

**Cu**

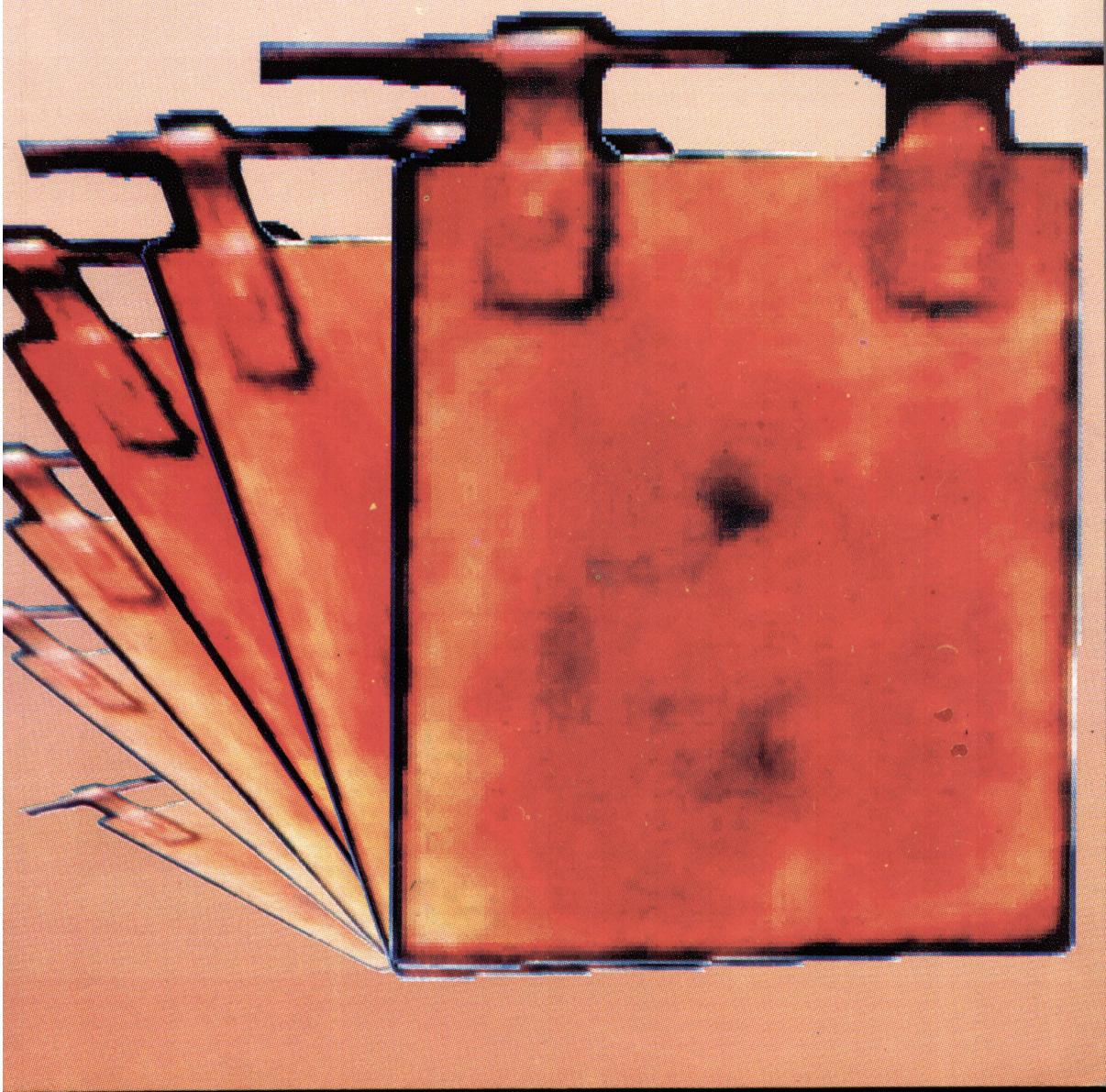
UDC 669.3  
YU ISSN 0351-0212

**BAKAR**  
**COPPER**

broj 1

volumen 33

2008



---

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

**Izdavač**

Institut za rudarstvo i metalurgiju  
Naučnotehnološka informatika

**Redakcioni odbor**

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

**Izdavački savet**

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

**Glavni i odgovorni urednik**

Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik,  
dopisni član JINA

**Zamenik glavnog i odgovornog urednika**

Đorđe Stanković, dipl. inž.

**Urednik**

Vesna Marjanović, dipl. inž.

**Lektor**

Ljubiša Aleksić, prof.

**Tehnički urednik**

Suzana Cvetković

**Adresa redakcije**

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

**Priprema za štampu**

Institut za rudarstvo i metalurgiju,  
Biro za informacione sisteme

**Štampa**

Grafomedtrade Bor

**Tiraž:** 150 primeraka

---

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

**Publisher**

Mining and Metallurgy Institute, Bor  
Scientific technological Informatics

**Editorial Board**

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

**Publishing Council**

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

**Editor-in-chief**

D. Sc. Milenko Ljubojev

**Executive editor-in-chief**

B. Sc. Đorđe Stanković

**Editor**

B. Sc. Vesna Marjanović

**Lectors**

Ljubiša Aleksić, prof.

**Technical Editor**

Suzana Cvetković

**Editorial office address**

Mining and Metallurgy Institute  
19210 Bor, 35 Zeleni bulevar  
Phone 030/435-198, Fax 030/435-175  
E – mail: indok@ibb-bor.co.yu  
indok@irm-bor.co.yu

**Preparation for printing**

Mining and Metallurgy Institute  
Bureau of Informatics

**Printed in** Grafomedtrade Bor

**Circulation:** 150 copies

# **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 622.261.2(045)=861

NAUČNI RAD

## **DEFINISANJE OPTEREĆENJA NA PODGRADU PODZEMNE PROSTORIJE**

## **DEFINING THE LOAD ONTO SUPPORT OF UNDERGROUND ROOM**

R. Popović, Dr M. Ljubojev, Dr M. Bugarin  
Institut za rударство и металургију Бор

### **Izvod**

*Opterećenje na podgradu podzemne prostorije predstavlja pitanje geomehanike, objedinjujući sveukupnost naponskog stanja stena u kojima je izgrađena podzemna prostorija, uključujući i režim rada podgrade.*

**Ključne reči:** Podzemna prostorija, podgrada, kontakt, stenski masiv, sila, pomeranje podgrade, režim rada podgrade

### **Abstract**

*Loading of support elements in underground rooms is a geomechanics question, connecting total stress condition of rocks, where the underground rooms are worked, including off-line operation of support elements.*

**Key words:** Underground room, support, fissured-support contact, off-line operation of support

## **UVOD**

Pritisak na podgradu podzemne prostorije predstavlja pitanje geomehanike objedinjujući sveukupnost naponskog stanja stena u kojima je izgrađena podzemna prostorija. Teoretske postavke proračuna opterećenja na podgradu podzemne prostorije zasnivaju se na matematičkom opisu mehaničkih modela sadejstva podgrade sa okolnim stenama [1]. Pritom izdvajamo dva osnovna tipa modela:

1. Dejstvo stenskog masiva na podgradu, kao spoljnje opterećenje nezavisno od deformabilnosti podgrade.
2. Dejstvo stenskog masiva na podgradu, kao unutrašnji faktor i statički neodređen sistem „podgrada-stena“. Rešenje se izvodi iz uslova

zajedničkih pomeranja i jednakih napona na kontaktu podgrada – stenski masiv.

## 1. REŽIMI RADA PODGRADE

U zavisnosti od rudarsko-geoloških uslova, pri proračunu podgrade moramo ispoštovati sledeće režime njenog rada [2].

- **Režim zadatog opterećenja**

Podgrada opterećena odvojeno od stenskog masiva klizećim blokovima ili ispadajućim delovima.

U ovom slučaju pomeranje konture podgrade praktično ne utiče na veličinu usvojenog opterećenja. Ovaj režim rada podgrade karakterističan je za kapitalne podzemne prostorije izgrađene u sipućem i u jako ispučalom delu stenskog masiva. Pri proračunu podgrade u režimu zadatog opterećenja primenjuje se krutoplastični model sadejstva podgrade sa stenskim masivom.

- **Režim uzajamno uticajnih deformacija**

Pomeranje masiva zavisi od otpora podgrade. Ovaj režim je najkarakterističniji za širok dijapazon uslova održavanja kapitalnih podzemnih prostorija.

- **Režim zadanih deformacija**

Otpornost podgrade praktično ne utiče na veličinu pomeranja stena. Podgrada se pomera zajedno sa stenskom konturom pod dejstvom nesavladivih deformacija stenskog masiva. Ovaj režim rada je najkarakterističniji za pristupne podzemne prostorije otkopnim rudarskim jedinicama, a naročito kada se nađu u zoni uticaja oslonačkih pritisaka.

- **Kombinovani režim**

Predstavlja sjedjenje više režima rada. Pri određivanju opterećenja na podgradu mora se prvo izvršiti izbor odgovarajućeg mehaničkog modela sadejstva podgrade sa stenskim masivom, prema tabeli br. 1.

**Tabela br. 1.**

<b>Tip modela</b>	<b>Model</b>	<b>Glavni faktori uticaja na opterećenje podgrade</b>
Ia	elastični	primarni napon (naponi u intaktnom masivu-dubina)
Ib	elastoviskozni	primarni napon
II	krutoplastični	radijus podzemne prostorije
IIIa	elastoplastični	radijus zone plastičnih deformacija i pomeranje konture preseka prostorije
IIIb	elastoplastični nejednorodni	radijus zone rušenja i pomeranje konture preseka prostorije
IIIc	viskoznoelastoplastični	pomeranje konture preseka prostorije
IV	viskozni	brzina pomeranja okolnih stena ka centru podzemne prostorije

## 2. STRUKTURA RAČUNSKIH JEDNAČINA OPTEREĆENJA NA PODGRADU PREMA ODABRANIM MODELIMA

### 2.1. Elastični model (linearno deformabilna sredina)

Jednačina opterećenja na podgradu ima sledeći oblik:

$$p = k_1 \cdot \gamma \cdot H \text{ [kN/m}^2\text{]} \dots \quad (2.1)$$

$k_1$ , - koeficijent uzima u obzir uticaj elastičnih svojstava stene i podgrade, kon-

strukciju i dimenzije podgrade i rastojanje podgrade od orta radilišta;

$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>], - zapreminska težina višeletežnih stenskih naslaga;

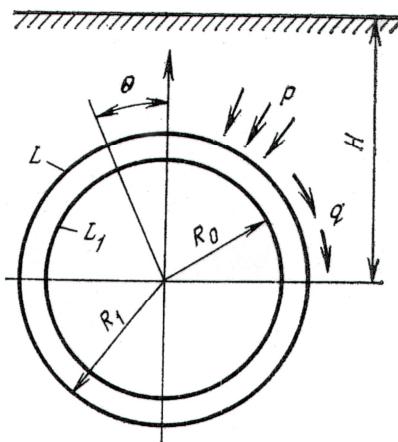
$H$  [m], - dubina podzemne prostorije.

Pri proračunu opterećenja na podgradu horizontalne podzemne prostorije kružnog poprečnog preseka sa linearnom deformabilnom stenskom sredinom na dubini  $H \gg R_1$ , sl. 2.1., gde primarno polje napona karakterišu sledeći odnosi:

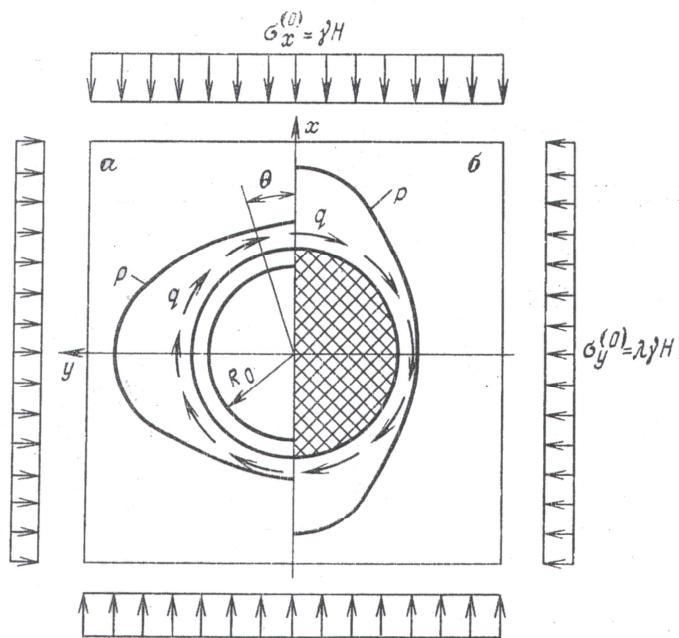
$$\sigma_x^{(0)} = \gamma \cdot H \text{ [kN/m}^2\text{]}; \quad \sigma_y^{(0)} = -\lambda \cdot \gamma \cdot H \text{ [kN/m}^2\text{]} \dots \quad (2.2)$$

Naponi zatezanja uzimaju se pozitivnim.

Na podgradu deluju normalni i smičući naponi.



**Sl. 2.1 – Računska šema sadejstva podgrade sa stenskim masivom horizontalne podzemne prostorije kružnog poprečnog preseka**



**Sl. 2.2 – Šema raspodele napona na kontaktu podgrade sa okolnom stenom**  
**a – elastična podgrada**  
**b – apsolutno kruta podgrada**

$$p_0 = -\alpha^* \cdot \gamma \cdot H \frac{1+\lambda}{2} \cdot \frac{2(c^2-1)}{2(c^2-1) + \frac{c^2(K-1)+2}{X_k}}$$

gde je:

$$D_1 = c^6(c^2 - 1) + D\{c^6(1 + X_k \cdot K) + (X_k - 1)[c^4 + c^2 + 1 + D(1 + X_k \cdot K)]\}$$

$$D = \frac{(c^2 - 1)^2}{K + 1}; Q = D(X_k - 1); c = \frac{R_1}{R_0}; \lambda = \frac{\eta}{1 - \eta}$$

$X_k = \frac{G_k}{G}$ , odnos modula smicanja podgrade i stene,

$\lambda$  - koeficijent bočnog pritiska stena,

$\eta$  - koeficijent Poissona stena,

$\theta$  - polarni ugao očitan od pravca ose x, sl. 2.2.,

$K = 3 - 4\eta$ , konstanta za ravnjsku deformaciju,

$\alpha^*$  - koeficijent, uzima u obzir uticaj odstojanja podgrade od čela radilišta.

## 2.2. Elastoviskozni model

Pristup rešavanju elastoviskoznog modela sadejstva podgrade sa okolnom stenom, zadržavaju se sile iz rešenja elastičnog modela, samo umesto elastičnih konstanti  $E$ ,  $\eta$  i  $G$  uvodimo vremenske funkcije  $E_t$ ,  $\eta_t$  i  $G_t$ , koje se definišu sledećim relacijama:

gde je:

$$\phi = \frac{\delta \cdot t^{1-\alpha}}{1-\alpha}, \text{ - funkcija tečenja}$$

$\alpha$  i  $\delta$ , - karakteristike tečenja određene eksperimentalno.

### **2.3. Krutoplastični model**

Pri primeni krutoplastičnog modela neophodno je izdvojiti dve oblasti:

- Oblast graničnog stanja stene (plastična oblast) formirane puženjem (tečenjem) stene
  - Oblast zagraničnog tečenja (kruta oblast) i ne učestvuje u opterećenju podgrade

Opterećenje na podgradu, je uglavnom, određeno poprečnim dimenzijama prostorije.

$k_2$ , - koeficijent, zavisi od fizičko-mehaničkih i deformacionih svojstava stene i od veličine zone plastičnih deformacija i raste s povećanjem zone plastičnih deformacija

R, - radius prostorije.

#### **2.4. Elastoplastični jednorodni model**

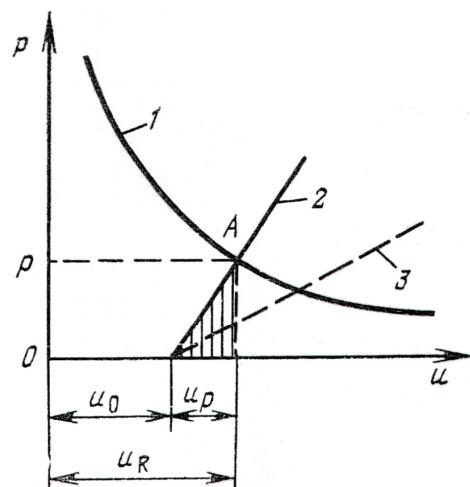
Stenski masiv oslabljen izradom podzemne prostorije. Sveukupno ravnotežno stanje masiva karakteriše se dvema jednačinama:

$$\frac{R_e}{R} = \left[ \frac{(1 - \sin \rho) \gamma H + a_1}{p + a_1} \right]^{1/\alpha_1} \dots \quad (2.10)$$

- $a_1 = c \cdot ctg\rho$
  - c, kohezija,

- $R_e$ , spoljni radius plastične zone,
- $U_r = U_o + U_p$
- $U_o$ , pomeranje konture prostorije do postavljanja podgrade,
- $U_p$ , pomeranje konture prostorije zajedno sa podgradom.

Ravnotežno stanje stenskog masiva, sl. 2.3, predstavlja kriva 1. Krive 2 i 3 predstavljaju karakteristiku podgrade. Tačka u presečištu krivih 1 i 2 određuje opterećenje na podgradu i pomeranje konture prostorije  $U_r$  pri kojem se uspostavlja ravnoteža.

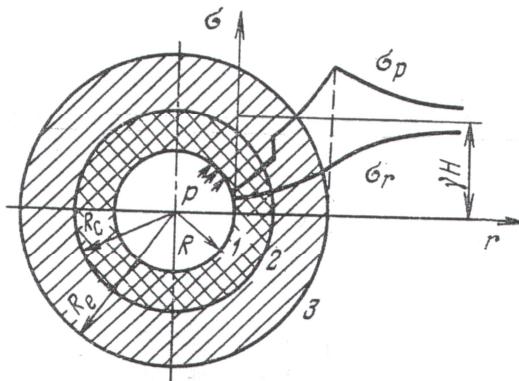


Sl. 2.3 – Grafički prikaz elastoplastičnog sadejstva stene i podgrade

1 – ravnotežno stanje stenskog masiva  
2 i 3 – karakteristike podgrade

### 2.5. Elastoplastični nejednorodni model

Primena elastoplastičnog nejednorodnog modela prepostavlja obrazovanje tri zone oko podzemne prostorije u stenskom masivu, sl. 2.4. Zona rušenja 1, zona plastičnih deformacija 2 i elastična olast 3. Takođe se prepostavlja da ugao unutrašnjeg trenja u procesu deformisanja i rušenja stena ostaje konstantan.



**Sl. 2.4 – Grafički prikaz sadejstva stene i podgrade pri korišćenju elastoplastičnog nejednorodnog modela;  
 $\sigma_r$  i  $\sigma_t$  odgovarajući radijalni i tangentni naponi**

Sveukupnost ravnotežnog stanja stenskog masiva oslabljenog izradom podzemne prostorije kružnog poprečnog preseka, opisuju sledeća tri izraza:

$$U_R = \frac{R}{2G} \left( \gamma H + \frac{\sigma_p}{\alpha_1} \right) \left( \frac{R_c}{R} \right)^{\beta+1} \left( \frac{R_e}{R_c} \right) \cdot \sin \rho \quad \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

$$\left( \frac{R_c}{R} \right)^{\alpha_1} = \left[ \left( 1 - \sin \rho \right) \left( \frac{2\gamma H - \sigma_p}{2p} \right) \right] \left( \frac{R_c}{R_e} \right)^{\alpha_1} - \frac{\sigma_p}{\alpha_1 p} \left[ 1 - \left( \frac{R_c}{R_e} \right)^{\alpha_1} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

$$\Pi_\varepsilon = \frac{\left( \frac{R_e}{R_c} \right)^{\alpha_1+2}}{1 - \frac{1-2\eta}{\sin \rho} \left[ \left( \frac{R_e}{R_c} \right)^{\alpha_1} - 1 \right]} \quad \dots \dots \dots \quad (2.13)$$

- $\sigma_p$ , čvrstoća stene na pritisak;
- $R_c$ , spoljni radijus zone rušenja;
- $\beta = \frac{1 + \sin \rho}{1 - \sin \rho}$ ;

- $\Pi_\varepsilon = \frac{\varepsilon_\theta gr}{\varepsilon_\theta el}$ , pokazatelj plastičnih svojstava stene i predstavlja odnos granične i elastične deformacije.

## **2.6. Viskoznoelastoplastični model**

Opterećenje na podgradu s radijusom zone plastičnog tečenja u viskoznoelastoplastičnom modelu povezuju sledeće jednačine:

$$\frac{\gamma H - P_{(t)}}{\sigma_{gr.}} - 1 = \ln\left(\frac{R_{e(t)}}{R}\right)^2 + \left[ \frac{R_{e(t)}^2}{R^2} - \ln\left(\frac{R_{e(t)}}{R}\right)^2 - 1 \right] e^{-\frac{t}{t_0}} \dots \quad (2.14)$$

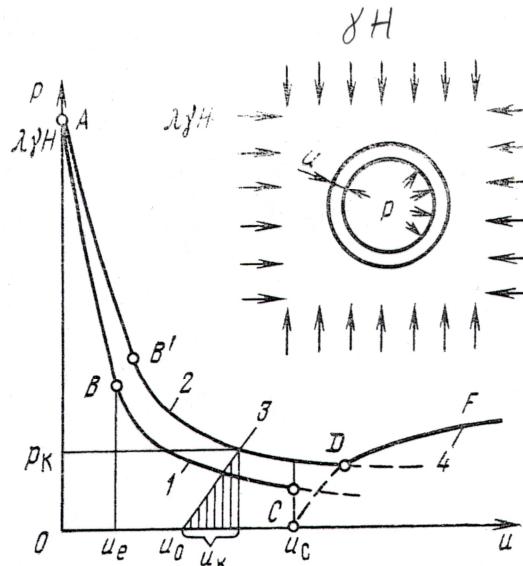
Zavisnost radijusa zone plastičnog tečenja od vremena određuje sledeća jednačina:

$$\frac{t}{t_0} = \ln \left\{ 1 + \frac{R_{e(t)}^2 - R_{e(0)}^2}{R^2 \left[ \ln \left( \frac{R_{e(\infty)}}{R} \right)^2 - \ln \left( \frac{R_{e(0)}}{R} \right)^2 \right]} \right\} \dots \dots \dots \quad (2.15)$$

## Pomeranje:

- $P(t)$ , pritisak na podgradu u vremenu t;
  - $\sigma_{gr.}$ , granični napon, odgovara naponu pojave plastičnih deformacija;
  - $R_e(t)$ , spoljni radius zone plastičnog tečenja u vremenu t;
  - $R_e(0)$ , spoljni radius zone plastičnog tečenja u vremenu  $t_0$ ;
  - $R_e(\infty)$ , spoljni radius zone plastičnog tečenja u vremenu  $t \rightarrow \infty$ .

Pri visko-elastoplastičnom modelu, kao i pri elastoplastičnom, opterećenje na podgradu bitno zavisi od pomeranja stena konture prostorije, sl. 2.5.



**Sl. 2.5 – Grafik sadejstva podgrade sa stenskim masivom:**

1 i 2 - ravnotežno stanje po konturi preseka, odgovara uslovno trenutnim i vremenskim deformacijama; 3 – mehanička karakteristika podgrade;  $U_0$  – pomeranje stena do trenutka postavljanja podgrade;  $U_k$  – zajedničko pomeranje podgrade i stene;  $U_c$  – granično elastoplastično pomeranje bez pojave rušenja stene  
 4 – opterećenje od težine stena u zoni rušenja;  $\gamma H$  i  $\lambda \gamma H$  - odgovarajuće vertikalno i horizontalno opterećenje stenskog masiva

- Sa povećanjem zone plastičnih deformacija ili zone rušenja, opterećenje na podgradu se smanjuje. Deo (zona) AB, sl. 2.5, odgovara elastičnom sadejstvu podgrade i stene. Deo AB' odgovara visko-elastičnom sadejstvu. Deo BC odgovara elasto-plastičnom sadejstvu. Deo B'D odgovara visko-elastoplastičnom sadejstvu. Tačka C, u principu, odgovara obrazovanju zone rušenja stena oko prostorije, a povećanje opterećenja usled težine obrušenih stena (kriva CF) dovodi do prelaženja u kruto-plastični model, počevši od tačke D.

Formiranjem opterećenja na podgradu u uslovima zajedničkih deformacija podgrade i masiva, pojaviće se zajedničko pomeranje konture stena i konture podgrade, što se predstavlja sledećim jednačinama:

- $U_{\infty(p)}$ , pomeranje stenske konture prostorije u momentu uspostavljanja statičke ravnoteže sistema „podgrada-stenski masiv“;
- $U_0$ , početno pomeranje stenske konture od momenta izrade prostorije do vremena postavljanja podgrade;
- $U_{(p)}$ , pomeranje spoljne konture podgrade do momenta uspostavljanja statičke ravnoteže sistema „podgrada-stenski masiv“.

Po određivanju opterećenja na podgradu moguće je rešavati pomeranja za različita stanja stenskog masiva koristeći izraz (2.17)

- dogranično stanje,
- zagranično stanje,
- stanje rušenja.

Pri stabilnom dograničnom stanju:

$$U_{\infty(p)} = \frac{3}{2} \frac{q - p}{E_{\infty}} \cdot R_B \quad \dots \dots \dots \quad (2.18)$$

$$U_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{q}{E_0} \cdot f_1 \left[ \alpha + (1 - \alpha) \cdot e^{-\frac{\tau}{t_p}} \right] \cdot f_2 \cdot R_B \quad \dots \dots \dots \quad (2.19)$$

- $q$ , početno opterećenje stenskog masiva;
- $p$ , reaktivni otpor podgrade;
- $E_{\infty}$ , dugotrajni modul deformacije stenskog masiva

$$E_{\infty} = \frac{E_0}{\alpha}$$

- $E_0$ , početni modul deformacije stenskog masiva;
- $\alpha$ , eksperimentalni koeficijent, za neke tipove stena, vrednosti su date u tabeli 2.2;
- $R_B$ , radijus krivine podzemne prostorije ili ekvivalentni radijus podzemne prostorije;
- $\tau$ , tok vremena od trenutka izrade dela prostorije do momenta postavljanja stalne podgrade;
- $t_p$ , vreme retardacije, određeno eksperimentalno, a za neke tipove stena

prikazane su vrednosti u tabeli 2.2;

- $f_1 = \frac{n+2}{n+2-2a}$ , koeficijent uzima u obzir oslabljenje stena;

- a i n, parametri koji se približno mogu odrediti sledećim izrazom:

$$n = \frac{1}{\log\left(1 + \frac{M}{R_B \cdot B^m}\right)} \dots \dots \dots \quad (2.20)$$

- B [m], rastojanje između elemenata podgrade;
  - M i m, koeficijenti zavise od jednoosne otpornosti stena i prikazani su u tabeli 2.3.
  - $f_2$ , koeficijent i zavisi od osnosa  $l/R_b$  i prikazan je u tabeli 1;
  - l, rastojanje čela radilišta do stalne podgrade;
  - $U_{(p)}$ , veličina koju određuje konstruktivna popustljivost podgrade i zavisi od materijala i kinematskih karakteristika podgrade, a takođe i od deformabilnih svojstava zaloge ili tamponarnog sloja

- $U_1$ , pomeranje na račun deformabilnosti zaloge ili zgušnjavanja tampo nažnog sloja

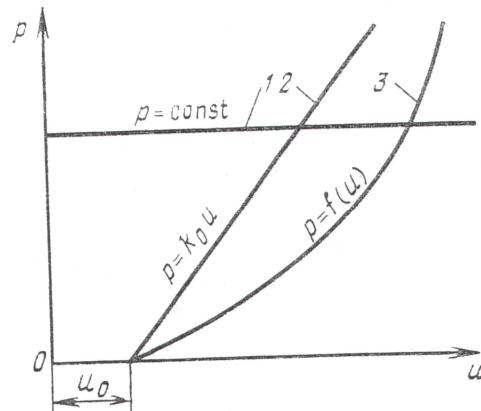
$$U_1 = 0,25 \cdot d_3$$

- $d_3$  [m], debljina zaloge ili tamponažnog sloja;
  - $U_2$ , pomeranje usled zazora zatvorene konstrukcije podgrade za kružnu podgradu od „i“ elemenata i zazora „ $\Delta$ “;

$$U_2 = \frac{i \cdot \Delta}{2\pi \cdot R_B}$$

- $U_{3(p)}$ , pomeranje određeno krutošću podgrade

Pri tome je neophodno razlikovati sledeće, sl. 2.6.



**Sl. 2.6 – Deformacione karakteristike podgrade - 1, sa konstantnim otporom podgrade; 2, sa linearним rastom otpora podgrade; 3, sa nelinearnim rastom otpora podgrade**

- Podgrada sa konstantnim otporom  $P = \text{const}$ .
- Podgrada sa linearnim rastom otpora  $P = K_0 \cdot U$
- Podgrada sa nelinearnim rastom otpora  $P = f(u)$

**Tabela br. 2.1**

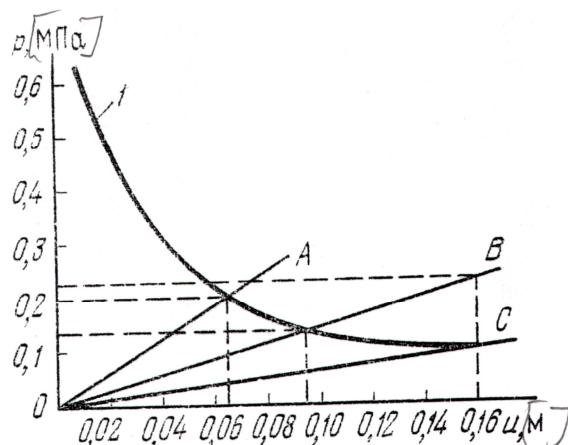
$\frac{l}{R_B}$	0,25	0,50	0,75	1,00	2,00	2,50	3,00
$f_2$	0,50	0,65	0,80	0,90	0,95	0,97	0,98

**Tabela br. 2.2**

Stena	$\alpha$	Vreme retardacije $t_p$ [dan]
slabi glinoviti škriljac	1,50	30-40
čvrsti glinoviti škriljac	1,30	5-10
škriljasti peščar	1,20	3-5
peščar	1,10	2-3

**Tabela br. 2.3**

Jednoosna otpornost na pritisak $\sigma_p$ [MPa]	$M$	$m$
20-40	1,80	0,85
40-60	1,30	0,75
60-80	1,00	0,70
preko 80	0,90	0,60

**Sl. 2.7 – Zavisnost reakcije podgrade od njene popustljivosti**

Slučaj linearног porasta otpora podgrade uslovljen je elastičnošćу konstrukcije:

$$U_3(p) = \frac{P}{K_0} \quad \dots \dots \dots \quad (2.22)$$

- $K_0$  [MPa/m], koeficijent krutosti podgrade. Određuje se iz praćenja pomeranja podgrade pri dejstvu jedinično raspoređenog opterećenja.

Za kružnu i lučnu popustljivu podgradu preporučuje se  $K_0 = 0,37$  [MPa/m], za lučnu armiranobetonsku podgradu  $K_0 = 1,0$  [MPa/m], a za kružnu armiranobetonsku podgradu  $K_0 = 2,4$  [MPa/m].

Na osnovu (2.17), (2.18), (2.19) i (2.21), dobija se izraz za određivanje radijalnog opterećenja na podgradu.

$$P = 3q \cdot K_0 \cdot R_B - \frac{1 - f_1 \cdot f_2 \left[ 1 + \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \cdot e^{-\frac{\tau}{t_p}} \right]}{3K_0 \cdot R_B + 2E_\infty} \dots \quad (2.23)$$

Pri nestabilnom stenskom masivu oko podzemne prostorije obrazuje se oblast zagraničnih deformacija i zona rušenja. Kao posledica toga, po konturi prostorije na kontaktu s podgradom, realizuje se pomeranje:

$$U_\infty(p) = \frac{3R_B}{2E_\infty} \cdot \frac{2\lambda q + \sigma_p}{1+\lambda} \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{\beta+1} (\rho^{\beta+1} - 1) \cdot r_p^2 \right] \dots \quad (2.24)$$

-  $r_p$ , radijus zone rušenja,

$$\rho = \frac{r_n}{r_p}$$

-  $r_n$ , radijus zone zagraničnog stanja.

Zavisnost opterećenja na podgradu od veličine njene popustljivosti prikazana je na sl.s.7. Kriva 1 pokazuje da je uzrok visokog opterećenja na podgradu formiranje zone rušenja oko prostorije intenzivirajući proces pomeranja konture prostorije, a s druge strane neodgovarajuća konstruktivna popustljivost podgrade, kriva (OA). Povećanjem popustljivosti podgrade, smanjuje se dejstvo opterećenja na nju, kriva (OC), a istovremeno se povećava oblast zone rušenja stena težeći obrušavanju. Optimalna će biti ona noseća sposobnost podgrade pri kojoj opterećenje od težine oblasti zone ispučalosti bude jednaka nosećoj sposobnosti podgrade, kriva (OB), sl. 2.7.

## ZAKLJUČAK

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

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

U zavisnosti od rudarsko-geoloških uslova, pri izboru i proračunu podgrade moraju se ispoštovati režimi rada prikazani u tabeli br. 1.1., pri čemu izdvajamo dva osnovna tipa modela:

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

## LITERATURA

1. Ratomir Popović, Milenko Ljubojev, Mile Bugarin: Osnove postavki mehaničkih modela sadejstva podgrade sa stenskim masivom, Bakar - Copper, broj 1, Bor, 2007.
2. Dr Milenko Ljubojev, Ratomir Popović: Osnove geomehanike, RTB Bor, Institut za bakar Bor, 2006.
3. Ratomir Popović: Primena teorije Kastiljanija pri određivanju preseka luka i razmaka između lukova, Arhiv za rudarstvo i geologiju Tuzla, 1987.
4. Ratomir Popović: Podgrada u visokoplastičnim glinama, Rudarski glasnik, RGF Beograd, 1995.
5. Milenko Ljubojev, Ratomir Popović: Deformisanje stenskog masiva i sleganje površine terena uzrokovanih podzemnom eksploracijom mineralnih sirovina, Rudarski radovi, Bor, 1/2001

## **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 551.435.62(045)=861

NAUČNI RAD

### **STABILIZACIJA KOSINE PRIMENOM ŠIPOVA**

### **SLOPE STABILIZATION USING PILES**

Mevludin Avdić<sup>1</sup>, Izudin Bajrektarević<sup>1</sup>, Amir Jahić<sup>2</sup>, Milenko Ljubojev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Tuzli, <sup>2</sup> Direkcija za puteve, Tuzla,

<sup>3</sup> Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*U ovom radu prikazan je razvoj nove metode stabilizacije površinskih kosina primenom ojačanih šipova od reciklirane plastike koja je veoma jeftina alternativna metoda. Metoda dizajniranja šipova je praćena ograničenim pristupom zbog brojnih različitih limitnih stanja. Prikazana je numerička metoda sa modelom primenom linearnih elastičnih elemenata.*

**Ključne reči:** stabilnost kosina, numerički model, metode granične ravnoteže, elastičnost, elastoplastičnost

#### **Abstract**

*Surficial slope failures, or nuisance slides, constitute a significant economic and man-power burden for many transportation agencies due to the frequent and recurring nature of the slides. A new method for stabilizing surficial slides using reinforcement manufactured from recycled plastics is being developed to provide agencies with a cost-effective alternative for stabilizing these slopes. A design procedure has been established that draws upon previous experience with more conventional reinforcing materials such as concrete and steel. The design method follows a limit state design approach wherein a number of different limit states are considered, including failure of the reinforcing members, to establish the resisting force provided by the reinforcement. In this paper, numerical method is presented followed with model by liner-elastic beam elements.*

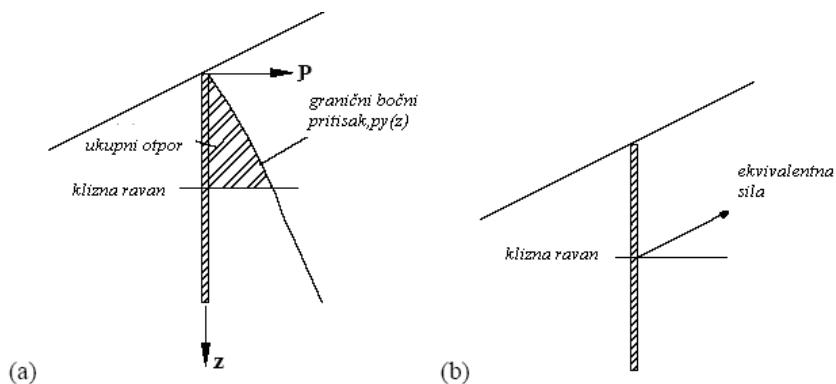
**Key words:** slope stability, numerical model, limit states, elasticity, elasto-plasticity

#### **UVOD**

Stabilizacija prirodno nestabilnih kosina, ili kosina na kojima je izraženo klizanje (puzanje) masa, može se vršiti primenom različitih načina stabilizacije. Pri izboru načina stabilizacije veoma značajnu ulogu ima ekonomski faktor. Kod

stabilizacije padine sa šipovima primjenjuju se materijali betona i čelika. Za pravilnu ocenu dimenzija šipova potrebno je izvršiti proračun šipova, odrediti njihov raspored i broj i interakciju šipa i tla. U ovom radu dat je kratak opis metodologije proračuna šipova na jednom praktičnom primeru.

## TEORETSKI ELEMENTI PRORAČUNA ŠIPOVA



**Slika 1.** Grafička ilustracija metoda za proračun graničnih vrednosti rezistance:  
a. Integral graničnog pritiska u tlu; b. Ekvivalentna sila

Osnovne jednačine ravnoteže za problem u ravni su:

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + Q_x = 0,$$

$$\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} + Q_y = 0,$$

u kojima  $\sigma$  predstavlja napon, a  $Q$  sile, koje su u ovom slučaju interakcija slojeva:

$$Q_x = \frac{\sigma_{zx}^+ - \sigma_{zx}^-}{h},$$

$$Q_y = \frac{\sigma_{zy}^+ - \sigma_{zy}^-}{h},$$

gde je:  $h$  debljina sloja.

Šip se modelira kao gredni element u tlu. Osnovne jednačine za takvu gredu su

jednačine grede na elastičnoj podlozi:

$$\frac{d^2M}{dz^2} = -f + ku,$$

$$\frac{d^2u}{dz^2} = -\frac{M}{EI}.$$

u kojima je  $M$  moment savijanja u gredi,  $f$  dato bočno opterećenje,  $k$  konstanta opruge, a  $EI$  krutost grede. Ove jednačine mogu biti rešene primenom jedne od numeričkih metoda (metoda konačnih razlika). Numerička formulacija interakcije šipa i tla je:

$$F_i = \sum K_{ij} u_j,$$

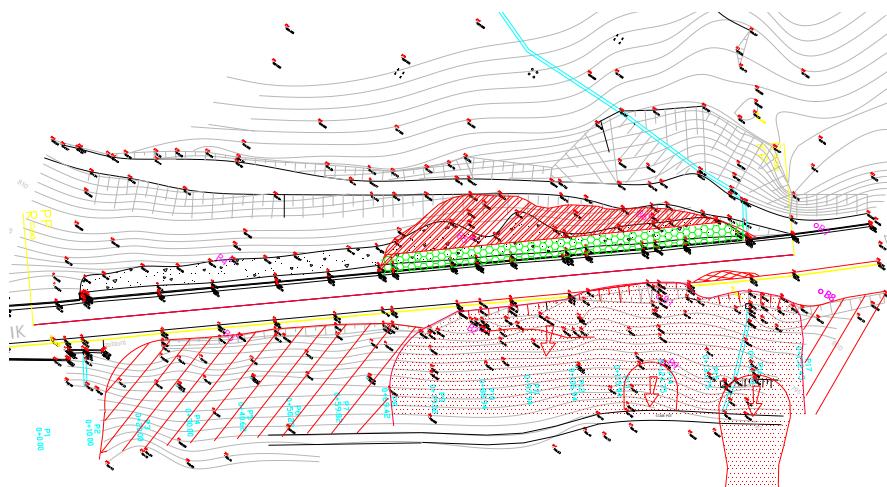
gdje je  $F_i$  sila od sloja  $i$ , a  $u_j$  bočni pomak sloja  $j$ . Ova jednačina može biti napisana i u obliku:

$$F_i = k_i u_i + F_i^*,$$

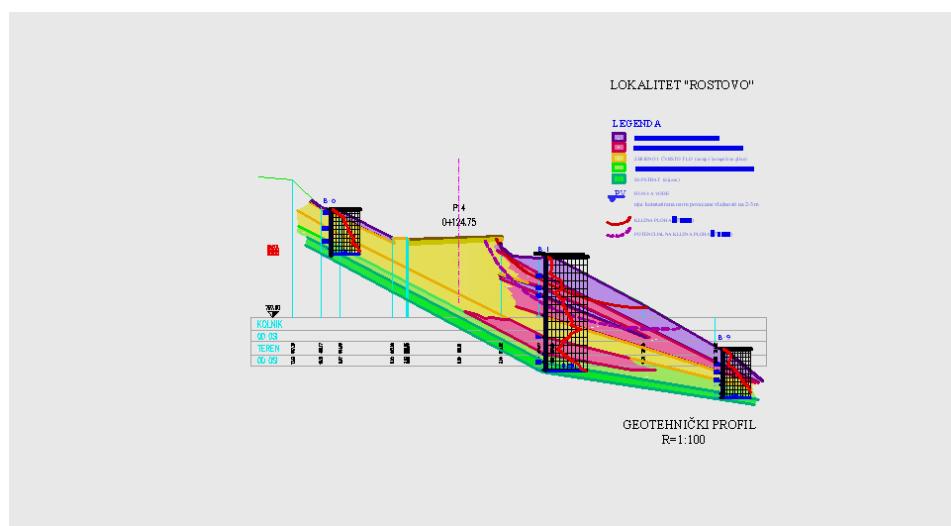
## PRIMJER PRORAČUNA ŠIPOVA

Geotehnički istražni radovi na razmatranoj lokaciji jasno su pokazali da je podloga nasipa izgrađena od loših materijala i da se geološki supstrat nalazi na dubinama oko 8.0 m. Tokom izvođenja istražnih radova ustanovljeno je više aktivnih kliznih ploha, a glavna klizna ploha je na kontaktu substrat – pokrivač. S obzirom na dubinu do substrata, sužene su mogućnosti većeg broja varijantnih rešenja, te se konačno ostalo na rešenju sa šipovima i geotehničkim ankerima

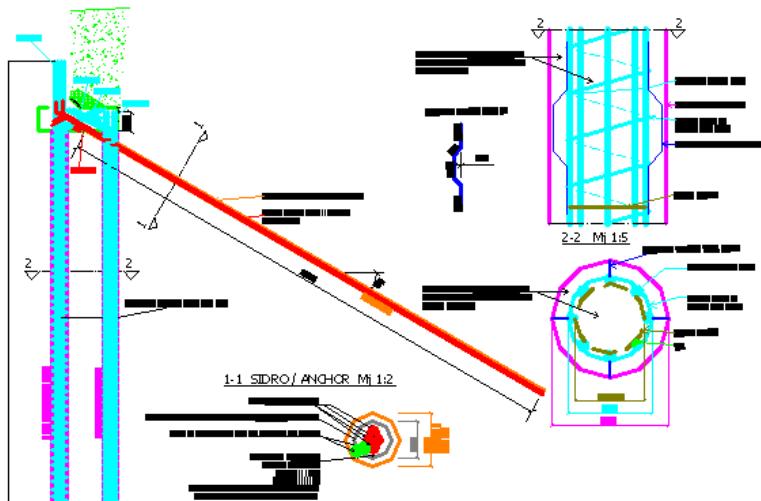
Razmatrano klizište je frontalnog tipa sa izduženjem po padini i širinom nekoliko puta većom od dužine (merene u pravcu kretanja kliznog tela) i sa jasno izraženim čeonim ožiljkom.



**Slika 2. Prikaz klizišta**



**Slika 3. Inženjersko-geološki profil**



**Slika 4.** Rešenje stabilizacije

Na osnovu obavljenih geomehaničkih ispitivanja za proračun sanacionih mera i provere stabilnosti padine sa preduzetom merom usvojeni su parametri tla sledećih karakteristika:

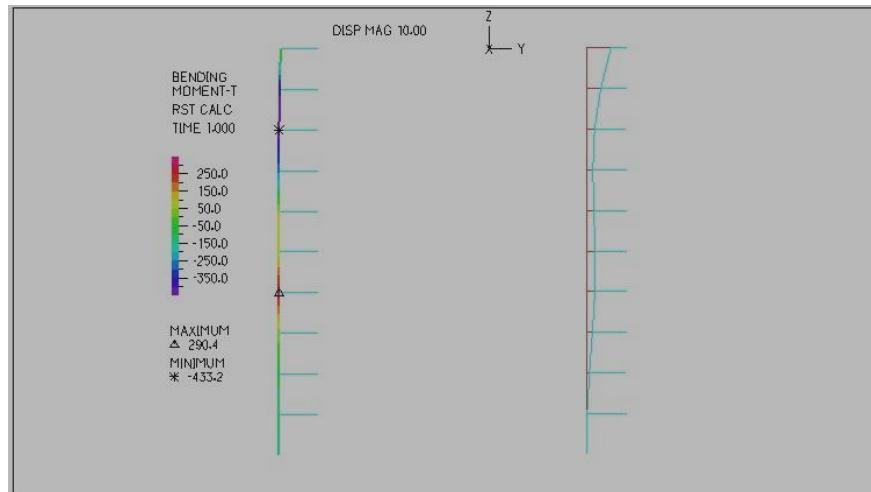
- ugao nagiba padine na karakterističnom profilu,  $\alpha = 30^\circ$ ,
- ugao unutrašnjeg tenja,  $\varphi = 30^\circ$ ,
- zapreminska težina,  $\gamma = 20.0 \text{ KN/m}^3$ ,
- kohezija,  $c = 0 \text{ kN/m}^2$  (duž klizne ravni).

Klasičnim proračunom dobijene su vrednosti za dimenzionisanje šipova, tj vertikalna i horizontalna opterećenja na konstrukciju i njene elemente prikazane na slici 4.

Pri proračunu je dobijena vrednost celog opterećenja od vertikalne komponente rezultante sila na šip od  $600.0 \text{ kN/m}$

Pri numeričkom proračunu za komponente opterećenja jednostavno se uzimaju u obzir svi relevantni faktori. Osnovni problem, a koji je prisutan i kod klasičnog proračuna, jeste interakcija tla i šipa. U ovom radu šip je modeliran sa grednim elementima. U tački kontakta grednog elementa (šipa) sa supstratom je čvor bez i jednog stepena slobode. Interakcija tla i šipa omogućena je simulacijom sa elementima opruge, a koja ima krutost u funkciji karakteristika tla. Na slici 5. prikazani su rezultati proračuna dobijeni metodom konačnih elemenata. Na slici je prikazana i deformacija samog šipa usled delovanja masa. U proračunu se zadržalo na linearno-elastičnoj analizi. Za tačniju ocenu projektom usvojenih vrednosti

dimenzija šipa, potrebno je izvršiti analizu uzimajući u obzir i plastičnost.



**Slika 5.** Rezultati proračuna MKE

## ZAKLJUČAK

Stabilizacija padina sa šipovima i/ili ankerima zavisi od geoloških i geomehaničkih karakteristika lokacije. Pri izboru ovog načina stabilizacije dimenzionisanje šipova mora biti obavljen sa istom pažnjom kao i dimenzionisanje bilo kojeg elementa druge sanacione mere. Numerički model prikazan u radu omogućuje proveru dimenzija šipa. Za tačniju ocenu parametara ovog načina saniranja padine, i u slučaju slojevitosti, konstante opruge se izračunavaju serijom analiza konačnih elemenata, sa jediničnim pomakom u jednom sloju i multim pomakom u drugim slojevima (lit.1). Određivanje ovih konstanti je iterativni postupak i sa dobijenim vrednostima moguće je analiziranje ponašanja konstrukcije u celini.

## LITERATURA

1. Arnold Verruijt, Offshore Soil Mechanics, Delft University of Technology, 1994, 2006
2. Colby C. Swan, Assoc. Professor Young-kyo Soco-Doctoral Resarch Assoc., Slope Stability Analysis Using Finite Element Techniques, 13th Iowa Ascc. Geotech. Conf. Mart 1999, Williamsburg, Iowa
3. A New Era in Slope Stability Analysis: Shear Strength Reduction Finite Element Technique (Articile prepare for Rock-News 2004), rockscience software tools Rock

and Soil

4. M.Avdic, I. Zivic, I. Bajrektarevic V. Cuculic, Stabilization of landslides caused by soil creeping, International Workshop on Geotechnics of Soft Soils, Theory and Practice, September 2003, Noordwijkerhout, The Netherlands
5. Smith I.M., Griffiths D.V. Programming the finite element method,2. edition, John Willey and sons, 1988.
6. Dr Milenko Ljubojev, Ratomir Popović, Osnove geomehanike, RTB Bor, Institut za bakar Bor, 2006.

# **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 669...5:621.791.3(045)=861

NAUČNI RAD

## **BEZOLOVNE LEGURE ZA IZRADU EKOLOŠKIH LEMOVA**

### **LEAD-FREE ALLOYS FOR ECOLOGICAL SOLDERS MANUFACTURING**

A. Kostov, A. Milosavljević, L. Gomidželović, R. Todorović

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*Iako su direktive Evropske unije o zaštiti životne sredine, konkretno WEEE i RoHS stupile na snagu 2003. godine, u našoj zemlji još uvek su aktuelni olovni lemovi. U cilju poštovanja evropskih, a i svetskih direktiva, potrebno je količinu štetnih elemenata svesti na minimum, tj. uvesti u proizvodnju lemove koji ne sadrže olovo i kadmijum. U ovom radu predstavljene su neke od bezolovnih legura koje su iskorišćene za izradu ekoloških lemova različitih namena, proizašle kao rezultat istraživanja u okviru projekta Ministarstva nauke Republike Srbije iz oblasti tehnološkog razvoja pod nazivom: „Razvoj tehnologije i proizvoda ekoloških lemova“.*

*Ključne reči:* ekološki lemovi, bezolovne legure, srebro, zlato, kalaj, indijum

#### **Abstract**

*Although the European Union's directive about environment protection as WEEE and RoHS have been carried out in 2003, lead solders are still in used in our country. In the aim to respect the European and world directives and laws, it is necessary to reduce a quantity of toxic element and to establish lead and cadmium free solders in production. In this paper it was presented lead-free alloys, which are used for ecological solders manufacturing and various applications. These are results in the frame of technology project titled: "Developing of Technology and Ecological Solders Production" have done for Serbian Ministry of Science.*

*Key words:* ecological solders, lead-free alloys, silver, gold, tin, indium

## **UVOD**

Jedan od aktuelnih svetskih trendova u poslednjih deset godina je tzv. lead-free pokret, s obzirom na važeće zakonske regulative (WEEE, RoHS i sl.) koje se odnose na ograničene koncentracije toksičnih elemenata (olovo, kadmijum, šestovalentni hrom i neke organske supstance).

Svetska elektronska industrija koristi velike količine lemov na bazi olova. Međutim, zbog svoje toksičnosti oovo predstavlja veliku pretnju životnoj sredini. Početkom poslednje decenije prošlog veka, Kongres SAD pokrenuo je inicijativu da se oovo zameni drugim, manje štetnim metalima. U Evropi i Japanu ova ideja je ne samo prihvaćena, nego i proširena.

Prema WEEE direktivi, u Evropi iz upotrebe treba izbaciti oovo, kadmijum i ostale toksične supstance najkasnije do 2008. godine. Zbog ovoga se pristupilo razvijanju novih lemnih materijala koji ne sadrže toksične elemente i istovremeno ispunjavaju mnogobrojne uslove u pogledu mehaničkih i električnih osobina, korozione postojanosti i ekonomske isplativosti.

Iako su direktive Evropske unije o zaštiti životne sredine, konkretno WEEE i RoHS, stupile na snagu 2003. godine, u našoj zemlji još uvek su aktuelni olovni lemovi. Od bezolovnih lemov koriste se samo pojedini lemovi kao što su Sn-Cu i Sn-Ag u oblasti mekih lemov, dok su u oblasti tvrdih lemov i dalje zastupljeni srebrni lemovi koji sadrže kadmijum.

U cilju poštovanja evropskih, a i svetskih direktiva, potrebno je količinu štetnih elemenata svesti na minimum, tj. uvesti u proizvodnju lemove koji ne sadrže oovo i kadmijum.

Cilj ovog rada je da prikaže primenu pojedinih bezolovnih legura za izradu ekoloških lemov različite namene u smislu pronalaženja optimalne zamene za lemove koji sadrže toksične supstance. Pri tome, ovako dobijeni lemovi moraju biti po osobinama slični standardnim lemovima, uz što manja odstupanja i odgovarajuću ekonomsku isplativost.

## **POSTUPCI LEMLJENJA**

Lemljenje je postupak za spajanje dva metala pomoću odgovarajuće legure s nižom tačkom topljenja, koju nazivamo lem. Lem mora da ima moć legiranja sa dotičnim metalom. Pri lemljenju osnovni materijal je u čvrstom stanju, a lem u rastopljenom. S obzirom na karakteristike lema razlikuje se dve vrste lemljenja:

1. Lemljenje mekim lemom i
2. Lemljenje tvrdim lemom.

Mek lem ima malu čvrstoću  $R_m = 50-70 \text{ MPa}$  i temperaturu topljenja ispod  $3.000^{\circ}\text{C}$ . Od mekih lemov najviše se u primenjuju lemovi od kalaja i olova.

---

Tvrdi lem ima visoku čvrstoću  $R_m = 500 \text{ MPa}$  i temperaturu topljenja preko  $5.500 {}^\circ\text{C}$ . Od tvrdih lemovova najviše se koriste elektrolitički bakar i fosforni bakar, koji daju vrlo čvrste spojeve, zatim bakarno-cinkovi, srebrni, aluminijevi i drugi lemovi za lemljenje crnih i obojenih metala i legura.

Meko lemljenje vrši se lako topljivim kalajnim lemovima. Koristi se uglavnom za spojeve bez velikih naprezanja u eksploraciji.

Pri lemljenju gvožđa mekim lemom upotrebljavaju se dezoksidatori - cink-hlorid  $\text{ZnCl}_2$  i amonijum-hlorid  $\text{NH}_2\text{Cl}$  (nišador) ili njihove smeše. Dezoksidatori tako nagrizaju metal, pa ih treba udaljiti sa površina odmah nakon završetka lemljenja. Za lemljenje bakra i mesinga kao dezoksidator upotrebljava se kalafo-nijum, a za lemljenje olova i lakotopljivih legura - stearin.

Zagrevanje spajanih delova i topljenje lema vrši se: bakarnom lemilicom, gasnim lampama, električnim pećima, plamenim pećima, gasnim pećima, sonim kadama itd.

Tvrdo lemljenje vrši se bakarnim lemovima, pri čemu se dobijaju vrlo čvrsti spojevi koji mogu izdržati veća naprezanja. Spojevi mogu biti: na preklop, čeoni i spojevi sa zakošenjem.

Za čišćenje površina i sprečavanje oksidacije kod tvrdog lemljenja upotrebljavaju se: boraks, kiseli natrijum fosfat, stakleni prah, vodeno staklo itd.

U zavisnosti od načina zagrevanja, postoji nekoliko vrsta lemljenja i to: gasno lemljenje, lemljenje potapanjem, električno, indukciono, lemljenje u zaštitnoj atmosferi.

Najčešće primenjivano je indukciono lemljenje. Ono je našlo široku primenu za lemljenje pločica tvrdih volframkarbidskih legura monoblok i krstastih dleta. Sastoji se u brzom zagrevanju mesta spoja induktorom. Induktor je bakarna cev sa jednim ili više namotaja hlađena vodom. Bakarni lem se stavlja u vidu lista između pločice tvrde legure i noža. Radi sprečavanja oksidacije glava noža se posipa boraksom. Ovako pripremljeno mesto spoja zagreva se induktorom. Nakon lemljenja nož se zatrپava u pesak radi laganih hlađenja.

Osnovni defekti kod zalemljenog spoja su slabo priljubljivanje, praznine i pore. Praznine u spoju smanjuju čvrstoću zalemljenog spoja. Na primer, zbog lošeg lemljenja i praznina u spoju dolazi do brzog ispadanja pločice tvrde legure iz glave monoblok dleta.

Zavisno od uslova lemljenja, praznine u spoju mogu iznositi 5-65% cele površine spoja, pri čemu je poželjno da se praznine i pore ne sjednjavaju, već da su rasejane po celom spoju.

## LEGURE ZA LEMLJENJE

Najširu primenu u oblasti niskotopivih lemovima ima olovno-kalajni lem, prvenstveno zbog niske temperature topljenja, kvašljivosti, pouzdanosti i ekonomske isplativosti. Zbog toga je veoma teško odabratи adekvatnu zamenu, tj. leguru koja će u potpunosti moći da zameni ovaj standardni lem i pritom imati odgovarajuće osobine [1].

Naime, veliki broj bezolovnih legura (od kojih su neke patentirane) primenjuje se u određenim oblastima elektronske industrije, ali uz izvesna ograničenja: visoka cena u odnosu na standardni lem, visoka temperatura topljenja, što povlači izvesne promene sadašnje tehnologije ili nedovoljna pouzdanost lema. Ono što se sa sigurnošću može tvrditi jeste da su to kalajni lemovi sa dodatkom srebra, bakra, indijuma, itd.

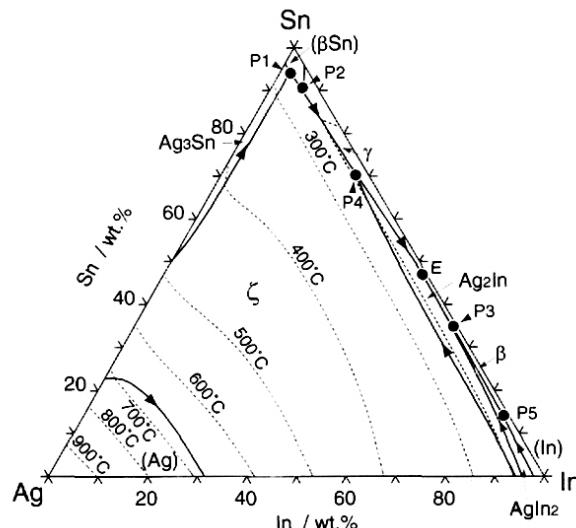
Bezolovne legure koje se u svetu najviše primenjuju su tzv. SAC - legure (Sn-Ag-Cu). Međutim, iako je Sn-Ag-Cu legura preporučena od strane NEMI (National Electronic Manufacturing Initiative), kao moguća zamena za olovno-kalajni lem u većini procesa, ne može se reći da je istraživanje završeno.

SAC - legure imaju relativno visoke temperature topljenja (iznad 200°C) u odnosu na Sn63Pb37 (183°C), pa se kao atraktivno rešenje nameće dodatak indijuma kao četvrto elementa (SIAC - legure).

Neke od legura na bazi indijuma (In-Sn) koriste se u svetu uglavnom u procesu hladnog zavarivanja. Jedina manja ovih legura je visoka cena, ali su duktilitost, dobra kvašljivost i otpornost na zamor materijala samo neke od dobrih osobina ovog elementa koje su istovremeno i neophodne za dobar lem.

Takođe, legura koja nalazi delimičnu primenu u elektronici je Sn-In-Ag. Najpoznatija od tih legura je Indalloy 227 (Sn77,2In20Ag2,8) [2]. Prema ispitivanjima Indium Corporation of America, Delphi Delco Electronic Systems i drugih, kao moguće rešenje navode se legure sastava Sn(71,5 – 91,9)In(4,8 – 25,9)Ag(2,6 – 3,3), sa ili bez dodatka četvrto elementa.

Na slici 1 prikazana je proračunata likvidus projekcija sistema Ag-In-Sn, čije legure mogu biti alternativa već postojećim olovno-kaljnim lemovima, prvenstveno zbog niskih temperatura topljenja. U tabeli 1 date su invarijantne reakcije u ovom sistemu.



Sl. 1. Likvidus projekcija Ag-In-Sn sistemu [2]

**Tabela 1.** Invarijantne reakcije u Ag-In-Sn sistemu [2]

Reakcija	Temperatura, K	Sastav tečne faze
L+Ag <sub>3</sub> Sn↔(Sn)+ζ	500	Sn-1,9In-3,9Ag
L+(Sn)↔γ+ζ	482	Sn-6,8In-3,3Ag
L+ζ↔γ+Ag <sub>2</sub> In	453	Sn-25,5In-2,5Ag
L+(In)↔β+Ag <sub>2</sub> In	408	Sn-84,6In-1,3Ag
L+Ag <sub>2</sub> In↔β+AgIn <sub>2</sub>	392	Sn-61,1In-1,0Ag
L↔β+γ+Ag <sub>2</sub> In	387	Sn-52,2In-0,9Ag

Dakle, da bi se napravio kompromis, rešenje treba tražiti spajanjem karakteristika Sn-In-Ag i Sn-Ag-Cu u četvorokomponentnu leguru Sn-In-Ag-Cu. Pri tome treba napomenuti da sadržaj indijuma u leguri ne treba da bude visok, kako bi se obezbedilo njegovo dobro rastvaranje u leguri i sprečila pojava tzv. parcijalnog topljenja legure [3], što je nepovoljno za praktičnu primenu.

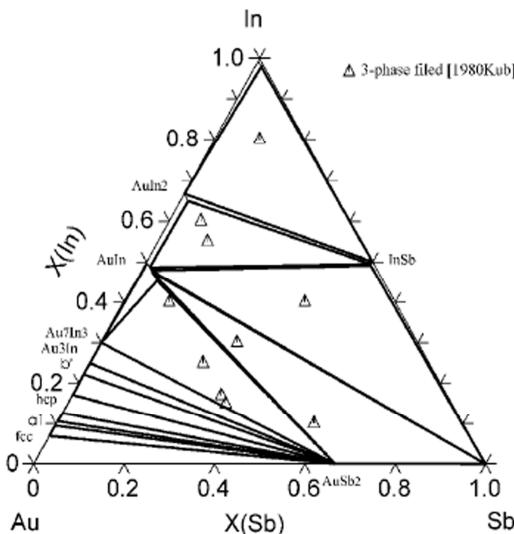
Takođe, treba obratiti pažnju na sadržaj indijuma u leguri sa aspekta ekonomskog isplativosti (da bude što niži), a s druge strane dovoljno visok kako bi snizio tačku topljenja. S obzirom na navedene činjenice, legure za lemljenje u oblasti niskotopivih lemova treba da sadrže 50-90% kalaja, 10-30% indijuma, do 10% srebra i do 2,5% bakra.

Pored legura na bazi indijuma kao mogućoj alternativi lemovima na bazi olova u višestepenom lemljenju potrebnom za ostvarivanje visoke gustine pakovanja u višestruko integrisanim električnim kolima, koja zahtevaju brojne leme materijale sa tačkama topljenja u širokom opsegu, mogu se iskoristiti i legure na bazi zlata [4].

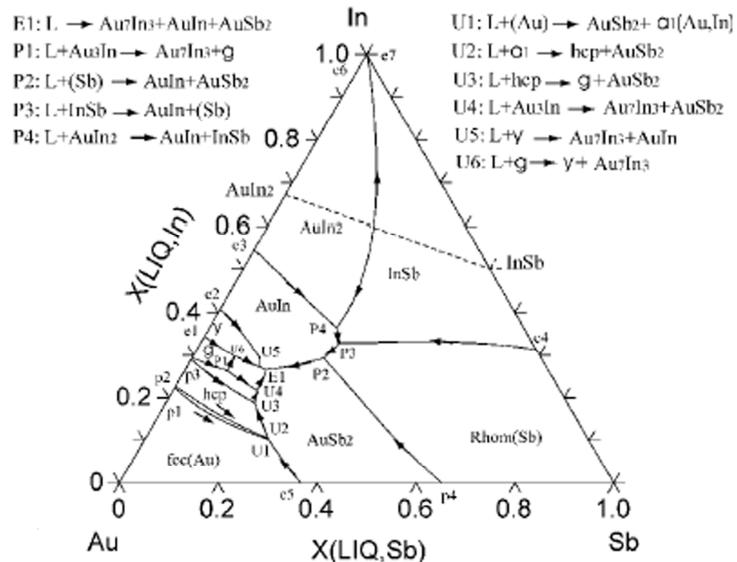
Zlato i njegove legure imaju široku primenu u savremenim granama tehnike i elektronike, kosmičke i aviacione tehnike, hemije, medicine. Legure zlata se koriste za ostvarivanje električnih kontakata, za izradu provodnika i otpornika, u mernoj tehnici i informatici zbog toga što poseduju dobre mehaničke i električne osobine, kao i korozionu postojanost u oksidacionim i drugim agresivnim sredinama. Elektronska industrija je trenutno najveći korisnik zlata i njegovih legura. Skoro 90 % primjenjenog zlata i legura zlata koriste se kao lemovi za električne kontakte pri normalnim pritiscima i u vakumu. Ovako značajnu primenu u elektronici zlato duguje sposobnosti da obrazuje niskotemperaturne eutektikume sa drugim elementima (In, Ga, Si, i sl.), koji već poseduju provodnost određenog tipa.

Takođe, fazni dijagrami legura tipa Au-In-Me mogu igrati važnu ulogu u razumevanju razvoja mikrostruktura na graničnoj površini između lemnih materijala na bazi indijuma i zlata i osnove, kao i u predviđanju osobina i tačke kohezije (spajanja), čime se dobija oruđe za dizajniranje potencijalne granične površine [5].

Iz grupe mogućih lemnih materijala koji sadrže zlato i indijum, izdvajaju se legure Au-In-Sb-Ga i Au-In-Sb (slike 2 i 3).



**Sl. 2.** Izotermačni presek ternarnog sistema Au-In-Sb na 500 K [5]



**Sl. 3.** Proračunata liquidus projekcija za ternarni sistem Au-In-Sb [5]

## ZAKLJUČAK

Prikazane bezolovne legure za proizvodnju ekoloških lemova proizašle su kao rezultat istraživanja u okviru projekta iz oblasti tehnološkog razvoja pod nazivom „Razvoj tehnologije i proizvoda ekoloških lemova“.

Ovim legurama se zamenjuju toksični kadmijum i olovo u tradicionalnim lemovima. Pri tome se ostvaruju ekološki i energetski efekat, kao i bolji ekonomski rezultati, pošto se lejni materijal iz uvoza zamenjuje domaćim proizvedenim.

## ZAHVALNOST

Autori ovog rada zahvaljuju se Ministarstvu nauke Republike Srbije za finansijsku podršku u realizaciji projekta iz oblasti tehnološkog razvoja: „Razvoj tehnologije i proizvoda ekoloških lemova“ br. 19011 za 2008. godinu.

## LITERATURA

1. Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008-2010, Oblast materijali i hemijske tehnologije, Projekat 19011, Razvoj tehnologije i proizvoda ekoloških lenova, prva godina istraživanja, 2008.
2. X.J. Liu, Y. Inohana, Y. Takaku, I. Ohnuma, et all, J.Electron. Mater., 31 (2002) 1139.
3. A. Milosavljević: Ispitivanje termodinamičkih i strukturnih karakteristika legura u ternarnom Ag-In-Sn sistemu, Magistarska teza, Tehnički fakultet Bor, 2006.
4. L. Gomidželović: Uporedna termodinamička analiza i ispitivanje faznih ravnoteža u ternarnom sistemu Au-In-Sb, Magistarska teza, Tehnički fakultet Bor, 2007.
5. H.S. Liu, C.I. Liu, C. Wang, Z.P. Jin, K. Ishida, J. Electron. Mater., 32 (2003) 81.

## **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 622.7(045)=861

STRUČNI RAD

### **FLOTACIJSKA JALOVINA U NEPOSREDNOJ BLIZINI FLOTACIJSKE BRANE 2A »VELIKI KRIVELJ« KAO VEOMA POGODAN MATERIJAL ZA POVEĆANJE NJENE VISINE**

### **FLOTATION TAILINGS IN NEARBY VICINITY OF THE FLOTATION DAM ZA VELIKI KRIVELJ AS VERY SUITABLE MATERIAL FOR BULDING ONTO THIS DAM**

D. Ignjatović, L. Đurđevac-Ignjatović,  
Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*Merenjima „IN SITU“ i u laboratoriji za geomehanička ispitivanja utvrđeno je da flotacijska jalovina koja se nalazi u samom okruženju flotacijske brane 2A "Veliki Krivelj" ispunjava sve uslove odličnog nasipnog materijala zbog veoma fine granulacije i prirodne vlage-koja je približna optimalnom sadržaju vlage po Prokторovom opitu.*

*Ključne reči:* optimalna količina vode, granulometrija, Proktorov opit

#### **Abstract**

*Measuring „IN SITU“ and in geomechanics laboratory has shown that flotation tailings, which is located nearby flotation flood-gate 2A Veliki Krivelj, fill out all conditions of excellent bulk material because of its fine grading and natural moisture content, which is approximate optimal moisture content by Proctor's test.*

*Key words:* optimum water quantity, granulometry, Prokor's device

Uzorci za laboratorijska ispitivanja fizičkih svojstva uzimani su u neporemećenom i poremećenom stanju, i na terenu obeležavani i konzervirani, kako bi sačuvali mehaničku i vodno-fizičku neporemećenost.

Od fizičkih svojstava na uzorcima flotacijske jalovine i pratećih naslaga sa flotacijske brane II-A "Veliki Krivelj", određeni su sledeći parametri:

- vlažnost W [%],
- zapreminska težina  $\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>].

Određivanje optimalne količine vode pri maksimalnoj suvoj zapreminskoj masi ispitana je na Proktorovom uređaju. Inače, optimalan sadržaj vode je onaj sadržaj pri kom se u laboratoriji pod određenim uslovima (datim po Proktoru) i uz primenu sile zbijanja po jedinici zapremine postiže najveća zbijenost.



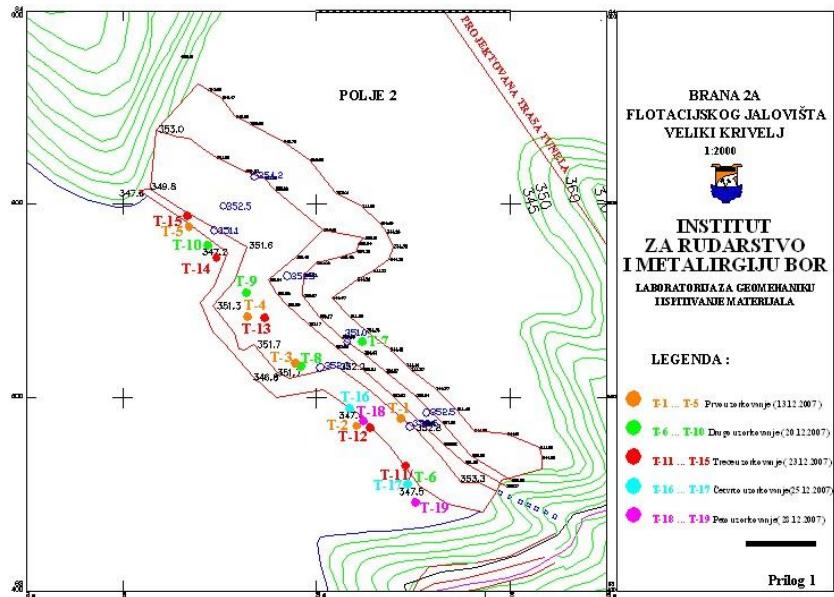
**Sl.1.** Proktorov aparat za određivanje optimalne količine vode pri maksimalnoj suvoj zapreminskoj masi

Za kontrolu zbijenosti prirodnog tla ili zbijenog nasipa često se usvaja indeks zbijanja  $I_z$  koji predstavlja odnos suve zapreminske težine datog tla ili nasi-pa ( $\gamma_d$ ) prema zapreminskoj težini dobijenoj po Proktoru ( $\gamma_p$ ):

$$I_z = \frac{\gamma_d}{\gamma_p} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Za  $I_z > 80[\%]$  zbijenost nasutog materijala je zadovoljavajuća.

Na situacionoj karti (slika br.2) su prikazana mesta i broj uzorkovanja.



Sl. 2. Situaciona karta flotacijske brane 2A Veliki Krivelj

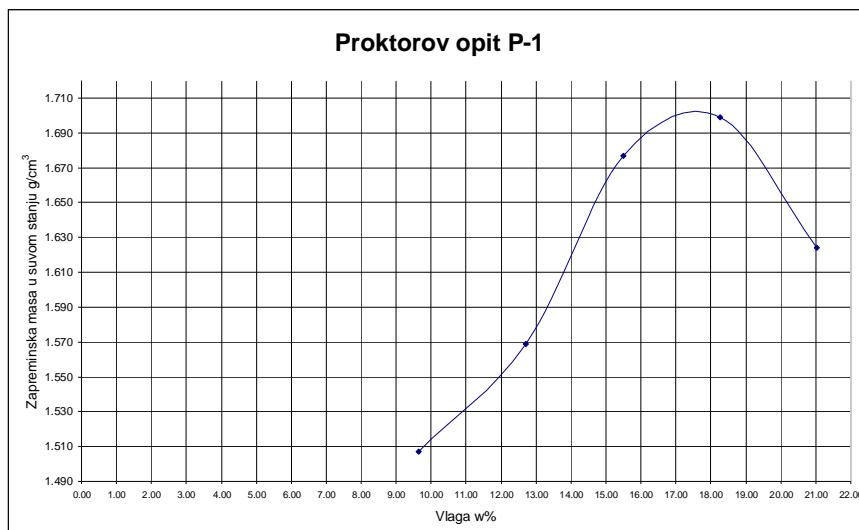
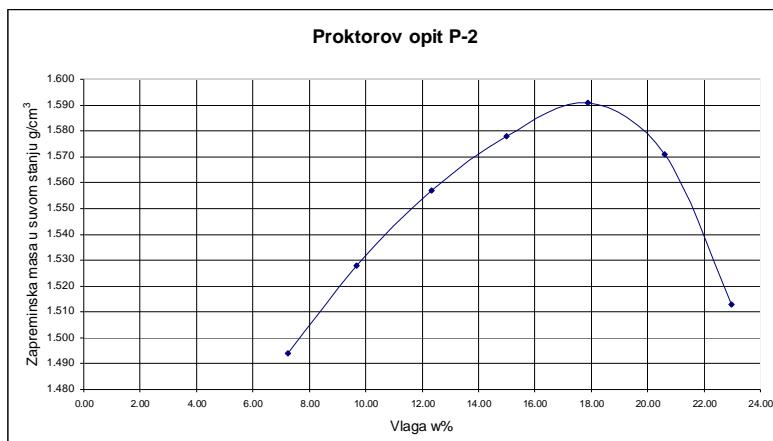
Prvo uzorkovanje predstavljaju tačke od broja T1 do T5. Njihova fizička svojstva možemo videti u tabeli br.1, a tabelarni i grafički prikaz dobijene zapremske težine materijala sa optimalnom količinom vode u tabeli br.2 i slikama br.3 i br.4.

Tabela br.1

Uzorak	Sadržaj vode W [%]	Zapreminska težina u prirodnom stanju $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina u suvom stanju $\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina sa optimalnom količinom vode, Proktrov aparat $\gamma_p$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Indeks zbijanja I <sub>z</sub> [%]
T-1	15,38	14,61	13,77	16,70	82,46
T-2	16,92	16,33	13,97	16,70	83,65
T-3	12,99	15,84	14,02	15,62	89,76
T-4	17,65	16,84	14,32	15,62	91,68
T-5	17,11	15,40	13,16	15,62	84,25

**Tabela br. 2**

<b>Uzorak</b>	<b>Optimalni sadržaj vode <math>W_{opt}</math> [%]</b>	<b>Zapreminska težina u suvom stanju <math>\gamma_d</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b>
P-1	17,50	16,70
P-2	17,52	15,62

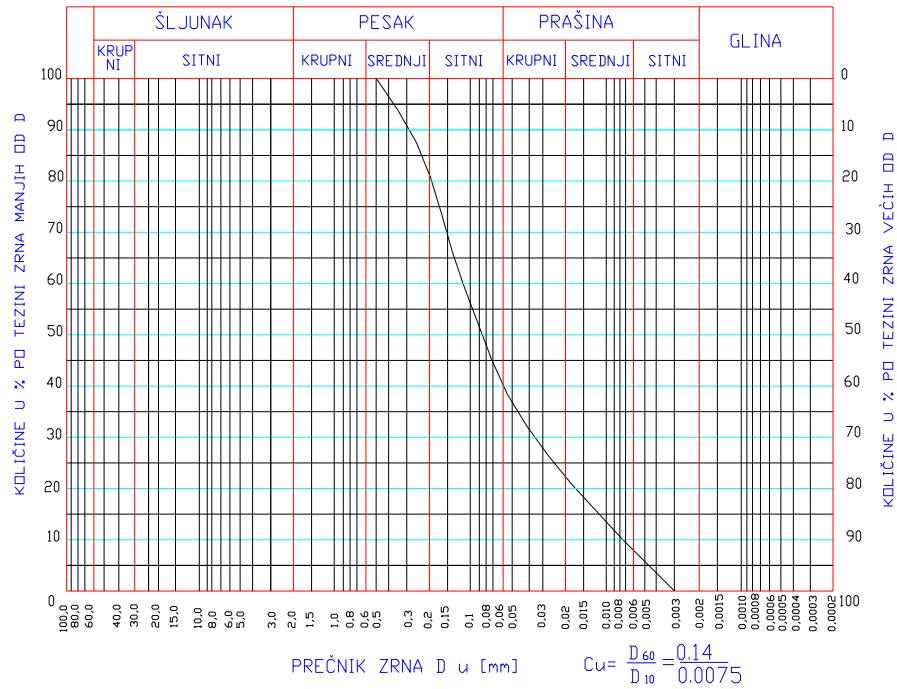
**Sl. 3.** Grafički prikaz Proktorovog opita P-1**Sl. 4.** Grafički prikaz Proktorovog opita P-2

Granulometrijski sastav prvog uzorkovanja prikazan je u tabeli br. 3, kao i grafički prikaz, slika br. 5.

**Tabela br.3**

Klasa krupnoće d(mm)	Maseno učešće m(%)	Kumulativno učešće po plusu R (%)	Kumulativno učešće po minusu D (%)
-0,500+0,250	12,98	12,98	100,00
-0,250+0,125	24,77	37,75	87,02
-0,125+0,090	10,43	48,18	62,25
-0,090+0,063	10,67	58,85	51,82
-0,063+0,038	10,75	69,60	41,15
-0,038+0,003	30,40	100,00	30,40

DIJAGRAM GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA



**Sl. 5.** Grafički prikaz granulometrijskog sastava nasipnog materijala prvog uzorkovanja

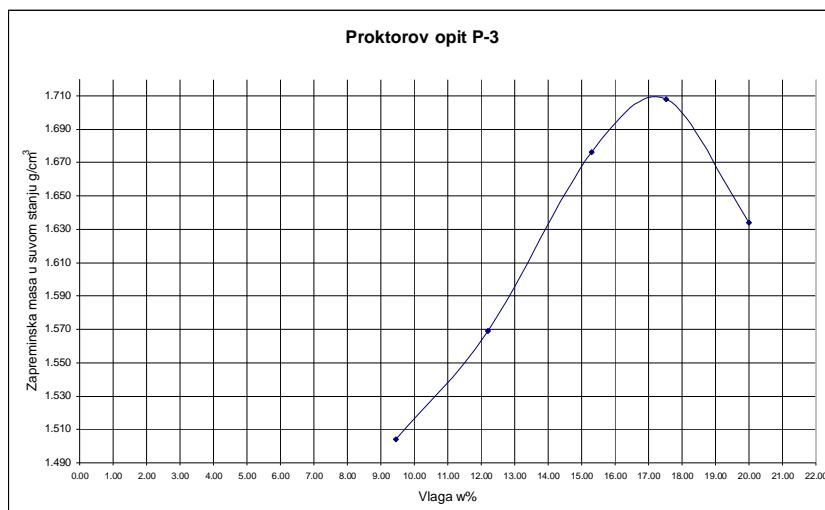
Drugo uzorkovanje predstavljaju tačke od broja T6 do T10. Njihova fizička svojstva možemo videti u tabeli br.4, a tabelarni i grafički prikaz dobijene zapreminske težine materijala, sa optimalnom količinom vode, u tabeli br. 5 i slikama br. 6 i br. 7.

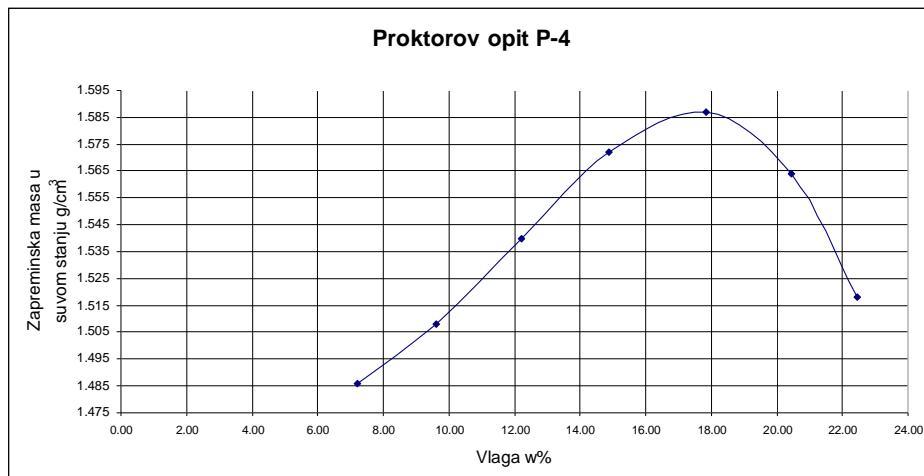
**Tabela br.4**

Uzorak	Sadržaj vode W [%]	Zapreminska težina u prirodnom stanju $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina u suvom stanju $\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina sa optimalnom količinom vode, Proktorov aparat $\gamma_p$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Indeks zbijanja I <sub>z</sub> [%]
T-6	18,56	18,69	15,85	16,78	94,46
T-7	12,97	15,95	14,12	16,78	84,15
T-8	17,65	16,09	13,68	15,57	87,86
T-9	14,88	15,95	13,88	15,57	89,15
T-10	15,02	16,68	14,51	15,57	93,19

**Tabela br. 5**

Uzorak	Optimalni sadržaj vode W <sub>opt</sub> [%]	Zapreminska težina u suvom stanju γ <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]
P-3	17,28	16,78
P-4	17,84	15,57

**Sl. 6.** Grafički prikaz Proktorovog opita P-3

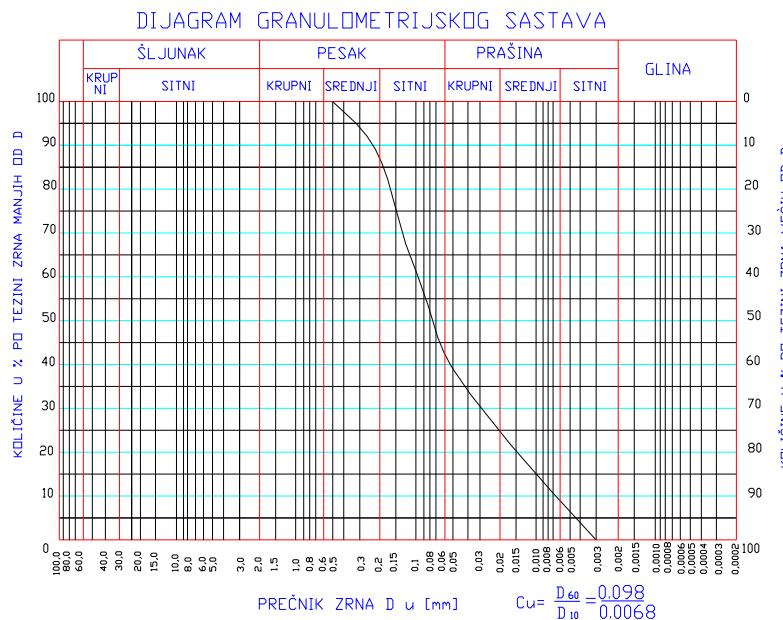


Sl. 7. Grafički prikaz Proktorovog opita P-4

Granulometrijski sastav drugog uzorkovanja prikazan je u tabeli br. 6, kao i grafički prikaz, slika br. 8.

Tabela br. 6

Klasa krupnoće d(mm)	Maseno učešće m(%)	Kumulativno učešće po plusu R (%)	Kumulativno učešće po minusu D (%)
-0,500+0,250	8,74	8,74	100,00
-0,250+0,125	24,42	33,16	91,26
-0,125+0,090	10,67	43,83	66,84
-0,090+0,063	12,43	56,26	56,17
-0,063+0,038	10,84	67,10	43,74
-0,038+0,003	32,90	100,00	32,90



**Sl. 8.** Grafički prikaz granulometrijskog sastava nasipnog materijala drugog uzorkovanja

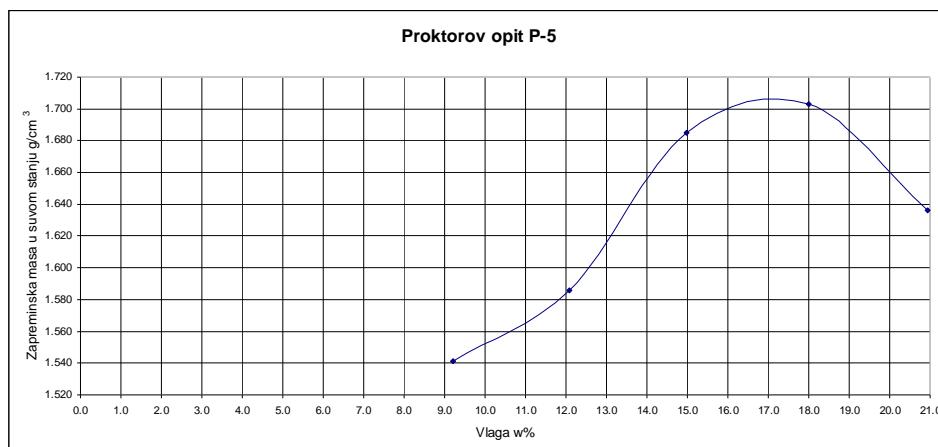
Treće uzorkovanje predstavljaju tačke od broja T11 do T15. Njihova fizička svojstva možemo videti u tabeli br. 7 a tabelarni i grafički prikaz dobijene zapreminske težine materijala sa optimalnom količinom vode u tabeli br. 8 i slikama br. 9 i br. 10.

**Tabela br.7**

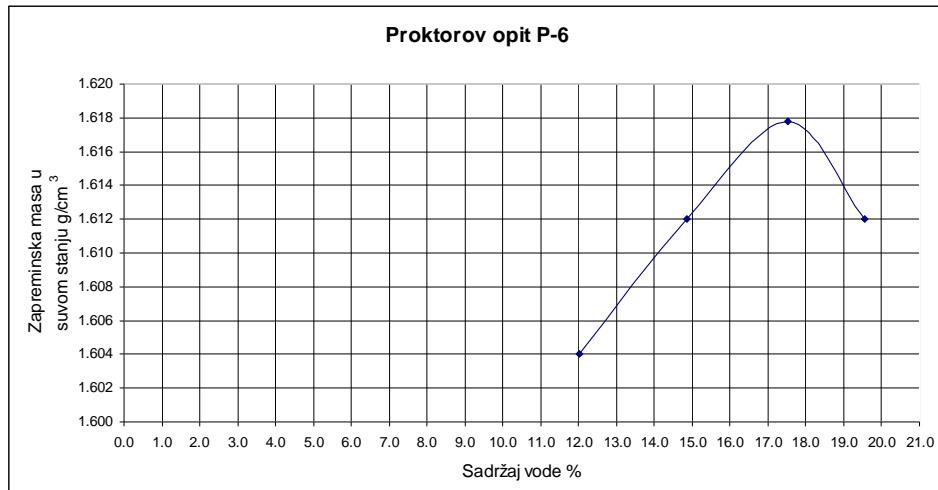
Uzorak	Sadržaj vode W [%]	Zapreminska težina u prirodnom stanju $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina u suvom stanju $\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina sa optimalnom količinom vode, Proktorov aparat $\gamma_p$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Indeks zbijanja I <sub>z</sub> [%]
T-11	19,24	18,42	15,45	16,75	92,24
T-12	24,85	17,15	13,72	16,75	81,91
T-13	29,70	18,52	14,28	15,87	89,98
T-14	12,46	16,54	14,71	15,87	92,69
T-15	11,47	16,75	14,99	15,87	94,45

**Tabela br. 8**

Uzorak	Optimalni sadržaj vode $W_{opt} [\%]$	Zapreminska težina u suvom stanju $\gamma_d [kN/m^3]$
P-5	17,10	16,75
P-6	17,40	15,87



**Sl. 9.** Grafički prikaz Proktorovog opita P-5



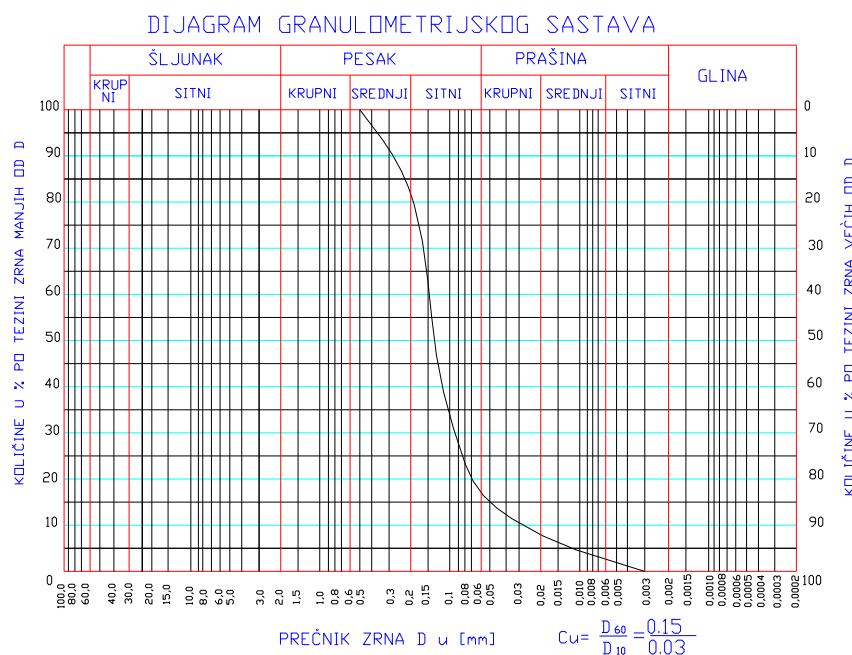
**Sl. 10.** Grafički prikaz Proktorovog opita P-6

Granulometrijski sastav trećeg uzorkovanja prikazan je u tabeli br.9, kao i

grafički prikaz, slika br.11.

**Tabela br.9**

Klasa krupnoće d(mm)	Maseno učešće m(%)	Kumulativno učešće po plusu R (%)	Kumulativno učešće po minusu D (%)
-0,500+0,250	12,42	12,42	100,00
-0,250+0,125	44,94	57,36	87,58
-0,125+0,090	15,25	72,61	42,64
-0,090+0,063	9,69	82,30	27,39
-0,063+0,038	5,90	88,20	17,70
-0,038+0,003	11,80	100,00	11,80



**Sl. 11.** Grafički prikaz granulometrijskog sastava nasipnog materijala trećeg uzorkovanja

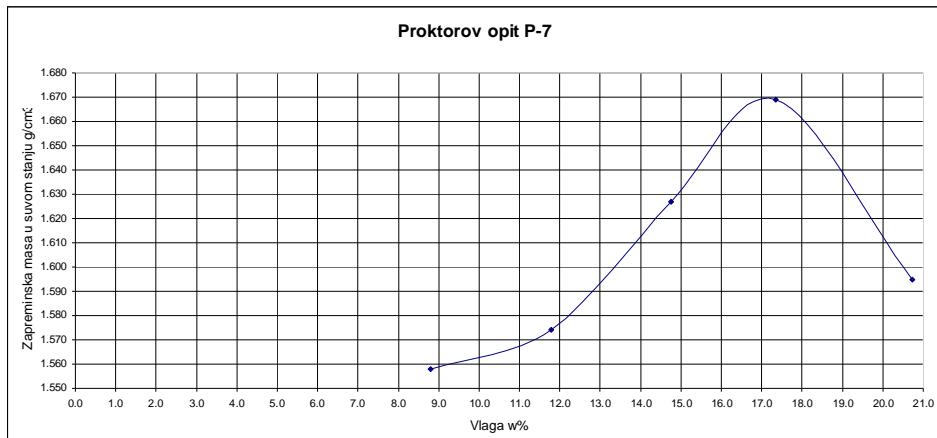
Četvrto i peto uzorkovanje predstavljaju tačke od T16 do T19. Njihova fizička svojstva možemo videti u tabeli br.10, a tabelarni i grafički prikaz dobijene zapreminske težine materijala, sa optimalnom količinom vode, u tabeli br.11 i slikama od br.12 do br.15.

Tabela br.10

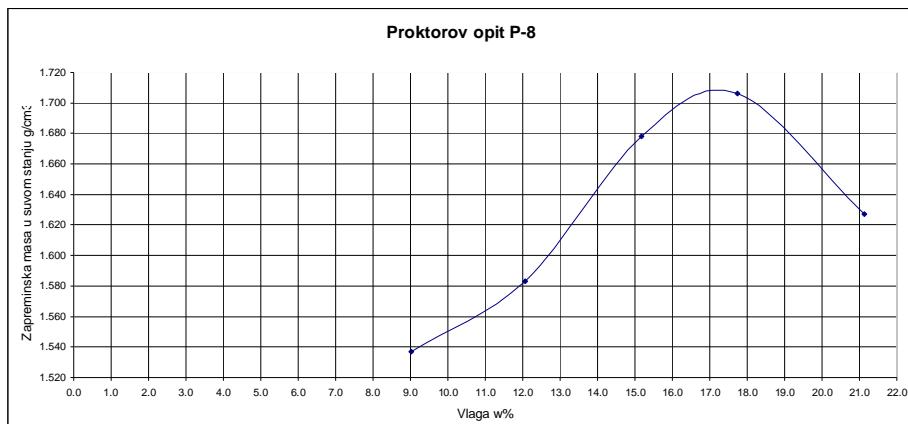
Uzorak	Sadržaj vode W [%]	Zapreminska težina u prirodnom stanju $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina u suvom stanju $\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Zapreminska težina sa optimalnom količinom vode, Proktorov aparat $\gamma_p$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Indeks zbijanja I <sub>z</sub> [%]
T-16	20,02	16,52	13,77	16,38	84,07
T-17	14,73	16,57	14,44	16,77	86,11
T-18	19,72	16,87	14,10	16,35	86,24
T-19	15,37	16,07	13,93	16,24	85,78

Tabela br.11.

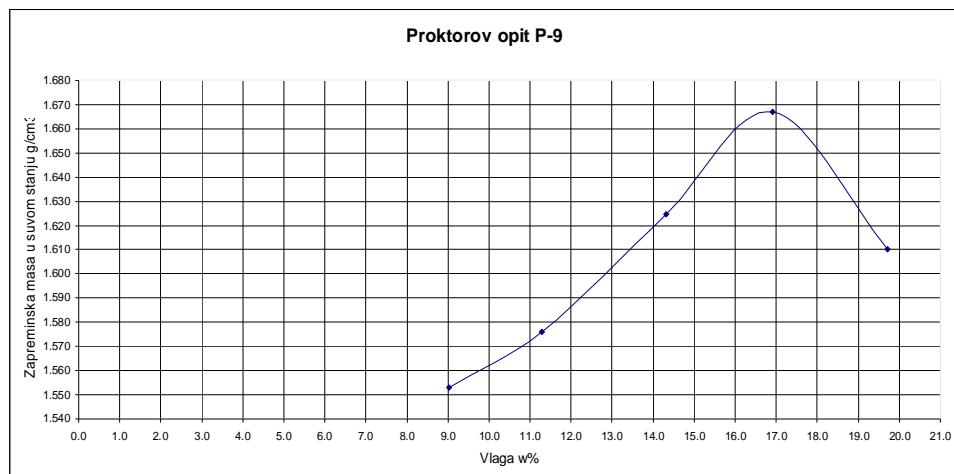
Uzorak	Optimalni sadržaj vode W <sub>opt</sub> [%]	Zapreminska težina u suvom stanju γ <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]
P-7	17,10	16,38
P-8	17,20	16,77
P-9	16,72	16,35
P-10	17,80	16,24



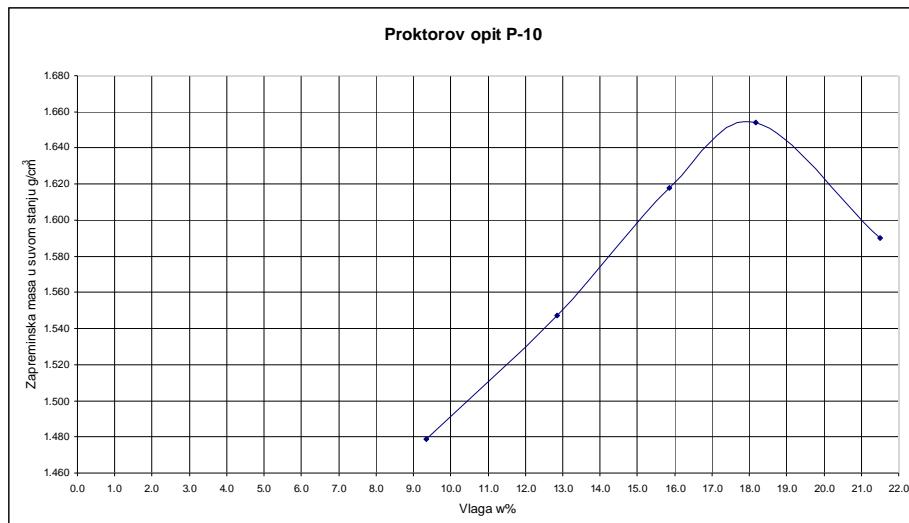
Sl. 12. Grafički prikaz Proktorovog opita P-7



Sl. 13. Grafički prikaz Prokторовог опита P-8



Sl. 14. Grafički prikaz Prokторовог опита P-9

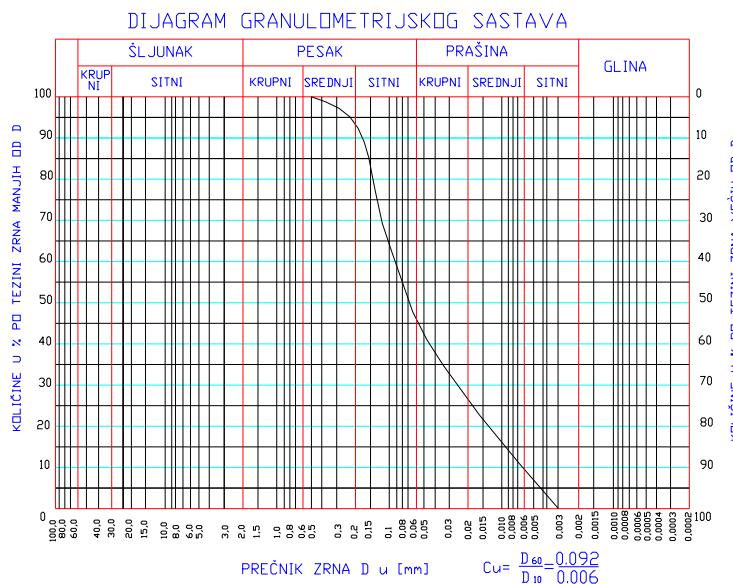


Sl. 15. Grafički prikaz Proktorovog opita P-10

Granulometrijski sastav četvrtog uzorkovanja prikazan je u tabeli br. 12, kao i grafički prikaz, slika br. 16.

Tabela br.12.

Klasa krupnoće d(mm)	Maseno učešće m(%)	Kumulativno učešće po plusu R (%)	Kumulativno učešće po minusu D (%)
-0,500+0,250	4,11	4,11	100,00
-0,250+0,125	24,76	28,87	95,89
-0,125+0,090	11,92	40,79	71,13
-0,090+0,063	12,20	52,99	59,21
-0,063+0,038	10,31	63,30	47,01
-0,038+0,003	36,70	100,00	36,70



Sl. 16. Grafički prikaz granulometrijskog sastava nasipnog materijala četvrtog sloja

Na osnovu prikazanih podataka, obavljenih merenja i granulometrijskog sastava flotacijske jalovine možemo videti veoma povoljnu prirodnu vlažnost samog kompozita koji se koristi za nasipavanje brane kao i njegovu granulometrijsku karakteristiku.

Razlika vlage kompozita koji se pravi za nasipavanje i optimalne vlage je oko 10%, a iz granulometrijskih krivi možemo da vidimo da krupnoća zrna ne prelazi 0,5 mm. Najveća količina nasipnog materijala je u dijapazonu peska 0,5 mm - 0,063 mm prosečno 62,6 %, dok ostatak ide u dijapazon prašine 0,063 mm - 0,003 mm prosečno 37,4 %.

Proktorovim opitom utvrđeno je da je materijal postao veoma kompaktan i čvrst, tako da se sa adekvatnom mehanizacijom (vibro valjci ili nešto slično) materijal može lepo sabiti i iskoristiti za nasipavanje brane.

## LITERATURA

1. R.Obradović, N. Najdanović: Mehanika tla u inženjerskoj praksi, Beograd, 1999.
2. Izveštaj o laboratorijskim i „IN SITU“ geomehaničkim ispitivanjima na brani II-A flotacijskog jalovišta „Veliki Krivelj“, BOR, februar 2008. god.
3. Dr Milenko Ljubojević, Ratomir Popović: Osnove Geomehanike, RTB Bor, Institut za bakar, Bor, 2006.
4. Ratomir Popović, Dr Milenko Ljubojević: Principi rešavanja problema u geomehanici, Institut za rудarstvo i metalurgiju Bor, 2007.

## **BAKAR 33 (2008) 1 COPPER**

---

UDC: 622.224(045)=861

STRUČNI RAD

### **ZONA ZARUŠAVANJA EKSPLOATACIJE RUDNOG TELA "ČOKA MARIN - 1"**

### **WEIGHT BREAK OF MINING THE ORE BODY "ČOKA MARIN-1"**

D. Mitić, M. Maksimović, Z. Stojanović

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*Osnovna karakteristika podetažne metode otkopavanja sa zarušavanjem je ta da se otkopani prostor zapunjava jalovinom od zarušenih krovinskih i bočnih pratećih stena. Proces zarušavanja uslovjen je stvaranjem slobodnog prostora, pa se može zaključiti da zarušavanje prati otkopavanje, odnosno istakanje rude iz otkopanog bloka. Ako se otkopava blizu površine terena ili u blizini nekih građevinskih objekata, moraju se detaljno analizirati svi mogući uticajni faktori kod izračunavanja uglova zone zarušavanja.*

**Ključne reči:** metoda otkopavanja, zona zarušavanja.

#### **Abstract**

*The basic feature of sublevel caving is back-filling area with waste dirt and dross roof. The process of caving is limited with quantity of free space creating by mining including that caving following mining, and transport ore from gate-road. If the underground mining is carried out near surface, or near some structural facility, the all factors used in calculation on angle of weight break have to be analyzed.*

**Key words:** mining method, weight break

#### **UVOD**

Brdo "Čoka Marin" (sa najvišom kotom 648 m), odnosno prostor u kome je situirano ležište "Čoka Marin" i rudno telo "Čoka Marin - 1", nalazi se na tromeđi sela Vlaole, Jasikovo i Leskovo, oko 13 km južno od Majdanpeka u vazdušnoj liniji. Tertorijalno pripada opštini Majdanpek.

Do lokaliteta "Čoka Marin" može se doći međuopštinskim putem Majdanpek-Leskovo-Jasikovo-Vlaole-Gornjane-Bor i železničkom prugom Beograd-

Majdanpek-Bor-Zaječar. Najbliža železnička stanica, Jasikovo, udaljena je oko 1km. Železničkom prugom od Bora do stanice Vlaole, je 26 km, od Bora do Leskova 36 km, a do Majdanpeka 46 km.

Duž grebena prema selima Leskovu, Vlaolu i Jasikovu vode seoski i šumski putevi koji su prohodni uglavnom u sušnim periodima.

Rudno ležište "Čoka Marin" se nalazi u istočnom delu Timočkog magmatskog kompleksa (TMK), odnosno Borske metalogenetske zone (BMZ).

Uže područje ležišta "Čoka Marin" izgrađeno je pretežno od hidrotermalno izmenjenih vulkanskih stena i serije pelita (laporci, tufovi i tufiti), vulkanskih breča, kvarcdiorit-porfirita, sekundarnih kvarcita i kvartarnih tvorevina. Javljuju se i manji proboji diorita i kvarcdiorita i žica kvarcdioritporfirita i dioritporfirita. Neposredno iznad rudnih tela uočeno je široko rasprostranjenje hidrokvarcita (sa povišenim koncentracijama zlata).

Rudno telo "Čoka Marin -1" ima cevasti oblik, sa proširenjem u središnjem delu, od kote +550 m do +530 m, tako da u horizontalnim presecima zadobija oblik sočiva, pravca pružanja SI-JZ, sa vrlo strmim padom prema JI. Podinu rudnog tela čini vulkanogena-sedimentna serija pelita sa interstratifikovanim tufovima i vulkanskim brečama. Rudno telo "Čoka Marin - 1" izgrađuju polimetalično (sa Au, Cu, Zn, Pb i Ag), masivno-sulfidno (sa Au, Cu i Ag) i štokverkno-impregnacioni orudnjenje (sa Au i Ag). Rudno telo "Čoka Marin - 1" (shodno Pravilniku) uvršteno je u prvu grupu, prvu podgrupu rudnih tela zlata.

## EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperimentalni deo se ogleda u detaljnem geološkom istraživanju, oprobavanju i analizi uzoraka dobijenih iz istražnih potkopa i bušotina.

Kvantitativno i kvalitativno izdvojena su tri tipa orudnjenja, i to u konturi graničnog sadržaja od 0,40% Cu za bakar i sumpor, u konturi graničnog sadržaja cinka od 0,50% za Zn i Pb, i u konturi graničnog sadržaja zlata 0,5 g/t za Au i Ag:

1. Polimetalično orudnjenje u kome su zastupljeni zlato, srebro, bakar, sumpor, cink i olovo. Ove rude ima 29% od ukupnih bilansnih rezervi rude.
2. Masivno-sulfidno orudnjenje sa zlatom, srebrom, bakrom i sumporom, čini 47,4% ukupnih bilansnih rezervi rude.
3. Štokverkno-impregnaciono orudnjenje sadrži zlato i srebro. Količina bilansne rude je 23,6%.

Iz navedenih podataka se vidi da je ekonomski najinteresantnije polimetalično orudnjenje sa 29% bilansnih rezervi rude, u kojoj se nalazi 71% zlata, 82% srebra, 59,4% bakra, 40,5% sumpora i 100% olova i cinka.

U okviru ovih graničnih sadržaja dobijena je kontura rudnog tela koja se po visini proteže od K+535 m do K+580 m i koja je bila osnov za izradu elaborata o rudnim rezervama iz 2004. god.

Količina bilansnih rezervi, overena elaboratom o rudnim rezervama iz 2004. godine, iznosi 220.714 t u konturi graničnog sadražaja 0,5 g/t Au, 0,40% Cu i 0,40% Zn, sa stanjem na dan 31.XII. 2004. godine (tabela br.1).

Glavnim rudarskim projektom otkopavanja rude u r.t. „Čoka Marin - 1“ predviđeno je otkopavanje 179.866 t eksploatacionalih rezervi.

**Tabela br.1:** Bilansne rezerve rudnog tela "Čoka Marin - 1" na dan 31.XII.2004.  
(zaokrugljene na jedinicu, t, ili kg)

Kategorija rezervi	Rude (t)	Zlata (kg)	Srebra (kg)	Bakra (t)	Sumpora (t)
B	220.714	1.308	8.946	4.781	40.425

## OTVARANJE RUDNOG TELA "ČOKA MARIN - 1"

Potkop 534 (dužine 230 m) i potkop 553 (dužine 200 m), kojima je otvoreno rudno telo, izrađeni su u fazi podzemnih geoloških istraživanja rudnog tela „Čoka Marin - 1“. Oni će pri budućem otkopavanju rudnog tela „Čoka Marin - 1“ služiti za ventilaciju rudnika i izvoz rude. Za potrebe provetrvanja prilikom otkopavanja izrađena su dva prolazno-vetrena okna i to PVO 1 (565/534 m) i PVO 2 (557/537 m).

## OTKOPAVANJE RUDNOG TELA "ČOKA MARIN - 1"

U glavnom rudarskom projektu otkopavanja rudnog tela "Čoka Marin - 1" usvojena je metoda podetažnog zarušavanja koja bi u ovom slučaju mogla dati optimalne rezultate.

Okopavanje rude ovom metodom obavlja se u otkopnim blokovima upravno orijentisanim na pružanje rudnog tela. Osnova otkopnih blokova je pravougaonog oblika, dimenzija 10 x Loh, m, visina bloka je 10 m.

Otkopavanje počinje od krovine prema podini rudnog tela, sa generalnim pravcem otkopavanja odozgo na dole, po visini rudnog tela.

Prema koncepciji metode otkopavanja po visini rudnog tela, na svakom nivou, radi se podetažni hodnik (PH) po pružanju rudnog tela.

Iz podetažnih hodnika (PH) rade se otkopni hodnici (OH) upravno na rudno telo po sredini otkopnih blokova na rastojanju od 10 m.

Podetaže su vezane, s jedne strane, za prolazno-ventilaciona okna, a, s druge, za servisne uskope, odnosno potkope preko kojih se odvija komunikacija sa spoljnom površinom terena.

Rudno telo će se otkopavati na četiri podetaža (nivoa) i to:

- I podetaža na K 565 (od K 565 do K 575)
- II podetaža na K555 (od K 555 do K 565)
- III podetaža na K545 (od K 545 do K 555)
- IV podetaža na K535 (od K 535 do K 545)

Na podetažama iz podetažnih hodnika na nivou otkopavanja rade se otkopni hodnici dimenzija 4 x 3 m iz kojih se buši, minira i utovara ruda.

Utovar i odvoz odminiranog materijala sa čela pripremnog hodnika obavljaće se korišćenjem utovarno-transportno-istovarne mašine (UTI) na dizel pogon. Ruda će se ovom mašinom transportovati do izlaza iz potkopa (potkopa 534 ili potkopa 553), gde će se obaviti pretovar u kamione.

## **UGLOVI I ZONE ZARUŠAVANJA STENSKOG MASIVA U RUDNOM TELU "ČOKA MARIN - 1"**

Napredovanjem eksploracionih radova prema dubini širi se i zona zarušavanja. Veličina zone zarušavanja i intenzitet podzemnog pritiska su međusobno uslovljene veličine i imaju veliki uticaj na tehnologiju i ekonomiku eksploracije.

Zona zarušavanja i podzemni pritisak, svojim uticajem na lokaciju kapitalnih objekata, obim investicionih ulaganja i troškove pripreme i otkopavanja, predodređuju najbitnije elemente ekonomične eksploracije, kontinuiteta tehnološkog procesa otkopavanja i sigurnost rada. Zona zarušavanja je izračunata po prof. Labusu, za date uslove, i prikazana je u tabeli br.2, kao i na sl. br.1.

Rudno telo je podeljeno na eksploracione nivoe sa rastojanjem između nivoa 10 m i to od K 565 m do K 535 m.

Inače, otkopavanje rude u rudnom telu je u graničnoj konturi 0,4% Cu i od K 565 m do K 535 rudno telo će se otkopavati u IV faze.

Ugao zarušavanja, odnosno zone uticaja podzemnih radova kod nagnutih ležišta sa strane krovinskog boka:

$$\beta_o = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \delta_o}{1 + \operatorname{tg} \delta_o \times \operatorname{tg} K(90 - \alpha)}, \text{ za } \alpha > 45^\circ$$

Ugao granice zone uticaja podzemnih radova kod nagnutih ležišta sa strane podinskog boka:

$$\gamma_o = \arctg \frac{\tg \delta_o}{1 - \tg \delta_o \times \tg K(90 - \alpha)}, \text{ za } \alpha > 45^\circ,$$

gde je:

$\alpha$  - ugao zaleganja rudnog tela  $65^\circ$ ,

$\varphi$  - ugao trenja stenske sredine u kojoj se ležište nalazi, prema fizičko-mehaničkim osobinama isti iznosi za:

$\varphi_v$  - hidrotermalno izmenjeni vulkaniti i vulkanoklastiti od  $50^\circ$  do  $58^\circ$ , sred. vred.  $55^\circ$

$\varphi$  - peliti od  $50^\circ$  do  $54^\circ$ , srednja vrednost  $53^\circ$ ,

$\varphi_s$  - srednja vrednost  $54^\circ$ ,

$\varphi$  - usvojeno  $54^\circ$ ,

$\delta_o$  – ugao zarušavanja po pružanju ležišta:

$$\delta_o = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}; \quad \delta_o = f(\varphi)$$

$\delta_o$  – ugao zarušavanja po pružanju ležišta  $74^\circ$ ,

K - koeficijent koji se odreduje po formuli:

$$K = \frac{500}{500 + \alpha^2}$$

$$K = 0,10582$$

Te se dobija:

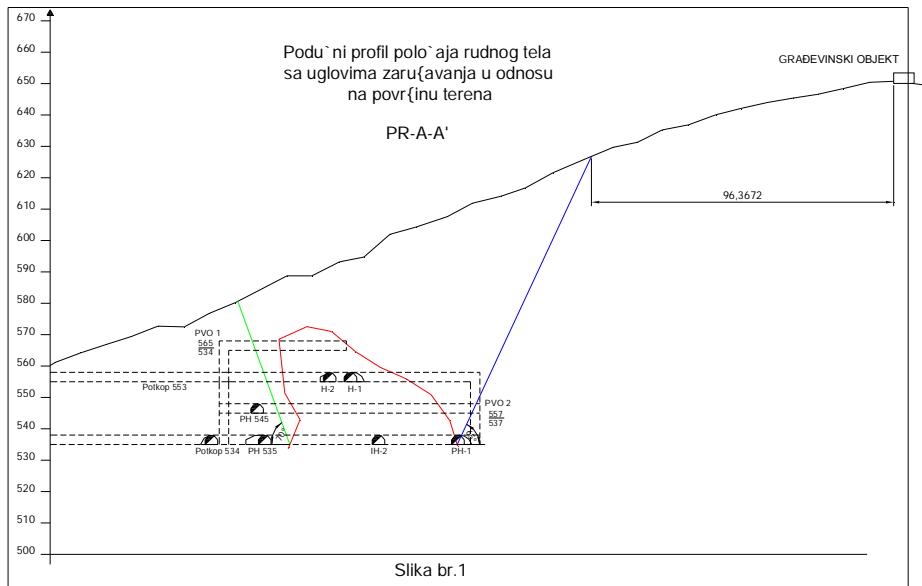
$$\beta_o = \arctg \frac{\tg 74}{1 + \tg 74 \times \tg 0,10582(90 - 65)} = 69,64^\circ,$$

$$\gamma_o = \arctg \frac{\tg 74}{1 - \tg 74 \times \tg 0,10582(90 - 65)} = 74,42^\circ,$$

**Tabela br. 2.** Uglovi zarušavanja krovine i podine rudnog tela

<b>Uglovi zarušavanja</b>	
Krovina $\beta$ ( $^\circ$ )	Podina $\gamma$ ( $^\circ$ )
69,64	74,42

<b>Usvojeno:</b>	
65	70



## ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je prikaz metode eksploatacije rudnog tela „Čoka Marin - 1“, sa uglovima zone zarušavanja, odnosno uticaja eksploatacije rudnog tela „Čoka Marin - 1“ na površinu terena i na površini izgrađene objekte.

Primenjenom metodom izračunavanja zone zarušavanja (po prof. Labusu), dobijeni su merodavni uglovi, gde se dokazuje da eksploatacija rudnog tela „Čoka Marin - 1“, nema uticaja na građevinske objekte izgrađene na površini terena.

Da bi se sigurnost povećala, dobijeni uglovi su smanjeni ( $69,64^\circ$  na  $65^\circ$  i  $74,42^\circ$  na  $70^\circ$ ), a zona zarušavanja povećana.

I pored ove korekcije, zona zarušavanja je skoro 100 m udaljena od najbližeg objekta (slika br. 1), što omogućuje nesmetanu eksploataciju ovog rudnog tela.

## LITERATURA

1. Glavni rudarski projekat eksploatacije rudnog tela „Čoka Marin - 1“
2. Tehnički projekat otkopavanja rudnog tela „Čoka Marin - 1“, Institut za bakar, Bor 2007.god.
3. Elaborat o rudnim rezervama Cu, Au, Ag, Pb, i Zn ležišta „Čoka Marin - 1“, Institut za bakar, Bor 2004.god.

## **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 541.13:002:546.56(045) = 861

STRUČNI RAD

### **PROJEKTOVANJE POSTROJENJA ZA ELEKTROHEMIJSKA ISTRAŽIVANJA I MINI PROIZVODNJU U OBLASTI PROIZVODNJE BAKRA**

### **DESIGN OF PLANT FOR ELECTROCHEMICAL INVESTIGATIONS AND MINI PRODUCTIONS IN THE FIELD OF COPPER PRODUCTION**

R. Marković, O. Dimitrijević, S. Dimitrijević  
Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*U ovom radu su prikazani opšti principi projektovanja i rada postrojenja za elektrohemisika istraživanja i mini proizvodnju u oblasti bakra koje će biti locirano u laboratoriji Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru. Oprema je dimenzionisana na osnovu zahteva tržišta za preradu cca 1.000 kg anodnog bakra po anodnoj operaciji.*

*Ključne reči:* projektovanje, postrojenje, elektrohemisika istraživanja, bakar, proizvodnja

#### **Abstract**

*This work presents the general principles of design and operation the plant for electrochemical investigations and mini production in the field of copper that will be located in the laboratory of Mining and Metallurgy Institute in Bor. The equipment was sized according to the market requirement for treatment of cca 1000 kf of anode copper per anode operation.*

*Key words:* designing, plant, electrochemical investigation, copper, production

#### **UVOD**

Institut za bakar Bor je prilikom rekonstrukcije i osavremenjavanja pogona Elektrolize bakra u Boru, u periodu 1984-1990. god., sa Elektrolizom realizovao i projekat izgradnje objekta sa pratećom opremom, lociranom u hali Elektrolize 1.

Projekat je obuhvatao sledeće:

1. Formiranje poluindustrijskog postrojenja za elektrohemijska istraživanja koje se sastojalo od dve čelije industrijskih razmera, sa kompletom opremom. Postrojenje je u potpunosti bilo nezavisno od proizvodnog dela pogona.
2. Formiranje uvećanog laboratorijskog postrojenja za istraživanja u oblasti proizvodnje elektrolitičkog bakarnog praha
3. Kompletiranje opreme za kvalitativno-kvantitativnu kontrolu procesa.

Vlasnička transformacija Instituta za bakar Bor, koji je ujedno promenio i naziv u Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, kao i status u kome se Rudarsko-topioničarski basen Bor nalazi već duže vreme, nametnuli su neophodnost izmeštanja postojeće opreme, kao i formiranje postrojenja za elektrohemijska istraživanja i mini proizvodnju u laboratorijama Instituta.

## OPŠTI PRINCIPI PROJEKTOVANJA I RADA POSTROJENJA

Kompletna tehnološko-mašinska oprema za proces elektrolitičke rafinacije bakra raspoređena je u dva nivoa i to:

- elektrolitičke čelije: kota +0,6 m na kojoj je i radna platforma
- elektrolitni rezervoari kota  $\pm 0,00$  m i + 1,8 m
- prihvatile posude za anodni mulj kota  $\pm 0,00$  m

Oprema je dimenzionisana na osnovu sledećih projektnih podloga:

- |                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| - Karakteristike ispravljača | U 10V i I 200 A                   |
| - Masa anodnog bakra         | cca 1.000 kg po anodnoj operaciji |

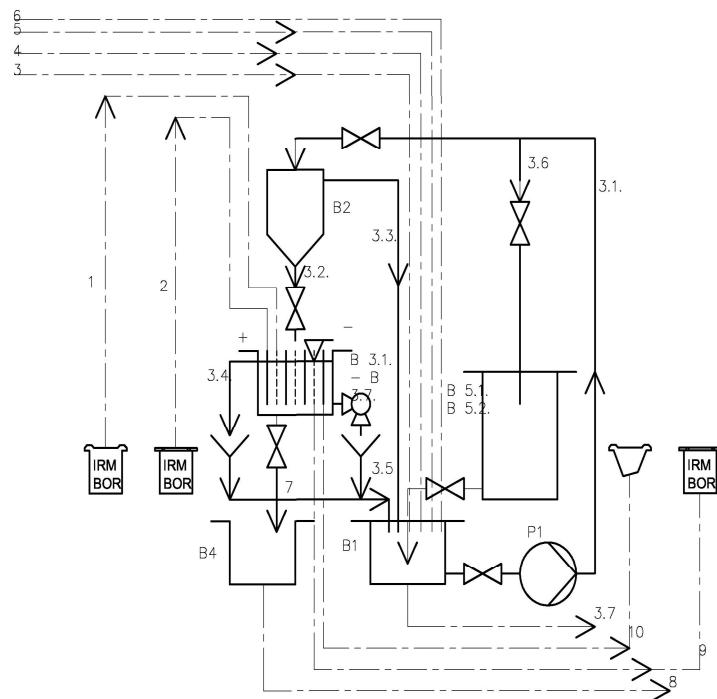
Raspoloživi prostor predstavlja je, takođe jedan od osnovnih preduslova za definisanje broja čelija, a samim tim i zapremine elektrolita u sistemu.

Osnovni delovi postrojenja:

1. Rezervoari za elektrolit
- 1.1. komercijalni rezervoar, poz. B1
- 1.2. napojni sud, poz. B2
- 1.3. skladišni rezervoar, poz. B5.1., B5.2.
2. Elektrolitička čelija sa elektrogrejačima i automatskom regulacijom temperature, poz. B3.1. – B3.7.
3. Prihvati sud za anodni mulj, poz. B4
4. Hemijska pumpa za cirkulaciju elektrolita, poz. P1

Na crtežu br. 1 prikazana je tehnološka šema toka materijala, a tabelom

br.1 tok materijala.



Sl. 1. Tehnoška šema toka materijala

Tabela br.1. Tokovi materijala

tok	Pozicija	opis	Jedinica mere	Masa kg/operaciji
1	B3	Anode, Cu min 99,2 %	kg/operaciji	1000 kg/operaciji
1.1		Anode	kom/operaciji	35 kom/operaciji
2	B3	Polazne katode	kom/operaciji	84/operaciji
3	B1	Dovod elektrolita	m <sup>3</sup> /operaciji	1,4 m <sup>3</sup> /operaciji
3.1	B2	Distribucija elektrolita u napojni rezervoar	m <sup>3</sup> /h	0,6 m <sup>3</sup> /h
3.2.	B3.1.-B3.7.	Distribucija elektrolita u čelije	m <sup>3</sup> /h	0,5 m <sup>3</sup> /h
3.3.	B1	Preliv elektrolita iz napojnog rezervoara	m <sup>3</sup> /h	0,1 m <sup>3</sup> /h
3.4.	B1	Preliv elektrolita iz čelija	m <sup>3</sup> /h	0,5 m <sup>3</sup> /h
3.5.	B1	Ispuštanje elektrolita	m <sup>3</sup> /operaciji	1,1 m <sup>3</sup> /operaciji
3.6.	B5.1.	Distribucija elektrolita u	m <sup>3</sup> /operaciji	1,4 m <sup>3</sup> /operaciji

	B5.2.	sabirni rezervoar		
4.	B1	Industrijska voda	m <sup>3</sup> /dan	0,21 m <sup>3</sup> /dan
5.	B1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	m <sup>3</sup> /operaciji	0,06 m <sup>3</sup> /operaciji
6.	B1	Koloidi Tiourea+želatin	g/t kat. Cu	140 g/t kat.Cu
7.	B4	Pulpa anodnog mulja	m <sup>3</sup> /operaciji	0,32 m <sup>3</sup> /operaciji
8.		Distribucija anodnog mulja	m <sup>3</sup> /operaciji	0,14 m <sup>3</sup> /operaciji
9.		Katodni bakar	kg/operaciji	820-850 kg/operaciji
10.		Anodni retur	kg/operaciji	150-180 kg/operaciji

## OPIS POSTUPKA

Izlivene anode iz laboratorije za pirometalurgiju dopremaju se u laboratoriju za elektrohemijksa istraživanja. Pomoću krana, anode se ulažu u čelije. Nakon punjenja čelija elektrolitom, zagrevanja do vrednosti radne temperature i uspostavljanja odgovarajuć, cirkulacije ulazi se polazne katode. Proces počinje uključivanjem čelija u strujno kolo i podešavanjem struje na odgovarajuću vrednost. Nakon perioda od 11, odnosno 22 dana, čelije se isključuju iz strujnog kola i vade finalne katode.

Finalne katode I katodnog perioda vade se iz čelija, Peru topлом vodom i po jedna iz svake čelije uzorkuje u cilju odredjivanja hemijskog sastava, a na mesto izvađenih finalnih katoda ulazi se nove, polazne. Drugi katodni period počinje uključivanjem sistema u strujno kolo i traje 11 – 12 dana u cilju smanjenja mase anodnog retura na minimum.

Završetkom II katodnog perioda okončava se anodna operacija. Nakon isključenja čelija iz strujnog kola, vađenja i pranja finalnih katoda, čelije se prazne posle 6-8 sati radi što efikasnijeg taloženja anodnog mulja na dno čelija. Elektrolit se iz čelija ispušta u komercijalni rezervoar, a odatle centrifugalnom pumpom u skladišni elektrolitni rezervoar. Anodni mulj se putem otvora na dnu čelija ispušta u posude za prihvatanje pulpe odakle se elektrolit prebacuje u skladišni elektrolitni rezervoar, a mulj na filtriranje, pranje i sušenje. Osušeni anodni mulj predaje se na dalju rafinaciju.

Tokom procesa mere se i održavaju na projektovanim vrednostima sledeći tehnološki parametri: temperatura i cirkulacija elektrolita, jačina struje, sastav elektrolita, a meri se napon na čelijama.

Merene vrednosti koriste se za dalje proračune u cilju izbora optimalnih parametara za određenu vrstu materijala.

## ZAKLJUČAK

Značaj formiranja postrojenja za elektrohemijksa istraživanja i mini proizvodnju iz oblasti bakra u laboratoriji Instituta za rudarstvo i metalurgiju ogleda se u tome da se postignutim rezultatima, pored naučnog doprinosa, može ostvariti i finansijska dobit.

## LITERATURA

1. V.Baimakov, A.Žurin: Elektroliza u hidrometalurgiji, 1977, Moskva
2. Jugoslovenski standardi, Šeme procesnih postrojenja i ostalo, 1998, Srbija

# **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 66.087.7:669.046(045)=861

STRUČNI RAD

## **ODBAKRIVANJE ANODNOG MULJA NAKON SULFATIZIRAJUĆEG PRŽENJA**

## **DECOPPERIZATION OF ANODE SLIME AFTER SULPHATION ROASTING**

Lj. J. Mladenović, R. R. Jonović, Lj.R. Avramović

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

### **Izvod**

*Anodni mulj koji nastaje kao sekundarni proizvod pri elektrolitičkoj rafinaciji bakra predstavlja sirovinu za dobijanje plemenitih i retkih metala.*

*Prva faza prerade anodnog mulja je uklanjanje bakra čiji je sadržaj u neodbakrenom anodnom mulju često i do 40 mas %.*

*Postojeća tehnologija odbakrivanja u RTB-u Bor ne omogućava luženje sulfidnih jedinjenja bakra. U sledećoj fazi prerade, tj. u fazi deselenizacije, ne dolazi do smanjenja sadržaja bakra, već do njegove koncentracije pri čemu se sadržaj bakra povećava u proizvodu deselenizacije. U narednim fazama prerade povećan sadržaj bakra nepovoljno utiče na dobijanje i iskorišćenje plemenitih metala.*

*Cilj ovog rada je uklanjanje bakra iz deseleniziranog anodnog mulja do sadržaja od max 2 mas %. Istraživanjem su definisani optimalni uslovi prevođenja bakra u jonski oblik, a samim tim i njegovo uklanjanje iz proizvoda deselenizacije.*

**Ključne reči:** deselenizirani anodni mulj, odbakrivanje, bakar

### **Abstract**

*Anode slime, formed as secondary product in electrolyticalcopper refining, presents a raw material for recovery of precious and rare metals.*

*First stage of anode slime treatment is copper removal with often content in undecopperized anode slime up to 40 mass %.*

*The existing decopperization technology in RTB Bor unables leaching of sulphide copper compounds. In the next treatment stage, i.e. deselenization stage, there is no copper content decrease but its concentration where copper content is increased in a deselenization product. In the next treatment stages, the increased copper content has an unfavourable effect on production and recovery of precious metals.*

*The aim of this work is copper removal from deselenized anode slime to maximum content of 2 mass %. The optimum conditions of copper transformation into ion form were defined by investigation as well as its removal from deselenization product.*

**Key words:** deselenized anode slime, decopperization, copper



## UVOD

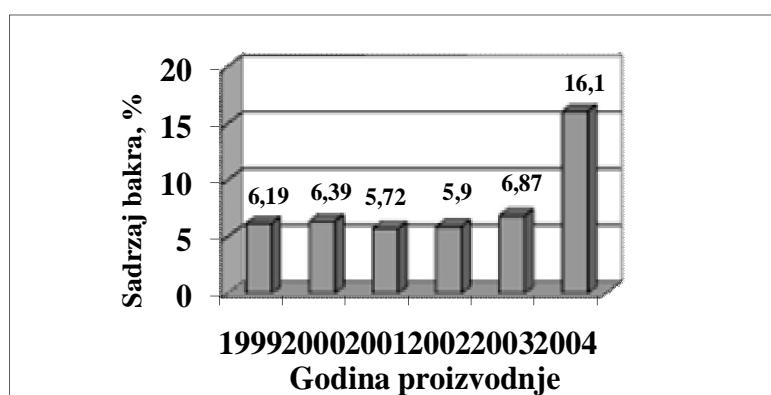
Prva tehnološka faza prerade anodnog mulja u RTB-u Bor je proces odbakrivanja. Bakar se iz neodbakrenog anodnog mulja izdvaja luženjem razblaženom sumpornom kiselinom u prisustvu vazduha [1]. Zbog heterogenog sastava prerađenih ruda bakra, bakar se često (u obliku sulfidnih jedinjenja) nalazi u neodbakrenom anodnom mulju [2]. Prilikom odbakrivanja sulfidna jedinjenja bakra ostaju u nepromjenjenom obliku što povećava sadržaj ovog metala u odbakrenom anodnom mulju. U sledećoj fazi prerade anodnog mulja, procesu uklanjanja selena, sav bakar zaostaje u deseleniziranom anodnom mulju visoko koncentrisan. Povećan sadržaj bakra u deseleniziranom anodnom mulju znatno otežava dalju pirometaluršku preradu mulja i smanjuje iskorišćenje na plemenitim metalima. Povećan sadržaj bakra je smetnja i za novi hidrometalurški proces dobijanja plemenitih metala.

Ispitano je uklanjanje bakra iz anodnog mulja nakon sulfatizirajućeg prženja (deselenizirani anodni mulji), a u cilju njegove dalje hidrometalurške prerade.

## EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Projektovani sadržaj bakra u deseleniziranom anodnom mulju za primenjenu tehnologiju prerade iznosi 2 - 4 mas %. Međutim, sadržaj bakra u deseleniziranom anodnom mulju često je znatno iznad dozvoljene koncentracije koja je neophodna za efikasnost procesa dobijanja plemenitih metala [3].

Prosečan sadržaj bakra za period od pet godina proizvodnje u RTB-u Bor u deseleniziranom anodnom mulju prikazan je na sl. 1.



Sl.1. Prosečan sadržaj bakra u deseleniziranom anodnom mulju

Često postoje i ekstremne situacije kada sadržaj bakra prelazi i 20 mas. % u proizvodu deselenizacije. Istraživano je na uzorku deseleniziranog anodnog mulja čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli 1.

**Tabela 1.** Hemijski sastav deseleniziranog anodnog mulja

Element	Au	Ag	Pt	Pd	Se	Te
Content, %	1,68	16,55	0,0009	0,08	2,71	2,07
Element	Fe	Zn	Si	Pb	Cu	S
Content, %	2,15	0,15	6,20	8,26	21,11	8,82

Granulometrijskom analizom je utvrđeno da je 90% čestica  $< 100 \mu\text{m}$ . Istraživano je na laboratorijskom nivou. Eksperimenti su izvođeni u reaktoru sa električnim grejačima i automatskom regulacijom temperature.

Bakar je prevoden u jonski oblik sledećim reagensima:

- razblažena sumporna kiselina,
- razblažena azotna kiselina,
- razblažena hlorovodonična kiselina u prisustvu gasovitog hlorova.

Tehnološki parametri procesa luženja uzoraka deseleniziranog anodnog mulja težine 100 g održavani su konstantnim za sve reagense i to:

- Temperatura : 368 K
- Vreme: 120 min
- Odnos Č : T = 1 : 6

Nakon prevodenja u jonski oblik, bakar je iz rastvora izdvajan u elementarnom ili u obliku hidroksida.

## DISKUSIJA REZULTATA

Pri prevodenju bakra u jonski oblik luženjem deseleniziranog anodnog mulja različitim reagensima postignuti su rezultati prikazani u tabeli 2.

**Tabela 2.** Stepen izluženja bakra u zavisnosti od vrste reagensa

Reagens	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl + Cl <sub>2</sub>
Izluženje, %	48	98	99

Zadovoljavajuće rezultate u pogledu izluženja bakra pokazali su medijumi za luženje:

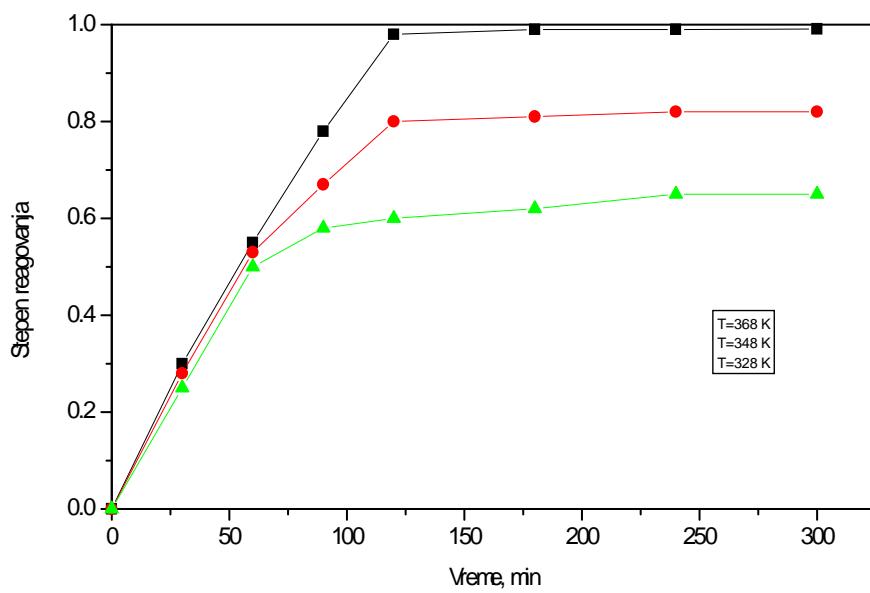
- rastvor azotne kiseline,
- rastvor hlorovodonične kiseline u prisustvu gasovitog hlora.

Luženjem deseleniziranog anodnog mulja rastvorom azotne kiseline u jonski oblik, se pored bakra, prevodi i 95 % srebra. Dobijeno srebro iz rastvora bogatog bakrom je nižeg kvaliteta i iziskuje rafinaciju do proizvoda komercijalnog kvaliteta.

U pogledu selektivnosti luženja bakra u odnosu na srebro, pokazao se bolje rastvor hlorovodonične kiseline u prisustvu hlora. Naime, srebro se na taj način prevodi u hloridni oblik i zaostaje nakon izdvajanja bakra u mulju u obliku koji je pogodan za njegovo izdvajanje.

Kao medijum za luženje bakra odabran je rastvor hlorovodonične kiseline u prisustvu hlora.

Ispitivanjima se definisalo vreme luženja pri različitim temperaturama. Zavisnost stepena reagovanja bakra od vremena procesa luženja prikazana je na slici 2.



**Sl. 2.** *Zavisnost stepena reagovanja bakra od vremena  
na različitim temperaturama*

Optimalna temperatura procesa luženja bakra je 368 K.

S obzirom na to da pri luženju deseleniziranog anodnog mulja rastvorom hlorovodonične kiseline u prisustvu hlora dolazi i do luženja zlata i platinskih metala meren je redoks potencijal i eksperimentalno je utvrđeno da do vrednosti redoks-potencijala od 300 do 500 mV u rastvoru nisu prisutni joni plemenitih metala. Do te vrednosti redoks-potencijala izluži se 98 % bakra prisutnog u deseleniziranom anodnom mulju [4].

Nakon luženja i filtriranja bakar se naknadno dobija iz rastvora.

Bakar iz rastvora izdvajan je cementacijom sa opiljcima gvožđa, pri čemu se dobija bakarni prah tehničkog kvaliteta.

Po drugom postupku, neutralizacijom kiselog rastvora do vrednosti pH 4-5, dobijen je hidroksid bakra, takođe, tehničkog kvaliteta.

## ZAKLJUČAK

Povećan sadržaj bakra u deseleniziranom anodnom mulju nepovoljno utiče na proces hidrometalurškog izdvajanja plemenitih metala. Istraživanjem su definisani tehnološki parametri selektivnog izdvajanja bakra i njegovo dobijanje kao komercijalnog proizvoda.

Iz deseleniziranog anodnog mulja bakar se izdvaja luženjem u rastvoru hlorovodonične kiseline, uz uvođenje gasovitog hlora na temperaturi od 368 K, pri odnosu č : t = 1 : 6 i pri vrednosti redoks-potrncijala od 300 - 500 mV.

Iz rastvora, bakar se izdvaja neutralizacijom rastvora kao hidroksid bakra komercijalnog kvaliteta.

**LITERATURA**

1. W.Charles, JOM. August, (1990) 45-48.
2. T.T. Chen, J.E. Dutizac: Metallurgical Transactions B, 20B, June (1989), 345-361.
3. L. Jovanović, R. Jonović: Dobijanje selena komercijalnog kvaliteta, Studija, Bor, 1995, str. 6-12.
4. R. Jonović, Lj. Avramović, Lj. Mladenović: Konceptacija novog postupka prerade anodnih muljeva i sekundarnih sirovina, Bor, 2001, str.118-122.

# **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 66.061:661.8...51(045)=861

STRUČNI RAD

## **HEMIJSKI POSTUPAK LUŽENJA BAKAR SULFIDNOG MULJA**

## **CHEMICAL LEACHING OF COPPER SULPHIDE SLUDGE**

V. Cvetkovski<sup>1</sup>, V. Conić<sup>1</sup>, M. Cvetkovska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru,

<sup>2</sup>Hemski fakultet, Univerziteta u Beogradu

### **Izvod**

*Cilj ovog rada je da se dobiju tehnološki parametri za proizvodnju bakra iz sekundarnih sirovina i smanji zagađenje životne sredine. Kovelinski koncentrat dobijen precipitacijom bakra iz rastvora elektrolize 17 g/l Cu i 350 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> rastvorom natrijum-sulfida, podvrgnut je procesu luženja feri-jonima, na temperaturi od 70 °C. Rad predstavlja proces luženja kovelinskog koncentrata, u kome se proces luženja bakra odvija pomoću feri-jona koji se oksidišu vodonik-peroksidom i koji se može dovesti u vezu sa delovanjem termofilnih bakterija na prirodan proces oksidacije fero-jona. Nakon 4 dana postignuta je koncentracija bakra u lužnom rastvoru od 25,7 g/l i procenat izluženja od 92,5%.*

**Ključne reči:** sekundarna sirovina, feri joni, vodonik-peroksid, termofilne bakterije

### **Abstract**

*The aim of this work is to obtain technological parameters for production copper from secondary raw materials and to minimize environment hazards. Covellite concentrate produced by precipitation of copper from tank house solution 17g/l Cu and 350 g/l H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> with sodium sulphide solution, further was submitted by ferric leaching on 70 oC. This paper presents covellite concentrate leaching, in which leaching of copper is performed by ferric ions oxidized by hydrogen peroxide and which can be compared with thermophilic strains on natural process of ferrous ions oxidizing. After 4 days was attained copper concentration in leach solution of 25,7 g/l and recovery of 92,5%.*

**Key words:** raw materials, ferric ions, hydrogen peroxide, thermophilic strains

### **UVOD**

U pogonu Elektrolize-Regeneracija (TIR Bor) nastaju rastvori sa sadržajem bakra koji nije zanemarljiv. U cilju smanjenja gubitaka bakra i povećanja efikasnosti i ekonomičnosti pogona Elektrolize sprovedena su istraživanja za

iznalaženje rešenja ekstrakcije bakra iz pomenutih rastvora. Sadašnje stanje rada u Regeneraciji i Elektrolizi bakra, pokazuje nisko ikorišćenje bakra tako da godišnji gubici „na bakru“ sa kiselim rastvorima iznose približno 50 t bakra sa njegovim sadržajem u rastvorima od 3 do 20 g/l i sumporne kiseline od  $H_2SO_4$  - 20 to 400 g/l<sup>[1,2,3]</sup>

## **EKSPERIMENTALNI DEO**

### **Sintetički kovelinski koncentrat**

Kovelinski koncentrat je dobijen u laboratorijskim uslovima rada, precipitacijom bakra iz kiselih rastvora Elektrolize pomoću rastvora natrijum-sulfida. Hemijska analiza uzorka dobijena iz pogona Elektrolize prikazana je u Tabeli 1.

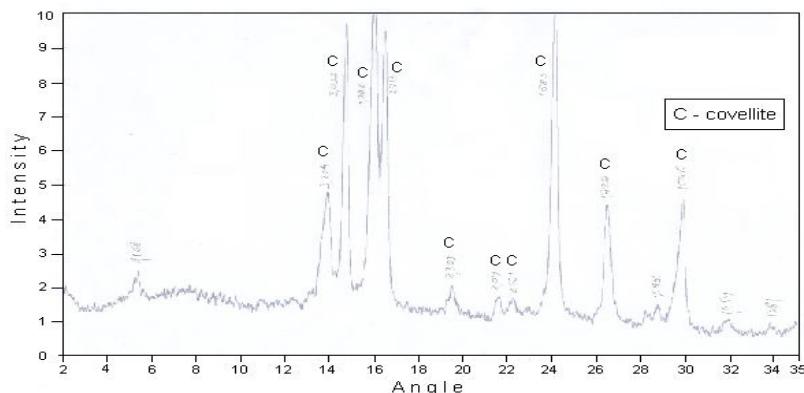
**Tabela 1.** Hemijska analiza kovelinskog koncentrata

Element	Sadržaj (%)
Cu	62,1
Fe	0,2
Suk	24,0
Mg	0,02
Ca	0,03
Zn	0,01
Pb	0,02
Ni	0,02

Rastvor natrijum-sulfida je korišćen kao agent za precipitaciju bakra iz otpadnih rastvora pogona Elektrolize, sa sadržajem bakra od 17g/l Cu i 350 g/l  $H_2SO_4$ . Veličina čestica ispod 1  $\mu m$ , detektovana je optičkim mikroskopom.

### **Mineraloška analiza**

Rendgeno-difrakciona analiza je pokazala da je osnovni mineral u uzorku kovelin ( $CuS$ ), kako je prikazano na slici 1.



**Slika 1.** RD analiza ispitivanog uzorka

Udeo sulfidnih minerala u uzorku iznosi ~99 %. Shodno hemijskoj i RD analizi, ideo sulfidnog bakra iznosi ~98 %, a ostatak od ~2 %, odnosi se na primese metala sadržane u uzorku. Zapaženo je da RD analiza ne raspozna razliku između kovelina i halkozina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), zbog njihove slične mikrostrukture, i zbog toga su ova dva minerala označena kao sulfidi bakra<sup>[4]</sup> Shodno hemijskoj analizi, prema kojoj je sadržaj sumpora nizak, sadžaj kovelina iznosi 65 % i halkozina 35 %. Ovaj uzorak je korišćen u laboratorijskom radu.

### Laboratorijski test

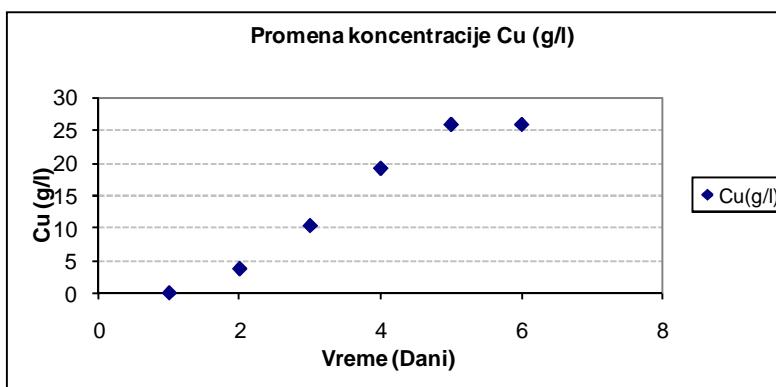
Laboratorijski test raden je u staklenom reaktoru zapremine 3 l. Radna temperatura održavana je u opsegu od 70 °C. Sadržaj čvrste faze u pulpi iznosio je 4,2 tež. %. Količina vodonik-peroksida koja je dodavana u process za oksidaciju fero-jona određivana je hemijskom analizom  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  jona. Sadržaj fero/feri-jona u rastvoru iznosio je 11 g/l.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati ekstrakcije bakra dobijeni procesom luženja feri-jonima na temperaturi 70 °C, prikazani su na slici 2. Iskorišćenje bakra predstavljeno je u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Stepen izluženja bakra

Element	Iskorišćenje bakra (%)
Cu	92,5
S	96



**Slika 2.** Grafički prikaz promene koncentracije bakra u lužnom rastvoru sa vremenom

Stepen izluženja bakra feri-jonima je pokazano da se rastvaranje sintetičkog kovelinskog koncentrata može uspešno voditi termofilnim bakterijama kao fero-oksidansima. Iskorišćenje bakra od 92,5 %, i sumpora 96% bilo je postignuto za 4 dana.

## ZAKLJUČAK

Rezultati postignuti luženjem sintetičkog koncentrata pomoću feri-jona pokazali su se uspešnim. Za 4 dana postignuto je izluženje bakra od 92,5%, na temperaturi od 70 °C, uz pomoć feri-jona koji se oksidiše vodonik-peroksidom. Veći procenat izluženja može se očekivati primenom bioluženja pa će se dalje istraživanje nastaviti prirodnim postupkom luženja termofilnim bakterijama, uz istovremeno, smanjenje ekoloških šteta u istočnoj Srbiji.

## LITERATURA

1. V. Cvetkovski, Project: Plant for copper sulphate i nickel sulphate production, Investor RTB – Smelter and refinery, Copper refinery, Bor, 1981.
2. Đ. Stamenković, V. Cvetkovski, V. Drobnjaković, Technological project for copper cementation on mine site, Investor: RBN Bor, Bor, 1992.
3. V. Cvetkovski, S. Stanković, K. Pavlović, M. Šteharnik, 36th IOC on Mining and Metallurgy, Proceedings, p.430, Bor, Serbia and Montenegro, 2004.
4. M. Gericke, Bioleaching of the Majdanpek and Veliki Krivelj concentrates, 2007 EU FP6, Biotechnology for metall beaking matrial in Europe, 2007.

## **BAKAR 33(2008) 1 COPPER**

---

UDC: 658.8.03:546.56(045)=861

STRUČNI RAD

### **CENA BAKRA**

### **COPPER PRICE**

G. Slavković

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### **Izvod**

*Cene metala, odnosno cenu bakra, određuju cene na svetskim berzama. Kompleksno je prognozirati cene metala. Time se bave specijalizovane institucije. Rad daje osvrt na cene bakra i prognozu cene.*

*Ključne reči:* cena, bakar, berza, prognoza.

#### **Abstract**

*Metal or copper prices are determined by prices on world exchanges. Forecast of metal prices is complex. Specialized institutes are practising by that. This paper gives description of copper prices and their forecast.*

*Key words:* price, copper, exchange, forecast

Cene metala, nezavisno od proizvodne cene, određuju, pre svega, cene na svetskim berzama (LME, NYMEX, COMEX, SHME...). Veoma je kompleksno i neizvesno predvideti buduće cene, ali se mogu uzeti trendovi sa berze metala, kao i analize specijalizovanih eksperata. Kompleksnost se ogleda u preplitanju privredno-ekonomskih, političkih i geopolitičkih prilika u svetu.

Desetogodišnja prosečna cena bakra iznosi 3.035 USD/t.

Petogodišnja prosečna cena bakara iznosi 4.425 USD/t.

Za 2007. godinu kretanje cene bakra izgleda:

<b>mesec</b>	<b>pros. cena u USD\$/T</b>
januar	5.700
februar	5.980
mart	6.452
april	7.764
maj	7.764
jun	7.476
jul	7.973
avgust	7514
septembar	7.513
oktobar	8.008
novembar	6.967
decembar	6.588

**prosek:**                   **7.135 \$/t**

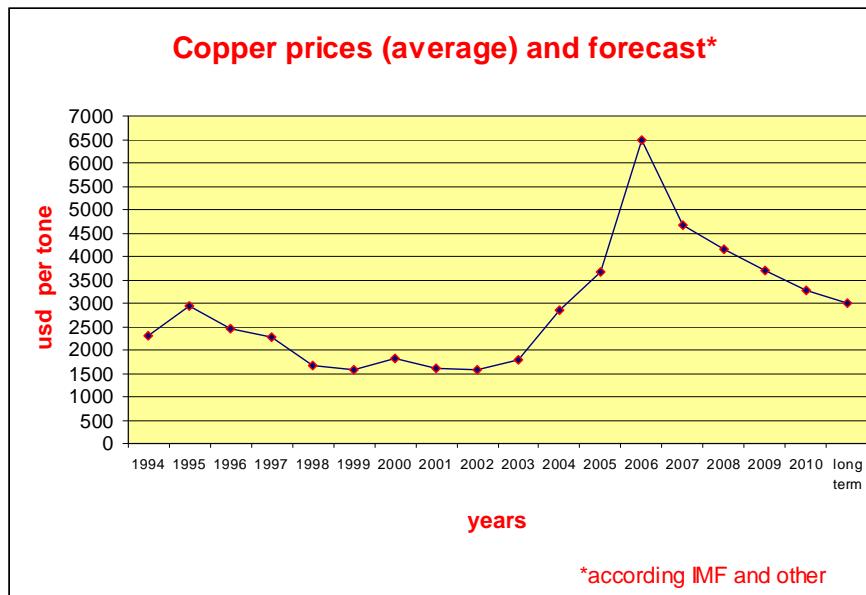
Tokom januara 2008. i početkom februara berzanska prodajna cena katode bakra iznosi oko 7.000 USD \$/t.

Inače prosečna cena bakra (poslednjih 14 godina) iznosi 2.872 USD/t. Najniža cena bila je 1999. godine u proseku 1.574 USD/t.

Dugoročnu prognozu bakra 2006. daju (u donjoj tabeli) poznati analitičari consulting institucija :

<b>US\$/T</b>	<b>2007.</b>	<b>2008.</b>	<b>2009.</b>	<b>2010.</b>	<b>dugor.</b>
<b>CRU</b>	2.778.	2.205	1.984	2.205	2.205
<b>Brook Hunt</b>	3.086	2.160	2.160	2.160	2.160
<b>Barclays Capital Research</b>	4.211	3.792	3.792	3.792	2.205
<b>Macquarie Research</b>	3.527	2.976	2.646	2.646	2.425
<b>Prosek</b>	3.395	2.778	2.315	2.425	2.315
<b>Bloomberg (prognoza)</b>	<b>4.627</b>	<b>4.144</b>	<b>3.704</b>	<b>3.285</b>	<b>3.285</b>

- Ekonomisti Međunarodnog monetarnog fonda (IMF) predviđaju cenu bakra u 2010. oko 3.000 \$/t katode.
- Ekonomisti IMF i ABARE – Australijanskog Biroa, prognoziraju (u “World Economic Outlook GDP”) sniženje cene baka (i aluminijuma) do 2010. godine postepeno od 35-57 %.



U 2007. Bloomberg koriguje svoju prognozu cene bakra za 2008. godinu na prosečnu cenu od 6.430 \$/t.

Prema Purchasingu:

Codelco tvrdi da će cena bakra ostati iznad dugoročno projektovane cene bakra zbog velike tražnje za „crvenim“ metalom koja dolazi iz Azije.

Neki analitičari daju sledeće prognoze:

USD\$/T

	2007.	2008.	2009.
COCHILCO	5.292	4.410	
CITIGROUP	6.307	5.512	3.308

Analitičari UBS iz Kanade za 2008. prognoziraju cenu bakra od 6.600 USD\$/t.

Za 2009. Godinu njihova prognoza je od 4.190-7.500 \$/t, a za 2010. god. od 4.960-6.800 \$/t

Može se sumirati sledeće :

Dugoročno gledano, cene svih obojenih metala će se spustiti sa trenutno visokih nivoa jer će proizvodnja nastaviti da se usklajduje sa tražnjom, iako će viši proizvodni troškovi (zarade radnika, troškovi za gorivo i opremu), takođe gledano na duži rok, verovatno održati cene iznad istorijskih proseka.

Analitičari ukazuju da slabljenje američke ekonomije verovatno neće duže delovati negativno na cenu bakra jer vodeći potrošač tog metala nisu SAD nego Kina.

## LITERATURA

1. Berzanski podaci (LME, NYMEX, COMEX), Metal Bulletin Research London, UBS Kanada i navedeni analitičari.

## **UPUTSTVO AUTORIMA**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Rukopis rada se dostavlja na adresu:

Časopis Bakar  
Institut za rudarstvo i metalurgiju  
Naučnotehnološka informatika  
19210 Bor

Molimo autore da radove obavezno dostavljaju u 2 štampana primerka i u elektronskoj formi ili E-mail adresu:

- indok@ibb-bor.co.yu
- indok@irm-bor.co.yu

Za obaveštenja koristiti telefon: 030/435-198.

**SADRŽAJ**CONTENS

---

R. Popović, Dr M. Ljubojev, Dr M. Bugarin	
<b>DEFINISANJE OPTEREĆENJA NA PODGRADU PODZEMNE PROSTORIJE</b>	
DEFINING THE LOAD ONTO SUPPORT OF UNDERGROUND ROOM .....	1
M. Avdić, I. Bajrektarević, A. Jahić, M. Ljubojev	
<b>STABILIZACIJA KOSINE PRIMENOM ŠIPOVA</b>	
SLOPE STABILIZATION USING PILES .....	17
A. Kostov, A. Milosavljević, L. Gomidželović, R. Todorović	
<b>BEZOLOVNE LEGURE ZA IZRADU EKOLOŠKIH LEMOVA</b>	
LEAD-FREE ALLOYS FOR ECOLOGICAL SOLDERS MANUFACTURING .....	23
D. Ignjatović, L. Đurđevac-Ignjatović	
<b>FLOTACIJSKA JALOVINA U NEPOSREDNOJ BLIZINI FLOTACIJSKE BRANE 2A »VELIKI KRIVELJ« KAO VEOMA POGODAN MATERIJAL ZA POVEĆANJE NJENE VISINE</b>	
FLOTATION TAILINGS IN NEARBY VICINITY OF THE FLOTATION DAM ZA VELIKI KRIVELJ AS VERY SUITABLE MATERIAL FOR BUILDING ONTO THIS DAM .....	31
D. Mitić, M. Maksimović, Z. Stojanović	
<b>ZONA ZARUŠAVANJA EKSPLOATACIJE RUDNOG TELA "ČOKA MARIN-1"</b>	
WEIGHT BREAK OF MINING THE ORE BODY "ČOKA MARIN-1" .....	45
R. Marković, O. Dimitrijević, S. Dimitrijević	
<b>PROJEKTOVANJE POSTROJENJA ZA ELEKTROHEMIJSKA ISTRAŽIVANJA I MINI PROIZVODNJI U OBLASTI PROIZVODNJE BAKRA</b>	
DESIGN OF PLANT FOR ELECTROCHEMICAL INVESTIGATIONS AND MINI PRODUCTION IN THE FIELD OF COPPER PRODUCTION .....	51
Lj. J. Mladenović, R. R. Jonović, Lj.R. Avramović	
<b>ODBARKRIVANJE ANODNOG MULJA NAKON SULFATIZIRAJUĆEG PRŽENJA</b>	
DECOPPERIZATION OF ANODE SLIME AFTER SULPHATION ROASTING .....	55
V. Cvetkovski, V. Conić, M. Cvetkovska	
<b>HEMIJSKI POSTUPAK LUŽENJA BAKAR SULFIDNOG MULJA</b>	
CHEMICAL LEACHING OF COPPER SULPHIDE SLUDGE .....	61
G. Slavković	
<b>CENA BAKRA</b>	
COPPER PRICE .....	65

---

