

**EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE UTICAJA ADITIVA NA
KARAKTERISTIKE PEPELA POLJOPRIVREDNIH BIOMASA
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE EFFECTS OF ADDITIVES
ON AGRICULTURAL BIOMASS ASH CHARACTERISTICS**

Ana Marinković, Branislav Repić, Dragoljub Dakić,
Milica Mladenović, Stevan Nemoda¹

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

SAŽETAK

Biomasa je najznačajniji potencijal obnovljivih izvora energije Srbije (63%) sa potencijalom od 2,7 Mten. Od toga 60% čini poljoprivredna a 40 % šumska biomasa. Šumska biomasa se već sada značajno koristi dok je poljoprivredna praktično neiskorišćena. Razlog toga leži u nepostojanju adekvatnih tehnologija za sagorevanje poljoprivredne biomase. Ova biomasa zahteva posebne tehnologije korišćenja zbog nepovoljnih temperaturskih karakteristika mineralnog dela (pepela) i karakteristika meljivosti. Sprovedena istraživanja u svetu su pokazala da se dodavanje aditiva u praksi pokazao kao praktičan i efikasan način pomoću kojeg je moguće da se minimiziraju problemi sa sinterovanjem pepela. U radu su prikazani rezultati istraživanja potencijalnog uticaja aditiva na karakteristike pepela više vrsta poljoprivrednih biomasa. Istraživanjem su određivane temperature topivosti pepela ispitivanih biomasa uz dodavanje aditiva u količini 5% od ukupne mase uzorka. Ispitivanje uticaja aditiva izvršeno je sa 6 vrsta aditiva čija je osnova glina ili pesak i to: 1. Aditiv bentonit, 2. Aditiv glina K.M. Krušik, 3. Aditiv glina, Ćirinač, 4. Aditiv kaolin „Bz“, 5. Aditiv peskovita glina, Pločnik, 6. Aditiv glina K.M. Ćirinač. Ispitivanjima je pokazano da je primenom aditiva moguće sigurno i pouzdano sagorevati i one biomase koje imaju niske temperature topivosti pepela, kao što su slama pšenice i kukuruzovina.

Ključne reči: biomasa, slama, pepeo, aditivi, topivost.

1. UVOD

Energetika predstavlja strateško opredeljenje Republike Srbije iz razloga bržeg ekonomskog razvoja zemlje i obezbeđenja energetske sigurnosti. Republika Srbija je značajno energetska zavisna od uvoza energenata pa se posebna pažnja mora usmeriti na što šire korišćenje različitih domaćih resursa, pre svega obnovljivih izvora energije. Potrebu za korišćenjem tih izvora nameće realnost tržišta sa jedne strane i smernice Evropske Unije sa druge. Cena svih fosilnih goriva neumitno raste u tempu sa kojim se rezerve tog vida goriva smanjuju, pa i brže. Evropska Unija svojim direktivama nameće sve veće korišćenje

obnovljivih izvora energije. Srbija potpisivanjem više međunarodnih konvencija takođe prihvata obavezu da smanji emisiju gasova što se, pored ostalog, može postići i većim korišćenjem obnovljivih izvora energije.

Korišćenje obnovljivih izvora značajno doprinosi efikasnijoj valorizaciji domaćih potencijala u proizvodnji energije, smanjenju emisije ugljen dioksida i gasova tzv. staklene bašte, smanjenju uvoza fosilnih goriva, razvoju domaće industrije i otvaranju novih radnih mesta, prvenstveno u ruralnim područjima. Prema zvaničnim podacima (Ministarstvo za infrastrukturu i energetiku, 2011) energetske iskoristiv potencijal OIE u Republici Srbiji je veoma značajan i procenjen na oko 4,3 miliona tona ekvivalentne nafte (Mtoe) godišnje. Od toga biomasa čini oko 2,7 Mtoe. Imajući sve navedeno na umu proizvodnja toplotne i električne energije sagorevanjem biomase može biti vrlo značajna za Srbiju (Đurović i dr, 2010), gde je biomasa jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije

Biomasa je značajan energetske potencijal mnogih zemalja (De Wit et Faaij, 2010, Martinov i dr, 2010, Janić i dr, 2010), ali je i najznačajniji potencijal OIE Srbije (63%), od čega 60% čini poljoprivredna a 40% šumska. Šumska biomasa se već sada značajno koristi dok je poljoprivredna praktično neiskorišćena. Razlog toga leži u nepostojanju adekvatnih tehnologija za sagorevanje poljoprivredne biomase. Ova biomasa zahteva posebne tehnologije korišćenja zbog nepovoljnih temperaturnih karakteristika mineralnog dela (pepela) i karakteristika meljivosti. Ovu biomasu najpovoljnije je koristiti u izvornom baliranom obliku uz minimalni utrošak energije za njenu pripremu za korišćenje. Ona se najekonomičnije koristi blizu mesta prikupljanja, bez transporta na veće daljine. Pri tome je potrebno i rešavanje problema logistike (prikupljanja, baliranja, transporta, skladištenja i prerade) biomase. Problem povraćaja pepela u zemlju, nakon korišćenja biomase, jednak je problemu koji se javlja kod korišćenja drugih 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 et Obernberger, 2005).

Cilj rada je da se eksperimentalno odredi uticaj aditiva na karakteristike pepela poljoprivrednih biomasa (slama soje, uljane repice, pšenice i kukuruzovine).

2. MATERIJAL I METOD RADA

Biomasa predstavlja vrlo kvalitetno gorivo, ali sa specifičnim karakteristikama koje je čine drugačijim od fosilnih goriva i uslovljavaju različite načine njenog korišćenja. Postoji velika razlika u karakteristikama biomase sa stanovišta pogodnosti njene primene u praksi (Oka, 1992). Biomasa se sa stanovišta pogodnosti korišćenja može razvrstati na dve osnovne grupe: šumska biomasa i biomasa iz poljoprivredne proizvodnje. Osnovna razlika između ove dve vrste biomase je u karakteristikama pepela, odnosno karakterističnim temperaturama topivosti pepela (temperatura sinterovanja (t_1), omekšavanja (t_2), polulopte (t_3) i razlivanja (t_4)).

I sama poljoprivredna biomasa se međusobno značajnije razlikuje (Zabanitou et al, 2007). Postoje značajne razlike u karakteristikama sojine i pšenične slame, kukuruzovine i druge biomase iz poljoprivredne proizvodnje. Osim značajnih razlika u topivosti pepela i hemijske karakteristike pepela pojedinih biomasa se mnogo međusobno razlikuju kao i kinetika sagorevanja koja zavisi od oblika i vlažnosti biomasa. Zbog toga je i velika razlika

između sagorevanja kukuruzovine i sojine slame npr. Većina ovih parametara je vrlo važna za proces sagorevanja biomase tako da je neophodno dobro njihovo poznavanje kako bi se obezbedilo sigurno korišćenje pojedinih tipova poljoprivredne biomase i kako ne bi došlo do lepljenja pepela na zidove ložišta i onemogućavanje njegovog rada i kako bi se ostvarila željena kinetika sagorevanja.

U tabeli 1 date su neke osnovne tehničke analize (na dostavno stanje) biomase iz poljoprivredne proizvodnje - pšenična slama, sojina slama, slama uljane repice i kukuruzovine. U istoj tabeli date su i temperature topivosti pepela za navedene biomase koje su određene na osnovu standarda (JUS B.H8.325, 1985, SRPS CEN/TS 15370-1, 2009). Uočava se (tabela 1) da se sve vrste biomase međusobno razlikuju po sadržaju vlage, pepela i sagorljivih materija. I prema temperaturama topivosti pepela pšenična i sojina slama se značajno razlikuju tako da sojina slama ima visoke vrednosti temperatura topivosti dok su kod pšenične slame ove vrednosti dosta niske.

Tab. 1. Tehnička analiza biomase iz poljoprivredne proizvodnje

Tab. 1. Proximate analysis of the agricultural biomass

Veličina Value	Jed. Unit	Soja Soybeen	Uljana repica Rape seed	Pšenica Wheat	Kukuruzovina Cornstalks
Vlaga Moisture	%	8,35-39,95	8,84-18,19	8,28-9,90	7,26-9,79
Pepeo Ash	%	3,92-15,82	3,95-5,88	5,89-12,53	2,26-5,52
S ukupni S total	%	0,17-0,36	0,23-0,24	0,21-0,22	0,28-0,30
S u pepelu S in ash	%	0,07-0,23	0,04-0,05	0,11-0,12	0,07-0,09
S sagorljivi S combustible	%	0,07-0,023	0,18-0,19	0,08-0,09	0,21-0,22
Koks Char	%	18,60-30,94	22,47-23,76	24,04-30,82	19,33-23,48
Fiksni ugljen. Fixed carbon	%	14,06-20,27	17,88-18,52	18,15-18,29	14,45-17,95
Isparljivo Volatile matt.	%	69,06-81,40	76,24-77,53	69,18-75,96	76,52-80,67
Sagorljivo Combustible	%	83,95-96,40	94,12-96,05	87,47-94,11	94,48-97,23
Toplotna moć gornja Heating value upper	kJ/kg	17125-20267	18517-18903	17296-18208	17787-18774
Toplotna moć donja Heating value lower	kJ/kg	16448-18630	17744-17873	16060-16972	16996-17983
t ₁	°C	1185	1100	880	1010
t ₂	°C	1310	1270	920	1040
t ₃	°C	1420	1400	1100	1075
t ₄	°C	1450	1420	1160	1100

Ono što je važno za sam proces sagorevanja biomase je temperatura sinterovanja. To je temperatura na kojoj pepeo pokazuje početak sklonosti ka lepljenju. Ukoliko se bilo koje gorivo koristi u postrojenjima u kojima nema tečnog odvođenja šljake ne smeju se prekoračiti temperature u ložištu koje dovode do lepljenja pepela.

Nepovoljna okolnost za primenu biomase iz poljoprivredne proizvodnje je ta što pepeo tih biomasa, po pravilu, ima izraženu sklonost ka lepljenju (Tortosa et al, 2003), odnosno temperatura sinterovanja pepela biomase iz poljoprivredne proizvodnje je znatno niža od temperature sinterovanja pepela šumske biomase. Ta pojava nije slučajna već je posledica primene veštačkih đubriva u uzgoju poljoprivrednih kultura. Primena veštačkih đubriva povlači za sobom povećanu koncentraciju sadržaja kalijuma u mineralnom delu biljke (pepeo). Sa druge strane, osnovni sadržaj mineralnog dela biljke ili jedna od osnovnih komponenti je silicijum dioksid - kvarcni pesak. Temperatura topljenja silicijum dioksida je 1400-1500°C, ali uz dodatak kalijuma ili natrijuma ta temperatura se može spustiti i ispod 800°C. Opisane pojave su ujedno i uzrok za izraženu sklonost ka lepljenju pepela biomase iz poljoprivredne proizvodnje, odnosno ka problemima koji se javljaju primenom biomase u sistemima za sagorevanje.

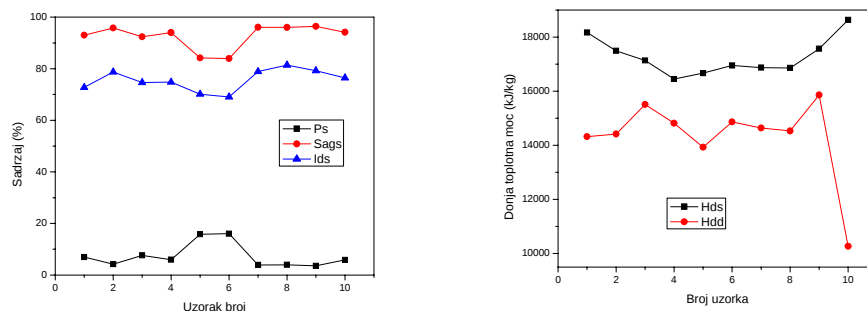
Pored toga, biomasa iz poljoprivredne proizvodnje je vlaknaste strukture i teško ju je sitniti i pripremiti za mehanizovano i kontrolisano loženje. Kada se govori o mehanizovanom i kontrolisanom loženju obično se misli na sagorevanje usitnjene biomase ili sagorevanje briketa ili peleta koji se prave od usitnjene biomase. Uz sve to, da bi se biomasa primenila na pomenuti način mora se i sušiti ukoliko njena vlažnost prelazi granice, a obično prelazi, zahtevane u pomenutim tehnologijama. Znači u klasičnom sistemu primene biomase iz poljoprivredne proizvodnje morala bi se primeniti: sušara, seckalica, mlin, briketirka (peletirka), specijalni sistem za doziranje ili uduvavanje goriva u ložište. Sa energetskog aspekta prvenstveno, pa i sa ekonomskog što nikako nije zanemarljivo, to smanjuje efekte primene biomase iz poljoprivredne proizvodnje. Zato primenjena tehnička rešenja moraju zadovoljiti i sve zahtevane ekološke aspekte.

Dosadašnja istraživanja sagorevanja poljoprivredne biomase kod nas (Repić i dr, 2008, Mladenović i dr, 2009, Repić i dr, 2010, Turanjanin i dr, 2010) vršena su u toku dužeg perioda vremena. Ispitivanja su vršena najviše sa sojinom slamom, zatim sa slamom od uljane repice, a ispitivano je i sagorevanje slame pšenice i kukuruzovina. Tokom tih ispitivanja vršene su analize polaznog goriva koje omogućuju uvid u karakteristike ovih goriva. Rezultati tehničke analize biomase korišćene za ispitivanja koje su rađene tokom dužeg perioda vremena prikazane su u tabeli 1. Analize biomase su vršene u odgovarajućoj akreditovanoj laboratoriji za ispitivanje goriva.

Kao što se iz iznetih podataka može utvrditi, sojina slama ima visok sadržaj vlage, veoma promenljiv sadržaj pepela, vrlo visok sadržaj sagorljivih i isparljivih materija (tabela 1). Donja toplotna moć je dosta visoka i na nivou je toplotne moći ugljeva. Temperature topivosti pepela imaju vrlo visoke vrednosti i zbog toga se ne očekuju nikakvi problemi u radu postrojenja koja koriste sojinu slamu kao gorivo. Zbirno sredeni i međusobno upoređeni rezultati tehničke analize sojine slame dijagramski su prikazani na slici 1.

Slama uljane repice ima promenljiv sadržaj vlage, nizak sadržaj pepela, vrlo visok sadržaj sagorljivih i isparljivih materija (tabela 1). Donja toplotna moć je vrlo visoka. Temperature topivosti pepela slame uljane repice su vrlo visoke i nebi trebalo očekivati značajnije probleme u radu postrojenja na kojima bi se koristila.

Slama pšenice ima ujednačen i to umeren sadržaj vlage, veoma promenljiv sadržaj pepela, vrlo visok sadržaj sagorljivih i isparljivih materija (tabela 1). Donja toplotna moć je visoka. Temperature topivosti pepela slame pšenice su dosta niske pa bi se mogli pojaviti problemi lepljenja pepela na zidove ložišta kotla.



Sl. 1. Tehnička analiza sojine slame za više uzorka (suva osnova):

Ps - pepeo, Sags - sagorljivo, Ids - isparljivo,

Hd - Donja toplotna moć (s – suva osnova, d – dostavno stanje)

Fig. 1. Proximate analysis of several samples of soy straw (dry base):

Ps - ash, Sags - combustible matter, Ids - volatile matter,

Hd - lower heating value (s - dry base, d - as fired base)

Slama kukuruzovine ima ujednačen i to umeren sadržaj vlage, nizak sadržaj pepela, vrlo visok sadržaj sagorljivih i isparljivih materija (tabela 1). Donja toplotna moć je vrlo visoka. Temperature topivosti pepela slame kukuruzovine su dosta niske i vrlo ujednačene što bi moglo da uzrokuje probleme lepljenja pepela na zidove ložišta kotla.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Hemijski sastav biogoriva i posebno sadržaj elemenata koji formiraju pepeo utiče na izbor tehnologije sagorevanja i kontrole procesa. Pepeo je neorganski, nesagorivi deo goriva koji zaostaje posle potpunog sagorevanja, i koji sadrži najveći deo mineralnih frakcija koje potiču iz biomase. Glavni elementi koji formiraju pepeo (Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Si) određuju njegovu topivost i utiču na formiranje naslaga. Elementi koji grade isparljiva jedinjenja u pepelu kao Cl, S, Na, K, As, Cd, Hg, Pb, Zn igraju glavnu ulogu s obzirom na emisije gasova i aerosola kao i na formiranje naslaga, procese korozije i korišćenje/odlaganje pepela (Vassilev et al, 2010, Obernberger et al, 1997). Na osnovu poznatog hemijskog sastava pepela može se primenom empirijskih indeksa (alkalni indeks, kiselo-bazni odnos i indeks aglomeracije) predvideti ponašanje pepela (Vamvuka et al, 2008).

Aditivi su supstance koje mogu da snize (umanje) tendenciju sinterovanja, formiranja naslaga i procese korozije u postrojenjima reagujući sa alkalnim metalima i konvertujući ih (prevodeći ih) u manje štetna jedinjenja (Bafver et al, 2009). Ideja dodavanja aditiva je da promene karakteristike pepela, na takav način da naslage postanu manje problematične, a to

se postiže povećanjem tačke topivosti pepela. Ovo može da se uradi povećanjem temperature topljenja smeše pepeo /aditiv (Radojević i dr, 2010). Aditivi mogu da naprave pepeo manje lepljivim. Oni reaguju sa KCl i NaCl pri čemu dolazi do formiranja jedinjenja K-Na aditiv sa relativno visokom tačkom topljenja dok se HCl otpušta u protočni dimni gas (Khan et al, 2009). HCl je gasovit celim putem kroz kotao, i izlazi sa protočnim dimnim gasom kroz dimnjak. Na taj način se hlor uklanja iz naslaga, a samim tim se smanjuje visoko temperaturna korozija i povećava topivost pepela.

Cilj dodavanja aditiva je, prema tome, da veže (uhvati) gasovita alkalna jedinjenja i na taj način formira manje štetna jedinjenja. Kao rezultat toga formirana jedinjenja su generalno manje isparljiva, i nađena su kao grube čestice pepela, koje ostaju kao pepeo sa dna kotla umesto da se prevedu u leteći pepeo koji može da se emituje u atmosferu. Na taj način dodavanje aditiva pomaže snižavanju emisije prašastih materija i smanjenju opasnosti od visoko temperaturne korozije (Tobiasen et al, 2007).

Efektivnost aditiva zavisi od više faktora (Bafver et al, 2009): a) Distribucije veličine čestica aditiva. Što je manja čestica aditiva, veća je specifična površina za reakciju; b) Reakcione temperature i vremena; c) Sastava (aktivna komponenta aditiva); d) Stehiometrije (dovoljna količina aditiva).

Aditivi mogu da se sortiraju 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. Postoje do sada različiti poznati aditivi, kao što su: pesak (0,11-0,15 mm), kreda (krečnjak), kaolin (gline), rolovit (frakcija gline), bentonit (frakcija gline), aluminijum sulfat, monokalcijum fosfat (MCP), dikalcijum fosfat (DCP), stajsko đubrivo, talog iz proizvodnje piva, dolomit, kalcit, emaltit i dr. Svi ovi aditivi mogu se koristiti kao agens za vezivanje alkalija ili za prevenciju hemijskih reakcija sa elementima koji izazivaju formiranje eutektičkih smeša.

Upravo je najveći izazov izabrati 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 u potpunosti ispunjava sve ove zahteve.

U Poljoprivrednom kombinatu Beograd - PKB, izgrađeno je kotlovsko postrojenje toplotne snage 1,5 MW predviđeno za sagorevanje velikih bala poljoprivredne biomase po principu cigaretnog sagorevanja. Na ovom postrojenju je tokom dužeg perioda vremena sagorevana sojina slama i slama uljane repice (Turanjanin et al, 2010). Tokom rada sa ove dve vrste biomase nisu primećeni problemi sa korozijom i topivošću pepela. Međutim, sagorevanjem velikih bala slame pšenice dolazilo je do slepljivanja čestica pepela i do razlivanja jer su tačke topivosti pepela veoma niske, tačka sinterovanja pepela nastalog sagorevanjem slame pšenice je 880°C.

Da bi se rešio problem sagorevanja biomasa sa niskim temperaturama topivosti pepela sprovedeno je ispitivanje na realnom postrojenju u PKB-u pri čemu je korišćena supstanca koja se dodaje biomasi i ispituje njen uticaj na pepeo bila tečni višenamenski aditiv za čvrsta goriva PAC-KK-S-MgNit, koji ima osobinu da povećava temperaturu topljenja pepela, poboljšava sagorevanje, smanjuje nisku temperaturnu i visoku temperaturnu koroziju, zatim smanjuje emisiju štetnih produkata sagorevanja u atmosferu. Aditiv je dodavan prskanjem bale slame pre ubacivanja u ložiste, a zatim su određivane tačke topivosti pepela nastalog sagorevanjem slame pšenice sa aditivom i bez aditiva, Tačka

sinterovanja je ostala ista 880°C, dok je jedino došlo do povećanja tačke omekšavanja sa 920°C na 1020°C.

Pored pomenutog urađena su ispitivanja uticaja još šest vrsta aditiva, baziranih na glini ili pesku, na temperature topljenja pepela i to sledećih aditiva: 1. Aditiv bentonit; 2. Aditiv glina K.M. Krušik; 3. Aditiv glina, Ćirinac; 4. Aditiv kaolin „Bz“; 5. Aditiv peskovita glina, Pločnik; 6. Aditiv glina K.M. Ćirinac. Istraživanje potencijalnog uticaja aditiva izvršeno je na taj način što su određivane temperature topivosti pepela ispitivanih biomasa uz dodavanje aditiva u količini 5% od ukupne mase uzorka. Nakon toga je uzorak pomešane biomase sa dodatkom aditiva žaren na 550°C u cilju dobijanja pepela (SRPS CEN/TS 14775, 2009) koji je zatim ispitivan.

Rezultati određivanja uticaja vrste aditiva na temperature topljenja pepela za slamu pšenice, uljane repice i kukuruzovine prikazani su u tabelama 2-4 iz kojih se može videti uticaj pojedinih aditiva.

Tab. 2. Temperature topivosti pepela slame kukuruzovine

Tab. 2. Ash melting temperatures for cornstalk (maize) straw

Veličina Value	Aditiv / Aditive						Bez Without
	1	2	3	4	5	6	
t ₁ (°C)	920	925	860	890	840	860	1010
t ₂ (°C)	1000	970	1045	910	910	915	1040
t ₃ (°C)	1105	1100	1140	1000	1045	1060	1075
t ₄ (°C)	1145	1175	1320	1090	1165	1270	1100
Pepeo na 550°C Ash at 550°C, %	10,3 0	10,2 8	10,3 1	10,4 4	11,3 0	10,9 3	7,22

Tab. 3. Temperature topivosti pepela slame pšenice

Tab. 3. Ash melting temperatures for wheat straw

Veličina Value	Aditiv / Aditive						Bez Without
	1	2	3	4	5	6	
t ₁ (°C)	810	820	760	935	805	780	880
t ₂ (°C)	925	980	910	1110	1025	965	920
t ₃ (°C)	1160	1185	1125	1305	1220	1185	1100
t ₄ (°C)	1270	1250	1245	1400	1425	1385	1160
Pepeo na 550°C Ash at 550°C, %	8,20	8,74	8,62	8,32	8,76	9,35	5,89

Tab. 4. Temperature topivosti pepela slama uljane repice

Tab. 4. Ash melting temperatures for rape seed straw

Veličina Value	Aditiv / Aditive						Bez Without
	1	2	3	4	5	6	
t ₁ (°C)	965	1120	950	1000	1090	960	1100
t ₂ (°C)	1125	1150	1180	1170	1150	1180	1270
t ₃ (°C)	1185	1240	1240	1290	1195	1210	1400
t ₄ (°C)	1210	1365	1260	1370	1255	1230	1420
Pepeo na 550°C Ash at 550°C, %	7,26	8,19	9,80	8,18	9,60	9,50	5,88

Što se tiče kukuruzovine primećeno je (tabela 2) da su gline aditiva (br. 3 i 6) izazvale značajno povišenje temperature topljenja pepela. Kada je reč o slami pšenice koju generalno karakteriše niska temperatura topljenja pepela, utvrđeno je da praktično svi aditivi izazivaju porast temperatura topljenja pepela (tabela 3). Međutim, neki od aditiva, kao što su kaolin i peskovite gline značajno povećavaju temperature topljenja pepela (tabela 3). U slučaju pepela uljane repice koji karakteriše visoka temperatura topivosti pepela, upotreba svakog aditiva snižava ove temperature (tabela 4). Ovim ispitivanjima je pokazano da je primenom aditiva moguće sigurno i pouzdano sagorevati i one biomase koje imaju niske temperature topivosti pepela, kao što su slama pšenice i kukuruzovina.

4. ZAKLJUČAK

U ukupnom energetsom potencijalu obnovljivih izvora energije Srbije biomasa ima značajan udeo. Biomasa iz poljoprivredne proizvodnje predstavlja vrlo kvalitetno gorivo ali sa specifičnim karakteristikama koje je čine drugačijim od fosilnih goriva i uslovljavaju različite načine njene primene. Korišćenje biomase iz poljoprivredne proizvodnje zahteva u praksi posebne tehnologije korišćenja zbog nepovoljnih temperaturskih karakteristika mineralnog dela (pepela) i karakteristika meljivosti. Da bi se delimično rešio problem korišćenja biomase iz ratarske proizvodnje izvršeno je ispitivanje uticaja više vrsta aditiva (ukupno šest), baziranih na glini ili pesku, na temperature topljenja pepela i to: aditiv bentonit; aditiv glina K.M. Krušik; aditiv glina, Ćirinač; aditiv kaolin „Bz“; aditiv peskovita glina, Pločnik i aditiv glina K.M. Ćirinač. Istraživanje potencijalnog uticaja aditiva izvršeno je na taj način što su određivane temperature topivosti pepela ispitivanih biomasa (slama pšenice, uljane repice i kukuruzovina) uz dodavanje aditiva u količini 5% od ukupne mase uzorka. Sve analize izvršene su u skladu sa odgovarajućim standardima. Sprovedenim ispitivanjima je pokazano da je primenom aditiva moguće sigurno i pouzdano sagorevati i one biomase koje imaju niske temperature topivosti pepela, kao što su npr. slama pšenice ili kukuruzovina.

5. 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] De Wit M, Faaij A. (2010). European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy* 34(2): 188-202.
- [4] Đurović D, Dakić D, Repić B, Nemoda S, Živković G, Erić A. (2010). Ekonomska opravdanost izgradnje postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije korišćenjem poljoprivredne biomase. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(4): 373-381.
- [5] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. (2010). Biomasa - energetski resurs za budućnost. *Savremena poljoprivredna tehnika*. 36(2): 167-177.
- [6] JUS B.H8.325. (1985). Čvrsta mineralna goriva - Metode ispitivanja - Određivanje topivosti pepela. Zavod za standardizaciju, Beograd.

- [7] 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.
- [8] Martinov M, Tešić M, Veselinov B, Đatkov Đ, Bojić S. (2010). Primena čvrste biomase kao goriva u Nemačkoj - stanje i perspective. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(2): 157-166.
- [9] Ministarstvo za infrastrukturu i energetiku Republike Srbije. (2011). <http://mem.gov.rs/>
- [10] Mladenović R, Dakić D, Erić A, Mladenović M, Paprika M, Repić B. (2009). The boiler concept for combustion of large soya straw bales. *Energy* 34(5): 715-723.
- [11] 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.
- [12] Oka S. (1992). Korišćenje otpadne biomase u energetske svrhe, program razvoja tehnologija i uslovi za njegovu realizaciju, In Profesional Advancement Series "Sagorevanje biomase u energetske svrhe". Ed. N. Ninić, S. Oka, Jugoslovensko društvo termičara, Naučna knjiga, Beograd, 9-19.
- [13] Radojević A, Repić B, Dakić D, Erić A. (2010). Analiza i ispitivanje pepela poljoprivredne biomase i potencijalnih aditiva. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(4): 357-365.
- [14] Repić B, Dakić D, Paprika M, Mladenović R, Erić A. (2008). Soya straw bales combustion in high efficient boiler. *Thermal Science* 12(4): 51-60.
- [15] Repić B, Dakić D, Djurović D, Erić A. (2010). Development of a boiler for small straw bales combustion. In: *Paths to Sustainable Energy*, ed. Nathwani J, Ng W, ch. 31, 647-664. Wiena: Intech Co.
- [16] SRPS CEN/TS 14775. (2009). Čvrsta biogoriva - Metoda za određivanje sadržaja pepela. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
- [17] SRPS CEN/TS 15370-1. (2009). Čvrsta biogoriva - Metoda za određivanje karakteristika rastvaranja pepela, Deo 1: Metoda karakterističnih temperature. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd.
- [18] 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.
- [19] Tortosa-Masia Abel A, Anherf F, Spliethoff H, Hein K.R.G. (2003). Slagging and fouling in biomass co-combustion. *Thermal Science* 9(3): 85-98.
- [20] Turanjanin V, Djurović D, Dakić D, Erić A, Repić B. (2010). Development of the Boiler for Combustion of Agricultural Biomass by Products. *Thermal Science* 14(3): 707-714.
- [21] Vamvuka D, Zografos D, Alevizos G. (2008). Control methods for migrating biomass ash-related problems in fluidized beds. *Bioresource Technology* 99(9): 3534-3544.
- [22] Vassilev S, Baxter D, Andersen L, Vassileva C. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 89(5): 913-933.
- [23] Zabanitou AA, Skoulalou VK, Koufodimos GS, Samaras ZC. (2007). Investigation study for technological application of alternative methods for the energy exploitation of biomass-agricultural residues in Northern Greece. *Thermal Science* 11(3): 115-123.

THE INFLUENCE OF SCIENTIFIC FARMING MEASURES IN SOYA BEAN PRODUCTION ON CONE INDEX PENETRATION IN SOIL

Ana Marinković, Branislav Repić, Dragoljub Dakić,
Milica Mladenović, Stevan Nemoda

SUMMARY

Biomass is the most significant renewable energy potential in Serbia (63%) with a potential of 2.7 Mtoe. Of this, 60% is agricultural and 40% forest biomass. Forest biomass is already having a significant uses while agricultural biomass is practically unused. The reason for this lies in the lack of adequate technologies for agricultural biomass burning. This type of biomass requires special technologies for use due to adverse temperature characteristics of the mineral part (ash) and grinding characteristics. Performed research in the world has shown that the additive proved to be convenient and efficient means by which it is possible to minimize the problems of ash sintering. This paper presents the results of the potential impact of additives on the characteristics of several types of agricultural biomass ash. The research determined the ash temperature solubility of the tested biomass, an additive in the amount of 5% of the total weight of the samples. Investigation of the effects of additives was carried out with 6 types of additives whose base is clay or sand, as follows: 1. Bentonite Additive; 2. K.M. Clay Additive Krušik; 3. Additive Ćirinač Clay; 4. Additive Kaolin "Bz"; 5. Additive sandy clay Pločnik; 6. K.M. Clay Ćirinač Additive. The tests demonstrated that the application of additives make possible safely and reliably biomass combustion and those type of biomass that have low solubility temperature of ash, such as wheat straw and cornstalk (maize) straw.

Key words: biomass, straw, ash, additives, solubility.

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetske efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“, Evidencioni broj projekta III42011, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.

Primljeno: 9.09.2011.

Prihvaćeno: 4.10.2011.