

INFORMACIJE B

BROJ 46

RI

Dipl. ing. M. Grbović — dr ing. S. Puštrić — dipl. ing. M. Dinić — dipl. ing. Ž. Lazarević

**IZMENOM TEHNOLOGIJE U FLOTACIJI RUDNIKA BAKRA — BOR
MOGUĆE JE POSTIĆI KVALITETNIJE KONCENTRACIJE I
BOLJA ISKORIŠĆENJA BAKRA**

RUDARSKI INSTITUT · BEOGRAD 1966.

Izdavač
RUDARSKI INSTITUT — BEOGRAD

Glavni urednik
Prof. ing. Vladimir Buljan

Redakcioni odbor

Ahčan dr ing. Rudolf, Antić dipl. ing. Milan, Blažek dipl. ing. Aleksandar, Buljan prof. ing. Vladimir, Čolić dipl. ing. Dragomir, Draškić doc dr ing. Dragiša, Dular dipl. ing. Slavko, Gluščević prof. ing. Branko, Ivanović dipl. ekon. Kosta, Kun dipl. ing. Janoš, Lešić prof. dr ing. Đura, Makar dipl. ing. Milivoj, Malić prof. dr ing. Dragomir, Marković doc. dr ing. Stevan, Marunić dipl. ing. Đura, Milutinović prof. dipl. ekon. Velimir, Mitrović dipl. ing. Dragoljub, Mitrović dipl. ing. Mira, Novaković dipl. ing. Ljubomir, Obradović dipl. ing. Petar, Perišić dr ing. Mirko, Simonović dipl. ing. Momčilo, Spasojević dipl. ing. Borislav, Stojadinović prof. dr ing. Dragutin, Tomašić dr ing. Stjepan, Veličković prof. dr ing. Dušan, Vesović dipl. ing. Milan.

BROJ 46

Dipl. ing. M. Grbović — dr ing. S. Puštrić — dipl. ing. M. Dinić — dipl. ing. Ž. Lazarević

**IZMENOM TEHNOLOGIJE U FLOTACIJI RUDNIKA BAKRA — BOR
MOGUĆE JE POSTICI KVALITETNIJE KONCENTRACIJE I
BOLJA ISKORIŠĆENJA BAKRA**

BEOGRAD, 1966.

**IZMENOM TEHNOLOGIJE U FLOTACIJI RUDNIKA BAKRA -- BOR MOGUĆE JE POSTIĆI
KVALITETNIJE KONCENTRATE I BOLJA ISKORIŠĆENJA BAKRA**

U V O D

Priprema rude bakra Bor postupkom flotiranja vrši se već oko 35 godina pri čemu je sadržaj bakra u rudi stalno varirao (opadao) dok je šema tehnološkog procesa uglavnom ostajala nepromenjena. Smanjenjem sadržaja ukupnog bakra u rudi postepeno se povećavao udeo oksidnog bakra kao i udeo rastvornih sulfata koji su, kao što je poznato, imali negativan uticaj na klasičan postupak selektivnog flotiranja minerala bakra. Srastanje minerala bakra sa piritom i kvarcom je jako izraženo u borskoj rudi, te se usled toga vrlo oštro postavlja i rešenje problema otvaranja rude mlevenjem.

Prosečan bilans metala pre nekoliko godina u procesu flotiranja borske rude prikazan u tablici 1

Tablica 1

Bilans metala u flotaciji — Bor

Proizvod	T, %	Cu, %	Iskorišćenje, %
Ulaz	100,00	1,25	100,00
Koncentrat	6,70	15,0	80,00
Jalovina	93,30	0,27	20,00

Ovaj bilans metala bio je povod da se pristupi dubljem izučavanju flotiranja borske rude u cilju poboljšanja tehnologije i postizanja boljih tehnoloških rezultata. Ovo je od velikog značaja za našu zemlju, a posebno za Rudarsko-topioničarski bazen -- Bor, pa su savezni organi i Bazen „Bor“ zajednički i finansirali istraživanja koja su poverena Rudarskom institutu u Beogradu.

U toku svestranih ispitivanja od 1951. do 1965. god. učinjena su značajna zapažanja koja su ukazivala na elemente koji nepovoljno utiču na uspešnu koncentraciju minerala bakra i pirita iz borske rude, i na osnovu istih, u toku daljih ispitivanja, došlo se do jednog od rešenja, za tretiranje borske rude u cilju dobijanja kvalitetnijih koncentrata bakra i pirita iz rude.

**UZORAK RUDE BAKRA BOR NA KOME
SU VRŠENA ISPITIVANJA**

Uzorak rude bakra Bor, na kome su vršena ispitivanja, bio je zastupljen rudom iz svih rudnih tela, srazmerno postojećim rezervama i predstavljao je rudu koja se eksploatiše, dalje priprema i koncentriše u borskoj flotaciji u cilju dobijanja koncentrata bakra i koncentrata pirita.

Hemijska analiza izvršena na ispitivanom uzorku rude bakra — Bor, dala je sledeće rezultate:

Cu — oksidni	0,15%
Cu — sulfidni	1,20%
Cu — ukupni	1,35%
S — sulfidni	15,21%
S — ukupni	16,29%
Ag	2,00 g/t
Au	0,50 g/t
Fe	13,53%
SiO ₂	46,50%
Al ₂ O ₃	16,73%
CaO	0,97%
MgO	—

BaO	tragovi
SO ₄	3,24%
As	0,37%
Ge	tragovi
Rastvorljivo u vodi	1,23%

Mineraloškom analizom rude ispitivanog uzorka konstatovani su sledeći minerali:

Minerali bakra

Sulfidni minerali bakra

kovelin Cu S
 halkozin Cu₂S
 neodigenit Cu₂-8S
 enargit Cu₃As S₄
 halkopirit Cu Fe S₂
 bornit Cu₃ Fe S₃
 tetraedrit 4 Cu₂ S Sb S₃

Karbonati bakra

azurit 2 Cu CO₃ Cu (OH)₂
 malahit Cu CO₃ Cu (OH)₂

Sulfati bakra

halkantit Cu SO₄ · 5 H₂O
 bronšantit Cu SO₄ · 3 Cu (OH)₂

Oksidi bakra

kuprit Cu₂O
 tenorit Cu O

Silikat bakra

hrizokola Cu SiO₃ · n H₂O

Sulfidni mineral gvožđa

pirit Fe S₂

Minerali jalovine

kvarc	barit
kaolinit	gips
montmorionit	hlorit
sericit	kalcit
alunit	hornblenda
dijaspor	biotit
rutil	plagioklas
anhidrit	

Ovakva raznovrsnost minerala sa posebnim fizičkim karakteristikama i vrlo komplikovanim strukturno-teksturnim osobinama rude zahtevali su posebnu studiju optimalnog oslobađanja minerala bakra i piritu prirodne veze, za procese selektivnog flotiranja minerala bakra i piritu. Tom prilikom je ustanovljeno da je za uspešniju koncentraciju minerala bakra, postupkom selektivnog flotiranja, potrebno izvršiti dalekosežnije usitnjavanje rude, tj. rudu je potrebno samleti do finoće oko 80% — 0,074 mm. Mlevenjem rude do ovakve finoće dolazi do prekomernog usitnjavanja kako minerala bakra i piritu tako i nekorisnih jalovih minerala tj. do stvaranja mikronskih mineralnih čestica koje u pulpi obrazuju mulj i zahtevaju poseban tretman prilikom flotiranja.

Hemijskom analizom rastvora, dobijenog mešanjem određene količine rude i vode, dobijeni su sledeći rezultati:

Rastvorne soli — suvi ostatak na 180° C	3,015 mg/l
Cu	380,0 mg/l
Fe	64,2 mg/l
Mg	41,1 mg/l
CaO	478,8 mg/l
SiO ₂	46,4 mg/l
SO ₄ (ukupni)	1831,5 mg/l
SO ₂	nema
Al	21,6 mg/l

Prirodna vrednost rastvora pH = 4,8.

Na osnovu ove analize se vidi da u borskoj rudi postoje minerali koji se lako rastvaraju u vodi i kao takvi negativno utiču na proces flotiranja minerala bakra, a istovremeno predstavljaju i onaj deo metala bakra koji se gubi u jalovini.

REZULTATI TEHNOLOŠKIH ISPITIVANJA U CILJU ELIMINISANJA NEGATIVNOG UTICAJA MULJA I RASTVORNIH SOLI BAKRA I GVOŽĐA NA FLOTIRANJE RUDE BAKRA — BOR

U toku laboratorijskih ispitivanja rude bakra — Bor u cilju eliminisanja negativnog uticaja mulja i rastvornih soli bakra i gvožđa na proces selektivnog flotiranja te rude, vršeno je odmuljivanje samlevene rude u cilju dobijanja dva proizvoda: peska kao krupnijeg dela s jedne, i mulja kao sitnijeg dela s druge strane. Ovi proizvodi podvrgnuti su daljem tretiranju posebno, u cilju postizanja odgovarajućih kvaliteta koncentrata bakra i koncentrata piritu, uz što je moguće bolje iskorišćenje.

Odmuljivanje samlevene rude

Odmuljivanjem rude samlevene do finoće oko 80% — 0,074 mm, a koja je u vidu pulpe pomoću hidrociklona odvajaju se zrna raspona krupnoće od oko—20 mikrona, jalovih minerala, minerala bakra i pirita, iz krupnozrnog dela samlevene rude tj. peska hidrociklona. Odmuljivanjem dolazi i do koncentracije, u vodi rastvornih soli bakra i gvožđa, u mulju hidrociklona. Pri tome je potrebno da pulpa bude slabo alkalična tj. sa pH oko 8,0. Dobijeni proizvodi tj. pesak i mulj hidrociklona se zatim posebno tretiraju u cilju koncentracije bakra i pirita.

Našim laboratorijskim ispitivanjima odmuljivanja samlevene rude, kao i selektivnog flotiranja minerala bakra iz peska hidrociklona, došlo se do zaključka da su optimalni rezultati težinske raspodele rude i raspodele ukupnog i oksidnog bakra kao i raspodele sumpora oni koji su prikazani u tablici 2.

Tablica 2

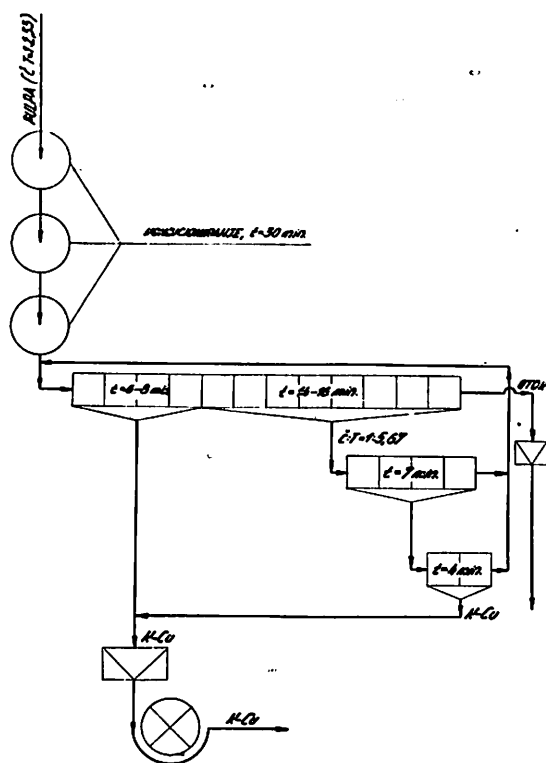
Raspodela bakra u proizvodima dobijenim pomoću hidrociklona

Proizvodi	Težinska raspodela	Sadržaji Cu %		Raspodela Cu %		Sadržaj S %	Raspodela S %
		ukupni	oksidni	ukupni	oksidni		
Ulaz	100,00.	1,26	0,13	100,00	100,00	15,63	100,00
Pesak	86,00	1,78	0,08	87,14	52,27	17,40	75,70
Mulj	14,00	1,16	0,45	12,86	47,73	4,80	4,30

Raspodela samlevene rude prilikom odmuljivanja, prikazana u tablici 2, rezultat je naših ispitivanja, koja su nas dovela do zaključka da je samlevenu rudu potrebno odmuljiti zbog negativnog uticaja mulja na proces hidrofobizacije površina minerala bakra u toku kolektiranja. Pri tome se vodilo računa da težinski udeo mulja bude sveden na onu minimalnu meru koja će obezbediti uspešno selektivno flotiranje minerala bakra iz odmuljenog peska u alkaličnoj sredini. Takođe se vodilo računa da prilikom odmuljivanja u mulju hidrociklona budu skoncentrisane u vodi rastvorne soli bakra i gvožđa, koje takođe imaju negativan uticaj na uspešno flotiranje minerala bakra.

Nastojanje da se težinski udeo mulja svede na minimalnu količinu je opravdano i zbog toga, što je tretiranje mulja, u cilju koncentracije bakra, znatno

skuplji i komplikovaniji proces od tretiranja odmuljenog peska, kao i zbog toga, što se na taj način omogućuje dobijanje kvalitetnije kaolinske materije iz mulja kao nusprodukata rude.



Sl. 1 — Tehnološka šema flotiranja minerala bakra iz odmuljenog peska.

Flotiranje minerala bakra na delu rude izdvojene hidrociklonom kao pesak

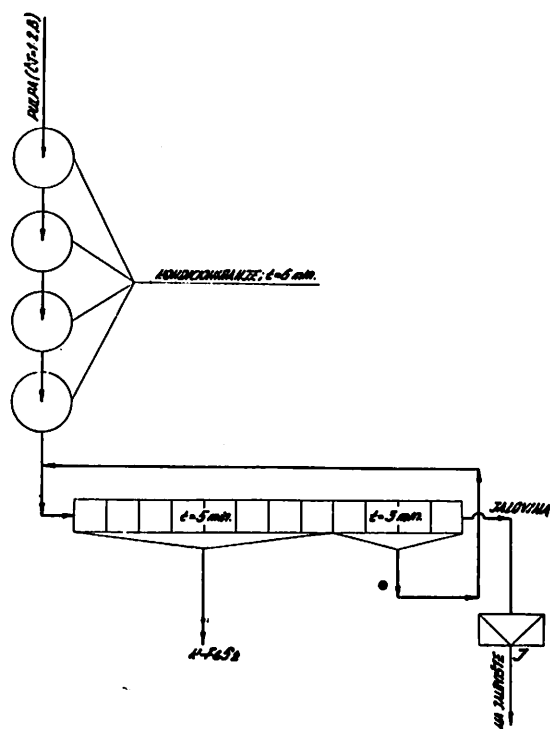
Tretiranjem peska hidrociklona, nakon odmuljivanja samlevene rude, postupkom selektivnog flotiranja minerala bakra u alkaličnoj sredini prema sl. 1 došlo se do zaključka da se najbolji rezultati flotiranja bakra iz peska postižu kada taj pesak težinski učestvuje sa oko 86% od ukupne rude.

Interpretacijom laboratorijskih rezultata flotiranja minerala bakra iz peska hidrociklona sačinjen je bilans metala bakra i vezanog sumpora, koji je prikazan u tablici 3.

Flotiranje minerala pirita iz jalovine selektivnog flotiranja minerala bakra iz peska hidrociklona

Nakon flotiranja minerala bakra iz peska hidrociklona vršeno je selektivno flotiranje minerala pirita u slabo alkaličnoj sredini pri pH = 8—9, prema tehnološkoj šemi na sl. 2.

Interpretacijom postignutih rezultata sačinjen je bilans koncentracije minerala pirita i prikazan u tablici 4.

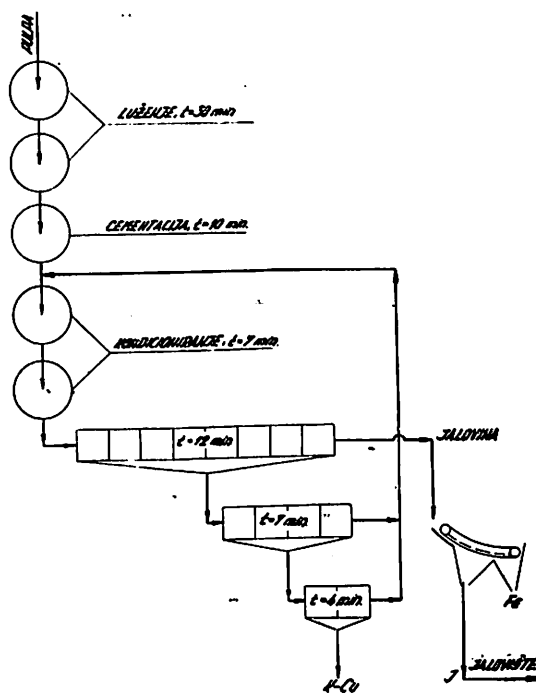


Sl. 2 — Tehnološka šema flotiranja minerala pirita.

Tretiranje mulja hidrociklona

Tretiranje mulja hidrociklona kombinovanim postupkom (luženje — cementacija — flotiranje) u kiselj sredini je vršeno sa ciljem da se postigne što veće iskorišćenje sulfidnog i oksidnog bakra iz ovog dela rude, kao i da se postignu što bolji kvaliteti koncentrata bakra.

Zadovoljavajući tehnološki rezultati na ovom delu rude postignuti su tretiranjem mulja prema tehnološkoj šemi na sl. 3.



Sl. 3 — Tehnološka šema tretiranja mulja.

Bilans metala bakra i vezanog sumpora iz dela rude izdvojene hidrociklonom kao pesak

Tablica 3

Proizvodi	T % na pesak	T % na rudu	Cu % ukupan	Cu % oksidni	S %	Raspodela %					
						ukupan bakar		oksidni bakar		vezani sumpor	
						parcijalno na rudu	na rudu	parcijalno na rudu	na rudu	parcijalno na rudu	na rudu
U	100,00	86,00	1,28	0,08	17,40	100,00	87,14	100,00	52,27	100,00	95,70
KCu	5,33	4,58	21,0	0,59	36,20	87,50	76,25	39,90	20,86	11,09	10,61
J	94,67	81,42	0,17	0,05	16,35	12,50	10,10	60,10	31,41	88,91	85,09

Tablica 4

Bilans vezanog sumpora iz dela rude „pesak hidro ciklona“

Proizvodi	T % na pesak	T % na rudu	S %	Cu % ukupan	Cu % oksidni	Raspodela %					
						Sumpor		Cu ukupni		Cu oksidni	
						parcijalno	na rudu	parcijalno	na rudu	parcijalno	na rudu
U	100,00	81,42	16,35	0,17	0,05	100,00	85,09	100,00	10,69	100,00	31,41
KFeS ₂	27,68	22,54	49,00	0,30	0,06	82,95	70,58	48,88	5,32	36,48	11,46
J	72,32	58,88	3,86	0,12	0,04	17,05	14,51	51,12	5,57	63,52	19,95

Tablica 5

Bilans metala bakra i vezanog sumpora iz dela rude „mulj hidro ciklona“

Proizvodi	T % na mulj	T % na rudu	Cu % ukupan	Cu % oksidni	S %	Iskorišćenje %					
						ukupan Cu		oksidni Cu		sumpor	
						parcijalno	na rudu	parcijalno	na rudu	parcijalno	na rudu
U	100,00	14,00	1,16	0,45	4,80	100,00	12,86	100,00	47,73	100,00	4,30
KCu	11,00	1,54	9,5	3,84	33,90	90,00	11,57	94,05	44,89	77,73	3,34
J	89,00	12,46	0,13	0,03	1,20	10,00	1,29	5,95	2,84	22,27	0,96

Interpretacijom postignutih rezultata tretiranja mulja ovim postupkom dobijen je bilans koncentracije bakra koji je prikazan u tablici 5.

Skupni bilans metala bakra i vezanog sumpora iz rude bakra — Bor postignut laboratorijskim ispitivanjima

Tretiranjem rude ispitivanog uzorka rude bakra „Bor“ postupkom odmuljivanja rude samlevene do finoće oko 80%—0,074 mm i posebnim tretiranjem odmuljenog peska postupkom selektivnog flotiranja minerala bakra a zatim minerala piritita, kao i posebnim tretiranjem mulja hidro ciklona kombinovanim postupkom (luženje — cementacija — flotiranje) postignuti su tehnološki rezultati prikazani u tablici 6.

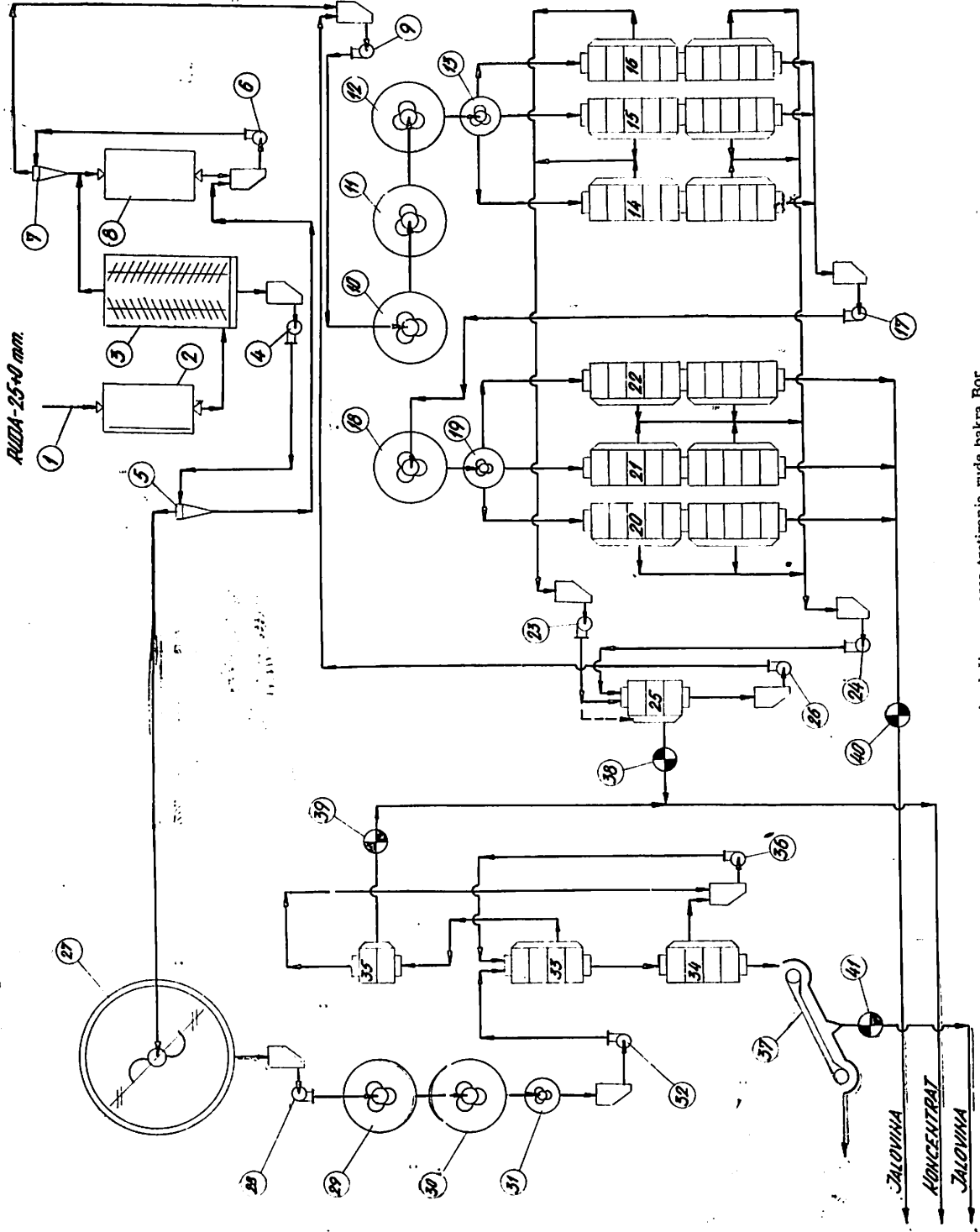
Tablica 6

Bilans metala

Proizvodi	T %	Cu %	S %	Raspodela	
				Cu	S
U	100,00	1,26	15,63	100,00	100,00
KCu	6,09	18,00	35,93	87,00	14,00
KFeS ₂	22,32	0,35	49,00	6,18	70,00
J	71,59	0,12	3,49	6,82	16,00

Rezultati postignuti višegodišnjim istraživanjem u Rudarskom institutu, na borskoj bakarnoj rudi, upoređeni sa tehnološkim rezultatima rada flotacije u Boru u toku više godina, ukazuju na vidan uspeh istraživanja, a što se vidi iz prikaza datog u tablici 7.

1. suva ruda —20 mm; 2. mlit sa šipkama tipa »Marcy«; 3. spiralni klasifikator tipa »Wilfley« 4''; 4. muljna pumpa »Wilfley« 4''; 5. baterija od 2 hidrociklona veličine 250 mm; 6. muljna pumpa »Wilfley« 8''; 7. baterija od 3 hidrociklona veličine 250 mm; 8. mlina sa kugla tipa »Marcy«; 9. mulj na pumpa »Wilfley« 8''; 10. kondicioner; 11. kondicioner; 12. kondicioner; 13. razdeljivač pulpe; 14. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 15. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 16. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 17. muljna pumpa »Wilfley« 8''; 18. kondicioner; 19. razdeljivač pulpe; 20. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 21. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 22. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 23. muljna pumpa »Wilfley« 3''; 24. muljna pumpa »Wilfley« 3''; 25. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 26. muljna pumpa »Wilfley« 4''; 27. zgušnjivač za mulj Ø 45 m; 28. muljna pumpa »Wilfley« 2''; 29. kondicioner—agitator 2696x3200 mm; 30. kondicioner — agitator 2696 x 3200 mm; 31. kondicioner — agitator 2000 x 2000 mm; 32. muljna pumpa »Wilfley« 3''; 33. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 34. flotaciona mašina »Fogergren« veličine 62'' x 62''; 36. muljna pumpa »Wilfley« 3''; 37. mokri magnetni separator »Dings« 600 mm; 38. automatski uzimač uzoraka; 39. ručni uzimač mač uzoraka; 40. automatski uzimač uzoraka; 41. ručni uzimač uzoraka.



Sl. 4 — Sema tehnološkog procesa tretiranja rude bakra Bor

Tablica 7

Upoređni bilansi metala

Proizvodi	Rezultati u pogonu	Postignuti rezultati našim ispitivanjima
Ulaz, % Cu	oko 1,25	1,26
Koncentrat, % Cu	oko 15,00	18,00
Iskorišćenje %	oko 80,00	87,00

Analizirajući prikazane rezultate mogu se učiniti sledeća zapažanja:

- procentualni sadržaj bakra u ulaznoj rudi je približno isti,
- kvalitet koncentrata bakra postignut našim ispitivanjima je za oko 3% veći u odnosu na pogonski,
- iskorišćenje bakra u koncentratu postignuto našim ispitivanjima je bolje za oko 7% u odnosu na iskorišćenje koje se postiže u pogonu.

Na sl. 4 prikazan je tehnološki proces koji treba da posluži kao osnova za rekonstrukciju flotacije u Boru. Osnovne karakteristike procesa su sledeće:

- dvostadijalnim mlevenjem i klasiranjem rude treba postići finoću mliva od oko 80% minus 0,074 mm, jer postojeća finoća mliva u pogonu od oko 70% minus 0,074 mm ne zadovoljava;
- u ciklusu mlevenja i klasiranja nužno je vršiti odmuljavanje rude. Ovim se postiže izdvajanje i koncentracija rastvornih soli bakra i gvožđa kao i raspadnutih aluminata u delu rude izdvojenom kao mulj u prelivu hidrociklona. Ovo je bitna karakteristika tehnološkog procesa;

— udeo rude izdvojen u procesu odmuljivanja kao pesak hidrociklona učestvuje težinski sa oko 85—90% u odnosu na ulaznu rudu. Udeo mulja izdvojenog u procesu odmuljivanja kao preliv hidrociklona učestvuje težinski sa oko 10—15% u odnosu na ulaznu rudu;

— u ciklusu flotiranja minerala bakra iz peska hidrociklona, u sredini pri pH oko 12, potrebno je da minimalno vreme flotiranja iznosi oko 25 min. U sadašnjem pogonu flotacije vreme flotiranja je kraće;

— deo rude izdvojen kao mulj najpre se luži uz dodatak sumporne kiseline (pri pH oko 2,0) a potom uz dodatak gvožđa u prahu vrši se cementacija bakra i na kraju flotira cementni bakar i minerali bakra;

— dodavanje reagensa u ciklusu mlevenja, kondicioniranja i flotiranja treba da bude postepeno, a vrsta reagensa strogo ograničena;

— za dobijanje kvalitetnog koncentrata bakra nužno je obezbediti dva stupnja prečišćavanja koncentrata;

— u cilju postizanja potrebnog kvaliteta koncentrata piriti potrebno je prečišćavanje grubog koncentrata piriti.

Na osnovu rezultata istraživanja a na zahtev Rudnika bakra — Bor, Rudarski institut je izradio „Tehnološki projekat rekonstrukcije i modernizacije flotacije u Boru” krajem 1965. godine i početkom 1966. godine izvršena je industrijska provera rezultata istraživanja i projektovanja i tom prilikom su isti i potvrđeni. Osnovni elementi tehnološkog projekta kao i postignuti rezultati njegovom proverom, na jednoj sekciji pogona flotacije — Bor, biće posebno publikovani.

Za vreme naših istraživanja nam je aktivno pomagao svojim savetima prof. dr ing. Đura Lešić, na čemu mu najlepše zahvaljujemo.

SUMMARY

Some Changes in the Technological Process of Copper Flotation Mill at Bor that make it Possible the improvement of the Quality and Recovery of Copper.

M. Grbović, min. eng. — dr S. Puštrić, min. eng. — M. Dinić, min. eng. — Ž. Lazarević, min. eng*)

The authors discuss the new method of copper ores treatment which consists of finer grinding and separation of grind ores by hydrocyclone in two parts: sands and slimes by division in +20 and -20 microns. The sands are floated for copper as usually, the slimes are subjected to LPE process (leaching, precipitation of cement copper, flotation of cement and sulphide copper). The laboratory study is verified by industrial process. The new process provides better quality of copper concentrate (18,00% Cu against earlier 15,00% and 87% recovery against 80%).

A detailed description of process is given in the study.

*) Dipl. ing. Miloljub Grbović, dipl. ing. Mira Dinić, dipl. ing. Živorad Lazarević, saradnici Zavoda za PMS Rudarskog instituta, Beograd i dr ing. Stevan Puštrić, asistent Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu.

