

LABORATORIJSKA ISTRAŽIVANJA SAGORIJEVANJA U LETU UGLJEVA SREDNJOBOSANSKOG BAZENA U SUHOM REŽIMU ODVOĐENJA ŠLJAKE

LAB-SCALE INVESTIGATION OF PULVERISED COMBUSTION OF MIDDLE-BOSNIA COALS IN DRY ASH COMBUSTION CHAMBER

Nihad Hodžić¹, Anes Kazagić², Izet Smajević^{1,2}

Sažetak: U laboratorijskom postrojenju Mašinskog fakulteta u Sarajevu obavljena su opsežna bazna istraživanja karakteristika sagorijevanja mješavine ugljeva srednjobosanskog bazena u sprasenom stanju, da bi se obezbijedili pouzdani podaci za dalje analize i optimizaciju sistema sagorijevanja tih ugljeva. Istraživano je sagorijevanje različitih mješavina ugljeva iz rudnika mrkog uglja Kakanj, Breza i Zenica, pri različitim temperaturnim 950-1350 °C i drugim tehnološkim uslovima u ložištu. Varirano je učešće pojedinih ugljeva u mješavini, temperatura sagorijevanja, termičko opterećenje ložišta, distribucija zraka - uključivo i sistem za stepenasto sagorijevanje zrakom. Tokom istraživanja analiziran je sastav dimnih plinova, naročito emisije NO_x , SO_2 i CO , efikasnost sagorijevanja, karakteristike čvrstih uzoraka šljake i pepela, kao i reaktivnost CaO i vezivanje S za alkalne spojeve u mineralnom dijelu uglja.

Cljučne riječi: ugalj, sagorijevanje, emisije, kotao, ložište, termoelektrana, optimizacija

Abstract: Basic investigations of PFC (pulverized fuel combustion) technology have been performed in referent laboratory at the Faculty of Mechanical Engineering of the Sarajevo University, on a lab-scale furnace, to provide reliable data for further analysis and optimisation of combustion systems based on these coals. Different mixtures of Kakanj brown coal, Breza brown coal and Zenica brown coal were tested, at process temperatures in the range from 950 to 1350 °C and various other process conditions in the furnace. Tests were performed under different technological conditions, with variation of shares of coals in the coal blend, variation of the process temperature, variation of thermal load and variation of intake of the air for combustion, including OFA (Over Fire Air) System. Within the research, flue gas composition with focus to the emissions of NO_x , SO_2 and CO , combustion efficiency and slagging/fouling characteristics have been analysed, as well as the reactivity of CaO and bonding of S to the alkalis from the ash.

Key words: coal, combustion, emissions, boiler, furnace, power plant, optimization

UVOD

Predmet laboratorijskih istraživanja bilo je ponašanje mješavine ugljeva Kakanj (K), Breza (B) i Zenica (Z) u određenim masenim udjelima, npr. K:B:Z=70:20:10, u uslovima koji odgovaraju tehnologiji sagorijevanja sprasenog uglja u letu sa suhim odvođenjem šljake i pepela iz ložišta. S tim u vezi uspostavljeni su ispitni režimi koji odgovaraju uslovima realnog pogona bloka s primijenjenom tehnologijom sagorijevanja. To se prvenstveno odnosilo na vrijednosti temperatura pri različitim termičkim opterećenjima kotla, kao i na količine i mjesta dobave zraka za sagorijevanje. U osnovi su izabrana četiri različita temperaturna režima za eksperimentalno postro-

jenje Automatski upravljani cijevni reaktor (AUCR): 950, 1150, 1250 i 1350 °C. Cilj ispitivanja bio je da se na osnovu izvršenih testova i dobijenih rezultata argumentovano odgovori na ključno pitanje: da li je tehnologija sagorijevanja sprasenog uglja u letu sa suhim odvođom šljake i pepela iz ložišta za tretirane mješavine ugljeva primjenjiva – naročito s tehničkog i okolinskog aspekta? Dobijeni set rezultata omogućio je, između ostalog, i donošenje ocjene o mogućnosti nesmetanog odvoda šljake i pepela iz ložišta u suhom stanju, intenzitetu deponovanja pepela / depozita, sklonosti zašljakivanja i slično, [1]. Da bi se dobili odgovori na prethodna pitanja, testna ispitivanja su u osnovi uključivala: a) promjenu kvaliteta uglja / mješavine, udio uglja Kakanj (K) u mješavini, kao dominantnog, od 60%, 70% i 80%; b) promjenu procesne temperature u intervalu koji odgovara predmetnoj, ali i drugim tehnologijama sagorijevanja; c) promjenu koeficijenta viška zraka za sagorijevanje pri osnovnom dovodu zraka u

¹ Mašinski fakultet Sarajevo, BiH – 71000 Sarajevo, hodzic@mef.unsa.ba

² JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo, BiH – 71000 Sarajevo
Rad dostavljen: 20.02.2014; Rad prihvaćen: 23.05.2014

ložište (bez stepenovanja zraka: 1,15 i 1,20; d) ispitne režime sa stepenastim dovodom zraka pri $\Delta\lambda=0,20$ odnosno $\lambda_y/\lambda=0,95/1,15$.

1. EKSPERIMENTALNO POSTROJENJE

Eksperimentalno postrojenje omogućava ispitivanje karakteristika sagorijevanja različitih goriva pri različitim ambijentalnim i tehnološkim uvjetima, [1-7]. Postrojenje je projektovano za rad u širokom temperaturnom intervalu (do 1560 °C) i u uslovima različite količine i raspodjele osnovnog goriva i zraka za sagorijevanje, uključujući i mogućnost ispitivanja tehnologija sagorijevanja korištenjem dodatnog goriva, npr. zemnog plina. U osnovi se pri ispitivanjima dobijaju izlazni rezultati koji se odnose na efikasnost sagorijevanja, intenzitet deponovanja i karakteristike naslaga šljake/pepela, kao i emisije komponenti dimnih plinova: CO , O_2 , CO_2 , NO , NO_2 , NO_x i SO_2 , [2-6]. Izgled eksperimentalne linije AUCR je predstavljen na Slici 1.



Slika 1: a) Izgled eksperimentalne linije AUCR: frontalni pogled sa uočljive četiri grijne zone i termoparovima za mjerenje temperature reakcione cijevi i vođenje procesa; b) Segment linije koji omogućuje ispitivanje različitih tehnologija sagorijevanja: stepenasto sagorijevanje po dovodu goriva i/ili zraka (eng. *fuel-air-staging*) te tehnologije sa dodatnim gorivom – zemni plin

U svrhu analiza uzorci naslaga pepela formiranih tokom eksperimenta izuzimaju se iz reaktora pomoću vodom hladene sonde, koja se pomoću klizača može pokretati duž ose i postavljati na željenu poziciju unutar reakcione cijevi. Uzorci pepela uzimaju se i s keramičkih tableta pričvršćenih za sondu preko specijalnog keramičkog nosača. Za određivanje režima odvođenja šljake kao i osobina zašljakivanja/zaprljanja, pet se indikatora koristi za evaluaciju naljepaka pepela uzetih iz reaktora: oblik naljepka, stanje, struktura, stepen adhezije i kohezije. Za obezbjeđenje dodatnih informacija o naslagama pepela, određuje se hemijski sastav naslaga pepela, te se izvodi analiza naljepaka pepela. Određivanje hemijskog sastava naslaga pepela omogućuje i utvrđivanje redistribucije komponenti u pepelu, a što je važan ulazni podatak za projektovanje. Uz hemijsku analizu određuje se i stepen

nesagorjelog, čime se utvrđuje efikasnost sagorijevanja za dato gorivo u različitim ambijentalnim uslovima sagorijevanja, uzimajući u obzir i granulaciju goriva, [2-6].

Tokom svih ispitnih režima mjeri se procesna temperatura, potrošnja goriva, protok zraka (primar, sekundar/tercijar i naknadni), te se kontinualno analizira sastav dimnih plinova (O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , NO_x i SO_2). Dodatno, uzorkovanje različitih depozita, šljake i pepela iz ciljano odabranih ispitnih režima i mjesta uzorkovanja, omogućuje određivanje stepena sagorivosti. Na osnovu mjerenih i analiziranih uzoraka produkata određuju se osobine procesa sagorijevanja, npr. zašljakivanje, zaprljanje, abrazija kotlovskih ogrjevnih površina uključujući i zavisnost reaktiviteta CaO iz mineralnog dijela goriva od ambijentalnih uslova, emisija CO , CO_2 , NO_x i SO_2 u uslovima sa i bez stepenastog dovoda zraka odnosno sagorijevanja, efikasnost procesa sagorijevanja - udio nesagorjelog u šljaci i pepelu kao i hemijski sastav čvrstih i plinovitih produkata sagorijevanja, uključujući i emisiju CO . Na osnovu rezultata mjerenja, uspostavlja se baza podataka o osobinama sagorijevanja za dato gorivo, na bazi koje je moguće argumentirano pristupiti izboru održive tehnologije sagorijevanja, odnosno izboru odgovarajućih ambijentalnih uslova sagorijevanja za dato gorivo, te shodno tome i odgovarajuću pripadajuću opremu kotla, [3], [6].

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH GORIVA

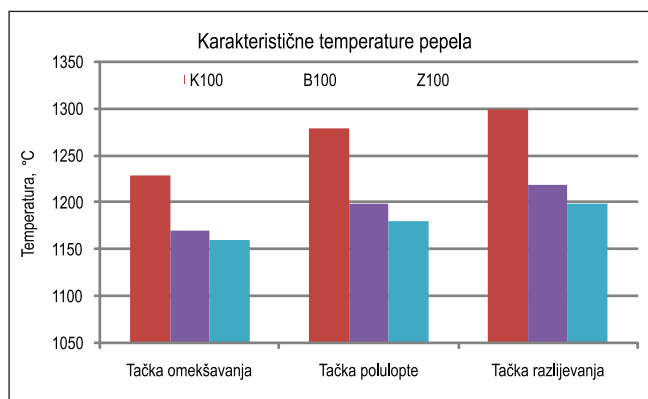
U Tabeli I su uporedo date osnovne karakteristike komponentnih ugljeva Kakanj, Breza i Zenica (H_d – donja toplotna moć; c, s, a, w – maseni udio ugljika, sumpora, pepela i vlage, respektivno) od kojih su formirane mješavine ugljeva s različitim udjelima, dok su na sljedećim dijagramima predstavljene neke od karakteristika pepela tih ugljeva. Primjetne su značajne razlike u vrijednostima toplotnih moći komponentnih ugljeva, kao i udjelima pepela i što je posebno značajno – u udjelima sumpora. Ipak, na osnovu prezentiranih rezultata laboratorijskih ispitivanja uzoraka komponentnih ugljeva i obavljenih analiza za kompletnu ispitnu matricu svih mješavina, zaključeno je da iste po svojim karakteristikama odgovaraju ugljevima koji se uobičajeno spaljuju u TE Kakanj, te prognoziranim karakteristikama mješavine ugljeva za blok 8, odnosno da se kao takve mogu referentno upotrijebiti s ciljem podvrgavanja ispitivanju u uslovima sagorijevanja u letu sa suhim postupkom odvoda šljake i pepela iz ložišta, [1].

Tabela I: Osobine komponentnih ugljeva, [1]

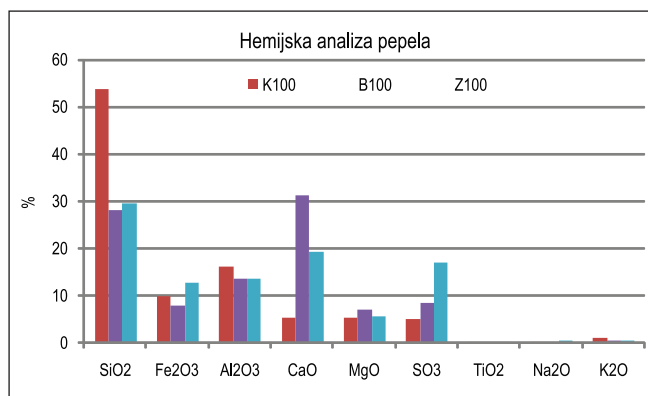
	H_d , kJ/kg	c, %	s ^(*) , %	a, %	w, %
Kakanj (K100)	11436	29,39	1,45	47,20	10,05
Breza (B100)	15867	43,55	0,66	28,28	12,39
Zenica (Z100)	19925	51,96	2,33	21,44	11,96

(*) Udjeli sumpora (s) se odnose na sagorivi sumpor.

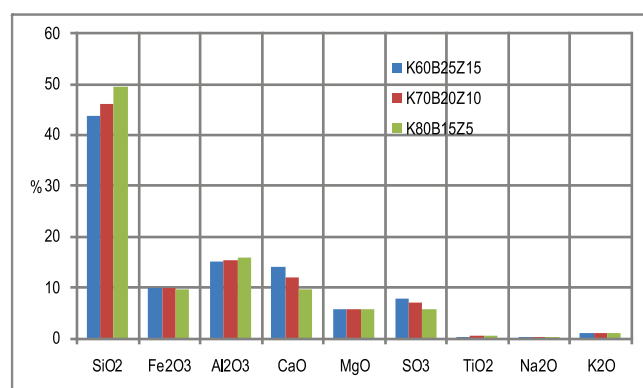
Naročita razlika je izražena kod karakterističnih temperatura pepela. Pri tome ugljevi Breza i Zenica imaju te temperature značajno niže od uglja Kakanj i spadaju u lahko topive ugljeve, Slika 2. S druge strane, ugalj Kakanj ima približno duplo veći udio SiO_2 u pepelu u odnosu na ostala dva komponentna uglja, [1]. Adekvatno tome je ugalj Kakanj u osnovi kiseo $K_{kb}=70,5$. Ugalj Breza je zbog značajnijeg učešća CaO u osnovi baza $B_{bb}=47,3 > K_{bb}=42,4$ dok je ugalj Zenica s relativno bliskim vrijednostima ovih brojeva odnosno karakteristika: $K_{bz}=43,5 > B_{bz}=39$, Slika 3. (Kiselinski broj je definiran sa $K_b=SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2$ a bazni sa $B_b=CaO + Fe_2O_3 + MgO + K_2O + Na_2O$).



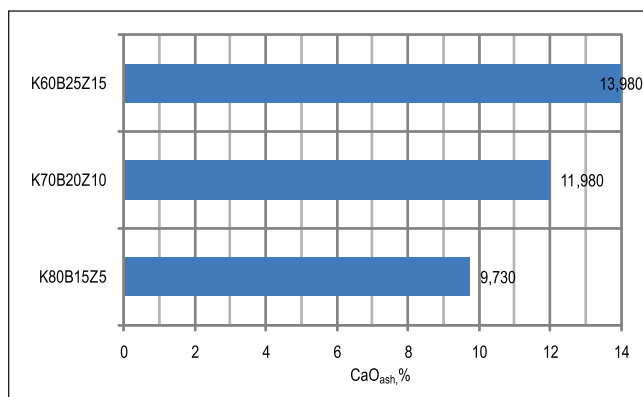
Slika 2: Karakteristične temperature pepela



Slika 3: Hemijska analiza pepela komponentnih ugljeva



Slika 4: Usporedan prikaz hemijskog sastava pepela za formirane mješavine ugljeva



Slika 5: Udio kalcijum oksida u pepelu za formirane mješavine ugljeva

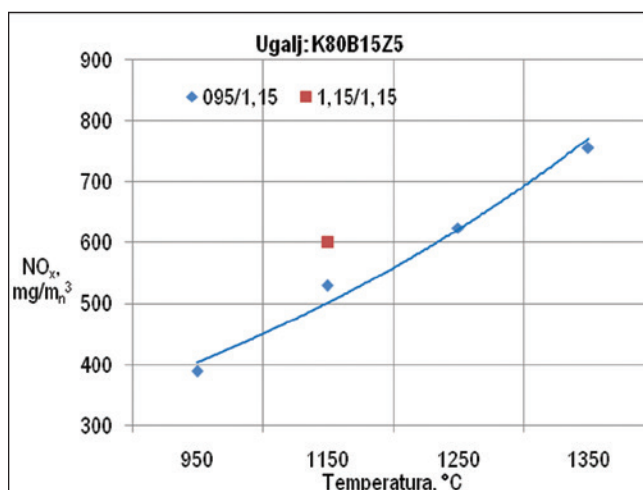
Imajući u vidu prethodno i kod formiranih mješavina ugljeva uočava se promjena sastava pepela koja je proporcionalna udjelima komponentnih ugljeva, [1]. To je naročito uočljivo upravo kod udjela jedinjenja SiO_2 i CaO , Slike 4 i 5.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

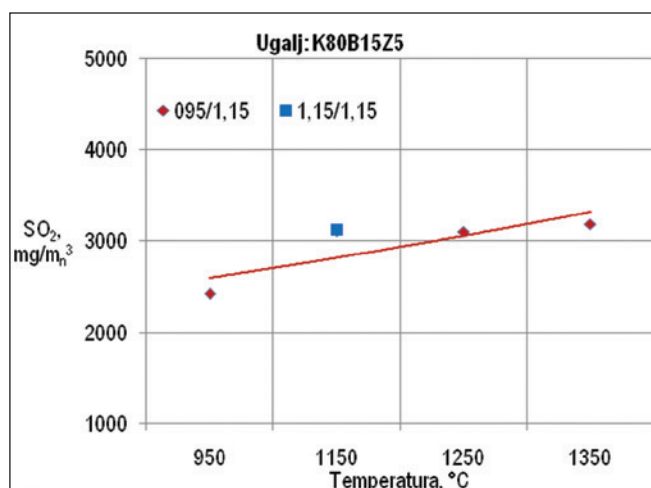
U okviru ovog poglavlja prezentiran je izvod iz rezultata istraživanja i to prema karakteristikama procesa u pogledu sastava dimnih plinova, naročito emisija NO_x , SO_2 i CO , karakteristika čvrstih uzoraka šljake i pepela, kao i reaktiviteta CaO i vezivanje S za alkalne spojeve u mineralnom dijelu uglja.

3.1. Emisije komponenti dimnih plinova

Prezentirani rezultati odnose se na ključne mješavine ugljeva (date po masenim udjelima) koje su ispitivane pri različitim temperaturnim uslovima, kao i različitim količinama i načinima dovođenja zraka za sagorijevanje. Tako su na Slici 6 i Slici 7 predstavljene emisije NO_x i SO_2 za ugalj K80B15Z5, odnosno mješavinu sa najmanjim udjelom uglja Zenica (5%). U ispitnim režimima sa stepenovanim zrakom za sagorijevanje je pri porastu procesne temperature evidentiran porast emisije NO_x , od 388 pri

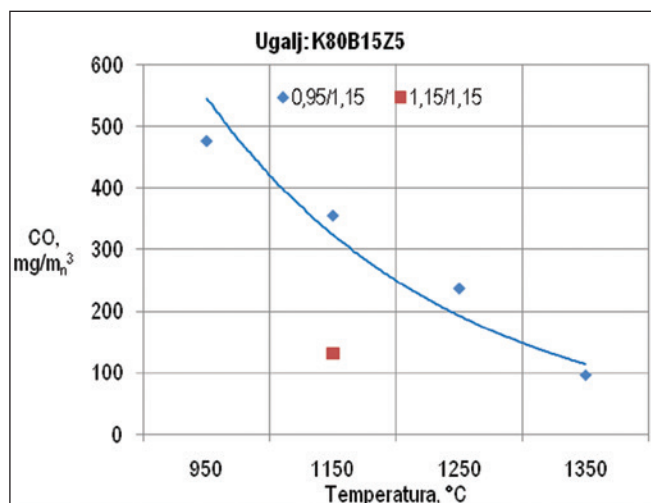
Slika 6: Vrijednosti emisije NO_x za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka

temperaturi 950 °C, do 755 mg/m³ pri temperaturi 1350 °C. Pri režimu sa osnovnim privodom zraka za sagorijevanje ($\lambda=1,15$) pri 1150 °C zabilježena je emisija NO_x od 601 mg/m³ što je za 72 mg/m³ veće od emisije pri istoj temperaturi sa stepenovanim zrakom. Suprotno tome, nema značajnije promjene emisije SO_2 u odnosu na sistem dobave zraka pri istoj procesnoj temperaturi (razlika je svega 17 mg/m³), [1].



Slika 7: Vrijednosti emisije SO_2 za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka

Emisija CO drastično pada porastom procesne temperature, pri čemu je pri temperaturi 1150 °C, značajno manja za slučaj osnovnog dovoda zraka za sagorijevanje, Slika 8.



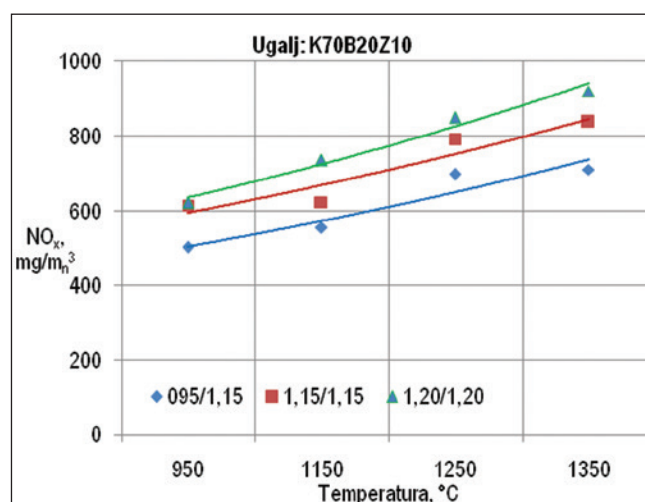
Slika 8: Vrijednosti emisije CO za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka

Na Slici 9 predstavljene su emisije za projektnu mješavinu ugljeva K70B20Z10. Kako se može vidjeti, posmatrano za jednu od procesnih temperatura, najniža emisija NO_x je u pravilu pri zonskom dovodu zraka za sagorijevanje (osnovni/naknadni: $\lambda_1/\lambda=0,95/1,15$). Emisija NO_x veća je pri osnovnom privodu zraka (ukupna količina zraka dovodi se na gorionik). Pri takvim uslovima dobave zraka, dodatno emisija NO_x raste i porastom ukupne

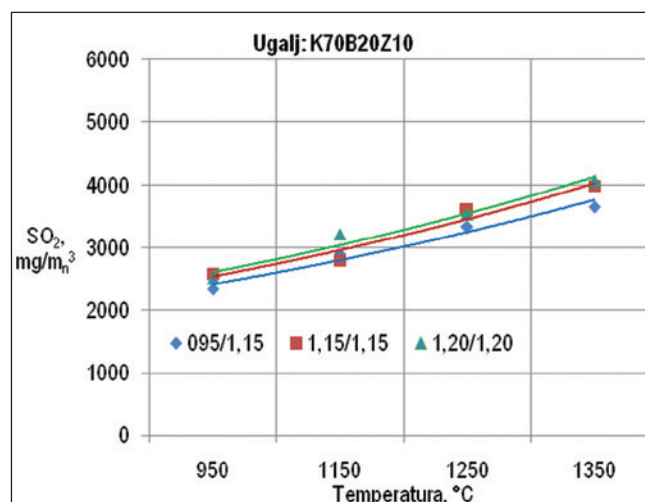
količine zraka za sagorijevanje, pa je u principu najviša pri vrijednosti koeficijenta viška zraka od 1,20. Porastom procesne temperature raste i emisija NO_x . Dakle, u razmatranom intervalu procesnih temperatura, dva načina dobave zraka za sagorijevanja (zonski i osnovni), te dvije količine ukupnog zraka zabilježena je:

- minimalna emisija pri $t_{F1}=950$ °C i $\lambda_1/\lambda=0,95/1,15$: 502 mg/m³,
- maksimalna emisija pri $t_{F1}=1350$ °C i $\lambda_1/\lambda=1,20/1,20$: 921 mg/m³.

Kada su u pitanju emisije SO_2 , može se zaključiti da nema značajne promjene emisije u odnosu na sistem dobave zraka za sagorijevanje (osnovni ili zonski), ali da s druge strane dolazi do izraženog porasta te emisije porastom procesne temperature. Pri tome su vrijednosti emisije dosta bliske bez obzira na ukupnu količinu zraka za sagorijevanje, Slika 10. U predstavljenim ispitnim režimima zabilježena je: minimalna emisija SO_2 pri $t_{F1}=950$ °C i $\lambda_1/\lambda=0,95/1,15$: 2329 mg/m³; maksimalna emisija SO_2 pri $t_{F1}=1350$ °C i $\lambda_1/\lambda=1,20/1,20$: 4063 mg/m³.

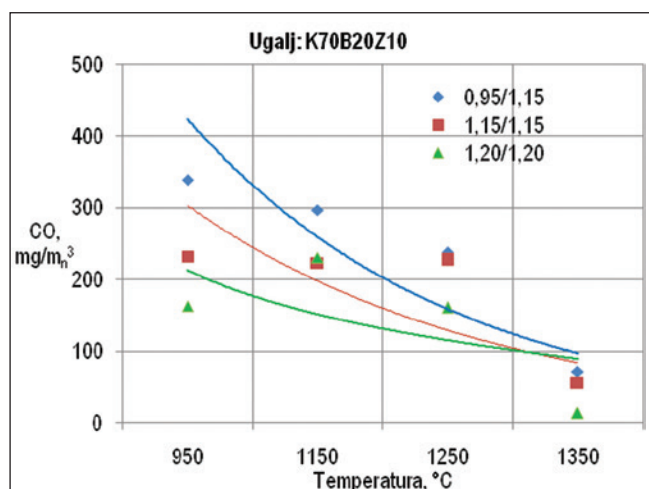


Slika 9: Vrijednosti emisije NO_x za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka



Slika 10: Vrijednosti emisije SO_2 za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka

Poredeći dobijene maksimalne vrijednosti emisija NO_x i SO_2 tokom ispitivanja, u odnosu na vrijednosti emisija iz realnog pogona kotlova s tečnim režimom odvoda šljake iz ložišta, može se konstatovati da je emisija NO_x nešto niža, a da je emisija SO_2 u prosjeku upola manja. Generalno, s aspekta što nižih emisija NO_x i SO_2 u okolinu, očekivano su najpovoljniji režimi na nižim procesnim temperaturama i sa zonskim dovodom zraka za sagorijevanje, [1]. S druge strane, interesantno je analizirati trendove promjene emisije CO , odnosno stepen hemijske nepotpunosti sagorijevanja. Najveće emisije CO zabilježene su pri najnižoj procesnoj temperaturi (950 °C), a najmanje na maksimalnoj (1350 °C), Slika 11.



Slika 11: Vrijednosti emisija CO za različite procesne temperature i sisteme dobave zraka

Također, najniže emisije CO detektovane su pri najvećem koeficijentu viška zraka (1,20) i pri osnovnom dovodu zraka za sagorijevanje – minimalna vrijednost je 13 mg/m^3 . Općenito, imajući u vidu fleksibilnost postrojenja AUCR u pogledu regulacije i upravljanja na liniji dobave zraka za sagorijevanje, može se smatrati da su svi procesi sagorijevanja ispitnih režima vođeni dobro uz dosta male emisije CO , što je rezultiralo veoma dobrom iskoristivost hemijski vezane energije iz goriva po ovom osnovu.

3.2. Karakteristike čvrstih uzoraka šljake

Ovdje su predstavljeni primjeri čvrstih uzoraka depozita izuzetih s keramičkih tableta, vodom hladene sonde i s dna reaktora/ložišta tokom ciljano odabranih ispitnih režima, a odnose se na projektnu mješavinu uglja K70B20Z10. Uočljivo je da su svi uzorci, neovisno od mjesta izuzimanja, u rastresitom (praškastom) stanju za sve procesne temperature ispod 1250 °C, dok se pri toj temperaturi uočava inicijalno formiranje nešto krupnijih komada šljake koja je i dalje veoma porozna, ne lijepi se na čvrste površine i koja je lako drobljiva, Slika 12.

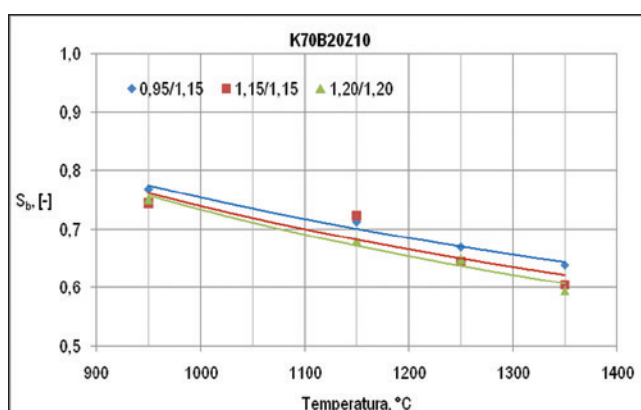
Analizom čvrstih uzoraka depozita i šljake zaključeno je da je tehnologija sagorijevanja spraćenog uglja sa suhim odvođenjem šljake iz ložišta primjenjiva za mješavine ugljeva srednjobosanskog bazena, [1].



Slika 12: Primjeri uzoraka depozita i šljake za ispitne režime pri 950 do 1250 °C

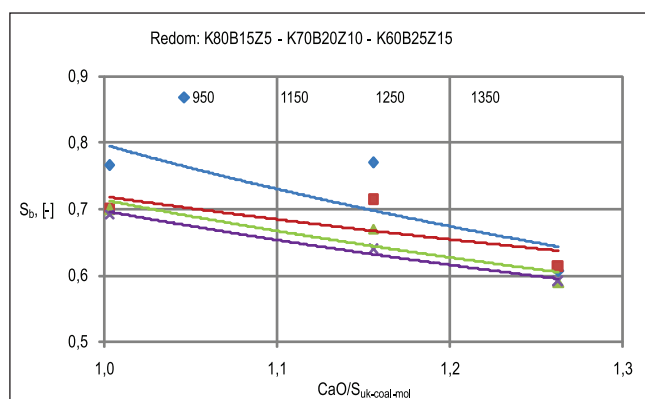
3.3. Step en vezivanja sumpora

U okviru ovog paragrafa predstavljen je step en vezivanja sumpora za mješavinu K70B20Z10 i zavisnost step ena vezivanja sumpora iz uglja od odnosa količina kalcij oksida i ukupnog sumpora u ispitnim ugljevima za različite ispitne režime, [1]. Vidljivo je da porastom procesne temperature step en vezivanja sumpora opada, te da nema značajnije razlike tih vrijednosti u odnosu na količinu i sistem dobave zraka za sagorijevanje, Slika 13.



Slika 13: Step en vezivanja sumpora za mješavinu K70B20Z10

Također, primjetno je da je step en vezivanja sumpora najmanji za mješavinu u kojoj je udio uglja Kakanj najmanji (60%), Slika 14.



Slika 14: Zavisnost stepena vezivanja sumpora iz uglja od odnosa količina kalcijoksida i ukupnog sumpora u ispitnim ugljevima za različite ispitne režime

4. ANALIZA I OCJENA PRIHVATLJIVOSTI ISPITIVANE TEHNOLOGIJE

Najveći broj ispitnih testova urađen je za projektnu mješavinu ugljeva Kakanj, Breza i Zenica u masenom omjeru 70%, 20 % i 10%, respektivno. S aspekta nesmetanog odvoda mineralne mase iz ložišta, kao jednog od ključnih zahtjeva za prihvatljivost ispitivane tehnologije, pri ispitnim režimima nisu uočene praktično značajne razlike procesa promjenom kvaliteta uglja / mješavine ugljeva. Time je pokazano da je tehnologija sagorijevanja sprječnog uglja u letu sa suhim režimom odvoda šljake iz ložišta, po ovom kriterijumu prihvatljiva za sve tretirane ugljeve, odnosno mješavine iz formirane matrice goriva. S obzirom da i u realnim uslovima pogona blokova Termoelektrane Kakanj dolazi do promjene masenog udjela komponentnih ugljeva u mješavini (promjena kvaliteta uglja pri eksploataciji u rudnicima iz kojih se doprema i način skladištenja na depou termoelektrane) to prethodna konstatacija dodatno dobija na značaju i sigurnosti pogona. U pogledu prihvatljivosti ispitivane tehnologije sagorijevanja s aspekta uticaja na okolinu posebno se izdvajaju sljedeće prednosti u odnosu na tehnologiju s tečnim odvodom šljake iz ložišta, [1]:

- Poređenjem izmjerenih vrijednosti emisija NO_x (u rasponu približno 400 do 700 mg/m³ sa stepenovanim zrakom) s rezultatima emisije na kotlovima s tečnim režimom odvođenja šljake u TE Kakanj (pri kojima je procesna temperatura 1350÷1500 °C, a koje su na nivou vrijednosti 700÷1000 mg/m³ pri 6% O_2 u suhim dimnim plinovima) uočljiv je pad tih emisija u uslovima primjene sagorijevanja u letu sa suhim odvođenjem šljake iz ložišta. Eventualnom primjenom sagorijevanja u letu sa suhim režimom odvođenja šljake na mješavine ugljeva Kakanj, Breza i Zenica u budućim velikim kotlovima, primjenom vrtložnih gorionika, optimiziranom distribucijom zraka, eventualnom recirkulacijom dimnih plinova, emisije NO_x značajno će se smanjiti. Po potrebi, primjenom dodatnih primarnih mjera (npr. kosagorijevanje s biomasom) za

očekivati je da će se emisija NO_{xx} u realnim uslovima svesti u granice propisane IED/IPPC¹ direktivom.

- Dobijeni rezultati emisija SO_2 u zavisnosti od goriva (i posebno varijacije sadržaja sumpora te sadržaja CaO u pepelu uglja) i testiranih temperaturnih režima (950÷1350 °C) u dijapazonu su prosječno od 3000 do 4000 mg/m³ pri 6% O_2 u suhim dimnim plinovima. Poređenjem ovih vrijednosti s aktuelnim vrijednostima emisije SO_2 na kotlovima s tečnim režimom odvođenja šljake u TE Kakanj koje su na nivou vrijednosti čak i preko 8000 mg/m³ pri 6% O_2 u suhim dimnim plinovima, uočljiv je značaj pad emisije SO_2 primjenom sagorijevanja u letu sa suhim režimom odvođenja šljake. Dopunskom primarnom mjerom, dodavanjem krečnjaka u konvektivnom dijelu kotla (temperature 700÷900 °C), ova se emisija može dodatno smanjiti do 30%. Evidentno je, međutim, da se zahtjevi iz direktive IED/IPCC po pitanju emisije SO_2 , za ovu tehnologiju sagorijevanja tretirane mješavine ugljeva, ne mogu zadovoljiti bez primjene $DeSO_x$ postrojenja na kraju kotla, a koje spada u standardna rješenja pri industrijskom sagorijevanju ovakvih ugljeva.
- Dobijeni trendovi emisija CO kao i sadržaj nesagorjelog utvrđen u uzorcima šljake i pepela, prihvatljivog su nivoa s obzirom na stepen organizacije sagorijevanja u eksperimentalnom postrojenju. Ovi problemi se dobrom organizacijom sagorijevanja i projektovanjem u velikim kotlovima sa sagorijevanjem u letu sa suhim režimom odvođenja šljake, mogu čak u potpunosti eliminisati.

Zbog promjenljivog kvaliteta komponentnih ugljeva i iz njih formiranih mješavina ugljeva (naročito porastom sadržaja pepela – u realnim uslovima eksploatacije blokova termoelektrane Kakanj sadržaj pepela ide i preko 50%) s jedne strane, te zahtjeva za nižim procesnim temperaturama u ložištu s druge strane, izdvajaju se sljedeći eventualni problemi u pogonu realnih kotlova s tretiranom tehnologijom sagorijevanja:

- Mješavine ugljeva koje se uobičajeno spaljuju u TE Kakanj generalno spadaju u niskovrijedne i slaboreaktivne te su u određenim jako nepovoljnim uslovima (potreba obezbjeđenja maksimalnog ili minimalnog kapaciteta kotla s ugljem niske toplotne moći i sa velikim sadržajem pepela) moguće poteškoće vezane za održanje stabilnosti procesa sagorijevanja.
- Povećano opterećenje ložišta i konvektivnog trakta pepelom zbog velikog sadržaja pepela u uglju i većeg stepena oslobađanja ložišta u odnosu na tehnologiju s tečnim odvodom šljake iz ložišta.

Prethodne probleme, ukoliko se procijeni njihovo pojavljivanje, treba i moguće je rješavati u fazi projektovanja i to

¹ IED – Industrial emissions directive / Direktiva o industrijskim emisijama, IPPC – Integrated pollution prevention control / Direktiva o integrisanom upravljanju prevencije zagađivanja, LCP – Large combustion plants directive / Direktiva za velika ložišta.

na način separacije dijela mineralne mase iz uglja na rudniku, izborom dobrih projektantskih rješenja koncepta ložišta (uključujući vrstu, položaj, broj i raspored gorionika, sistem dobave zraka za sagorijevanje, te uređaje za čišćenje kakvi su npr. vodeni i/ili parni puhači, detonaciono-impulsno čišćenje) i konvektivnog trakta kotla (npr. položaj, dimenzije i raspored cijevnih snopova kotlovskih elemenata).

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu izvršenih laboratorijskih istraživanja mogu se donijeti sljedeći zaključci, [1]:

- Izvršena je hemijska analiza dimnih plinova za sve ispitne režime. Pri tome je utvrđeno da su emisije komponenti dimnih plinova NO_x i SO_2 , zbog nižih procesnih temperatura, manje u odnosu na sisteme sagorijevanja sprašenog uglja u letu s tečnim odvođenjem šljake iz ložišta. To se posebno odnosi na ispitne režime u kojima se vrši zonski/stepenasti dovod zraka za sagorijevanje (air staging). Međutim, te emisije su još uvijek veće od graničnih vrijednosti emisije (GVE) definiranih u LCP i IED direktivama EU, naročito emisija SO_2 . Bez obzira na vrstu tretiranog uglja, temperaturne uslove i dovod zraka za sagorijevanje, emisija NO_x je uvijek veća od 400 mg/m_n^3 , a u pojedinim naročito nepovoljnim režimima (sagorijevanje bez stepenovanja zrakom) doseže i do 1000 mg/m_n^3 . Pri ovome je emisija SO_2 prepolovljena u odnosu na tu emisiju pri aktuelnom sagorijevanju ovog uglja u TE Kakanj s tečnim režimom odvođenja šljake i u najnepovoljnijim slučajevima ima vrijednost od oko 4000 mg/m_n^3 .
- Moguće je uspostaviti visokoefikasno sagorijevanje s niskim emisijama CO . U ovom smislu se izdvajaju režimi sa srednjom procesnom temperaturom od 1150°C do 1350°C . Također, utvrđeni udio sagorivog u čvrstim uzorcima je jako nizak ili u granicama uobičajenih vrijednosti kod primjene tehnologije sagorijevanja u letu sa suhim odvodom šljake iz ložišta.
- S aspekta forme, strukture i karakteristika depozita s keramičkih tableta i vodom hladene sonde, te šljake s dna ložišta, i ovdje se pokazuje da su povoljniji režimi sagorijevanja s nižom procesnom temperaturom, odnosno pri sagorijevanju tretirane mješavine ugljeva u suhom režimu odvođenja šljake (temperatura u ložištu cca 1250°C) pa se ne očekuju značajniji problemi prljanja kotlovskih ogrjevnih površina odnosno zašljakivanja ove vrste.
- Ispitne režime na graničnoj testnoj temperaturi procesa od 1350°C karakteriše intenzivnije formiranje čvrstih naslaga na keramičkim tabletama, te formiranje krupnijih komada šljake na dnu reaktora/ložišta.

Generalno, ispitni režimi s temperaturom procesa od 1350°C su režimi čija je temperatura veća od temperature razlijevanja svih komponentnih ugljeva, naročito ugljeva Breza i Zenica.

- Utvrđen je reaktivitet CaO u mineralnom dijelu uglja u ambijentalnim uslovima primijenjene tehnologije, kao i redukcija sumpora putem vezivanja za komponente iz pepela sadržanog u uglju za različite promjenljive uslove sagorijevanja. Pri tome je ustanovljen, posebno za neke ugljeve i ispitne režime, dosta visok stepen vezivanja sumpora iz uglja do oko 74%. Uprkos tome, emisije sumpordioksida i dalje su generalno visoke.
- Imajući u vidu rezultate ispitivanja u laboratorijskim uslovima, uključujući i prethodne zaključke, može se dati ocjena da je za tretirane ugljeve/mješavine tehnologija sagorijevanja sprašenog uglja u letu sa suhim odvodom šljake iz ložišta prihvatljiva i održiva.

LITERATURA

- [1] Combustion tests of coals Kakanj, Breza and Zenica at app. 70-20-10 mass ratio for pulverised fuel combustion with dry bottom furnace (in Bosnian), Faculty of Mechanical Engineering of University in Sarajevo, Department for Energy, Process and Environmental Engineering for JP Elektroprivreda BiH d.d.- Sarajevo, Contract No. 144-KI/11, Final Report, Sarajevo, July 2012.
- [2] N. Hodžić, A. Kazagić, I. Smajević, Izbor održive tehnologije sagorijevanja ugljeva srednjobosanskog bazena podržan laboratorijskim istraživanjima, 11. Savjetovanje bosanskohercegovačkog komiteta CIGRE, Neum, 15.-19.09.2013.
- [3] A. Kazagić, I. Smajević, N. Duić, Selection of sustainable technologies for combustion of Bosnian coals, International scientific journal THERMAL SCIENCE, Volume 14, No. 3 (Year 2010), pg. 715-727.
- [4] A. Kazagić, I. Smajević, Synergy Effects of Co-firing of Wooden Biomass with Bosnian Coal, ENERGY (ELSEVIER), Volume 34, Issue 5 (May 2009), pp 699-707, doi: 10.1016/j.energy.2008.10.007.
- [5] I. Smajević, N. Hodžić, A. Kazagić, Lab-scale Investigation of Middle-Bosnia Coals to Achieve High-Efficient and Clean Combustion Technology, 8th International Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems, September 22-27, 2013, Dubrovnik, Croatia
- [6] I. Smajević, A. Kazagić, M. Musić, K. Becić, I. Hasanbegović, Š. Sokolović, N. Delić, Co-firing Bosnian Coals with woody biomass: experimental studies on a laboratory-scale furnace and 110 MWe power unit, THERMAL SCIENCE, volume 16, issue 3, year 2012.
- [7] Usluge laboratorije za istraživanje specifičnih pojava pri kosagorijevanju uglja i drvne biomase, Mašinski fakultet Sarajevo, Katedra za energetiku za naručioca: JP Elektroprivreda BiH d.d. – Sarajevo, Ugovor br. 123-SR/10, Završni izvještaj, Sarajevo, Juli 2011.

BIOGRAFIJA

Nihad Hodžić rođen je 1970. u Kaknju, u Bosni i Hercegovini. Diplomirani je inženjer mašinstva, Smjer energetika (1999.); magistar tehničkih nauka (2007.) i doktorant. Koautor je jednog univerzitetskog udžbenika, a autor ili koautor više od 35 naučnih radova. Član je tima u 12 međunarodnih ili domaćih istraživačkih projekata, a voditelj ili član u preko 20 stručnih projekata.

Anes Kazagić rođen je 1973. u Goraždu, u Bosni i Hercegovini. Diplome inženjera mašinstva i magistra tehničkih nauka stekao na Mašinskom fakultetu Sarajevo, na kojemu je i doktorirao 2009. Autor je i koautor preko 60 naučnih i stručnih radova iz oblasti sagorijevanja, termoenergetike i održivog razvoja u

energetici od kojih je 7 publikovano u indeksiranim internacionalnim energetske časopisima.

Izet Smajević redovni je profesor na Mašinskom fakultetu u Sarajevu. Objavio više od 130 naučnih i stručnih radova (30 u časopisima). Član je ili rukovodilac tima u izradi više desetina naučnoistraživačkih ili stručnih projekata (5 međunarodnih). Rukovodi radom 3 u istraživačkom smislu veoma aktivne laboratorije na MF Sarajevo, od čega je dvije osnovao. (Ko)autor je 3 patenta i 2 univerzitetska udžbenika, mentor na 33 diplomska i završna rada, te 5 magistarskih i 4 doktorska rada. U Elektroprivredi BiH d.d. Sarajevo, na poslovima menadžmenta, razvoja i investicija radi već 30 godina.