Rodoljub Stanojlović, Jovica Sokolović*, Nikola Ćirić***

TECHNOLOGICAL REQUIREMENTS OF THE NEW COPPER SMELTER OF RTB BOR, A GREAT CHALLENGE FOR THE MINING PROFESSION AND SCIENCE***

Abstract

The research results show the possibility of improvement the basic technological parameters of copper flotation in the copper mine Majdanpek.

With increasing the fineness of definite grinding product from 55 % to 65 % of grain size class -74 μm , as well as optimizing the pH value of the pulp, the type and dose of collectors and frothers, there was an increase of copper recovery for 9.35% and the quality of primary concentrate for 0.54 % or about 40 %.

The compared technological parameters of the industrial process of flotation, in the laboratory experiment with optimal parameters is achieved an increase of the copper recovery for 7.56 % and concentrate quality for 0.61%, or about 50%.

The analysis of the achieved technological parameters on narrow grain size classes of grinding products in industrial and laboratory tests, show unfavorable granulometric composition, both in terms of low participation of optimal floating class (-74+37) μm 15.75 % and a relatively large share of classes, + 147 μm and - 37 μm , which achieve much worse technological indicators in the process of basic flotation.

The great similarity of granulometric composition of the industrial grinding product, which works in a closed circuit of grinding and sizing, and discontinuous, laboratory grinding, indicates the lack of efficiency of industrial process.

The consequences of ineffective grinding, improper values of circulative charge and decreased sharpness of classification in a closed cycle of grinding and classification, are overgrinding of material, i.e. the increased participation of the finest and coarsest class of definite grinding product, or worse technological parameters, copper recovery and concentrate quality in the basic flotation process.

Keywords: Copper Mine Majdanpek, flotation, recovery, copper, smelter

INTRODUCTION

In recent years, in the flotation plants of RTB Bor, the technological parameters of process, copper recovery and content of

the same componen in concentrate are continuously significantly lower than projected. In addition to outdated and largely

* University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Serbia,
e-mail: jsokolovic@tf.bor.ac.rs

** Copper Mine Majdanpek – RBM, Svetog Save 2, 19250 Majdanpek, Serbia

*** This paper presents the results of the Projects TR 33007 "Implementation of Modern Technical-technological and Environmental Solutions in the Existing Production Systems of the Copper Mine Bor and Copper Mine Majdanpek" and TR 33038 "Improvement the Technology of Exploitation and Processing of Copper Ore with Monitoring the Living and Working Environment in the RTB Bor Group", funded by Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia. The authors are grateful to the Ministry for financial support.

amortized basic equipment in the technological process of flotation, the reason for these results is even lower grade copper ore with more complex mineralogical and chemical composition [1, 2].

Requests of the New Copper Smelter RTB Bor for much greater quantities of produced concentrate and higher copper content in the same, approximately 21% Cu, in the present conditions of mining production, are a great challenge for mining industry and science. In achieving the demands of the New Smelter, it is considered as necessary to study low-grade and more complex the raw materials from the mines of RTB Bor, to initiate the verification of the basic characteristics of raw materials, chemical and mineralogical composition. The structural and textural characteristics of aggregates are of particular importance, which related to the way, shape and appearance of holders of useful components.

Increasing efficiency in the process of grinding and classification in terms of better liberation the useful components and achievement of favorable particle size distribution of grinding product [3], as well as the optimization of technological parameters in the flotation process [4, 5] are prerequisites for achieving the set goal.

The overviews of possibility to improve the technological parameters of the flotation process of copper ore from the mine Majdanpek, were performed by the comparative analysis of the results of industrial and laboratory testing on the same raw material of site and optimized mode of the batch flotation process [5].

MATERIALS AND METHODS

Samples for laboratory testing

Testing, both industrial and laboratory were conducted on copper ore from the deposit "East Field" of the copper mine

Majdanpek. During the period of industrial testing or recording the industrial process of the basic copper flotation, a representative sample of the definitive crushing product was taken for planned laboratory testing.

By this way, the sample for laboratory testing represents a processed industrial raw material, which gives the possibility of comparing some industrial and laboratory technological indicators of grinding and flotation process.

Equipment used in testing

The polarizing microscope for transmitted and reflected light, brand "Jenapol-U" company Carl Zeiss Jena with a measuring device and a system for photomicrography "STUDIO PCTV" (Pinnacle Systems) was used for mineralogical analysis.

Grinding of raw materials is carried out in a cylindrical laboratory ball mill dimensions (DxL) = (400x125 mm) and r.p.m $n = 60 \text{ min}^{-1}$. All grinding experiments were carried out on wet, with the same weight and grain size of the balls charge, the same masses of samples and solid content in the pulp of 65 %.

Grain size distributions were determined by wet sieving with selected laboratory sieves, series "Tylor".

Flotation experiments were carried out in the laboratory flotation machine type "DENVER D-12" with a cell volume of $2.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

Chemical analyses of samples and concentration products were performed by the accredited chemical laboratory of the Mining and Metallurgy Institute in Bor.

Characterization of samples used in testing

Chemical composition of copper ore from the deposit "East Field" of the copper mine Majdanpek, is shown in Table 1.

Table 1 Chemical composition of copper ore sample

Elements	Cu ^{total} (%)	Cu ^{sul} (%)	Cu ^{ox} (%)	S (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)
Content	0.273	0.253	0.02	4.63	Ø	0.08	1.20	0.20

Mineralogical composition of copper ore was determined on two samples, definite product of crushing and definitive product of industrial grinding process. Mineralogical analysis of a large number of raw material pieces of grinding product has provided the information on qualitative composition and quantitative participation of the most present minerals in the

ore, as well as the structural characteristics of aggregates, while the mineralogical analysis of definitive grinding products was aimed to verify the previous testing results, both qualitative and quantitative, as well as liberation of minerals in the grinding product.

Mineralogical composition of the samples is presented in Table 2.

Table 2 Mineralogical composition of samples

Mineral	Chemical formula	Content (%)
Quartz	SiO ₂	49.10
Dolomite	CaMgC ₂ O ₆	15.50
Calcite	CaCO ₃	13.60
Albite	NaAlSi ₃ O ₈	11.50
Pyrite	FeS ₂	7.30
Chlorite	Al _{0,865} Fe _{0,255} H ₄ Mg _{2,292} O ₉ Si _{1,588}	3.10
Chalcopyrite	CuFeS ₂	0.80
Chalcocite, magnetite, sphalerite	Cu ₂ S; Fe ₃ O ₄ ; ZnS	0.20

RESULTS AND DISCUSSION

In definitive product of industrial grinding of copper ore, with 55% of grain size class - 74 µm, pyrite is liberated 78%, with a dominant share of fine classes (-20+0) µm, and average particle size of pyrite of 33.83 µm. Liberation of chalcopyrite as a dominant holder of copper is about 65%, with a dominant share of pyrite particles, size class 30-40 µm, and slightly higher average particle size of approx. 50 µm. Results of mineralogical studies indicate the importance and potential impact of fineness of grinding, i.e. liberation of some mineral components on the process selectivity, and thus the copper recovery and quality of basic concentrate.

Laboratory basic flotation experiments were conducted under the same technological conditions and reagent regime applied in the industrial process, as well as laboratory experiments with optimized technological parameters. The optimized parameters are grinding fineness, pH value of the pulp, type and dose of collector and frother in the basic flotation process.

Technological flow sheet of laboratory experiments with regimes of performing the experiments is shown in Figure 1.

Laboratory test	Grinding	Conditioning	Flotation
Flotation test with industrial reagent regime	Solid content = 65 % Cao = 1.15 kg/t $T_{\text{grind.}} \rightarrow 505 \text{ s}$ Content -74 μm = 53 %	pH = 10.5 Z11 = 20 g/t SKIK = 8 g/t AP3404 = 8 g/t $t_{\text{cond.}} \rightarrow 180 \text{ s}$	Solid content = 17 % A76 = 5 g/t $t_{\text{flot.}} \rightarrow 17 \text{ min.}$
Flotatin test with optimized reagent regime	Solid content = 65 % Cao = 1.15 kg/t $T_{\text{grind.}} \rightarrow 685 \text{ s}$ Content -74 μm = 65 %	pH = 11 Z11 = 20 g/t SKIK = 8 g/t AP3404 = 8 g/t $t_{\text{cond.}} \rightarrow 180 \text{ s}$	Solid content = 17 % A76 = 5 g/t $t_{\text{flot.}} \rightarrow 17 \text{ min.}$

Figure 1 Technological scheme of laboratory basic flotation tests:
a) with industrial reagent regime, b) with optimized reagent regime

Grain size composition of industrial basic flotation products as well as laboratory basic flotation products, carried out under industrial and optimized reagent regime, were determined. Each class of flotation products was analyzed on copper content, which allowed defining the dis

tribution and utilization of copper by size classes and in integrated products.

Technological parameters of the industrial basic flotation process and laboratory flotation tests of some size classes and integrated samples are shown in Table 3 and on diagrams in Figures 2 and 3.

Table 3 Technological parameters of flotation process

Grain size (μm)	INDUSTRIAL PROCESS			LABORATORY TEST (industrial regime)			LABORATORY TEST (optimized regime)		
	m (%)	Cu (%)	I _t (%)	m (%)	Cu (%)	I _t (%)	m (%)	Cu (%)	I _t (%)
+ 147	1.308	1.47	46.68	1.45	1.05	47.81	0.90	1.52	67.56
- 147 + 74	3.575	1.50	75.93	3.94	1.25	82.53	3.21	1.72	81.61
- 74 + 37	3.361	1.30	87.10	3.60	1.48	92.12	2.62	2.02	93.54
- 37 + 0	12.186	1.06	82.52	7.47	1.23	80.48	6.23	1.82	88.34
Σ	20.43	1.20	78.58	16.46	1.27	76.79	12.96	1.81	86.14

Figure 2 Recovery of copper by size classes of some basic flotation experiments

Figure 3 Copper content by size classes of the basic flotation concentrates

The results of research indicate two aspects of impact on improvement the basic flotation technological parameters.

The first influential factor is based on a different efficiency of copper flotation from certain size classes, i.e. different participa

tion of optimal floating class, $(-74+37) \mu\text{m}$, in definitive grinding products of some tests. Another factor of increasing the recovery rate and quality of primary copper concentrate is the result of optimization the reagent regime in the process of flotation.

Differences in copper recovery in optimal floating class, $(-74+37) \mu\text{m}$, and the other finer and larger classes in all flota

tion experiments, from 5 to 44%, indicate the necessity of giving specific attention to the grain-size composition of definitive grinding product, which represents a feed in flotation.

Figure 4 shows the grain size composition of industrial grinding and classification products as well as laboratory grinding products.

Figure 4 Grain size distributions of grinding products

The presented partial participation of individual size classes in definitive grinding product indicate two very important conclusions.

The first conclusion is related to a much larger share of the optimal floating class size $(-74+37) \mu\text{m}$, while at the same time much smaller share of the class $+ 147 \mu\text{m}$ in the definite grinding product in the laboratory conditions optimized fineness of grinding, which undoubtedly contributed to the overall increase in copper recovery in flotation process.

Of particular importance is the observation that the grain size composition and partial participation of narrow size classes in the industrial grinding and classification products are very similar to the grain size composition of grinding product of the laboratory grinding, diagrams 2 and 3 in Figure 4. This fact clearly indicates the lack of efficiency of industrial process of grinding and classification. Increasing the efficiency of industrial grinding process in terms of creating more optimal grain size composition, optimization of circulative charge, in order

to reduce the production of the finest size class in grinding products and improve sharpness of classification in the hydrocyclone with the aim of reducing the share of coarsest size class in the overflow, to a large extent, can contribute to the improvement of technological parameters in the flotation process.

CONSLUSION

Testing results, both industrial and laboratory, confirm the possibility of improving the technological parameters of flotation, recovery rate and quality of basic copper concentrate from the ore deposit "North Mining District" of the copper mine Majdanpek.

Higher recovery rate of copper from 9.35%, i.e. 7.56%, and better quality of the basic copper concentrate of about 40% in the laboratory experiment of flotation with optimized parameters, compared to the same parameters in a laboratory experiment, carried out at the industrial parameters, as well as the industrial basic flotation process, confirm the previous statement.

Of particular importance are the results of the study of particle size distribution definitive product of the industrial processes of grinding and classification of copper ore, as well as the recovery of copper in narrow size class.

Low mass participation, approximately 15.75%, of the optimal floating size class (-74+37) μm , with its copper recovery of 87.10%, and relatively large mass participation of classes + 147 μm and - 37 μm , 14.55 % and 43.20%, with recovery rates of copper of 46.68% and 82.52%, are the cause of unsatisfactory recovery of copper of 78.58%, in the industrial basic flotation process.

It is necessary to emphasize the great similarity of grain size distributions of definitive industrial grinding product, with closed

cycle of grinding and classification and laboratory discontinuous grinding processes. This fact clearly indicates that the industrial processes of grinding and classification do not work efficiently.

Optimization of the industrial grinding process, with providing the appropriate values of circulative charge, will contribute to favorable grain size distribution of grinding product and reduction the overgrinding of material, and higher sharpness of classification in hydrocyclone will cause less participation of higher size classes in the hydrocyclone overflow, i.e. flotation feed.

Greater participation of optimal floating size class in the definitive grinding product and optimal values of tested parameters of flotation, have contributed to the increase of copper recovery and quality of primary concentrate, which is the basic assumption for achieving better definitive indicators of technological processing of copper ore.

REFERENCES

- [1] Study on Reserves of the Copper Deposits "North Mining District" and Polymetallic Deposits of Mineral Raw Materials (Zn-Pb-Cu) "Tenka" - North Mining District, Majdanpek, 2011 (in Serbian);
- [2] Z. Mihajlovic, Supplementary Mining Project "Identification the Possibility of Copper Evaluation Using the Flotation Concentration Method from Slime Deposited in the Excavation Area of the North Mining District of the Copper Mine Majdanpek", Professional Work, 2013 (in Serbian);
- [3] R. Stanojlovic, J. Sokolovic, A Study of Flotation Kinetics of the Hydrocyclone Overflow and Underflow in the Processing of High-Grade Copper Ore, Mining And Metallurgy Engineering Bor, 4 (2013), pp. 101-110;

- [4] M. Grujic et al., Introduction of New Reagents to Improve the Technological Parameters in the Majdanpek Flotation Plant, Majdanpek, (in Serbian);
- [5] N. Ćirić, Investigation the Possibilities of Improvement the Technological Process Parameters of the Basic Flotation of Copper Ore from the Deposit "North Mining District" in the Copper Mine Majdanpek, Master Thesis, University of Belgrade, Technical Faculty In Bor, Bor, 2014, (in Serbian).

Rodoljub Stanojlović*, Jovica Sokolović*, Nikola Ćirić**

TEHNOLOŠKI ZAHTEVI NOVE TOPIONICE BAKRA RTB-A BOR, VELIKI IZAZOV ZA RUDARSKU STRUKU I NAUKU***

Izvod

Rezultati istraživanja pokazuju mogućnost poboljšanja tehnoloških pokazatelja osnovne flotacije u rudniku bakra Majdanpek.

Povećanjem finoće definitivnog proizvoda mlevenja sa 55 % učešća klase – 74 μm na 65 % učešća iste klase krupnoće, kao i optimizacijom pH vrednosti pulpe, vrste i doze kolektora i penušača, ostvareno je povećanje iskorišćenja bakra za 9,35 % i kvaliteta osnovnog koncentrata za 0,54 %, odnosno za oko 40 %.

U odnosu na tehnološke pokazatelje industrijskog procesa osnovne flotacije, u laboratorijskom opitu sa optimalnim parametrima ostvareno je povećanje iskorišćenja bakra za 7,56 % i kvaliteta koncentrata za 0,61 %, odnosno za oko 50 %.

Analizom ostvarenih tehnoloških pokazatelja po uskim klasama krupnoće proizvoda mlevenja industrijskog i laboratorijskih opita, konstatovan je nepovoljan granulometrijski sastav, kako u pogledu malog učešća optimalno flotirajućih klasa, (-74+37) μm , od 15,75 % tako i relativno velikog učešća krupnijih, + 147 μm , i sitnijih klasa – 37 μm , na kojima se u procesu osnovne flotacije ostvaruju znatno lošiji tehnološki pokazatelji.

Velika sličnost granulometrijskih sastava proizvoda industrijskog procesa mlevenja, koji radi u zatvorenom ciklusu mlevenja i klasiranja i diskontinualnog, laboratorijskog mlevenja, ukazuju na nedovoljnu efikasnost industrijskog procesa.

Posledice neefikasnog mlevenja, neodgovarajuće vrednosti cirkulativne šarže i smanjenje oštine klasiranja u zatvorenom ciklusu mlevenja i klasiranja, su preusitnjavanje sirovine, odnosno povećano učešće najfinije i najkrupnije klase u definitivnom proizvodu mlevenja, odnosno lošiji tehnološki pokazatelji, iskorišćenje bakra i kvalitet koncentrata u osnovnom procesu flotiranja.

Cljučne reči: Rudnik bakra Majdanpek, flotacija, iskorišćenje, bakar, topionica

UVOD

Poslednjih godina u flotacijama RTB-a Bor, tehnološki pokazatelji procesa, iskorišćenje bakra i sadržaj iste komponente u

koncentratu su u kontinuitetu znatno niži od projektovanih. Pored zastarele i dobrim delom amortizovane osnovne opreme u

* Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor, Srbija,
e-mail: jsokolovic@tf.bor.ac.rs

** Rudnik bakra Majdanpek – RBM, Svetog Save 2, 19250 Majdanpek, Srbija

*** U ovom radu su prikazani rezultati projekata TR 33007 „Implementacija savremenijih tehničko-tehnoloških i ekoloških rešenja u postojećim proizvodnim sistemima Rudnika bakra Bor i Rudnika bakra Majdanpek“ i TR 33038 „Usavršavanje tehnologija eksploatacije i prerade rude bakra sa monitoringom životne i radne sredine u RTB Bor Grupa“ finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Autori se zahvaljuju pomenutom Ministarstvu na finansijskoj podršci.

tehnološkom procesu flotiranja, razlog za ovakve rezultate je sve siromašnija ruda bakra sa kompleksnijim mineraloškim i hemijskim sastavom [1, 2].

Zahtevi nove Topionice bakra RTB-a Bor za znatno većom količinom proizvedenog koncentrata i većim sadržajem bakra u istom, cca 21 % Cu, su u sadašnjim uslovima rudarske proizvodnje veliki izazov za rudarsku struku i nauku. U ostvarivanju zahteva nove Topionice, smatramo neophodnim da istraživanja na siromašnijim i kompleksnijim sirovinama kojima raspolažu rudnici RTB-a Bor, treba započeti od verifikacije osnovnih karakteristika sirovine, hemijskog i mineraloškog sastava. Od posebne važnosti su strukturne i teksturne karakteristike agregata koje se odnose na način, oblik i krupnoću pojavljivanja nosilaca korisnih komponenata.

Povećanje efikasnosti procesa mlevenja i klasiranja u pogledu bolje oslobođenosti korisnih komponenata i ostvarivanje povoljnijeg granulometrijskog sastava proizvoda mlevenja [3], kao i optimizacija tehnoloških parametara u procesu flotiranja [4, 5] su preduслови za ostvarivanje postavljenog cilja.

Sagledavanja mogućnosti poboljšanja tehnoloških pokazatelja procesa flotiranja rude bakra rudnika Majdanpek, vršena su uporednom analizom rezultata industrijskih i laboratorijskih istraživanja na istoj sirovini primenom pogonskog i optimiziranog režima procesa osnovne flotacije [5].

MATERIJALI I METODE

Sirovina na kojoj su vršena istraživanja

Istraživanja, kako industrijska tako i laboratorijska vršena su na rudi bakra, ležišta „Istočno polje“ rudnika Majdanpek. Tokom industrijskih istraživanja, odnosno snimanja

industrijskog procesa osnovnog flotiranja bakra, uzet je reprezentativni uzorak definitivnog proizvoda drobljenja za predviđena laboratorijska istraživanja.

Na ovaj način uzorkovan, uzorak za laboratorijska istraživanja prezentuje industrijski prerađivanu sirovinu, što daje mogućnost upoređivanja nekih industrijskih i laboratorijskih tehnoloških pokazatelja procesa mlevenja i flotiranja.

Oprema korišćena u istraživanjima

Za mineraloška ispitivanja korišćen je polarizacioni mikroskop za odbijenu i propuštenu svetlost marke „Jenapol-U“, firme Carl Zeiss-Jena sa mernim uređajem, kao i sistemom za mikrofotografiju „STUDIO PCTV“ (Pinnacle Systems).

Mlevenje sirovine je vršeno u cilindričnom laboratorijskom mlinu sa kuglama dimenzija (DxL)=(400x125 mm) i brojem obrtaja $n = 60 \text{ min}^{-1}$. Svi opiti mlevenja su vršeni na mokro, sa istom masom i granulometrijskim sastavom šarže, istim masama uzoraka i sadržajem čvrstog u pulpi od 65%.

Granulometrijski sastavi su određivani mokrim prosejavanjem na odabranim laboratorijskim sitima serije „Tylor“.

Opiti flotiranja su vršeni u laboratorijskoj flotacijskoj mašini tipa „DENVER DR-12“, sa zapreminom komorom koja iznosi $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$.

Hemijske analize uzoraka i proizvoda koncentracije vršila je akreditovana hemijska laboratorija Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru.

Karakteristike sirovine na kojoj su vršena istraživanja

Hemijski sastav rude bakra iz ležišta „Istočno polje“ rudnika Majdanpek, prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav sirovine

Elementi	Cu ^{uk} (%)	Cu ^{sul} (%)	Cu ^{ox} (%)	S (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)
Sadržaj	0,273	0,253	0,02	4,63	Ø	0,08	1,20	0,20

Mineraloški sastav rude bakra određivan je na dva uzorka, definitivnom proizvodu drobljenja i definitivnom proizvodu industrijskog mlevenja iste sirovine. Mineraloškom analizom većeg broja komada sirovine proizvoda drobljenja dobijene su informacije o kvalitativnom sastavu i kvantitativnom učešću najzastupljenijih minerala u rudi, kao i strukturnim

karakteristikama agregata, dok je mineraloška analiza definitivnog proizvoda mlevenja imala za cilj, kako kvalitativnu i kvantitativnu verifikaciju istraživanja na predhodnom uzorku, tako i oslobođenost minerala korisnih komponenata u proizvodu mlevenja.

Mineraloški sastav sirovine koja je predmet istraživanja prikazan je u tabeli 2.

Tabela 2. Mineraloški sastav sirovine

Naziv minerala	Hemijska formula	Sadržaj (%)
Kvarc	SiO ₂	49,10
Dolomit	CaMgC ₂ O ₆	15,50
Kalcit	CaCO ₃	13,60
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	11,50
Pirit	FeS ₂	7,30
Hlorit	Al _{0,865} Fe _{0,255} H ₄ Mg _{2,292} O ₉ Si _{1,588}	3,10
Halkopirit	CuFeS ₂	0,80
Halkozin, magnetit, sfalerit	Cu ₂ S; Fe ₃ O ₄ ; ZnS	0,20

REZULTATI I DISKUSIJA

U definitivnom proizvodu industrijskog mlevenja rude bakra finoće, 55 % učešća klase -74 µm, pirit je slobodan 78 %, sa dominantnim učešćem finih klasa, (-20+0) µm, i srednjom krupnoćom čestica pirita od 33,83 µm. Oslobođenost halkopirita, kao dominantnog nosioca bakra je oko 65 %, sa dominantnim učešćem čestica halkopirita krupnoće, 30-40 µm, i nešto većom srednjom krupnoćom, od cca 50 µm.

Rezultati mineraloških ispitivanja upućuju na značaj i mogući uticaj finoće mlevenja, odnosno oslobođenosti pojedinih mineralnih komponenata na selektivnost procesa, a time i na iskorišćenje bakra i kvalitet osnovnog koncentrata.

Istraživanja čiji su rezultati prezentovani u radu sadrže snimanje industrijskog procesa osnovne flotacije rude bakra, izvođenje laboratorijskog opita osnovne flotacije pri istim tehnološkim uslovima i reagensnom režimu koji se primenjuje u industrijskom procesu, kao i izvođenje laboratorijskog opita pri optimiziranih tehnološkim parametrima koji su bili predmet istraživanja. Parametri na kojima je vršena optimizacija su, finoća mlevenja sirovine, pH vrednost pulpe, vrsta i doza kolektora i penušača u procesu osnovne flotacije.

Tehnološka šema izvođenja laboratorijskih opita sa režimima izvođenja prikazana je na slici 1.

Laboratorijski opit	Mlevenje	Kondicioniranje	Flotiranje
Pogonski parametri izvođenja laboratorijskog opita	Sadržaj čvrstog = 65 % Cao = 1,15 kg/t $t_{mlev.} \rightarrow 505$ s Sadržaj -74 μm = 53 %	pH = 10,5 Z11 = 20 g/t SKIK = 8 g/t AP3404 = 8 g/t $t_{kond.} \rightarrow 180$ s	Sadržaj čvrstog = 17 % A76 = 5 g/t $t_{flot.} \rightarrow 17$ min.
Optimalni parametri izvođenja laboratorijskog opita	Sadržaj čvrstog = 65 % Cao = 1,15 kg/t $t_{mlev.} \rightarrow 685$ s Sadržaj -74 μm = 65 %	pH = 11 Z11 = 20 g/t SKIK = 8 g/t AP3404 = 8 g/t $t_{kond.} \rightarrow 180$ s	Sadržaj čvrstog = 17 % A76 = 5 g/t $t_{flot.} \rightarrow 17$ min.

Sl. 1. Tehnološka šema laboratorijskih opita osnovne flotacije:
a) sa pogonskim reagensnim režimom, b) sa optimiziranim reagensnim režimom

Na proizvodima industrijskog procesa osnovne flotacije i proizvodima laboratorijskih opita flotiranja izvedenim pri pogonskom i optimiziranom reagensnom režimu, izvršena je granulometrijska analiza. Svaka klasa proizvoda flotiranja analizirana je na sadržaj bakra čime je omogućeno definisanje kako raspodele, tako i iskorišćenja ove

korisne komponente po klasama krupnoće i integralnim proizvodima.

Tehnološki pokazatelji procesa osnovne flotacije industrijskog procesa i laboratorijskih opita flotiranja kako po pojedinim klasama krupnoće tako i integralnim uzorcima prikazani su u tabeli 3. i dijagramima na slikama 2 i 3.

Tabela 3. Tehnološki pokazatelji procesa osnovne flotacije

Klasa krupnoće (μm)	INDUSTRIJSKI PROCES			LABORATORIJSKI OPIT (pogonski režim)			LABORATORIJSKI OPIT (optimizirani režim)		
	m (%)	Cu (%)	I _t (%)	m (%)	Cu (%)	I _t (%)	m (%)	Cu (%)	I _t (%)
+ 147	1,308	1,47	46,68	1,45	1,05	47,81	0,90	1,52	67,56
- 147 + 74	3,575	1,50	75,93	3,94	1,25	82,53	3,21	1,72	81,61
- 74 + 37	3,361	1,30	87,10	3,60	1,48	92,12	2,62	2,02	93,54
- 37 + 0	12,186	1,06	82,52	7,47	1,23	80,48	6,23	1,82	88,34
Σ	20,43	1,20	78,58	16,46	1,27	76,79	12,96	1,81	86,14

Sl. 2. Iskorišćenje bakra po klasama krupnoće pojedinih opita osnovne flotacije

Sl. 3. Sadržaj bakra po klasama krupnoće osnovnih koncentrata

Rezultati istraživanja ukazuju na dva aspekta uticaja na poboljšanje tehnoloških pokazatelja osnovne flotacije.

Prvi uticajni faktor zasnovan je na različitoj efikasnosti flotiranja bakra iz

pojedinih klasa krupnoće, odnosno različitim učešću optimalno flotirajućih klasa, u našem slučaju klase $(-74+37) \mu\text{m}$, u definitivnim proizvodima mlevenja pojedinih opita. Drugi faktor povećanja iskorišćenja i

kvaliteta osnovnog koncentrata bakra posledica je optimizacije reagensnog režima u procesu flotiranja.

Razlike u iskorišćenjima bakra u optimalno flotirajućoj klasi krupnoće, $(-74+37)$ μm , i ostalih finijih i krupnijih klasa, u svim opitima flotiranja, od 5 do 44 %, ukazuju na potrebu obraćanja posebne pažnje na granu-

lometrijski sastav definitivnog proizvoda mlevenja, odnosno ulazene sirovine u proces flotiranja.

Na slici 4. prikazani su granulometrijski sastavi proizvoda industrijskog procesa mlevenja i klasiranja, kao i dijagrami istih karakteristika laboratorijskih proizvoda mlevenja.

Sl. 4. Granulometrijski sastavi proizvoda mlevenja

Prikazana parcijalna učešća pojedinih klasa krupnoće u definitivnim proizvodima mlevenja upućuju na dva veoma značajna zaključka.

Prvi zaključak se odnosi na veće učešće optimalno flotirajuće klase krupnoće, $(-74+37)$ μm , istovremeno i znatno manje učešće najkrupnije klase $+147$ μm u definitivnom proizvodu mlevenja u laboratorijskim uslovima pri optimiziranoj finoći mlevenja, što je nesumnjivo doprinelo ukupnom povećanju iskorišćenja bakra u procesu flotiranja.

Od posebnog značaja je konstatacija da su granulometrijski sastavi, odnosno parcijalna učešća uskih klasa krupnoće, definitivnog proizvoda mlevenja i klasiranja industrijskog procesa, veoma slični istoj karakteristici definitivnog proizvoda laboratorijskog opitamlivenja, dijagrami 2 i 3 na slici 4. Ova činjenica nedvosmisleno ukazuje na nedovoljnu efikasnost industrijskog procesa mlevenja i klasiranja. Povećanje efikasnosti industrijskog procesa mlevenja u pogledu stvaranja optimalnijeg granulometrijskog sastava, optimizacijom cirkulativne

šarže, u cilju smanjenja produkcije najfinijih klasa krupnoće u procesu mlevenja i povećanju oštine klasiranja u hidrociklonu, sa ciljem smanjenja učešća najkrupnije klase u prelivu, u značajnoj meri mogu doprineti poboljšanju tehnoloških pokazatelja u procesu flotiranja.

ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja, kako industrijska tako i laboratorijska potvrđuju mogućnost poboljšanja tehnoloških pokazatelja flotiranja, iskorišćenja bakra i kvaliteta osnovnog koncentrata iz rude ležišta „Severni revir“, rudnika bakra Majdanpek.

Veće iskorišćenje bakra za 9,35 %, odnosno 7,56 % i bolji kvalitet osnovnog koncentrata za oko 40 % u laboratorijskom opitu flotiranja sa optimiziranim parametrima, u odnosu na iste pokazatelje u laboratorijskom opitu izvedenom pri industrijskim parametrima flotiranja, kao i samom industrijskom procesu osnovne flotacije potvrđuju predhodnu konstataciju.

Od posebnog značaja su rezultati istraživanja granulometrijskog sastava definitivnog proizvoda industrijskog procesa mlevenja i klasiranja rude bakra, kao i iskorišćenja bakra po uskim klasama krupnoće.

Malo maseno učešće, cca 15,75 %, optimalno flotirajuće klase krupnoće, (-74+37) μm , na kojoj se ostvaruje iskorišćenje bakra od 87,10 %, relativno velika masena učešća klasa + 147 μm i - 37 μm , od 14,55 % i 43,20 %, na kojima se postižu iskorišćenja od 46,68 % odnosno 82,52 %, u velikoj meri su uzročnici nezadovoljavajućeg iskorišćenja bakra, od 78,58 %, u osnovnom flotiranju industrijskog procesa prerade ispitivane sirovine.

Potrebno je istaći veliku sličnost granulometrijskih sastava definitivnih proizvoda

mlevenja, industrijskog, zatvorenog ciklusa, mlevenja i klasiranja i laboratorijskog diskontinualnog procesa mlevenja. Ova činjenica nedvosmisleno ukazuje da industrijski proces mlevenja i klasiranja ne radi efikasno. Optimizacija industrijskog procesa mlevenja, obezbeđivanjem odgovarajuće vrednosti cirkulativne šarže, doprineće povoljnijem granulometrijskom sastavu proizvoda mlevenja i smanjenju preusitnjavanja sirovine, a veća oština klasiranja u hidrociklonu usloviće manje učešće krupnih klasa u prelivu, odnosno ulazu u proces flotiranja.

Veće učešće optimalno flotirajućih klasa krupnoće u definitivnom proizvodu industrijskog mlevenja, odnosno ulazu u proces flotiranja i optimalnije vrednosti ispitivanih parametara flotiranja, doprineli bi kako povećanju iskorišćenja bakra, tako i kvalitetu osnovnog koncentrata, što je osnovna pretpostavka za ostvarivanje boljih definitivnih tehnoloških pokazatelja prerade ispitivane rude bakra.

LITERATURA

- [1] Elaborat o rezervama ležišta bakra „Severni revir“ i ležišta polimetalne mineralne sirovine (Zn-Pb-Cu) „Tenka“ - Severni revir kod Majdanpeka, 2011.
- [2] Ž. Mihajlović, Dopunski rudarski projekat „Utvrdjivanje mogućnosti valorizacije bakra metodom flotacijske koncentracije iz mulja istaloženog u otkopnom prostoru severnog revira Rudnika bakra Majdanpek“, Stručni rad, 2013.
- [3] R. Stanojlović, J. Sokolović, Istraživanje kinetike flotiranja preliva i peska hidrociklona pri preradi bogate rude bakra, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 4/2013, str. 111-120.

- [4] M. Grujić, i dr., Uvođenje novih reagenasa u poboljšanju tehnoloških parametara u flotaciji Majdanpek, Majdanpek, 2011.
- [5] N. Ćirić, Istraživanje mogućnosti unapređenja tehnoloških pokazatelja procesa osnovne flotacije rude bakra ležišta „Severni revir“ Rudnika bakra Majdanpek, Master rad, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2014.