuje neophodnu oslobođenost korisnih minerala i najbolje tehnološke rezultate, specijalno u pogledu iskorišćenja metala u koncentratu osnovnog flotiranja. Uticaj drugih najvažnijih tehnoloških parametara

na tehnološke rezultate flotacijskog koncentrata metala (pH vrednost pulpe u osnovnom flotiranju, vreme osnovnog flotiranja, potrošnja reagenasa i sadržaj čvrstog u osnovnom flotiranju itd.) bio je ispitivan na laboratorijskom nivou. Na osnovu prethodno dobijenih laboratorijskih rezultata u osnovnoj flotaciji (pomoću testova prečišćavanja osnovnog koncentrata) ustanovljeno je da su domeljavanje osnovnog koncentrata i više stepeno prečišćavanje značajno doprineli poboljšanju kvaliteta finalnog koncentrata. Tako je usvojeno da bi, trostepeno prečišćavanje, sa prethodnim domeljavanjem osnovnog koncentrata trebalo obavljati kao najoptimalnije tehnološko rešenje za oba rudna uzorka. Na sl. 3 je predstavljena tehnološka šema dobijanja oba koncentrata bakra u MINPRO kontinualnoj laboratorijskoj flotacijskoj opremi.



Sl. 3. Tehnološka šema dobijanja oba koncentrata bakra u MINPRO-opremi u Institutu za rudarstvo i metalurgiju, Bor

Finalni flotacijski koncentrati su proizvedeni na laboratorijskom nivou upotrebom MINPRO kontinualne laboratorijske opreme po eksperimentalnom protokolu sa prethodno utvrđenim parametrima koji omogućuju bolje iskorišćenje nego u industrijskim uslovima. Na sl.4 je predstavljena MINPRO kontinualna laboratorijska oprema.

Protokol dobijanja koncentrata u kontinualnoj laboratorijskoj opremi je prikazan u tabeli 2. Protokol dobijanja koncentrata u

kontinualnoj laboratorijskoj opremi je baziran na rezultatima laboratorijskih testova osnovne flotacije i prečišćavanja osnovnog koncentrata, kao optimalni parametri flotacijske koncentracije korisnih metala. Proizvodi flotacijskog eksperimenta u kontinualnom laboratorijskom flotacijskom postrojenju MINPRO (flotacijski koncentrat i jalovina), bili su filtrirani i sušeni posle ogleda i tada je materijal bio poslat na fizičko-hemiju i mneralošku analizu.



SI 4. MINPRO kontinualna laboratorijska oprema-Institut za rudarstvo i metalurgiju

Tabela 2. Protokol dobijanja koncentrata bakra

Mlevenje :	
- Ruda(finalni produkt drobljenja)/ Voda:	m =0,8 kg/h/ v = 0,4 l
- Sadržaj čvrstog	S = 70 %
- Vreme mlevenja:	t = 5,1 min
- Sadržaj klase, -75µm	γ = 58 %
- Medija regulator:	Kreč, CaO = 1 g/t
Kondicioniranje:	
- Vreme kondicioniranja:	t =5 min
- Dodata voda – do sadržaja čvrstog:	v=2,5 l/h - S=27 %
- Medija-regulator:	Kreč, CaO=0,2 g/t
- pH vrednost :	pH = 10,0
- Kolektor/ Penušač :	KEX=25 g/t / D-250=12 g/t
Osnovna flotacija :	
- Sadržaj čvrstog	S = 27 %
- pH vrednost:	pH = 10,0
- Vrema flotacije:	t _{total} = 20 min
- Kolektor:	KEX=50 g/t
- Penušač:	D-250 aproksimativno=1g/t
- Medija-regulator:	Kreč CaO = 0,1 g
Domeljavanje :	
- Sadržaj čvrstog	S = 65 %
- Vrema mlevenja:	t = 10 min
- sadržaj klase, -75µm	γ = 95 %
- Medija-regulator:	Kreč CaO = 1,5 g
Trostepeno prečišćavanje:	
- pH vrednost u prečišćavanju:	pH = 11,8
- Vreme prečišćavanja:	t _{prečišćavanja} = 21 min

Rezultati flotacije pokazuju da vrednost sadržaja bakra u definitivnom flotacijskom koncentratu dobijenom iz majdanpečkog uzorka iznosi 17.1% Cu sa iskorišćenjem od 83.19 % a iz uzorka „Veliki Krivelj“ 16.8 % Cu sa iskorišćenjem 82.20 %. Ovo su rezultati slični industrijskim rezultatima. Uzorci koncentrata Iz instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor, su poslati u kompaniju Mintek, Južna Afrika, radi sprovođenja ogleda luženja i bioluženja.

KARAKTERIZACIJA KONCENTRATA

Hemiske analize oba koncentrata su predstavljene u tabeli 4. Na osnovu tih analiza zaključujemo da oba koncentrata imaju veoma slične sadržaje osnovnih primarnih hemijskih komponenti, oni su slični jedan drugome. Specijalno za sadržaje Cu; Fe; S^{tot}; SiO₂ itd. Samo male razlike bile su u sadržaju sekundarnih elemenata: Zn; Pb; Hg; As i Mg; Al itd. Vrednosti analiza su bile nešto veće u koncentratu dobijenom iz majdanpečkog uzorka. Saglasno hemijskim analizama nizak sadržaj bakra u koncentratima rezultirao je iz relativno niskog sadržaja bakra u rudama.

Tabela 4. Hemiske analize koncentrata

Element	„Majdanpek” (m,%)	“Veliki Krivelj” (m,%)
Cu	17.1	16.8
Fe	32.3	34.7
SiO ₂	8.15	5.66
S ^{tot}	34.6	35.9
S ²⁻	33.4	34.9
S°	<0.1	<0.1
Mg	0.45	0.22
Al	1.2	0.9
Ca	0.33	0.73
Ti	0.16	0.091
Zn	0.65	0.03
Pb	0.13	<0.01
As	0.024	0.0053
Se	0.0012	0.004
Hg (ppm)	0.6	0.2
Ag (ppm)	39	17
Ni	0.004	0.004

Relativni odnos prisutnih minerala bio je određen skeniranjem elektronskim mikroskopom za mineraloške analize (SEM)¹. Odnos minerala prisutnih u oba koncentrata, izkazanih u masenim procenama, prikazani su u tabeli 5. Komponenta

sulfidnih minerala koncentrata “Veliki Krivelj” (~84%) neznatno je veća od majdanpečke (~81%), uglavnom usled povećanog sadržaja pirita. Halkopirit se pojavljuje u sličnim proporcijama u oba uzorka (~48%), ali tragovi dodatnog Cu

nošenog sulfidima (~0.1 %), kovelin i halkozin, bili su takođe detektovani u koncentratu "Veliki Krivelj". Registrovanje SEM-om nije moglo praviti razlike

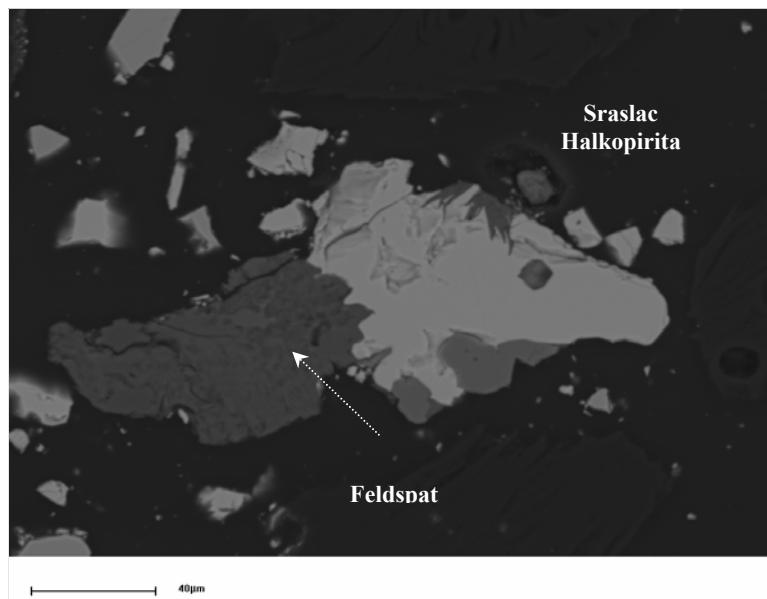
između kovelina i halkozina zbog njihove prirode finog međusrastanja i posledično, ove vrste su klasifikovane zajedno kao "bakarni sulfidi" u tabeli 5.

Tabela 5. Mineraloški sastav uzoraka, SEM

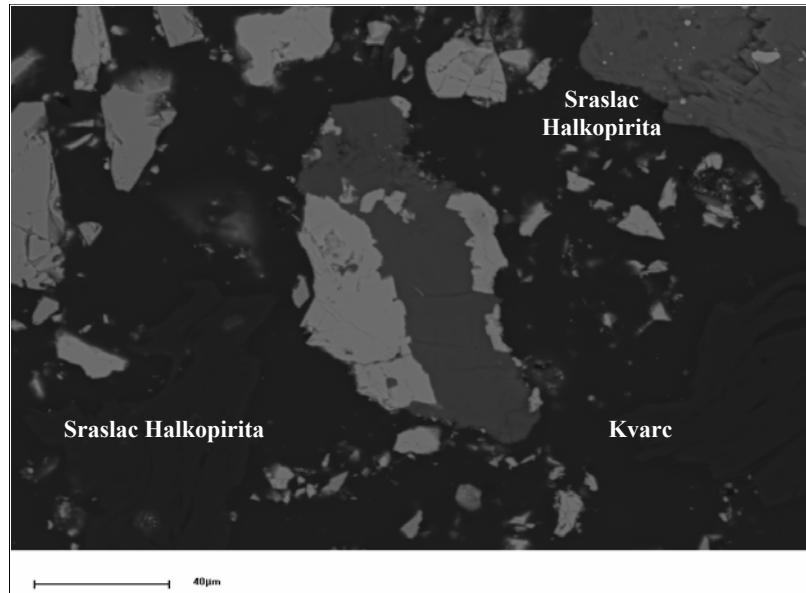
Mineral	"Majdanpek"	"Veliki Krivelj"
Ukupno sulfida	~81 %	~84 %
Halkopirit	48.7 %	48.0 %
Cu-sulfidi ¹	-	0.1%
Pirit	31.1%	35.4 %
Silikati	~17 %	~15 %
Drugi minerali	~3 %	~1 %

Kako je opservirano u sekciji za optičku mikroskopiju, skoro sve sulfidne čestice u oba koncentrata pojavljuju se dobro otkrivene. One se najviše nalaze kao slobodne čestice, kako je pokazano na dobijenim slikama, ali takođe i kao sraslaci silikata jalovine. Slike 5. i 6. pokazuju tipičan primer otkrivenih halkopiritnih čestica u svakom koncentratu, koje ostaju srasle sa silikatnom

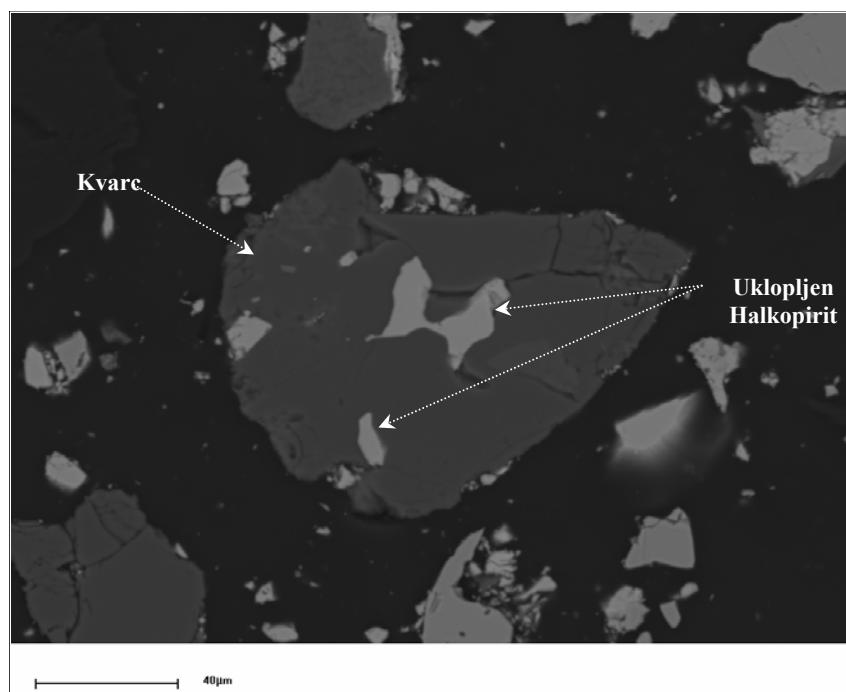
osnovom. Mada retko, halkopiritna zrna totalno uklopljena unutar silikatne osnove bila su observirana u ovim koncentratima. Slobodna i srasla zrna su smatrana kao potencijalno rastvorna, suprotno uklopljenim zrnima koja želimo iskoristiti naknadnim budućim mlevenjem pre izluženja. Primer tih velikih halkopiritnih zrna (~30 μm), koja su potencijalno neprihvatljiva za lužnu tečnost, pokazana su na slici 7. i 8.



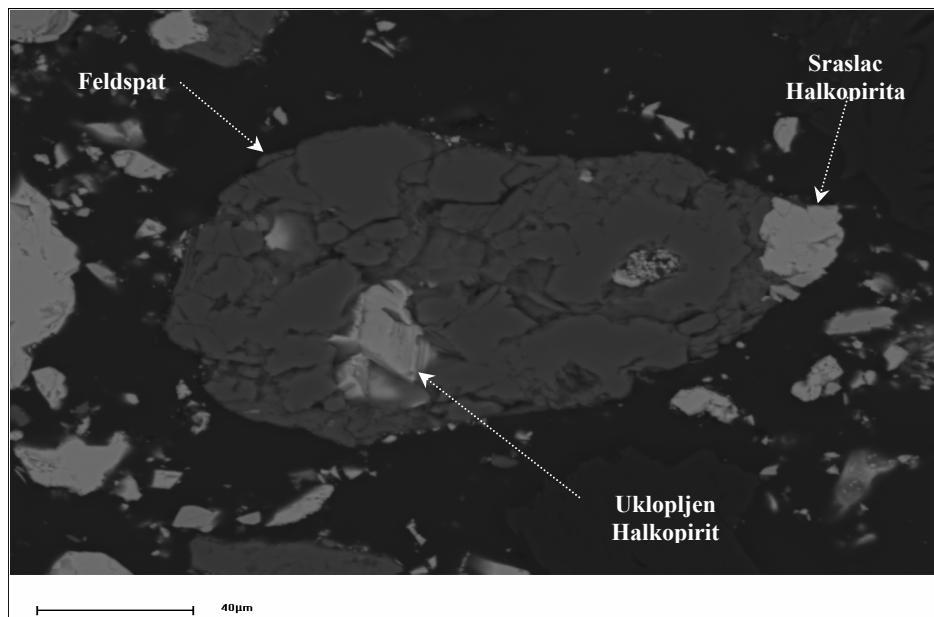
Sl. 5 Srasle halkopiritne čestice za silikatnu osnovu u majdanpečkom koncentratu



Sl. 6. Srasle halkopiritne čestice za silikatnu osnovu u koncentratu „Veliki Krivelj“



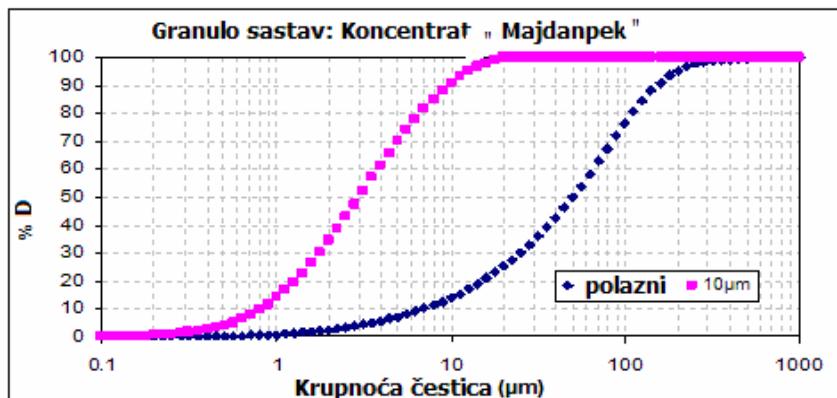
Sl.7. Halkopirit uklopljen unutar kvarca u majdanpečkom koncentratu



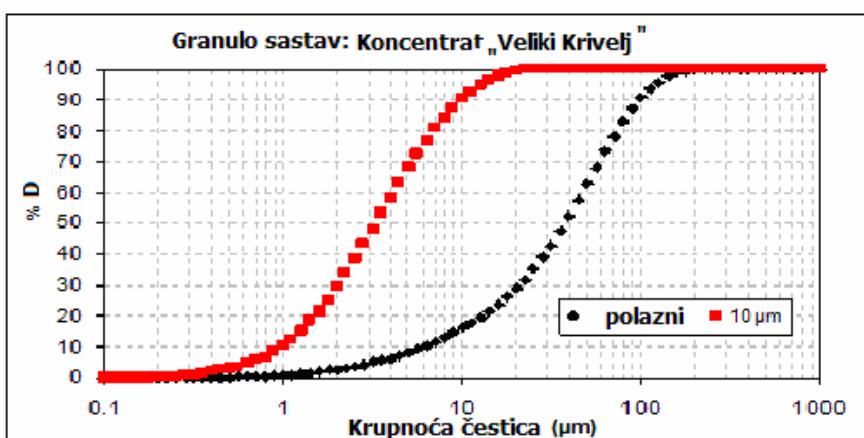
Sl. 8. Halkopirit uklopljen unutar feldspata u koncentratu „Veliki Krivelj“

Jedine razlike bile su u proizvodu mlevenja. Laboratorijski uslovi flotacijskog procesa u MINPRO laboratorijskoj instalaciji su: "Mlevenje rovnog materijala do krupnoće 60 % - 75 μm " a u budućim eksperimentima do krupnoće 90 % - 10 μm . Oba koncentrata su domlevena do te veličina čestica, od $d_{90} = 10\mu\text{m}$. Raspodela veličina čestica-granulometrijski sastav dobijenog materijala i domlevenog koncentrata su ilustrovani na

sl. 9 i 10. Fino samleveni koncentrati su korišćeni kao ulazni materijal prema programu rada u ogledima luženja iz dva razloga²: Prvo, u mineraloškim analizama možemo još uvek videti da ima nekompletno oslobođenih korisnih zrna, a drugo, bolje mlevenje oba koncentrata daje bolje rezultate luženja. Argumente za ove zaključke možemo videti u dobijenim rezultatima.



Sl. 9. Granulosastav Majdanpečkog koncentrata.



Sl. 10. Granulosastav koncentrata „V. Krivelj“

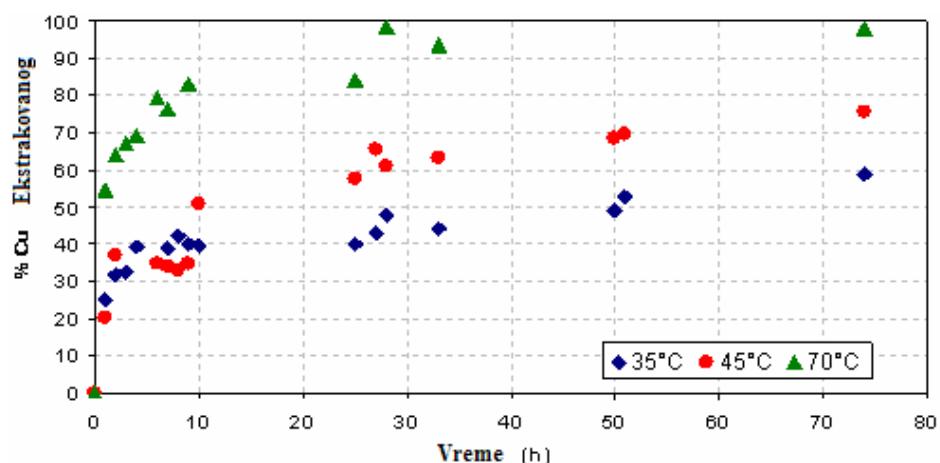
OGLEDI LUŽENJA

Serijski ogledi fergi-luženja je obavljen na nivou redox-potencijala od 600 mV, koji obezbeđuje jednu prethodnu indikaciju maksimalne ekstrakcije Cu, koja može biti očekivana na koncentratu „Veliki Krivelj“ na radnim temperaturama od 35, 45 i 70°C respektivno³. Rezultati

dobijeni na mlivu koncentrata krupnoće od $d_{90}=10\mu\text{m}$ ukazuju na extrakcije, 99% Cu na 70°C, dok 58% i 67% Cu može biti extrakovano na 35°C i 45°C respektivno. (tabela 6 i slika 11). Identični ogledi fergi-luženja, sa veoma sličnim rezultatima, na 600 mV, na koncentratu „Majdanpek“ takođe su izvedeni.

Tabela 6. Zbirni rezultati dobijeni feri lužnim ogledima na koncentratu "Veliki Krivelj"

°C Temperatura	% Cu-ekstrakcija	% S ₂ -ekstrakcija
35	58	70
45	67	76
70	99	99



Sl. 11. Rezultati ogleda feri-luženja na koncentratu "Veliki Krivelj" (600mV)

Serija ogleda bioluženja je obavljena na oba koncentrata u punim pregrađenim dvolitarškim staklenim reaktorima na 70°C. Testovi su obavljeni na 7,5% koncentracije čvrstog i zapremini pulpe od 2 l. Reaktori su bili inokulirani bakterijama,

sl. 12 (Leptospirillum ferrooxidans; Sulfolobus thermophiles) dobijenim iz reaktora za održavanje^{4,6}. Postavljena je početna pH vrednost na 1,8 upotreboom sumporne kiseline.



Sl. 12. Korišćene bakterije

Podaci ostvarenih rezultata u funkciji vremena pokazani su na sl. 13-17. U tabeli 7. na osnovu analiza ostataka su prezentovani sumarni

rezultati ekstrakcije. Podaci ekstrakcije Cu (bazirani na analizi ostataka), tabela 7, ukazuju da je ekstrakcija Cu i

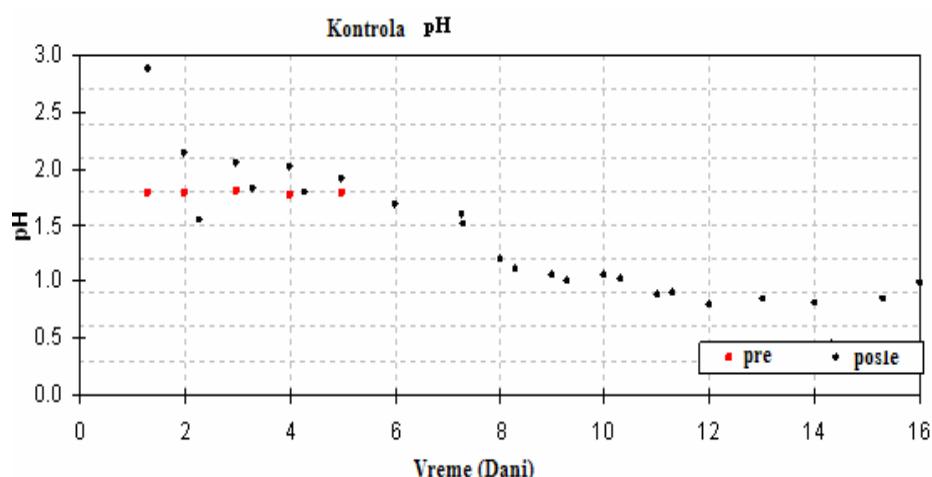
sulfida >98% i može biti dobijena na oba koncentrata.

Tabela 7. Ekstrakcija Cu i sulfida

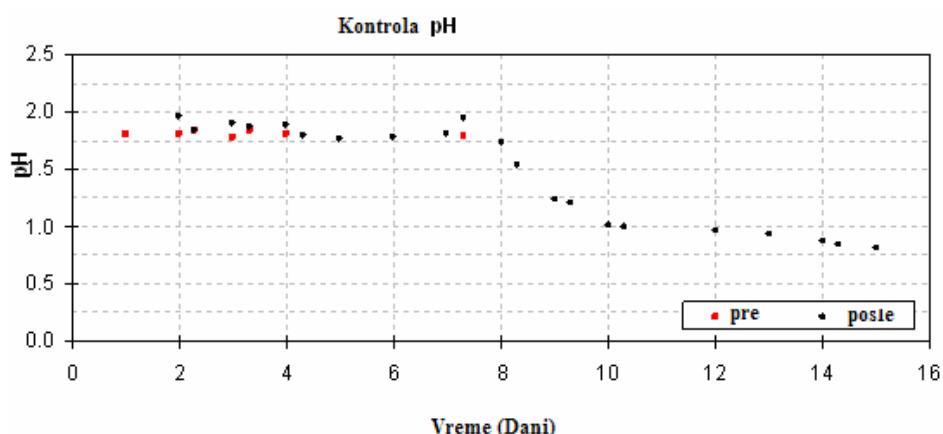
Element/Uzorak, %	Majdanpek	Veliki Krivelj
Cu	98.6	99.1
S ²⁻	99	99
Fe	51.5	65.9

Tabela 8. Ekstrakcija Cu po kaskadama

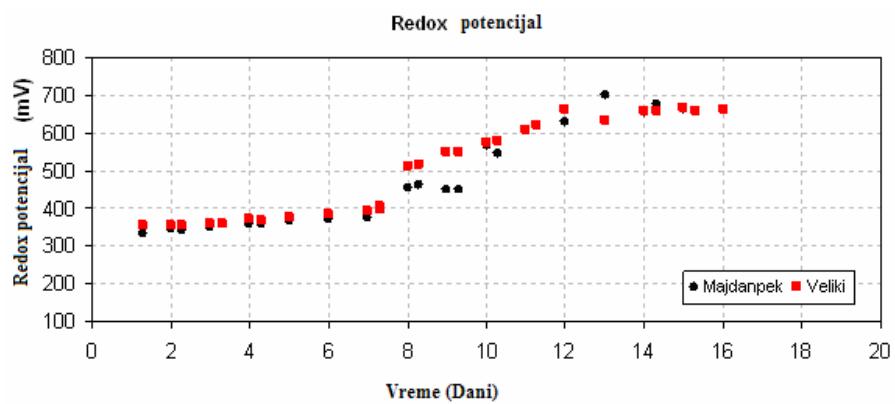
Ekstrakcija, %	Stepen 1	Ste- pen 2	Stepen 3
Veliki Krivelj	88	95	96
Majdanpek	83	90	94



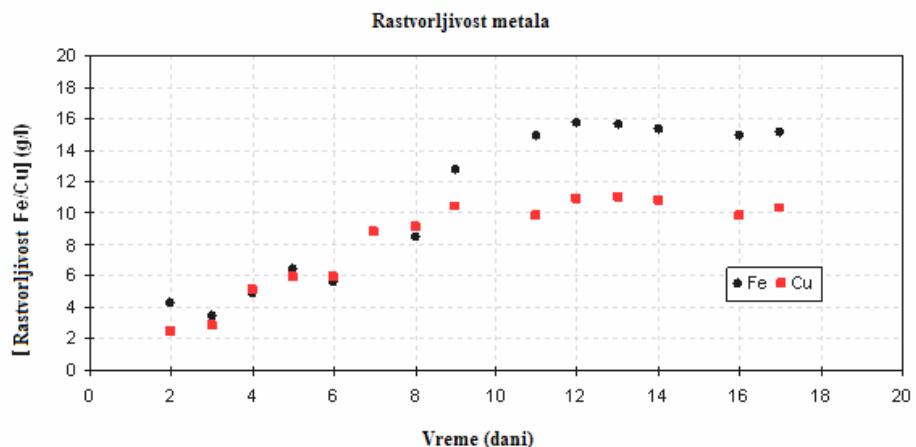
Sl. 13. Izmereni pH-nivo (Veliki Krivelj)



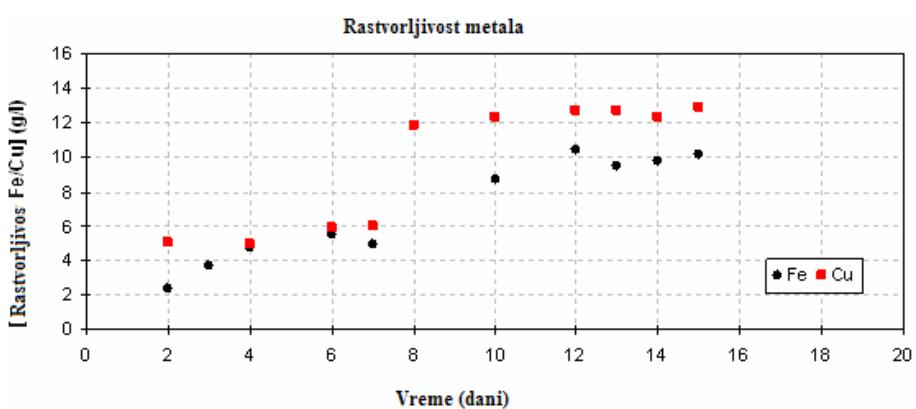
Sl. 14. Izmereni pH-nivo (Majdanpek)



Sl. 15. Izmereni nivo redoks-potencijala



Sl. 16. Izmerena koncentracija rastvorenog Cu i Fe (Veliki-Krivelj)



Sl. 17. Izmerena koncentracija rastvorenog Cu i Fe (Majdanpek)

Iskustvo sugerije da u višestepenom reaktorskom sistemu⁵ prihvatljivo visoka ekstrakcija Cu može biti postignuta u liniji za demonstraciju hemijskih feri-testova i serije bioloških eksperimenata.

Ogledi strujanjem kroz kaskade su obavljeni u kontinualnom trostopenom reaktorskom sistemu na 70°C, upotreboom

Mintekove ekstremno termofilne kulture bakterija. Rezultati dobijeni na mlivu krupnoće $d_{90}=10\mu\text{m}$ naznačuju ekstrakciju od 96% Cu za "V. Krivelj", 94% za "Majdanpek", tabela 6. Kaskadni

testovi na borskim koncentratima daju dobre rezultate koji sada mogu biti izvedeni u Mintekovom pilot-postrojenju sa usvoje-nim radnim parametrima:

- Termofilne bakterije, 70°C
- 3-steponi kontinualni radni sistem
- 6-dana vreme procesa
- 10% ulazna koncentracija čvrstog
- Veličina čestica: Koncentrata $d_{90}=10\mu\text{m}$.



Sl. 18. Pilot-postrojenje za kontinualne oglede bioluženja Mintek-Randburg

ZAKLJUČAK

Dva koncentrata bakra iz ruda Rudarsko-topioničarskog basena Bor (RTB Bor), Rudnika bakra Majdanpek i „Veliki Krivelj” u Srbiji su dobijeni u Institutu za rudarstvo i metalurgiju, Bor, pomoću flotacijskog procesa u MINPRO laboratorijskoj flotacijskoj kontinualnoj opremi. Dobijeni flotacijski koncentrati su korišćeni za hemijsko feri-luženje, reaktorsko bioluženje i kaskadno kontinualno bioluženje.

Rezultati dobijeni za „Veliki Krivelj” na mlivu krupnoće od $d_{90}=10\mu\text{m}$ naznačuju 99% ekstrakciju Cu na 70 °C, dok 58% i 67% Cu može biti ekstrakovano na 35°C i 45°C, respektivno. Reaktorski biolužni ogledi su obavljeni na oba koncentrata na 70°C i 7,5% koncentraciji čvrstog. Reaktor je bio inokuliran sa bakterijama dobijenim iz reaktora za održavanje. Podaci o ekstrakciji Cu (baziranim na analizama ostataka) ukazuju da ekstrakcija bakra i sulfida >98% može biti dobijena za oba koncentrata. Eksperimentalni rad tečenjem kroz kaskade je obavljen u kontinualnom trostopenom reaktorskem sistemu na 70°C, upotreboom ekstremno termofilne kulture.

Rezultati dobijeni na mlivu koncentrata krupnoće od $d_{90}=10\mu\text{m}$ indiciraju ekstrakciju od 96 % Cu za „Veliki Krivelj”, 94 % za „Majdanpek”. Kaskadni eksperimenti na oba koncentrata daju dobre rezultate koji sada mogu biti demonstrirani u Mintekovom pilot-postrojenju. Nakon toga predložiće se nova tehnološka šema prerade RTB-ovih sirovina.

LITERATURA

1. S. Radosavljević, Izveštaj kvalitativno-kvantitativne mineraloške analize tri uzorka flotacijskih proizvoda Bor, Institut za Tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d'Eperea 86, 11000 Beograd, Oktobar 2006
2. Nemati, M., Lowenadler, J., Harrison, S.T.L., 2000. Particle size effects in bioleaching of pyrite by acidophilic thermophile *Sulfolobus metallicus* (BC). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 53 (2), 173– 179.
3. M.I. Sampson, C.V. Phillips. Influence of base metals on the oxidising ability of acidophilic bacteria during the oxidation of ferrous sulfate and mineral sulfide concentrates, using mesophiles and moderate thermophiles. *Minerals Engineering*, Vol.14, no.3, 2001

4. M. Gericke, A. Pinches, J.V. van Rooyen. Bioleaching of a chalcopyrite concentrate using an extremely thermophilic culture. *Int. J. Mineral Processing*, Vol.62, No.1-4, 2000
5. Crundwell, F.K., Process performance of bacterial leaching reactors: the contribution of mathematical modelling. *J. South African IMM*, 100 (7), Nov./Dec. 2000
6. D. Milanović, V. Cvetkovski, S. Stanković. Bioleaching of copper smelter slag
7. XII Balkan Mineral Processing Congress 2007, 10-14 June 2007 Delphi, Greece.(ed.) G.N. Anastassakis. ISBN: 978-960-89228-9-1, Publisher: National Technical University of Athens.Proceedings, pp505-509.

UDK: 66.061:622.7(045)=861

Mariekie Gericke^{}, Vladimir B. Cvetkovski^{**}, Vesna T. Conić^{**}, Milena V. Cvetkovska^{***}*

POSTUPAK BIOLUŽENJA VELIKOKRIVELJSKOG I MAJDANPEČKOG KONCENTRATA BAKRA

PRESENT OF THE BIOLEACHING V. KRIVELJ AND MAJDANPEK CONCENTRATE

Izvod

Na koncentratima bakra iz Majdanpeka i Velikog Krivelja urađena je hemijska i mineraloška analiza kao i test mogućnosti. Test feri-luženja praćen je promenom temperature i redoks-potencijala, kao i ekstrakcijom bakra na temperaturama 35, 45 i 70°C. Rezultati su pokazali da se sa veličinom čestica od $d_{90}=10\mu\text{m}$ 99% Cu može ekstrakovati na temperaturama od 70°C, dok se 58% i 60%Cu može ekstrakovati na temperaturama od 35°C i 45°C. Proces je, najpre, vođen u staklenom reaktoru sa zapreminom pulpe 2l na 70 °C, i sadržajem čvrste faze u pulpi od 7.5%. Reaktor je inokuliran bakterijama dobijenim iz reaktora za njihovo održavanje. Ekstrakcija bakra (bazirana na analizi čvrstog ostatka) prikazana je u tabeli 4 gde možemo videti da ekstrakcija bakra i sumpora ide preko 98% za oba koncentrata. Kontinuirani proces vođen je u trostopenom reaktorskom sistemu na 70°C, uz pomoć ekstremno termofilne kulture. Dobijeni rezultati sa veličinom zrna $d_{90}=10\mu\text{m}$ pokazali su ekstrakciju od 96% za V.Krivelj, 94% Majdanpek, a za mešavinu koncentrata V. Krivelj 44%-Majdanpek 28%-Topionička šljaka 28%, ekstrakcija je 95%. Laboratorijski kontinuirani proces, vođen u trostopenom reaktorskom sistemu, pokazao je dobre rezultate koji će biti demonstrirani u poluindustrijskom postrojenju.

Ključne reči: feri luženje, bioluženje, reaktor za održavanje, uvećani opitni test

Abstract

Two Cu-concentrates, Majdanpek and Veliki Krivelj, were performed on chemical and mineralogical analyses followed by batch bioleach amenability tests. Ferric leach tests, evaluating the effect of temperature and redox potential on Cu extraction and kinetics was performed on V. Krivelj concentrate at operating temperatures of 35, 45 and 70°C respectively. The results obtained at a grind size of $d_{90}=10\mu\text{m}$ indicated 99% Cu extraction at 70°C, while 58% and 67% Cu could be extracted at 35°C and 45°C respectively. Bioleach tests were performed on both concentrates in fully baffled 2-litre glass reactors at 70 °C. Tests were performed at 7.5% solids concentration and a pulp volume of 2 litres. The reactors were inoculated with bacteria obtained from maintenance reactors. The Cu extraction data (based on residue analyses) indicated that Cu and sulphide extractions >98% could be obtained for both concentrates. Bench-scale test work is currently being performed in continuously operated 3-stage reactor systems at 70°C, using the extreme thermophile culture. The results obtained at a grind size of $d_{90}=10\mu\text{m}$ indicated extraction

^{*} Biotechnology Division, Mintek, Randburg 2125, South Afrika,

^{**}Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor,

^{***}Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu

of 96% Cu for V. Krivelj, 94% Majdanpek, and V. Krivelj 44 mass%-Majdanpek 28 mass%-Slag mass 28% indicated extraction of 95%. Bench-scale testwork on Bor concentrates has yielded good results, which will now be demonstrated in a pilot plant.

Key words: ferric leach, bioleach, maintenance reactors, bench-scale test

EKSPERIMENTALNI DEO

Bioluženje je ekstrakcija metala iz sulfidnih ruda ili koncentrata, uz pomoć materijala koje se nalaze u prirodi: vode vazduha, mikroorganizama. Drugim rečima, bioluženje predstavlja mogućnost bakterija i arhae nađenih u prirodi da ubrzaju postupak oksidacije sulfidnih minerala. Ovaj postupak bioluženja sulfidnih minerala razlikuje se od uobičajenog kiselog luženja pri kojem je moguće lužiti samo oksidne minerale.

Karakterizacija koncentrata

Hemijska analiza

Hemijska analiza uzorka prikazana u tabeli 1, pokazala je nizak sadržaj bakra u koncentratima kao rezultat niskog sadržaja Cu u rovnoj rudi.

Tabela 1. Hemski sastav koncentrata

ELEMENAT	“MAJDAPEK”	“VELIKI KRIVELJ”
Cu	17.1 %	16.8 %
Fe	32.3 %	34.7 %
S	34.6 %	35.9 %

Mineraloška analiza

Mineraloška analiza uzorka urađena je uz pomoć optičkog elektronskog mikroskopa (SEM) analiza.[1] Mineraloški sastav za svaki koncentrat dat je u težinskim procentima i prikazana je u tabeli 2.

Procentualni sadržaj sulfidnih minerala koncentrata „V. Krivelj“ je (~84 %) i neznatno je veći od sadržaja u majdanpečkom koncentratu (~81 %), a u vezi je većeg sadržaja pirita. Sadržaj halkopirita je približno isti za oba uzorka (~48 %). U tragovima od (~0.1 %) detektovani su kovelin i halkozin u kriveljskom koncentratu. Treba istaći da (SEM) analiza nije mogla napraviti razliku između kovelina i halkozina zbog njihove slične prirodne strukture.

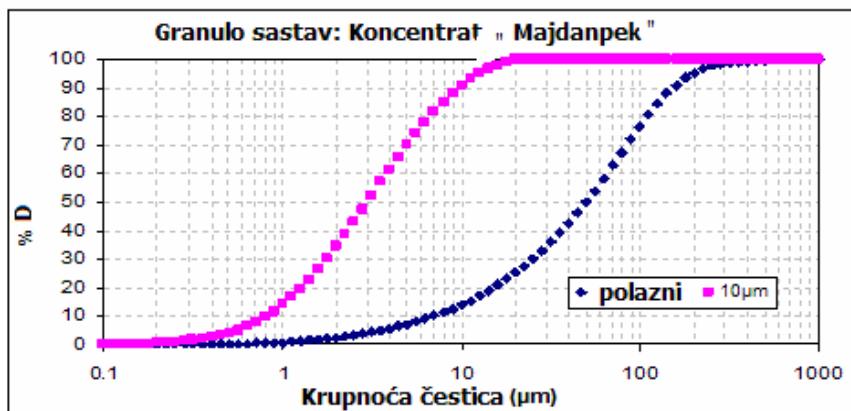
Tabela 2. Mineraloški sastav uzorka

MINERALI	“MAJDANPEK”	“VELIKI KRIVELJ”
Svi sulfidi	~81 %	~84 %
Halkopirit	48.7 %	48.0 %
Cu-sulfidi ¹	-	0.1%
Pirit	31.1%	35.4 %
Silikati	~17 %	~15 %
Ostali minerali	~3 %	~1 %

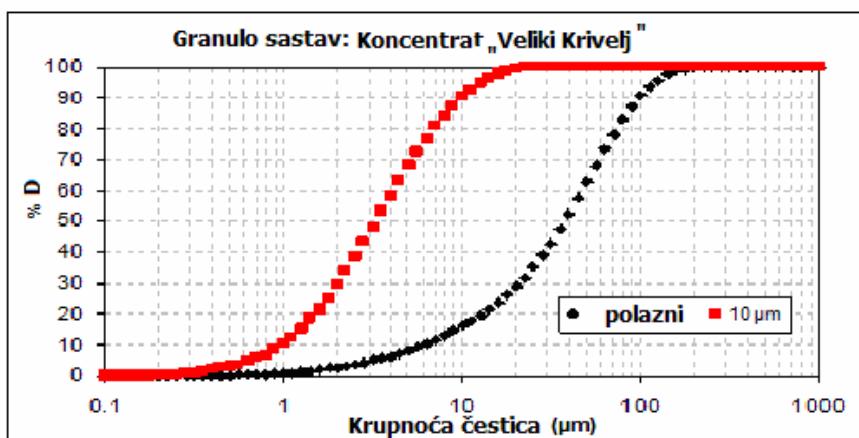
¹ Kovelin uključujući halkozin

Sitovna analiza

Veličina zrna za koncentrate „Veliki Krivelj“ i „Majdanpek“ određena je i iznosila je $d_{70} = 50\mu\text{m}$ i $d_{70} = 85\mu\text{m}$. Respektivno oba koncentrata su samlevena na veličinu zrna od $d_{90} = 10\mu\text{m}$. Granulometrijski sastavi pre i posle mlevenja koncentrata prikazani su na sl.1 i sl.2. Ovako fino samleveni koncentrat korišćen je kao uzorak za testiranje [2].



Sl. 1. Veličina zrna majdanpečkog koncentrata



Sl. 2. Veličina zrna velkokriveljskog koncentrata

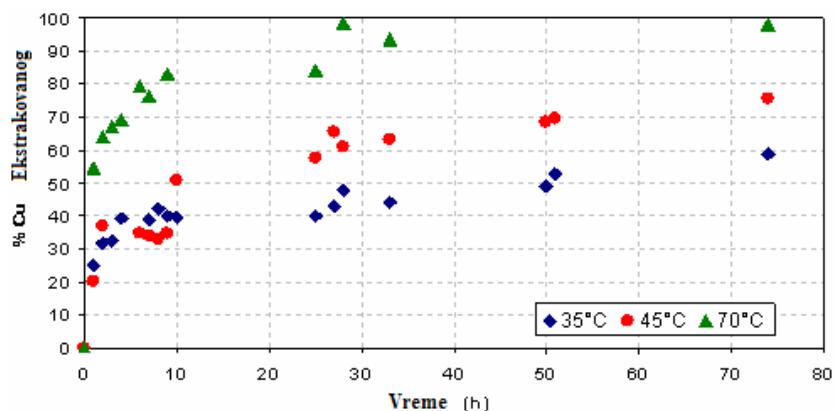
Test feri-luženja

Serija laboratorijskih testova feri-luženja obavljena je u nivou redoks-potencijala od 600 mV. Ova vrednost redoks-potencijala inicirala je maksimalnu ekstrakciju bakra iz koncentrata V. Krivelj. Test je rađen na temperaturama

35, 45 i 70°C [3]. Rezultati su pokazali da je sa veličinom čestica $d_{90}=10\mu\text{m}$ ostvarena ekstrakcija bakra od 99% Cu na temperaturi od 70°C. Dok je 58% i 67% Cu ekstrakovano na 35°C i 45°C (tabela 3, slika 3)

Tabela 3. Rezultati testa feri-luženja na koncentratu "V. Krivelj"

Temperatura (°C)	% Cu ekstrakovanog	% S ₂ -ekstrakovanog
35	58	70
45	67	76
70	99	99

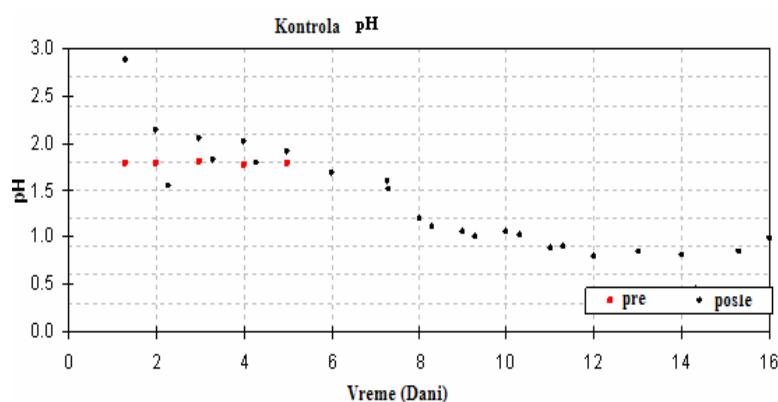


Sl. 3. Rezultati testa feri-luženja na koncentratu „V. Krivelj“ (600mV)

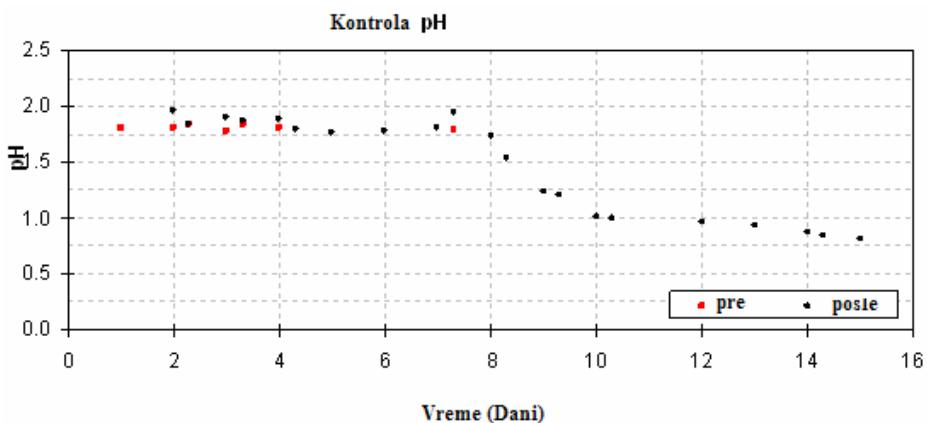
Test bioluženja

Test bioluženja za oba koncentrata rađen je u 2 l staklenom reaktoru na 70 °C. Maseni sadržaj čvrste faze u pulpi iznosio je 7.5%. Reaktor je inokuliran bakterijama dobijenim iz reaktora za njihovo održavanje [4]. pH vrednost održavana je na 1.8, uz dodavanje sumporne kiseline.

Na sl. 4 i 5 vidi se promena pH vrednosti. Početna pH vrednost od 2 u prvih pet dana podešavana je na 1.7 radi stvaranja uslova za optimalni rast mikroorganizama. Nakon tog perioda, pH vrednost bila je ispod 1.7 zbog početka rastvaranja pirita.



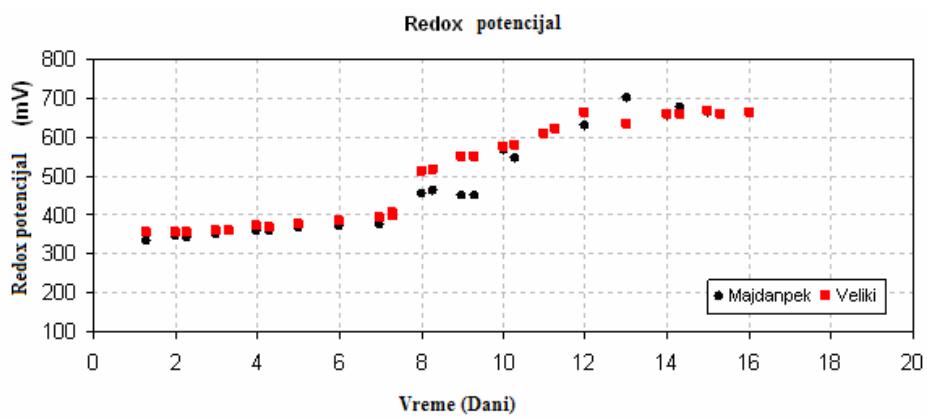
Sl. 4. pH-vrednost koncentrata "V. Krivelj"



Sl. 5. *pH-vrednost koncentrata "Majdanpek"*

Slika 6. predstavlja promenu redoks-potencijala u funkciji vremena. Vrednost redoks-potencijala od 600 mV postignuta

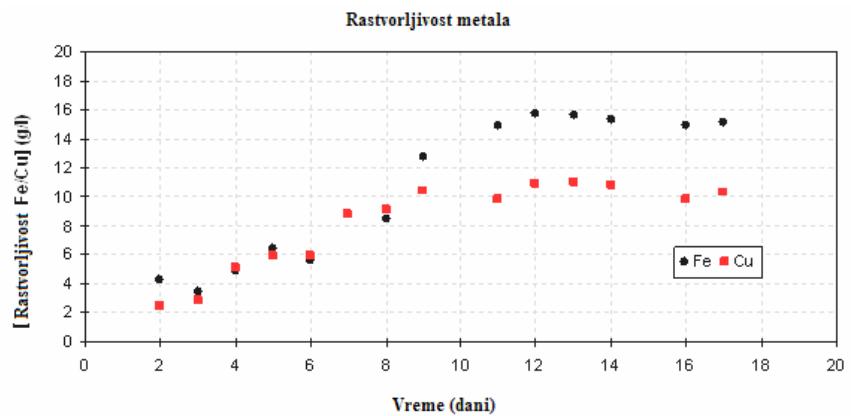
je nakon 10 dana, što je i optimum za proces bioluženja.



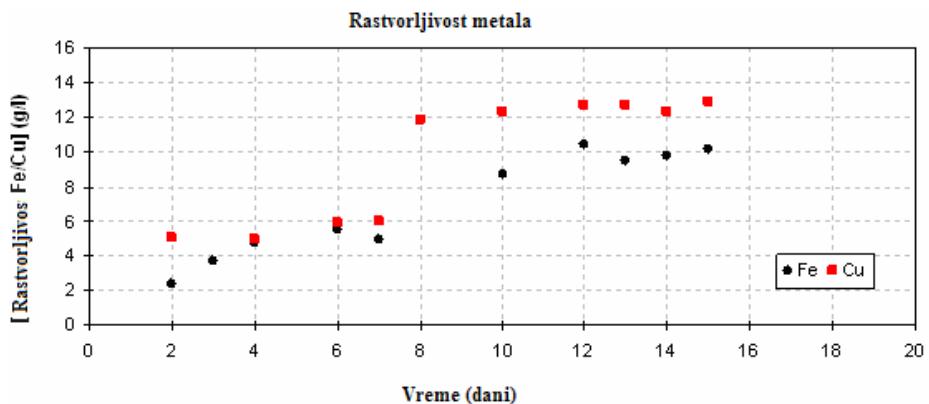
Sl. 6. *Vrednost redoks-potencijala u zavisnosti od vremena*

Rastvorljivost Cu i Fe prikazana je na slici 7 i 8. Ekstrakcija bakra (bazirana na analizi čvrstog ostatka) prikazana je u

tabeli 4, gde možemo videti da je ekstrakcija bakra i sumpora preko 98% za oba koncentrata.



Sl. 7. Rastvorljivost majdanpečkog koncentrata



Sl. 8. Rastvorljivost velikokriveljskog koncentrata

Tabela 4. Ekstrkcija Cu (Majdanpek, V. Krivelj)

Elemenat	“Majdanpek”	“Veliki Krivelj”
% Cu	98.6	99.1
% S ²⁻	99	99
% Fe	51.5	65.9

Eksperimenti su pokazali da u trostopenom reaktorskom sistemu visoka ekstrakcija bakra može biti postignuta hemijskim feri-luženjem i bioluženjem.

U narednom eksperimentu, koji je ostvaren u uvećanom kontinuiranom trostopenom reaktorskom sistemu na 70°C

uz pomoć ekstremno termofilne kulture i veličinom zrna $d_{90}=10\mu\text{m}$, ostvarene su ekstrakcije od 96% za "V.Krivelj", 94% za "Majdanpek" i za mešavinu koncentrata "V. Krivelj" 44%, "Majdanpek" 28%, topionička šljaka 28%-ekstrakciju bakra od 95%. Tabela 5.

- Tehnološki parametri trostopenog reaktorskog sistema:
- Themophiles, 70°C
 - 3-stepeni kontinualni reaktorski sistem
 - 10% sadržaj čvrste faze u pulpi
 - Veličina zrna $d_{90} = 10\mu\text{m}$, T. šljaka $d_{90} = 135\mu\text{m}$

Tabela 5. Ekstrakcija bakra iz koncentrata "V. Krivelj", "Majdanpek", i šljaka

	Stepen 1	Stepen 2	Stepen 3
"V. Krivelj" konc.	88	95	96
"Majdanpek" konc.	83	90	94
"V.Krivelj 44%-Majdanpek 28%-t. šljaka 28%"	83	92	95

Laboratorijski kontinuiran proces, vođen u trostopenom reaktorskom sistemu, pokazao je dobre rezultate koji će biti demonstrirani u poluindustrijskom postrojenju.

ZAKLJUČAK

Uzorci koncentrata bakra, Majdanpeka, V. Krivelja i topioničkih šljaka bili su ispitani postupcima bioluženja i hemijskim postupcima pomoću feri-jona. Rezultati dobijeni feri luženjem u laboratorijskom testu za "V. Krivelj" su pokazali rastvaranje Cu od 99% na temperaturi od 70°C, dok je rastvaranje bakra od 58% postignuto na temperaturi od 35 °C i 67 % na 45 °C. Slični rezultati dobijeni su i za koncentrat "Majdanpek". Kontinuirani proces vođen je u trostopenom reaktorskom sistemu na 70°C, uz pomoć ekstremno termofilne kulture. Rezultati sa veličinom zrna $d_{90}=10\mu\text{m}$, pokazali su ekstrakciju od 96% za "V.Krivelj" 94% za koncentrat "Majdanpek", a za (mešavinu koncentrata "V. Krivelj" 44%, -Majdanpek 28%, - Topionička šljaka 28%) ekstrakcija je 95%. Laboratorijski kontinuirani proces, vođen u trostopenom reaktorskom sistemu, pokazao je dobre rezultate koji će biti

- demonstrirani na poluindustrijskom postrojenju.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was carried out in the frame of BioMinE (European project contract NMP1-CT-500329-1). The authors acknowledge the financial support given to this project by the European Commission under the Sixth Framework Programme for Research and Development. We also wish to thank our various partners on the project for their contributions to the work reported in this paper.

LITERATURA

1. S. Radosavljević, Izveštaj kvalitativno- kvantitativne mineraloške analize tri uzorka flotacijskih proizvoda Bor, Institut za Tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Franše d'Epere 86, 11000 Beograd, Oktobar 2006
2. Nemati, M., Lowenadler, J., Harrison, S.T.L., 2000. Particle size effects in bioleaching of pyrite by acidophilic thermophile *Sulfolobus metallicus* (BC). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 53 (2), 173– 179.

3. M.I. Sampson, C.V. Phillips. Influence of base metals on the oxidising ability of acidophilic bacteria during the oxidation of ferrous sulfate and mineral sulfide concentrates, using mesophiles and moderate thermophiles. Minerals Engineering, Vol.14, no.3, 2001
4. M. Gericke, A. Pinches, J.V. van Rooyen. Bioleaching of a chalcopyrite concentrate using an extremely thermophilic culture. Int. J. Mineral Processing, Vol.62, No.1-4, 2000
5. Crundwell, F.K., Process performance of bacterial leaching reactors: the contribution of mathematical modelling. J. South African IMM, 100 (7), Nov./Dec. 200

UDK: 622.36:622.7(045)=861

Jasmina Lilić^{}, V. Filipović^{*}, S. Janošević^{*}, M. Žikić^{**}*

REKULTIVACIJA SEPARACIONOG JALOVIŠTA BELOREČKI PEŠČAR

RECULTIVATION OF THE SEPARATION TAILINGS DUMP BELOREČKI PEŠČAR

Izvod

U pogonu "Belorečki peščar", koji posluje u okviru RTB-a Bor, proizvodi se kvarcni pesak visokog kvaliteta. Rovni kvarc otkopava se površinski nakon čega se drobi i separiše. Nusproizvod koji se dobija posle separacije je jalovina, koja se odlaže u separaciono jalovište.

Ovim radom je predloženo racionalno rešenje za rekultivaciju separacionog jalovišta čija je specifičnost u tome da usvojeni zasad topole, u konkretnim uslovima, brzo raste i nakon 15 godina može da se poseče i valorizuje kao tehničko drvo. Nakon toga sledi ponovna sadnja topole i ceo ciklus se ponavlja.

Ključne reči: separacija kvarca, separaciono jalovište, rekultivacija

Abstract

The RTB Bor facility „Belorečki peščar” produces hi quality quartz sends. The send is extracted by open pit technology and is then crushed and separated. The byproduct of the separation is tailings which is disposed into the separation tailings dump.

This paper proposes the rational solution for the recultivation of separation tailings dump. The specifics of this solution are the fast growing poplar tree plantings that can be valorized as technical wood after 15 years. The poplar tree is then planted again and the cycle repeats.

Key words: quartz sand separation, separation tailings dump, recultivation.

UVOD

Intenzivan razvoj industrijske proizvodnje podrazumeva odgovarajuće sirovine koje se dobijaju eksploatacijom ležišta mineralnih sirovina. Zahvaljujući tome

rudnicima, a posebno površinski koprivni, postaju veći i dublji.

Pri klasičnoj površinskoj eksploataciji degradiranje zemljišta nastaje kao posledica razvoja površinskog kopa i formiranja kopovskih odlagališta, ali i kao

* RBB-službe, Kestenova 8, 19210 Bor

** Tehnički fakultet Bor

posledica formiranja jalovišta pri daljoj preradi korisne komponente, kada se formiraju flotacijska i separaciona jalovišta.

Ovako degradirane površine predstavljaju veliki ekološki problem.

U pogonu "Belorečki peščar", koji posluje u okviru Rudarsko topioničarskog basena Bor, površinskim putem se eksploratiše i prerađuje kvarc, što podrazumeva:

1. Klasičnu diskontinualnu površinsku eksploraciju.
2. Primarno drobljenje rovnog kvarca na samom površinskom kopu.
3. Gravitacioni hidraulički transport izdrobljenog kvarca otvorenim kanalom do separacije.
4. Separaciju kvarcnog peska.
5. Izdvajanje kvarcnog peska visokog kvaliteta i različite granulacije.

6. Odlaganje izdvojene jalovine, u postupku separacije, u separaciono jalovište.

S obzirom na to da je prvo separaciono jalovište u završnoj fazi, javio se problem njegove efikasne rekultivacije koja pre svega treba da spreči raznošenje odloženog materijala na okolinu. U tom smislu ovim radom je predložen postupak rekultivacije koji je specifičan u odnosu na rekultivaciju drugih jalovišta u okviru RTB Bor.

Pogon separacije kvarcnog peska "Belorečki Peščar" radi sa godišnjim kapacitetom od 150.000 t rovnog kvarca, a pri njegovoj separaciji ostaje 17.800 t jalovine. U jalovište se odlaže sitan kvarjni pesak i kaolin.

U tabeli broj 1 dat je granulometrijski sastav jalovine nakon zgušnjavanja, [1].

Tabela 1. Granulometrijski sastav jalovine nakon zgušnjavanja

Klasa krupnoće		Granulometrijski sastav jalovine (procentualno učešće mase proseva i odseva)		
		W %	D %	F %
		6,77	100,00	
-0,295	+0,208	5,76	93,23	6,77
-0,208	+0,149	5,76	87,47	12,53
-0,149	+0,106	6,96	81,73	18,27
-0,106	+0,075	9,72	74,77	25,23
-0,075	+0,053	11,54	65,05	34,95
-0,053	+0,038	11,52	53,51	46,49
-0,038	+0,030	6,72	41,99	58,01
-0,030	+0,020	10,08	35,27	64,73
-0,020	+0,010	6,72	25,19	74,81
-0,010	+0,005	3,36	18,47	81,53
-0,005	+0,000	15,11	15,11	84,89
		100,00		100,00

U jalovištu, se posle sleganja čestica, voda izbistri i takva vraća u proizvodni proces.

Jalovište je locirano bočno, uz desnu padinu doline Ravne reke, 80 m severno od pogona separacije. Objekat u koji je smešteno jalovište ima oblik približan izduženom pravougaoniku, čija je jedna strana brdo, na koje se oslanja jalovište, a ostale tri strane čini obodni nasip, odnosno brana koja ide paralelno sa tokom reke, (skica na **slici broj 1**).

Sa stanovišta ekologije ovo jalovište ne zagađuje vodu, zamljiše i biljke jer se u procesu separacije, za odvajanje kvarcnog peska od jalovine, ne koriste reagensi. Zagađenja se javljaju u vidu blagog zamućenja vode Ravne reke česticama kaolina.

KARAKTERISTIKE SEPARACIONOG JALOVIŠTA

Jalovište "Belorečki peščar" se sastoji od ravnih i kosih površina. Ravne su krupa brane i unutrašnji plato jalovišta, a kose su spoljašnja i unutrašnja kosina brane.

Brana je zemljani gradevinski objekat urađen sistemom iskopa i nasipa. Na ovaj način nije bilo potrebno transportovati materijal sa strane iz nekog pozajmišta, već se iskopom dobio koristan prostor za smeštaj jalovine, a u isto vreme se tim materijalom nasipavala brana, [2].

Karakteristike separacionog jalovišta su:

-kota krune brane	K+255 mnv,
-širina krune brane	4 m,
-desni krak brane	135 m,
-kruna brane po dužini	257 m,
-levi krak brane	38 m,
-spoljašnja kosina brane	15 m,
-visina brane	7 m,
-završni ugao kosine brane	30°.



Sl. 1. Separaciono jalovište

Na unutrašnjim kosinama brane ugradene su plastične folije koje obezbeđuju vodonepropusnost brane. U podnožju spoljašnje kosine brane, po celoj dužini, izvedena je kamena nožica. Tako se procedne vode kroz nasip i podlogu kontrolisano izvode u jarak i sakupljaju u taložnik nizvodno od nasipa, odakle se ispuštaju u reku. Ovako se postiže zaštita od eventualnog zagadivanja vodotoka i okoline.

Suvišne vode u samom jalovištu evakuišu se preko prelivnog organa i takođe sakupljaju u taložniku. Odатле se izlivaju u Ravnu reku.

Jalovište je puno do kote krune brane tako da unutrašnja kosina brane i ne postoji. Zbog zapunjavanja jalovišta postoji opasnost od izlivanja prelivnih voda i same jalovine. Time je ugrožena stabilnost brane i ometen dalji rad pogona. Neophodno je proširenje jalovišta, izgradnjom novog jalovišta u produžetku postojećeg, čime bi se formiralo tzv. "polje 2". Ovim bi se omogućio rad pogona za još 10 godina, [3].

U tabeli broj 2 date su površine jalovišta koje treba rekultivisati, [1].

Tabela 2. Površine separaconog jalovišta "Belorečki peščar"

Deo jalovišta	Površina (m ²)
Kruna brane	1 720
Spoljašnja kosina brane	6 450
Unutrašnji plato jalovišta	22 230
Ukupno	30 400

Kod ovakvih jalovišta je moguća pojava erozije koja može biti unutrašnja i spoljašnja. Unutrašnja je opasnija jer se ne vidi dok se ne pojavi na spoljašnjoj kosini, a tada je stanje već kritično. Spoljašnja erozija može nastati pod dejstvom vetra i jakih kiša, ali je odmah uočljiva, tako da se može odmah i sanirati. Najbolja mera za sprečavanje erozije je biološka rekultivacija.

Dokle god je jalovište aktivno nije moguće vršiti rekultivaciju. Po prestanku odlaganja jalovine još uvek će uslovi biti nepovoljni. Neophodno je sačekati da se povuku površinske vode. Veći deo će se procediti preko prelivnog organa, dok će drugi deo ispariti. Ovaj proces prosušivanja jalovišta ne traje dugo, tako da se već u narednoj godini, posle prestanka odlaganja jalovine, može pristupiti izvođenju rekultivacije. Tada će nivo podzemne vode biti na oko 80 cm ispod površine jalovišta, a zahvaljujući podesivom prelivnom organu. Ovo je veoma bitan podatak od kojeg zavisi izbor biljaka i način rekultivacije.

UOPŠTE O POSTUPCIMA REKULTIVACIJE

Rekultivacija degradiranih površina može da se realizuje na tri načina, i to:

- kao autorekultivacija,
- kao polurekultivacija i
- kao eurekultivacija.

Autorekultivacija je vid naseljavanja spontane pionirske autohtone vegetacije, bez čovekove intervencije, na površinama degradiranim rudarskim ili drugim ljudskim aktivnostima. Ovaj vid rekultivacije vremenski dugo traje.

Polurekultivacija se odnosi na obnavljanje degradiranih površina uz učešće čoveka, ali samo u fazi biološke rekultivacije.

Eurekultivacija je proces potpune rekultivacije, kada se integralno sprovode sve potrebne mere, što podrazumeva tehničku i biološku rekultivaciju. Zbog toga uspeh eurekultivacije zavisi isključivo od čoveka, [4].

U konkretnom slučaju je predviđena polurekultivacija.

Kaolin je vezivna supstanca koja ima dobre mehaničke i hemijske karakteristike koje povećavaju kvalitet substrata, pa

samim tim nema potrebe ni za kakvim prethodnim radovima, osim izvođenja biološke rekultivacije.

BIOLOŠKA REKULTIVACIJA SEPARACIONOG JALOVIŠTA "BELOREČKI PEŠČAR"

U proteklom periodu se na celokupnom jalovištu prirodno razvila travna vegetacija, a na unutrašnjem platou, na oko 10 % površine i drvenasta, neke vrste topole i vrbe. Na ovaj način je opasnost od podizanja i raznošenja čestica jalovine na okolinu smanjena.

Cilj biološke rekultivacije u ovom slučaju je podizanje trajnih zasada koji dobro podnose visok nivo podzemnih voda, sveže i vlažno zemljište, a ekonomski su isplativi.

Na unutrašnjem platou jalovišta zasniva se kultura topole, a na spoljašnjoj kosini brane, prema reci, mešovita kultura jove i jasena. Kruna brane ostaje slobodna za kretanje servisne mehanizacije, **slika broj 1.**

Zasad topole podiže se vrstom ***Populus x euramericana***. Evroamerička crna topola je hibrid između evroazijskih crnih topola i američke crne topole i njihovih hibrida. Ovi hibridi su ekonomski značajni za gajenje u umerenim zonama jer daju velike prinose drvne mase. Ova topola se odlikuje brzim porastom i velikim dimenzijama. Njeno drvo se koristi za dobijanje papira i u industriji nameštaja, [6].

Kultura topole se podiže jednogodišnjim sadnicama tipa 1/1 i 1/2 koji se sade na rastojanju 4 x 5 m, što odgovara broju od 500 sadnica/ha. Na ovaj način se obezbeđuje velika proizvodnja drveta sa turnusom od 15 godina. U starosti (7–10) godina planira se jedna proreda kojom će se iskoristiti polovina stabala. Tom

prilikom dobiće se oko 70 m³/ha i celuloznog drveta. Završna seča se planira u starosti oko 15-te godine zasada, sa prosečnim prinosom od oko 300 m³/ha tehničkog i celuloznog drveta, [7].

Topole se sade u jame koje se kopaju motornim svrdlom. Sadnice se sade do nivoa podzemne vode, tako da koren bude uvek u kontaktu sa vodom. Na taj način su sadnice vitalnije, otpornije i brže rastu. Jame su duboke 80 cm, a široke (16–22) cm, [5].

S obzirom na to da su topole brzorastuće vrste, velikih dimenzija, neophodno je uneti startno đubrivo, organsko i mineralno, i to 2 kg pregorelog stajnjaka i 100 gr fosfornog i kalijumovog đubriva po sadnici. Startno đubrivo ima značajnu ulogu samo u godini posle sadnje, dok je kasnije neophodno prihranjivanje.

Topole se sade u periodu mirovanja vegetacije, odnosno čim opadne lišće sa sadnicu u rasadniku i može da traje sve do kretanja pupoljaka u proleće, pod uslovom da temperature ne padnu ispod 3°C.

Nega i održavanje zasada su veoma bitne. U prvoj godini nakon sadnje vrši se okopavanje i to samo 1 m oko stabla, (2-3) puta u toku godine. U narednim godinama se broj okopavanja smanjuje tako da je kasnije sveden na (1-2) puta godišnje. Prostor između redova na kojem je samonikla travna vegetacija održava se košenjem.

Topole troše veliku količinu hranljivih elemenata iz podloge, pa je zato prihranjivanje od presudnog značaja za dobar prinos. Prihranjivanje se vrši azotnim đubrivima u količini od 100 gr/sadnici. U cilju dobijanja vrednih sortimenata potrebno je u toku ophodnje, orezivanjem grana čistiti stablo topole.

Orezivanje se obavlja redovno, od početka druge pa do kraja 5–6-te godine razvoja zasada. Rane koje nastaju na ovaj način treba premazati radi dezinfekcije i bržeg zarastanja.

Mešovita kultura koju čine jova i jasen zasniva se na spoljašnjoj kosini brane.

Crna jova - ***Alnus glutinosa*** Gaerth na vlažnom zemljištu je odlična pionirska vrsta. Brzo raste u mладости. Na korenju ima krvizice od *Actinomyces alni* koja prima azot iz vazduha i vraća ga u zemljište. Jova daje obilnu prostirku koja se brzo razlaže. Na ovaj način jova znatno popravlja zemljište na kojem raste tako da je njen prisustvo veoma korisno.

Sadnja se obavlja dvo-tro i četvorogodišnjim sadnicama [5].

Drvo crne jove je srednje tvrdo, čvrsto i elastično, lako se cepa i obrađuje, a pri stalnom dodiru sa vodom postaje trajno, pa se zato koristi za izradu čamaca. Iz istih razloga se koristi i kao jamsko drvo.

Beli jasen - ***Fraxinus excelsior*** L je brzorastuća vrsta u mладости otporna prema hladnoći, a zbog snažnog korenja i prema vetru. Ima kvalitetno drvo, čvrsto, tvrdo i elastično, koje se lako obrađuje. Koristi se za izradu nameštaja i uređenje enterijera. Beli jasen je drvo velikih dimenzija sa krupnim listovima. Cveta pre listanja i sve ovo ga čini veoma dekorativnim.

Sadnja se obavlja dvogodišnjim sadnicama (2+0) [5].

Period ophodnje jove je 80 godina, a jasena 120 godina, pa je očekivani prinos ove mešovite kulture u 120-toj godini oko 250 m³/ha tehničkog i ogrevnog drveta [7].

Mešanje ovih vrsta obavlja se u prugama, tako da svaka vrsta zauzme po tri reda. Redovi, kao i biljke u redu, na rastojanju su od 2 m, što odgovara broju od 2 500 sadnica po hektaru.

Sadnja se obavlja u jame prečnika i dubine 30 cm, koje se kopaju u pravilnim

razmacima, po kvadratnom rasporedu. U svaku jamu se stavlja po 2 kg pregorelog stajskog đubriva i 50 g mineralnog đubriva.

Prostor od oko 15 m oko taložnika treba da ostane neobraštao.

Sadnja se obavlja u jesen posle opadanja listova ili u proleće pre kretanja vegetacije, kada zemljište bude dovoljno vlažno, ali ne i mokro, a temperature ne budu suviše niske.

Nega zasada u mešovitoj kulturi se sastoji od okopavanja, u cilju uništavanja konkurentne vegetacije oko sadnice, i prašenja u cilju razbijanja pokorice, čime se popravlja vodno-vazdušni režim zemljišta. Broj okopavanja je (3-4) u prvoj godini, (2-3) u drugoj godini i (1-2) u trećoj godini od zasnivanja kulture. Prašenje se obavlja po potrebi, čim se stvori pokorica. Ove mere se obavljaju na prostoru od (20-30) cm oko stabla. Prostor između sadnica koji je obraštao travom treba redovno održavati košenjem, a pokošenu travu ostaviti razastrtu po pokošenoj površini.

Popunjavanje se obavlja ukoliko je propalo između 10-20 % biljaka i to u grupi. To se čini u drugoj godini života kulture, onim vrstama koje su propale, sadnim materijalom iste starosti kao i vrsta u kulturi. Popunjavanje se obavlja u proleće nakon sadnje, odnosno u jesen ako je sadnja obavljena u proleće.

U tabeli broj 3 dat je pregled sadnog materijala, broj jama za sadnice kao i količine startnog i mineralnog đubriva za prihranjivanje za ceo period ophodnje od 15 godina. Količinu sadnog materijala treba uvećati za 10 % zbog oštećenja koja mogu nastati prilikom transporta i u toku manipulacije sadnicama pri sadnji.

Tabela 3. Pregled potrebnog materijala za biološku rekultivaciju

Vrsta zasada	Broj jama	Stajnjak (kg)	P i K đubrivo (kg)	azotno đubrivo (kg)
Topola	1 000	2 000	200	3 000
Jova	806	1 612	40	/
Jasen	806	1 612	40	/
Ukupno	2 612	5 224	280	3 000

Samonikla trava, nakon formiranja sklopa, neće biti ugrožena s obzirom na to da su sve tri svetloljubive vrste. Pod uticajem mikroorganizama koji će razlagati prostirku ovih lišćara stvorice se bogatiji humusni sloj.

Nakon čiste seče, odnosno po završetku ophodnje, površinu na kojoj je bila topola ponovo zasaditi istom vrstom.

ZAKLJUČAK

Radom je predložen optimalni postupak specifične rekultivacije separacionog jalovišta pogona "Belorečki peščar" koji posluje u okviru RTB Bor.

U tom pogonu se kvarc otkopava klasičnom površinskom eksploracije da bi se nakon toga drobio i hidrauličkim transportom dopremao u separaciju. Tamo se izdvaja jalovina iz kvarcnog peska i odlaže u uredeno jalovište.

Specifičnost postupka predložene rekultivacije se ogleda u sledećem:

1. Materijal odložen u jalovište je pogodan za rekultivaciju, odnosno nije inertan u biološkom smislu i nije zatrovani, kao ostala jalovišta u okviru RTB Bor.
2. Jalovište je tako projektovano da je u njemu visok i stalni nivo podzemnih voda, i posle prestanka

odlaganja jalovine, što je sa stanovišta rekultivacije vrlo važno.

3. Površina jalovišta se samo biološki rekultiviše zasadom topole čija je glavna karakteristika da u povoljnim uslovima brzo raste, da je period ophodnje 15 godina i da se koristi kao tehničko drvo.
4. Relativno kratak period ophodnje obezbeđuje povratak znatnog dela uloženih sredstava za rekultivaciju.
5. Nakon perioda ophodnje predviđeno je obnavljanje zasada topole po istom postupku.
6. Efikasno sprečava raznošenje materijala sa jalovišta.

Imajući u vidu navedene specifičnosti i činjenicu da je formiranje jalovišta u završnoj fazi, optimalno je vreme za projektovanje postupka racionalne rekultivacije.

LITERATURA

1. Projektna dokumentacija RBB-a.
2. Interprojekt, Glavni građevinski projekat jalovišta Donja Bela Reka, 1985.
3. Institut za bakar Bor, Uprošćeni rudarski projekat dogradnje i rekonstrukcije jalovišnog sistema pogona separacije kvarcnog peska u Donjoj Beloj Reci, 2002.

4. Institut za šumarstvo, Rekultivacija pošumljavanjem odlagališta površinskih kopova rudnika lignita "Kolubara", stranice (44-45) i (94-96), Beograd, 1996.
5. Stilinović S. Pošumljavanje, stranice 234, 246, 255,257, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
6. Vukićević L. Dekorativna dendrologija, stranica 375, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1982.
7. Milošević Č. Tablice za određivanje zapremine trupaca, oble grade, sitnog tehničkog drveta, letava i gredica, greda, dubećih stabala i dr, stranica 104.

UDK: 622.26:551.49(045)=861

Milenko Ljubojev, Ratomir Popović, Mile Bugarin*

**DEFORMACIONI PRITISAK, KRUTOST PODGRADE I
KARAKTERISTIKE STENSKOG MASIVA TRASE TUNELA
KRIVELJSKA REKA ****

**DEFORMATION PRESSURE, SUPPORT RIGIDITY AND ROCK
MASSIF CHARACTERISTICS OF ROUTE IN THE KRIVELJSKA
RIVER TUNNEL**

Izvod

U radu je definisan deformacioni pritisak stenskog masiva na oblogu tunela sa svojstvima reološke sredine (model Poynting-Thomson)

Ključne reči: Stenski masiv, deformacioni pritisak, podgrada, koefficijent krutosti podgrade, reološka sredina

Abstract

This work gives a definition of deformation pressure od rock massif on tunnel lining with features od rheological environment (Poynting-Thomson model).

Key words: rock massif, deformation pressure, support, coefficient od support rigidity, rheological environment

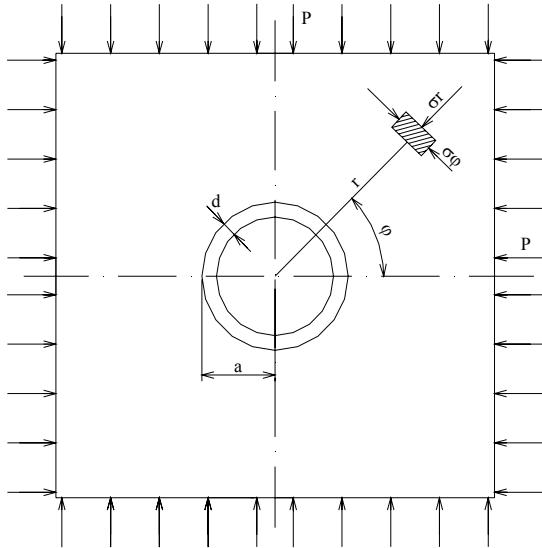
**TEORETSKE OSNOVE
FORMIRANJA DEFORMACIONOG
PRITISKA**

Deformacioni pritisak se javlja u onim podzemnim prostorijama čije konture pokazuju tendenciju radikalnih pomeranja, a tom pomeranju se suprotstavlja reakcija podgrade. Objašnjenje nastanka deformacionog pritiska i određivanje njegove

veličine na osnovu sadejstva podgrade i okolnog stenskog masiva dao je A. Salustović. Smatrao je da je stenski masiv elastično-viskozna sredina. Polazeći od postavki H.Filcek-a, dao je rešenje naponskog stanja oko podzemne prostorije s kružnim poprečnim presekom u funkciji vremena, sl. 1.

* Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

** Rad je proizašao iz projekta 17004 kojeg finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije



Sl. 1. Hodnik kružnog poprečnog preseka sa prstenastom podgradom

Polazeći od pretpostavke da se stenski masiv ponaša kao standardna reološka sredina [1], te da je nestišljiv i ravnog stanja deformacija, devijator napona u standardnom modelu [2] može se napisati u sledećem obliku:

$$(\sigma_\varphi - \sigma_r) + \tau \frac{\partial(\sigma_\varphi - \sigma_r)}{\partial t} = \\ = 2G(\varepsilon_\varphi - \varepsilon_r) + 2\eta \frac{\partial(\varepsilon_\varphi - \varepsilon_r)}{\partial t} \quad (1)$$

Polaznu pretpostavku o nestišljivosti stenskog masiva ($\nu = 0,5$) pišemo kao:

$$\varepsilon_\varphi + \varepsilon_r = 0 \quad (2)$$

ili pomoću radijalnog pomeranja:

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} = 0 \quad (3)$$

Integral izraza (3) ima sledeći oblik:

$$u = \frac{A(t)}{r} \quad (4)$$

- $A(t)$, funkcija vremena [t]

Ako izraz (4) uvrstimo u izraz (2) sledi:

$$\varepsilon_\varphi = -\varepsilon_r = \frac{A(t)}{r^2} \quad (5)$$

$$\frac{d\varepsilon_\varphi}{dt} = -\frac{d\varepsilon_r}{dt} = \frac{1}{r^2} \frac{dA(t)}{dt} \quad (6)$$

Polazeći od izraza (1) koji u novoj interpretaciji poprima sledeći oblik:

$$(\sigma_\varphi - \sigma_r) + \tau \frac{\partial(\sigma_\varphi - \sigma_r)}{\partial t} = \\ = 2G \frac{2A(t)}{r^2} + 2\eta \cdot \frac{2}{r^2} \cdot \frac{dA(t)}{dt} \quad (7)$$

Korišćenjem jednačine unutrašnje ravnoteže (2) $\sigma_\varphi = \sigma_r + r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r}$ i uvrstavanjem u (7) dobija se

$$\frac{\partial \sigma_r}{\sigma \cdot r} + \tau \frac{\partial^2 \sigma_r}{\partial r \partial t} = 4 \frac{G}{r^3} A(t) + \\ + 4 \frac{\eta}{r^3} \cdot \frac{dA(t)}{dt} \quad (8)$$

Radi pojednostavljenja rešenja uvodimo sledeću zamenu:

$$\frac{\frac{\lambda \cdot a}{2} + G}{\eta + \frac{\tau \cdot \lambda \cdot a}{2}} = \beta \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

Rešenje prethodnog integrala dobija sledeći oblik:

$$\frac{P \cdot a^2}{2} - A(t) \left(\frac{\lambda \cdot a}{2} + G \right) = C'' \cdot e^{\beta t}$$

- C' i C'' , konstante integrala na osnovu čega određujemo vrednost funkcije $A(t)$

$$A(t) = \frac{P \cdot a^2}{\lambda \cdot a + 2G} - \frac{2C''}{\lambda \cdot a + 2G} \cdot e^{-\beta t}$$

Sada $A(t)$ uvrstimo u izraz (15) i dobijamo:

$$Pd = \lambda \left(\frac{P \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} - \frac{2C''}{a \cdot (\lambda \cdot a + 2G)} \cdot e^{-\beta t} \right).$$

Ako ispoštujemo početne uslove, da je u trenutku $t = 0$, reakcija podgrade $Pd = 0$, u tom slučaju konstanta integrala je:

$$C'' = \frac{P \cdot a^2}{2}$$

Konačna vrednost funkcije $A(t)$ poprima sledeći oblik:

$$A(t) = \frac{P \cdot a^2}{\lambda \cdot a + 2G} (1 - e^{-\beta t}) \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

Uvrstavanjem izraza (19) u (17) sledi:

$$T(t) = \frac{P \cdot a^2}{2C} \left[1 - \frac{\lambda \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} (1 - e^{-\beta t}) \right]$$

Sada funkciju $T(t)$ uvrstimo u izraz (13) i dobićemo vrednost radijalnog napona

$$\sigma_r = P \left\{ 1 - \frac{a^2}{r^2} \left[1 - \frac{\lambda \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} (1 - e^{-\beta t}) \right] \right\} \quad (20)$$

Obodne napone dobijamo iz jednačine unutrašnje ravnoteže:

$$\sigma_\varphi = \sigma_r + r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r}$$

$$\sigma_\varphi = P \left\{ 1 + \frac{a^2}{r^2} \left[1 - \frac{\lambda \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} (1 - e^{-\beta t}) \right] \right\} \quad (21)$$

Radi pojednostavljenja u izraz (20) uvodimo sledeću zamenu:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

i tada će jednačine koje određuju naponsko stanje imati sledeći oblik:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= P \left\{ 1 - \frac{a^2}{r^2} \left[1 - \alpha (1 - e^{-\beta t}) \right] \right\} \\ \sigma_\varphi &= P \left\{ 1 + \frac{a^2}{r^2} \left[1 - \alpha (1 - e^{-\beta t}) \right] \right\} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (23)$$

za $r = a$:

$$\sigma_r = \alpha \cdot P (1 - e^{-\beta t}) \quad \dots \dots \dots \quad (24)$$

$$\sigma_\varphi = 2P - \alpha P (1 - e^{-\beta t}) \quad \dots \dots \dots \quad (25)$$

Definicija deformacionog pritiska je $P_d = \sigma_r = a$, pa je ravnoteža postavljene podgrade definisana izrazom (14). Ako u jednačinu (24) uvrstimo vrednosti koeficijenata φ (22) i β (18) dobijamo izraz za određivanje deformacionog pritiska:

$$\begin{aligned} P_d &= \frac{E_o \cdot d}{E_o \cdot d + 2G \cdot a} \cdot \\ &\cdot P \left(1 - e^{\frac{-E_o \cdot d + 2G \cdot a}{\tau \cdot E_o \cdot d + 2\eta \cdot a} t} \right) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (26)$$

Deformacioni pritisak definisan izrazom (26) odnosi se na stenski masiv sa svojstvima reološke sredine (model Poynting-Thomson-a), a koji sadrži posebne slučajeve sredine (Kelvin-Voigta) kada je $\tau = 0$ i (Maxwella) kada je $G = 0$.

Sredina Kelvin-Voigta:

$$P_d = \frac{E_o \cdot d}{E_o \cdot d + 2G \cdot a} \cdot P \left(I - e^{-\frac{E_o \cdot d + 2G \cdot a \cdot t}{2\eta a}} \right) \quad (27)$$

$$u = \frac{P \cdot a}{\lambda \cdot a + 2G} \quad (32)$$

Sredina Maxwell-a:

$$P_d = P \left(I - e^{-\frac{E_o \cdot d + 2G \cdot a \cdot t}{\tau \cdot E_o \cdot d + 2\eta a}} \right) \quad (28)$$

PRINCIPI SADEJSTVA PODGRADE SA STENSKIM MASIVOM

Krajnji domet deformacionog pritiska u funkciji vremena za razmatrane reološke sredine za $t \rightarrow \infty$ je:

za sredinu Poynting-Thomsona i Kelvin-Voigta:

$$P_d = \frac{E_o \cdot d}{E_o \cdot d + 2G \cdot a} \cdot P \quad (29)$$

za sredinu Maxwell-a:

$$P_d = P \quad (30)$$

Parametri podgrade E_o i d su jedan od činilaca koji imaju uticaja na tok promena deformacionog pritiska.

Reakcija podgrade, prema uslovima (14), proporcionalna je pomeranju konture podzemne prostorije:

$$P_d = \lambda \cdot u \quad (31)$$

$$\lambda = E_o \cdot \frac{d}{a^2}$$

Izraz (31) je karakteristika podgrade.

Maksimalna pomeranja konture podzemne prostorije dobijaju se iz izraza (4) za $r = a$ i $t \rightarrow \infty$ i iznosi:

Ako usvojimo da su pomeranja podgrade jednaka pomeranju kontura podzemne prostorije, tada se u izraz (32), umesto koeficijenta krutosti λ podgrade, može uvesti vrednost koju dobijamo iz (31):

$$\lambda = \frac{P_d}{u}$$

$$u = \frac{P \cdot a}{\frac{P_d}{u} \cdot a + 2G},$$

iz čega proizilazi da deformacioni pritisak stenskog masiva izražen funkcijom pomeranja glasi:

$$P_d = P - \frac{2G}{a} \cdot u \quad (33)$$

Izraz (33) naziva se karakteristikom stenskog masiva sa svojstvima sredine Maxwell-a i pri $G = 0$, tada izraz (33) ima sledeći oblik:

$$P_d = P \quad (34)$$

Ilustracije radi, sadejstvo podgrade sa stenskim masivom prikazaćemo u sistemu koordinata $P_d = f(u)$, sl. 2.

KRUTOST PODGRADE I KARAKTERISTIKA STENSKOG MASIVA TRASE TUNELA KRIVELJSKA REKA

Pri analizi karakteristika stenskog masiva trase tunela Kriveljska reka uzeli smo deo koji je najdublji. Fizičko-mehanički parametri stena su prikazani u tabeli br. 1.

Tabela 1.

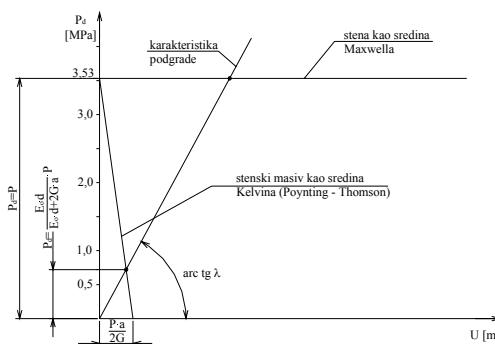
Zapreminska težina u prirodnom stanju γ [kN/m ³]	Koeficijent pora e	Jednoosna otpornost na pritisak σ_p [MPa]	Tangentni modul elastičnosti E_t [MPa]	Koeficijent Poisson-a ν
25,20	0,070	13,35	2360	0,35

$h = 140$ [m], maks.dubina stropa tunela,

$d = 0,30$ [m], debljina betonske obloge,

$E_o = 1 \cdot 10^4$ [MPa], modul elastičnosti betona,

$a = 1,8$ [m]



Sl. 2. Sadejstvo podgrade tunela Kriveljska reka sa stenskim masivom pri odgovarajućem deformacionom karakteru okolnih stena i krutosti podgrade

Jasno se vidi iz sl.2 da tačke presecanja karakteristika stenskog masiva i podgrade daju uslove sadejstva kompleksa „stenski masiv – podgrada“.

Analizirajući dijagram, (sl. 2), karakteristika stenskog masiva (33), treba naglasiti da, praktično, nema mogućnosti uticaja na njegov tok u istraživanom sistemu $P_d = f(u)$. Karakteristika podgrade (31) je prava, a njen koeficijent pravca λ kao krutost podgrade može se menjati u veoma širokom dijapazonu. Prema izrazu (16), vrednost koeficijenta λ zavisi od materijala podgrade i odnosa $\frac{d}{a^2}$.

LITERATURA

- Ratomir Popović, Milenko Ljubojev, Mile Bugarin, Osnove postavki mehaničkih modela sadejstva podgrade sa

stenskim masivom, Bakar – Copper, broj 1, Bor, 2007

- Dr Milenko Ljubojev, Ratomir Popović, Osnove geomehanike, RTB Bor, Institut za bakar Bor, 2006.
- Ratomir Popović, Primena teorije Kastiljanija pri određivanju preseka luka i razmaka između lukova, Arhiv za rудarstvo i geologiju Tuzla, 1987.
- Ratomir Popović, Podgrada u visoko-plastičnim glinama, Rudarski glasnik, RGF Beograd, 1995.
- Milenko Ljubojev, Ratomir Popović, Deformisanje stenskog masiva i sleganje površine terena uzrokovanih podzemnom eksploatacijom mineralnih sirovina, Rudarski radovi,Bor, 1/2001
- Ratomir Popović, Milenko Ljubojev, Mile Bugarin, Definisanje opterećenja na podgradu podzemne prostorije, Bakar – Copper, Bor, 2008

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis RUDARSKI RADOVI izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne rade. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega redakcija donosi odluku o objavljinjanju. Rad priložen za objavljinjanje treba da bude pripremljen prema standardima časopisa Rudarski radovi da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripremljeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

Standardi za pripremu rada

Obim i font. Rad treba raditi u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman veličine 12 sa razmakom 1,5 reda. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

Naslov rada. Iznad naslova rada piše se ime (imena) autora i institucija (institucije) u kojoj radi (rade). Ne preporučuje se da na radu budu više od tri autora. Uz ime prvog autora treba staviti fusnotu koja sadrži elektronsku adresu autora. Ukoliko rad potiče iz doktorske ili magistarske teze u fusnoti treba da stoji i naziv teze, mesto i fakultet na kojem je odbranjena. Za radeve koji potiču iz istraživačkih projekata treba navesti naziv i broj projekta, finansijera i instituciju u kojoj se realizuje.

Izvod. Izvod dužine 150-300 reči nalazi se na početku rada i sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke.

Ključne reči. Ključne reči se navode iza rezimea. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6.

Naslov rada, izvod i ključne reči treba da budu prevedeni na engleski jezik.

Osnovni tekst. Radove treba pisati jezgrovito, razumljivim stilom i logičkim redom koji, po pravilu, uključuje uvodni deo s određenjem cilja ili problema rada, opis metodologije, prikaz dobijenih rezultata, kao i diskusiju rezultata sa zaključcima i implikacijama.

Reference u tekstu. Imena stranih autora u tekstu se navode u originalu ili u srpskoj transkripciji, fonetskim pisanjem prezimena, a zatim se u zagradi navodi izvorno, uz godinu publikovanja rada, npr. Miler (Miller, 1957). Kada su dva autora rada, navode se prezimena oba, dok se u slučaju većeg broja autora navodi prezime prvog i skraćenica "i sar." ili "et al."

Citati. Svaki citat, bez obzira na dužinu, treba da prati referencia sa brojem strane. Za svaki citat duži od 350 znakova autor mora da ima i da priloži pismeno odobrenje vlasnika autorskih prava.

Spisak literature. Na kraju teksta treba priložiti spisak literature koja je navođena u tekstu. Bibliografska jedinica knjige treba da sadrži prezime i inicijale imena autora, godinu izdanja, naslov knjige (kurzivom), mesto izdanja i izdavača, npr:

Poglavlje u knjizi navodi se na sledeći način:

[1] Willis B. A.: Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press (1979), str. 35.

Članak u časopisu navodi se na sledeći način: autor, godina izdanja (u zagradi), naslov članka, puno ime časopisa (kurzivom), volumen (boldovan), broj i stranice npr:

[2] Milošević N., Ristić M.. (2001): Kinetika procesa adsorpcije jona bakra iz otpadnih voda jame na jonoizmenjivaču Amberlit IR-120, Časopis Bakar, Bor, 26, 1, str. 113-118.

Web dokument: ime autora, godina, naziv dokumenta (kurzivom), datum kada je sajt posećen, internet adresa sajta, npr:

Degelman, D. (2000). APA Style Essentialis. Retrieved May 18, 2000. from WWW:
<http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf>

Kada se isti autor navodi više puta poštuje se redosled godina u kojima su radovi publikovani. Ukoliko se navodi veći broj radova istog autora publikovanih u istoj godini, radovi treba da budu označeni slovima uz godinu izdanja npr. 1999a, 1999b...

Navođenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

Slike i tabele. Svaka ilustracija i tabela mora biti razumljiva i bez čitanja teksta, odnosno, mora imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenja oznaka, šifara i skraćenica).

Adresa redakcije je: **Časpis RUDARSKI RADOVI**

**Institut za rudarstvo i metalurgiju,
Naučnotehnološka informatika,
Zeleni bulevar 35, 19210 Bor**

E-mail: **nti@irmbor.co.yu**

ili: **JP za podzemnu eksploataciju Resavica**

**Dr Mirko Ivković
Peta Žalca 2
35 237 Resavica**

Radovi se šalju elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku, kao i na PTT adresu.

Za obaveštenja koristiti telephone: 030/454-104; 030/435-198 ili 035/627-566

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

SADRŽAJ
CONTENS

<i>S. Krstić, V. Ljubojev, M. Ljubojev, M. Maksimović</i> GEOLOŠKA ISTRAŽENOST ULJNIH ŠKRILJACA U OKOLINI SELA VINA GEOLOGICAL INVESTIGATION OIL SHALES NEAR VILAGE VINA	1
<i>M. Jovanović, M. Mikić, V. Marinković</i> ANALIZA REZULTATA VIŠEGODIŠNJE GEOLoŠKOG ISTAŽIVANJA NA LOKALITETU KIRDŽIJSKI POTOK ANALYSIS OF RESULTS FROM GEOLOGICAL RESEARCHING PROCESS ON COOPER DEPOSIT AREA IN TO LOCALITY „KIRIDŽIJSKI POTOK“	7
<i>L. Đurđevac Ignjatović, D. Ignjatović</i> OGLED TRIAKSIJALNE KOMPRESIJE NA PRIMERU FLOTACIJSKE JALOVINE SA KRIVELJSKE BRANE 1-A TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON THE SAMPLE OF FLOTATION TAILINGS FROM FLOOD-GATE VELIKI KRIVELJ 1-A	13
<i>S. Krstić, V. Ljubojev, M. Ljubojev</i> NIVO PODZEMNIH VODA NA DELU PROJEKTOVANE TRASE TUNELA LEVEL OF UNDERGRAUND WATER IN A PART OF DESIGNED TUNEL ROUTE	19
<i>R. Popović, L. Đurđevac Ignjatović, D. Urošević</i> KONSOLIDACIJA I KOEFICIJENT VODOPROPUSNOSTI FLOTACIJSKOG ODLOŽENOG MATERIJALA CONSOLIDATION AND COEEFICIENT OF WATER PERMEABILITY THE DUMPED FLOTATION MATERIAL	25
<i>O. Dimitrijević, Z. Stevanović, Z. Ilić</i> VERIFIKACIJA POSTOJEĆE OPREME ZA FLOTIRANJA I PREČIŠĆAVANJA TOPIONIČKE ŠLJAKE DESIGNING OF THE EXISTING EQUIPMENT FOR FLOTATION AND CLEANING WITH REGRINDING OF SMELTER SLAG	31
<i>Z. Ilić, B. Rajković, O. Dimitrijević</i> VERIFIKACIJA POSTOJEĆE MAŠINSKE OPREME (TRAKASTIH TRANSPORTERA) U PROCESU MLEVENJA I KLASIRANJA ŠLJAKE U POGONIMA BORSKE FLOTACIJE VERIFICATION OF THE EXISTING MECHANICAL EQUIPMENT (BELT CONVEYORS) IN THE PROCESS OF SLAG GRINDING AND SIZING IN THE FLOTATION PLANTS IN BOR	39

<i>O. Dimitrijević, B. Drobnjaković, Z. Stojanović</i>	
UGRADNJE KLIPNIH PUMPI SA MEMBRANAMA U GLAVNOM POSTROJENJU ODVODNJAVANJA JAME U XV HORIZONTU	
MOUTING OF PISTON PUMPS WITH MEMBRANES INTO THE MAIN PLANT FOR UNDERGROUND MINE DEWATERING ON THE XV LEVEL	47
<i>R. Pantović, L. Kričak</i>	
METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA UZROKA RAZLETANJA KOMADA STENE PRI MINIRANJU NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	
METHODOLOGY OF THE DETERMINATION CAUSES OF THE FLYROCK AT BLASTING ON OPEN PITS	57
<i>R. Pantović, Ž. Miličević</i>	
PROGNOZA BRZINE BUŠENJA DUBOKIH BUŠOTINA HIDRAULIČKIM BUŠAĆIM ČEKIĆIMA	
PROGNOSIS OF LONG HOLE PENETRATION RATE USING THE HYDRAULIC ROCK DRILLS.....	71
<i>Lj. Janošević, M. Ignjatović, O. Dimitrijević</i>	
IZBOR NAČINA PREMOŠČAVANJA DOLINE REKE RADUŠE U PODRUČJU LEŽIŠTA KAMENOGLA UGLJA „PROGORELICA“ – BALJEVAC ZA PROLAZAK TRAKASTOG TRANSPORTERA	
THE SELECTION OF SPANING METHOD THE RIVER RADUŠA VALLEY IN THE AREA OF STONE COAL DEPOSIT „PROGORELICA“ – BALJEVAC FOR CONVEYOR BELT PASSING THROUGH	83
<i>M. Gericke, V. Conić, D. Milanović, V. Cvetkovski</i>	
NOVI TRETMAN FLOTACIJSKIH KONCENTRATA IZ RUDNIKA BAKRA RTB-A BOR	
NEW TREATMENT OF FLOTATION CONCENTRATES FROM RTB COPPER MINE.....	89
<i>M. Gericke, V. B. Cvetkovski, V. T. Conić, M. V. Cvetkovska</i>	
POSTUPAK BIOLUŽENJA VELIKOKRIVELJSKOG I MAJDANPEČKOГ KONCENTRATA BAKRA	
PRESENT OF THE BIOLEACHING V. KRIVELJ AND MAJDANPEK CONCENTRATE.....	107
<i>J. Lilić, V. Filipović, S. Janošević, M. Žikić</i>	
REKULTIVACIJA SEPARACIONOG JALOVIŠTA BELOREČKI PEŠČAR	
RECULTIVATION OF THE SEPARATION TAILINGS DUMP BELOREČKI PEŠČAR	115
<i>M. Ljubojev, R. Popović, M. Bugarin</i>	
DEFORMACIONI PRITISAK, KRUTOST PODGRADE I Karakteristike stenskog masiva trase tunela Kriveljska reka	
DEFORMATION PRESSURE, SUPPORT RIGIDITY AND ROCK MASSIF CHARACTERISTICS OF ROUTE IN THE KRIVELJSKA RIVER TUNNEL	123
