

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Katedra za pripremu mineralnih sirovina



Z B O R N I K R A D O V A

**X KOLOKVIJUM
O PRIPREMI MINERALNIH SIROVINA**

Beograd, 8. decembar 2023.

**X Kolokvijum o pripremi mineralnih sirovina
ZBORNIK RADOVA**

RECENZENTI:

Prof. dr Predrag Lazić

Prof. dr Milena Kostović

UREDNIK:

Prof. dr Milena Kostović

PREDSEDNIK UREĐIVAČKOG ODBORA RUDARSKO-GEOLOŠKOG FAKULTETA:

Doc. dr Dragana Nišić

ČLANOVI UREĐIVAČKOG ODBORA:

Dr Marija Živković, van. prof.; dr Dragana Nišić, docent; dr Milanka Negovanović, van. prof.; dr Ivana Vasiljević, van. prof.; dr Danica Srećković Batočanin, red. prof.; dr Biljana Ablomasov, red. prof.; dr Ranka Stanković, van. prof.; dr Nevenka Đerić, red. prof.; dr Suzana Lutovac, van. prof.; Marina Bukavac

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

Katedra za pripremu mineralnih sirovina

Radovi su štampani u izvornom obliku uz neophodnu tehničku obradu. Autori odgovaraju za svoje stavove i saopštene podatke. Nijedan deo ove publikacije ne može biti reprodukovan, presniman ili prenošen bez pismene saglasnosti izdavača

KOMPJUTERSKI SLOG:

Dr Đurica Nikšić

ŠTAMPA: SaTCIP, Vrnjačka Banja

Tiraž: 150 komada

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

622.7(082)

КОЛОКВИЈУМ о припреми минералних сировина (10 ; 2023 ; Београд)

Zbornik radova / X kolokvijum o pripremi mineralnih sirovina, Beograd, 8. decembar 2023. ; [urednik Milena Kostović]. - Beograd : Rudarsko-geološki fakultet, Katedra za pripremu mineralnih sirovina, 2023 (Vrnjačka Banja : SaTCIP). - [15], 195 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 150. - Str. [9-10]: Predgovor / Organizacioni odbor. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-395-8

а) Руде -- Припрема -- Зборници

COBISS.SR-ID 131574793

Beograd, 2023. godine

ISBN 978-86-7352-395-8

©Sva prava zadržava izdavač

ORGANIZATOR:

**Katedra za pripremu mineralnih sirovina
Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd**

POČASNI ODBOR:

Prof. emeritus dr Nadežda ČALIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Slaven DEUŠIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Svetlana POPOV, red. prof. u penziji
Prof. dr Rudolf TOMANEC, red. prof. u penziji
Prof. dr Dušica VUČINIĆ, red. prof. u penziji
Prof. dr Vladimir ČEBAŠEK, rukovodilac Rudarskog odseka, RGF
Prof. dr Biljana ABOLMASOV, dekan Rudarsko-geološkog fakulteta

NAUČNI ODBOR:

Prof. dr Predrag LAZIĆ, RGF - Beograd
Prof. dr Milena KOSTOVIĆ, RGF - Beograd
Dr Đurica NIKŠIĆ, RGF - Beograd
Prof. dr Jovica SOKOLOVIĆ, Tehnički fakultet - Bor
Dr Dragan RADULOVIĆ, ITNMS - Beograd
Dr Dragan MILANOVIĆ, IRM - Bor
Mr Zorica VUKADINOVIĆ, Ministarstvo rudarstva i energetike R. Srbije
Mr Jasmina NEŠKOVIĆ, Rudarski institut - Zemun

ORGANIZACIONI ODBOR:

Prof. dr Milena KOSTOVIĆ, predsednik
Master ing. Marina BLAGOJEV, sekretar
Prof. dr Predrag LAZIĆ, član
Dr Đurica NIKŠIĆ, član
Dipl. ing. Branislav MIKOVIĆ, član

SADRŽAJ:

SADRŽAJ:.....	5
PROFESOR DR DRAGIŠA DRAŠKIĆ.....	9
ISPITIVANJE SEPARABILNOSTI UGLJEVA PRIMENOM KOEFICIJENTA SEPARABILNOSTI, IW I NGMI INDEKSA.....	1
LABORATORIJSKO I POLUINDUSTRIJSKO ISPITIVANJE USPEŠNOSTI FLOTACIJSKE KONCENTRACIJE MINERALA CERUZITA RUDNOG LEŽIŠATA OČEKALJ, RUDNIKA GEOMET D.O.O. OLOVO BIH.....	12
KARAKTERIZACIJA PEPELA, ŠLJAKE I GIPSA U CILJU RAZVOJA TEHNOLOGIJE NJIHOVOG ZAJEDNIČKOG ODLAGANJA.....	30
POLIMORFNE PROMENE MATERIJE NASTALE MLEVENJEM MINERALA.....	39
PROCENA RIZIKA OD UDESA NA FLOTACIJSKOM JALOVIŠTU RUDNIKA „LECE” PRE I POSLE SANACIJE.....	54
UTVRĐIVANJE PARAMETARA MOKROG MLEVENJA FOSFATA U KOMPANIJI „ELIXIR“ PRAHOVO.....	66
SAVREMENA OPREMA ZA ODVODNJAVANJE PROIZVODA FLOTACIJSKE KONCENTRACIJE.....	75
ANALIZA RIZIKA FLOTACIJSKIH JALOVIŠTA.....	84
MODERNIZACIJA FLOTACIJA U OKOLINI BORA.....	92
STUDIJA IZVODLJIVOSTI NADZEMNE GASIFIKACIJE LIGNITA KAO MOGUĆE KONCEPTUALNO REŠENJE ZA STRATEŠKI PRISTUP PRAVEDNOJ ENERGETSKOJ TRAZICIJI.....	103
UNAPREĐENJE PROCESA PRIPREME I PRERADE LIMONITNE RUDE U POSTROJENJU GMS – OMARSKA.....	111
PROIZVODNJA UGLJA IZ SEKUNDARNOG TEHNOGENOG LEŽIŠTA NA RUDNIKU UGLJA KOVIN.....	122
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA I TRETMAN MULJA IZ POSTROJENJA ZA PMS- PREDUSLOVI, METODE I IZAZOVI.....	136
OPŠTI FAKTORI ODLAGANJA CEMENTNIH SMEŠA JALOVINE KAO ZAPUNA U RUDNICIMA.....	153
EU POJEKTI -MOGUĆNOST I ŠANSA ZA UKLJUČIVANJE I ANGAŽMAN NAUČNIH KADROVA IZ GEOLOGIJE I RUDARSTVA (POSEBNO PMS-STRUKE). SA OSVRTOM NA PROJEKAT RIS-	

DUSTREC-II NO 22009 IZ OBLASTI EIT' RAW MATERIALS (SEKUNDARNIH SIROVINA).....	168
RECIKLAŽA I PONOVNNA UPOTREBA FLOTACIJSKE JALOVINE RUDNIKA „RUDNIK“ U CILJU OSVAJANJA TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA PRERADE SEKUNDARNIH SIROVINA U SRBIJI – PROJEKAT IZ PROGRAMA PRIZMA (2024-2026) - REASONING.....	180

ISPITIVANJE SEPARABILNOSTI UGLJEVA PRIMENOM KOEFIČIJENTA SEPARABILNOSTI, IW I NGMI INDEKSA

*Jovica Sokolović, Ivana Ilić, Milan Trumić, Grozdanka Bogdanović, Univerzitet u
Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Vojske Jugoslavije 12, 19210, Bor, Srbija*

U radu su prikazani rezultati ispitivanja i ocene separabilnosti različitih vrsta ugljeva primenom koeficijenta separabilnosti, indeksa mogućnosti čišćenja (IW) i indeksa materijala u zoni ± 100 kg/m³ (NGMI). Ispitivanja su vršena primenom pliva-tone analize na uzorcima ravnog uglja iz rudnika antracita "Vrška Čuka", rudnika lignita "Lubnica" i rudnika mrkog uglja "Bogovina". Na osnovu dobijenih rezultata pliva-tone analize za sva tri uzorka ravnog uglja izračunate su vrednosti koeficijenta separabilnosti, indeks mogućnosti čišćenja i NGMI indeks. Dobijene vrednosti koeficijenta separabilnosti (K) na gustinama od 1350 kg/m³ do 1650 kg/m³ ukazuju da je sirovina separabilna u datom opsegu gustina, kao i da ugljevi imaju bolju separabilnost na gustini 1350 kg/m³. Međutim, uzimajući u obzir i vrednosti indeksa NGMI, zaključuje se da čišćenje (separaciju) uglja treba vršiti na većim gustinama razdvajanja, jer izračunate vrednosti NGMI indeksa na većim gustinama ukazuju na lakše čišćenje uglja.

Ključne reči: ugalj, koeficijent, separabilnost, NGMI, indeks.

UVOD

Ugalj je čvrsta, goriva organska materija koja potiče iz organskih ostataka i visokomolekularnih jedinjenja formiranih tokom transformacije biljnih ostataka putem procesa polimerizacije i kondenzacije tokom svih faza formiranja uglja. Pod ugljem se podrazumeva organska sedimentna stena tamno smeđe do crne boje koja ima sposobnost sagorevanja. Ugalj, zajedno s naftom i prirodnim gasom, pripada grupi fosilnih goriva.

Sve siromašnija ležišta, povećanje udela sitnih čestica u rovnim ugljevima i sve strožiji zahtevi potrošača u pogledu kvaliteta uglja uslovljavaju da se danas oko 80% iskopanog uglja, pre direktne upotrebe ili dalje prerade, podvrgava procesu čišćenja [1].

Gravitaciona koncentracija predstavlja jednu od najstarijih metoda koja se koristi za čišćenje ravnog uglja. Prednosti ovog procesa su lakoća rada, prihvatljivost sa ekološkog aspekta i niski operativni troškovi [2, 3].

Najveću primenu za ispitivanje mogućnosti primene procesa gravitacione koncentracije i određivanje teoretskih mogućnosti odvajanja minerala različitih gustina ima pliva-tone analiza (P-T). P-T analiza predstavlja raslojavanje sirovine po frakcijama gustina i omogućava brzo i zadovoljavajuće određivanje karakteristika sirovine i proizvoda koncentracije [4].

Procena separabilnosti uglja vrši se na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja pliva-tone analize i analize različitih krivih čišćenja uglja. Ove krive omogućavaju teoretsko odabiranje specifične gustine sredine u kojoj treba vršiti industrijsko odvajanje [5]. Analiza pliva-tone se često koristi za predviđanje mogućnosti čišćenja uglja. Na sposobnost čišćenja uglja utiču različiti faktori, uključujući krupnoću zrna, sadržaj pepela, proizvode koji plivaju i tonu, i količinu materijala u zoni $\pm 100 \text{ kg/m}^3$.

Koeficijent separabilnosti predstavlja odnos masenog iskorišćenja jedne frakcije prema organskom iskorišćenju iste frakcije. Ovaj odnos se utvrđuje laboratorijski, i na osnovu njega se može dati vrlo ubedljiva slika o mogućnostima gravitacione koncentracije [6]. Koeficijent separabilnosti se određuje na osnovu određenog izraza.

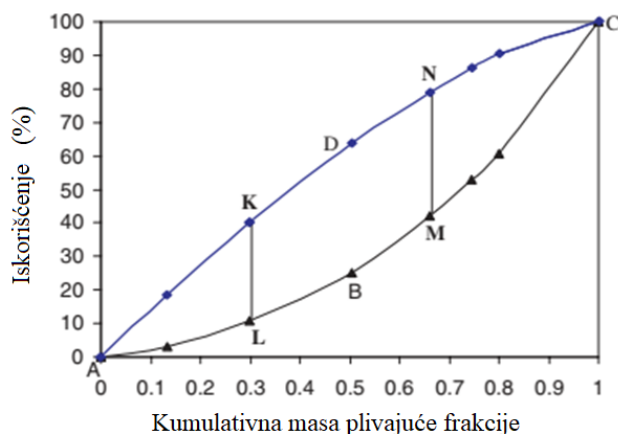
$$K = \frac{I_m}{I_o} \quad (1)$$

Ukoliko je ovaj odnos jednak jedinici na određenoj gustini deljenja, dolazi se do zaključka da se sirovina na toj gustini ne može separisati sa aspekta dobijanja proizvoda različitih kvaliteta. Veće vrednosti koeficijenta separabilnosti ukazuju na veće mogućnosti koncentracije sirovine.

Mogućnost čišćenja ili separabilnost ugljeva izražava se indeksom mogućnosti čišćenja. Ovim indeksom je moguće direktno uporediti sposobnost čišćenja ugljeva koji se značajno razlikuju među sobom. Govindarajan i Rao (1994) [7] su na osnovu rezultata pliva-tone analize razvili novu i jednostavnu metodologiju za ocenu separabilnosti ugljeva primenom indeksa mogućnosti čišćenja. Autori su pokazali da se krive iskorišćenja organskog dela uglja (RN) i iskorišćenja neorganskog dela uglja, tj. iskorišćenja pepela (RA) (krive ADC i ABC na slici 1) mogu nacrtati u odnosu na kumulativnu masu plivajuće frakcije. Krive iskorišćenja, prikazane na slici 1, nacrtane su koristeći sledeće dve jednačine:

$$R_N = \frac{100 * X * (100 - CA)}{100 - HA} \quad (2)$$
$$R_A = \frac{100 * X * CA}{HA}$$

Gde je: X – kumulativna masa plivajuće frakcije, CA – sadržaj pepela u plivajućoj frakciji i HA – sadržaj pepela u ulazu.



Slika 1. Krive iskorišćenja za uglalj

Koristeći različite izraze i tipične krive iskorišćenja, izveden je matematički izraz za indeks mogućnosti čišćenja (IW):

$$IW = \frac{\{6a + 4b + 3c - 600\} * \{6 * (a - p) + 4 * (b - q) + 3 * (c - r)\}}{3600 * HA} * 100 \quad (3)$$

gde su: a, b, c, p, q, r - konstante dobijene metodom najmanjeg kvadrata.

Vrednosti indeksa mogućnosti čišćenja kreću se od 0 do 100, pri čemu 0 predstavlja uglalj koji se teško čisti, a 100 uglalj koji se lako čisti. Tipične vrednosti indeksa variraju između 20 i 60 [7].

Majumder i Barnwal (2004) [8] su izveli metodologiju za izračunavanje novog indeksa za ocenu mogućnosti čišćenja uglja koji su nazvali indeks materijala u zoni $\pm 100 \text{ kg/m}^3$ (NGMI). NGMI indeks predstavlja procentualno učešće materijala u zoni $\pm 100 \text{ kg/m}^3$ pri različitim specifičnim gustinama razdvajanja. Mogućnost čišćenja uglja pri određenoj specifičnoj gustini, zavisi od količine materijala koji se javlja u opsegu $\pm 0,1$ specifične gustine. Ranije predloženi indeksi ne uključuju ovaj važan parametar. NGMI indeks može varirati od 0 do 1. Za svaki uglalj postoji kritična specifična gustina razdvajanja pri kojoj je NGMI najveći. NGMI indeks je definisan kao:

$$NGMI = \frac{\text{Površina KLMN}}{\text{Površina između krivih ADC i ABC}} \quad (4)$$

Površina između krivih ADC i ABC izračunava se na sledeći način:

$$\begin{aligned}
 & \text{Površina ispod krive ADC} - \text{Površina ispod krive ABC} \\
 &= \int_0^1 (aX + bX^2 + cX^3)dx - \int_0^1 (pX + qX^2 + rX^3)dx \\
 &= \frac{\{6 * (a - p) + 4 * (b - q) + 3 * (c - r)\}}{12} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Vertikalne linije KL i NM na slici 1. predstavljaju iskorišćenje organskog dela uglja (X_1) i neorganskog dela uglja (X_2) u opsegu $\pm 0,1$ specifične gustine.

Površina KLMN izračunava se na osnovu izraza:

$$\begin{aligned}
 KLMN = & \frac{\{6 * (a - p) * X_1^2 + 4 * (b - q) * X_1^3 + 3 * (c - r) * X_1^4\}}{12} \\
 & - \frac{\{6 * (a - p) * X_2^2 + 4 * (b - q) * X_2^3 + 3 * (c - r) * X_2^4\}}{12} \quad (6)
 \end{aligned}$$

EKSPERIMENTALNI DEO

Za potrebe istraživanja u radu, izvršeno je uzorkovanje rovnog uglja iz procesa separacije rudnika „Vrška Čuka“, „Bogovina“ i „Lubnica“. Nakon uzorkovanja, izvršena je dalja priprema i skraćivanje uzoraka do masa potrebnih za predviđena laboratorijska ispitivanja. Priprema uzoraka podrazumevala je postupak homogenizacije, metodom kupa-prsten, a zatim skraćivanje uzoraka metodom četvrtanja.

Pliva -tone analiza

Pliva-tone analiza, odnosno raspodela sirovine po frakcijama gustina vrši se u cilju sagledavanja separabilnosti sirovine. Laboratorijska pliva-tone ispitivanja vršena su po postupku profesora Ignjatovića [6]. Rastvor u kome se vrši raslojavanje formiran je od cink hlorida ($ZnCl_2$) i vode i to po principu rastućih gustina od 1300 kg/m^3 do 1850 kg/m^3 . Svi proizvodi dobijeni pliva-tone analizom se ispiraju, suše, mere se mase i određuje se sadržaj pepela po frakcijama gustina.

Na osnovu dobijenih rezultata izračunavaju se koeficijent separabilnosti, indeks IW i NGMI indeks prema metodologiji Govindarajana i Raoa (1994) [7] i Majumdera i Barnwala (2004) [8].

REZULTATI I DISKUSIJA

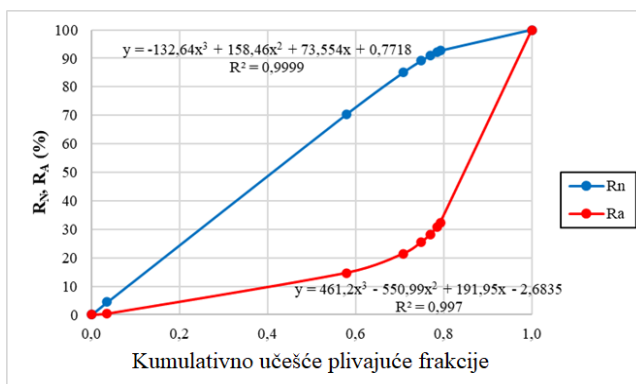
Indeks mogućnosti čišćenja (IW) i indeks materijala u zoni $\pm 100 \text{ kg/m}^3$ (NGMI) uzorka rovnog uglja iz rudnika „Vrška Čuka“.

Rezultati iskorišćenja organskog dela uglja (RN) i iskorišćenja neorganskog dela uglja tj. iskorišćenja pepela (RA) prikazani su u tabeli 1 i grafički

na slici 2. Dobijeni rezultati indeksa IW prikazani su u tabeli 2, a vrednosti indeksa NGMI prikazane su u tabeli 3.

Tabela 1. Rezultati iskorišćenja RN i RA

Gustina kg/m ³	Srednja gustina kg/m ³	Masa m %	Pepeo p %	Σm%	p %	RN	RA
-1300	1250	3,52	1,99	3,52	1,99	4,44	0,31
-1400 + 1300	1350	54,43	5,90	57,95	5,66	70,39	14,69
-1500 + 1400	1450	12,91	11,75	70,86	6,77	85,06	21,48
-1600 + 1500	1550	4,08	22,19	74,94	7,61	89,15	25,54
-1700 + 1600	1650	2,09	29,28	77,03	8,20	91,05	28,28
-1800 + 1700	1750	1,49	39,55	78,52	8,79	92,21	30,91
-1850 + 1800	1825	0,69	47,42	79,21	9,13	92,68	32,38
+1850	1925	20,79	72,65	100,00	22,34	100,00	100,00



Slika 2. Krive iskorišćenja RN i RA u zavisnosti od kumulativne mase plivajuće frakcije

Tabela 2. Vrednosti konstanti i indeks IW za rovni ugalj iz rudnika „Vrška Čuka“

Rovni ugalj	Konstante dobijene metodom najmanjih kvadrata						IW
	a	b	c	p	q	r	
Vrška Čuka	73,55	158,46	-132,64	191,95	-550,99	461,20	33,23

Tabela 3. NGMI indeks za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Vrška Čuka“

Gustina	1350	1450	1550	1650
ADC-ABC	28,8253	28,8253	28,8253	28,8253
X1	0,7086	0,7494	0,7703	0,7852
X2	0,0352	0,5795	0,7086	0,7494
KLMN1	16,9866	19,4580	20,6933	21,5526
KLMN2	-0,0633	9,3990	16,9866	19,4580
KLMN	17,0499	10,0590	3,7066	2,0946
NGMI	0,5915	0,3490	0,1286	0,0727

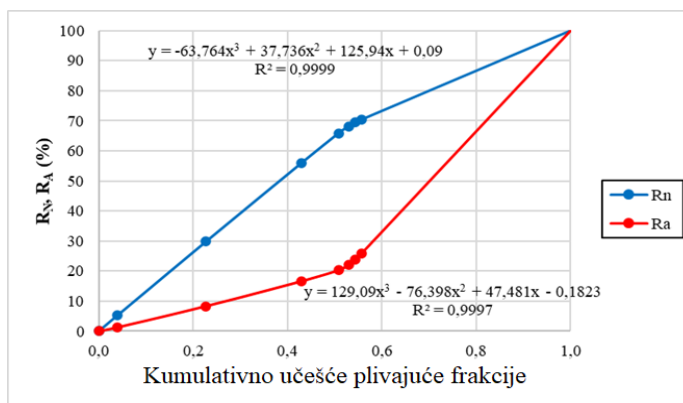
Koristeći vrednosti konstanti dobijenih iz krivih iskorišćenja na osnovu prethodno opisane metodologije izračunat je indeks IW, kao i vrednosti indeksa NGMI pri različitim specifičnim gustinama razdvajanja, za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Vrška Čuka“.

Dobijena vrednost indeksa IW za uzorak rovnog uglja iznosi 33,23 i u skladu je sa podacima prikazanim u literaturi Majumder i Barnwal (2004) [8] koji ukazuju na dobru separabilnost sirovine. Čišćenje uglja pri određenoj specifičnoj gustini zavisi od količine materijala koji se javlja unutar opsega $\pm 100 \text{ kg/m}^3$. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 3, uočava se da je vrednost NGMI indeksa veća pri nižim gustinama razdvajanja i opada sa povećanjem gustine razdvajanja. Na osnovu dobijenih vrednosti NGMI indeksa zaključuje se da čišćenje uglja iz rudnika „Vrška Čuka“ treba vršiti na gustinama između 1550 kg/m^3 i 1650 kg/m^3 . Mogućnost čišćenja određenog uglja značajno varira sa promenom specifične gustine razdvajanja ili sa promenom željenog sadržaja pepela u čistom uglju [9].

Indeks mogućnosti čišćenja (IW) i indeks materijala u zoni $\pm 100 \text{ kg/m}^3$ (NGMI) uzorka rovnog uglja iz rudnika „Bogovina“

Tabela 4. Rezultati iskorišćenja RN i RA

Gustina kg/m^3	Srednja gustina kg/m^3	Masa m %	Pepeo p %	$\Sigma m\%$	p %	RN	RA
-1300	1250	3,93	10,86	3,93	10,86	5,23	1,29
-1400 + 1300	1350	18,79	12,42	22,72	12,15	29,82	8,35
-1500 + 1400	1450	20,15	13,55	42,87	12,81	55,84	16,61
-1600 + 1500	1550	7,95	15,41	50,82	13,22	65,89	20,31
-1700 + 1600	1650	2,15	27,19	52,97	13,78	68,23	22,08
-1800 + 1700	1750	1,44	43,51	54,41	14,57	69,44	23,98
-1850 + 1800	1825	1,24	48,68	55,65	15,33	70,39	25,80
+1850	1925	44,35	55,31	100,00	33,06	100,00	100,00



Slika 3. Krive iskorišćenja RN i RA u zavisnosti od kumulativne mase plivajuće frakcije

Tabela 5. Vrednosti konstanti i indeks IW za rovni ugalj iz rudnika „Bogovina“

Rovni ugalj	Konstante dobijene metodom najmanjih kvadrata						IW
	a	b	c	p	q	r	
Bogovina	125,94	37,74	-63,76	47,48	-76,40	129,09	33,78

Tabela 6. NGMI indeks za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Bogovina“

Gustina	1350	1450	1550	1650
ADC-ABC	29,0607	29,0607	29,0607	29,0607
X1	0,4287	0,5082	0,5297	0,5441
X2	0,0393	0,2272	0,4287	0,5082
KLMN1	8,5787	11,9092	12,8658	13,5163
KLMN2	0,0628	2,3427	8,5787	11,9092
KLMN	8,5159	9,5664	4,2871	1,6071
NGMI	0,2930	0,3292	0,1475	0,0553

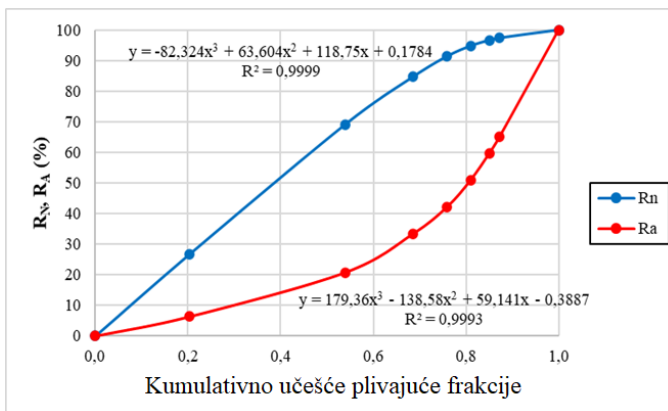
Indeks mogućnosti čišćenja IW za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Bogovina“ iznosi 33,78. Dobijena vrednost je približna vrednosti indeksa mogućnosti čišćenja uzorka iz rudnika „Vrška Čuka“, i ukazuje na to da je čišćenje ovog uglja lako, odnosno da je separabilnost dobra.

Dobijene vrednosti NGMI indeksa su 0,2930; 0,3292; 0,1475 i 0,0553 na gustinama od 1350, 1450, 1550 i 1650 kg/m³, respektivno. Na osnovu dobijenih vrednosti NGMI indeksa zaključuje se da čišćenje uzorka rovnog uglja iz rudnika „Bogovina“ treba vršiti na gustini od 1650 kg/m³.

Indeks mogućnosti čišćenja (IW) i indeks materijala u zoni ± 100 kg/m³ (NGMI) uzorka rovnog uglja iz rudnika „Lubnica“

Tabela 7. Rezultati iskorišćenja RN i RA

Gustina kg/m ³	Srednja gustina kg/m ³	Masa m %	Pepeo p %	$\Sigma m\%$	p %	RN	RA
-1300	1250	20,39	9,85	20,39	9,85	26,82	6,38
-1400 + 1300	1350	33,55	13,49	53,94	12,11	69,16	20,77
-1500 + 1400	1450	14,58	27,18	68,52	15,32	84,65	33,37
-1600 + 1500	1550	7,39	37,61	75,91	17,49	91,38	42,20
-1700 + 1600	1650	5,01	54,09	80,92	19,76	94,74	50,82
-1800 + 1700	1750	4,10	68,16	85,02	22,09	96,64	59,70
-1850 + 1800	1825	2,22	76,67	87,24	23,48	97,40	65,11
+1850	1925	12,76	86,02	100,00	31,46	100,00	100,00



Slika 4. Krive iskorišćenja RN i RA u zavisnosti od kumulativne mase plivajuće frakcije

Tabela 8. Vrednosti konstanti i indeks IW za rovni ugalj iz rudnika „Lubnica“

Rovni ugalj	Konstante dobijene metodom najmanjih kvadrata						IW
	a	b	c	p	q	r	
Lubnica	118,75	63,60	-82,32	59,14	-138,58	179,36	40,39

Tabela 9. NGMI indeks za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Lubnica“

Gustina	1350	1450	1550	1650
ADC-ABC	31,7782	31,7782	31,7782	31,7782
X1	0,6852	0,7591	0,8092	0,8502
X2	0,2039	0,5394	0,6852	0,7591
KLMN1	21,2534	24,9313	27,1759	28,7795
KLMN2	1,6974	13,7105	21,2534	24,9313
KLMN	19,5560	11,2208	5,9225	3,8482
NGMI	0,6154	0,3531	0,1864	0,1211

Dobijena vrednost indeksa IW uzorka rovnog uglja iz rudnika „Lubnica“ ukazuje na lako čišćenje uzorka uglja, odnosno na dobru separabilnost ovog uglja. Dobijena vrednost indeksa IW iznosi 40,39; u opsegu je vrednosti indeksa prikazanim u literaturi Majumder i Barnwal (2004) [8] i Mohanta i saradnici [10] i ukazuje na laku separaciju uglja.

Na osnovu dobijenih rezultata prikazanih u tabeli 9, uočava se da vrednost NGMI indeksa opada sa povećanjem gustine razdvajanja. Vrednosti NGMI indeksa pokazuju da čišćenje rovnog uglja iz rudnika „Lubnica“ treba vršiti na gustinama između 1550 kg/m³ i 1650 kg/m³.

Na osnovu dobijenih rezultata za indeks IW, indeks NGMI i koeficijenta separabilnosti K u nastavku teksta su prikazani uporedni rezultati.

Tabela 10. Upporedne vrednosti indeksa IW, NGMI indeksa i koeficijenta separabilnosti K

	IW	NGMI				K			
		1350	1450	1550	1650	1350	1450	1550	1650
Vrška Čuka	33,23	0,5915	0,3490	0,1286	0,0727	4,10	3,56	3,10	2,82
Bogovina	33,78	0,2930	0,3292	0,1475	0,0553	2,76	2,63	2,54	2,45
Lubnica	40,39	0,6154	0,3531	0,1864	0,1211	2,74	2,26	1,91	1,16

Uppoređivanjem dobijenih vrednosti indeksa IW, uočava se da je najveća vrednost indeksa (40,39) dobijena za uzorak rovnog uglja iz rudnika „Lubnica“ i ukazuje da je čišćenje ovog uglja relativno lako, odnosno da je separabilnost ovog uglja dobra. Takođe, vrednosti indeksa IW za uzorke rovnog uglja iz rudnika „Vrška Čuka“ i „Bogovina“ su velike i ukazuju na dobru separabilnost.

Vrednosti NGMI indeksa su veće pri nižim gustinama razdvajanja, i opadaju sa povećanjem gustine, što je saglasno sa podacima u literaturi Aksogan Korkmaz i Bentley (2017) [11] za NGMI indeks. Dobijeni rezultati ukazuju da su ovi ugljevi podložniji čišćenju (separaciji) pri većim gustinama razdvajanja, odnosno na gustinama između 1550 kg/m³ i 1650 kg/m³. Čišćenje (separacija) uglja je teže pri nižim gustinama razdvajanja zbog prisustva više materijala u zoni ± 100 kg/m³.

Dobijene vrednosti koeficijenta separabilnosti K na gustinama od 1350 kg/m³ do 1650 kg/m³ su veće od 1 i ukazuju da je sirovina separabilna u datom opsegu gustina. Sa povećanjem gustine razdvajanja koeficijent separabilnosti se smanjuje. Uppoređivanjem dobijenih vrednosti koeficijenta separabilnosti zaključuje se da uzorci rovnog uglja najbolju separabilnost imaju na gustini 1350 kg/m³. Ugljevi imaju bolju separabilnost na nižim gustinama razdvajanja, ali se na ovim gustinama dobijaju manja masena iskorišćenja plivajuće frakcije, dok se na većim gustinama dobija veće iskorišćenje plivajuće frakcije. Uzimajući u obzir i vrednosti indeksa NGMI zaključuje se da čišćenje (separaciju) ugljeva treba vršiti na većim gustinama razdvajanja zato što je NGMI indeks manji na većim gustinama i ukazuje na lakše čišćenje.

ZAKLJUČAK

Mogućnost čišćenja predstavlja važan faktor za određivanje karakteristika uglja u procesima gravitacijske koncentracije. Za određivanje sposobnosti čišćenja uglja, tokom godina korišćeni su različiti indeksi.

U ovom radu je ispitivana separabilnost tri različite vrste uglja pomoću indeksa mogućnosti čišćenja IW, indeksa materijala u zoni ± 100 kg/m³ i koeficijenta separabilnosti K. Eksperimenti pliva-tone analize su izvedeni na uzorcima rovnog uglja u rastvoru cink hlorida.

Dobijene vrednosti indeksa mogućnosti čišćenja IW su u rasponu od 33,23 do 40,39 i ukazuju na dobru separabilnost ugljeva. Sa povećanjem gustine razdvajanja vrednosti indeksa NGMI se smanjuju i ukazuju na lakše čišćenje ugljeva. Rezultati dobijeni u ovom radu su potvrdili dosadašnja saznanja iz literature. Na osnovu vrednosti NGMI indeksa čišćenje ovih ugljeva treba vršiti na većim gustinama razdvajanja, odnosno na gustini 1650 kg/m³.

Uparedni rezultati vrednosti indeksa IW, NGMI indeksa i koeficijenta separabilnosti ukazuju da vrsta uglja utiče na separabilnost sirovine, kao i da se za ocenu separabilnosti uglja može koristiti novi indeks čija je metodologija prikazana u radu. Primenom novog indeksa dovijaju se bolji i pouzdaniji rezultati za ocenu separabilnosti ugljeva. Dobijeni rezultati su saglasni sa rezultatima istraživanja drugih autora [7-10].

ZAHVALNICA

Istraživanja predstavljena u ovom radu su urađena uz finansijsku podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, u okviru finansiranja naučno istraživačkog rada na Univerzitetu u Beogradu, Tehničkom fakultetu u Boru, prema ugovoru sa evidencionim brojem 451-03-47/2023-01/200131.

LITERATURA

- [1] Kotaran, R., Kovačević, G. (2015) Prikaz postupaka i rezultata čišćenja uglja, Zbornik radova, I Rudarsko-geološki forum, Srebrenica, 145-153.
- [2] Ignjatović, M., Milanović, D., Magdalinović, S., Urošević, D. (2011) Ugalj-Industrijska priprema i tehnologije čišćenja, Institut za bakar, Bor.
- [3] Burt, R.(1999) The role of gravity concentration in modern processing plants, Minerals Engineering, Vol. 12(11), 1291-1300.
- [4] Sokolović, J. (2020) Praktikum iz fizičkih metoda koncentracije, Univerzitet u Beogradu, tehnički fakultet u Boru, Bor.
- [5] Lešić, Đ., Marković, S. (1968) Priprema mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [6] Ignjatović, R. (1983) Fizičke metode koncentracije mineralnih sirovina, Tehnički fakultet u Boru, Bor.
- [7] Govindarajan, B., Rao, T.C.(1994) Indexing the washability characteristics of coal, Int. J. Miner. Process, Vol. 42, 285-293.
- [8] Majumder, A.K., Barnwal, J.P.(2004) Development of a new coal washability index, Minerals Engineering, Vol. 17, 93-96.

- [9] Sokolović, J., Ilić, I., Trumić, M., Bogdanović, G., Štirbanović, Z. (2023) Determination of washability characteristics of anthracite coal by index of washability and near gravity material index—a case study, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 1-16.
- [10] Mohanta, S., Sahoo, B., Behera, I.D., Pradhan, S.(2016) Effect of crushing on near-gravity material distribution in different size fractions of an Indian non-coking coal, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 116, 209-213.
- [11] Aksogan Korkmaz, A., Bentli, I.(2017) Determination of washability characteristics of Arguvan- Malatya lignite by different washability index methods, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 39, 1572-1580.