DRAGAN B. MILANOVIĆ[1]
ZORAN S. MARKOVIĆ[2]

[1]Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor
[2]Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor

NAUČNI RAD

UDK 622.765.06:544.6(497.11)

DOI: 10.2298/HEMIND0905377M

ZETA-POTENCIJAL I FLOTABILNOST MINERALA ŠELITA U RAZLIČITIM TIPOVIMA VODA
Deo 2. Flotabilnost

Cilj ovog rada je utvrđivanje flotabilnosti minerala šelita iz rudnika „Rudnik“, centralna Srbija. Izvedeni su mikroflotacijski ogledi upotrebom Halimondove ćelije na četiri različita tipa vode kao što su: pijaća voda, destilovana voda, kišnica i izvorska voda. Sve vode imaju različitu ukupnu tvrdoću i elektroprovodljivost, a takođe i različitu prirodnu pH vrednost. Nađeno je da flotabilnost minerala šelita zavisi od ukupne tvrdoće i elektroprovodljivosti izabranog tipa vode, a posebno od sadržaja Ca^{2+} u tim vodama. Takođe je nađeno da flotabilnost minerala šelita zavisi od korišćene uske klase krupnoće šelita u mikroflotacijskim eksperimentima u Halimondovoj ćeliji. Prikazani rezultati imaju važnu ulogu pri izboru optimalne vode za upotrebu, koja treba da poseduje najbolja svojstva i ostvaruje najbolje rezultate u flotacijskim eksperimentima. Izbor vode je podjednako važan kao što je važan i izbor reagensa koji se mogu koristiti u flotacijskom procesu za dobijanje optimalnih rezultata flotacijske koncen minerala šelita.

Volfram je strateški važan metal koji ima različitu industrijsku upotrebu. Volfram je uglavnom prisutan u formi njegovih minerala koji predstavljaju soli volframove kiseline. On je veoma slabo rasprostranjen u zemljinoj kori, svega 1×10^{-4}–6×10^{-4}% [1,2]. Važni volframovi minerali su šelit, $CaWO_4$ i wolframit, $(Fe,Mn)WO_4$ [3]. Volframove rude karakteriše kompleksni hemijski sastav i uglavnom niski sadržaj WO_3, od 0,1 do 0,2%, dok se rude sa sadržajem volframa od 0,5 do 2,0% WO_3 smatraju bogatim rudama. Od minerala volframa po flotabilnosti na prvom mestu se nalazi šelit, pa zatim volframit. Postupci tretiranja šelita obično su veoma efikasni (gravitacijska, flotacijska, elektrostatička koncentracija itd.), međutim, većinom se proizvode nisko-sadržajni koncentrati šelita sa sadržajem volframa 10−20% WO_3, a posebno kada se javi mineralizacija volframa u finoj disiminatnoj formi.

Opšti uslovi flotiranja oksidnih i nemetaličnih mineralnih sirovina, a koji nisu uobičajeni pri flotaciji sulfidnih minerala mogu se koristiti za flotaciju volframovih minerala. Glavne teoretske i praktične razlike između flotacije sulfidnih i nesulfidnih ruda pored ostalih su i te da je za nesulfidne rude uticaj kvaliteta vode na flotaciju veći nego za sulfidne rude.

U flotaciji nesulfidnih ruda korišćen je niz postupaka predtretiranja i prerade, koji su relativno retki u flotaciji sulfida. Takođe, upotreba različitih vrsta kolektora je značajna. Volframovi minerali se flotiraju masnim kiselinama i njihovim derivatima, estrima [4–7], i drugim kolektorima kao što su alkilsulfati i sulfonati, primarni amini [8–10], a takođe i sulfoksidi, alkilhidroksamati, IM–50, arsenska kiselina, fosfonska kiselina i naftoli, alkil nitrozo-naftoli, Aero 710, Aero 845 (alkil sulfosukcinamat) i Porocol SC 30 (alkilsulfosukcinat), kao i sa mnogim drugim reagensima [11–19].

Nastojanja da pronađemo radove o uticaju voda na flotaciju šelita (slika 1), ostala su bezuspešna. U nekim radovima i procedurama proizvođača reagenasa za flotaciju šelita samo se sugeriše upotreba meke vode ili omekšavanje vode pre flotacije [20–22]. Mogući razlozi za to su:

− kolektori, (masne kiseline itd.), koje se koriste u flotaciji šelita, mogu reagovati sa višeevalentnim katjonima, npr. katjonima kalcijuma, magnezijuma itd., stvarajući nerastvorna jedinjenja i tako trošeći kolektor,

− ova jedinjenja se mogu adsorbovati na površinama minerala smanjujući selektivnost flotacije,

− rastvorni joni u vodi mogu biti konkurenti jonima kolektora i adsorbovati se na površinama minerala i

− neke rastvorne vrste, naročito gvožđe, mogu se adsorbovati na mineralima jalovine izazivajući njihovo aktiviranje i mogućnost da flotiraju sa korisnim mineralima.

Slika 1. Prospekcija šelita u stenskom masivu.
Figure 1. Selection of scheelite in ore body.

Dakle, ostaje pitanje da li i kako na flotabilnost šelita utiče prirodna tvrdoća vode ili tvrdoća koja potiče od prisustva Ca^{2+}, a i drugih jona koji utiču na ukupnu

Autor za prepisku: D. Milanović, Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor.
E-pošta: dragan.milanovic@irmbor.co.rs; zrimadrmi@ptt.rs
Rad primljen: 19. jun 2009.
Rad prihvaćen: 14. septembar 2009.

tvrdoću tih voda. Ovo se odnosi na rezultate flotacije ostvarene u Halimondovoj ćeliji sa tim vodama koji će biti prezentovani. Utvrđivanje uticaja različitih prirodnih voda (različit pH, ukupna tvrdoća, elektroprovodljivost itd.) na vrednosti zeta-potencijala šelita bio je predmet ispitivanja u Delu 1 ovoga rada. Posledično, njihov uticaj na flotabilnosti šelita u tim vodama, a radi definisanja najpovoljnijeg tipa vode za flotaciju šelita, predmet je ispitivanja u Delu 2 ovoga rada.

EKSPERIMENTALNI DEO

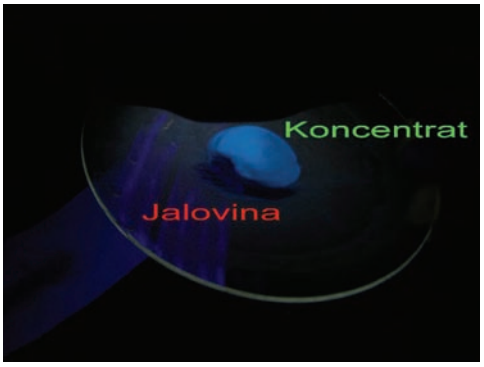
Uzorci i metode

Uzorci

Za nastavak istraživanja, kao i u predhodnom slučaju (Deo 1), neophodno je pripremiti čiste uzorke šelita sa neizmenjenim mineralnim površinama. Čistoća uzoraka za slična istraživanja je iznosila do 90%, i dobijana je na različite načine [13,23–25].

Izdvajanje „čistih“ minerala šelita je vršeno istim metodom predhodno opisanim (Deo 1).

S obzirom da su sada neophodne prirodne neiz-menjene mineralne površine, izdvajanje čistih minerala šelita je rađeno komadanjem primarnih uzoraka, zatim, njihovom selekcijom od jalovih konstituenata pod UV lampom i ponovnim pregledom i komadanjem. Ručnim odabirom bogati ostaci šelita su prevedeni u sitne klase naknadnim usitnjavanjem u porcelanskom avanu. Sitne klase šelita su izdvajane gravitacijski na sahatnom staklu korišćenjem samo destilovane vode (slika 2). Proizvodi koncentracije su sušeni na OHAUS aparatu.

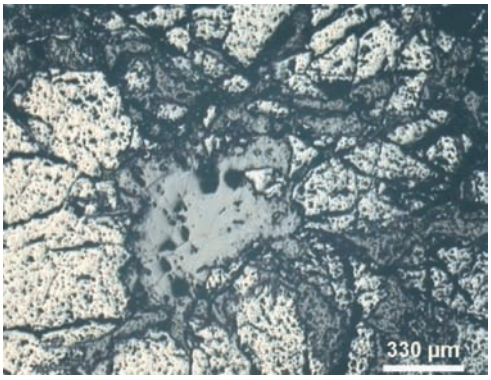


Slika 2. Šelit izdvojen na sahatnom staklu.
Figure 2. Scheelite separated on chemical glass.

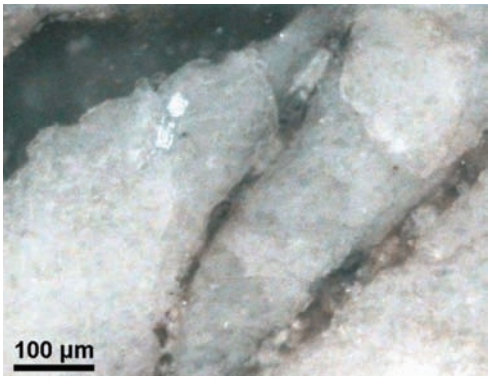
Pored izdvajanja čistih uzoraka šelita S-S koji su bili namenjeni za određivanje zeta-potencijala obezbeđena je količina uzoraka šelita sličnog kvaliteta za izvođenje mikro-flotacijskih ogleda. Izdvojena je potrebna količina šelita koja je svedena na 5 uskih klasa krupnoće: −300+150, −150+75, −75+38, −38+20 i −20+0,0 μm, sa srednjim prečnicima, d_{sr}: 225; 112,5; 56,5; 29 i 10 μm.

Karakterizacija šelita

Karakterizacija minerala šelita je već data u prvom delu ovoga rada a ovde će samo biti potvrđena prikazom mineraloških slika 3 i 4 i difraktograma uzorka datog na slici 5.



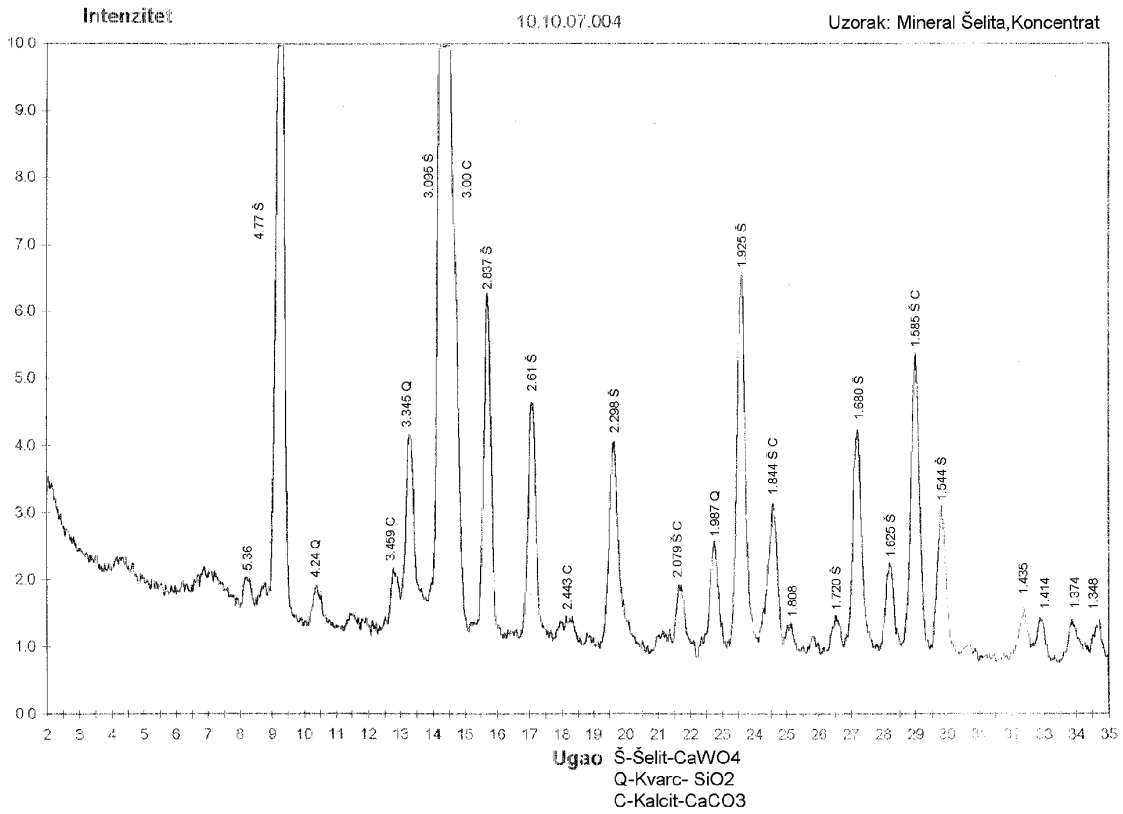
Slika 3. Kataklazirani agregat šelita sa karbonatnim cementom. Odbijena svetlost, vazduh, N II.
Figure 3. Cataclysed scheelite aggregate with carbonate cement. Reflected light ,air, N II.



Slika 4. Lepo razvijen kristal šelita u karbonatnom matriksu. Odbijena svetlost, vazduh, N II.
Figure 4. Well developed schellite crystal in carbonate matrix. Reflected light, air, N II.

Fizičko-hemijska karakterizacija korišćenih uzoraka voda, reagenasa regulatora pH sredine, kolektora kao i fizičko-hemijska karakterizacija pripremljenih eksperimentalnih uzoraka šelita je data u predhodnom radu (Deo 1). U tabeli 1 data je hemijska analiza, srednji prečnik, d_{sr}, i čistoća izdvojenih klasa krupnoće šelita namenjenih samo ovim istraživanjima.

Uvidom u rezultate prikazane u tabeli 1 može se videti da je u postupku pripreme uzoraka dobijen zadovoljavajući kavalitet istih, tj. da se ovi uzorci mogu koristiti za naredna istraživanja. S obzirom da se čistoća uzoraka kreće u veoma prihvatljivim granicama od 80 do 93% ove uzorke možemo smatrati „čistim mineralom“ jer su postignute čistoće u skladu sa rezultatima drugih istraživača kojima je bio neophodan čist mineral.



Slika 5. Difraktogram koncentrata šelita.
Figure 5. X-ray diffraction pattern of scheelite concentrate.

Tabela 1. Hemijske analize uzorka šelita uskih klasa krupnoće
Table 1. Chemical analysis of a sample of narrow size class scheelite

Komponenta	Sadržaj, mas.%					
	Klasa krupnoće, d_{sr} / μm					
	225	112,5	56,5	29	10	„S-S“ 10
Na_2O	0,027	0,017	0,015	0,024	0,024	0,022
K_2O	0,14	0,096	0,13	0,14	0,22	0,10
Fe	1,20	1,33	1,50	1,39	2,15	0,88
CaO	18,31	18,49	20,42	20,42	22,18	18,95
MgO	0,072	0,081	0,078	0,083	0,20	0,083Mg
Bi	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Ag	0,022	0,013	0,004	0,008	0,004	<0,0010
Au	0	0	0	0	0	<0,0010
Mn	0,072	0,10	0,12	0,14	0,26	0,11
Zn	0,035	0,041	0,048	0,062	0,10	0,020
WO_3	74,71	73,44	71,38	69,10	63,73	75,17
Pb	0,071	0,089	0,10	0,12	0,20	0,037
Sb	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Sn	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Mo	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cr	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030
Al	0,20	0,026	0,19	–	–	0,084
Cu	0,0025	0,0025	0,0045	–	–	<0,0020
g/t Hg	<0,1	–	0,1	–	–	–
Čistoća (Deo 1)	92,78	91,21	88,65	85,817	79,75	93,35

Na osnovu ovih rezultata može se pratiti procentualni sadržaj WO_3 komponente u pripremljenim uzorcima uskih klasa krupnoće šelita kao i razlike u sadržaju te komponente među pojedinim klasama krupnoće. To je od značaja radi boljeg tumačenja dobijenih rezultata mikroflotacije uskih klasa krupnoće šelita.

Metoda

Mikroflotacijska ispitivanja u Halimondovoj ćeliji

Mikroflotacijska ispitivanja su rađena u aparaturi sa Halimondovom ćelijom. Originalna Halimondova ćelija [26], kao i njene brojne modifikacije [27–31] često se koriste za ispitivanje flotabilnosti minerala. Flotacija u Halimondovoj ćeliji obično je praćena i drugim procesima, uključujući agregaciju čestica kao i mehanički prenos finih čestica. Pod mehaničkim prenosom podrazumeva se hidrodinamičko iznošenje i sakupljanje uglavnom najsitnijih čestica u koncentrat. Kao rezultat tih procesa dobijene su eksperimentalno dokazane jednačine prenosa čestica [32–35]. Pri tim istraživanjima korišćena je modifikovana jednomehurasta Halimondova ćelija, dobijena Ewers-ovim redizajniranjem Halimondove ćelije [27]. Kasnije, Lekki je kalibrisao rezervoar ćelije čime je omogućeno kontinualno merenje prenosa masa [36]. Ovom radu predhodila su zapažanja iz prakse. Tako su Kirjavainen i Laapas [37] zapazili da se u industrijskim procesima flotacijske koncentracije u području sitnih klasa, veliki deo minerala jalovine iznosi sa vodom u koncentrat, pri čemu se narušava selektivnost flotacije.

Pored ovih fundamentalnih analiza u jednomehurastoj Halimondovoj ćeliji, drugačiji modeli su upotrebljavani za druga ispitivanja. Za ispitivanje raznih vrsta reagenasa [13], ili npr. za ispitivanje mehanizma flotacije kalcijum volframata [38], korišćene su Halimondove ćelije dugih i kratkih cevi.

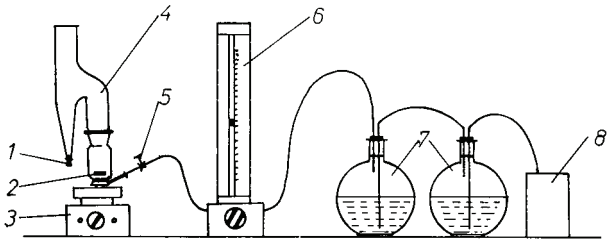
Uticaj složenih hidrodinamičkih i fizičko–hemijskih procesa čini teškom ili čak nemogućom potpunu definiciju flotacije. Tako, rezultati flotiranja u velikoj meri zavise od oblika same Halimondove ćelije i mogu se verifikovati samo u korišćenoj ćeliji, a nereproduktivni su u drugim ćelijama. Zato je ovde u sklopu formirane aparature prikazana naša ćelija na slici 6. Formirana aparatura za oglede flotacije sa mikroflotacijskom staklenom ćelijom i poroznim staklenim dnom, radne zapremine od 0,1 dm^3 obuhvatala je sledeće: kompresorsku duvaljku rotaciono ekscentričnu sa pločicama tipa „Denver“ (8); rezervoare vazduha i kompezacioni sud pritiska (7); merač protoka vazduha, Veb MLW Prufgerate-werk (6); Halimondovu ćeliju (4) i elektromagnetnu mešalicu VELP-Scientifica, sa malim magnetom koji staje u ćeliju (3), sa gumenim čepom (1) i magnetom od teflona (2).

Eksperimentalni uslovi

Pri svakom experimentu korišćen je po 1 g uzorka šelita, izabrane klase krupnoće. Kondicioniranje je trajalo 3 min radom mešača bez aeracije, zatim je usledila flotacija u trajanju od 4 min., pri protoku vazduha od 0,1 dm^3/min, na prirodnom pH vode koja je merena neposredno pre flotacije.

Ispitivanja su vršena na datim klasama krupnoće, d_{sr}: 225; 112,5; 56,5; 29 i 10 μm, sa tri različite vode (destilovana, izvorska i pijaća), bez i sa prisustvom kolektora SCO 40 u tri koncentracije (0,005; 0,01 i 0,02 g/l).

U ovim ogledima voda kišnica, koja je po karakterizaciji i izmerenim zeta-potencijalima slična sa destilovanom vodom (Deo 1, tabela 2). Takođe je izostavljen i kolektor Aero 845 N, koji je pokazao manji uticaj na zeta-potencijal (Deo 1, slika 4).



Slika 6. Aparatura za izvođenje mikroflotacijskih ogleda.
Figure 6. Apparatus for microflotation experiments.

REZULTATI I DISKUSIJA

Prirodna flotabilnost šelita

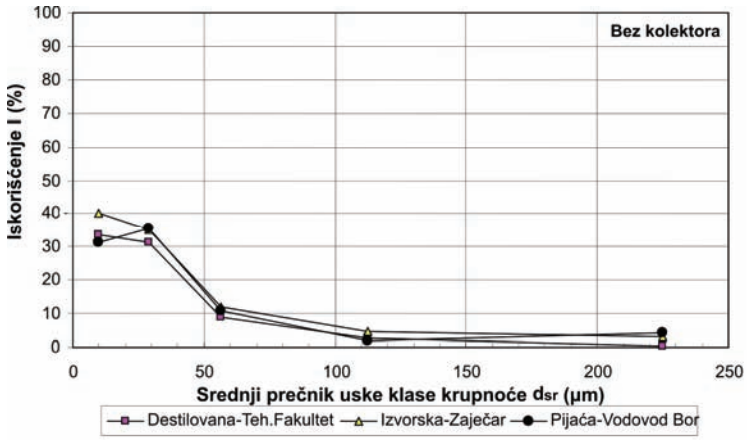
Prirodna flotabilnost šelita ispitivana je u funkciji pH sredine, slika 7. Dat je grafički prikaz zavisnosti flotacijskog iskorišćenja šelita uskih klasa krupnoće, od tipa vode. Uočavamo da šelit ne poseduje prirodnu flotabilnost već se ona javlja samo pri flotiranju veoma sitnih čestica, slika 7. Uticaj upotrebljavanih voda za različitih fizičko hemijskih parametara je neznatan, slika 8.

Flotabilnost šelita u prisustvu kolektora

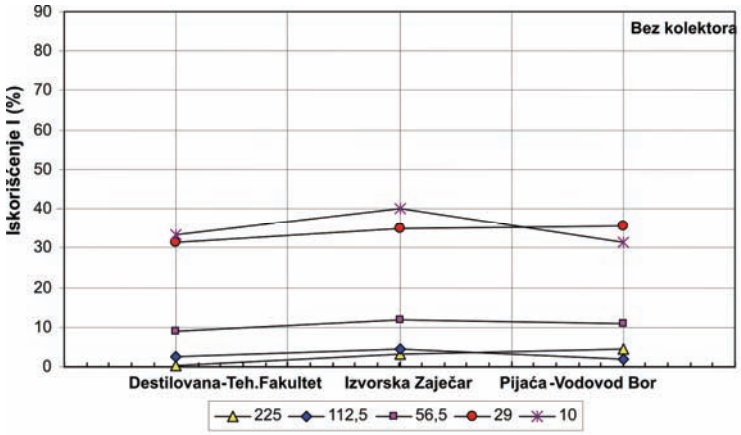
Izvedeni su ogledi flotabilnosti šelita sa kolektorom SCO 40, sa tri različite koncentracije (0,005; 0,01 i 0,02 g/l). U odnosu na prirodnu flotabilnost prikazanoj na slikama 7 i 8, rezultati se menjaju saglasno promeni koncentracije kolektora. Zato dajemo grafički prikaz ostvarenih rezultata samo za najveću korišćenu koncentraciju kolektora od 0,02 g/l, slika 9 i 10.

Flotabilnost šelita je bolja sa minimalnom i srednjom koncentracijom kolektora, od 0,005 i 0,01 g/l, redom, u odnosu na prirodnu flotabilnost.

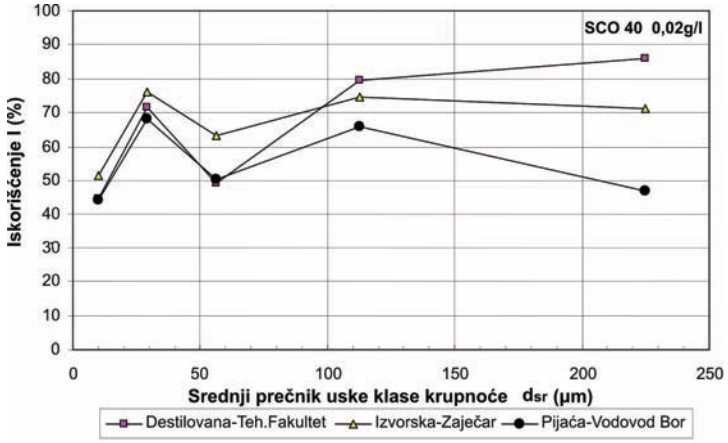
Kod svih klasa krupnoće, pri maksimalnoj koncentraciji reagensa SCO 40 od 0,02 g/l, uočen je porast iskorišćenja sa svim vodama, a posebno u destilovanoj i mekoj izvorskoj. Tako je destilovana (meka voda sa nis-



Slika 7. Iskorišćenje šelita u zavisnosti od klase krupnoće, d_{sr}, u različitim vodama bez kolektora.
Figure 7. Scheelite recovery as a function of mean particle size, d_{sr}, in different type of water and without collector.

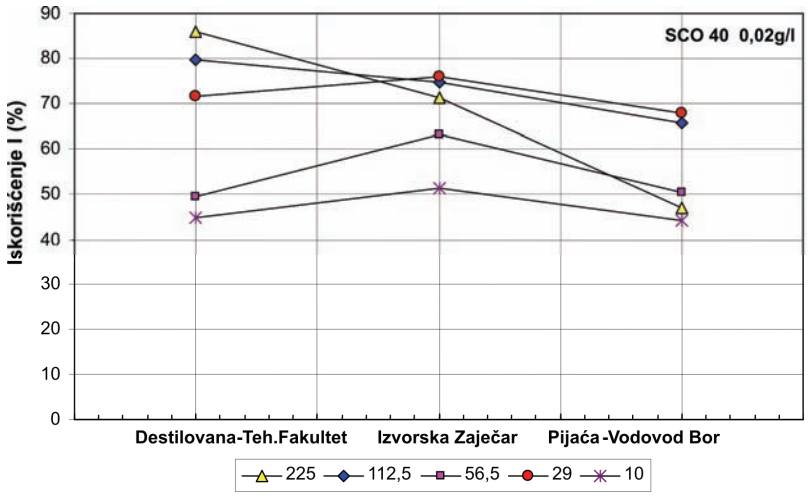


Slika 8. Iskorišćenje šelita u zavisnosti od tipa vode za različite klasa krupnoće, d_{sr}, bez kolektora.
Figure 8. Scheelite recovery as a function of type of water of different mean particle size, d_{sr}, without collector.



Slika 9. Flotabilnost šelita različitih klasa krupnoće, d_{sr}, u različitim tipovima voda pri koncentraciji kolektora SCO 40 od 0,02 g/l.
Figure 9. Scheelite floatability as a function of mean particle size in different type of water with SCO 40 collector concentration of 0.02 g/l.

kom elektroprovodljivošću) odnosno, izvorska, kalijumsko–natrijumska voda (meka voda sa visokom elektroprovodljivošću) najpovoljnija sredina pri kojoj su ostvarena najviša iskorišćenja. Meke vode predstavljaju najpogodniju sredinu za sve tretirane klase krupnoće šelita. Tako se najviša iskorišćenja kod krupnih klasa krupnoće sa d_{sr} 225 i 112,5 μm, ostvaruju u destilovanoj, dok se za



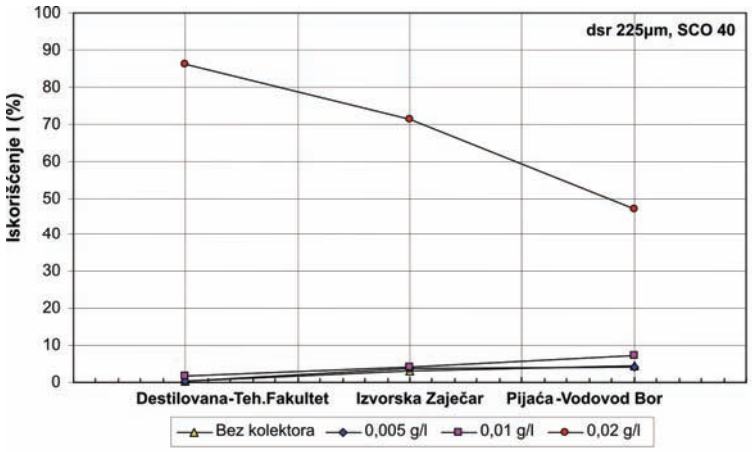
Slika 10. Flotabilnost šelita različitih klasa krupnoće, d_{sr}, pri različitim tipovima voda na koncentraciji kolektora SCO 40 od 0,02 g/l.
Figure 10. Scheelite flotability as a function of different type of water for different mean particle sizes, d_{sr}, and SCO 40 collector concentration of 0,02 g/l.

klase krupnoće sa d_{sr} 56; 29 i 10 μm to dešava u izvorskoj vodi.

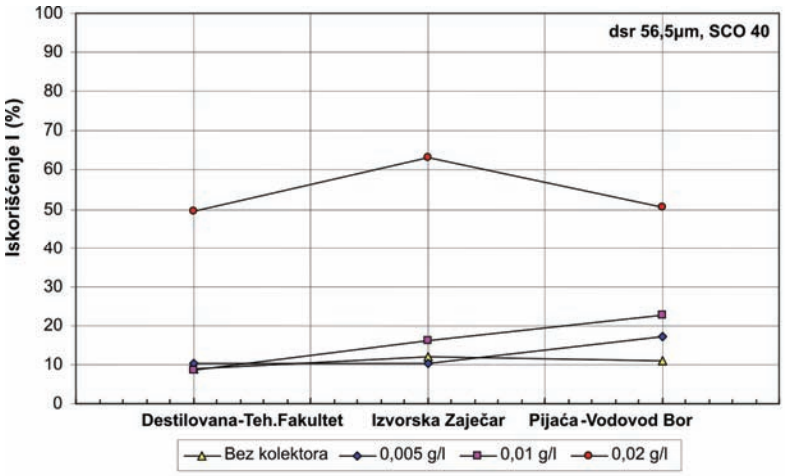
Iskorišćenje klase krupnoće sa d_{sr} 10 μm imalo je slične vrednosti sa svim vodama i svim koncentracijama reagenasa. Pored pH vrednosti, tj. voda sa različitom pH vrednošću i koncentracije kolektora ne utiču na promene iskorišćenja ove klase krupnoće. Ona je neflotabilna i disperguje se unutar Halimondove ćelije slobodnim putem, a ne flotacijskim procesom. Ovu klasu krupnoće koristili smo prethodno pri merenju zeta-potencijala, za pravljenje koloidnih rastvora, te da ona, kao veoma fina klasa krupnoće podleže drugim zakonima raspodele unutar Halimondove ćelije, a što je već objašnjeno u literaturi [32–37].

Data je flotabilnost klasa krupnoće šelita u funkciji koncentracije kolektora sa odgovarajućim vodama. Kod najkrupnije klase krupnoće, d_{sr} 225 μm, iskorišćenje šelita nije raslo sa postepenim porastom koncentracije kolektora, ali je sa dodatkom 0,02 g/l kolektora iskorišćenje dostiglo veoma zadovoljavajući nivo. Ostvareno je maksimalno iskorišćenje pri korišćenju destilovane vode, da bi se vrednost ostvarenog iskorišćenja prepolovila kod upotrebe pijaće, vodovodske vode, slika 11. Ovi rezultati su u saglasnosti sa izmerenim vrednostima zeta-potencijala minerala (Deo 1). Efekat koncentracije reagensa na porast iskorišćenja se smanjivao kako je menjan kvalitet voda − od mekih do tvrdih. Takođe, zeta-potencijal minerala je bio veći u destilovanoj, a najmanji u pijaćoj vodi (Deo 1). Slično se ponaša i klasa krupnoće sa d_{sr} 112,5 μm. Destilovana meka voda sa najnižom ukupnom tvrdoćom i najnižom elektroprovodljivošću je najpogodnija sredina za flotaciju krupnih klasa.

Naredne dve uske klase krupnoće, d_{sr} 56,5 i 29 μm, imaju uravnoteženiji priraštaj iskorišćenja sa porastom koncentracije kolektora a izvorska meka voda sa veoma niskom ukupnom tvrdoćom i najvišom elektroprovodljivošću je najpogodnija za flotaciju ovih klasa krupnoće, slika 12.



Slika 11. Iskorišćenje šelita u funkciji kvaliteta voda pri različitim koncentracijama kolektora za klasu krupnoće, d_{sr} = 225 μm.
Figure 11. Scheelite recovery as a function of water quality on different collector concentrations; mean particle size, d_{sr} = 225 μm.



Slika 12. Iskorišćenje šelita u funкciji kvaliteta voda pri različitim кoncentracijama kolektora za klasu krupnoće d_{sr} = 56,5 μm.
Figure 12. Scheelite recovery as a function of water quality for different collector concentrations; mean particle size, d_{sr} = 56.5 μm.

Zaključujemo da je za flotaciju pogodno imati vodu sa malom ukupnom tvrdoćom dok je elektroprovodljivost (koja zavisi od vrste prisutnih jona u vodi) neuticajan faktor. Na to upućuju ostvarena iskorišćenja pri visokoj i pri niskoj elektroprovodljivosti mekih voda. Dakle elektroprovodljivost voda ne utiče na flotabilnost šelita, nego katjonska vrsta koja izaziva tu elektroprovodljivost.

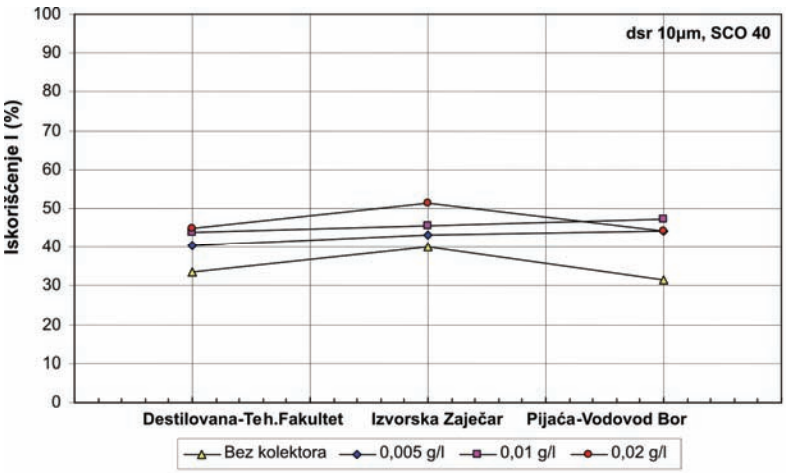
Iskorišćenja klase krupnoće d_{sr} = 10 μm, slika 13, ukazuje da u svim ispitivanim vodama nema značajnijeg priraštaja iskorišćenja sa porastom koncentracije kolektora. Postignuta iskorišćenja su bliska onim dobijenim bez reagensa. To sugeriše na dominantno prisustvo mehaničkog iznošenja čestica u Halimondovoj ćeliji. Ovde je potvrđeno da ova klasa krupnoće ne pokazuje veliku flotabilnost u prisustvu kolektora jer promene koncentracije reagensa ne izazivaju značajnije promene ostvarenih iskorišćenja na svim tipovima voda [39].

ZAKLJUČAK

Prirodna flotabilnost šelita je zanemarljiva i samo kod sitnih (koloidnih) klasa krupnoće ona se pojavljuje u vidu mehaničkog iznošenja čestica, koje se nekontrolisano kreću, dele u proizvodima flotacije koncentratu i jalovini.

Ispitivanje flotabilnosti šelita različitih klasa krupnoće u funkciji različitih voda na njihovim pH vrednostima, bez regulatora sredine u prisustvu kolektora SCO 40 pokazuje da je pri maksimalnoj korišćenoj koncentraciji reagensa od 0,02 g/l za krupne klase krupnoće najpovoljnija sredina – destilovana voda, odnosno, izvorska voda, za srednje klase krupnoće.

Iskorišćenje klase krupnoće d_{sr} 10 μm, ima približno iste vrednosti i skoro je konstantno u svim vodama bez obzira na promene koncentracije reagenasa. vrednost pH, koncentracija kolektora i različiti fizičko–hemijski parametri vode su bez uticaja na promene iskorišćenja ove klase krupnoće. Ona je neflotabilna i dis-



Slika 13. Iskorišćenje šelita u funкciji kvaliteta voda pri različitim koncentracijama kolektora za klasu krupnoće d_{sr} = 10 μm.
Figure 13. Scheelite recovery as a function of water quality for different collector concentrations and mean particle size, d_{sr} = 10 μm.

perguje se unutar Halimondove ćelije slobodnim putem a ne flotacijskim procesom.

Za flotaciju šelita je neophodno imati vodu sa što manjom ukupnom tvrdoćom dok je nivo elktroprovodljivosti, koja zavisi od prisutnih jona u vodi, faktor bez uticaja. Zeta-potencijal i iskorišćenje šelita ne zavise od vrednosti elektroprovodljiosti vode koja se upotrebljava već od jonskog sadržaja koji tu elektroprovodljivost izaziva.

Važnost izbora vode i reagenasa za upotrebu u flotaciji je značajna i to može imati uticaja na dobijanje konačnih rezultata flotacije minerala šelita.

Zahvalnost

Realizatori istraživanja zahvaljuju AD „Rudnik“, Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, Tehničkom fakultetu u Boru, ITNMS Beograd, kao i Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je finansijski podržalo istraživački projekt TR-19002 u sklopu koga su sprovedena ova istraživanja.

LITERATURA

[1] Б.В. Њекрасов, Општа Хемија, Научна књига, Београд, 1976, с. 216

[2] F. Tućan, Opća minerologija, Školska knjiga, Zagreb, 1951.

[3] J. Emsley, The Elements, Clarendon Press, Oxford, 1991, p. 251.

[4] S. Atak, Flotation Behavior of Calcite and Scheelite, Ph. D. Thesis, Istanbul Technical University, Mining Eng. Department, Istanbul, 1979.

[5] S.Atak, V. Gurkan, A.Yafawi, Effect of various fatty acids on separation of scheelite from calcite, In: Y. Aytekin (Ed.), Proceedings of the 1st International. Mineral Processing Symposium, Izmir, 1986, pp. 94–103.

[6] G.E. Agar, Scheelite flotation process, U.S. Pat. 4,488,959; 1984.

[7] A.N. Beyzavi, Flotation of calcite containing scheelite ores, Erzmetall **38** (11) (1985) 543–549.

[8] R.J. Goldacre, The flotation of King Island scheelite in hard mine water. Aust. J. Appl. Sci. **2** (1951) 89–107.

[9] H.S. Choi, K.N. Han, Electrokinetic property and flotation characteristics of scheelite, Korean J. Chem. Soc.**7** (1963) 17–24.

[10] R.M. Manser, E.E. Rossi del Cerro, Flotation of scheelite from calcite–containing ores. Part I. Fundamental flotation characteristics, Warren Spring Laboratory, Report LR.91(MST), Stevenage, U.K., 1968, 1–12.

[11] H.S. Hanna, P. Somasundaran, Flotation of salt type minerals, In: M.C.Fuerstenau (Ed.), Flotation, A.M. Gaudin Memorial, vol. 1, 1976, 197–272.

[12] L.A. Vazquez, S. Ramachandran, N.L. Grauerholz, Selective flotation of scheelite. In: M. C. Fuerstenau (Ed.), Flotation, A.M. Gaudin Memorial, Vol. 1, SME-AIME, New York, 1976, 580–596.

[13] R. Arnold, E.F. Browabill, S.W.Ihle, Hallimond tube flotation of scheelite and calcite with amines, Int. J. Miner. Process. **5** (1978) 143–152.

[14] E.M. Koval, Obogaskh Rud (Leningrad), (CA No. 99:74460n) (1982) **27** (14).

[15] A.A. Tiunov, L.I. Zaкhanov,Y.A. Tiunov,Tsvetn. Met. (CA **No 94**: 107059 u) (1980) 1268

[16] H. Kirchberg, E. Wottgen, Cassiterite flotation chemistry physics and applications of surface active Substances, C. Paquot (Ed.), Gordon and Breach, London, 1967, p. 693.

[17] I.L. Kotlyarevsкy, I.S. Alferiev, A.V. Krasnuкhina, V.D. Pomazov, N.V. Egorov, Reagents In the Minerals Industry, M.J. Jons and R. Oblatt (Eds.), IIM Publ., London, 1984, 173.

[18] D.N. Collins, R. Wright, D. Watson, Reagents in the Minerals Industry, M.J. Jons and R. Oblatt (Eds.), IIM Publ., London, 1984, 1.

[19] Pradip, N.C. Chaudhuri, Recent advances in the recovery of tungsten values in the fine and ultrafine size range, Indian Bull. Mater. Sci. **19** (2) (1996) 267–293.

[20] R. Sivamohan, J.M. Cases, Dependence of shear-flocculation on surface coverage and zeta potential, Int. J. Min. Proc. **28** (1990) 161–172.

[21] Mining Chemicals Handbook, R.W. Adams, et. al. (Eds.), American Cyanamid Corporation, 1986.

[22] Katalog: AERO 800 Promoters, Cyanamid Company, Mining Chemicals, Wayne, N.J. 07470.

[23] C. Hicyilmaz, G. Ozbayoglu, The effects of amine and electrolytes on the zeta-potential of scheelite from Uludag, Turkey, Miner. Eng. **5** (1992) 945–951.

[24] R. Arnold, L.J. Warren, Electrokinetic properties of scheelite, J. Colloid Interface Sci. **47** (1) (1974) 134–144.

[25] L. Yongxin, L. Changen, Selective flotation of scheelite from calcium minerals with sodium oleat as a collector and phosphates as modifiers. I. Selective flotation of scheelite, Int. J. Miner. Process. **10** (1983) 205–218.

[26] A.F. Hallimond, Laboratory apparatus for flotation tests, Miner. Mag. **70** (1944) 87–91.

[27] K.L. Sutherland, I.W. Wark, Principles Of Flotation, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 1955, p. 323.

[28] D.W. Fuerstenau, P.H. Metzeger, G.D. Seele, How to use this modified Halimond tube for better flotation testing, Eng. Miner. J. **158** (3) (1957) 93–95.

[29] E. Nagy, C. Van, A study of the flotation characteristics of galena, Can. J. Chem. Eng. **40** (2) (1962) 776–812.

[30] B. Siwek, M. Zembala, A. Pamianowsкi, A method for determination of fine particle floatability, Int. J. Miner. Process. **8** (1981) 85–88.

[31] B. Dobias, New modified Hallimond tube for study of flotation of minerals from kinetic data, Trans. IMM C, **92** (1983) 164–166.

[32] J. Drzymala, J. Lekki, Application of flotometry for characterizing flotation in the presence of particles aggregation, Miner. Eng. **1** (1) (1988) 327–336.

[33] J. Drzymala, T. Chmielewski, K.L. Wolters, D.H. Birlingmair, T.D. Wheelock, Microflotation measurements based on modified Hallimond tube. Trans. IMM sect. C, **101**(1992) 17–24.

[34] J. Drzymala, J. Lekki, Mechanical, contactless, and collector flotation in the Hallimond tube, J. Colloid Interface Sci. **130** (1989) 197–204.

[35] J. Drzymala, J. Lekki, Flotometry – another way of characterizing flotation, J. Colloid Interface Sci. **130** (1989) 205–210.
[36] J. Lekki, Unpublished data, Wroclaw, Poland, 1973.
[37] V.M. Kirjavainen, H.R. Laapas, A study of entrainment mechanism in flotation, XVI IMPC, Amsterdam, 1988, p. 665–677.
[38] M.R. Atademir, J.A. Kitchener, H.L. Shergold, The surface chemistry and flotation of scheelite. II. Flotation Collectors. Int. J. Miner. Proc. **8** (1981) 9–16.
[39] D. B. Milanović, Uticaj veličine čestica na fenomene flotabilnosti minerala šelita, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor, 2008.

SUMMARY

ZETA-POTENTIAL AND FLOTABILITY OF THE SCHEELITE MINERAL IN DIFFERENT TYPE OF WATERS
Part 2. Flotability

Dragan B. Milanović[1], Zoran S. Marković[2]

[1]Institute for Mining and Metallurgy, Bor
[2]University of Belgrade, Technical Faculty, Bor

(Scientific paper)

The aim of this work was to study floatability of the mineral sheelite from mine “Rudnik”, central Serbia. Flotation tests of the mineral in a Hallimond tube cell were carried out in four different types of water, namely: tap water, distilled water, rain water and spring water. All types of water had different hardness and conductivity as well as natural pH values. It was found that the flotability of mineral scheelite depends on the hardness and electro-conductivity of the chosen type of water as well as on Ca^{2+} content. Also, it was found the floatability of mineral depends on the scheelite particle size fraction used in microflotation experiments. Presented results may be useful for proper selection of type of water, as well of the type of reagents used in flotation processes.

Ključne reči: Šelit • Vode • Reagensi • Halimondova ćelija • Flotacija
Key words: Sheelite • Waters • Reagents • Hallimond cell • Flotation