

Stručni rad
Professional paper
UDC:662.636:620.9
DOI: 10.5825/afts.2011.0305.079V

ANALIZA DIMNIH GASOVA IZ PROCESA SAGOREVANJA SLAME

Vidaković Mira¹

¹*Tehnički institut, Bijeljina, E.mail: ekologija@tehnicki-institut.com*

REZIME

Nekontrolisano zagađenje planete i ograničenost upotrebe fosilnih goriva primorava čovečanstvo na upotrebu alternativnih izvora energije, kao i razvoj novih tehnologija kojima bi se smanjila emisija polutanata i sprečilo dalje zagađenje životne sredine. Biomasa danas predstavlja najviše korišćen izvor od svih obnovljivih izvora energije. Pri sagorevanju biomase dolazi do emisije polutanata ali ne u tolikoj meri kao pri sagorevanju fosilnih goriva. Sagorevanjem biomase kao goriva, ne produkuju se polutanti kao što su jedinjenja sumpora, koja učestvuju u procesu nastanka kiselih kiša.

Predmet analize ovog rada su rezultati merenja sastava dimnih gasova iz peći koje kao gorivo koriste bale slame. Ispitano je devet kotlova za toplu vodu snage od 40-750 kW koji se proizvode u Srbiji. Rezultati merenja su pokazali da je povećan nivo emisije ugljen-monoksida zbog lošije efikasnosti kotlova i niskih temperatura sagorevanja.

Ključne riječi: *slama kao gorivo, sagorevanje slame, polutanti, uticaj na životnu sredinu*

ANALYSIS OF FLUE GASES FROM THE STRAW COMBUSTION PROCESS

ABSTRACT

Uncontrolled pollution of the planet and the limited use of fossil fuels, humanity is forced to use alternative energy sources and develop new technologies that reduce emissions of pollutants and prevent further environmental pollution. Biomass is still the most widely used source of all renewable energy sources. Biomass combustion are produced pollutants but not so much as the combustion of fossil fuels. Combustion of biomass as a fuel, does not produce the pollutants such as sulfur compounds, which participate in the creation of acid rain.

The subject of this paper analyzes the results of measuring the composition of flue gases from the furnace as fuel use bales of straw. We examined nine boilers for hot water output of 40-750 kW that are produced as Serbia. The results of measurement showed that the increased levels of carbonmonoxide due to lower boilers efficiency and low temperature combustion.

Keywords: *straw as fuel, straw combustion, pollutants, impact on the environment*

UVOD

Od svih vrsta goriva koja se danas koriste, jedino biogorivo zadovoljava kriterijum zatvorenog sistema (bar u pogledu stvaranja ugljen–dioksida i čvrstih materija kao produkata sagorevanja). Ulaz u proces sagorevanja predstavlja biomasa kao gorivo i vazduh. Izlaz iz njega čine: dobijena energija, pepeo i gasoviti produkti sagorevanja, sa ugljen–dioksidom kao glavnim predstavnikom. Živi biljni svet procesom fotosinteze vezuje taj ugljen–dioksid i uz pomoć sunčeve energije izgrađuje svoju masu. Čvrsti materijalni ostatak–pepeo, takođe, kao đubrivo učestvuje u izgradnji nove biljne mase. Na taj način se vrši reciklaža ugljen–dioksida i čvrstih produkata u prirodi tako da se pritom ne remeti postojeća ravnoteža, a za sistem se kaže da je zatvoren.

FIZIČKO-HEMIJSKE OSOBINE SLAME

Za slamu se može konstatovati da je lignocelulozni materijal, donekle promenljivog elementarnog sastava, što je uslovljeno čitavim nizom faktora. U tabeli 1, dat je sastav pšenične slame.

Tabela 1. Sastav pšenične slame
Table 1 Composition of wheat straw

Minerali	6 %
Organske komponente	8%
Hemiceluloza	25%
Lignin	18%
Celuloza	36%
Nerastvorivi pepeo	7%

Pšenična slama se sastoji od istih elemenata kao i druga prirodna čvrsta goriva (jednogodišnja i višegodišnja biomasa i fosilna goriva). Tu se podrazumevaju maseni udeli: ugljenika (C), vodonika (H), kiseonika (O), azota (N), sumpora (S), mineralnih materija (A) i vlage (W), što se može predstaviti jednačinom:

$$C + H + O + N + S + A + W = 1 \quad (1)$$

U tabeli 2, navedeni su maseni udeli ovih elemenata u slami, ali oni variraju zavisno od sorte, lokacije nastajanja, tj. klime i primene agrotehničkih sredstava kojima je biomasa izložena tokom svoje vegetacije.

Elementarni sastav pšenične slame u mnogome određuje način i karakteristike procesa njenog sagorevanja. Od važnijih karakteristika koje se moraju napomenuti u vezi elementarnog sastava pšenične slame su pre svega:

- manji sadržaj ugljenika i vodonika u odnosu na fosilna goriva;
- veliki sadržaj kiseonika čime se smanjuje toplotna moć slame;
- mali udeo azota i sumpora (kojeg ima samo u tragovima), što biogorivo od pšenične slame u velikoj meri čini ekološkim;
- relativno mali udeo mineralnih materija, koje i pored toga posebno usložnjavaju proces sagorevanja pšenične slame (zbog niske temperature topljenja);
- promenljivi udeo vlage, što se u ložištu može manifestovati kao da sagorevaju dva potpuno različita goriva.

Najvažniji argument za korišćenje slame kao goriva je to što je slama CO₂ neutralan izvor energije, odnosno, ne utiče na povećanje količine CO₂ u atmosferi i samim tim, nema uticaj na pojavu efekta staklene bašte.

Tabela 2. Sastav i energetska vrednost slame, uglja i prirodnog gasa
Table 2 Composition and energy value of straw, coal and natural gas

	Maseni udeli	Slama	Ugalj	Prirodni gas
Sadržaj vlage	%	10 - 20	12	0
Isparljiva jedinjenja	%	>70	25	100
Pepeo	%	4	12	0
Ugljenik	%	42	59	75
Vodonik	%	5	3,5	24
Kiseonik	%	37	7,3	0,9
Azot	%	0,35	1	0,9
Sumpor	%	0,1	0,8	0
Donja toplotna moć	MJ/kg	18,2	32	48

Slama koja se koristi kao gorivo uobičajeno sadrži 14 – 20 % vlage koja isparava tokom sagorevanja. Preostali suvi deo sadrži oko 50 % ugljenika, 6 % vodonika, 42 % kiseonika i malu količinu azota, sumpora, silicijuma, natrijuma i kalijuma.

Udeo gorive materije, pepela i vlage prikazuje se u procentualnom odnosu:

Goriva materija = 100% - (H₂O + pepeo)%

Vrednost goriva određena je odnosom: goriva materija/(vlaga + pepeo)

U hemijskom sastavu goriva ugljenik je jedan od osnovnih elemenata. Prilikom sagorevanja ugljenik se veže sa kiseonikom i odaje znatne količine toplotne energije.

Sagorevanje ugljenika (C) može biti:

potpuno: C sagoreva u CO₂

nepotpuno: C sagoreva u CO (gubitak neiskorišćene energije + toksičnost).

Kod sagorevanja, složene veze se raspadaju i oslobađaju ugljenik. Ukoliko se sagorevanje odvija uz dovoljnu količinu kiseonika, ugljenik sagoreva u CO₂. U slučaju manjka kiseonika ili hlađenja nastalih gasova, ugljenik odlazi nesagoren sa ostalim gasovima, kao što su dim i čađ.

TOPLOTNA MOĆ SLAME

Jedan od osnovnih pokazatelja upotrebljivosti neke materije kao goriva je njena toplotna moć. Toplotne moći biogoriva se razlikuju u zavisnosti od vrste i sastava biogoriva, kao i od njihovog sadržaja vlažnosti. U tabeli 3, date su vrednosti donje toplotne moći nekih goriva.

Toplotna moć se može odrediti eksperimentalno i računski. Određivanje toplotne moći računskim putem vrši se na osnovu poznatih podataka o elementarnom sastavu, tehničkoj

analizi, statističkoj obradi velikog broja merenja. Računsko određivanje toplotne moći daje mogućnost analize uticajnih faktora na njenu vrednost.

Tabela 3. Vrednosti donje toplotne moći nekih goriva
Table 3 Inferior calorific value of fuel

Gorivo	Donja toplotna moć, MJ/kg
Pšenična slama (suva)	17,86
Pšenična slama (20% vlage)	13,74
Lignit	15,31
Drvo (15% vlage)	15,00

Iako postoji veći broj izraza za izračunavanje vrednosti gornje i donje toplotne moći, u Evropi se, a i kod nas najčešće koristi izraz Saveza nemačkih inženjera (VDI):

- za donju toplotnu moć:

$$H_d = 33900 \cdot C + 121400 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right) + 10460 \cdot S - 2510 \cdot W, \frac{kJ}{kg} \quad (2)$$

- za gornju toplotnu moć:

$$H_g = H_d + 2500 \cdot (9H + W), \frac{kJ}{kg} \quad (3)$$

gde su :

C, H, O, S, W – maseni udeli ugljenika, vodonika, kiseonika, sumpora i vlage, $\frac{kg}{kg}$.

VIŠAK VAZDUHA

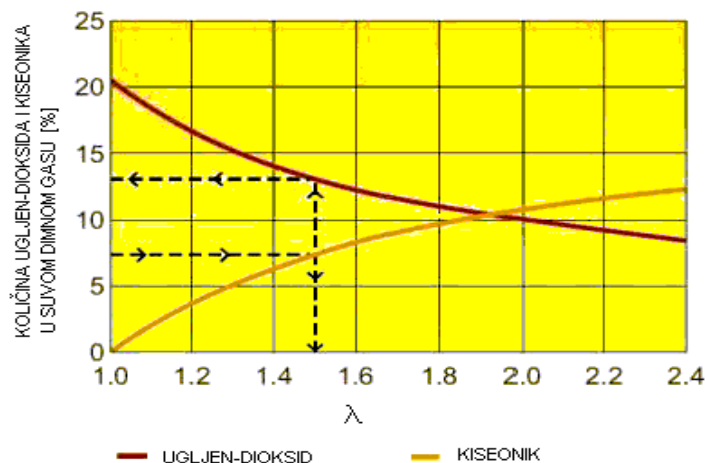
Prilikom sagorevanja slame procesu je potrebno dovesti optimalnu količinu vazduha kako bi se obezbedila što veća efikasnost, a samim tim i manja emisija štetnih gasova.

Količina vazduha koji se dovodi procesu u većoj količini od teorijski zahtevanog za potpuno sagorevanje, naziva se višak vazduha. Izvesna količina viška vazduha je neophodna da bi se osiguralo prisustvo dovoljne količine vazduha u celom prostoru gde gasovi sagorevaju, jer mešavina gas/vazduh nikada nije sasvim uniformna.

Odnos između količine vazduha koji se dovodi procesu i teorijski zahtevanog, naziva se koeficijent viška vazduha (λ).

Optimalno sagorevanje slame se odvija kada se vrednost koeficijenta viška vazduha kreće od 1,4 do 1,6. Na slici 1, predstavljen je primer: višak vazduha od 1,5 rezultira dimnim gasom koji sadrži 13% ugljen-dioksida i 7,5% kiseonika.

Za ložišta na slamu, iskustva su pokazala da je idealan sadržaj kiseonika u dimnim gasovima od 6 do 8 %.

Slika 1. Zavisnost emisije CO₂ od koeficijenta viška vazduhaFigure 1 The dependence of the CO₂ emissions coefficient and excess air ratio

Najveći deo toplote pri sagorevanju apsorbuje voda preko zidova kotla i cevi, dok ostatak napušta proces preko dimnjaka kroz mešavinu ugljen-dioksida, pare, male količine ugljen-monoksida i drugih gasova, katrana i jedinjenja hlora. Dimni gasovi, takođe, sadrže i sitne čestice pepela.

PREGLED I ANALIZA RASPOLOŽIVIH PODATAKA EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH KOMPONENTI IZ LOŽIŠTA ZA SAGOREVANJE SLAME

U tabeli 4, prikazani su rezultati merenja sastava dimnih gasova iz peći koje kao gorivo koriste bale slame. Ispitano je devet kotlova za toplu vodu snage od 40–750 kW koji se proizvode u Srbiji. Merenje sastava dimnih gasova je izvedeno u skladu sa važećim procedurama: nacionalni standard JUS M.E2 203(1980) zasnovan na DIN 1942 (1979) i ISO R889 (1968). Uređaj koji je tom prilikom korišćen je Testo 350.

Tabela 4. Emisija polutanata iz peći za sagorevanje slame
Table 4 Emission of pollutants from the straw fired furnace

Mesto produkcije	Nominalna snaga kW	λ	CO ₂ * %	CO * mg/m ³	NO ₂ * mg/m ³
Bratstvo, Subotica	40	1,7-3,6	5,7-11,6	2.280-5.910	-
Eko produkt, Novi Sad	120	1,3-8,7	3,2-16,0	1.630-8.750	30-85
Šukom, Knjaževac	250	1,8-8,8	3,1-11,0	1.560-9.023	34-97
Terming, Kula	300	1,5-3,7	5,5-14,5	2.432-11.400	-
Bratstvo, Subotica	360	1,3-2,7	2,5-15,5	0-4,8**	-
Razvoj, Kula	400	2,1-4,8	3,5-8,6	4.350-8.300	21-36
Razvoj, Kula	500	1,5-5,9	3,2-14,3	4.320-7.880	26-53
Terming, Kula	500	1,3-3,5	5,5-14,4	3.001-6.403	0-7
Nigal, Novi Sad	750	2,8-7,9	2,4-6,5	1.816-2.814	1,7-2,43

λ - koeficijent viška vazduha, * - pri $p=1,013 \cdot 10^5$ Pa i $t=0$ °C, ** - u %,

Prosečna efikasnost kotlova u Srbiji je veoma niska i iznosi 54,5 % što za posledicu ima povećanu emisiju štetnih gasova u atmosferu.

Koeficijent viška vazduha je bio veoma visok, kretao se od 1,3 do 8,8, u proseku 5,1. To je rezultiralo slabijim sagorevanjem, smanjenjem energetske efikasnosti i povećanjem emisije zagađujućih komponenata u dimnim gasovima.

Količina CO₂ se kretala između 2,5 i 15,3 %. Koncentracija CO dostigla je vrednost od 11 400 mg/m³, što je veoma visoka koncentracija za dimne gasove iz peći koje kao gorivo sagorevaju slamu a posledica je niske efikasnosti kotlova. (Granična vrijednost emisije CO za ložišta na slamu iste snage, poropisana Pravilnikom u Nemačkoj, iznosi 4 g/m³).

Koncentracija NO₂ kretala se od 1,7- 97 mg/m³, a u tri slučaja je izostavljeno merenje zbog veoma malih, beznačajnih koncentracija, usled niskih temperatura sagorevanja slame.

U Republici Srbiji ne postoji zakonom određena granična vrednost emisije za dimne gasove iz postrojenja za sagorevanje biomase čija je snaga manja od 1MW, tako da koncentracije zagađujućih materija iz tabele 4 ne podliježu zakonskim propisima i na taj način se ne mogu komentarisati.

ZAKLJUČAK

Na osnovu analiziranih podataka može se zaključiti da je energetska efikasnost ložišta na slamu, koji se proizvode u Srbiji, veoma niska i delom zbog toga dolazi do povećane emisije ugljen-monoksida. CO takođe nastaje i zbog niskih temperatura sagorevanja (ispod 600 °C). Emisije NO_x su izrazito niske jer slama sadrži mali procenat azota a temperature sagorevanja su niže od 1400 °C.

Biomasa je najveći obnovljivi izvor energije, a Srbija spada u vrh evropskih zemalja po količini raspoložive, a neiskorišćene biomase. Domaća industrija već proizvodi opremu za korišćenje biomase. Sve ovo ukazuje da postoji dobra perspektiva za veće korišćenje biomase, ali da bi se to i dogodilo, potrebno je da država zakonski zaokruži ovu oblast donošenjem potrebnih propisa, jer će time omogućiti nastanak tržišta u ovoj oblasti i veću primenu biomase u svakodnevnom životu.

Sa ekološkog stanovišta posebno je značajna činjenica da pšenična slama u svom elementarnom sastavu u principu ne sadrži sumpor, ili je sadržaj istog bar za red veličine manji od sadržaja u fosilnim gorivima.

U prilog korišćenja biomase kao goriva ide i globalno-ekološki aspekt sagorevanja velike mase fosilnih goriva. Povećanim korišćenjem biomase, koja reciklira atmosferski CO₂ i ima znatno manju emisiju zagađujućih komponenata u odnosu na fosilna goriva, smanjila bi se emisija zagađujućih materija u atmosferu.

LITERATURA

1. Bogner, M. (1999). Termotehničar, Tom 1 i Tom 2, Priručnik za termotehniku, termoenergetiku i procesnu tehniku. Beograd: SMEITS.
2. Brkić, M., Janić, T., Dedovic, N. (2008). Efficiency and Emission of Biomass Boiler Plants in Serbia. Beograd: Agricultural Faculty, Department of Agricultural Engineering.
3. Janjić, T. (2000). Kinetika sagorevanja balirane pšenične slame. Novi Sad: Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
4. Oka, S., Jovanović, Lj. (1997). Biomasa – obnovljivi izvori energije. Monografija. Beograd: Jugoslovensko društvo tehničara.
5. Pravilnik o graničnim vrednostima emisije, načinu i rokovima merenja i evidentiranja podataka br.30. (1997). Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije.