

**РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ**  
**UDK**  
*Научни рад*

---

Технички факултет у Бору – Универзитет 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

---

**ПРИМЕНА НОВЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ФУНКЦИЈИ ОДРЖИВЕ ПРЕРАДЕ  
ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ РТВ-А БОР**

**APPLICATION OF NEW TECHNOLOGY IN TERMS OF SUSTAINABLE PROCESSING  
OF SMELTING SLAG FROM RTV BOR**

**Родољуб Станојловић<sup>#</sup>, Зоран Штирбановић, Јовица Соколовић**  
Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду, ВЈ 12, 19210 Бор

---

**ИЗВОД**

У раду су приказани резултати снимања индустријског процеса прераде топионичке шљаке РТВ-а Бор. Снимање је вршено у дужем временском интервалу, а снимљени су технолошки показатељи најзначајнијих фаза технолошког процеса, дробљење, мљење, класификација и флотирање.

На основу технолошких показатеља, може се констатовати, да ниједна фаза процеса не ради са задовољавајућом ефикасношћу, и да је неопходна оптимизација процеса уколико се жели одржива, економски профитабилна прерада ове техногене отпадне сировине.

Неспорна је чињеница, да се хетерогена, комплексна, техногена отпадна сировина, топионичка шљака, не може оптимално прерађивати у ремонтваном и адаптираном постројењу за прераду руде бакра.

Поред техничких недостатака и високог степена амортизације, постојећег постројења, проблем у ефикасној преради шљаке представља и технолошка неадекватност процеса због велике разлике како у физичким тако и хемијским и минералним карактеристикама шљаке у односу на исте карактеристике руде бакра.

Сходно дугогодишњем бављењу истраживањима оптимизације процеса прераде топионичке шљаке, на основу досадашњег теоретског знања и практичних, лабораторијских и индустријских искустава, у раду предлажемо, оригиналну, нову шему технолошког процеса прераде ове техногене сировине, из економских разлога, прилагођену постојећем технолошком процесу и постојећој процесној опреми.

**Кључне речи:** топионичка шљака, снимање процеса, дробљење, мљење, класификација, флотирање, нова технологија.

**ABSTRACT**

In this paper, results of observing industrial process for smelting slag processing in RTV Bor are given. The observing was done in a long period of time, and the technological indicators of the most important phases of process such as: crushing, grinding, classification and flotation, were observed.

On the basis of technological indicators, it can be determined that all of process phases are not working with a satisfactory efficiency, and that it is necessary to optimize the process, in order to provide sustainable, economically profitable treatment of this waste material.

It is certain that, heterogeneous, complex and technogenous waste material, such as smelting slag, can't be optimally processed in repaired and adapted facilities for processing copper ore.

Beside technical deficiency and high-grade amortization of existent facilities, problem for efficient smelting slag processing represents technological inadequacy of process because physical as well as chemical and mineralogical characteristics of slag and copper ore are very different.

Due to long standing investigations for optimization of smelting slag processing, theoretical knowledge and practise, laboratory and industrial experience, in this paper we suggest an original, new scheme of technological process for processing this technogenous material, from economic cause, adaptive existent technological process and existent process equipment.

**Key words:** smelting slag, process observing, crushing, grinding, classification, flotation, new technology.

---

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

## УВОД

Прерада топионичке шљаке, техногене отпадне сировине, изражено хетерогеног састава, због стогодишњег периода настајања, при различитим технолошким условима и различитим сировинама које су се у топионицама прерађивале, представља изузетан технолошки проблем, а тиме и велики изазов истраживачима.

У раду је приказана постојећа шема индустријског процеса прераде топионичке шљаке, као и резултати снимања појединих фаза процеса.

Анализа неких од најзначајнијих индустријских технолошких показатеља процеса прераде топионичке шљаке недвосмислено указује на неефикасност најзначајнијих фаза

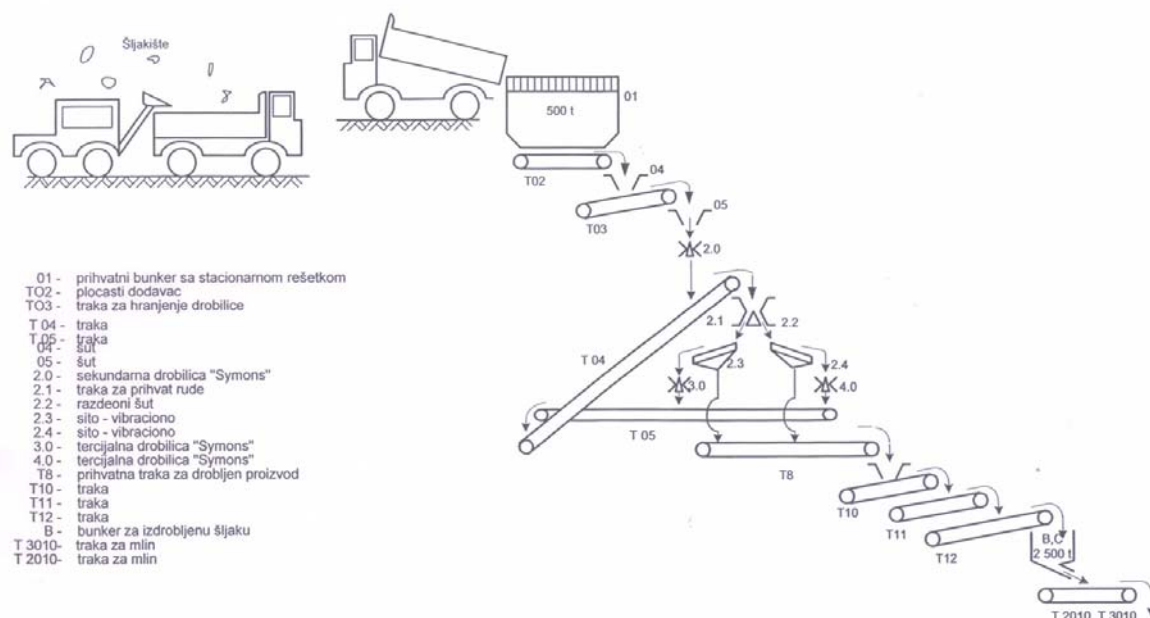
процеса прераде, уситњавања, класификације и флотирања, што упућује на потребу струдиозног истраживања сваке од наведених технолошких фаза, са циљем укупног повећања економичности прераде овог техногеног отпада, односно значајног сировинског ресурса.

На основу добијених резултата снимања процеса, али и резултата многобројних истраживања могућности оптимизације процеса прераде топионичке шљаке у раду је дат предлог, нове, оригиналне шеме технолошког процеса прераде ове техногене сировине која је прилагођена постојећем технолошком процесу и постојећој процесној опреми.

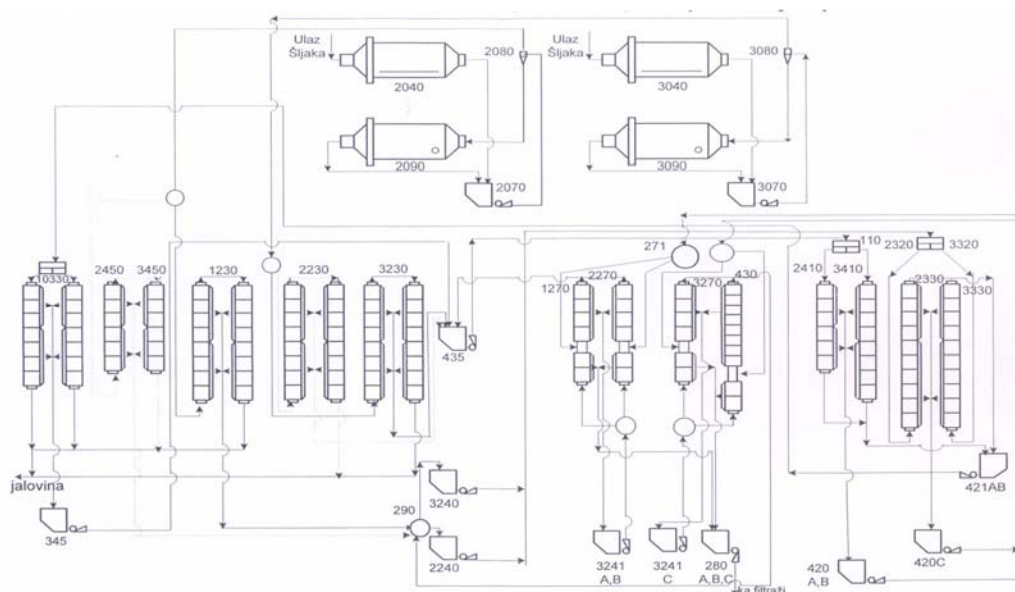
## ШЕМЕ ИНДУСТРИЈСКОГ ПРОЦЕСА ПРАДЕ ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ

На слици 1. је приказана технолошка шема процеса дробљења топионичке шљаке

у РТБ Бор, а на слици 2. технолошка шема процеса мљења и флотирања.



Слика 1. Технолошка шема транспорта и дробљења шљаке пламене пећи у погону Флотације Бор



Слика 2. Технолошка шема млевења и флотирања шљаке у погону Флотације Бор

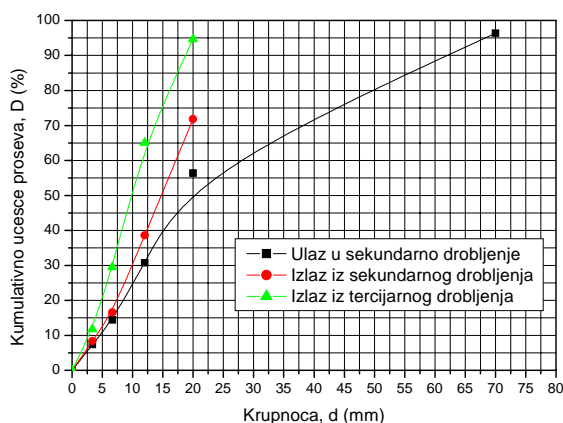
## РЕЗУЛТАТИ СНИМАЊА ПРОЦЕСА ДРОБЉЕЊА

Дробљење топионичке шљаке у индустријском процесу прераде врши се у два степена, секундарној и терцијарној конусној дробилици.

Снимањем капацитета дробљења, као и гранулометријских карактеристика улазне сировине и производа дробљења имали смо

за циљ дефинисање степена уситњавања у свакој од фаза дробљења, као и интегрални степен дробљења

На слици 3. приказане су криве гранулометријских састава улаза у процес дробљења, као и криве производа секундарног и терцијарног дробљења.



Слика 3. Криве гранулометријског састава улаза у дробљење и излаза из секундарног и терцијарног дробљења.

Степен уситњавања секундарног дробљења

$$n_{sd} = \frac{D_{80}}{d_{80}} = \frac{49,978}{21,657} = 2,308$$

Степен уситњавања терцијарног дробљења

$$n_{td} = \frac{D_{80}}{d_{80}} = \frac{21,657}{16,104} = 1,345$$

Укупни степен уситњавања у дробљењу

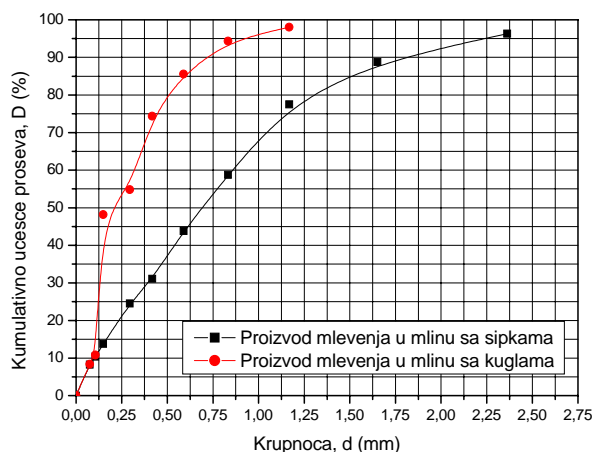
$$n_{uk} = \frac{D_{80}}{d_{80}} = \frac{49,978}{16,104} = 3,103$$

## РЕЗУЛТАТИ СНИМАЊА ПРОЦЕСА МЛЕВЕЊА

Млевење топионичке шљаке обавља се у два стадијума, млину са шипкама и млину са куглама. У намери да сагледамо ефикасност процеса млевења, како појединачно у млину са шипкама и млину са

куглама, тако и интегрално извршили смо снимање истог.

Гранулометријски састави производа млевења у млину са шипкама, као и производа млевења у млину са куглама, приказани су на слици 4.



Слика 4. Криве гранулометријског састава производа млевења у млину са шипкама и млину са куглама

Степен уситњавања у млину са шипкама

$$n_{ms} = \frac{D_{80}}{d_{80}} = \frac{16,104}{1,307} = 12,32$$

Степен уситњавања у млину са куглама

$$n_{mk} = \frac{D_{80}}{d_{80}} = \frac{0,624}{0,497} = 1,25$$

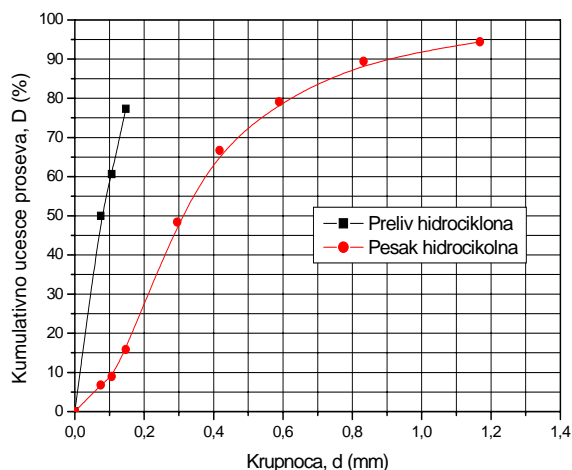
## РЕЗУЛТАТИ СНИМАЊА ПРОЦЕСА КЛАСИФИКАЦИЈЕ

Производи млевења млина са шипкама и млина са куглама, који ради у затвореном циклусу млевења и класификације, одлазе у процес циклонирања.

Снимањем ове фазе процеса, значајне како са економског тако и са технолошког

аспекта, имали смо за циљ дефинисање ефикасности процеса класификације.

Гранулометријски састави производа класификације приказани су на слици 5.



Слика 5. Криве гранулометријског састава производа класификације у хидроциклону

Циркулативна шаржа

$$C = 1380\%$$

Масено учешће прелива

$$\gamma_m = \frac{u - p}{m - p} 100 = 6,76\%$$

Ефикасност класификације

$$E = \frac{(u - p)(m - u)}{u(100 - u)(m - p)} 10^4 = 31,05\%$$

Искоришћење обрачунске класе крупноће у преливу

$$I_{-0,075} = \frac{m(u - p)}{u(m - p)} 100 = 34,80\%$$

## РЕЗУЛТАТИ СНИМАЊА ПРОЦЕСА ФЛОТАЦИЈСКЕ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ

Процес флотацијске концентрације топионичке шљаке одвија се кроз две фазе процеса, основно флотирање и тростепено пречишћавање. Технолошки показатељи

процеса флотирања, како у појединим фазама процеса, основном флотирању и свакој од три фазе пречишћавања, као и интегрално приказани су у табели 1.

**Табела 1.** Технолошки показатељи процеса флотирања

Фаза процеса флотирања	Садржај Cu (%)	Технолошко искоришћење $It_{Cu}$ (%)	Степен концентрације $\beta$
Улаз	0,66	100,00	1
Основно флотирање	3,83	40,85	5,80
Прво пречишћавање	4,61	95,61	1,44
Друго пречишћавање	5,89	68,82	1,42
Треће пречишћавање	9,45	75,07	1,60
Јаловина	0,42	61,91	/
Укупно	-	38,09	14,32

### ТЕХНИЧКО - ТЕХНОЛОШКИ ПРОБЛЕМИ ПОСТОЈЕЋЕГ ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА ПЕРЕРАДЕ ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ

Повећана отпорност према уситњавању  $W_i^s = 19,1 \text{ KWh/t}$  и  $W_i^k = 31,96 \text{ KWh/t}$ , у односу на руду бакра скоро два пута већа потрошња енергије, упућују на потребу оптимизације процеса уситњавања у свим фазама процеса дробљења и млевења. Потребно је подсетити на знатно већу ефикасност процеса дробљења у односу на процесе млевења, погодност шљаке као сировине, без присуства глине и алумината, за већи степен уситњавања у процесу дробљења, односно могућност обезбеђивања производа дробљења знатно мање горње граничне крупноће.

Мања стабилност и вискозитет пулпе, условљене повећаном густином чврсте фазе и недостатком алумината и алумосиликата у истој, појединачно, или заједно, веома негативно утичу на ефикасност најзначајнијих фаза процеса прераде топионичке шљаке, процесу млевења, класификације у хидроциклону и флотацијске концентрације минерала бакра и племенитих метала.

- У процесу млевења, због мале вискозности пулпе, не долази до оптималног облепљивања кугли материјалом чврсте фазе, што директно утиче на смањену ефикасност млевења, а тиме и на повећану потрошњу енергије и челика по јединици производа млевења.

- Смањена вискозност и стабилитет пулпе у процесу класификације у хидроциклону, условљава смањену ефикасност овог

технолошког процеса. Последица смањене ефикасности класификације је, да се довољно уситњене честице, за процес флотирања, уместо у прелив, дистрибуирају у песак хидроциклона, и непотребно поново враћају у процес млевења.

Ова појава директно утиче на повећану потрошњу енергије и челика у процесу млевења, смањује капацитет прераде сировине, а преуситњене честице корисних компоненти флотирају са мањом ефикасношћу, чиме директно условљавају смањено искоришћење истих.

- У процесу флотирања, један од најзначајнијих фактора ефикасности је одржавање пулпе у суспензионом стању у временском интервалу довољно дугом да честице корисних компоненти ефикасно флотирају. За случај пулпе мале вискозности и стабилитета, каква је пулпа формирана од топионичке шљаке, долази до брзе седиментације честица чврсте фазе, посебно оних са већим крупноћама и густинама, што доводи до смањене ефикасности процеса, односно пада искоришћења корисних компоненти.

- Неповољна структура са мањим хидрофобним површинама, већа густина честица, као и мања вискозност и стабилитет указују на потребу примене јачих колектора.

Велико присуство гвожђа у различитим хемијским и минералским формама,

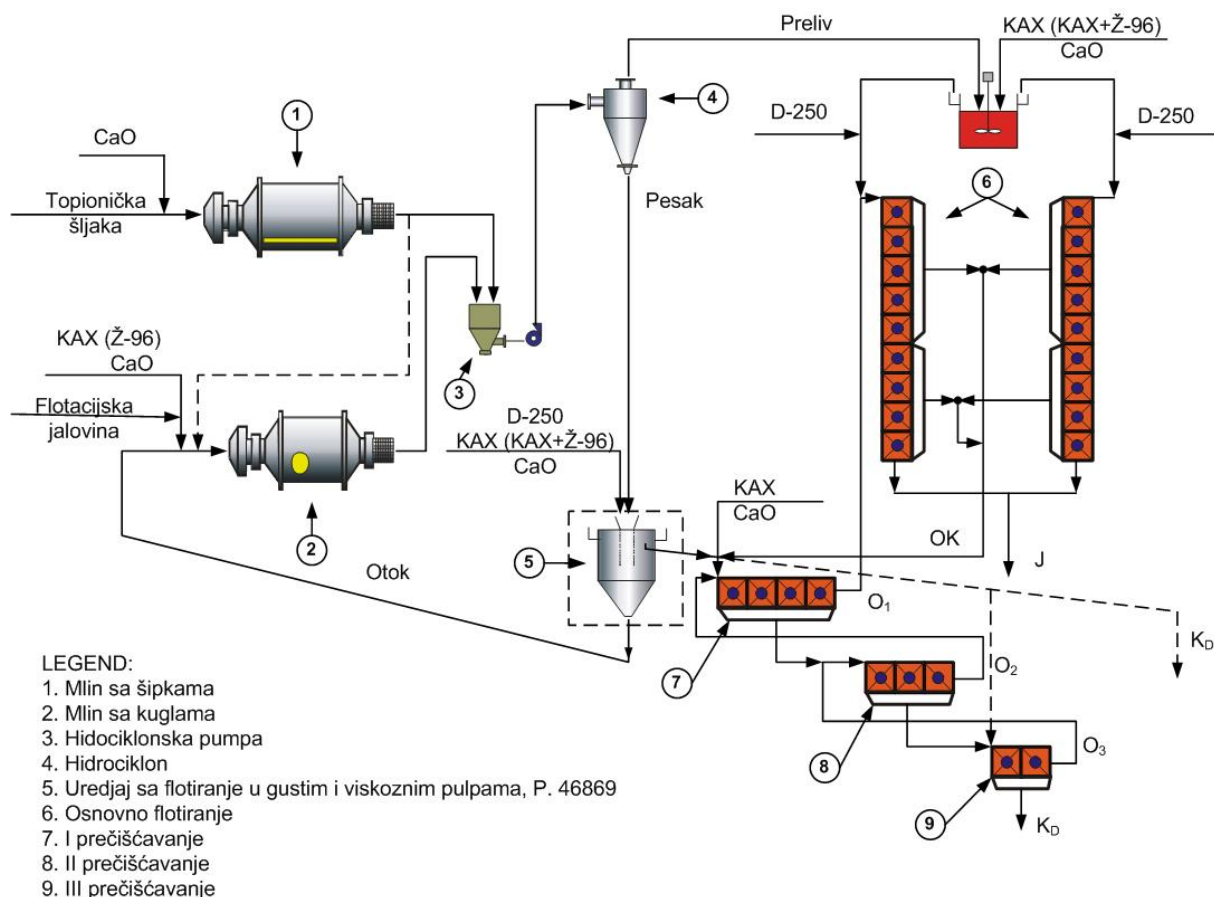
поспешује оксидацију, која се негативно одражава како на потрошњу челика у свим фазама мокрих процеса, тако и на смањење ефикасности флотирања корисних компоненти.

Напред наведени проблеми у индустријском процесу прераде топионичке шљаке су идентификовани, теоретски анализирани и експериментално потврђени.

Вишегодишњим истраживањима чији су резултати презентирани у истраживачким студијама, дипломским и магистраким тезама и многобројним научним и стручним радовима, дошли смо до сазнања о могућности усавршавања постојећег технолошког процеса прераде топионичке шљаке.

### ОРИГИНАЛНА, НОВА ШЕМА ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА ПРАДЕ ТОПИОНИЧКЕ ШЉАКЕ

Технолошка шема заједничке прераде топионичке шљаке и флотацијске јаловине приказана је на слици 1.



Слика 1. Технолошка шема заједничке прераде топионичке шљаке и флотацијске јаловине

## **ОБРАЗЛОЖЕЊЕ**

Првом значајном проблему у постојећем индустријском технолошком процесу прераде топионичке шљаке, оптимизацијом процеса уситњавања, нисмо се посебно бавили.

Сугестија истраживачима који ће се бавити овим проблемом је сагледавање могућности максималног смањења ГГК, производа дробљења. Тиме би се неопходан рад за процес уситњавања максимално пренео на ефикаснију фазу уситњавања, дробљење, мање ефикасан процес, млевење, растеретио, и тиме значајно учинила уштеда у највећем трошку прераде шљаке, потрошњи енергије.

Заједничка прерада топионичке шљаке и старе флотацијске јаловине има вишеструки значај. Због карактеристика флотацијске јаловине, мање густине чврсте фазе и присуства финозрних алумината и алумосиликата, у великој мери се решавају проблеми у свим фазама процеса прераде шљаке, који су проузроковани смањеном стабилношћу и вискозитетом пулпе.

Коришћење флотацијске јаловине, поред побољшања карактеристика пулпе, омогућава истовремено валоризацију корисних компоненти и из саме флотацијске јаловине.

## **ЗАХВАЛНОСТ**

Аутори се захваљују Министарству за науку и технолошки развој за финансијску

Садржај бакра и племенитих метала у старој флотацијској јаловини је сличан садржају истих корисних компоненти у примарним рудним сировинама.

Доградња и усавршавање постојећег технолошког процеса прераде топионичке шљаке, увођењем додатног флотирања песка хидроциклона у машини самици (P-br. 46869), има за циљ, да се флотирањем довољно уситњених честица из песка хидроциклона, спречи њихову дистрибуцију у млин са куглама и тиме у највећој мери онемогуће негативне последице, које смо предходно образлагали. Истраживања су показала, да се због мале ефикасности рада хидроциклона, већа маса готовог производа млевења дистрибуира у песку него преливу хидроциклона, тако да је примена машине самице за флотацију корисних компоненти из песка хидроциклона оправдана.

Избор режима флотирања и врсте реагенса су резултат како лабораторијских тако и индустријских истраживања. Истраживања су показала да су снажнији колектори у комбинацији са инхибитором корозије оптимално решење за флотирање корисних компоненти из топионичке шљаке.

подршку овог рада у оквиру пројекта ТР 17016.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Станојловић Р., Патент Но. 46869, „Уређај за флотацију у густим и вискозним пулпама“, 1990.
2. Stanojlović R., Marković Z.S., Sokolović J., Antić D., "Application of reagent Ž-96 in copper flotation from ores and slags in Smelting Plant Bor", Proceedings of 34th IOC, Bor, Yugoslavia, 2002, pp. 324-330.
3. Stanojlović R., Sokolović J., Antić D., "Techno - economic efficiency of copper slags processing technology", Proceedings 36th IOC, Donji Milanovac, 2004, pp. 627-633.
4. Stanojlović R., Marković Z., Sokolović J., "Copper flotation from hydrocyclone underflow – the significant improvement of technological parameters in copper slag



- processing", Proceedings of 37th IOC, Bor, Serbia and Montenegro, 2005, pp. 190-195.
5. Bogdanović G., Stanojlović R., Sokolović J., Strainović G., "Additional recovery of copper by leaching flotation tailings of smelting slag", Proceedings of 37th IOC, Bor, Serbia and Montenegro, 2005, pp. 248-255.
  6. Stanojlović R., Marković Z., Sokolović J., Štribanović Z., "Recycling of smelting slag in Bor Copper mine", 10th Conference on Environment and Mineral Processing, 22.6-24.6.2006, Ostrava, Czech Republic, 2006, pp. 11-15.
  7. Stanojlović R., Štribanović Z., Sokolović J., "Processing of smelting slag from Bor Copper Mine accorded with basic intentions of sustainable development", Proceedings of 38th IOC, Bor, Serbia, 2006, pp. 447-453.