

**ANALIZA I ISPITIVANJE PEPELA POLJOPRIVREDNE BIOMASE I
POTENCIJALNIH ADITIVA
ANALYSIS AND TESTING OF AGRICULTURAL BIOMASS ASH AND
POTENTIAL ADDITIVES**

Ana Radojević, Branislav Repić, Dragoljub Dakić, Aleksandar Erić¹

¹Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i energetiku, Beograd,
Mihaila Petrovića Alasa 12-14
E-mail: aradojevic@vinca.rs

SAŽETAK

Jedan od obnovljivih izvora energije sa najvećim potencijalom u Srbiji sa količinom toplote od 110.000TJ/godini je biomasa. Biomasa se smatra CO₂ neutralnim gorivom, jer količina CO₂ koju biljka apsorbuje tokom života, i količina koju biljka oslobodi u vreme njene termičke razgradnje su jednake. Neorganski elementi i jedinjenja u biomasi utiču na procese sagorevanja i količinu i sastav proizvedenog pepela, a samim tim i na izbor odgovarajuće tehnologije sagorevanja i sistema za kontrolu procesa. Glavni elementi koji formiraju pepeo (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si) određuju topivost pepela i utiču na formiranje naslaga. Elementi Cl, S, Na, K, As, Cd, Hg, Pb i Zn imaju ulogu u formiranju gasovitih i aerosol emisija, utiču na formiranje naslaga, koroziju i određuju mogućnosti za korišćenje pepela. Cilj ovog rada jeste da se analizira uticaj dodavanja različitih aditiva prilikom sagorevanja biomase na topivost pepela i formiranje naslaga.

Ključne reči: biomasa, pepeo, lepljenje pepela, naslage, aditivi

1. UVOD

Proizvodnja toplotne i električne energije sagorevanjem biomase može biti vrlo značajna za Srbiju, jer je biomasa jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije. Na proces termalnog korišćenja čvrstih biogoriva utiče vrsta čvrstog biogoriva koje se koristi, njegove fizičke karakteristike (veličina čestica, gustina, vlažnost, kalorična vrednost) i hemijski sastav. Zahvaljujući dosadašnjim naporima, tehnologija sagorevanja biomase je dostigla visok nivo razvoja. Najvažnija prednost ovih goriva u poređenju sa fosilnim jeste da se njihovim termalnim korišćenjem postiže neutralnost CO₂. Uz to emisija ugljenmonoksida (CO), azotovih oksida (NO_x) i ukupnog organskog ugljenika (TOC) je znatno niža u poređenju s emisijom ovih jedinjenja koja nastaju sagorevanjem fosilnih goriva. Međutim, nedostatak korišćenja ove vrste goriva su tehnički problemi koji su u vezi sa slepljivanjem pepela i formiranjem naslaga na zidovima postrojenja u toku procesa sagorevanja čime se ograničava primena biomase kao goriva (Biedermann i Obernberger, 2005).

Različiti tipovi poljoprivredne biomase koja se najčešće koriste u Evropi, kao i kod nas, sadrže najvećim delom slične koncentracije ugljenika, vodonika i kiseonika, ali pokazuju značajne razlike u koncentracijama glavnih elemenata koji formiraju pepeo (Si, Ca, Mg, K, Na, P, S, Cl, Al, Fe, Mn), koncentracijama teških metala (Cu, Zn, Co, Mo, As, Ni, Cr, Pb, Cd, V, Hg) i koncentraciji N. Maseni procenti na suvu osnovu za C, H i O su 30 do 60%, 5 do 6% i 30 do 45%. Istovremeno, azot, sumpor i hlor mogu da se nađu u količinama koje su manje od 1% suve materije (Obernberger et al, 1997).

U poređenju sa ugljem, biomasa generalno ima manje ugljenika, više kiseonika, više hlora, kalijuma i kalcijuma, a manje aluminijuma i sumpora. Ovi neorganski elementi utiču na procese sagorevanja biomase, kao i na topivost pepela, a samim tim i na korozione procese i lepljenje pepela na zidovima postrojenja. Stoga je veoma važno da se znaju količine neorganskih elemenata u različitim biogorivima i reakcije i efekti koje oni prouzrokuju tokom sagorevanja da bi dizajnirali (projektovali) postrojenje za sagorevanje i kontrolni sistem za vrstu biomase koja će se koristiti, ili da bi se izabralo pravo gorivo za postrojenje koje već postoji. Takođe, ovo je veoma važna informacija za sektor koji se bavi proizvodnjom biomase, pošto bi se na kvalitet biogoriva koje se proizvodi moglo uticati u nekom obimu.

Da bi smanjili probleme sa taloženjem i sinterovanjem pepela nastalog sagorevanjem poljoprivredne biomase ispitivano je više postupaka. Među svim tim ispitanim postupcima metoda dodatka aditiva se pokazala kao praktičan i efikasan načina pomoću koje mogu da se minimiziraju problemi sa sinterovanjem pepela. Aditivi su supstance koje mogu da snize tendenciju sinterovanja, formiranja naslaga i korozije u postrojenjima (Bafver et al, 2009). Brojna ispitivanja u laboratoriji i na pilot postrojenjima su pokazala da aditivi mogu da reaguju s alkalnim hloridima, konvertujući ih u manje štetna jedinjenja. Cilj ovog rada jeste da se analiziraju mogućnosti primene različitih potencijalnih aditiva, koji bi promenili karakteristike pepela nastalog sagorevanjem poljoprivredne biomase tako što bi povećali njegovu tačku topljenja i sprečili probleme u vezi sa korozijom i slepljivanjem pepela u kotlu.

2. MATERIJAL I METOD

Pepeo je neorganski, nesagorivi deo goriva koji zaostaje posle kompletnog sagorevanja i koji sadrži najveći deo mineralnih frakcija koje potiču iz biomase. Sadržaj pepela varira od biogoriva do biogoriva. Može da bude <1%, pa sve do 30-40% od mase biomase. Takođe, veći sadržaj pepela snižava toplotnu vrednost biogoriva. U postrojenjima za sagorevanje biomase pepeo koji se dobija može da se podeli na pepeo sa dna kotla i leteći pepeo. Pri tome se leteći pepeo sastoji od grubih i finih čestica. Veća količina pepela dobijenog sagorevanjem poljoprivredne biomase dovodi do povećane emisije čestica. Važno je da se spreči emisija čestica, zbog njihovog uticaja na zdravlje ljudi. Mehanizam po kojem one utiču nije potpuno razumljiv, ali važne osobine čestica su broj ultrafinih čestica ($<0,1\mu\text{m}$), velika specifična površina čestica, i sadržaj toksičnih teških metala i organskih jedinjenja. Emisija čestica je veoma važna u malim postrojenjima, koja imaju manje razvijen sistem za prečišćavanje. Fine čestice letećeg pepela se formiraju nukleacijom/kondenzacijom gasnih mineralnih jedinjenja. Sastav pepela je neophodan za izbor odgovarajuće tehnologije sagorevanja i tehnologije prečišćavanja dimnog gasa. Takođe, formiranje letećeg pepela, naslaga, kao i logistika njegovog odlaganja ili praktičnog korišćenja zavisi od njegovog sastava.

Glavni elementi (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti) i sporedni elementi (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V, Zn) formiraju zajedno sa Cl i S različita jedinjenja u pepelu. U tabeli 1 prikazana je hemijska analiza slame pšenice i uljane repice, a rezultati su predstavljeni na suvu osnovu, a za hlor i sumpor na osnovu bez vlage i pepela.

Hlor, sumpor, kalijum i natrijum u biogorivu imaju glavnu ulogu u formiranju naslaga i utiču na korozione procese. Možda i najvažniji element, s obzirom na njegovo ponašanje prilikom sagorevanja i na probleme koje prouzrokuje je hlor. Koncentracija hlora diktira količinu alkalnih metala koja isparava tokom sagorevanja, isto tako jako kao što diktira transport alkalnih metala iz goriva na grejne površine gde alkalije formiraju sulfate. Kalijum-hlorid je među najstabilnijim visoko temperaturnim, gasno faznim jedinjenjima koje sadrže hlor. U odsustvu hlora, hidroksidi alkalnih metala su najstabilnija gasno faza jedinjenja u dimnom gasu (oksidaciona sredina sa puno vlage). Pored toga, hlor ima izražen korozivni efekat na metalne površine u ložištima i kotlovima, kao i emisiju HCl. Kada je koncentracija hlora u gorivu veća od 0,1 % ukupne težine goriva može da se očekuje da će praviti probleme sa korozijom.

Tab. 1. Hemijska analiza pepela uzorka poljoprivredne biomase na suvu osnovu (s.o.)

Tab. 1. Chemical analysis of a sample of biomass ash on dry base

Parametar/jedinica		Slama pšenice	Slama uljane repice
pepeo	% s.o.	5,0	5,0
Al	ppm s.o	50	50
Ca	ppm s.o	4.000	15.000
Fe	ppm s.o	100	100
K	ppm s.o	10.000	10.000
Mg	ppm s.o	700	700
Na	ppm s.o	500	500
P	ppm s.o	1.000	1.000
Si	ppm s.o	10.000	1.000
Cl	% b.v.p.	0,4	0,5
S	% b.v.p.	0,1	0,3

Iz tabele 1 vidi se da slama pšenice i uljane repice ima koncentraciju hlora od 0,4 i 0,5%, tako da se može pretpostaviti da može doći do oštećenja kotla korozijom. Takođe, visok sadržaj hlora znači mogućnost formiranja polihlorovanih dibenzo-p-dioksina, polihlorovanih dibenzofurana i drugih hlorovanih ugljovodonika. Prema tome visok sadržaj hlora i alkalnih elemenata kod nekih biomasa može da prouzrokuje oštećenje ložišta i grejnih površina. Pepeo poljoprivredne biomase (slame, trave i zrna) sadrži niže koncentracije kalcijuma i više koncentracije silicijuma, kalijuma i hlora u odnosu na šumsku biomasu. Visok procenat silicijuma zajedno sa kalijumom i hlorom izaziva probleme formiranja naslaga pepela na visokim temperaturama sagorevanja. Glavni izvori ovih problema su: reakcija alkalnih metala sa silicijumom pri čemu dolazi do formiranja alkalnih silikata, koji se tope ili omekšavaju na nižim temperaturama (može da bude i niža od 700°C, zavisi od sastava), reakcija alkalnih metala sa sumporom, pri čemu se formiraju alkalni sulfati na površinama razmenjivača toplote.

Kao što se vidi alkalna jedinjenja imaju ulogu u oba procesa. Kalijum je alkalni metal dominantan kod većine goriva biomase (Khan et al, 2009). Visok procenat ovog elementa dovodi do problema slepljivanja pepela. Tačke topljenja čistog KCl i K_2SO_4 su 776 i 1.067°C. Tipičan pepeo nastao sagorevanjem slame počinje da se topi i postaje lepljiv u opsegu od 700-900°C. Kada dimni gas dostigne ovu temperaturu, kalijumova jedinjenja počinju da se kondenzuju. Formiranje naslaga, zbog slepljivanja čestica letećeg pepela, može da se ubrza smešom soli alkalnih i teških metala (smeše alkalnih hlorida i sulfata sa hloridima cinka). Uticaj teških metala je posebno važan kada se koristi otpadno drvo, kao gorivo.

Važnost sumpora pri sagorevanju biomase ne ogleda se u emisiji SO_2 , nego je značajna njegova uloga u korozionim procesima. Veće koncentracije SO_2 u dimnom gasu prouzrokuju sulfataciju alkalnih i zemnoalkalnih hlorida čime se smanjuje temperatura dimnog gasa, a dolazi i do oslobađanja hlora. Ako se ove reakcije dešavaju u česticama pepela istaloženim na površini cevi izmenjivača toplote, ovo oslobađanje hlora može da prouzrokuje koroziju formiranjem $FeCl_2$ ili $ZnCl_2$ na površini metala. Efikasnost fiksiranja sumpora u pepelu zavisi od koncentracije alkalnih i zemnoalkalnih metala, posebno kalcijuma u gorivu.

Prisustvo kalcijuma i magnezijuma obično povećava tačku topljenja pepela. Kalcijum formira hloride i sulfate, ali su njegova jedinjenja manje isparljiva od kalijumovih i generalno povećavaju tačku topljenja pepela, isto to važi i za magnezijum. Glavna jedinjenja koja se formiraju od kalcijuma i magnezijuma tokom procesa sagorevanja su oksidi i u manjem obimu karbonati. Kalcijum, magnezijum, kalijum i fosfor su hranljive materije biljke i agensi za poboljšanje zemljišta, što je od velikog interesa za korišćenje pepela biomase u šumama ili na poljoprivrednom zemljištu.

Koncentracija teških metala (Pb, Cd, Zn) u pepelu nastalom sagorevanjem biomase raste s smanjenjem temperature u kotlu i veličine čestica, tj. koncentracija teških metala raste po frakcijama od pepela sa dna kotla ka filter letećem pepelu. Ovaj efekat je nezavisan od vrste biogoriva koje se koristi. To je zahvaljujući činjenici da ovi elementi sublimuju ili reaguju, formirajući gasna jedinjenja tokom procesa sagorevanja. Kada se dimni gas ohladi oni formiraju aerosole i aglomerate ili se kondenzuju na površini čestica letećeg pepela. Pepeo nastao sagorevanjem poljoprivredne biomase ima dva do 10 puta manju koncentraciju teških metala, nego pepeo nastao sagorevanjem šumske biomase, ali masena distribucija među različitim frakcijama pepela je ista. Najvažniji parametar za ponašanje teških metala u postrojenjima za sagorevanje biomase je temperatura, veličina čestica letećeg pepela i gasna atmosfera u kotlu. Živa skoro kompletno izlazi sa dimnim gasom, ali koncentracije Hg u hemijski netretirnoj biomasi su veoma niske.

Mere koje treba primeniti da bi se sprečila korozija uključuju automatske sisteme za čišćenje razmenjivača toplote, hlađenje cevi, pogodan izbor materijala, kao i optimizovanu tehnologiju sagorevanja i proces kontrole. Dodatna mera je pranje goriva, jer se na taj način snižava količina hlora. Kao još jedna mera predostrožnosti jeste da se ponašanje pepela i formiranje naslaga na zidovima kotla može predvideti korišćenjem empirijskih indeksa za tip pepela biomase (Vamvuka et al, 2008). Ovi indeksi, uprkos njihovim nedostacima, zbog kompleksnih uslova koji nastaju u kotlu, dosta se koriste i verovatno ostaju najbezbednija osnova za donošenje odluka, ako se koriste zajedno sa testiranjem sa pilot postrojenjima. Jedan jednostavan indeks, alkalni indeks, izražava količinu alkalnih oksida u gorivu po jedinici energije goriva:

$$AI = \text{kg} (K_2O + Na_2O) / GJ$$

Kada su vrednosti alkalnog indeksa u opsegu 0,17-0,34 kg/GJ pojava naslaga na površini razmenjivača toplote je verovatna, dok ako su vrednosti veće od 0,34 skoro sigurno će se desiti u nekom obimu.

Drugi indeks, kiselo-bazni odnos, ima sledeći oblik:

$$R_{b/a} = \% (Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O) / \% (SiO_2 + TiO_2 + Al_2O_3),$$

gde oznaka svakog jedinjenja označava njegovu masenu koncentraciju u pepelu. Kako indeks raste, tako se svojstvo lepljenja pepela povećava.

Indeks aglomeracije sloja je razvijen, povezujući sastav pepela s aglomerizacijom u fluidizovanom sloju.

$$BAI = \% Fe_2O_3 / \% (K_2O + Na_2O)$$

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Aditivi za sagorevanje koriste se u postrojenjima za sagorevanje da bi obezbedili efikasnije sagorevanje, tj. da bi redukovali emisiju CO, ugljovodonika, čestica, NO_x i SO₂, kao i da bi kontrolisali aglomeraciju i koroziju. To su čvrste, tečne i gasovite supstance koje mogu da promene fizičke i/ili hemijske karakteristike pepela na takav način da naslage postanu manje problematične, a to se postiže povećanjem topivosti pepela. Oni mogu da povećaju tačku topivosti pepela koji se formira tokom sagorevanja ostataka poljoprivredne biomase. To se postiže formiranjem smeše pepeo/aditiv, koja ima višu temperaturu topljenja i na taj način aditivi mogu da naprave pepeo manje lepljivim.

Dodavanjem kaolina u iseckanu slamu ovsu, povećana je tačka topljenja sa 770 do 1.200-1.280°C. Aditivi koji se dodaju reaguju sa jedinjenjima KCl_(g) i NaCl_(g), pri čemu dolazi do formiranja jedinjenja K-Na aditiv sa relativno visokom tačkom topljenja dok HCl se izdvaja u dimni gas. HCl je gasovit celim putem kroz kotao, i izlazi sa dimnim gasom kroz dimnjak. Na taj način se hlor uklanja iz naslaga pepela, a samim tim se smanjuje visoko temperaturna korozija. Cilj aditiva je, prema tome, da veže gasovita alkalna jedinjenja i na taj način formira manje štetna jedinjenja. Ova jedinjenja su generalno manje isparljiva, nađena su kod grubljih čestica pepela koje ostaju na dnu kotla tako da se produkuje manje letećeg pepela, koji može da se emituje u okolinu. Na taj način snižava se i emisija čestica (Tobiasen et al, 2007).

Efektivnost aditiva zavisi od više faktora:

- Distribucije veličine čestica aditiva. Što je manja čestica aditiva, veća je specifična površina za reakciju,
- Reakcione temperature i vremena,
- Sastava (aktivna komponenta aditiva),
- Stehiometrije (dovoljna količina aditiva).

Aditivi mogu da se razvrstaju u nekoliko glavnih grupa: aditivi koji sadrže kalcijum, fosfor, sumpor, aluminijum ili aluminijum silikat. Kao aditivi se biraju supstance sa kojima se lako rukuje, koje ne daju toksične ostatke i koje su efikasne. Neki od do sada primenjenih aditiva dati su u tabeli 2.

Efikasnost aditiva se određuje upoređivanjem sagorevanja samog goriva i goriva s aditivom. Meri se ukupna emisija čestica, distribucija njihove veličine i hemijski sastav u dimnom gasu. Kao podrška boljem razumevanju cele reakcije, određuje se i hemijski sastav

pepela sa dna kotla, kao i analiza gasovitih jedinjenja HCl i SO₂, a kao kontrola procesa sagorevanja mere se i koncentracije O₂, CO₂, CO, TOC (Total Organic Carbon) i NO_x.

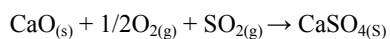
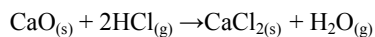
Dva aditiva koja se često primenjuju i ispunjavaju ove zahteve su krečnjak (kalcijum-karbonat) i kaolin (glina). Krečnjak koji je dodat u kotao prilikom sagorevanja biomase reaguje sa HCl. Ova reakcija je najefikasnija između 550 i 700°C, što rezultira povećanjem udela Cl u većim česticama letećeg pepela. To, s druge strane, dovodi do odgovarajućeg smanjenja udela gasovitog HCl u dimnim gasovima. Dodatak krečnjaka izaziva prevođenje alkalnih hlorida u alkalne sulfate u finim česticama letećeg pepela.

Tab. 2. Materijali koji su potencijalno pogodni kao aditivi, prilikom sagorevanja biomase

Tab. 2. Materials which are potentially suitable as additives, during biomass combustion

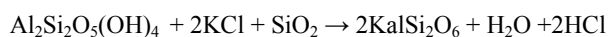
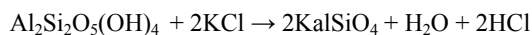
Potencijalni aditivi	% aditiva u odnosu na biomasu
Pesak (0,11-0,15mm)	3-5%
Kreda	3-5%
Kaolin (glina)	3-5%
Rolovite (frakcija gline)	3-5%
Bentonit (frakcija gline)	3-5%
Aluminijum sulfat	3-5%
Monokalcijum fosfat (MCP)	3-5%
Dikalcijum fosfat DCP	3-5%

Pri nekim ispitivanjima sagorevanja visoko alkalne biomase korišćeni su aditivi na bazi Ca, uključujući i krečnjak. Dobijeno je da se emisija gasovitog SO₂ može redukovati i do 25%. Reakcije za redukciju hlora i sumpora sa krečom su:



Krečnjak može da spreči slepljivanje čestica pepela u ložištima: dodavanjem CaO tokom sagorevanja poljoprivredne biomase (slama, zrno, trava) primećeno je smanjeno lepljenje čestica pepela, jer dolazi do inkorporiranja kalijuma u kalcijumova jedinjenja pri čemu dolazi do formiranja kalcijum/magnezijum kalijum fosfata, koji ima višu tačku topljenja.

Kaolin je mineral gline, koji se uglavnom sastoji od kaolinita Al₂Si₂O₅(OH)₄, koji može da ukloni gasovita alkalna jedinjenja koja su proizvedena sagorevanjem, vezivanjem alkalnih elemenata u mineral, koji ima višu tačku topljenja. Reakcija između kaolina i kalijum hlorida na visokim temperaturama za pepeo slame predstavlja se izrazima:



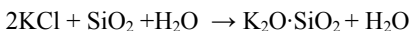
Dodatak krečnjaka ili gline prilikom sagorevanja zrna ovsa pokazao je značajno nižu emisiju ugljen-monoksida i TOC. Dodatak krečnjaka je snižavao emisiju HCl, ali nije imao efekta na SO₂ i NO_x. Nedostatak redukcije sumpor-dioksida može da se objasni reakcijom između fosfora i kalcijuma, što je pokazano da inhibira hvatanje sumpora tokom sagorevanja goriva bogatih fosforom. Takođe, nije primećena smanjena emisija čestica.

Dodatak gline povećava HCl emisiju, a značajno ne smanjuje emisiju SO₂ i NO_x, ali smanjuje emisiju čestica letećeg pepela u okolinu. Interesantno bi bilo da se u budućnosti koristi krečnjak u kombinaciji sa glinom, i da na taj način pokuša da se snizi i emisija HCl i emisija čestica.

Prilikom sagorevanja slame ispitivana su četiri različita aditiva: pesak, dikalcijumfosfat (DCP), kreda i bentonit. Svaki aditiv je dodat u slamu pre mlinova i činio je aproksimativno do 5% mase biomase. Sledećim relacijama je pokazano na koji način aditiv reaguje, tj. sa kojom komponentom pepela i u kojem odnosu.



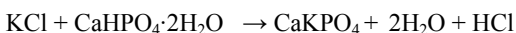
Pesak



odnos K : Si = 2



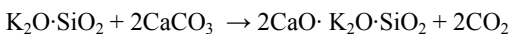
DCP (CaHPO₄·2H₂O)



odnos K : P = 1



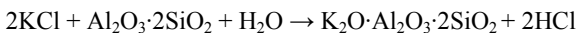
Kreda



odnos K : Ca = 1



Bentonit



odnos K : Al = 1

Eksperimenti su pokazali da su kreda i DCP nepodesni kao aditivi, pre svega, zbog njihovih fizičkih karakteristika. Pesak i bentonit su aditivi koji obećavaju, ali je potrebno nastaviti dalja testiranja da bi konačno ocenili njihov efekat na formirane naslage. Bentonit je skup proizvod, pa bi trebalo naći neki jeftiniji proizvod sa sličnim karakteristikama.

Glavni izazov je da se izabere najoptimalniji aditiv, a to je da aditiv bude efektivan, jeftin i da ne izaziva probleme prilikom rukovanja materijalom ili ekološke probleme. Ni za jedan do sada upotrebljivan aditiv se ne može reći da ispunjava sve ove zahteve. Kaolin (glina) je poznat kao veoma reaktivan, ali skup. Pesak sa druge strane nije skup, ali je manje reaktivan.

Da bi sprečili probleme slepljivanja i taloženja pepela prilikom sagorevanja koštica maslina dodavani su sledeći aditivi: kaolinit, klinohlor (clinochlore) i ankerit. Procenat aditiva u odnosu na biomasu je bio 5%. Kada su kao aditivi dodavani kaolinit ili klinohlor, koncentracije alkalnih elemenata (K, Na), hlora, kalcijuma i gvožđa u letećem pepelu su smanjene. Alkalna jedinjenja su ili zadržana u česticama pepela sa dna kotla, ili su isparila sa dimnim gasom, dok jedinjenja kalcijuma i gvožđa su ostala u česticama pepela sa dna kotla. Kada se kao aditiv koristi ankerit, koncentracije alkalnih jedinjenja (Na, K), hlora i gvožđa su smanjene, dok su koncentracije Ca i Mg znatno više. U sva tri slučaja dodatak aditiva je smanjio slepljivanje i taloženje prouzrokovano alkalijama.

Količina aditiva koja je potrebna da bi se efektivno redukovalo slepljivanje čestica pepela i njegovo taloženje na zidovima postrojenja za sagorevanje zavisi od vrste aditiva i biomase, koja se primenjuje.

4. ZAKLJUČAK

Hemijske osobine različitih vrsta čvrstih biogoriva utiču na procese sagorevanja i tehnologije prečišćavanja dimnog gasa. Poljoprivredna biomasa uglavnom sadrži relativno visoke koncentracije hlora i alkalnih metala, koje utiču na formiranje naslaga i izazivaju koroziju u postrojenjima za sagorevanje. Pri sagorevanju ove vrste biomase dobija se relativno velika količina pepela. Pepeo uglavnom sadrži niže koncentracije kalcijuma, a više koncentracije kalijuma i silicijuma i stoga počinje da sinteruje i da se topi na nižim temperaturama i da se taloži na zidovima postrojenja. Aditivi su supstance koje se dodaju prilikom sagorevanja i koje menjaju karakteristike pepela tako što povećavaju tačku topljenja pepela. Do sada su ispitane razne vrste poljoprivredne biomase i potencijalni aditivi. Bentonit se pokazao kao veoma dobar aditiv, ali je skup, tako da je potrebno naći neku drugu supstancu sa sličnim osobinama, a povoljnijom cenom.

LITERATURA

- [1] Bafver L, Ronnback M, Leckner B, Claesson F, Tullin C. (2009). Particle emission from combustion of oat grain and its potential reduction by addition of limestone or kaolin, *Fuel Processing Technology* 90(3): 353-359.
- [2] Biedermann F, Obernberger I. (2005). Ash-related problems during biomass combustion and possibilities for a sustainable ash utilisation, in *Proceedings of the International Conference „World Renewable Energy Congress“ (WREC)*, May, Aberdeen, Scotland, Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- [3] Khan A.A, Jong de W, Jansens P.J, Spliethoff H. (2009). Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedie, *Fuel Processing Technology* 90(1): 21-50.
- [4] Obernberger I, Biedermann F, Widmann W, Riedl R. (1997). Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions, *Biomass and Bioenergy* 12(3): 211-224.
- [5] Tobiasen L, Skytte R, Pedersen L.S, Pedersen S.T, Lindberg M.A. (2007). Deposit characteristic after injection of additives to a Danish straw-fired suspension boiler, *Fuel Processing Technology* 88(11-12): 1108-1117.
- [6] Vamvuka D, Zografos D, Alevizos G. (2008). Control methods for migrating biomass ash-related problems in fluidized beds, *Bioresource Technology* 99(9): 3534-3544.

SUMMARY

One of potentially most widespread renewable energy sources in Serbia is biomass, with the heat quantity of 110.000 TJ/year. Biomass is CO₂ neutral fuel because the amount of CO₂ absorbed by a plant during lifecycle, and the amount released by the plant during its thermal decomposition are equal. The chemical composition of biomass fuel, and especially the contents of ash forming elements, influence the choice of an appropriate combustion and process control technology. Major ash-forming elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si) are of relevance for the ash melting behavior and deposit formation. The elements Cl, S, Na, K, As, Cd, Hg, Pb and Zn play a major role regarding gaseous and especially aerosol emission as well as concerning deposit formation, corrosion and ash utilization/disposal. The aim of this paper is to analyze the effect of adding different additives during combustion of biomass on the aerosol emission and deposit formation.

Key words: biomass, ash, ash slagging, deposits, additives

Primljeno: 21.09.2010:

Prihvaćeno: 2.10.2010.