

Marina Jovanović
Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Beograd

OCENA SKLONOSTI PEPELA MEŠAVINE UGLJEVA NA PRLJANJE I ZAŠLJAKIVANJE KOTLOVSKIH GREJNIH POVRŠINA

Originalni naučni rad
UDC: 544.45
BIBLID: 0350-218X, 27 (2001), 1-4, 11–24

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja fizičkih i hemijskih osobina mešavina ugljeva sa različitih kopova kolubarskog basena, sa različitim masenim udelima ugljeva u mešavinama. Urađena su laboratorijska ispitivanja tri uzorka uglja, sa dva polja kolubarskog basena, i to: „Tamnava-Istočno Polje” – zapadni deo basena (MA, više toplotne moći), „Tamnava-Istočno Polje” – zapadni deo basena (MB, niže toplotne moći), i „Polje D” – istočni deo basena (MD). Takođe, izvršena je i ocena sklonosti pepela ka zašljakivanju primenom kriterijuma bazni broj – temperatura topivosti koji dobro opisuje domaće ugljeve. Takođe je pokazano da su hemijske i fizičke osobine mešavina aditivne veličine ugljeva koji čine mešavine dok sklonost ka zašljakivanju nije aditivna veličina.

Ključne reči: mešavine uglja, zaprljanje, zašljakivanje, temperature topljenja pepela

UVOD

Posle dominacije tečnih goriva povratak uglju postavio je nove zahteve pred niskovredne ugljeve, kao što je naš lignit. To su pre svega efikasno korišćenje, viši stepen korisnosti konverzije, na primer u termoelektranama i zaštita okoline. Za efikasno korišćenje važno je da kvalitet uglja odgovara projektnim parametrima kotla, među kojima je najvažnija toplotna vrednost uglja. Međutim, kod mladih ugljeva kao što je lignit, i u okviru jednog polja kvalitet uglja se može menjati u širem rasponu, a pogotovo je to izraženo kada je u pitanju ugalj sa različitih polja istog ugljenog basena kao što je to slučaj kod nas u kolubarskom i pljevaljskom basenu. Vremenom, u toku eksploatacije

rudnika, dolazi do promene kvaliteta goriva i velikih varijacija na otvorenom kopu ili raznih delova rudnika sa kojih se snabdeva termoelektrana. Jedna od mogućnosti održanja kvaliteta koji zahteva termoelektrana je prethodna priprema uglja kao što je to odvajanje dela mineralne mase, sušenje, mešanje itd. Pri korišćenju ugljeva ispod projektnih parametara dolazi do promene toplotnog opterećenja grejnih površina, može doći do poremećaja strujanja u ložištu i promene visine plamena, do raznih teškoća u pogonu elektrana sve do gašenja kotla.

Povoljni rezultati se postižu homogenizacijom (mešanjem) uglja sa različitim kopova jednog rudnika ili različitih rudnika, ako za to ima uslova. U procesu mešanja očekuje se porast toplotne moći, ali i smanjenje sadržaja vlage i pepela kao i smanjenje sadržaja zagađivača. Međutim, formiranje mešavine sa povoljnim energetskim osobinama ne znači da su svi parametri mešavine povoljni za rad kotla. Ponašanje mineralne mase mešavine u ložištu je funkcija hemijskog sastava neorganskih komponenti mineralnog dela mase uglja i ne mora biti aditivnog karaktera. Mešanjem mineralne mase različitog hemijskog i fizičkog ponašanja se ne mora dobiti povoljna kombinacija, tako da je ova nepoznanica predmet istraživanja ponašanja mineralne mase u procesu sagorevanja mešavine u ložištu. Nova mineralna masa može biti ograničavajući faktor u efikasnom korišćenju mešavine ugljeva 1 .

Zbog nepovoljnih posledica ponašanja mineralne mase u ložištu kotla (zašljakivanje, korozija, erozija, zaprljanje i drugo) potrebno je ispitivati, ali, ako postoji mogućnost proceniti ponašanje mineralne mase mešavine kako bi se u formiranju mešavine dobio povoljan sastav ili predvidele mere za smanjenje nepovoljnog ponašanja pepela mešavine u ložištu kotla.

U ovom radu su predstavljena laboratorijska ispitivanja mešavina ugljeva različitih kopova kolubarskog basena u različitim odnosima u mešavinama, u cilju određivanja sklonosti mineralne mase mešavine ugljeva na prljanje i zašljakivanje kotlovskih grejnih površina.

U procesu revitalizacije, termoenergetska postrojenja se prilagođavaju novom kvalitetu goriva koje će se koristiti u budućem periodu, što je često mešavina ugljeva, koja može dovesti do znatnih promena u projektu kotla. Zbog toga je kontrola kvaliteta radnog goriva, posebno kvaliteta budućeg goriva, kao i njegovih hemijskih i fizičkih osobina, stalni zadatak.

PONAŠANJE MINERALNIH PRIMESA IZ GORIVA U KOTLOVSKOM LOŽIŠTU

Analizirajući mineralni sastav primesa u uglju kao i mineralni sastav pepela i nalepaka uzetih iz ložišta kotla može se dobiti slika ponašanja mineralne supstance u procesima u ložištu. Ponašanje mineralnih primesa u ložištu i u dimnim kanalima zavisi od hemijskog sastava mineralnih primesa i njihovih fizičkih osobina (temperature sinterovanja, topljenja i isparavanja, gustine, provodljivosti, viskoznosti), od karaktera procesa koji se dešavaju u ložištu, aerodinamike ložišta, temperaturnog nivoa, karaktera gasne sredine (oksidaciona ili redukciona), kao i drugih faktora koji se teže sistematizuju (nekontrolisani procesi, nepredvidivo ponašanje itd.). Zbog toga se mogu javiti znatne razlike u sastavu laboratorijskog pepela i pepela uzetog iz kotlovske ložišta. Međutim,

laboratorijska ispitivanja daju polazne podatke na osnovu kojih se mogu predvideti neka ponašanja u ložištu kotla kao što je zašljakivanje. Pepeo se kvalitativno i kvantitativno razlikuje od polazne mineralne materije uglja.

Kao posledice promena koje se dešavaju u mineralnom delu goriva menjaju se i njegove fizičke i hemijske osobine. Za procese u ložištu i celom kotlovskom postrojenju od svih hemijskih i fizičkih osobina pepela i šljake važne su dve veličine: (a) *topivost* i (b) *viskoznost*. Viskoznost je važna za sisteme sa tečnim odvođenjem šljake pa se i ne određuje za sisteme koji se koriste u našem energetskom sistemu.

TOPIVOST – GLAVNA KARAKTERISTIKA PEPELA MEŠAVINE ZA OCENU PODOBNOSTI KA ZAŠLJAKIVANJU

Karakteristične temperature topivosti

Karakteristične temperature topivosti pepela zavise od sastava pepela odnosno topivosti pojedinih komponenti. Topivost pepela nije univerzalna fizička karakteristika koja objašnjava niz složenih pojava pri lepljenju pepela ili obrazovanju šljake na zidovima ložišta, ali se pokazalo da je opredeljujuća u oceni sklonosti pepela zašljakivanju. Pepeo, kao mešavina više komponenata nema jednu određenu temperaturu topljenja. Pojava topljenja se javlja u određenom temperaturskom intervalu gde je opseg topljenja od velikog značaja za ocenu ponašanja pepela u ložištu 2.

Prema temperaturi topljenja pepeo se deli na:

- lakotopljiv – temperature topljenja do 1200 °C,
- topljiv – temperature topljenja od 1200–1350 °C,
- teškotopljiv – temperature topljenja od 1350–1650 °C, i
- praktično netopljiv sa temperaturom topljenja preko 1650 °C.

Uticajne veličine na topivost pepela

Određivanje topivosti pepela predstavlja problem zato što nije moguće postaviti neku opštu zakonitost koja bi jasno osvetlila ovaj problem. Zato se posebna pažnja posvećuje veličinama koje utiču na topivost pepela 3. Najuticajnija veličina je hemijski sastav pepela.

Hemijski sastav pepela

Hemijski sastav pepela se određuje analizom pepela izraženom u procentima učešća pojedinih jedinjenja, svedenih na okside odgovarajućih hemijskih elemenata 4.

Najčešći sastojci pepela su SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, SO₃, P₂O₅, TiO₂, Na₂O i K₂O.

Ispitivanja topivosti pepela su pokazala da pepeo ima nižu temperaturu topljenja, ako ima manje silikata i aluminijumovih jedinjenja, odnosno ako je njegov sastav

različit od sastava zemljine kore. Jedinjenja gvožđa, alkalije (naročito natrijum sulfat Na_2SO_4), jedinjenja zemnoalkalnih metala i jedinjenja sumpora imaju veliki uticaj na temperaturu topljenja pepela, tako što je ova temperatura niža ako je prisustvo spomenutih jedinjenja u većoj količini. Ugljevi čiji pepeli sadrže puno gvožđa prouzrokuju zašljakivanje. Odlučujući uticaj na topivost pepela nema količina pepela već njegov sastav.

U literaturi postoje mnoge metode i načini određivanja topivosti. Sve ove metode se mogu podeliti na dve osnovne grupe:

- eksperimentalne metode, i
- analitičko matematičke metode.

Prednost se daje eksperimentalnim metodama, kao tačnijim. Analitičko-matematički načini su bazirani na podacima hemijske analize pepela (pokazano je da topivost pepela zavisi od mešavine oksida koji se nalaze u pepelu) 5 .

OCENA SKLONOSTI PEPELA ZAŠLJAKIVANJU GREJNIH POVRŠINA KOTLA

Osnovni kriterijumi koji se sreću u literaturi su odnosi pojedinih oksida koji sačinjavaju pepeo kao što su: odnos baza/kiselina (bazni broj), odnos silicijum/aluminijum, odnos gvožđe/kalcijum, odnos gvožđe/dolomit, procenat dolomita (DP) i procenat silicijuma (SP); zatim faktor Prosta (Prost), indeks topivosti, faktor Tuenea (Tunea), faktor Nikolsa (Nicholls) i Selviga (Selvig), faktor Šafera (Schafer) i dr. Grafičke veze baznih, oksidnih komponenti i temperature topivosti srećemo u Cinceovom (Cince) i Altmanovom (Altman) trouglu. Za ovu analizu izabrani su samo oni kriterijumi koji su se pokazali pogodnim za naše ugljeve 6 .

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Urađena su laboratorijska ispitivanja ugljeva i njihovih mešavina, i to tehnička i elementarna analiza, hemijska analiza i topivost pepela.

Analizirane su mešavine izabranih ugljeva sa dva kopa kolubarskog basena „Tamnava-Istočno Polje – zapadni deo basena” više toplotne moći, „Tamnava-Istočno Polje – zapadni deo basena” niže toplotne moći, i „Polje D-Istočni deo” velike toplotne moći. Za svaku mešavinu obrazovano je pet uzoraka sa odnosom masa ugljeva (u dostavnom stanju) u mešavini od 0–100%.

Pri analizi osobina mešavine ugljeva polazilo se od pretpostavke da su sadržaj vlage, toplotna moć, sadržaj pepela, hemijska i elementarna analiza aditivne funkcije osobina polaznih ugljeva, a da hemijske i fizičke osobine mešavine, recimo sklonost zašljakivanju, ne moraju biti aditivne funkcije osobina polaznih ugljeva.

Spomenute analize su urađene eksperimentalnim putem, dok su za neke mešavine ugljeva, ako znamo maseni udeo ugljeva u mešavini, parametri odgovarajuće analize izračunate interpolacijom poznatih osobina komponenta mešavine. Takođe, urađeno je eksperimentalno određivanje karakterističnih temperatura topljenja pepela ugljeva i njihovih mešavina na standardnoj aparaturi za ispitivanje topivosti pepela sa mikroskopskim posmatranjem uzoraka pepela i kontinualnim praćenjem temperature (JUS B. H8. 325), kao i fotografisanje karakterističnih promena probnog tela.

ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA I DISKUSIJA

Rezultati tehničke analize čistih uzoraka ugljeva

Rezultati tehničke analize čistih uzoraka ugljeva: „Тамнава-Истоčno Поље”, више топлотне моћи (МА); „Тамнава-Истоčno Поље”, ниже топлотне моћи (МБ), и „Поље D”, велике топлотне моћи (МД), показују да узорак угља МД има највећу топлотну моћ, највећи садржај сагорљивих материја и најмањи садржај пепела, док је узорак угља МБ са најмањим садржајем сагорљивих материја, највећим садржајем пепела и има најмању топлотну моћ (таблица 1).

Таблица 1. Техничка анализа (узорака МА, МБ, МД и њихових мешавина) која је добијена експерименталним путем, сведена на масу угља са доставном влагом

Техничка анализа	МА	МБ	МД	МД:МА 3:1*	МД:МБ 3:1*
Груба влага %	45,30	37,70	41,70	42,60	39,7
Аналитичка влага %	5,80	6,35	6,66	5,82	6,14
Пепоо %	15,87	25,77	5,13	7,45	10,89
Сагорљиве материје %	33,03	30,18	46,50	44,13	43,27
Горња топлотна моћ кЈ/кг	9072	7891	12354	11657	11586
Доња топлотна моћ кЈ/кг	7372	6330	10298	9566	8626

*измерене вредности

Хемијска анализа пепела

У табlici 2. се налазе подаци хемијске анализе пепела који су важни за оцену понашања пепела, а приказани су у процентима масеног садржаја оксида метала. Процентуално је најзаступљенији $\text{SiO}_2 = 23\text{--}52\%$, а затим $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8\text{--}30\%$, тако да пепели са великим садржајем ових оксида имају високе температуре топљења 7. Пепоо са највећим садржајем SiO_2 и Al_2O_3 је пепоо угља МБ ($\text{SiO}_2 = 53,17\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 30,24\%$), а са најмањим садржајем SiO_2 и Al_2O_3 је пепоо угља МД ($\text{SiO}_2 = 37,14\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18,90\%$), па према томе треба очекивати да узорак угља МБ има највишу температуру разливљања, а узорак угља МД најмању што ће бити показано у анализи карактеристичних температура топљења пепела.

Таблица 2. Подаци хемијске анализе пепела čistih узорака угљева

Ознака узрока	Састав	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	SO_3
МА	Čisto	49,74	26,16	5,59	6,39	2,78	0,06	1,44	4,21
МБ	Čisto	53,17	30,24	5,72	3,14	2,06	0,06	1,39	2,32
МД	Čisto	37,14	18,90	11,98	11,19	4,31	0,31	0,72	12,48

Temperature topivosti

Pokazalo se da se ne mogu dovoljno tačno odrediti osobine mešavina i njihovo ponašanje u ložištu kotla na osnovu tehničke i hemijske analize ugljeva iz kojih je sastavljena mešavina. Potrebno je obaviti eksperimentalno određivanje relevantnih veličina, na primer, određivanje topivosti pepela, za ocenu šljakajućih osobina pepela. Karakteristike topivosti najviše zavise od mineraloškog sastava pepela i atmosfere u kotlu koja preovlađuje tokom sagorevanja, i koja se kreće u opsegu od redukcione do oksidacione.

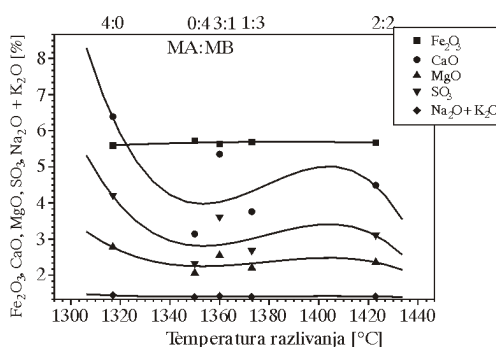
Standardne temperature topljenja pepela (TTP) se najčešće koriste kao osnovni pokazatelj sklonosti ugljeva i njihovih mešavina ka stvaranju naslaga. Zbog toga je veoma važno znati, ili biti u mogućnosti da se predvide, karakteristike topivosti ugljeva i njihovih mešavina pre nego što se uvedu u kotao.

Dijagrami na sl. 1–3. pokazuju kako promena hemijskog sastava pepela čistih ugljeva i njihovih mešavina utiče na temperaturu razlivanja (TRZ). Na dijagramima su date temperature razlivanja za čiste komponente mešavine (4:0 i 0:4) i mešavine sa masenim odnosom komponenata 3:1, 2:2 i 1:3.

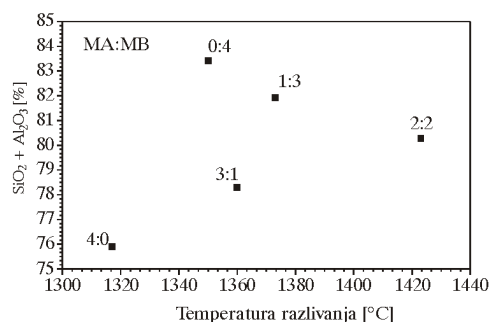
Sl. 1a. predstavlja promenu TRZ sa promenom sadržaja SO_3 i baznih komponenata pepela mešavine ugljeva MA i MB. Uočava se da sa porastom sadržaja CaO, MgO, i SO_3 u mešavinama, TRZ opada od 1420–1320 °C. Dijagram na sl. 1b. pokazuje promenu TRZ u funkciji promene kiselih komponenata pepela mešavina ugljeva MA i MB. U slučaju ovih mešavina, kada se povećava ukupna količina kiselih oksida SiO_2 i Al_2O_3 , raste temperatura razlivanja do 1420 °C. Uočava se da najvišu temperaturu razlivanja ima mešavina u kojoj su maseni udeli komponenata isti (2:2). Dalji porast udela $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ dovodi do sniženja TRZ.

Sl. 2a. pokazuje da u slučaju mešavina kada je maseni odnos ugljeva MD:MA = 3:1, 2:2, i 1:3, sa opadanjem sadržaja Fe_2O_3 , CaO i SO_3 dolazi do porasta TRZ. Dijagram na sl. 2b. pokazuje progresivni rast TRZ u zavisnosti od ukupnog sadržaja kiselih oksida u pepelu ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), do neke vrednosti između 70% i 75% sadržaja ovih oksida, kada sa daljim porastom sadržaja kiselih oksida dolazi do opadanja TRZ.

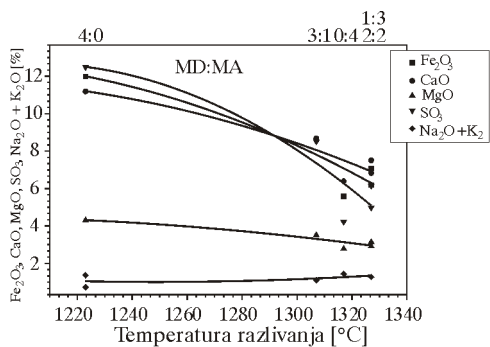
Sa dijagrama na sl. 3a. se opaža da kada opada sadržaj Fe_2O_3 , CaO i SO_3 , raste TRZ do 1350 °C, u slučaju mešavina ugljeva MD i MB. Promena TRZ sa promenom



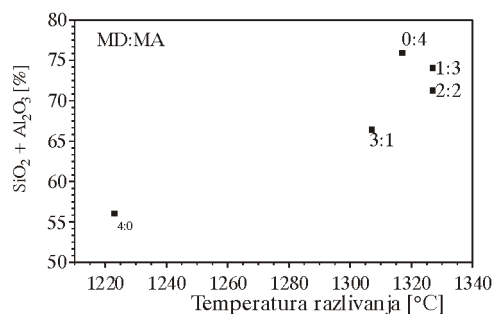
Slika 1a. Promena TRZ sa promenom sadržaja SO_3 i baznih komponenata pepela mešavine ugljeva MA i MB



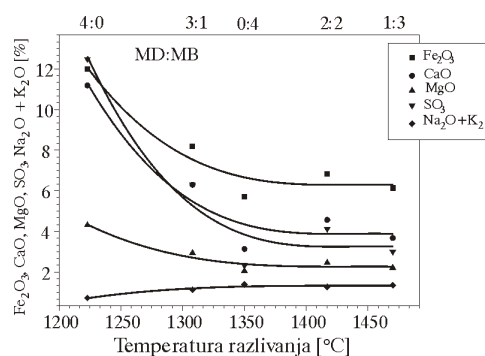
Slika 1b. Promena TRZ sa promenom sadržaja kiselih komponenata pepela mešavine ugljeva MA i MB



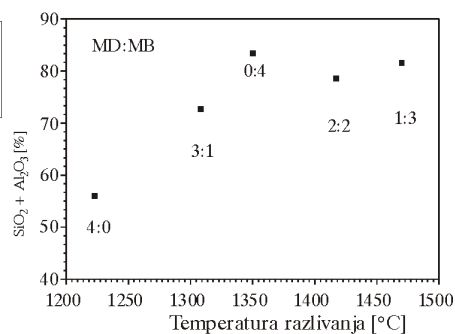
Slika 2a. Promena TRZ sa promenom sadržaja SO_3 i baznih komponenata pepela mešavine ugljeva MD i MA



Slika 2b. Promena TRZ sa promenom sadržaja kiselih komponenata pepela mešavine ugljeva MD i MA



Slika 3a. Promena TRZ sa promenom sadržaja SO_3 i baznih komponenata pepela mešavine ugljeva MD i MB



Slika 3b. Promena TRZ sa promenom sadržaja kiselih komponenata pepela mešavine ugljeva MD i MB

sadržaja kiselih oksida ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) za slučaj prethodno spomenutih mešavina je prikazana na sl. 3b. Sa porastom sadržaja $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, raste TRZ do neke vrednosti zbira oksida oko 80% u pepelu, kada TRZ počinje da opada. To je uočeno i kod drugih mešavina, a izrazito kod mešavina ugljeva MA i MB (sl. 1b).

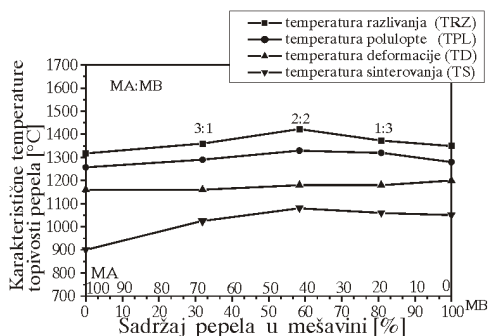
U tablici 3. prikazani su rezultati eksperimentalnih ispitivanja TRZ pepela za ispitivane ugljeve MA, MB i MD, dok je promena karakterističnih temperatura topljenja pepela usled promene sadržaja pepela u mešavini, predstavljena na sl. 4–6.

Najvišu TRZ ima pepeo uzorka uglja MB (1350 °C), a najnižu pepeo uzorka uglja MD (1223 °C). Tri ispitivane mešavine kod kojih je maseni odnos ugljeva MA:MB = 3:1, 2:2 i 1:3 imaju višu TRZ od tempera-

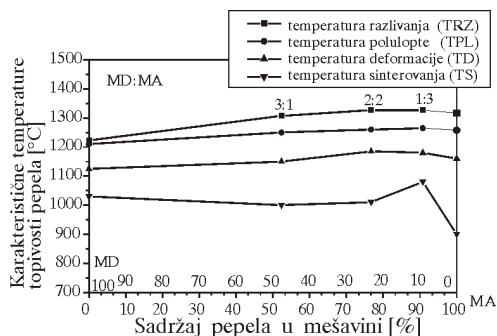
Tablica 3.

Temperatura C	MA	MB	MD
TRZ	1317	1350	1223

ture razlivanja pepela čistih uzoraka ugljeva MA i MB. Mešavina MA:MB = 2:2 ima najvišu TRZ = 1423 C (sl. 4), dok kod mešavina MA:MB = 3:1 i MA:MB = 1:3 izmerene TRZ = 1360 C, odnosno TRZ = 1373 C su vrlo slične temperaturi razlivanja uzorka uglja MB.



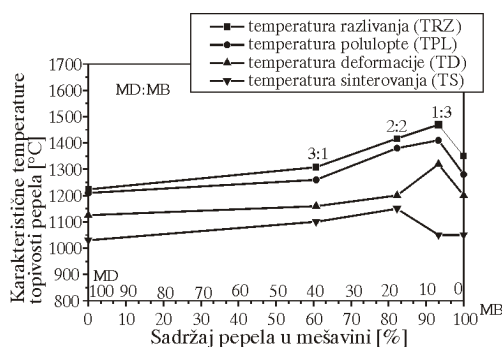
Slika 4. Karakteristične temperature topivosti pepela za uzorke ugljeva MA i MB, i njihove mešavine



Slika 5. Karakteristične temperature topivosti pepela za uzorke ugljeva MD i MA, i njihove mešavine

Na sl. 5. je prikazana promena karakterističnih TTP pri promeni sadržaja pepela u mešavinama uglja MD i MA. Kada se povećava sadržaj pepela uglja MD u mešavinama MD:MA, temperatura razlivanja pepela lagano opada. TRZ pepela mešavina, kada je maseni odnos ugljeva u mešavinama MD:MA = 1:3 i 2:2, iznosi 1327 C, a nešto je niža za MD:MA = 3:1 (TRZ = 1307 C). Kada sadržaj pepela uglja MD u mešavinama iznosi 9,2% i 23,28%, temperatura razlivanja je znatno iznad TRZ pepela uglja MD (za 104 C), čak je ona nešto viša i od TRZ pepela uglja MA (za 10 C). Presudan uticaj ima uzorak uglja MA koji povećava TRZ mešavina kada je maseni odnos ugljeva u mešavinama MD:MA = 1:3 i MD:MA = 2:2.

Na sl. 6. prikazane su karakteristične TTP ugljeva MD i MB kao i promena tih temperatura u funkciji promene sadržaja pepela u mešavinama. Sve tri mešavine imaju veću TRZ od TRZ pepela uzorka uglja MD, a ona se u slučaju ovih mešavina kreće u intervalu od 1308–1470 C. Kada je sadržaj pepela uglja MD u mešavini 6,71% odnosno



Slika 6. Karakteristične temperature topivosti pepela za uzorke ugljeva MD i MB, i njihove mešavine

17,5%, temperature razlivanja su 1470 °C i 1417 °C, što je znatno iznad (67–120 °C) TRZ pepela uzorka uglja MB (TRZ = 1350 °C), dok je TRZ pepela mešavine u kojoj je sadržaj pepela uglja MD 39,29%, niža od TRZ pepela uzorka uglja MB (za 42 °C) a viša od TRZ pepela uzorka uglja MD (za 85 °C), sl. 6. Ovo pokazuje da hemijski sastav pepela uzorka uglja MB ima presudan značaj jer povećava TRZ pepela mešavina.

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja topivosti pepela obrazovanih mešavina potvrđuju pretpostavku da topivost nije aditivna funkcija topivosti ugljeva u mešavini iako je hemijski sastav pepela mešavina aditivan i direktna je funkcija odnosa sastava pepela ugljeva u mešavini. Kako je i pretpostavljeno hemijske reakcije sastojaka pepela, odnosno odnos lako topivih i teško topivih sastojaka formiranih u toku zagrevanja, opredeljuju i topivost pepela.

Ugalj sa teško topljivim pepelom u mešavini povisio je temperaturu topljenja pepela mešavine, ali ne proporcionalno udelu njegovog pepela u mešavini pepela već shodno hemijskim reakcijama kojim su formirana jedinjenja koja imaju višu ili nižu, temperaturu topivosti od temperature topivosti teško topivog pepela uglja u mešavini. Ispitivanjima nije dobijena niža temperatura topivosti pepela mešavina od najniže temperature topivosti pepela uglja sa lako topivim pepelom u mešavini.

Ova pojava porasta TRZ se objašnjava mineraloškom promenom u mešavini na visokim temperaturama. Sve ispitivane mešavine su heterogeni višekomponentni sistemi koji uslovljavaju da se na visokim temperaturama stvaraju minerali čija pojava utiče na varijacije TRZ ispitivanih mešavina.

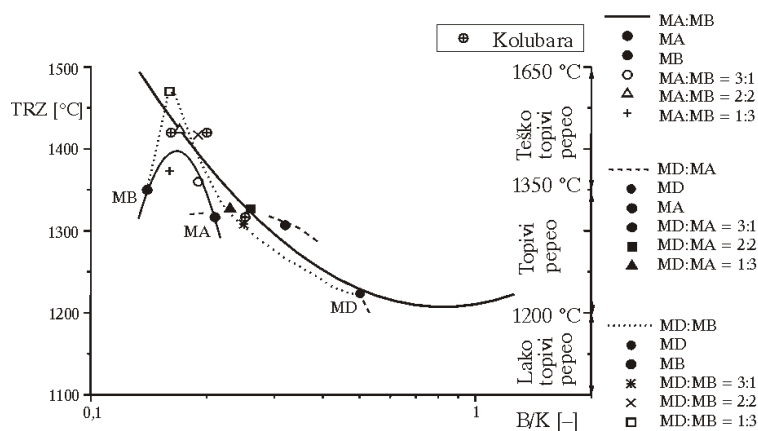
Najkarakterističnija mešavina od devet ispitivanih je mešavina ugljeva MD i MB, za slučaj kada je maseni odnos ugljeva u mešavini MD:MB = 1:3. To je najpovoljnija mešavina u smislu da ima najvišu TRZ pepela, višu od TRZ pepela čistih komponenata MD i MB. Koristeći rezultate eksperimentalnih analiza pepela uzoraka ugljeva MD i MB kao i njihovih mešavina, uočava se visok sadržaj Al_2O_3 i SiO_2 koji u visokotemperaturnim uslovima kroz reakcije u čvrstom stanju stvaraju novo alumo-silikatno jedinjenje mulit. Pretpostavlja se da sa porastom sadržaja mulita u mešavini raste i temperatura razlivanja pepela mešavine. Zaključak je izveden iz analize ispitivanja koja su našli drugi istraživači, a za njegovu potvrdu bila bi potrebna i kristalografska ispitivanja [8].

ANALIZA PODOBNOSTI PEPELA MEŠAVINE KA ZASLJAKIVANJU

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i podataka iz literature postoji relativno malo kriterijuma ili modela koji mogu da predvide proces stvaranja naslaga. Postojeći modeli mogu da se razvrstaju u dve osnovne grupe:

- (a) poluempirijski izrazi, i
- (b) modeli kojima se tretiraju posledice procesa stvaranja naslaga kao što su brzina i debljina stvaranja rasta naslaga na grejnim površinama kotla [9].

Temperatura topljenja pepela je osnovni parametar kojim se predviđaju osobine pepela ugljeva u samom kotlu, odnosno pokazatelj sklonosti ugljeva ka stvaranju naslaga.



Slika 7. Dijagram zavisnosti baznog broja i temperature razlivanja pepela

Ostali kriterijumi koji se koriste u ovom radu su bazirani na podacima hemijske analize pepela i imaju zadatak da objasne ili prošire ono što pokazuje temperatura topljenja pepela, a to su:

- (1) bazni broj (B/K),
- (2) sadržaj Na_2O u pepelu,
- (3) odnos oksida gvožđa i dolomita ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{MgO}$), i
- (4) odnos oksida gvožđa i kalcijuma ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$).

Kriterijumi koji se navode, a i drugi koji se mogu naći u literaturi dobijeni su za analizirane ugljeve i najčešće ne daju dobre ocene za druge vrste ugljeva. Na primer, drugi kriterijum, sadržaj Na_2O u pepelu, je odgovarajući za ugljeve koji imaju značajan sadržaj natrijuma.

Kriterijum koji uzima u obzir sadržaj svih elemenata u uglju koji utiču na proces stvaranja naslaga je bazni broj koji se obično kombinuje sa temperaturom topivosti. Ovaj broj predstavlja važan podatak za procenu topivosti pepela i predviđanju ponašanja pepela u ložištu, a do sada je dao dobre rezultate u primeni kod ocene svojstava naših ugljeva ka stvaranju naslaga na grejnim površinama energetskih kotlova. Ostala tri kriterijuma koja su se koristila u ovom radu su preuzeta iz anglosaksonske prakse, a brojčane vrednosti za ocenu sklonosti ka zašljakivanju važe uglavnom za američke ugljeve.

Slika 7. pokazuje promenu TRZ sa promenom baznog broja koji se za ispitivane ugljeve i njihove mešavine kreće od 0,14–0,5. Kada se odnos baznih i kiselih oksida kreće od 0,4–0,7 postoji veoma izražena sklonost pepela ka zašljakivanju. Pepeo uzorka uglja MD ima $\text{TRZ} = 1223 \text{ }^\circ\text{C}$ i $\text{B/K} = 0,5$, na granici je lakotopljivog pepela, i prema ovom kriterijumu pokazuje izrazitu sklonost ka zašljakivanju. Pepeli ugljeva MA i MB, kao i svih ispitivanih mešavina imaju bazni broj koji je manji od 0,4, pa prema tome pokazuju osrednju ili slabu sklonost ka stvaranju naslaga. Mešavina ugljeva MA i MB gde je maseni odnos ugljeva u mešavini $\text{MA:MB} = 1:3$, i mešavina ugljeva MD i MB gde je maseni odnos ugljeva u mešavini $\text{MD:MB} = 1:3$, imaju isti bazni broj ($\text{B/K} = 0,16$) a različite TRZ ($1373 \text{ }^\circ\text{C}$ odnosno $1470 \text{ }^\circ\text{C}$).

Sadržaj Na_2O u pepelu je sledeći kriterijum pomoću koga se procenjuje i predviđa zašljakivanje u ložištu kotla. Oksidi natrijuma u pepelu uglja dovode do stvaranja naslaga i korozije na grejnim površinama. Pojedina natrijumova jedinjenja isparavaju u plamenu i kondenzuju se na hladnije grejne površine kotla stvarajući vezane alkalne naslage.

Kriterijumi za ocenu skloności ka stvaranju naslaga su dati u tablici 4.

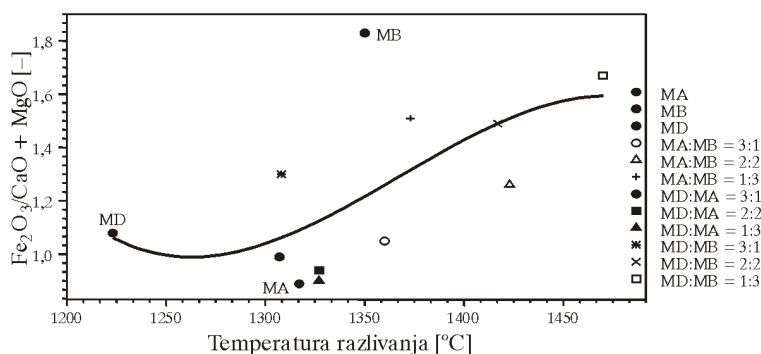
Sadržaj Na_2O u pepelima ispitivanih uzoraka ugljeva i njihovih mešavina je zanemarljiv (<2%), pa prema ovom kriterijumu i klasifikaciji u tablici 4. stvaranje naslaga na grejnim površinama kotla bi trebalo da bude slabo.

Sledeći kriterijum koji je korišćen u ovom radu, a kojim se ocenjuje i predviđa ponašanje pepela u ložištu je odnos $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$. Za sve ispitivane uzorke uglja i njihove mešavine ovaj odnos se kreće od 0,89 (uzorak uglja MA) do 1,83 (uzorak uglja MB).

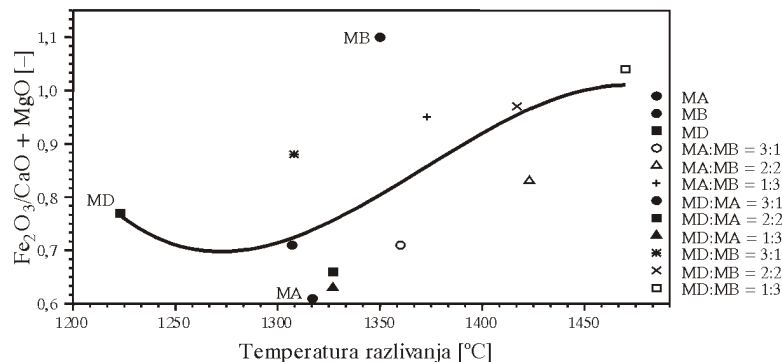
Oksidi gvožđa i kalcijuma su najvažniji bazni oksidi zato što prave najveće količine baznih jedinjenja koja utiču na tečljivost pepela. Prema ovom kriterijumu kada je $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} < 0,3$, pepeo takvog uglja pokazuje slabu skloność ka zašljakivanju i veoma izraženu kada je $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} > 3$. Pepeo uglja MB ima najveći odnos $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} = 1,83$ i pokazuje izraženu skloność ka zašljakivanju, a pepeo uglja MA pokazuje osrednju skloność ka stvaranju naslaga ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO} = 0,89$). Na sl. 8. prikazana je zavisność odnosa $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ i TRZ za ispitivane ugljeve i njihove mešavine, gde se vidi da sa porastom odnosa $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ raste TRZ. Kriterijum

Tablica 4. Kriterijumi za ocenu skloności pepela ka stvaranju naslaga

Sadržaj Na_2O u pepelu %	Skloność uglja ka stvaranju naslaga
<2	Slaba
2–6	Osrednja
6–8	Izražena



Slika 8. Dijagram zavisnosti broja $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ i temperature razlivanja pepela, za ispitivane ugljeve i njihove mešavine



Slika 9. Dijagram zavisnosti broja $Fe_2O_3/CaO + MgO$ i temperature razlivanja pepela, za ispitivane ugljeve i njihove mešavine

$Fe_2O_3/CaO + MgO$ (za lignit) je suštinski isti kao odnos Fe_2O_3/CaO , i preporučuje se da se koristi kada je sadržaj MgO u pepelu visok. Slika 9. pokazuje porast TRZ kad se vrednosti ovog kriterijuma kreću od 0,7–1,0.

Prema ovim kriterijumima, zavisno od odnosa ugljeva u mešavini koji definiše hemijski sastav pepela mešavine i odgovarajuće temperature topivosti, sklonost ka zašljakivanju se kreće od male do izrazite sklonosti ka zašljakivanju ispitivanih mešavina.

ZAKLJUČAK

U radu su dati rezultati ispitivanja mešavina ugljeva sa različitim kopova kolubarskog basena, sa različitim masenim udelima ugljeva u mešavinama i određivane su sklonosti mineralne mase mešavine ugljeva na prljanje i zašljakivanje kotlofskih grejnih površina. Ispitivanja su pokazala da su sadržaj vlage, gorivih isparljivih materija, fiksnog ugljenika, parametara elementarne analize i toplotna moć, aditivne veličine. Od ispitivanih uzoraka, uzorak uglja MD ima najveću toplotnu moć, najveći sadržaj sagorljivih supstancija i najmanji sadržaj pepela, dok je uzorak uglja MB sa najmanjim sadržajem sagorljivih supstancija, ima najnižu toplotnu moć i najviše pepela. Promena hemijskog sastava pepela uglja u okviru jednog kopa uglja, kao što je lignit kolubarskog basena, može sklonost ka zašljakivanju da menja, od male do velike sklonosti ka zašljakivanju. Ispitivanja kolubarskog lignita pokazuju da partije uglja više toplotne moći (više mineralne materije iz organske mase iz koje je nastao ugalj) ima pepeo sklon zašljakivanju, a partije uglja sa nižom toplotnom moći manju sklonost pepela ka zašljakivanju (više mineralne mase iz okolnog zemljišta).

Hemijski sastav pepela mešavina je aditivan i direktna je funkcija odnosa sastava pepela ugljeva u mešavini. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja topivosti pepela obrazovanih mešavina potvrđuju pretpostavku da topivost nije aditivna funkcija topivosti ugljeva u mešavini. Ugalj sa teško topivim pepelom u mešavini povisio je temperaturu topljenja mešavine, ali ne proporcijalno udelu njegovog pepela u mešavini. Takođe, ispitivanjima nije dobijena niža temperatura topljenja mešavine od najniže temperature topljenja uglja sa lakotopivim pepelom u mešavini. Zavisno

od odnosa ugljeva u mešavinama koji definiše hemijski sastav pepela mešavine i odgovarajuće temperature topljenja, primenjeni kriterijumi su pokazali da se sklonost pepela ka zašljakivanju kreće od slabe do izrazite sklonosti ka zašljakivanju.

Rezultati ispitivanja mešavina su pokazali da se na osnovu poznatih hemijskih i fizičkih osobina komponenata mešavina ugljeva ne može odrediti i stepen sklonosti ka prljanju i zašljakivanju grejnih površina, već samo laboratorijskim ispitivanjima mešavina. U oceni sklonosti pepela ka zašljakivanju grejnih površina temperature topivosti i odnos bazni broj (B/K)/temperatura razlivanja omogućavaju da se dobiju neophodni podaci za projektovanje, revitalizaciju ili rekonstrukciju kotlova koji će koristiti mešavinu ugljeva.

OZNAKE

- TTP – temperatura topljenja pepela
- TRZ – temperatura razlivanja
- TPL – temperatura polulopte
- TD – temperatura deformacije
- TS – temperatura sinterovanja
- MA – uzorak uglja „Tamnava-Istočno Polje – zapadni deo basena”, više toplotne moći
- MB – uzorak uglja „Tamnava-Istočno Polje – zapadni deo basena”, niže toplotne moći
- MD – uzorak uglja „Polje D – Istočni deo”, velike toplotne moći

LITERATURA

- 1 Baxter, L. L., Experimental and Theoretical Comparations of the Combustion and Ash Deposition Behaviour of Blended Coals and that of the Blend Components, in: Coal-Blending and Switching of Low-Sulphur Western Coals, The Engineering Foundation Press, ASME, New York, 1993, 255–264
- 2 Radovanović, R. M., Goriva, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- 3 Jovanović, L. LJ., Prljanje i čišćenje kotlovskih grejnih površina, Laboratorija za toplotnu fiziku i tehniku Instituta za nuklearne nauke „Boris Kidrič” – Vinča, 1975.
- 4 Richard, W. B., Ash Deposits and Corrosion Due to Impurities In Combustion Gases, Published by Hemisphere Publishing Corporation, London, 1978
- 5 Joseph, G. S., Combustion Fossil Power Systems, Properties of Coal Ash, Combustion Engineering, INC., Chapter 3, Windsor, 1981, 3–33
- 6 Martinović, P. M., Ocena sklonosti pepela mešavine ugljeva na prljanje i zašljakivanje kotlovskih grejnih površina, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2001.
- 7 Joseph, G. S., Combustion Fossil Power Systems, Properties of Coal Ash, Combustion Engineering, INC., Chapter 3, Windsor, 1981, 3–33
- 8 Tecilazić, M., Osnovi tehnologije silikata, Skriptarnica Saveza studenata Tehnološkog fakul-teta, Beograd, 1962.
- 9 Radovanović, M. P., Prilog proučavanju uticaja stvaranja naslaga pepela na efikasnost rada grejnih površina kotla u cilju izrade odgovarajućeg ekspertskog sistem, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Banjaluka, 1994.

Abstract

**AN ESTIMATE OF COAL BLEND ASHES
TENDENCY TO THE FOULING AND SLAGGING
OF BOILERS HEATING SURFACES**

by

Marina JOVANOVIĆ

Results of investigation of coal blends, originated from different fields of Kolubaras' basin with different coals mass portions in the blends are presented. Laboratorial investigation of three coal samples taken from two fields of Kolubaras' basin, "Tamnava-east field" west part of basin (MA, with higher heating value), "Tamnava-east field" west part of basin (MB, with lower heating value) and "Field D"-east part of basin (MD), were done. Also, an estimate of ash tendency to the slagging by application of base/acid ratio-ash fusion temperature criteria, which is successfully used in characterization of domestic coals, was done. It is also presented that chemical and physical characteristics of coals blend are additive values of coals while tendency of fusibility is not additive value.

Key words: coal blends, fouling, slagging, ash fusibility