

Bibliid: 0350-2953 (2018) 44(2): 65-72;
UDK: 697:662.6/9;

Originalni naučni rad
Original scientific paper

UTICAJ VRSTE I FORME BIOMASE NA TOPLOTNU SNAGU KOTLOVA INFLUENCE OF SPECIES AND FORMS OF BIOMASS ON BOILERS HEAT POWER

Janić Todor¹, Janić Vasilije², Igić Saša³, Višacki Vladimir¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8

² Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

³ Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad, Cvečarska 2

E-mail: jtodor@polj.uns.ac.rs

REZIME

U radu je prikazano praćenje i analiza uticaja vrste sagorevane biomase na toplotnu snagu kotlovskog postrojenja pri sagorevanju nekoliko vrsti i formi biomase. Osnovni zadatak u istraživanju se odnosio na sagledavanje uticaja primerenosti za korišćenje raznih vidova biomase (po poreklu, obliku i veličini) u kotlovskom postrojenju, koje je konstruisano i izrađeno za sagorevanje balirane biomase (malih konvencionalnih bala) sa ručnim ubacivanjem goriva.

Kao materijal u radu su korišćena sledeća biogoriva: bale pšenične slame, snopovi stabljike kukuruza (sa lišćem), peletirani oklasak kukuruza, orezina iz vinograda u snopovima i grane iz voćnjaka prečnika do 60 mm.

Dobijeni rezultati se mogu koristiti za poboljšanje tehnologije rada kotlovskog postrojenja sa ručnim loženjem (načina i dinamike loženja i dodavanja vazduha za sagorevanje), uvođenje automatizacije u radu takvih postrojenja i poboljšanje njihovih konstrukcionih rešenja.

Ključne reči: biomasa, sagorevanje, toplovodni kotao, toplotna snaga

1. UVOD

Napretkom industrije i sličnih grana privređivanja, povećanjem populacije i životnog standarda u razvijenijim zemljama, ubrzano raste i potrošnja energije. U današnje vreme energetske potrebe se najvećim delom podmiruju iz konvencionalnih izvora energije u koje se mogu svrstati fosilna goriva (nafta, gas, ugalj) i električna energija. Pošto sva relevantna istraživanja u svetu ističu da su fosilna goriva na izmaku, što će za krajnji cilj imati energetske krize globalnih razmera, neophodno je u što većem obimu potrebe za energijom nadomestiti iz održivih, tj. obnovljivih energenata, kao što su: biomasa, energije vetra i sunca, geotermalna energija i dr.

Raspoloživi termoenergetski potencijali lako dostupnih i termički adekvatnih biogoriva, kao što su: pšenična i sojina slama, kukuruzovina, oklasak kukuruza, vinova loza i granjevina iz voćnjaka u Vojvodini iznose oko $2,0 \times 10^6$ t, što je ekvivalentno sa $0,67 \times 10^6$ t ulja za loženje (Statistički godišnjak, 2017). U Vojvodini, se najčešće za produkciju energije tehnologijama direktnog sagorevanja koriste balirani biljni ostaci ratarske

proizvodnje, kao što su: slama pšenice, ječma i soje ili kukurozovina i oklasak kukuruza (Brkić i sar., 2012).

Za sagorevanje biomase najčešće su zastupljena ložišta za sagorevanje u sloju, tj. na rešetkama (Brkić i sar., 2006). Korišćene rešetke su različitih oblika i to: horizontalne ravne nepokretne rešetke (roštilji), kose nepokretne rešetke, stepenaste nepokretne rešetke, kose stepenaste pokretne rešetke, puzeće rešetke (lančane) i dr. Balirana biomasa se u Srbiji uglavnom sagoreva u toplovodnim kotlovima, pri čemu su kao najbrojniji i najrasprostranjeniji posebno interesantni kotlovi sa ravnim nepokretnim rešetkama za sagorevanje (Janić i sar., 2010).

Unapređenje konstrukcije i tehnologije rada toplovodnih kotlova sa ravnim nepokretnom rešetkom je od suštinske važnosti, pošto je u njihovom radu izraženo mnogo problema od kojih se u najkraćem mogu navesti: velika variranja u intenzitetu produkovane toplotne snage, česta termička preopterećenja ložišnog prostora, nagla pothlađivanja ložišta (prilikom ubacivanja bala biomase), emisije dimnih gasova sa velikim sadržajem nesagorelih jedinjenja (CO , H_2 , CH_4 i dr) koji povremeno imaju visoke temperature (i preko 650°C), posebno kada se želi postići što veća izlazna toplotna snaga kotlovske postrojenja (Janić i sar, 2016). Pored navedenog poseban problem pri radu kotlovskih postrojenja u kojima se sagoreva biomasa nastala u procesima poljoprivredne proizvodnje predstavlja topljenje pepela na relativno nižim temperaturama (Repić, 2008), što dovodi do začepjavanja otvora za dovođenje primarnog vazduha i samim tim do nepotpunog ili čak nemogućeg sagorevanja biomase (Turanjani i sar, 2010).

Svesni toga da će se u Srbiji još dugi niz godina i dalje koristiti kotlovska postrojenja sa ravnim nepokretnom rešetkom izvršena su ispitivanja sa ciljem da se u što većoj meri utvrdi uticaj korišćenja različitih vrsta biomasa, kao goriva, na proces sagorevanja i produkovanu toplotnu snagu postrojenja i da se donesu zaključci kojim bi se unapredio rad navedenih postrojenja.

Cilj ovog rada je praćenje i analiza uticaja vrste sagorevane biomase na promenu izlaznih toplotnih snaga kotlovske postrojenja. Zapravo osnovni zadatak je sagledavanje primerenosti za korišćenje raznih vidova biomase u kotlovskom postrojenju koje je po osnovnoj funkciji konstruisano i izrađeno za sagorevanje balirane biomase (malih konvencionalnih bala).

Dobijeni rezultati se mogu koristiti za poboljšanje tehnologije rada kotlovske postrojenja sa ručnim loženjem (načina i dinamike loženja i dodavanja vazduha za sagorevanje), uvođenje automatizacije u radu takvih postrojenja i poboljšanje njihovih konstrukcionih rešenja.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Kao materijal u radu su korišćena sledeća biogoriva: bale pšenične slame, snopovi stabljike kukuruza (sa lišćem), ceo oklasak kukuruza, orezina iz vinograda u snopovima i grane iz voćnjaka prečnika do 60 mm. Navedeni izbor je bio zasnovan na tome, što ovih biogoriva ima najviše na području severnog Banata, gde je ispitivanje obavljeno. Pored toga ima ga u dovoljnim količinama, njegovo prikupljanje se obavlja u povoljnim vremenskim uslovima sa uobičajenom poljoprivrednom mehanizacijom, čiji rad nije uslovljen posebnim zahtevima (Terzić, 2008).

Zbirni prikaz pojedinih izmerenih karakteristika biogoriva dat je u tab. 1.

U radu je predviđeno praćenje uticaja vrste biomase i količine vazduha za sagorevanje kao dominantnih faktora koji utiču na produkovanu snagu kotla. Ostali faktori, čiji je uticaj izražen u procesu sagorevanja su se održavali na konstantnom nivou. Izabranom eksperimentalnom metodom istraživanja se u što većoj meri težilo približavanju stvarnim, tj. eksploatacionim uslovima sagorevanja.

Tabela 1: Karakteristika biogoriva – ubacivanih i jednoj šarži

Table 1: Characteristics of biofuel - loaded and single batch

Vrsta biogoriva Type of biofuel	Dimenzije biogoriva Dimensions of biofuel	Masa biogoriva Mass of biofuel	Nasipna masa biogoriva Bulk density of biofuel	Srednja vlažnost biogoriva Mean humidity of biofuel
	m	kg	kg/m ³	%
Pšenična slama Straw Wheat	0,90x0,50x 0,35	11 – 12	70 – 76	12,56
Maize-stalk	1,7x0,4x0,3	3,33	16,3	15,14
Pelet oklaska kukuruz Pellet of corn cob	0,36x0,28x0,2	9,98	495	10,07
Vinova loza Grape vine	0,7x0,4x0,3	2 – 4	24 – 48	14,04
Granjevina Wood	0,8x0,4x0,25	10	193,5	12,62

Toplotna snaga kotla je izračunavana pomoću jednačina (1) i (2) (Bogner, 1995).

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ki} - T_{ku}) \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ki} - T_{ku}) \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

gde je:

- \dot{m} - maseni protok vode (kg/s),
- c_p - specifična toplota vode (kJ/kgK),
- T_{ki} - temperatura vode na izlazu iz kotla (K),
- T_{ku} - temperatura vode na ulazu u kotao (K).
- \dot{V} - zapreminski protok vode (m³/s) i
- ρ - gustina vode (kg/m³).

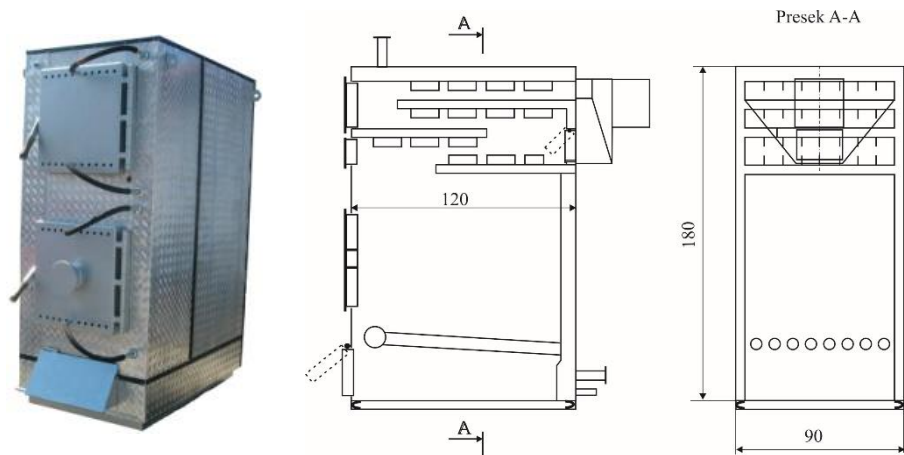
Maseni protok vode, temperatura ulazne i temperatura izlazne vode merene su direktno pomoću termometara (Pt-100 sonde).

Specifična toplota i gustina vode preuzimane su iz termodinamičkih tablica u odnosu na potrebnu temperaturu (Kozjić i sar, 1998).

Tehničko-tehnološki opis postrojenja

Postrojenje na kom je vršeno ispitivanje se nalazi u Mokrinu i u vlasništvu je povrtarske zadruge „Eko produkt“ iz Mokrina, a u svom sastavu ima kotao na biomasu, sušaru sa

lesama i svu potrebnu merno-regulacionu opremu. Ispitivani kotao je deklarisan snage 200 kW (sl. 1). To je ručno loženi kotao kod kog je ložište bez ozida, tj. sa vodom hlađenim zidovima od kotlovskog lima, debljine 4 mm.



Slika 1. Toplovodni kotao na biomasi, proizvođača „Eko produkt“ iz Novog Sada, snage 200 kW

Fig. 1 Biomass-fired hot-water boiler, manufactured by “Eko produkt“, Novi Sad, 200 kW power

U kotlu gorivo sagoreva na ravnoj rešetci. Zidovi ložišta kotla, kao i vrata i rešetka su hlađeni vodom. Temperatura ulazne i izlazne vode iz kotla meri se Pt 100 termosondama koje se ugrađene na dovodnom i odvodnim priključcima kotla.

Deo postrojenja koji služi za dovod, merenje i regulisanje količine vazduha u procesu sagorevanja se sastoji iz: centrifugalnog ventilatora sa elektromotorom i zasunom na usisnom delu i cevi za odvod vazduha za sagorevanje u ložište koja je postavljena ispod rešetke.

Cev za odvod vazduha za sagorevanje u ložište je izdeljena na tri segmenta. Prvi segment (do ventilatora) služi za uspostavljanje laminarnog strujanja vazduha. Između prvog i drugog segmenta cevi nalazi se merna prigušnica. Dužina oba segmenta je propisana standardima koji nalažu da je $l_1 > 10 \cdot D_1$ i $l_2 > 5 \cdot D_1$. Zadnji deo navedene cevi nalazi se u pepeljari eksperimentalnog kotlovskog postrojenja. Na tom delu cevi sa gornje strane izbušen je 81 otvor poprečnog preseka od 6 mm do 12 mm.

Protok vode kroz kotao izmeren je ultrazvučnim meračem protoka, proizvođača “Yokogawa”, tip US300PM.

Eksperimentalni deo rada urađen je za dva režima rada kotlovskog postrojenja, tj. pri manjoj i većoj količini ubacivanog vazduha. Tako se biomasa sagorevala sa početnim koeficijentima viška vazduha od 1,1 i 1,6.

Svi rezultati su upisivani u prethodno pripremljene tabele na osnovu kojih se mogao imati tačan uvid u vrednosti postignutih snaga kotlovskeg postrojenja za svaki režim rada, tj. sagorevanja ponasob.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Kao što je navedeno, u eksperimentalnom radu su sagorevana biogoriva i to: bale pšenične slame, snopovi stabljike kukuruza (sa lišćem), pelet oklaska kukuruza, orezina iz vinograda u snopovima i grane iz voćnjaka prečnika do 60 mm. Kod svih eksperimenata su prikupljeni i analizirani rezultati u pogledu realizovanih toplotnih snaga. Zbog obima ovog rada neće se prikazivati podaci za sva merenja, već će se kao primer za način prikupljanja i izračunavanja podataka prikazati samo rezultati pri sagorevanju vinove loze u prvom režimu rada kotlovskeg postrojenja (tab 2.).

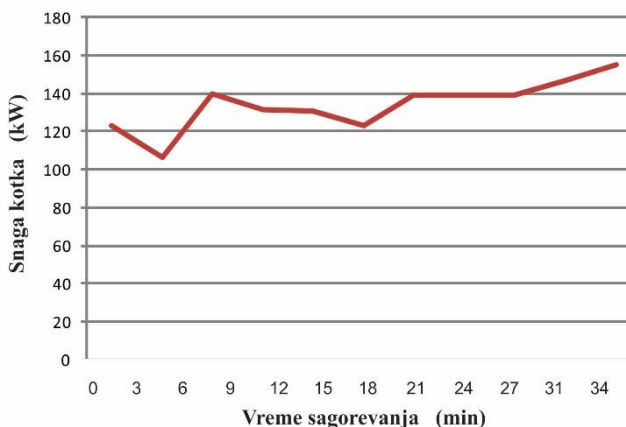
Na osnovu prikupljenih podataka izračunavana je produkovana snaga kotla na osnovu jednačine (2). Na osnovu tih rezultata su izrađeni dijagrami na kojim se može uočiti promena snage kotla u vremenu sagorevanja pojedinih vrsta biomase, za obe količine ubacivanog vazduha za sagorevanje u ložište. Na sl. 2 za podatke iz tab. 1, dijagramski je prikazana promena produkovane toplotne snage kotla u vremenu sagorevanja.

Tabela 2: Rezultati ispitivanja, snopovi vinove loze – prvi režim

Table 2: Test results, sheafs of grape vine - first regime

Red. br. očitavanja podataka	Masa šarže	Vreme	Rel. vlažnost vazduha	Spoljna temp. vazduha	Visina H ₂ O stuba u "U" cevi	Temp. vode na ulazu u kotao	Temp. vode na izlazu iz kotla	Razlika Tku i Tki	Zapreminski protok vode	SNAGA KOTLA
-	<i>m</i>	τ	φ	t_{spolj}	h_{H_2O}	T_{ku}	T_{ki}	Δt	\dot{V}	Q
-	kg	h	%	°C	cm	°C	°C	K	m ³ /s	kW
1	3	4	5	6	7	8	9	10	13	14
1.	10	18:11	66	22,5	86,0	61	76	15	0,002	122,9
2.	10	18:14	66	22,5	86,0	61	74	13	0,002	106,5
3.	10	18:17	67	23	86,0	53	70	17	0,002	139,6
4.	10	18:20	67	23	86,0	58	74	16	0,002	131,2
5.	10	18:23	68	23	86,0	60	76	16	0,002	131,1
6.	11,5	18:26	68	23	86,0	62	77	15	0,002	122,8
7.	11	18:29	69	23	86,0	62	79	17	0,002	139,2
8.	10	18:32	70	22,5	86,0	64	81	17	0,002	139,1
9.	10	18:35	70	22,5	86,0	65	82	17	0,002	139,0
10.	11	18:38	71	22	86,0	66	84	18	0,002	147,1
11.		18:41	72	22	86,0	67	86	19	0,002	155,1

Iz prikazanih podataka može se uočiti da je minimalna produkovana snaga kotla pri sagorevanju vinove loze u I režimu rada iznosila 122,9 kW, a maksimalna 155,1 kW, što je zavisilo od fizičko-hemijskih osobina ubačene vinove loze i načina opsluživanja kotla.



Sl. 2. Promena snage kotla sagorevanjem vinove loze u prvom režimu

Fig. 2: Variations of boiler power during combustion of grape vine with the first regime

Ispitivano kotlovsko postrojenje se najbolje pokazalo u radu sa baliranom pšeničnom slamom. Sagorevanjem pšenične slame u drugom režimu rada postignuta je najveća snaga od 187,8 kW, ali se mora konstatovati da se zbog tehničkih karakteristika ventilatora kojim se ubacivao vazduh za sagorevanje u ložište nije mogao ostvariti željeni – vršni režim sagorevanja, tako da bi produkovana termička snaga navedenog kotla bila veća. Sagorevanjem vinove loze postignuta je maksimalna snaga od 171,8 kW, stabla kukuruza 163,7 kW, peleta od oklaska 186,7 kW i isečenih grana iz voćnjaka 179,8 kW.

Ako se dobijene vrednosti snage kotlovskog postrojenja uzmu u razmatranje i pri tom se međusobno uporede u odnosu na najveću proizvedenu snagu, koja je dobijena loženjem bala pšenične slame, može se doći do sledećih konstatacija:

- loženjem snopova stabla kukuruza dobija se manja snaga za 12,8%,
- loženjem peleta oklaska od kukuruza dobija se manja snaga za 0,6%,
- loženjem snopova vinove loze dobija se manja snaga za 8,5% i
- loženjem isečenih grana iz voćnjaka dobija se manja snaga za 4,3%.

Analizom dobijenih vrednosti snage kotlovskog postrojenja može se konstatovati da se sagorevanjem različitih vrsta biomase postizu različite toplotne snage postrojenja, pri tome se mora konstatovati i da količina goriva koja se trošila u jedinici vremena nije bila ista. Tako se za jedan sat utroši: oko 65 – 70 kg ili 7 bala pšenične slame, oko 240 kg vinove loze, oko 150 kg stabla kukuruza, oko 80 kg peleta oklaska kukuruza i oko 75 kg orezanih grana iz voćnjaka.

Na osnovu realizovanih ispitivanja može se konstatovati sledeće:

Kod sagorevanja određenih vrsta biomase, kao što su snopovi vinove loze i stabla kukuruza potrebno je obezbediti ložište sa većim otvorom za ubacivanje goriva. Sam proces ručnog loženja je vrlo mukotrpan iz razloga što doziranje goriva u ložište treba vršiti vrlo često

(svakih 2,5 – 4 minuta). Pri tome se kod svakog otvaranja ložišta da bi se izvršilo loženje biogoriva, gube znatne količine toplote i samim tim se produkovana toplotna snaga smanjuje.

Za sagorevanje peleta oklaska od kukuruza i isečenih grana iz voćnjaka nije potrebno ložište dimenzija kao što je za bale slame, tj. njegova zapremina može biti značajno manja.

Pri sagorevanju peleta od oklaska kukuruza i vinove loze rešetka bi trebala biti sa manjim dimenzijama svetlih otvora, jer dolazi do propadanja sitnijeg biogoriva i nepotpunog sagorevanja biogoriva, a samim tim i do velikih gubitaka toplone energije.

Sagorevanjem isečenih grana iz voćnjaka ustanovljeno je da je potrebna rešetka manje ukupne površine sa ravnomernije raspoređenim svetlim otvorima, jer dozirani vazduh pronalazi velike otvore na kojima nema goriva i većim delom prolazi kroz njih tako da se sagorevanje vrši samo na pojedinim delovima rašetke.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata rada dobijenih eksperimentalnim ispitivanjima, obradom i analizom dobijenih vrednosti mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Biomasa koja je korišćena u okviru ovih ispitivanja, kao održivi izvor toplotne energije predstavlja značajan energetski potencijal, koji je svake godine obnovljiv.
- Ispitivano kotlovsko postrojenje je najveću toplotnu snagu proizvelo pri sagorevanju balirane pšenične slame. Postignuta snaga je iznosila 187,8 kW.
- Kod sagorevanja ostalih vrsta ispitivanih biogoriva, postignuta maksimalna toplotna snaga je iznosila kod snopova vinove loze 171,8 kW, snopova stabla kukuruza 163,7 kW, peleta od oklaska kukuruza 186,7 kW i isečenih grana iz voćnjaka 179,8 kW.
- Da bi se i druge vrste biomase mogle sa uspehom sagorevati u kotlovskim postrojenjima namenjenim za sagorevanje balirane biomase, na njemu se moraju izvršiti određene modifikacije, što se prvenstveno odnosi na rešetku i vrata ložišta.

5. LITERATURA

- [1] Bogner M. 1992. Termotehničar 1, Poslovna politika; Beograd, s. 798,
- [2] Brkić M, Janić T, Somer D. 2006. Procesna tehnika i energetika, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, s. 323,
- [3] Brkić M, Janić T, Igić S. 2012. Assessment of species and quantity of biomass in serbia and guidelines of usage, Thermal Science, vol. 16(1), p. 79-86,
- [4] Janić T, Brkić M, Igić S, Dedović N. 2010. Biomasa – energetski resurs za budućnost, Savremena poljoprivredna tehnika, vil. 36(2), s. 167-177,
- [5] Janić T, Igić S, Dedović N, Janić V. 2016. Toplotna snaga manjih kotlova sa ručnim opsluživanjem, Savremena poljoprivredna tehnika., vol. 42(4), s. 225-236,
- [6] Kozić Đ, Vasiljević B, Bekavac V. 1987. Priručnik za termodinamiku, Mašinski fakultet, Beograd, s. 177,
- [7] Repić B, Dakić D, Paprika M, Mladenović R, Erić A. 2008. Soya straw bales combustion in high-efficient boiler, Thermal Science, vol. 12(4), s. 51-60,
- [8] Statistički godišnjak 2017. Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd, s. 442,
- [9] Terzić Ž. 2008. Uticaj vrste biomase na rad kotlovskog postrojenja, Master rad, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, s. 95,

[10] Turanjanin V, Đurović D, Dakić D, Erić A, Repić B. 2010. Development of the boiler for combustion of agricultural biomass by products, Thermal Science, vol. 14(3), p. 707-714.

INFLUENCE OF SPECIES AND FORMS OF BIOMASS ON BOILERS HEAT POWER

Janić Todor¹, Janić Vasilije², Igić Saša³, Višacki Vladimir¹

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Poljorivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8

² Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

³ Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad, Cvečarska 2

E-mail: jtodor@polj.uns.ac.rs

SUMMARY

The paper presents the monitoring and analysis of the influence of the type of combustion of biomass on the thermal power of the boiler plant in the combustion of several types and forms of biomass. The main task in the research was to examine the impact of the suitability for the use of various types of biomass (by origin, shape and size) in the boiler plant, which was designed and constructed for the combustion of biomass (small conventional bale) with manual fuel injection.

The following biofuels were used as material: wheat straw bales, maize stems (with leaves), pelleted maize cobs, vineyard bundles in bundles and branches from orchards with a diameter of up to 60 mm.

The obtained results can be used to improve the operation of the boiler plant with manual burning (methods and dynamics of combustion and combustion), introduction of automation in the operation of such plants and improvement of their design solutions.

Key words: biomass, combustion, hot water boiler, thermal power

NAPOMENA: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu III 42011 „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetske efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

Priljeno: 03. 05. 2018. god.

Prihvaćeno: 17. 05. 2018. god.