Biblid: 0350-2953 (2015) 41(4): 197-204

UDK: 662.767.2:536.46

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA AGRO I ŠUMSKE BIOMASE U CILJU
NJIHOVE ENERGETSKE PRIMENE
CHARACTERISTIC DETERMINATION OF AGRO AND FOREST BIOMASS IN
ORDER TO THEIR ENERGY APPLICATIONS**

Marinković Ana, Repić B, Spasojević V, Mladenović Milica, Đurović D.

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14
E-mail: aradojevic@vinca.rs

SAŽETAK

U cilju održivog i ekološki prihvatljivog energetskog razvoja postoji stalna orijentacija ka korišćenju alternativnih i obnovljivih izvora energije (OIE). Potrebu za korišćenjem ovih vidova energije nameće realnost energetskog tržišta. Takođe, neminovnost korišćenja OIE je i sa ekološkog aspekta, zbog smanjenja globalnog zagađenja, redukcije emisije CO₂ i drugih polutanata. U ukupnom energetskom potencijalu OIE Srbije biomasa ima najznačajniji udeo. Od toga je oko 60% agro biomasa koja predstavlja vrlo kvalitetno gorivo ali sa specifičnim karakteristikama koje je čine drugačijim od šumske biomase i od fosilnih goriva i uslovljavaju različite načine njene primene. Za njeno korišćenje neophodan je razvoj odgovarajućih uređaja i tehnologija. U radu je izvršena analiza i poređenje karakteristika sagorevanja više vrsta agro i šumske biomase u cilju njihove energetske valorizacije. Sve karakteristike biomase određene su u skladu sa aktuelnim standardima. Na osnovu dobijenih rezultata izvršena je analiza više tehnologija koje se mogu koristiti za sagorevanje biomase. Analizirani su i drugi aspekti konkretne primene biomase preko rešavanja osnovnih problema koji se javljaju pri sagorevanju agro biomase.

Ključne reči: biomasa; karakteristike sagorevanja; tehnologije; sagorevanje.

1. UVOD

Proizvodnja toplotne i električne energije sagorevanjem biomase može biti vrlo značajna za Republiku Srbiju, jer je biomasa jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije (Janić i dr, 2010, Martinov i dr, 2010). 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 (Dakić i dr, 2012). Najvažnija prednost ovih goriva u poređenju sa fosilnim jeste da se njihovim termalnim korišćenjem postiže neutralnost CO₂. Uz to emisija CO, NO_x i ukupnog organskog ugljenika (TOC) je znatno niža u poređenju s emisijom ovih jedinjenja koja nastaju sagorevanjem fosilnih goriva.

Biomasa se sa stanovišta pogodnosti sagorevanja, odnosno primene, može podeliti na dve osnovne grupe i to: a) šumska biomasa i b) biomasa iz poljoprivredne proizvodnje.

Osnovna razlika između ove dve vrste biomase je u karakteristikama pepela, odnosno karakterističnim temperaturama topivosti pepela. Potencijali biomase u Srbiji procenjuju se na oko 3,3 Mtoe. Od toga šumska biomasa čini oko 40 %, a agro 60 %. Šumska biomasa se već značajno koristi dok je poljoprivredna praktično neiskorišćena. Nedostatak agro biomase su tehnički problemi koji su u vezi sa slepljivijem pepela i formiranjem naslaga na zidovima postrojenja u toku procesa sagorevanja čime se ograničava njena primena kao goriva (Biedermann and Obernberger, 2005, Saidur et al, 2011).

Na proces termalnog korišćenja čvrstih biogoriva utiče vrsta čvrstog biogoriva koje se koristi, njegove fizičke karakteristike (veličina čestica, gustina, poroznost, vlažnost, kalorična vrednost, termofizičke karakteristike – permeabilnost, toplotna provodljivost, emisivnost) i hemijski sastav biomase i njenog pepela (Repić et al, 2010). Zato je veoma važno da se zna količina neorganskih elemenata u različitim biogorivima i reakcije i efekti koje one prouzrokuju tokom sagorevanja da bi se projektovalo postrojenje za sagorevanje i sistem za kontrolu prema vrsti biogoriva koje se koristi ili da se izabere odgovarajuće biogorivo za već postojeći sistem. Pri tome se podrazumeva da u sve ovo mora biti uključen aspekt zaštite životne sredine od štetnih produkata sagorevanja goriva.

2. MATERIJAL I METOD

Različite vrste agro biomase se međusobno značajno razlikuju (Zabanitou et al, 2007, Marinković i dr, 2011), a samim tim razlikuje se i njihovo sagorevanje, kao i problemi koji nastaju u postrojenjima gde se agro biomasa koristi. Postoje značajne razlike u karakteristikama sojine i pšenične slame, kukuruzovine i druge agro biomase. Osim značajnih razlika u topivosti pepela i hemijske karakteristike pepela pojedinih biomasa se međusobno mnogo razlikuju kao i kinetika sagorevanja koja zavisi od oblika i vlažnosti biomasa. 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 agro biomase i kako bi se ostvarila željena kinetika sagorevanja.

Dosadašnja istraživanja sagorevanja agro biomase kod nas su vršena u toku dužeg perioda vremena. Ispitivanja su rađena sa sojinom i pšeničnom slamom, slamom od uljane repice i kukuruzovinom (Repić i dr, 2008, Mladenović i dr, 2009, Turanjanin i dr, 2010, Gluvakov i dr, 2012, Repić i dr, 2013). Vršeno je ispitivanje različitih biomasa kako na uzorcima uzetih direktno sa polja, tako i sa uzorcima peleta i briketa biomase. Dobijeni rezultati tj. osnovne tehničke i elementarne analize predstavljeni su u Tabelama 1-4. Određen je sadržaj vlage, pepela, isparljivih materija, gornja i donja toplotna vrednost kao i elementarna analiza goriva (sadržaj C, H, N, S i O).

Sadržaj vlage i pepela je određen termogravimetrijskom analizom na uređaju LECO TGA 701. Gornja toplotna vrednost je izmerena u kalorimetru IKA C200. Elementarna analiza (C, H, N, S) određena je na analizatoru LECO 628. Topivost pepela određivana je na uređaju Ernest Leitz GMBH. Sve analize vršene su skladu sa važećim standardima.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U Tabelama 1 i 2 prikazani su osnovni rezultati tehničke i elementarne analize za sojinu slamu (krupna frakcija, sitna frakcija, otpadak i briket). Vrednosti dobijenih rezultata za krupnu i sitnu frakciju slame soje se slažu, kao i rezultati za briket napravljen

od sojine slame, samo je sadržaj vlage veći kod briketa, dok otpadak koji zaostaje ima veći sadržaj pepela i koksa, a samim tim manji sadržaj sagorivih i isparljivih materija i manju toplotnu moć. Kada se pogleda elementarna analiza, sadržaj C, H, S i O je manji, proporcionalno manjem sadržaju sagorivih materija, jedino je sadržaj N veći. U toj frakciji otpadak koja se skuplja sa njive posle žetve, ima i zemlje, što utiče na povećan sadržaj pepela, a kako je soja tretirana veštačkim đubrivima, u zemljištu su prisutniji elementi iz đubriva, što se ogleda i u većem sadržaju azota u toj frakciji nego kod drugih frakcija.

U tabeli 2 su rezultati za briket šumske biomase (briket 2) i agro pelete (uzorci 1, 2, 3 i 4). Briket 2 ima niži sadržaj pepela i koksa od briketa 1, a više sagorljivih materija i veću toplotnu moć. Kada se pogleda elementarna analiza primećuje se da azota ima više kod briketa soje nego kod briketa šumske biomase. To je posledica tretiranja biljke veštačkim đubrivom, što utiče na veći sadržaj N kod agro biomase. Za uzorke agro peleta koji su rađeni i prikazani u Tabeli 1 (1,2 3, 4) i u Tabeli 4 (uljana repica, soja, soja:uljana repica u odnosu 80:20% rezultati za vlagu, toplotnu moć, elementarnu analizu, koks su približno slični, jedino se primećuje da peleti 2 i 4 imaju niži sadržaj pepela a više sagorljivih materija, i da su vrednosti slične kao za pelet uljane repice, dok pelet soje ima malo niži sadržaj pepela, a samim tim više sagorljivih materija.

Uzorak šumske biomase koji je analiziran ima visok sadržaj pepela, međutim uzorak je skupljan sa zemlje posle orezivanja, bilo je prisutno dosta zemlje, i imao je dosta kore, tako da je i to uticalo na dobijeni rezultat.

Tab. 1. Tehnička i elementarna analiza uzoraka biomase – sojina slama (suva osnova)

Tab. 1. Proximate and ultimate analysis of samples of biomass – soybeen straw (dry base)

Veličina / Value	Jed. Unit	krupna frakcija coarse fractions	sitna frakcija fine fractions	otpadak waste	Briket 1 Briquette 1
Vlaga / Moisture	%	4,45	3,43	4,62	14,05
Pepeo / Ash	%	6,96	7,06	18,99	6,93
Koks / Char	%	26,58	26,51	36,14	26,50
Fiksni ugljenik / Fixed carbon	%	19,62	19,45	17,15	19,57
Isparljivo / Volatile matter	%	73,42	73,49	63,86	73,50
Sagorljivo / Combustible	%	93,04	92,94	81,01	93,07
Gornja toplotna moć Heating value upper	kJ/kg	18095	17952	16047	17958
Donja toplotna moć Heating value lower	kJ/kg	16764	16652	14855	16640
Ugljenik / Carbon	%	46,46	45,99	41,18	46,42
Vodonik /Hydrogen	%	6,12	5,97	5,49	6,06
Sumpor / Sulfur	%	0,24	0,21	0,18	0,17
Azot / Nitrogen	%	0,55	0,65	1,14	0,41
Kiseonik / Oxygen	%	39,67	40,12	33,02	40,01

Tab. 2. Tehnička i elementarna analiza uzoraka biomase (suva osnova)

Tab. 2. Proximate and ultimate analysis of samples of biomass (dry base)

Veličina Value	Jed. Unit	Briket 2 Briquette 2	Agro pelet Agro pellet			
				2	3	4
Vlaga / Moisture	%	10,07	11,79	10,35	9,94	12,44
Pepeo / Ash	%	1,99	10,31	6,25	11,32	6,37
Koks /Char	%	20,50	27,07	23,20	28,86	26,26
Fiksni ugljenik Fixed carbon	%	18,51	16,76	16,95	17,54	19,89
Isparljivo Volatile matter	%	79,50	72,93	76,80	71,14	73,74
Sagorljivo Combustible	%	98,01	89,69	93,75	88,68	93,63
Gornja toplotna moć Heating value upper	kJ/kg	19797	17367	17056	17301	17856
Donja toplotna moć Heating value lower	kJ/kg	18480	16141	15898	16078	16699
Ugljenik / Carbon	%	50,18	44,78	43,84	43,20	45,35
Vodonik / Hydrogen	%	6,05	5,63	5,29	5,61	5,29
Sumpor / Sulfur	%	0,88	0,25	0,17	0,16	0,10
Azot / Nitrogen	%	0,35	0,80	1,74	0,68	0,54
Kiseonik / Oxygen	%	40,55	38,23	42,71	39,03	42,35

Tab 3. Temperatura topivosti pepela biomasa

Tab 3. Ash melting temperatures of biomass

Veličina Value	Jed. Unit	Agro pelet Agro pellet		
		2	3	4
Temperatura sinterovanja Shrinkage starting temperature, (t_1)	°C	858	810	827
Temperatura omekšavanja Deformation temperature, (t_2)	°C	869	932	848
Temperatura polulopte Hemisphere temperature, (t_3)	°C	1283	1188	1055
Temperatura razlivanja Flow temperature, (t_4)	°C	1293	1229	1107

Za uzorke agro peleta 2, 3 i 4 urađeno je određivanje temperatura topivosti pepela. Od pepela dobijenog žarenjem biomase na 575°C napravljen je u kalupu uzorak oblika cilindra prečnika 5mm i visine 5 mm. Uzorak je postavljen u peć koja se zagreva po propisanoj dinamici u oksidacionoj atmosferi. Uočavaju se značajno niže temperature topivosti pepela za uzorak br. 4 u odnosu na ostala dva uzorka. Određivanje temperatura topivosti pepela je kvalitativni indikator za ponašanje pepela u kotlu i pojave potencijalnih

problema kao što je slepljivanje pepela i pravljenje naslaga na zidovima ložišta (Tortosa et al, 2003).

Tab. 4. Tehnička i elementarna analiza uzoraka biomase (suva osnova)

Tab. 4. Proximate and ultimate analysis of samples of biomass (dry base)

Veličina Value	Jed. Unit	Pelet Pellet			Šumska biomasa Forest biomass
		1	2	3	
Vlaga / Moisture	%	11,00	10,80	11,14	43,51
Pepeo / Ash	%	6,13	6,02	4,87	15,56
Koks / Char	%	/	/	/	27,61
Fiksni ugljenik Fixed carbon	%	/	/	/	12,06
Isparljivo Volatile matter	%	/	/	/	72,39
Sagorljivo Combustible	%	93,87	93,98	95,13	84,44
Gornja toplotna moć Heating value upper	kJ/kg	18404	18276	18413	16661
Donja toplotna moć Heating value lower	kJ/kg	17047	16922	17042	15615
Ugljenik / Carbon	%	42,92	42,63	43,17	50,54
Vodonik / Hydrogen	%	6,23	6,21	6,29	5,67
Sumpor / Sulfur	%	/	/	/	0,14
Azot / Nitrogen	%	0,73	0,65	0,65	0,62
Kiseonik / Oxygen	%	43,99	44,49	45,02	43,03

1. Uljana repica/rape seed

2. Mešavina soja:uljana repica (80:20%)/Mixture soybean:rape seed (80:20%)

3. Soja/Soybean

4. TEHNOLOGIJE ENERGETSKE KONVERZIJE BIOMASE

Dosadašnje analize imale su za cilj da ukažu na različitost rezultata koji se dobijaju pri analizama karakteristika sagorevanja agro i šumske biomase. Ove razlike uslovljavaju primenu određenih tehnologija za sagorevanje biomase. Tehnologije za korišćenje agro biomase moraju biti primerene našim (domaćim) mogućnostima te moraju da zadovoljavaju sledeće uslove: niska cena postrojenja; mala cena pripreme, transporta i skladištenja goriva; jednostavna za rukovanje; kontrolisano sagorevanje; visok stepen iskorišćenja goriva; mogućnost paralelnog korišćenja više vrsta biomasa pa i drugih goriva; zadovoljenje ekoloških normi. Glavni problemi koji se javljaju pri sagorevanju agro biomase odnose se prema (Strehleru, 2004) na: kvalitet i efikasnost sagorevanja; radno opterećenje postrojenja; cenu postrojenja; primenjene materijale (termička i hemijska stabilnost materijala).

Za sagorevanje agro biomase mogu se koristiti sve razvijene tehnologije koje su u upotrebi za čvrsta goriva. Jedan od glavnih kriterijuma za izbor tehnologije je veličina

postrojenja koje se gradi tako da se mogu razlikovati mala postrojenja sa toplotnom snagom do 15 kW, srednja postrojenja do 1 MW i industrijska postrojenja snage preko 1 MW. Mala ložišta (kotlovi) se koriste u sektoru domaćinstva za grejanje vode i prostorija snage do 15 KW. Postrojenja snage do 1 MWt koriste se u komercijalne svrhe. To su ložišta (kotlovi) u kojima se sagoreva biomasa u baliranom ili nekom drugom obliku, a gde se produkti sagorevanja izbacuju u okolinu preko dimnjaka. Kod ovih postrojenja glavni problem predstavlja emisija CO, hidrokarbonata i praškastih materija. Postrojenja snage preko 1 MWt koriste se za grejanje, proizvodnju toplote ili pare koja se koristi u nekom tehnološkom procesu ili su kombinovana postrojenja za proizvodnju toplotne i el. energije.

Specifične karakteristike agro biomase uslovljavaju izbor tehnologije za njeno korišćenje. Za sagorevanje različitih vrsta biomasa koriste se sve poznate tehnologije sagorevanja fosilnih goriva i to: a) u sloju; b) na rešetki (pokretna nepokretna, vibraciona); c) cigaretno sagorevanje celih bala; d) sprašene biomase u letu; e) u fluidizovanom sloju; f) gasifikacija biomase. Osnovne prednosti navedenih tehnologija su njihova dugogodišnja konkretna primena sa korišćenjem različitih vrsta fosilnih goriva ali i šumske biomase, široki izbor različitih inostranih ali i domaćih proizvođača i dr. Osnovni nedostaci ovih tehnologija ogledaju se u kratkom periodu korišćenja kada je reč o sagorevanju biomase, maloj fleksibilnost u pogledu vrste biomase koja može da se koristi, nedostatku dokazanih tehnologija za sagorevanje agro biomase. I dok je za šumsku biomasu izbor tehnologija dosta širok poljoprivredna biomasa nailazi u praksi na niz ozbiljnih teškoća. Glavne teškoće su niska temperatura topivosti pepela ovih biomasa uslovljena nepovoljnim hemijskim sastavom pepela, veliki problemi u regulaciji snage postrojenja, pojava visokih emisija CO u dimnim gasovima i dr. Ovo je i glavni razlog zašto nema tako široke upotrebe slame u poređenju sa šumskom biomasom jer se tehnologije koje mogu da omoguće pouzdano i ekološki prihvatljivo sagorevanje slame još nalaze u fazi razvoja i ispitivanja na demonstracionim postrojenjima manje i veće snage.

5. ZAKLJUČAK

U cilju održivog i ekološki prihvatljivog energetskog razvoja postoji stalna orijentacija ka korišćenju alternativnih i obnovljivih izvora energije. Neminovnost korišćenja obnovljivih izvora energije je i sa ekološkog aspekta, tj. smanjenja emisije CO₂ i redukcije formiranja efekta staklene bašte. U ukupnom energetskom 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. Postoji više komercijalnih tehnologija (inostranih i domaćih) koje se mogu koristiti za sagorevanje agro biomase. Izvršena analiza ovih tehnologija pokazuje da se uz preduzimanje određenih mera pri projektovanju postrojenja mogu ostvariti adekvatni uslovi sagorevanja biomase koji obezbeđuju siguran i pouzdan rad ovih postrojenja. Za tako nešto potrebno je dobro poznavanje karakteristika sagorevanja različitih biomasa, kako agro tako i šumskih. Zato je neophodno nastaviti sa daljim određivanjima karakteristika biomase i formiranje baze podataka u cilju njihove što šire energetske valorizacije biomase.

6. LITERATURA

- [1] Biedermann F, Obernberger I. (2005). Ash-related problems during biomass combustion and possibilities for a sustainable ash utilisation. In Proc. of the International Conference World Renewable Energy Congress (WREC), May, Aberdeen, Scotland, Elsevier Ltd., Oxford, UK.
- [2] Dakić D, Paprika M, Repić B, Erić A, Đurović D. (2012). Isplativost korišćenja poljoprivrednih ostataka radi zadovoljenja energetske potrebe. *Savremena poljoprivredna tehnika* 38(2): 87-96.
- [3] Gluvakov Z, Brkić M, Janić T. (2012). Metode za određivanje kvaliteta energetske peleta od biomase. *Savremena poljoprivredna tehnika* 38(2): 121-130.
- [4] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. (2010). Biomasa – energetska resurs za budućnost. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(2): 167-177.
- [5] Marinković A, Repić B, Dakić D, Mladenović M, Nemoda S. (2011). Eksperimentalno određivanje uticaja aditiv na karakteristike pepela poljoprivrednih biomasa. *Savremena poljoprivredna tehnika* 37(2): 119-224.
- [6] Martinov M, Tešić M, Veselinov B, Đatkov Đ, Bojić S. (2010). Primena čvrste biomase kao goriva u Nemačkoj - stanje i perspektive. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(2): 157-166.
- [7] Mladenović R, Dakić D, Erić A, Mladenović M, Paprika M, Repić B. (2009). The boiler concept for combustion of large soya straw bales. *Energija* 34(5): 715-723.
- [8] 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.
- [9] 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., 647-664. Intech Wiena.
- [10] Repić B, Dakić D, Erić A, Djurović D, Marinković A, Nemoda S. (2013). Investigation of the cigar burner combustion system for baled biomass. *Biomass and Bioenergy* 58 (11): 10-19.
- [11] Saidur R, Abdelaziz E.A, Demirbas A, Hossain M.S, Mekhilef S. (2011). A review on biomass as fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5): 2262-2289.
- [12] Strehler A. (2005). Results from the research work in heat generation from wood and straw. In *Energy from Biomass*, Elsevier, London, 788-792.
- [13] Tortosa-Masia Abel A, Anheer F, Spliethoff H, Hein K.R.G. (2003). Slagging and fouling in biomass co-combustion. *Thermal Science* 9(3): 85-98.
- [14] 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.
- [15] Zabanitou A.A, Skoulalou V.K, Koufodimos G.S, Samaras Z.C. (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.

CHARACTERISTIC DETERMINATION OF AGRO AND FOREST BIOMASS IN ORDER TO THEIR ENERGY APPLICATIONS

Marinković Ana, Repić B, Spasojević V, Mladenović Milica, Đurović D.

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mihaila Petrovića Alasa 12-14
E-mail: aradojevic@vinca.rs

SUMMARY

In order to achieve sustainable and ecologically acceptable energy development there is a growing need for utilization of alternative and renewable energy sources (RES). A need for the utilization this type of energy sources is dictated by the reality of the energy market. Also, the usage of RES is necessary for environmental protection reasons, i.e. the global pollution, emission reduction of CO₂ and other pollutants. In the total renewable energy potential of Serbia, biomass has an important percentage, out of which 60% is agricultural biomass, a fuel with very good quality but with specific characteristics in comparison to forest biomass and fossil fuels. This is the reason for a different manner of its usage. In order to utilize biomass from agricultural production for energy production, it is necessary to develop adequate devices and technologies. In the paper an analysis and comparison of combustion characteristics several types of agro and forest biomass is performed in order to their energy applications. All biomass characteristics were performed in accordance with actual standards. In addition, analysis of different technologies for biomass combustion on the base of obtained results was performed. Also, some other aspects of the concrete application of biomass beside the main problems that occur during the biomass combustion were analyzed.

Key words: biomass; combustion characteristics; technologies; combustion.

Napomena: Rad je realizovan u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetski efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“, Ev. br. projekta III42011.

Primljeno: 25. 09. 2015. god.

Prihvaćeno: 08. 10. 2015. god.