

Bibliid: 0350-2953 (2016) 42(4): 237-244

UDK: 62-97; 62-4;631.1

Originalni naučni rad

Original scientific paper

**ODREĐIVANJE TEHNIČKIH KARAKTERISTIKA
PŠENIČNE I SOJINE SLAME
DETERMINATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS
OF WHEAT AND SOY STRAW**

Igić S.¹, Janić T.², Janić V.³

¹ Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad, Cvečarska 2

² Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8

³ Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

e-mail: sasa.igic@gmail.com

REZIME

U radu su prikazani rezultati istraživanja toplotne moći slame žita i soje. Istraživanje je rađeno u laboratoriji Termoelektrane-Toplane Novi Sad. Gornja toplotna moć merena je metodom kalorimetrijske bombe na adijabatskom kalorimetru („bombi“) proizvođača IKA, tip C400. Donja toplotna moć suve mase goriva i donja toplotna moć radnog goriva izračunati su preko odgovarajućih obrazaca. Prikazana je metodologija utvrđivanja vlage biogoriva. U radu su prikazani rezultati istraživanja količine pepela nakon sagorevanja pšenične i sojine slame. Količine pepela određivane su u laboratoriji Termoelektrane-Toplane Novi Sad, kao i u realnim uslovima na toplovodnom kotlu.

Na osnovu dobijenih rezultata i uporednih pregleda drugih sličnih istraživanja dat je komentar dobijenih rezultata.

Ključne reči: pšenična slama, sojina slama, toplotna moć biogoriva, vlaga, pepeo, sagorevanje

1. UVOD

U završnim procesima poljoprivredne proizvodnje, pored primarnih poljoprivrednih proizvoda, javljaju se i velike količine biljnih ostataka. Ovi biljni ostaci, odnosno biomasa mogu se iskoristiti kao biogorivo za šta postoje mnogobrojni razlozi od kojih su među najvažnijim: dobijanje jeftinije energije, povećan stepen zaštite životne sredine, smanjenje zavisnosti od uvoznih energenata, povećanje zaposlenosti i dr. U strukturi kultura koje čine potencijalne količine biomase u Srbiji pšenica i soja čine oko 26%.

Osobine pšenične i sojine slame kao biogoriva vrlo su bitne za konstruktore ložišta, odnosno postrojenja za sagorevanje. Najvažnija osobina goriva je njegoa toplotna moć (donja toplotna moć). Toplotna moć biogoriva je značajna i za korisnika postrojenja, jer se na osnovu toplotne moći biogoriva, stepena iskorišćenja postrojenja i zahteva za količinom energije može izračunati potrebna količina biogoriva (pšenične i sojine slame) i obezbedi neophodan prostor za skladištenje.

U radu je prikazana metodologija određivanja toplotne moći, sadržaja vlage i pepela pšenične i sojine slame.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Istraživanja u ovom radu su obavljena sa uzorcima balirane pšenične i sojine slame uzetih sa parcela poljoprivrednog kombinata Mitrosrem iz Sremske Mitrovice. Pšenična slama je uzeta sa parcele na lokaciji sala Kuzmina, dok je sojina slama prikupljena sa parcele na lokaciji sela Martinci. Bale su stajale u skladištu 6 meseci i bile su zaštićene od atmosferskih uticaja.

Toplotna moć pšenične i sojine slame predstavlja količinu toplote koja se oslobađa pri njihovom potpunom sagorevanju. Eksperimenti za određivanje toplotne moći pšenične i sojine slame rađeni su u laboratoriji Termoelektrane-Toplane Novi Sad, na adijabatskom kalorimetru („bombi“) proizvođača IKA, tip C400 (sl. 1 i sl. 2).



Sl. 1 Kalorimetar IKA, C400
Fig. 1 Calorimeter IKA, C400



Sl. 2 Kalorimetrijska bomba
Fig. 2 Caloric bomb

U kalorimetrijskoj bombi sagorevani su uzorci slame u atmosferi kiseonika na pritisku od 30 bara. Uzorci pšenične i sojine slame su pripremljeni u laboratorijskoj presi u pelete (sl. 3) čije su se dimenzije kretale: prečnik 1,0 -1,2 cm, visina 1,2 -1,4 cm i masa od 0,7 do 0,9 g.



Sl. 3. Briketi sojine (levo) i pšenične (desno) slame
Fig. 3. Soybean-straw briquettes (left) and wheat-straw briquettes (right)

Sagorevanje je započinjalo pomoću električnog impulsa dovedenog kroz žicu za paljenje. Toplota razvijena sagorevanjem je podizala temperaturu kalorimetarskog sistema. Deset minuta posle paljenja razmenjena toplota između bombe i okoline unutrašnjeg suda se završavala. Porast temperature vode u bombi se merio i koristio za izračunavanje toplote sagorevanja.

Toplotni kapacitet adijabatskog sistema se izračunavao iz sagorevanja referentne supstance pod istim eksperimentalnim uslovima. Vrednost toplote sagorevanja referentne supstance morala je da bude poznata kao tačna vrednost.

Toplota koja se razvijala prilikom sagorevanja zagrevala je vodu koja se mešala u unutrašnjem sudu. Temperatura unutrašnjeg suda koristila se kao tačka podešenosti (reper) elektronskog regulatora visoke osetljivosti. Spoljašnji sud, čiji je poklopac uključen u vodeno kolo, se održavao na istoj temperaturi kao i unutrašnji sud njegovim grejanjem ili hlađenjem, tako da se toplota nije ni oduzimala ni dodavala unutrašnjem sudu.

Tokom sagorevanja supstance u kalorimetru dobijala se gornja toplotna moć GTM, pri čemu su se produkti sagorevanja hladili na temperaturu okoline, a vodena para iz produkata sagorevanja se kondenzovala i predavala kao latentna toplota isparavanja.

$$GTM = (c \cdot \Delta t - Q_z) / m_u \quad [\text{kJ/kg}] \quad (1)$$

gde je:

C – termički (toplotni) kapacitet kalorimetarskog sistema koji iznosi 9675,36 [kJ/°C],

Δt – korigovani porast temperature kalorimetarskog sistema [°C],

Q_z – zbir svih irelevantnih količina toplote koje ne potiču od sagorevanja supstance (nesagorele žice [63 J/cm]) i

m_u – masa uzorka [g].

Donja toplotna moć DTM se razlikuje od gornje u tome što se voda prisutna u produktima sagorevanja, a koja potiče od vlage ili je produkt sagorevanja vodoničnih jedinjenja, nalazi u gasovitom stanju. Poznavajući gornju toplotnu moć i količinu vode u produktima sagorevanja izračunavala se donja toplotna moć prema formuli:

$$DTMs = GTM - 24,4 \cdot W \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2)$$

gde je:

W – voda iz produkata sagorevanja nastala sagorevanjem vodoničnih jedinjenja u gorivu (formula važi za sagorevanje suve mase goriva – potpuno osušenog goriva), a računa se $W = 9H$, gde je H procentualni sadržaj vodonika u odnosu na suhu masu goriva i

$DTMs$ – donja toplotna moć suve mase goriva.

U laboratoriji Termoelektrane-Toplane Novi Sad rađene su i analize sadržaja vlage pšenične i sojine slame. Određivanje sadržaja vlage u uzorcima pšenične i sojine slame vršeno je na sledeći način: Uzorci su mereni na analitičkoj vagi proizvođača „Metler“, tip HK 60. Preciznost vage je 0,01 mg, dok je opseg merenja 0-30 g. Sušenje uzoraka je vršeno u laboratorijskoj sušnici tip St-11, proizvođač "Instrumentarija" Zagreb u trajanju od 2 sata na temperaturi od +105°C. Regulacija temperature sušnice je od +50°C do +200°C, dok je odstupanje temperature $\pm 3-5^\circ\text{C}$. Nakon nekoliko probnih merenja i hlađenja u eksikatoru uzorci su mereni na analitičkoj vagi. Iz razlike u masi izračunat je procenat vlage.

U istoj laboratoriji rađene su i analize količine pepela pšenične i sojine slame u laboratorijskim uslovima i njihovo poređenje sa količinom pepela prilikom sagorevanja u

realnim uslovima, na toplovodnom kotlu firme „Eko produkt“ iz Novog Sada, instaliranom na poljoprivrednom kombinatu „Mitrosrem“ iz Sremske Mitrovice.

Određivanje količine pepela nakon sagorevanja pšenične i sojine slame u laboratorijskim uslovima rađeno je u peći za žarenje proizvođača „Instrumentarija“ Zagreb tip LP-08 (sl.4). Uzorci su prethodno bili osušeni u laboratorijskoj sušnici. Žarenje je vršeno na temperaturi od +600°C u trajanju od 1 čas. Nakon hladjenja u eksikatoru i ponovnog merenja iz razlike u masi izračunat je procenat pepela.



Sl. 4 Peć za žarenje
Fig. 4 Burnout furnace

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Dobijeni rezulteti toplotnih moći su prikazane tabelarno (tab 1 i tab. 2).

U tabeli 1 prikazane su gornja i donja toplotna moć 3 reprezentativna uzorka pšenične slame. Sadržaj vlage u uzorku bio je 8.2%. Srednja toplotna moć dobijena je nalaženjem aritmetičke sredine prikazanih uzoraka.

Tab. 1. Gornja i donja toplotna moć pšenične slame

Tab. 1. Upper and lower calorific value of wheat straw

Red.br. uzorka Number of the sample	Masa pelete Mass of pellets [g]	Zapreminska masa Volume mass [kg/m ³]	Porast temperature Increase of temperature [°C]	Nesagorela žica Unburnt wire [kJ]	GTM [MJ/kg]	DTMS [MJ/kg]	DTM [MJ/kg]
1	0,793	642	1,33	189	16,080	14,762	13,352
2	0,838	679	1,45	315	16,403	15,085	13,648
3	0,803	650	1,36	189	16,173	14,855	13,437
Srednja vrednost Middle value	0,811	657	1,38	231	16,219	14,901	13,479

U tabeli 2 prikazane su gornja i donja toplotna moć 3 reprezentativna uzorka sojine slame. Sadržaj vlage u uzorku bio je 9,5%. Srednja toplotna moć dobijena je nalaženjem aritmetičke sredine prikazanih uzoraka.

Tab. 2. Gornja i donja toplotna moć sojine slame**Tab. 2.** Upper and lower calorific value of soybean straw

Red.br. uzorka Number of the sample	Masa pelete Mass of pellets	Zapreminska masa Volume mass	Porast temperature Increase of temperature	Nesagorela žica Unburnt wire	GTM	DTMS	DTM
	[g]	[kg/m ³]	[°C]	[kJ]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,929	752	1,67	441	16,873	15,753	14,025
2	0,815	660	1,45	158	17,030	15,910	14,167
3	0,760	615	1,34	252	16,729	15,609	13,894
Srednja vrednost Middle value	0,835	676	1,49	284	16,877	15,757	14,029

Prosečni sadržaj vlage uzoraka pšenične slame iznosio je 8,2%, dok je prosečni sadržaj vlage uzoraka sojine slame iznosio 9,5%.

Poređenjem uzoraka pepela sojine i pšenične slame dolazi se do zaključka da je pepeo sojine slame svetlije boje.

Kao što je navedeno (tab. 1 i tab.2) u laboratorijskim uslovima određena je srednja vrednost donje toplotne moći pšenične slame DTM od 13,479 MJ/kg, pri sadržaju vlage od 8,2%. Donja toplotna moć pšenične slame svedena na suhu masu DTMS iznosila je 14,901 MJ/kg. U tab. 3, prikazan je uporedni pregled literaturnih vrednosti donje toplotne moći suve mase i radnog goriva pšenične slame.

Tab. 3. Uporedni pregled donje toplotne moći suve mase i radnog goriva pšenične slame**Tab. 3.** Comparative review of lower calorific values for dry matter in wheat straw and working fuel

Red. broj Serial num.	Referenca Reference	Donja toplotna moć suve mase Lower heating value of dry weight	Toplotna moć radnog goriva Thermal power of the working fuel	
			Procenat vlage Percentage of moisture	Donja toplotna moć Lower heating value
		[MJ/kg]	[%]	[MJ/kg]
1	Mitić, 1998, [10]	16,54	14,0	13,880
2	Radovanović, 1994, [13]	16,90	-	-
3	Mitić, Manoilov, 1997, [9]	16,65	-	-
4	Babić, 1990, [3]	-	14,3	13,791
5	Brkić, Janić, 1998, [5]	-	14,0	14,000
6	Martinov, Gemeš, 1980, [8]	15,826	15,0	13,086
7	Preveden, 1980, [12]	15,7-18	14,0	13,238
8	Babić, 1986, [4]	-	14,0	13,848
9	Viglasky, 1999, [15]	17,84-18,60	14,0	14,6-15,8
10	Tešić, 1981, [14]	16,21	-	-

Takođe, u laboratorijskim uslovima određena je srednja vrednost donje toplotne moći sojine slame DTM od 14,029 MJ/kg, pri sadržaju vlage od 9,5%. Donja toplotna

moć pšenične slame svedena na suhu masu DTM_s iznosila je 15,757 MJ/kg.

U tab. 4 prikazan je uporedni pregled literaturnih vrednosti donje toplotne moći suve mase i radnog goriva sojine slame.

Tab. 4. Uporedni pregled donje toplotne moći suve mase i radnog goriva sojine slame

Tab. 4. Comparative review of calorific dry weight and working fuel soybean straw

Red. broj Serial num.	Referenca Reference	Donja toplotna moć suve mase Lower heating value of dry weight	Toplotna moć radnog goriva Thermal power of the working fuel	
			Procenat vlage Percentage of moisture	Donja toplotna moć Lower heating value
		[MJ/kg]	[%]	[MJ/kg]
1	Babić, 1990, [2]	17,340	14,81	14,41
2	Brkić, Janić, 1998, [5]	-	14,00	15,70
3	Mladenović, 2006, [15]	-	18,80	13,686

U laboratorijskim uslovima određena je i srednja vrednost količine pepela pšenične slame od 6,52% i sojine slame od 4,1%. Prilikom sagorevanja u realnim uslovima na toplovodnom kotlu firme „Eko produkt“ dobijeno je prilikom sagorevanja bala pšenične slame 5,88% pepela i prilikom sagorevanja sojine slame 4,58% pepela. U tab. 5 prikazan je uporedni pregled literaturnih vrednosti količine pepela pšenične i sojine slame.

Tab. 5. Uporedni pregled količine pepela pšenične i sojine slame

Tab. 5. Comparative overview of the amount of ash in wheat and soybean straw

Red. broj Serial num.	Referenca Reference	Količina pepela pšenične slame [%] Amount of ash wheat straw [%]	Količina pepela sojine slame [%] Amount of ash soybean straw [%]
1	Mitić, 1998, [10]	4,80	-
2	Radovanović, 1994, [13]	5,45	-
3	Mitić, Manoilov, 1997, [9]	5,54	-
4	Babić, 1990, [3]	5,60	-
5	Preveden, 1980, [12]	8	-
6	Babić, 1986, [4]	5	-
7	Babić, 1990, [2]	-	3,24
8	Mladenović, 2006, [15]	-	5,66

4. ZAKLJUČCI

Iz navedenog se može zaključiti da postoje mala odstupanja u vrednosti toplotne moći pšenične i sojine slame kako u literaturnim izvorima tako i dobijene vrednosti u ovom istraživanju. Na vrednost toplotne moći utiče niz faktora (metodologija ispitivanja, tačnost korišćenih instrumenata, sorta, sadržaj vlage, lokacija i sl.), pa je stoga neminovna disperzija dobijenih vrednosti toplotne moći. U ovom istraživanju disperzija dobijenih rezultata je vrlo mala i može se smatrati da je dobijena toplotna moć za posmatrane uzorke određena sa vrlo velikom tačnošću.

Navedeno istraživanje vrednosti toplotne moći potvrđuje činjenicu da su pšenična i sojina slama u pogledu dobijanja toplotne energije, veoma dobra biogoriva i da predstavljaju odličan potencijal da se koriste kao energenti.

Dobijeni rezultati količine pepela pšenične i sojine slame su u saglasnosti sa literaturnim podacima. Takođe, uočljivo je da je pepeo sojine slame svetlije boje, što znači da je bilo bolje sagorevanje u odnosu na pšeničnu slamu.

5. LITERATURA

- [1] Babić M, Babić Ljiljana, Somer D, Bujak V. 1985. Rezultati ispitivanja termoeenergetskog kompleksa na bazi oklaska kukuruza uz semenski centar „Seme –Tamiš“ Pančevo. Zbornik radova: Savetovanje tehnologa sušenja i skladištenja. Fakultet poljoprivrednih znanosti sveučilišta u Zagrebu. Stubičke Toplice, 203-211,
- [2] Babić M. 1990. Ispitivanje kotla BST-360 lociranog u Stanišiću. Izveštaj. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 8-19,
- [3] Babić M. 1990. Protokol o ispitivanju kotla UTK-40. Proizvođač „Bratstvo“ Subotica, lociranog u Subotici. Izveštaj, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 1-4,
- [4] Babić M. 1986. Toplovodni kotao BST-400. Elaborat, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 5-9,
- [5] Brkić M, Janić T. 1998. Mogućnosti korišćenja biomase u poljoprivredi. Zbornik radova: Briketiranje i peletiranje biomase iz poljoprivrede i šumarstva, Izvršno veće Autonome Pokrajine Vojvodine, Sombor, 5-9,
- [6] Brkić M. 2004. Termotehnika u poljoprivredi. Udžbenik, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 131,
- [7] Janić T, Brkić M, Igić S. 2006. Dobijanje toplotne energije sagorevanjem balirane biomase. Revija Agronomska saznanja, Jugoslovensko naučno društvo za poljoprivrednu tehniku, Novi Sad, 16(3), 45-47,
- [8] Martinov M, Gemeš R. 1980. Toplotna moć slame žita uzgajanih na području SAP Vojvodine. Savremena poljoprivredna tehnika, 6(3-4), 95-101,
- [9] Mitić D, Manoilov A. 1997. Interni izveštaj laboratorije za sagorevanje i terotehniku FZNR Niš (Tehničke analize biomasa Srbije), br 16/17.3.97,
- [10] Mitić D. 1998. Fizičke karakteristike biomasa i biobriketa Srbije. Monografija, Jugoslovensko društvo za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi. Poljoprivredni fakultet u Novom sadu i Jugoslovenski savez inženjera i tehničara zaštite Nišu, Novi Sad – Niš, 69-94,
- [11] Mladenović R, Erić A, Mladenović Milica, Paprika Milijana, Repić B, Dakić D. 2006. Energetsko postrojenje snage 2 MW sa sagorevanjem velikih bala sojine slame. Časopis PTEP, Društvo za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, Novi Sad, 10(1-2), 38-41,
- [12] Preveden Z. 1980. Alternativno gorivo i poljoprivredni otpaci. Jugoslovenski simpozijum o aktuelnim problemima mehanizacije poljoprivrede. Jugoslovensko društvo poljoprivredne tehnike, Šibenik, 579-591,
- [13] Radovanović M. 1994. Goriva. Mašinski fakultet, Beograd, 298,
- [14] Tešić M. 1981. Istraživanje potencijala, svojstava, situacije i mogućnosti korišćenja nuzproizvoda poljoprivrede kao izvora energije. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 138,
- [15] Víglašky J. 1999. Slama kao potencijalni izvor energije. Časopis PTEP, Jugoslovensko društvo za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, Novi Sad, 3(3-4), 86-90.

DETERMINATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF WHEAT AND SOY STRAW

Igić S.¹, Janić T.², Janić V.³

¹ Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment, Novi Sad, Cvećarska 2

² Univerzitet u Novom Sadu, Poljorivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8

³ Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

e-mail: sasa.igic@gmail.com

SUMMARY

In this paper the results of research on wheat and soybean straw calorific value are presented. Research was conducted at the laboratory of Thermal heating plant in Novi Sad. Upper calorific value was measured with calorific bomb method on adiabatic calorimeter ("bomb") - product of IKA company, type C400. Lower calorific value of dry fuel mass and lower calorific value of working fuel were determined analytically. Also presented are methodology for defining biofuel humidity and quantity of ashes after combustion of wheat and soybean. Quantity of ashes after combustion was defined at the laboratory of Thermal heating plant in Novi Sad, under real conditions, using hot water boiler.

Conclusion is presented based on the obtained results and in comparison with other related research.

Key words: wheat straw, soybean straw, calorific value of biofuel, humidity, ashes, combustion

NAPOMENA: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu III 46006 „Održiva poljoprivreda i ruralni razvoj u funkciji ostvarivanja strateških ciljeva Republike Srbije u okviru dunavskog regiona, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije

Priljeno: 17. 11. 2016. god.

Prihvaćeno: 08. 12. 2016. god.