

Uticaj temperature na flotabilnost i stepen dekarbonizacije antracitnog uglja

JOVICA M. SOKOLOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

RODOLJUB D. STANOJLOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Tehnički fakultet u Boru, Bor

Stručni rad

UDC: 622.335:66.094.3

DOI: 10.5937/tehnika1905657S

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja uticaja temperature na flotabilnost i stepen dekarbonizacije antracitnog uglja, odnosno desulfurizacije minerala jalovine. Ispitivanja zeta-potencijala, prirodne flotabilnosti i kinetičkih parametara oksidacije vršena su na čistim uzorcima zagrevanjem na niskim temperaturama od 50 do 200°C. Dobijene zavisnosti između zeta-potencijala, flotabilnosti i temperature potvrđuju negativan uticaj temperature na flotabilnost i iskorišćenje uglja u proces flotiranja uglja.

Ključne reči: ugalj, oksidacija, temperatura, flotabilnost, dekarbonizacija

1. UVOD

Ugalj je kompleksna heterogena materija sastavljena od organskih i neorganskih jedinjenja u različitim oblicima [1] čiji se sastav značajno menja sa stepenom ugljenizacije.

Flotacija uglja je složen fizičko-hemijski proces koji uključuje mnogo podprocesa i pojava [2]. Koristi se za koncentraciju uglja krupnoće ispod 0,5 mm [3], 0,6 mm [4], odnosno 1 mm [5].

Na efikasnost procesa flotacije uglja utiču prirodna svojstva uglja (stadijum metamorfizma uglja, petrografski sastav, vrsta mineralnih primesa i način njihovog pojavljivanja i srastanja sa organskom materijom uglja, disperznost mineralnih primesa u uglju, stepen oksidacije površina čestica uglja itd.) i radni parametri u procesu flotacije (priprema pulpe za proces flotiranja, granulometrijski i frakcioni sastav uglja, sadržaj čvrste faze u pulpi, vreme flotiranja, stepen aeracije pulpe, reagensni režim, način skidanja pene, temperatura i jonski sastav tečne faze flotacijske pulpe) [2, 6].

Površinske karakteristike uglja kao što su kvašljivost i flotabilnost, mogu u velikom stepenu varirati zbog njegove kompleksne prirode, kao i zbog in-situ promena. Veoma veliki uticaj na efikasnost procesa

flotacije uglja ima oksidacija uglja.

Oksidacija uglja je veoma složen proces koji uključuje fizičku i hemijsku adsorpciju kiseonika na površini uglja koji uključuje nekoliko faza [7].

Rezultat procesa oksidacije uglja je formiranje različitih funkcionalnih grupa, i to: karboksilnih (COOH), karbonilnih (C=O) i hidroksilnih (-OH) grupa na površini uglja [8]. Ove funkcionalne grupe značajno smanjuju kvašljivost i hidrofobnost uglja [9], a samim tim negativno utiču na njegovu flotabilnost [8-15], kao i na kinetiku flotiranja [16].

Oksidacija uglja zavisi od velikog broja parametara, kao što su temperatura, pritisak, vreme, vrsta uglja, veličina čestica, poroznosti, temperature, prenosa kiseonika, prenosa toplote, i dr. [17].

Izučavanje uticaja površinske oksidacije uglja u procesu flotiranja, odavno je prisutno u naučnoj i stručnoj literaturi [18-25].

Sun (1954) je ispitivao uticaj temperature (zagrevanjem) na flotabilnost ugljeva i utvrdio je da flotabilnost ugljeva postepeno opada sa intenzitetom oksidacije [18].

Wen (1977) je eksperimentalnim istraživanjima pokazao da je čestica uglja negativno polarisana zbog prisustva hidrofilnih delova na samoj površini i da se ugao kontakta (dodira) značajno smanjuje sa povećanjem intenziteta oksidacije [19].

Yarar i Leja (1981) su u svojim ispitivanjima uspostavili zavisnost između zeta-potencijala oksidisanih ugljeva i flotabilnost istih. Utvrđeno je da ugljevi pod uticajem atmosferilija menjaju svoju flotabilnost, kao

Adresa autora: Jovica Sokolović, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, Vojske Jugoslavije
12

e-mail: jsokolovic@rfbor.bg.ac.rs

Rad primljen: 15.03.2019.

Rad prihvaćen: 28.03.2019.

posledica promena zeta-potencijala. Istraživanja su pokazala da je zeta potencijal uglja u funkciji aktivnih kiseoničnih grupa. Očigledno je da povećanje hidroksilnih i karboksilnih funkcionalnih grupa na površini uglja povećava negativnost zeta potencijala [20].

Fuerstenau i sar. (1987) uočili su da je zeta potencijal oksidisanih ugljeva manji od neoksidisanih (svežih) ugljeva [21]. Ramesh i Somasundaran (1989) konstatovali su da se površina uglja sastoji od polarnih grupa, koje su nastale prskanjem cikličnih prstenova za vreme oksidacije i da je gustina polarnih grupa odgovorna za uočeni pad hidrofobnosti [22].

Nešto kasnije, Xiao i dr. (1990) pokazali su DRIFT spektroskopijom da je gubitak hidrofobnosti rezultat nestajanja alifatičnih CH grupa, odnosno nastajanja karboksilnih grupa. Aromatične CH i C=C grupe ne podležu oksidaciji na temperaturama koje su korišćene u eksperimentu [23].

Diao i Fuerstenau (1992) sproveli su detaljna istraživanja oksidacije različitih vrsta ugljeva u strogo kontrolisanim uslovima. Nađeno je da sa povećanjem intenziteta oksidacije, posebno na temperaturama iznad 100°C, dolazi do redukcije hidrofobnosti i pada flotabilnosti uglja. Ovaj efekat se pripisuje površinskoj oksidaciji koja je okarakterisana formiranjem kiselnih grupa na površinama uglja. Autori su takođe utvrdili sadržaj karboksilnih i fenolnih funkcionalnih grupa u uglju pri različitim uslovima oksidacije i pokazali su da fenolne grupe počinju da se formiraju na temperaturama iznad 150°C, a karboksilne grupe na temperaturama iznad 200°C [24].

Sokolović i dr. (2006) ustanovili su dobru korelaciju između zeta potencijala i flotabilnosti antracitnog uglja. Utvrđeno je da je izoelektrična tačka (IEP) ne-oksidisanog uglja iznosi pH=7,5. Sa povećanjem oksidacije, IEP se smanjuje i i pomera se u opseg kiselih pH vrednosti. Utvrđeno je da se zeta potencijal uglja menja između 0 i -20 mV, što utiče na smanjenje flotabilnosti uglja za oko 45 % kao posledica oksidacije usled atmosferskih uticaja [10].

Prema Sokoloviću i dr. (2012), promene i prisustvo funkcionalnih grupa u strukturi i površinama antracitnog uglja potvrđene su FTIR ispitivanjima svežeg i otpadnog uglja. FTIR analiza je pokazala da formiranje različitih funkcionalnih grupa kiseonika (CO-OH, S=O, C-O-C), odsustvo C=C aromatičnih jedinjenja i redukcija aromatskih i alifatskih C-H grupa imaju značajan uticaj na površinsko naelektrisanje uglja [25]. Rezultati prethodnih istraživanja pokazuju da je većina eksperimenata oksidacije izvedena u vodenim rastvorima ignorišući ulogu vazduha i toplote u reakcijama oksidacije. U prirodi, procesi oksidacije se dešavaju pod uticajem atmosferilija, koji predstavljaju kombinaciju kiseonika iz vazduha i kiseonika

rastvorenog u vodi. Zato je, veoma značajno za bolje razumevanje procesa oksidacije odrediti deo koji oksidiše u vodenim rastvorima sa kiseonikom rastvorenim u vodi, odnosno deo koji oksidiše sa kiseonikom iz vazduha.

Ovaj rad predstavlja nastavak tih istraživanja i u njemu su predstavljeni rezultati uticaja temperature na zeta-potencijal, flotabilnost, kao i stepen dekarbonizacije antracitnog uglja, odnosno desulfurizacije minerala jalovine.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

2.1. Materijal

Za potrebe laboratorijskih ispitivanja korišćeni su uzorci uglja i pratećih jalovih komponenti koji su izuzeti iz Rudnika antracita „Vrška Čuka“, Srbija.

Polazni uzorci su usitnjeni ručnim čekićem u komadima od po nekoliko centimetara, a potom ručnim prebirom izdvojeni su čisti uzorci za dalja ispitivanja. Standardnim postupkom pripreme, uzorci su usitnjeni i svedeni na usku klasu krupnoće (-0,038+0) mm za dalja laboratorijska ispitivanja.

2.2. Karakterizacija uzoraka

2.2.1. Elementarna analiza

Sadržaj ugljenika, vodonika, azota i sumpora na svim reprezentativnim uzorcima određen je na VARIO EL III CHNOS elementarnom analizatoru. Rezultati ovih analiza prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Elementarna analiza uzoraka uglja i jalovine

Uzorak	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
Ugalj 1/1	73.15	3.15	2.07	0.72
Alumo-silikati 2/1	9.25	1.27	-	-
Ugljeni pirit 3/1	8.06	0.70	-	31.27

2.2.2. Hemijski sastav

Hemijski sastav polaznih uzoraka piritne i alumo-silikatne jalovine određen je standardnim metodama u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru, a rezultati su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Hemijska analiza uzoraka minerala jalovine

Uzorak	Element/Jedinjenje (%)					
	Fe	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂
Alumo-silikati 2/1	4.77	0.57	25.98	6.20	0.86	40.98
Ugljeni pirit 3/1	29.10	33.75	0.72	0.11	0.027	3.54

Rezultati elementarnih i hemijskih analiza potvrdila su da se od prisutnih minerala u ispitivanim

uzorcima nalaze uglj, a kao prateće jalovi minerali pirit i alumo-silikati.

2.3. Aparatura i postupak

2.3.1. Merenje zeta potencijala

Za eksperimentalna merenja zeta potencijala korišćen je Ridikov zetametar sa elektroforetskom ćelijom. Sva ispitivanja su vršena na definisanoj klasi krupnoće (-38+0) μm , sa 10 g ispitivanog uzorka i 1000 ml rastvora različitih pH vrednosti. 0,1 M HClO_4 i 0,1 M NaOH korišćeni su kao regulatori sredine. Merenja pH vrednosti i temperatura rastvora vršena su pre i posle merenja brzina kretanja zrna. Pri određivanju zeta potencijala izvršene su korekcije vrednosti zbog temperature koja je varirala u opsegu od 20 do 25°C.

2.3.2. Mikroflotacijski opiti ispitivanja prirodne flotabilnosti

Mikroflotacijska ispitivanja flotabilnosti uglja i prateće jalovine izvedena su u modifikovanoj Halimondovoj mikroflotacijskoj staklenoj ćeliji sa poroznim dnom i radne zapremine 0.1 dm^3 . U svakom eksperimentu je korišćen 1 g uzorka usko definisane klase krupnoće (-0.038+0) mm, koji je tretiran u 100 ml rastvora različitih pH vrednosti. Vreme kondicioniranja je iznosilo 3 minuta. Posle uvođenja vazduha u samu ćeliju, pristupilo se flotiranju u vremenu od 1 minuta, pri protoku vazduha od 0.1 l/min.

2.3.3. Određivanje kinetičkih parametara procesa oksidacije

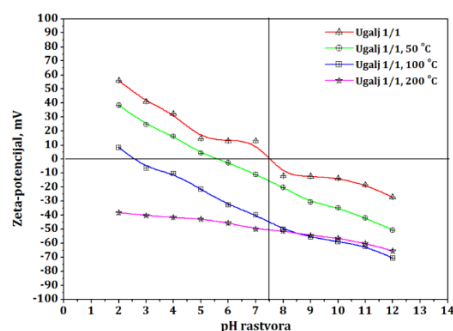
Kinetička ispitivanja procesa oksidacije, u izotermnim uslovima, vršena su na aparaturi za ispitivanje procesa oksidacionog prženja u izotermnim uslovima. Ispitivanja su vršena na uzorcima mase 1 g u temperaturnom opsegu od 50 do 200°C. Zagrevanje ispitivanog uzorka vršeno je u Marsovoj peći, na konstantnoj temperaturi.

U radni, reakcioni prostor uduvavana je određena količina vazduha. Nakon žarenja u vremenu trajanja od 30 minuta merena je masa izarenih polaznih uzoraka. Na osnovu razlike u sadržaju sumpora i ugljenika, pre i posle žarenja, izdvojenog tokom oksidacionog prženja sračunat je stepen desulfurizacije i dekarbonizacije ispitivanih uzoraka na niskim temperaturama.

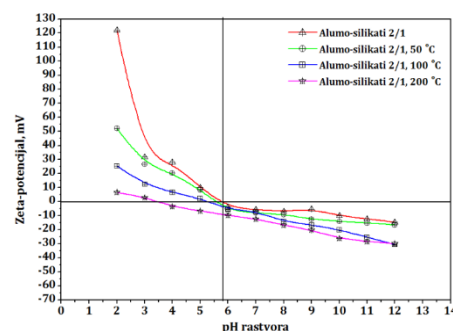
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Uticaj temperature na zeta potencijal

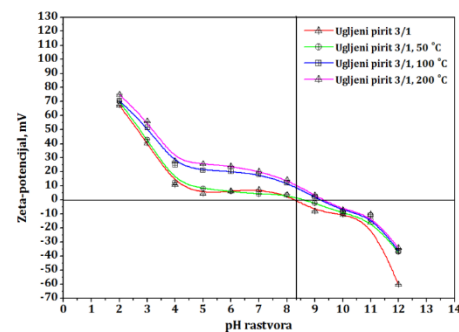
Ispitivanja zavisnosti zeta potencijala od pH rastvora su izvedena na svežim uzorcima uglja i minerala piritne i alumo-silikatne jalovine. Uzorci su zagrevani u peći za žarenje na temperaturama od 50 do 200°C. Vreme tretiranja uzorka je iznosilo 24 h. Rezultati ovih ispitivanja prikazani su dijagramima na slikama 1-3.



Slika 1 - Uticaj temperature na zeta potencijal uzorka uglja 1/1



Slika 2 - Uticaj temperature na zeta potencijal uzorka alumo-silikatne jalovine 2/1



Slika 3 - Uticaj temperature na zeta potencijal uzorka piritne jalovine 3/1

Iz rezultata prikazanim na slikama 1-3, može se zaključiti da temperatura značajno utiče na vrednosti zeta potencijala. Promene vrednosti zeta-potencijala su uočene u celom opsegu ispitivanih vrednosti pH rastvora.

Oblici krivi zeta-potencijala uglja su slični u tretiranju sirovine do temperature od 100°C, s tim da se izoelektrična tačka (IET) pomera ka kiseloj sredini, tj. ka nižim pH vrednostima (sa $\text{pH}=7,5$ na $\text{pH}=2,5$). Vrednosti zeta-potencijala uglja su negativne na svim ispitivanim pH vrednostima u slučaju predtretmana na temperaturama od 200°C.

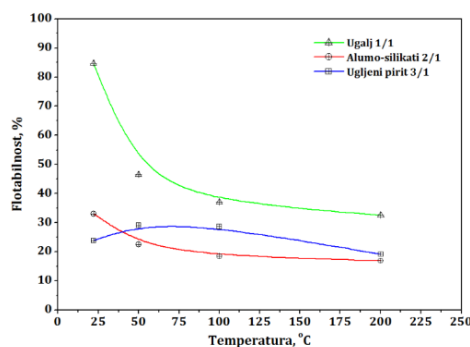
Slična zavisnost je dobijena i kod merenja zeta potencijala minerala alumo-silikatne jalovine. Promena temperature je očigledno dovela do promena stepena oksidisanosti površine alumo-silikatnih minerala. Posledica oksidacije silikata (kvarca) je stvaranje

negativno naelektrisanih silanal grupa [25]. Promene su uočljive, s tim da, za razliku od uglja, na svim temperaturama je zabeležena nulta vrednost zeta potencijala. Vrednosti izoelektrične tačke se menjaju u rasponu od $\text{pH}=5,8$ do $\text{pH}=3,5$.

Nešto drugačija zapažanja su dobijana kod pirita. Interpretacija dobijenih krivi pokazuje sledeće: nulta tačka zeta potencijala minerala pirita u uglju nalazi na pH oko 8,3. Ovako velike vrednosti pH rastvora nulte tačke zeta potencijala pirita mogu se objasniti prisustvom fero/feri jona, nastalih rastvaranjem pirita u vodi [26]. Temperaturna oskidacija pirita pomera krive zeta potencijala ka višim pH vrednostima. Na temperaturama od 50 do 200°C, izoelektrična tačka (IET) iznosi pH 8,5, odnosno 9,4.

3.2. Uticaj temperature na prirodnu flotabilnost ispitivanih uzoraka

Prirodna flotabilnost ispitivana je u funkciji temperature pri pH vrednosti sredine na kojoj leži izoelektrična tačka svežeg uzorka uglja 1/1, odnosno pri $\text{pH}=7,5$. Rezultati ispitivanja uticaja temperature na prirodnu flotabilnost ispitivanih uzoraka prikazani su na slici 4.



Slika 4 - Uticaj temperature na flotabilnosti uzoraka uglja 1/1, alumo-silikatne 2/2 i piritne jalovine 3/1

Na osnovu dobijenih rezultata (slika 4) može se uočiti da se u strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima, na temperaturama od 50 do 200°C, značajno smanjuje hidrofobnost uglja u rastvorima neutralne pH vrednosti.

Smanjivanje flotabilnosti uglja ukazuje na promene koje se dešavaju na površinama čvrste faze ispitivanih uzoraka. Sa promenom temperature od 50 do 200°C dolazi do pomeranja izoelektrične tačke uglja ka nižim pH , kao i do pada iskorišćenja (flotabilnosti) uglja za oko 52% (negativna pojava). Analogna zavisnost je dobijena i za alumo-silikatne minerale. Dobile krive zavisnosti flotabilnosti uglja i alumo-silikatnih minerala u funkciji temperature su sličnog oblika, s tim da je ova kriva za alumo-silikatne minerale (za razliku od ugljeva), pokazuje blagi pad flotabilnosti sa promenama temperature. Gubitak

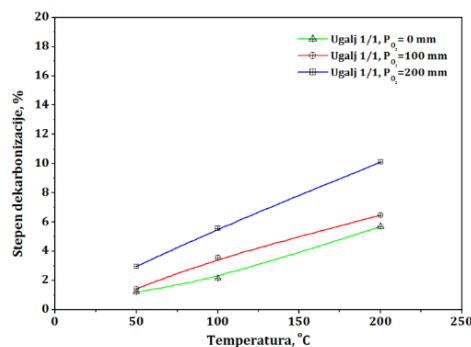
hidrofobnosti alumo-silikatnih minerala tokom oksidacije na temperaturama od 50 do 200°C je manji i kreće se u granicama od 11 do 18%.

Oksidacija pirita na temperaturama od 50 do 100°C, dovodi do povećanja flotabilnosti ispitivanog minerala za oko 5 do 6%. Ovakva zavisnost se može pripisati nastajanju elementarnog sumpora (S^0), kao jednom od produkata početne površinske oksidacije [27].

S obzirom na to da je elementarni sumpor prirodno hidrofoban, njegova pojava dovodi do povećanja flotabilnosti minerala u početnom periodu oksidacije pirita. Sa stanovišta flotiranja integralnog uzorka uglja, ova pojava se može smatrati negativnom. Na temperaturama iznad 100°C, flotabilnosti pirita je manja oko 4%.

3.3. Uticaj temperature na stepen dekarbonizacije i desulfurizacije ispitivanih uzoraka

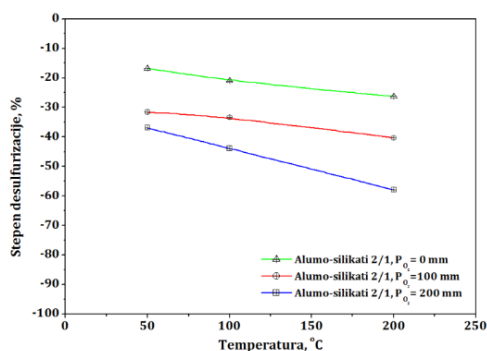
Kinetička ispitivanja procesa oksidacije vršena su u temperaturnom intervalu 50-200°C, odnosno pri količini vazduha u radnoj sredini od 0 - 200mm vodenog stuba. Vreme tretiranja uzoraka je iznosilo 30 minuta. Ispitivanja su izvedena na svežim uzorcima uglja i minerala piritne i alumo-silikatne jalovine. Rezultati su prikazani na slikama 5-7.



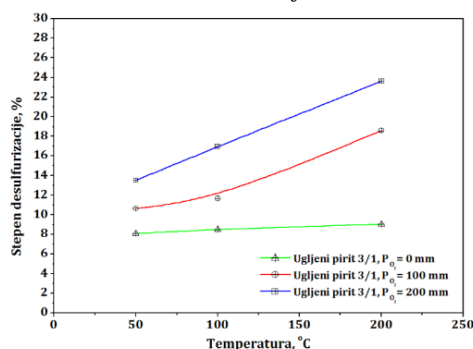
Slika 5 - Uticaj temperature na stepen dekarbonizacije uzorka uglja 1/1

Upoređujući dobijeni krive na slikama 5, 6 i 7 uočava se sličan trend zavisnosti stepena dekarbonizacije uglja od temperature. Najveća razlika stepena dekarbonizacije uglja uočava se na temperatura od 100 do 200°C. U opsegu temperatura između 100 i 200°C, kada se oksidacija odvija u difuzionoj oblasti, uticaj koncentracije kiseonika je veći nego kada se proces odvija u kinetičkoj oblasti.

Ova ispitivanja su potvrdila da oksidacija ima negativan uticaj na ugalj, jer dolazi do smanjenja ugljenika, odnosno do gubitka korisne organske materije. Očigledno je da adsorpcija kiseonika na površinama čestice alumo-silikatne jalovine vodi ka stvaranju sulfata i drugih sumporovitih jedinjenja jer dolazi do značajnijeg prinosa sumpora (negativan efekat) u odnosu na polazni uzorak



Slika 6 - Uticaj temperature na stepen desulfurizacije uzorka alumo-silikatne jalovine 2/1



Slika 7 - Uticaj temperature na stepen desulfurizacije svežeg uzorka piritne jalovine 3/1

Na osnovu ostvarenih rezultata može se zaključiti da temperatura smanjuje stabilnost oksisulfida, tako da se na nižim temperaturama u većoj meri stvaraju sulfati, a na višim – oksidi i metali [6]. Za proces oksidacije minerala pirita od suštinskog značaja je odnos između sulfata, oksida i metala, koji se mogu stvoriti. Očigledno, da ovi odnosi zavise od karakteristika polaznog uzorka, kao i od stabilnosti njegovih oksisulfida [6]. Svi dobijeni rezultati potvrđuju negativan uticaj oksidacije u procesu flotiranja uglja i pružaju mogućnost određivanja zavisnosti između zeta potencijala, flotabilnosti i temperature.

Za pravilno tumačenje fizičko-hemijskih parametara i pojava u procesu oksidacije na niskim temperaturama, ove zavisnosti su od velikog značaja za proces flotiranja uglja.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

Krive promene zeta potencijala uglja od pH, pokazuju da izoelektrična tačka nultog zeta potencijala uglja leži na pH=7,5.

Izoelektrična tačka alumo-silikatne jalovine leži na pH oko 5,7, dok se nulta tačka zeta potencijala minerala pirita nalazi na pH 8,3.

Simulirajući proces oksidacije, zagrevanjem na temperaturama od 50 do 200°C, uočava se da se sa

promenama temperature menjaju vrednosti zeta potencijala i položaj izoelektrične tačke.

Promene zeta potencijala su očigledno rezultat površinske oksidacije; oksidacija smanjuje zeta potencijal uglja i minerala alumo-silikatne jalovine, a povećava zeta potencijal pirita.

Oksidacija antracitnog uglja na temperaturama od 50 do 200°C ima za posledicu kako pomeranje izoelektrične tačke uglja ka nižim pH, tako i drastičan pad iskorišćenja (flotabilnosti) uglja za oko 52% (negativna pojava).

Dobijena kriva zavisnosti flotabilnosti za alumo-silikatne minerale (za razliku od ugljeva), u funkciji pokazuje blagi pad flotabilnosti sa promenama temperature. Gubitak hidrofobnosti alumo-silikatnih minerala tokom oksidacije na temperaturama od 50 do 200°C je manji i kreće se u granicama od 11 do 18%. Oksidacija pirita na temperaturama od 50 do 100°C, dovodi do povećanja flotabilnosti ispitivanog minerala za oko 5 do 6%. Ovakva zavisnost se može pripisati nastajanju elementarnog sumpora (S⁰).

Posmatrajući kinetičke krive zavisnosti stepena dekarbonizacije antracitnog uglja, odnosno desulfurizacije minerala pirita od temperature uočava se da su dobijene krive zavisnosti dosta slične. Najveća razlika stepena dekarbonizacije uglja uočava se na temperaturama od 100 do 200°C. Dobijene zavisnosti između zeta-potencijala, flotabilnosti i temperature potvrđuje negativan uticaj temperature, odnosno površinske oksidacije na flotabilnost uglja.

LITERATURA

- [1] Laskowski J. S, Coal surface chemistry and its role in fine coal beneficiation and utilization, *Coal Preparation*, Vol. 14, No. 3, pp. 115-131, 1994.
- [2] Polat M, Polat H, Chander S, Physical and chemical interactions in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 72, No. 1, pp. 199-213, 2003.
- [3] Laskowski J. S, *Coal flotation and fine coal utilization*, Elsevier, Amsterdam, 2001.
- [4] Vasumathi N, Vijaya-Kumar T. V, Prasad K, Subbarao S, Prabhakar S, Bhaskar-Raju G, Fine coal beneficiation by pilot column flotation, *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, Vol. 54, No. 1, pp. 25-33, 2018.
- [5] Brozek M, Mlynarczykowska A, An analysis of effect of particle size on batch flotation of coal, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 49, No. 1, pp. 341-356, 2013.
- [6] Sokolović J, *Izučavanje fenomena aktivacije površinske čestice uglja u procesu flotiranja primenom*

- atricije*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, Srbija, 2012.
- [7] Wang H, Dlugogorski B. Z, Kennedy E. M, Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 29, No. 6, pp. 487-513, 2003.
- [8] Fuerstenau D. W, Rosenbaum J.M., Laskowski J., Effect of surface functional groups on the flotation of coal, *Colloids and Surfaces*, 8, pp. 153-173, 1983.
- [9] Somasundaran P, Fuerstenau, D. W, The effect of the environment, oxidation and dissolved metal species on the chemistry of coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 58, No.1-4, pp. 85-97, 2000.
- [10] Sokolovic J, Stanojlovic R, Markovic Z, Effect of oxidation on flotation and electrokinetic properties of coal, *Journal of Mining and Metallurgy, Section A: Mining*, Vol. 42, No. 1, pp. 69-81, 2006.
- [11] Sarikaya M, Ozbayoglu G, Flotation characteristics of oxidized coal, *Fuel*, Vol 74 No. 2, pp. 291-294, 1995.
- [12] Bolat E, Saglam S, Piskin S, Effect of oxidation on the flotation properties of a Tyrkish bituminous coal, *Fuel Processing Technology*, Vol. 55, No. 2, pp. 101-105, 1998.
- [13] Cinar M., Floatability and desulfurization of a low-rank (Turkish) coal by low-temperature heat treatment, *Fuel Processing Technology*, Vol. 90, pp. 1300-1304. 2009.
- [14] Xia W, Yang J, Liang, C, Investigation of changes in surface properties of bituminous coal during natural weathering processes by XPS and SEM, *Applied Surface Science*, Vol. 293, No. 4, pp. 293-298. 2014.
- [15] Xia W, Yang J, Changes in surface properties of anthracite coal before and after inside/outside weathering processes. *Applied Surface Science*, Vol. 313, No. 18, pp. 320-324, 2014.
- [16] Sokolovic J. M, Stanojlovic R. D, Markovic Z. S, The effects of pretreatment on the flotation kinetics of waste coal, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, Vol. 32, No. 3, pp. 130-142. 2012.
- [17] Pietrzak R, Wachowska H, Low temperature oxidation of coals of different rank and different sulphur content, *Fuel*, Vol. 82, No. 6, pp. 705-713. 2003.
- [18] Sun S. C, Effects of oxidation of coals on their flotation properties, *Trans. Am. Inst. Min. Metall. Eng.*, Vol. 6, pp. 396-401, 1954.
- [19] Wen W. W, *Electrokinetic behavior and flotation of oxidized coal*, Pennsylvania State University, University Park, PA, 1977.
- [20] Yarar B, Leja J, Flotation of weathered coal fines from Western Canada. In: *9th International Coal Preparation Congress*, New Delhi, Paper C5, 1981.
- [21] Fuerstenau D. W, Yang G. C. C, Laskowski J. S, Oxidation phenomena in coal flotation: Part I. Correlation between oxygen functional group concentration, immersion wettability and salt flotation response, *Coal Preparation*, Vol. 4, pp. 161-182, 1987.
- [22] Somasundaran P, Roberts C. E, Ramesh R, Effect of oxidation methods on the flotation of coal, *Mineral Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp. 43-48, 1991.
- [23] Xiao L, Somasundaran P, Vasudevan T. V, Effect of air oxidation on the floatability of bituminous coals: diffused reflectance infrared fourier transform (DRIFT) spectroscopic analysis, *Colloids and surfaces*, Vol. 50, 231-240, 1990.
- [24] Diao J., Fuerstenau D.W., Characterization of the wettability of solid particles by film flotation: 2. Theoretical analysis, *Colloids and surfaces*, Vol. 60, 145-160, 1991.
- [25] Sokolovic J. M, Stanojlovic R. D, Markovic Z.S., Activation of oxidized surface of anthracite waste coal by attrition, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Vol. 48, No. 1, pp. 5-18, 2012.
- [26] Wang X. H, Jiang C. L, Raichur B. K, Parekh A. M, Leonard J. W, Comparison of surface properties of pyrite from coal and ore sources, In: *Electrochemistry in mineral and metal processing III*, The Electrochemical Society, Pennington, NJ pp. 410-417, 1992.
- [27] Yoon R. H, Lagno M. L, Luttrell G. H, Mielczarski J. A, On the hydrophobicity of coal pyrite, In: *Processing and Utilization of High Sulfur Coals IV*, Elsevier, Amsterdam, pp. 241-253, 1991.

SUMMARY**FLOATABILITY AND DECARBONIZATION OF AN ANTHRACITE COAL BY LOW-TEMPERATURE TREATMENT**

This paper presents the results of the study of the effect of temperature on the floatability and the degree of decarbonization of anthracite coal, ie, the desulfurization of the minerals of the tailings. Zeta potentials, natural floatability and kinetic oxidation parameters were tested on pure samples by heating at low temperatures from 50 to 200 °C. The correlation between zeta potential, floatability and temperature confirmed the negative effects of temperature on the floatability and coal recovery in the process of coal flotation.

Key words: coal, oxidation, temperature, floatability, decarbonization