

## РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ

UDK 669.33.054:622.271.4(497.11)

*Научни рад*

---

Технички факултет у Бору Универзитета у Београду, В. Ј. 12, 19210 Бор, Србија  
Катедра за минералне и рециклажне технологије  
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

---

### ЗАЈЕДНИЧКА ПРЕРАДА ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ И СТАРЕ ФЛОТАЦИЈСКЕ ЈАЛОВИНЕ РБ БОР

### MUTUAL PROCESSING OF SMELTING SLAG AND OLD FLOTATION TAILING OF RB BOR

**Родољуб Станојловић<sup>#</sup>, Јовица Соколовић, Зоран Штирбановић,  
Александар Миленковић**

Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду, В. Ј. 12, 19210 Бор, Србија

---

#### ИЗВОД

Прерада сировина у неадекватним технолошким процесима скопчана је са мањим или већим техничким и технолошким проблемима. Сходно томе, прерада топионичке шљаке у адаптираном, старом погону за прераду руде бакра двоструко упућује на многе недостатке. Проблеме у ефикасности самог технолошког процеса прераде треба очекивати, како због застарелости и техничке неисправности опреме, тако и због чињенице да се топионичка шљака по својим карактеристикама веома разликује од примарне руде бакра.

Значајно мања стабилност пулпе у процесу прераде топионичке шљаке проузрокована првенствено већом густином чврсте фазе, као и недостатком финих честица, алумосиликата, у истој, условила су смањење ефикасности процеса млевења и класирања, као и смањење искоришћења корисних компоненти у процесу флотирања.

Покушај да се ова, за процес млевења и класирања, а посебно за процес флотацијске концентрације, негативна појава превазиђе додавањем флотацијске јаловине у процесу прераде топионичке шљаке, дао је позитивне резултате. Лабораторијски опити флотирања мешавине топионичке шљаке и старе флотацијске јаловине у односу 90% : 10%, у односу на опите флотирања само топионичке шљаке, дали су веће искоришћење бакра за око 17%.

Као и топионичка шљака, и флотацијска јаловина представља техногени отпад са значајним садржајем бакра који се у процесу флотирања делимично валоризује, па тиме предложени технолошки процес поред двоструког економског има и еколошки значај.

**Кључне речи:** бакар, топионичка шљака, флотацијска јаловина, млевење, флотација

#### ABSTRACT

Reprocessing of raw materials in not adequate, adapted technological process is connected with bigger or smaller technical and technological problems. Refinement of smelting slag in adapted plant for copper enrichment has as well a lot of disadvantages. Problems regarding efficiency of the technological process should be expected because equipment is old, and also because smelting slag has characteristics different from characteristics of copper ore.

Reduced pulp stability in process of treating smelting slag, caused by high density of solid phase and a lack of fine particles, aluminosilicates, influenced that efficiency of grinding and classification processes is low, as well as recovery rate of useful components in flotation process.

Effort to avert this anomaly in process of grinding and classification and especially in flotation concentration with addition of flotation tailing in the pulp gave same positive results. Laboratory flotation tests of smelting slag and old flotation tailing mixture in 90% : 10% ratio gave 17% higher copper recovery rate, compared to flotation tests only with slag.

Flotation tailing, as well as smelting slag, represent technogeny waste material with considerable content of copper which is in proposed process possible to valorise, with that proposed technology beside double economical has as well ecological importance.

**Key words:** copper, smelting slag, flotation tailing, grinding, flotation

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: [rstanojlovic@tf.bor.ac.yu](mailto:rstanojlovic@tf.bor.ac.yu)

## **УВОД**

РТБ Бор располаже великим бројем техногених отпадних сировина од којих неке истовремено представљају и значајне сировинске ресурсе и велике загађиваче животне средине.

Топионичка шљака, техногени отпад процеса топљења концентрата бакра, депонована у непосредној близини прерађивачких капацитета, у маси од око 16–18 милиона тона, као и свакодневним настајањем у маси од 700–1000 тона у зависности од капацитета прераде у топионици бакра, са средњим садржајем бакра од око 0,75%, значајан је сировински потенцијал и загађивач животне средине.

Флотацијска јаловина старог флотацијског јаловишта, поред тога што представља перманентног загађивача земљишта, воде и ваздуха, садржи и значајне количине корисних компоненти, пре свих бакра и племенитих метала. Маса јаловине старог флотацијског јаловишта процењује се на око 27 милиона тона, са средњим садржајем бакра од око 0,2–0,4%, што значи да се у истом налази око 50–100 хиљада тона бакра.

Овој констатацији треба додати чињеницу да је материјал флотацијског јаловишта скоро оптимално уситњен, што значи да се његовом евентуалном прерадом скоро у потпуности елиминишу највећи трошкови процеса

припреме и концентрације тј. они који се односе на уситњавање сировине.

Истраживања могућности валоризације бакра из једне и друге техногене отпадне сировине показала су позитивне резултате, с тим што се топионичка шљака тренутно и индустријски прерађује са незадовољавајућим технолошким показатељима процеса, како у погледу искоришћења основне корисне компоненте, бакра, које се креће око 50%, тако и квалитета добијеног концентрата са 14% Cu.

Један од најзначајнијих технолошких параметара који негативно утиче на технолошке показатеље флотацијске концентрације бакра из топионичке шљаке, односи се на малу стабилност пулпе, односно, брзу седиментацију честица шљаке условљену повећаном густином истих и малим вискозитетом пулпе због недостатка најситнијих честица алумосиликата.

Предметна истраживања имају за циљ да се у процесу редовне прераде топионичке шљаке у млину са куглама континуирано дозира одређена количина флотацијске јаловине која би се у њему доуситнила и својим строго дефинисаним учешћем, сходно физичко-хемијским карактеристикама, поправила недостајући квалитет стабилности флотацијске пулпе.

## **ГРАНУЛОМЕТРИЈСКИ И ХЕМИЈСКИ САСТАВ ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ И ЈАЛОВИНЕ СА СТАРОГ ФЛОТАЦИЈСКОГ ЈАЛОВИШТА**

Крајњи циљ истраживања је индустријска реализација заједничке прераде топионичке шљаке и јаловине старог флотацијског јаловишта, на начин, да се производу млевења топионичке шљаке млина са шипкама, додаје одређена количина флотацијске јаловине и

заједнички третира у млину са куглама. Гранулометријске и хемијске карактеристике шљаке односе се на производ њеног млевења у млину са шипкама, а исте карактеристике флотацијске јаловине, односе се на узорак јаловине са старог флотацијског јаловишта.

У табелама 1 и 2 дати су гранулометријски састави наведених техногених отпадних сировина као и садржаји основне корисне компоненте бабра, у карактеристичним

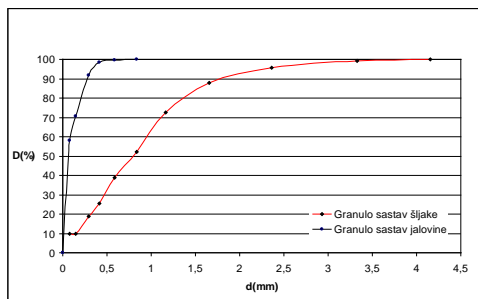
класама крупноће, а на слици 1 приказани су дијаграми гранулометријског састава истих сировина.

**Табела 1.** Гранулометријски састав улазне сировине (шљаке из млина са шипкама)

Класа крупноће d(mm)	Маса m(%)	Кумулатив D	Садржај (%)			
			Cu	S	Cu-ox.	Cu-sulf.
-4.156+3.327	0.91	100	0.59	0.30	0.034	0.55
-3.327+2.362	3.28	99.09				
-2.362+1.651	8.08	95.81				
-1.651+1.168	15.44	87.73				
-1.168+0.833	20.25	72.39				
-0.833+0.589	13.63	52.04				
-0.589+0.417	12.78	38.78				
-0.417+0.295	6.94	25.63				
-0.295-0.149	8.80	18.69				
-0.149+0.074	0.16	9.89				
-0.074+0	9.63	9.63	0.94	0.48	0.019	0.92
Σ	100,00	100,00	0,56	0,40	0,025	0,535

**Табела 2.** Гранулометријски састав улазне сировине (јаловина)

Класа крупноће d (mm)	Маса m (%)	Кумулатив D	Садржај (%)			
			Cu	S	Cu-ox.	Cu-sulf.
+0,589	0,244	100	0,20	7,42	0,005	0,195
-0,589+0,417	1,412	99,756				
-0,417+0,295	6,544	98,344				
-0,295+0,149	21,296	91,8				
-0,149+0,074	14,336	77,464				
-0,074+0	56,168	56,168	0,30	8,06	0,098	0,202
Σ	100,00	100,00	0,22	8,81	0,016	0,204



**Слика 1.** Гранулометријски састав шљаке и флотацијске јаловине

Резултати испитивања показују повећану концентрацију бабра у референтној класи крупноће – 74  $\mu\text{m}$ , као и релативно низак садржај оксидног бабра у обе испитиване сировине.

Посебно истичемо различит гранулометријски састав појединих техногених сировина, са акцентом на садржај обрачунске класе крупноће – 74  $\mu\text{m}$  у истим.

Ова чињеница указује на значај дефинисања кинетике процеса млевења у млину са куглама основне сировине у преради топионичке шљаке, као и одређивање

оптималног учешћа флотацијске јаловине имајући у виду њену улогу у процесу флотирања.

### **КИНЕТИКЕ МЛЕВЕЊА ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ И ЈАЛОВИНЕ СТАРОГ ФЛОТАЦИЈСКОГ ЈАЛОВИШТА**

Као показатељ ослобођености у процесу млевења топионичке шљаке, за лабораторијска испитивања ради упоредних сагледавања индустријских и лабораторијских показатеља процеса, усвојили смо индустријску вредност учешћа обрачунске класе – 74  $\mu\text{m}$ , од 60%.

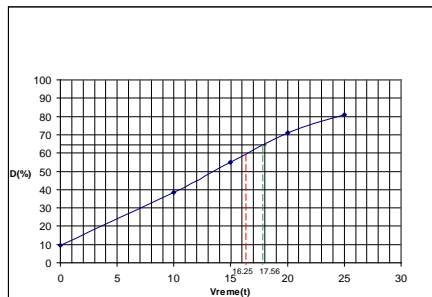
Кинетике процеса млевења у млину са куглама испитиваних техногених сировина приказане су дијаграмима на сликама 2 и 3.

Сасвим очекивано, резултати испитивања показују да се топионичка шљака, као производ млина са шипкама, за око 16,25 минута уситњава до захтеване крупноће, односно дефинисаног учешћа обрачунске класе крупноће – 74  $\mu\text{m}$ , док је време за остваривање истог показатеља млевења за

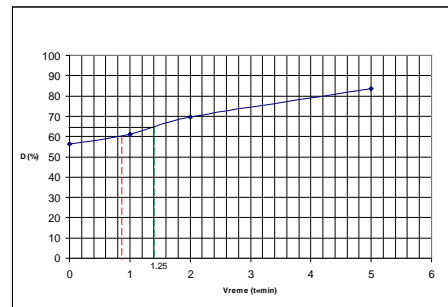
флотацијску јаловину знатно краће и износи 0,55 мин.

Сходно резултатима испитивања, имајући у виду и делимичну промену кинетике млевења јаловине у интегралном узорку као и предходно одређену улогу флотацијске јаловине у процесу прераде топионичке шљаке, приступило се даљим истраживањима.

Кључна испитивања која представљају основни циљ рада су опити флотирања бакра из топионичке шљаке и композитних узорака шљаке и флотацијске јаловине, при истим условима, као и анализа добијених технолошких показатеља.



**Слика 2.** Кинетика млевења шљаке



**Слика 3.** Кинетика млевења флотацијске јаловине

### **ЛАБОРАТОРИЈСКИ ОПИТИ ФЛОТИРАЊА**

Претходна вишегодишња испитивања могућности примене флотацијске концентрације бакра из топионичке шљаке, резултирала

су дефинисањем оптималног режима процеса флотирања.

У оквиру ових испитивања, одлучили смо се за приказани режим основног флотирања, како за флотирање бабра из топионичке шљаке, тако и за флотирање бабра из композитног узорка шљаке и флотацијске јаловине у односу 90 : 10%.

Усвојени режим лабораторијских опита флотирања је:

- рН вредност  $\approx 12$ ,
- број обртаја ротора: 1600 о/min,
- пенушач: D-250 – 35 g/t,
- време кондиционирања:  $t_k = 10$  min,

- време флотирања:  $t_f = 20$  min,
- регулатор средине: CaO,
- количина ваздуха:  $q = 460$  l/min,
- врста реагенса: NaIPX – 60 g/t,
- запремина флотационе ћелије:  $V_{\text{fе}} = 2,6$  l.

У табелама 3 и 4 приказани су сводни резултати више опита флотирања бабра из појединих узорака, а на сликама 4 и 5 дијаграмима су приказане кинетике флотирања, како са аспекта искоришћења бабра, тако и квалитета добијених концентрата.

**Табела 3.** Резултати флотирања бабра из топионичке шљаке

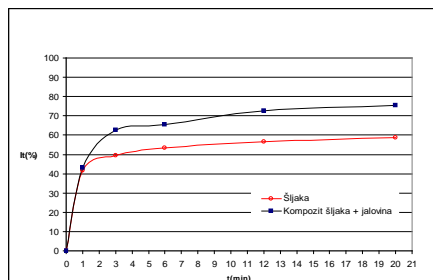
Производ	Маса		Садржај (%)			
	m(g)	m(%)	Cu	S	Cu-ox	Cu-sulf
K <sub>1</sub>	24.96	2.50	9.36	10.04	1.19	8.17
K <sub>2</sub>	10.30	1.03	4.12	2.07	0.43	3.69
K <sub>3</sub>	8.75	0.87	2.56	1.09	0.59	1.97
K <sub>4</sub>	10.61	1.06	1.83	0.60	0.43	1.4
K <sub>5</sub>	9.32	0.93	1.13	1.29	0.39	0.74
K	63.96	6.40	5.14	4.69	0.85	4.29
J	936.04	93.60	0.25	0.11	0.06	0.19
U	1000.00	100.00	0.56	0.4	0.025	0.53

$$It = \frac{K \cdot k}{U \cdot u} \cdot 100 = \frac{63.96 \cdot 5.14}{1000 \cdot 0.56} \cdot 100 = 58.71\% \quad ; \quad Im = 6.39\%$$

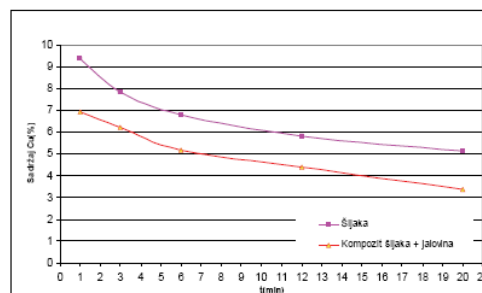
**Табела 4.** Резултати флотирања бабра из композитног узорка шљаке и јаловине

Производ	Маса		Садржај (%)			
	m (g)	m (%)	Cu	S	Cu-ox	Cu-sulf
K <sub>1</sub>	32,30	3,23	6,92	23,12	0,70	6,22
K <sub>2</sub>	20,32	2,03	5,07	5,36	0,72	4,35
K <sub>3</sub>	13,20	1,32	1,01	2,68	0,16	0,85
K <sub>4</sub>	20,10	2,01	1,86	1,69	0,22	1,64
K <sub>5</sub>	30,35	3,04	0,49	0,80	0,13	0,36
K	116,27	11,63	3,37	8,16	0,41	2,79
J	883,73	88,37	0,14	0,40	0,03	0,11
U	1000,00	100,00	0,52	1,24	0,024	0,49

$$It = \frac{K \cdot k}{U \cdot u} \cdot 100 = \frac{116.27 \cdot 3.37}{1000 \cdot 0.52} \cdot 100 = 75.38\% \quad ; \quad Im = 11.63\%$$



Слика 4. Кинетика флотирања бакра



Слика 5. Садржај бакра у концентрату у функцији времена флотирања

Упоредна анализа остварених технолошких резултата недвосмислено указује на позитиван ефекат присуства флотацијске јаловине у процесу флотирања бакра. Побољшањем карактеристика пулпе, посебно њене стабилности због учешћа финозрне

флотацијске јаловине, омогућено је ефикасније флотирање бакра из топионичке шљаке. Повећање искоришћења бакра у опитима флотирања композитних узорака за око 17% то, више него јасно, потврђује.

## ЗАКЉУЧАК

Вишегодишња лабораторијска и индустријска истраживања истих аутора на преради топионичке шљаке резултирала су констатацијом да топионичка шљака, због повећане густине и тврдоће, без присуства алумината, у процесу прераде формира нестабилну пулпу. Ова карактеристика пулпе, при преради топионичке шљаке у адаптираном погону, који је пројектован за прераду руде бакра, условљава низ негативних последица.

Најзначајније негативне последице прераде топионичке шљаке у неадекватним техничким и технолошким условима су повећана потрошња енергије, смањена ефикасност процеса млевења и класирања, као и незадовољавајуће искоришћење основне корисне компоненте бакра у процесу флотирања. Због застарелости и техничке неисправности постојеће основне процесне опреме у индустријском процесу флотирања, не постоји могућност њене значајније адаптације и прилагођавања новој врсти

сировине. Из тих разлога, аутори ових истраживања покушавају да нову сировину, топионичку шљаку, односно, пулпу исте, прилагоде постојећој процесној опреми. Резултати прелиминарних истраживања су изнад свих очекивања. Промена карактеристика пулпе, пре свега њене стабилности, условила је промену искоришћења бакра у основном флотирању за око 17%.

Значају ових истраживања треба додати и чињеницу да је побољшању технолошких а тиме и економских показатеља прераде значајног ресурса, техногене отпадне сировине, топионичке шљаке, допринела прерада и другог техногеног отпада, флотацијске јаловине, у којој се такође налази значајна количина бакра. Сходно томе, предложена технологија заједничке прераде два техногена отпада поред економског, има и еколошки значај. Студиознија истраживања и одговор на многа техничка и технолошка питања тек предстоје.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Stanojlović R., Marković Z. S., Sokolović J., Štirbanović Z., “Recycling of smelting slag in Bor Copper Mine”, 10<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing, Czech Republic, 2006
2. Станојловић Р., Богдановић Г., Соколовић Ј., Штирбановић З., „Могућност прераде техногене отпадне сировине – топионичке шљаке РБ-Бор без остатка”, Еколошка истина '06. Република Србија, 2006.
3. Станојловић Р., Штирбановић З., Соколовић Ј., „Прерада топионичке шљаке РБ-Бор у складу са основним интенцијама одрживог развоја“, 38<sup>th</sup> ЈОС, Лепенски Вир, 2006.
4. Станојловић Р., Богдановић Г., Соколовић Ј., Штирбановић З., „Могућност прераде техногене отпадне сировине-топионичке шљаке РБ-Бор без остатка“, Еколошка истина '06, Соко Бања, 2006.
5. Стевановић З., Обрадовић Љ., Милановић Д., „Могућности рециклаже отпадних материјала из процеса прераде минералних сировина у оквиру РТБ-а“, I СРТОР, Соко Бања, 2006.
6. Станојловић Р., Марковић З. С., Соколовић Ј., Штирбановић З., „Прерада техногеног отпада РТБ-а Бор“, Економски и еколошки допринос одрживом развоју, VII колоквијум о ПМС-у, Београд, 2006.
7. Миленковић А., „Истраживање могућности заједничке флотације топионичке шљаке и јаловине старог флотацијског јаловишта“, Бор, 2007.