

САГЛЕДАВАЊЕ ПРОЦЕСА ЗГУШЊАВАЊА
КОНЦЕНТРАТА БАКРА РУДНОГ ЛЕЖИШТА
БОРСКА РЕКА КРОЗ РЕЛЕВАНТНЕ ИНДИКАТОРЕ

OBSERVATION OF THE PROCESS OF CONCENTRATE
CONCENTRATE OF THE BORSKA REKA ORE
DEPOSIT THROUGH RELEVANT INDICATORS

DOI: 10.5937/RG2402063J

Стручни рад
Expert Paper

Ивана Јовановић¹

Сања Петровић¹

Јасмина Нешковић²

Павле Стјепановић²

¹ Институт за рударство и металургију Бор,
Србија

² Рударски институт д.о.о, Београд, Србија

ivana.jovanovic@irmbor.co.rs

Ivana Jovanović¹

Sanja Petrović¹

Jasmina Nešković²

Pavle Stjepanović²

¹ Mining and Metallurgy Institute Bor,
Serbia

² Рударски институт д.о.о, Београд, Србија

ivana.jovanovic@irmbor.co.rs

Примљен 2 децембра 2024; Рецензиран 6 децембра 2024; Прихваћен 10 децембра 2024.

Received 2 Decembre 2024; Received in revised 6 Decembre 2024; Accepted 10 Decembre 2024

Сажетак: У циљу одређивања параметара згушњавања дефинитивног концентрата бакра из лежишта Борска река који је добијен поступком флоатације урађен је експеримент таложења. Садржај чврсте фазе на почетку испитивања је износио 30%. Резултати који су добијени показали су да се дефинитивни концентрат бакра таложи до садржаја чврстој од 55% адекватном брзином. При овако повољној брзини таложења неопходна је мала специфична површина згушњивача.

Кључне речи: КОНЦЕНТРАТ БАКРА, САДРЖАЈ ЧВРСТЕ ФАЗЕ, ТАЛОЖЕЊЕ, ЗГУШЊАВАЊЕ

Abstract: In order to determine the thickening parameters of the definitive copper concentrate from the Borska Reka deposit, which was obtained by the flotation process, a sedimentation experiment was conducted. The solids content at the beginning of the test was 30%. The results obtained showed that the definitive copper concentrate precipitated to a solids content of 55% at an adequate rate. At such a favorable deposition rate, a small specific surface area of the thickener is necessary.

Key words: COPPER CONCENTRATE, SOLID PHASE CONTENT, DEPOSITION, THICKENING

УВОД

Лежиште «Борска Река» је саставни део Тимочног магматског комплекса и налази се у северо-западном ободном делу града Бора,

INTRODUCTION

The “Borska Reka” deposit is an integral part of the Timok Magmatic Complex and is located in the north-western peripheral part

испод долине Борске реке, у саставу активног рудника Јаме. Лежиште је дужине око 1000 m и ширине око 500 m, залеже према западу под углом од 45° до 55°, сагласно залегању Борских конгломерата и пешчара, а од Борске хидротермалне зоне одваја га Борски расед [1]. Досадашњим истраживањем је константовано да рудно тело «Борска река» припада групи врло великих лежишта чија просечна моћност прелази 300 m [2]. Досадашњим испитивањима утврђено је да у лежишту «Борска Река» средњи садржај бакра износи 0,50% Cu, злата 0,204 g/t Au, сребра 1,62 g/t Ag, молибдена 35,89 g/t Mo и сумпора 7,8% S [3]. Лежиште «Борска Река» се још увек не експлоатише, али се сматра да има значајан потенцијал за будућу производњу бакра [4].

За профитабилну експлоатацију одређеног лежишта неопходно је најпре спровести обимна истраживања уз одговарајућу економску процену [5]. Сходно томе, обављена су технолошка испитивања на језгрима бушотина из лежишта «Борска река» у оквиру којих је, између осталог, предвиђено да се одреде параметри који карактеришу дефинитивне производе флотацијске концентрације у поступцима њиховог одводњавања. У складу са тим, извршена су лабораторијска испитивања са сврхом утврђивања показатеља процеса згушњавања дефинитивног концентрата бакра.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОСТУПАК

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОЛАЗНОГ УЗОРКА

Узорак концентрата бакра који је коришћен у овом испитивању добијен је према утврђеној технолошкој шеми приказаној на слици 1. Применом дате технолошке шеме, кроз претходна испитивања, постигнути су оптимални резултати у погледу садржаја и искоришћења бакра у концентрату.

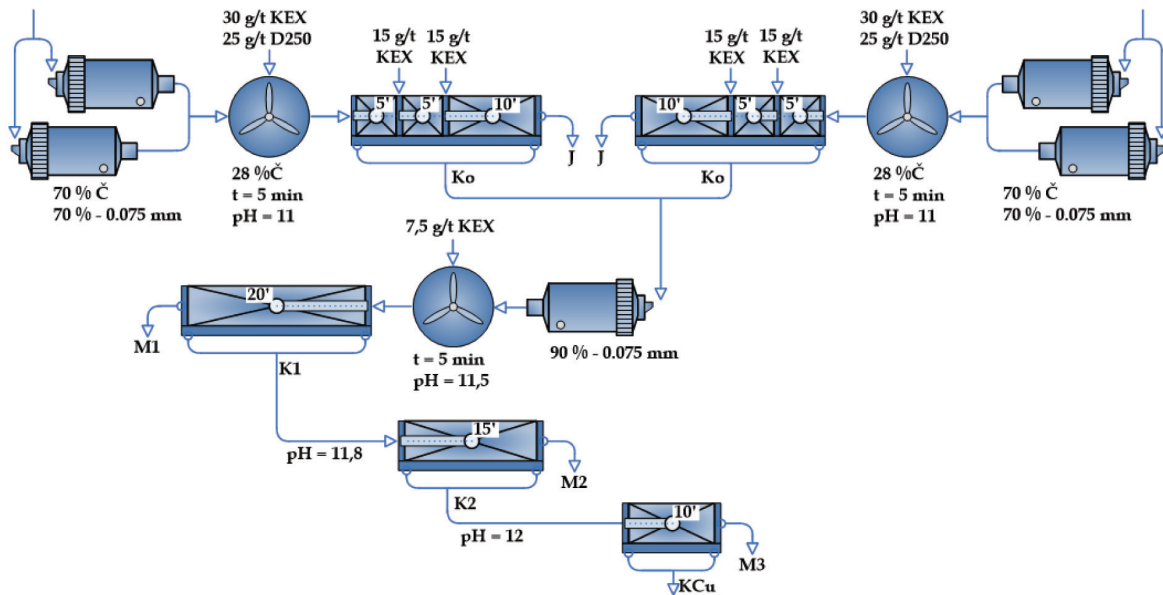
of the town Bor, beneath the Borska Reka valley, as a constituent of the active mine Jama. The deposit is about 1000 m long, about 500 m wide, and inclined towards west at angle of 45° to 55°, in accordance with the inclination of Bor's conglomerates and sandstones. It is separated from the Bor hydrothermal zone by the Bor fault [1]. The researches so far have proved that the ore body "Borska Reka" belongs to a group of very large deposits whose average thickness exceeds 300 m [2]. Previous studies have shown that "Borska Reka" deposit contains (on average): 0.50% Cu, 0.204 g/t Au, 1.62 g/t Ag, 35.89 g/t Mo and 7.8% S [3]. The "Borska Reka" deposit has not yet been exploited, but is considered to have significant potential for future copper production [4].

Profitable exploitation of a certain mineral deposit requires extensive previous researches with appropriate economic assessment [5]. Accordingly, technological tests were carried out on exploration drill cores from the deposit "Borska Reka", where, among other things, it was predicted to determine the parameters that characterize dewatering properties of final flotation products. Therefore, laboratory tests were performed with the purpose of determining the indicators of the final copper concentrate thickening.

EXPERIMENTAL

CHARACTERIZATION OF THE INITIAL SAMPLE

The copper concentrate sample used in this study was obtained according to the technological scheme shown in Figure 1. According to presented technological scheme obtained by the previous studies, optimal results were achieved regarding the content and recovery of copper in the concentrate.



Слика 1, Технолошка шема добијања концентрата бакра

Figure 1, Technological scheme of the flotation concentration of copper minerals

Биланс концентрације који одговара датом експерименту приказан је у табели 1.

The obtained results of flotation are shown in Table 1.

Табела 1, Остварени биланс флојацијске концентрације

Table 1, Technological results of the examination

	m, %	Cu, %	R Cu, %	S, %	R S, %	Au, g/t	R Au, %	Ag, g/t	R Ag, %
U	100,00	0,485	100,00	6,37	100,00	0,16	100,00	1,63	100,00
J	89,29	0,056	10,31	3,98	55,75	0,05	28,11	0,80	43,95
K ₀	10,71	4,06	89,69	26,35	44,25	1,07	71,89	8,51	56,05
K ₁	2,45	16,56	83,77	29,76	11,46	3,24	50,10	22,78	34,39
M ₁	8,25	0,35	5,92	25,33	32,79	0,42	21,79	4,27	21,67
M ₂	0,79	1,85	3,01	24,53	3,04	0,90	4,47	4,50	2,19
K ₂	1,66	23,54	80,75	32,25	8,42	4,36	45,63	31,46	32,20
M ₃	0,25	6,69	3,43	23,99	0,94	2,40	3,76	17,00	2,60
K _{Cu}	1,41	26,50	77,32	33,70	7,48	4,70	41,87	34,00	29,60

Густина испитиваног узорка одређена је стандардном методом помоћу стакленог пикнометра. Вредност густине дефинитивног концентрата бакра износи 3,80 t/m³.

The density of the tested sample was determined by a standard method using a glass pycnometer. The density of the final copper concentrate was 3.80 t/m³.

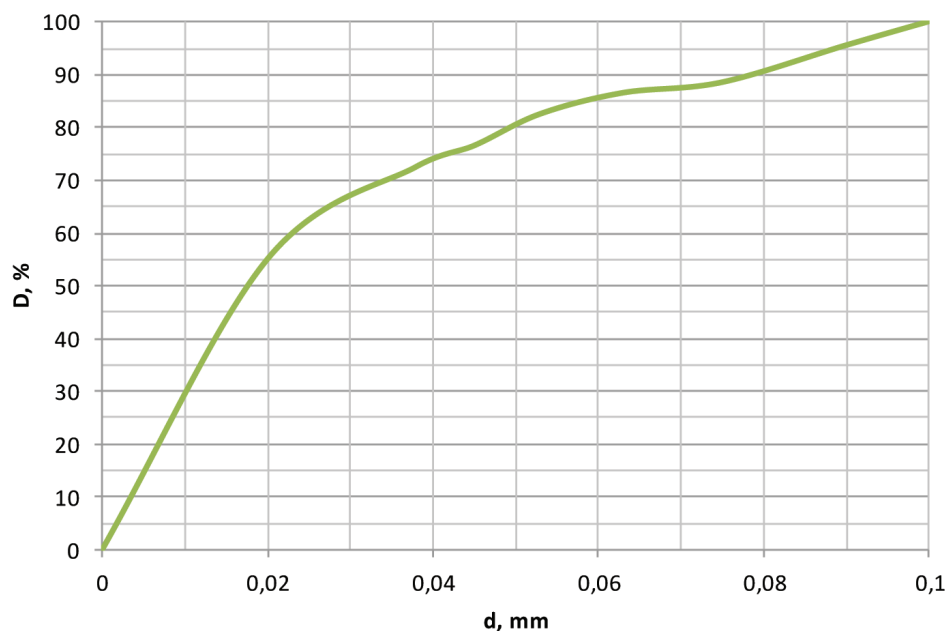
Одређивање гранулометријског састава полазног узорка концентрата бакра извршено је мокрим просејавањем на серији сита типа "IMPACT TEST", а резултати су приказани у табели 2 и на слици 2.

Grain size distribution of the initial copper concentrate sample was carried out by wet sieving on the "IMPACT TEST" sieves and the results are shown in Table 2 and Figure 2.

Табела 2, Гранулометријски састав узорка дефинитивної концентрата бакра

Table 2, Grain size distribution of the final copper concentrate

Класа крупноће / Size class d (mm)	m (%)	R (%)	D (%)
+0,090	4,5	4,50	100,00
−0,090+0,075	7,0	11,50	95,50
−0,075+0,063	2,0	13,50	88,50
−0,063+0,053	4,0	17,50	86,50
−0,053+0,045	6,0	23,50	82,50
−0,045+0,038	4,0	27,50	76,50
−0,038+0,020	17,5	45,00	72,50
−0,020+0,000	55,0	100,00	55,00



Слика 2, Гранулометријски састав узорка дефинитивної концентрата бакра

Figure 2, Grain-size distribution of the final copper concentrate

Према резултатима приказаним на слици 2 може се уочити значајно присуство ситних класа (испод 20 μm) у узорку концентрата.

ОДРЕЂИВАЊЕ ПАРАМЕТАРА ЗГУШЊАВАЊА ДЕФИНИТИВНОГ КОНЦЕНТРАТА БАКРА

У циљу испитивања параметара згушњавања дефинитивног концентрата бакра, урађен је опит таложења концентрата у мензури запремине 1000 cm^3 . Мензура је опремљена милиметарском траком за очи-

The results in Figure 2 show a significant presence of the finest classes (below 20 μm) in the copper concentrate sample.

DETERMINATION OF THE THICKENING PARAMETERS OF THE FINAL COPPER CONCENTRATE

The examination of the parameters of the final copper concentrate thickening was performed in the graduated cylinder of 1000 cm^3 . The graduated cylinder was equipped with a millimeter tape

тавање висине формираног стуба згустуле пулпе. Ради јасног уочавања границе између избистреног нивоа течности и згустуле пулпе, коришћен је електрични извор светлости.

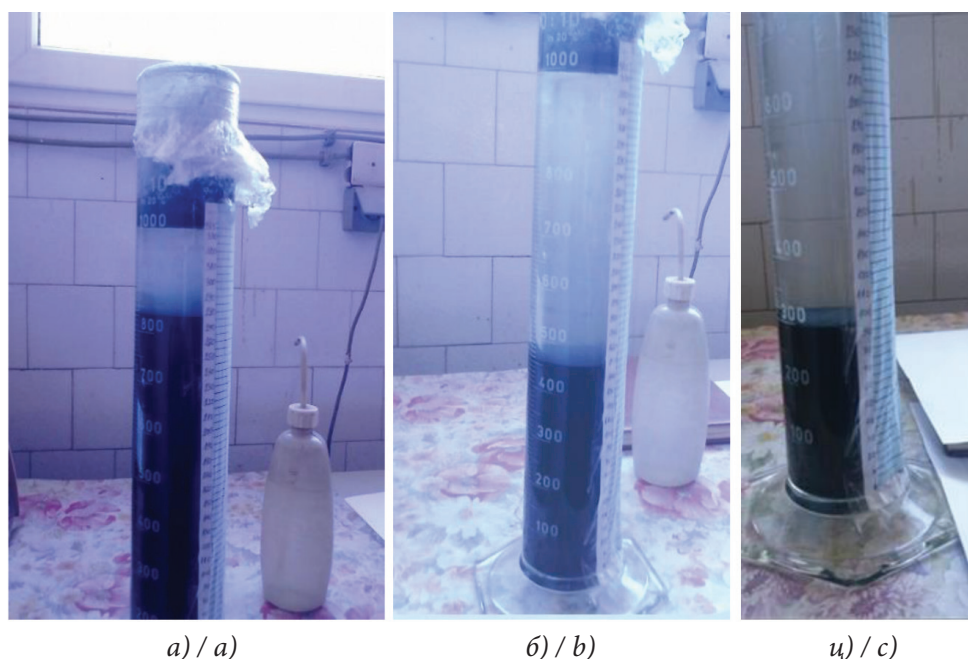
Експеримент таложења честица концентрата у мензури изведен је при почетној густини пулпе од $1,284 \text{ t/m}^3$, односно при садржају чврсте фазе од 30%. Овај садржај чврсте фазе у пулпи усвојен је на основу искустава из индустријске праксе у различитим погонима РТБ Бор (постројења за флотацијску концентрацију у Великом Кривељу и Мајданпеку).

Очитавање висине формираног стуба згустуле пулпе (односно висине нивоа бистре зоне) у мензури извршено је у одређеним временским интервалима. На слици 3 а), б) и ц) дат је приказ извођења експеримента таложења у различитим периодима од почетка процеса седиментације.

for reading the height of thickened pulp. In order to clearly see the boundary between the clear level of liquid and the thickened pulp, an electric light source was used.

The experiment of sedimentation of concentrate particles in the graduated cylinder was carried out at an initial pulp density of 1.284 t/m^3 , i.e. with a solid phase content of 30 %. This content of the solid phase in the pulp was adopted based on the experience of industrial practice in various plants of MSC Bor (flotation concentration plants in Veliki Krivelj and Majdanpek).

The height of the thickened pulp (or the clear zone height) in the graduated cylinder was reading at certain time intervals. An overview of the sedimentation experiment at different times from the beginning of the sedimentation process was presented in Figure 3 (a, b and c).



Слика 3, Седиментација дефинитивној концентрати бакра у мензури: а) након 12 минути таложења; б) након 45 минути таложења; ц) након 250 минути таложења

Figure 3, Sedimentation of final copper concentrate in the graduated cylinder: a) after 12 minutes of sedimentation; b) after 45 minutes of sedimentation; c) after 250 minutes of sedimentation

РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Резултати промене висине зоне бистре течности са временом, као и промене вредно-

RESULTS AND DISCUSSION

Changes in the height of the zone of clear liquid with time, as well as changes in the volume

сти запреминске концентрације чврстих честица у пулпи приказани су у табели 3.

concentration of solid particles in the pulp are shown in Table 3.

Почетна концентрација чврстих честица у пулпи (C_0) одређена је према обрасцу:

Initial concentration of solid particles in the pulp (C_0) is determined according to the formula:

$$C_0 = \frac{m_k}{V} = \frac{385,1}{1000} = 0,385 \left[\frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right]$$

где је:

where:

m_k – маса узорка концентрата, g;
 V – запремина мензуре (коју чини збир запремина воде и концентрата), cm^3 .

m_k – mass of the concentrate sample, g;
 V – volume of the graduated cylinder (sum of water and concentrate volumes), cm^3 .

Табела 3, Резултати седиментације чврстих честица дефинитивној концентрати бакра

Table 3, Results of sedimentation of the final copper concentrate solid particles

Редни број мерења No of measurement	Време Time t (min)	Висина стуба згуснуте пулпе Thickened pulp height H (mm)	Висина бистре зоне Clear zone height H ₁ (mm)	Концентрација Concentration C _k (t/m ³)	C _k /C ₀
1.	0	335	0	0,385	1,000
2.	0,5	333	2	0,387	1,006
3.	1	330,5	4,5	0,390	1,014
4.	2	324,5	10,5	0,397	1,032
5.	3	318,5	16,5	0,405	1,052
6.	4	312,5	22,5	0,413	1,072
7.	5	307,5	27,5	0,419	1,089
8.	6	302,5	32,5	0,426	1,107
9.	8	293	42	0,440	1,143
10.	10	283,5	51,5	0,455	1,182
11.	15	261,5	73,5	0,493	1,281
12.	20	241	94	0,535	1,390
13.	25	220	115	0,586	1,523
14.	30	200	135	0,645	1,675
15.	40	163	172	0,791	2,055
16.	50	132	203	0,977	2,538
17.	60	115,5	219,5	1,117	2,900
18.	80	108,5	226,5	1,189	3,088
19.	100	105	230	1,228	3,190
20.	150	99	236	1,303	3,384
21.	200	96	239	1,343	3,490
22.	250	94	241	1,372	3,564
23.	300	93,5	241,5	1,379	3,583
24.	400	93	242	1,387	3,602
25.	500	92,8	242,2	1,390	3,610
26.	1200	92,5	242,5	1,394	3,622
27.	2000	92,5	242,5	1,394	3,622

Поред тога, концентрација чврстих честица (C_k) у делу запремине коју заузима згуснута пулпа након времена t , одређена је на основу обрасца:

$$C_k = C_0 \frac{H_0}{H} \left[\frac{t}{m^3} \right]$$

где је:

H_0 – почетна висина пулпе у мензур-
и, mm;
 H – висина стуба згуснуте пулпе на-
кон времена t , mm.

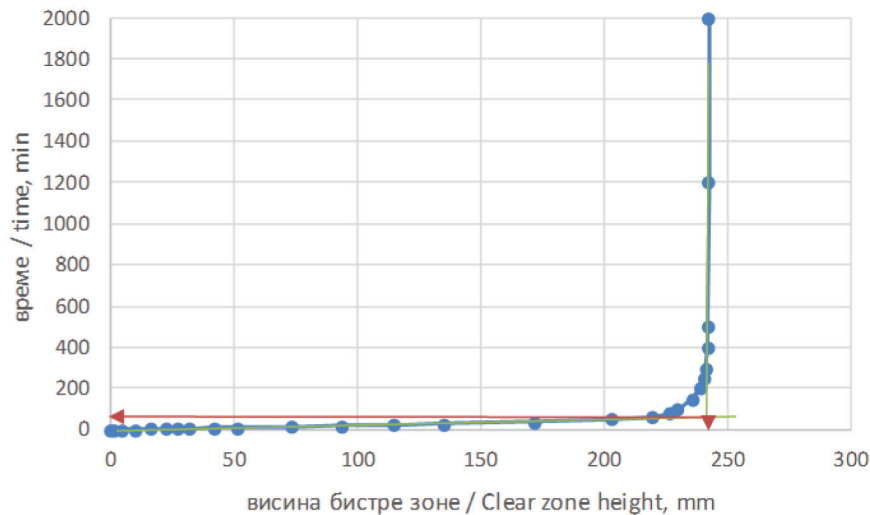
Да би се утврдила средња брзина таложења честица концентрата бакра, зависност између висине бистре зоне и времена таложења кон-
центрата приказана је графички (слика 4).

In addition, the concentration of solid particles (C_k) in the part of the volume taken by the thickened pulp after time t , is determined on the basis of the equation:

where:

H_0 – initial height of pulp in the gradu-
ated cylinder, mm;
 H – height of column of thickened pulp
after time t , mm.

To determine the mean rate of concentrate particles sedimentation, the dependence be-
tween the clear zone and the concentrate sedi-
mentation time is shown graphically (Figure 4).



Слика 4, Седиментационна крива узорка дефинитивној концентрати бакра
Figure 4, Sedimentation curve of the final copper concentrate sample

За одређивање брзине таложења изабрана је метода проф. Митрофанова. У тачки пресе-
ка правих које карактеришу зону таложења
и зону компресије (на слици 4 ове праве су
означене зеленом бојом) очитане су одгова-
рајуће вредности висине бистре зоне и време-
на таложења концентрата. На бази ових пода-
така, средња брзина таложења (v) износи:

The method of prof. Mitrofanov was chosen for
sedimentation rate determination. At the point of
intersection of the straight lines characterizing the
sedimentation and compression zones (in Figure
4 these lines are colored green), the corresponding
values of the clear zone height and concentrate
sedimentation time can be read. On the basis of
this data, the mean sedimentation rate (v) is:

$$v = \frac{H_1}{t_1} = \frac{0,2419}{0,8412} = 0,27 \frac{m}{h}$$

где је:

H_1 – висина бистре зоне очитана са
седиментационе криве, m;
 t_1 – време које одговара висини H_1 , h.

where:

H_1 – height of the clear zone, read from
the sedimentation curve, m;
 t_1 – time corresponding to height H_1 , h.

Након утврђивања средње брзине таложења, могуће је одредити специфичну површину згушњавања (s) на основу израза:

$$s = \frac{C_z - C_0}{C_z \cdot C_0 \cdot v} = \frac{0,925 - 0,385}{0,925 \cdot 0,385 \cdot 0,27} = 5,605 \frac{\text{m}^2}{\text{t/h}}$$

где је:

C_z – завршна концентрација честица концентрата која одговара садржају чврстог у згуснутој пулпи од 55%. Овај садржај чврстог изабран је на основу података из индустријске праксе у погонима РТБ Бор.

After determining the mean sedimentation rate, it is possible to define required surface area for thickening (s) based on the expression:

where:

C_z – final concentration of particles corresponding to the solid content of 55% in the thickened pulp. This solid content has been chosen on the basis of data from industry practice in MSC Bor plants.

Добијени резултати указују на то да се концентрат бакра таложи повољном брзином и има релативно малу потребну специфичну површину згушњавања при задатим условима. Наиме, кроз индустријску праксу у погонима РТБ Бор, при овим условима, оствариване су нешто веће вредности специфичних површина згушњавања [6].

The obtained results indicate that the copper concentrate is sedimented at a favorable rate and has a relatively low required surface area for thickening under the given conditions. Namely, considering the industrial practice in MSC Bor plants, somewhat higher values of surface area for thickening were achieved under these conditions [6].

ЗАКЉУЧАК

За одређивање релевантних индикатора процеса згушњавања концентрата бакра рудног лежишта Борска река извршена су испитивања у лабораторијским условима методом таложења у мензури. Концентрат бакра је добијен оптималним технолошким процесом, а анализом гранулометријског састава утврђено је значајно присуство класа испод 20 μm .

Резултати добијени методом таложења у мензури показују повољну средњу брзину таложења од 0,27 m/h што захтева релативно малу потребну специфичну површину згушњавања од 5,605 m²/t/h. Вредности које су добијене се односе на густину улазне пулпе од 1,284 t/m³ и садржај чврсте фазе у згустутом производу од 55%.

ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је настао као резултат Пројекта ТР33007 “Имплементација савремених техничко-технолошких и еколошких решења у постојећим производним системима РББ и

CONCLUSION

To determine relevant indicators of the thickening process of copper concentrate from the “Borska Reka” deposit, tests were carried out in laboratory conditions using the graduated cylinder sedimentation method. The copper concentrate was obtained using an optimal technological process, and the analysis of the granulometric composition determined the significant presence of classes below 20 μm .

The results obtained by the graduated cylinder sedimentation method show a favorable average sedimentation rate of 0.27 m/h, which requires a relatively small required specific densification surface area of 5.605 m²/t/h. The values obtained refer to an input pulp density of 1.284 t/m³ and a solids content in the thickened product of 55%.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is a result of the Projects No. TR 33007 “Implementation of the Modern Technical, Technological and Ecological Design Solutions in the Existing Production Systems of the Copper

РБМ” и Пројекта ТР34025 “Развој еколошких поступака третмана штетних материја применом ферата (ВИ) и електрохемијске оксидације или редукције” које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петровић Д., Сврkota И., Стојадиновић С., Милић В., Пантовић Р., Милићевић Ж.: Рудно тело «Борска Река», будућност експлоатације у Борској Јами, Подземни радови 21, 2012, стр. 1–7.
- [2] Милић В., Сврkota И., Петровић Д.: Фазно отварање рудног тела “Борска Река” (Phase development of the Borska Reka ore body), Рударски радови 1/2012, 2012, стр. 89–104.
- [3] Milić V., Svrkota I., Petrović D.: Analysis of current situation, possibilities and perspective of underground mining in Jama Bor. In: Proceedings of 43th International October Conference on Mining and Metallurgy 12–15 October, Kladovo, 2011, pp. 521–524.
- [4] Đurđevac Ignjatović Lj., Ignjatović D., Ljubojev M., Mitrović M.: Change the uniaxial compressive strength of paste backfill depending on change the parameters. Mining and Metallurgy Engineering Bor 1/2016, 2016, pp. 17–24.
- [5] Kržanović D., Ljubojev M., Jovanović I., Vušović N.: An analysis the effects of changes in price of metal and operating costs to the profit in exploitation the copper ore deposits, a case study: Copper mine Majdanpek, Serbia. Mining and Metallurgy Engineering Bor 3-4/2017, 2017, pp. 51–58.
- [6] Магдалиновић Н., Митровић З., Профиро-вић С., Кржановић С.: Верификација процеса одводњавања концентрата бакра и пирита у флотацијама Бора и Великог Кривеља, Архива ИРМ Бор, 1985, 27 стр.

Mine Bor and Copper Mine Majdanpek” and No. 34025: “Development of Environmentally Friendly Methods for Treatment of Harmful Substances using Ferrate(VI) and Electrochemical Oxidation or Reduction”, funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

LITERATURE

- [1] Petrović D., Svrkota I., Stojadinović S., Milić V., Pantović R., Milićević Ž.: Rudno telo “Borska Reka”, budućnost eksploatacije u Borskoj Jami, Podzemni radovi 21, 2012, pp. 1–7 (In Serbian).
- [2] Milić V., Svrkota I., Petrović D.: Fazno otvaranje rudnog tela “Borska Reka” (Phase development of the Borska Reka ore body), Rudarski radovi 1/2012, 2012, pp. 89–104 (In Serbian).
- [3] Milić V., Svrkota I., Petrović D.: Analysis of current situation, possibilities and perspective of underground mining in Jama Bor. In: Proceedings of 43th International October Conference on Mining and Metallurgy 12–15 October, Kladovo, 2011, pp. 521–524.
- [4] Đurđevac Ignjatović Lj., Ignjatović D., Ljubojev M., Mitrović M.: Change the uniaxial compressive strength of paste backfill depending on change the parameters. Mining and Metallurgy Engineering Bor 1/2016, 2016, pp. 17–24.
- [5] Kržanović D., Ljubojev M., Jovanović I., Vušović N.: An analysis the effects of changes in price of metal and operating costs to the profit in exploitation the copper ore deposits, a case study: Copper mine Majdanpek, Serbia. Mining and Metallurgy Engineering Bor 3-4/2017, 2017, pp. 51–58.
- [6] Magdalinović N., Mitrović Z., Profirović S., Kržanović S.: Verifikacija procesa odvodnjavanja koncentrata bakra i pirita u flotacijama Bora i Velikog Krivelja, Arhiva IRM Bor, 1985, 27 str. (In Serbian).