

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA U LOŽIŠTU SA CIGARETNIM  
SAGOREVANJEM BALIRANOG SOJINOG OSTATKA  
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BALED SOY STRAW COMBUSTION  
IN CIGARETTE FURNACE

Aleksandar Erić, Dragoljub Dakić, Stevan Nemoda<sup>1</sup>, Mirko Komatina<sup>2</sup>,  
Branislav Repić, Milica Mladenović, Dejan Đurović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za termotehniku  
i energetiku, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, Beograd.

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd.

[erica@vinca.rs](mailto:erica@vinca.rs)

### SAŽETAK

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja sagorevanja baliranog sojinog ostatka na poluindustrijskom postrojenju toplotne snage 1,5 MW koje radi po principu cigaretnog sagorevanja. Istraživanja su sprovedena u cilju određivanja neophodnih ulaznih parametara za formiranje odgovarajućeg matematičkog modela procesa cigaretnog načina sagorevanja biomase. Eksperimentom su merene ulazne veličine kao što su: maseni protoci goriva, vazduha za sagorevanje, temperature i sastav dimnog gasa na izlaznom preseku razmatranog proračunskog domena. Osim merenja ulaznih (bilansnih) veličina koje su bitne za proces sagorevanja, izvršeno je i određivanje temperaturnog profila u središnjoj ravni bale sojinog ostatka koja učestvuje u procesu sagorevanja. Dobijeni rezultati su od izuzetnog značaja ne samo za formiranje matematičkog modela procesa sagorevanja već i za sveobuhvatno sagledavanje i razumevanje transportnih procesa koji se odvijaju pri sagorevanju po novom i još uvek nedovoljno istraženom principu cigaretnog sagorevanja.

**Ključne reči:** cigaretno sagorevanje, balirana sojina slama, eksperiment.

Spisak oznaka:

$H_d$	- donja toplotna moć, [kJ/kg]			Indeksi:
$\dot{m}$	- maseni protok, [kg/s]	$\eta$	-fluidizacija,	$v$ -vazduh
T	- temperatura, [K]	g	-gas	$vol$ -zapreminski
Y	- maseni udeo komponente, [/]	$\eta_{fix}$	-fiksni	uk -ukupna

### 1. UVOD

Korišćenje obnovljivih izvora energije, pre svega biomase, dobija sve više na značaju u poslednje vreme. Ovo je posledica neprekidnog rasta cena fosilnih goriva i težnje da se emisija CO<sub>2</sub> smanji na najnižu moguću meru. Istraživanja u ovoj oblasti su vrlo složena i u cilju dobijanja pouzdanih podataka, neophodno je sprovesti teorijska i eksperimentalna istraživanja procesa. U tom cilju izrađeno je industrijsko demonstraciono postrojenje u

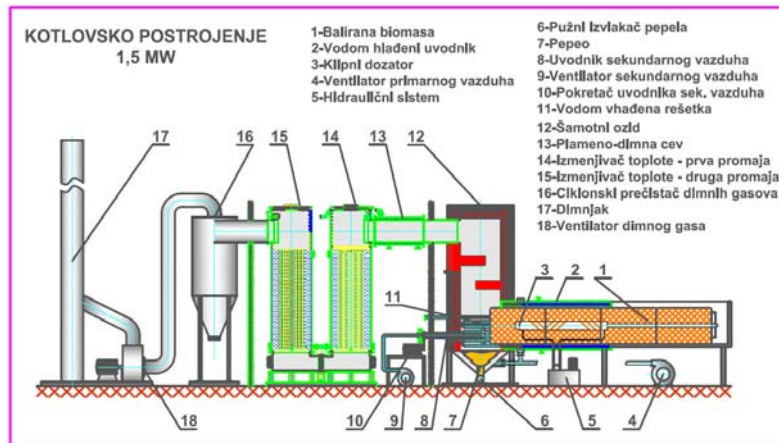
okviru Poljoprivrednog kombinata Beograd. Kotao snage 1,5 MW za sagorevanje otpadne balirane sojine slame, koristi se za grejanje 1 ha plastenika. Sagorevanje u kotlu se vrši po principu „cigaretnog sagorevanja“ (Bech et al, 1996, Mladenović et al, 2008, Miltner et al, 2007, Đurović i dr, 2010, Radojević i dr, 2010) pri čemu se kao gorivo koriste bale dimenzija 0,7x1,2x2,0 m. Kako se radi o relativno novoj i nedovoljno istraženoj tehnologiji, složena CFD simulacija procesa sagorevanja po predloženoj proceduri—može biti od značaja za dalja istraživanja. Numerička simulacija rada jednog ovakvog postrojenja podrazumeva modeliranje procesa prenošenja količine kretanja, toplote i supstancije pri sagorevanju bale biomase, koja po svom sastavu predstavlja poroznu sredinu (Erić, 2010). Za formiranje matematičkog modela sagorevanja osim termofizičkih parametara porozne sredine (Erić, 2010, Erić i dr, 2010a, Erić i dr, 2011), neophodno je i poznavanje ulaznih veličina kao graničnih vrednosti modela.

U radu su prikazana eksperimentalna istraživanja vršena na ovom kotlu u cilju određivanja neophodnih ulaznih parametara. Prilikom izvođenja eksperimenata merene su sve veličine potrebne radi određivanja globalne kinetike procesa sagorevanja, sastava i temperatura dimnih gasova na izlaznom preseku prostora koji se modelira, kao i procene količine neizreagovanih goriva čije se dogorevanje vrši u fluidizovanom sloju sopstvenog pepela. U cilju poređenja sa modelom izvršeno je određivanje (merenje) temperaturnog profila u bali sojinog ostatka na njenom putu od ulaska u ložište pa do zone sagorevanja.

Cilj rada je određivanje ulaznih parametara za model procesa sagorevanja baliranog sojinog ostatka u ložištu nominalne snage 1,5 MW za zagrevanje 1 ha plastenika koji radi po cigaretnom principu.

## **2. MATERIJAL I METOD RADA**

Šema postrojenja prikazana je na slici 1. Baliran sojin ostatak (1) se pomoću klipnog dodavača (3) i hidrauličkog sistema (5) kroz vodom hlađeni uvodnik (2) uvodi u ložište (12). Primarni vazduh za sagorevanje se obezbeđuje pomoću ventilatora (4) i on se deli na dva dela. Jedan deo se uvodi neposredno ispod i iznad bale, a drugi deo kroz spremište pepela (7). Pomoću ovog vazduha (7) vrši se fluidizacija i dogorevanje nesagorele biomase, u sloju sopstvenog pepela, koja propadne kroz vodom hlađenu rešetku (11). Pepeo se pomoću pužnog izvlakača (6) izvlači iz sistema čime se održava željena visina fluidizovanog sloja. Sekundarni vazduh se uvodi kroz vodom hlađeni uvodnik sekundarnog vazduha (8), neposredno u zonu sagorevanja koksnog ostatka. Ovaj uvodnik ima mogućnost translatornog i delimično rotacionog kretanja. Pomoću translatornog kretanja vrši se regulisanje snage ložišta (omogućavanjem da manja ili veća količine biomase učestvuje u procesu sagorevanja), a rotacionim kretanjem skidanje pepela i delimično sagorele biomase sa vrha bale. Sekundarni vazduh se obezbeđuje pomoću ventilatora (9), a translaciono i rotaciono kretanje uvodnika pomoću prenosnog mehanizma (10).



Sl. 1. Šema eksperimentalnog postrojenja  
Fig. 1. Experimental facilities scheme

Dimni gasovi nastali u primarnoj komori sagorevanja nakon skretanja ulaze u sekundarnu i tercijarnu komoru u kojima se vrši dogorevanje gasne faze, nakon čega preko plameno-dimne cevi (13) ulaze u prvu i drugu promaju razmenjivača toplote (14) i (15). Na izlasku iz razmenjivača, ohlađeni dimni gasovi ulaze u ciklonski prečistač (16) i dimnjak (17).

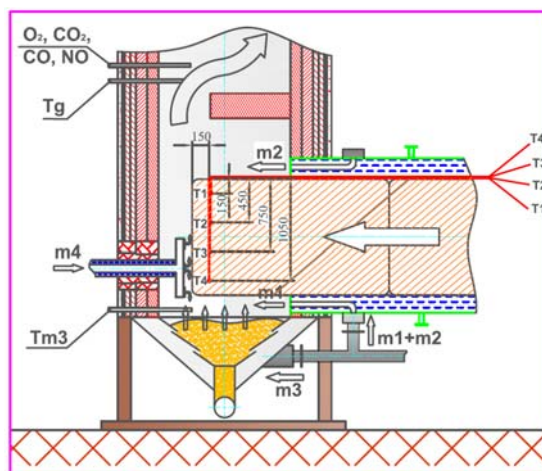
Eksperimentalna istraživanja na industrijsko-demonstracionom kotlu su koncipirana tako da su merene veličine sledećih ulaznih parametara:

- maseni protoci vazduha po ulazima  $\dot{m}_1$ ,  $\dot{m}_2$ ,  $\dot{m}_3$  i  $\dot{m}_4$ ;
- temperatura dimnog gasa na izlazu iz fluidizovanog sloja pepela  $T_{m3}$ ;
- maseni protok goriva (balirane sojine slame  $\dot{m}_{fu}$ );
- temperatura dimnog gasa na izlaznom preseku modela  $T_g$ ;
- zapreminski sastav suvog dimnog gasa na izlaznom preseku modela ( $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ).

Šema eksperimentalnog ispitivanja je prikazana na slici 2. Merenje masenih protoka vazduha po ulaznim poprečnim presecima je vršeno posredno preko merenja brzina u kanalima Pitot-Prandtl-ovom sondom, a diferencija dinamičkog i statičkog pritiska je očitavana na uređaju ALNOR. Vrednosti ovih veličina nisu menjane u stacionarnom režimu, tako da su merene samo jedanput. Temperature dimnog gasa na izlazu iz fluidizovanog sloja sopstvenog pepela  $T_{m3}$  i temperatura na izlaznom poprečnom preseku  $T_g$  su merene kontinualno termoparovima tipa K, a akvizicija je vršena instrumentom KEITHLEY.

Doziranje baliranog sojinog ostatka se vrši kvazikontinualno, tako da u ciklusu od 1 min određeni broj sekundi bala putuje ka ložištu, a ostatak do 1 min miruje. Stoga je vršeno zapisivanje relativnog položaja bale u odnosu na ulazak u ložište i vremena, na osnovu

čega je dobijen podatak o njenom srednjem masenom protoku  $\dot{m}^m$ . Zapreminski sastav suvih dimnih gasova na izlaznom preseku je meren pomoću analizatora tipa IMR 3000P.



Sl. 2. Šematski prikaz merenja  
Fig. 2. Measurements scheme

Na osnovu izmerenog protoka vazduha na ulazu u sloj pepela  $\dot{m}_3$  i razlike temperatura ulaznog vazduha i izlaznih dimnih gasova  $T_{m3}$  moguće je odrediti stepen konverzije koksnog ostatka, na osnovu energetskog bilansa između energije sagorevanja ugljenika koji pada na fluidizovani sloj i razlike entalpija pomenutih ulaza vazduha i izlaza dimnih gasova iz fluidizovanog sloja.



Sl. 3. Fotografija termoparova na bali u sistemu za doziranje  
Fig. 3. Photo of thermocouples on the bale in feeding system

Izvršena su i istraživanja u cilju određivanja temperaturnog profila u središnjoj ravni bale sojinog ostatka koji učestvuje u procesu sagorevanja. Za ovaj eksperiment postavljena su četiri termopara u središnju vertikalnu ravan po visini, prema šemi sa slike 2. Ovaj eksperiment je izvršen u stacionarnom režimu rada ložišta i merene su temperature u funkciji položaja termoparova. Izgled bale sojinog ostatka, sa postavljenim termoparovima u središnjoj ravni, neposredno pred ulazak u sistem za doziranje prikazan je na slici 3. Eksperimentalna istraživanja su izvršena pri maksimalnoj snazi ložišta od 1,57 MW, pri čemu je sagorevan sojin ostatak čiji su podaci tehničke i elementarne analize dati u tabeli 1.

Tab. 1. Tehnička i elementarna analiza korišćenog goriva

Tab. 1. Ultimate and proximate analysis of fuel

Elementarna analiza Ultimate analysis				Tehnička analiza Proximate analysis				
C [%]	H [%]	N [%]	O [%]	W [%]	Vol. [%]	C <sub>fix</sub> [%]	A [%]	H <sub>d</sub> [MJ/kg]
45,2	7,0	0,5	47,3	11,35	60,73	20,91	7,049	13,981

Na osnovu analize goriva usvojeno je da u sastav volatila ulaze propan, CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Ova pretpostavka počiva na uslovu da se jedna količina kiseonika u suvom uzorku goriva (O<sup>C</sup>) vezuje za C u obliku CO<sub>2</sub>, dok se preostala količina (45,2-O<sup>C</sup>) vezuje za H u obliku H<sub>2</sub>O. Odavde sledi da se jedan deo C u suvom uzorku izdvaja u procesu devolatilizacije u obliku propana i CO<sub>2</sub>, a drugi deo obrazuje koksni ostatak. Deo koji obrazuje koksni ostatak je jasno definisan na osnovu tehničke analize (C<sub>fix</sub>), dok se na osnovu potrebnog masenog odnosa C i H za obrazovanje propana može izračunati nepoznata vrednost veličine O<sup>C</sup> kao:

$$\frac{C^{vol}}{H^{vol}} = \frac{\left(C - \frac{3}{8}O^C\right) \frac{100 - A - W}{100} - C_{fix}}{\left(H - \frac{2}{16}(O - O^C)\right) \frac{100 - A - W}{100}} = 4,5$$

Odavde je jednoznačno određen procenat kiseonika iz suvog uzorka biomase koji pri devolatilizaciji učestvuje u obrazovanju CO<sub>2</sub> i njegova vrednost iznosi O<sup>C</sup>=21,5 %. Što se tiče fiksnog ugljenika, na osnovu iznete koncepcije rada ložišta, jasno je da jedna količina sagoreva u poroznom sloju na čelu bale, dok preostala dogoreva u fluidizovanom sloju sopstvenog pepela. Ukupna količina fiksnog ugljenika koja učestvuje u procesu sagorevanja je jednaka proizvodu izmerenog masenog protoka bale i njegovog udela u 1 kg biomase:

$$\dot{m}_{C_{fix}}^{uk} = \dot{m}_{fu} \frac{C_{fix}}{100}$$

Količina fiksnog ugljenika koji sagoreva u fluidizovanom sloju  $\dot{m}_{C_{fix}}^{fl}$  se jednostavno može odrediti iterativnim postupkom na osnovu energijskog bilansa ulaznih i izlaznih entalpija, pri poznatoj toplotnoj moći ugljenika:

$$\dot{m}_{C_{fix}}^{fl} \cdot H_{d,C} = \left(\dot{m}_3 + \dot{m}_{C_{fix}}^{fl}\right) \int_{T_3}^{T_{e3}} c_{p,g}(T) dT - \dot{m}_3 \int_{273}^{T_3} c_{p,v}(T) dT - \dot{m}_{C_{fix}}^{fl} \int_{1000}^{T_{e3}} c_{p,fu}(T) dT$$

gde je  $\dot{m}_3 + \dot{m}_{c_{fix}}^{fl} = \dot{m}_{m3}$ , a  $c_{p,g}(T)$  specifični toplotni kapacitet izlaznih gasova u zavisnosti od temperature i sastava gasa, koji se određuje na sledeći način:

$$c_{p,g}(T) = Y_3^{CO_2} c_{p,CO_2}(T) + Y_3^{O_2} c_{p,O_2}(T) + Y_3^{N_2} c_{p,N_2}(T)$$

a  $c_{p,v}$  specifični toplotni kapacitet u zavisnosti od temperature za vazduh. Uzimajući u obzir da je maseni udeo kiseonika u vazduhu 0,232, specifični toplotni kapacitet se može izraziti prema sledećoj jednačini:

$$c_{p,v} = 0,232c_{p,O_2}(T) + 0,768c_{p,N_2}(T)$$

Maseni udeo ugljendioksida se, u okviru iterativnog određivanja fiksnog ugljenika, takođe određuje iterativnim postupkom na osnovu jednačine:

$$Y_3^{CO_2} = \frac{44}{12} \dot{m}_{c_{fu}}^{fl} / (\dot{m}_{c_{fu}}^{fl} + \dot{m}_3)$$

Na osnovu ovoga maseni protok fiksnog ugljenika koji učestvuje u sagorevanju u poroznom sloju u modelu računa se iz razlike ukupnog fiksnog ugljenika i fiksnog ugljenika koji sagoreva u fluidizovanom sloju:

$$\dot{m}_{c_{fu}} = \dot{m}_{c_{fu}}^{uk} - \dot{m}_{c_{fu}}^{fl}$$

Maseni protok propana, kao sveobuhvatnog produkta devolatilizacije, se određuje iz energijskog bilansa ukupne snage unete preko baliranog sojinog ostatka umanjene za snagu fiksnog ugljenika koji učestvuje u procesu sagorevanja:

$$\dot{m}_{C_3H_8} = \frac{\dot{m}_{fu} H_d - \dot{m}_{c_{fu}}^{uk} \cdot H_{d,C}}{H_{d,C,H_8}}$$

Preostale komponente procesa devolatilizacije su ugljendioksid i vodena para, čije je protoke jednostavno moguće odrediti sledećim jednačinama:

$$\dot{m}_{CO_2}^{vol} = \frac{11}{8} \dot{m}_{fu} \cdot O^c \cdot \frac{100 - A - W}{100}$$

$$\dot{m}_{H_2O}^{vol} = \frac{9}{8} \dot{m}_{fu} \cdot (O - O^c) \cdot \frac{100 - A - W}{100}$$

Ovim jednačinama je definisano određivanje svih ulaznih parametara modela na osnovu izmerenih vrednosti.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Prilikom izvođenja eksperimenata vođeno je računa da temperatura u ložištu bude između 850-900°C što predstavlja optimalnu temperaturu za sagorevanje sojinog ostatka, koja je dovoljno visoka za potpuno sagorevanje ali ipak bezbedna sa stanovišta topljenja pepela. Iako je stacionarni režim merenja trajao znatno duže ovde će biti prikazani rezultati u trajanju od 1 h, što je sasvim dovoljno za izvođenje potrebnih zaključaka o kvalitetu sagorevanja i poređenja sa predloženim modelom. Podaci, čije se vrednosti nisu menjale tokom eksperimenta, izmereni su jedanput i njihove vrednosti su prikazani u tabeli 2.

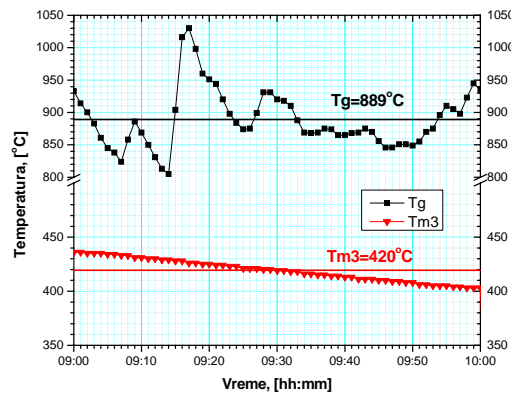
Tab. 2. Izmerene veličine  
Tab. 2. Experimental values

Veličina Variable	Maseni protoci vazduha na ulazu Air mass flow on inlet, [kg/s]				Maseni protok goriva Fuel mass flow, [kg/s]
	Ulaz 1 Inlet 1	Ulaz 2 Inlet 2	Ulaz 3 Inlet 3	Ulaz 4 Inlet 4	
Vrednost Value	0,2632	0,2263	0,2371	0,05	0,112143

Temperature vazduha i goriva na ulazima ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_{fu}$ ) se nisu menjale u toku izvođenja eksperimenata i radi jednostavnosti usvojena je njihova veličina od 300 K, jer eventualna greška neće imati veći uticaj na tačnost rezultata.

Temperature dimnih gasova na izlaznom preseku modela u ulazu 3 merene su kontinualno u toku trajanja eksperimenata, a njihove vrednosti u reprezentativnom vremenskom intervalu su prikazane na slici 4. Vidi se da je srednja temperatura gasova na izlaznom preseku bila  $889^\circ\text{C}$ , a temperatura dimnih gasova na ulazu u model 3  $\sim 420^\circ\text{C}$ .

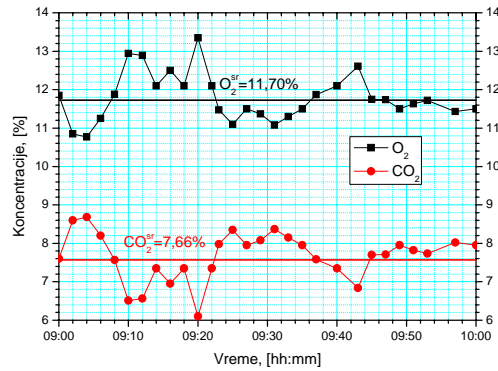
Na osnovu poznate srednje temperature  $T_{m3}$  i masenog protoka i temperature vazduha na ulazu 3 moguće je odrediti količinu fiksnog ugljenika koja dogoreva u fluidizovanom sloju sopstvenog pepela, prema metodologiji koja je izneta u prethodnom poglavlju. Ova količina suštinski predstavlja neizreagovali deo primarnog goriva koji sagoreva u poroznom sloju, pa se na osnovu ovog podatka može izvesti zaključak o globalnoj kinetici procesa zasnovanoj na masenom protoku goriva i stepenu konverzije. Maseni protoci fiktivnih komponenata volatila i dela fiksnog ugljenika koji sagoreva u poroznom sloju, koji su izračunati prema predloženoj metodologiji prikazane su u tabeli 3.



Sl. 4. Temperature gasova  $T_g$  i  $T_{m3}$   
Fig. 4. Flue gas temperature  $T_g$  and  $T_{m3}$

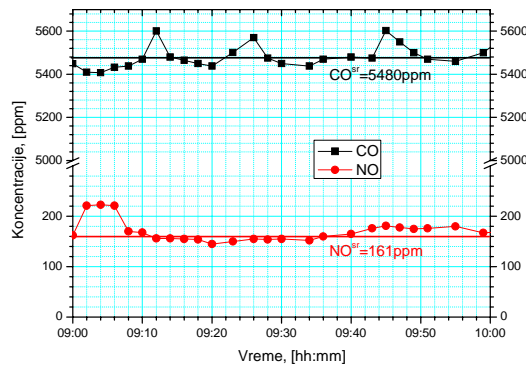
Tab. 3. Maseni protoci komponenata volatila i fiksnog ugljenika  
Tab. 3. Volatile and fixed carbon mass flow

Veličina Variable	m, [kg/s]			
	$C_3H_8$	$CO_2$	$H_2O$	$C_{fix}$
Vrednost Value	0,0166	0,0185	0,0323	0,0188



Sl. 5. Koncentracije CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> u suvom dimnom gasu na izlaznom preseku  
Fig. 5. Carbon dioxide and oxygen concentration in dry flue gas on the outlet

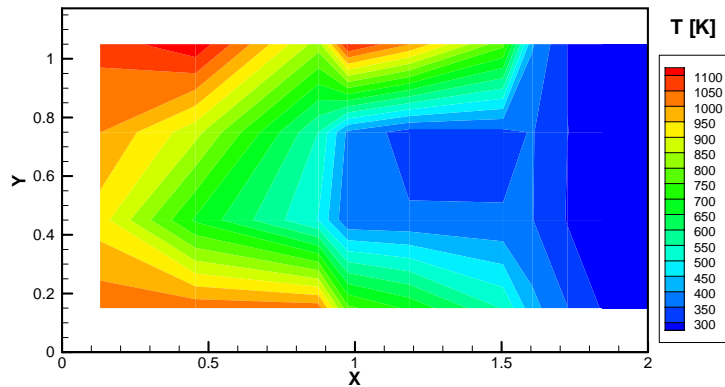
Globalna kinetika procesa nije samo definisana stepenom konverzije koksnog ostatka već i stepenom konverzije gorivih gasova u volatilima, pa je radi toga izvršeno i merenje koncentracije komponenata u suvom dimnom gasu na izlaznom preseku (slika 2). Vrednosti izmerenih koncentracija CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, NO su prikazane na slikama 5 i 6 za vremenski period od jednog časa. Sa slike 6 se može videti da je koncentracija azotnih oksida oko 160 ppm što svedeno u mg/m<sup>3</sup> za referentnu vrednost kiseonika u dimnom gasu od 11%, iznosi približno 350 mg/m<sup>3</sup>. Koncentracija ugljenmonoksida je na prvi pogled veoma visoka, ali treba imati u vidu činjenicu da se u posmatranom poprečnom preseku u kome je merena koncentracija ne završava proces sagorevanja, već se on nastavlja u komori za dogorevanje.



Sl. 6. Koncentracije CO i NO u suvom dimnom gasu na izlaznom preseku  
Fig. 6. CO and NO concentration in dry flue gas on the outlet

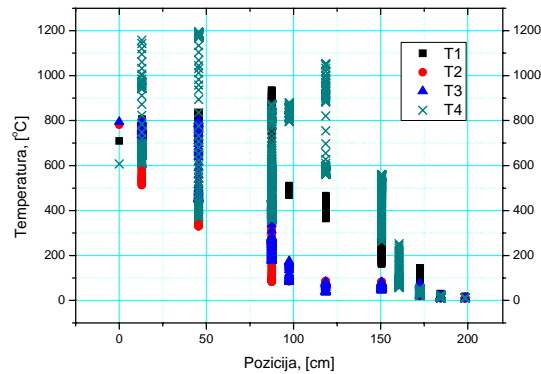


Drugi deo eksperimentalnog istraživanja vezan je za određivanje temperaturnog polja u bali sojinog ostatka na njenom putu od ulaska u ložište pa do zone sagorevanja. Grafički prikazi ovog merenja su prikazani na slikama 7 i 8.



Sl. 7. Profil izmerenih temperatura  
Fig. 7. Temperature profile

Ovde je bitno pomenuti da je doziranje goriva bilo kvazikontinualno tako da je određeni vremenski period bala putovala ka zoni sagorevanja (radni interval), a određeni vremenski period mirovala (interval mirovanja). Odavde je jasno da bi srednja brzina kretanja bale, ako bi se ona kontinualno kretala, bila manja od brzine kretanja u radnim intervalima. Ova konstatacija je jako bitna sa stanovišta usvajanja merodavne temperature u intervalu mirovanja, jer se radi o nestacionarnom slučaju provođenja toplote, pa se na dijagramu mogu videti više vrednosti temperatura u jednoj poziciji. Ako bi kretanje bale bilo jednoliko i neprekidno onda bi temperatura u poziciji koja odgovara poziciji intervala mirovanja sigurno bila u intervalu između maksimalne i minimalne izmerene vrednosti, ali se ne može sa sigurnošću reći da li je ta vrednost bliža maksimumu, minimumu ili srednjoj vrednosti. Zato je usvojeno prikazivanje celokupnog opsega temperatura. Za nultu poziciju u bali usvojena je pozicija zone sagorevanja.



Sl. 8. Raspored temperatura po pozicijama na kojima su merene  
Fig. 8. The temperature distribution at the positions where measured

#### 4. ZAKLJUČAK

Eksperimentalna istraživanja koja su prikazana u ovom radu imala su za cilj određivanje ulaznih parametara za model procesa sagorevanja baliranog sojinog ostatka u ložištu nominalne snage 1,5 MW za zagrevanje 1 ha plastenika koje radi po cigaretnom principu. Osim toga pokazano je da se balirani sojin ostatak može uspešno sagorevati po predloženom principu uz zadovoljavanje važećih ekoloških normi. U eksperimentalnim istraživanjima je razmatran samo ložišni prostor i to prostor koji obuhvata jednu balu koja učestvuje u procesu sagorevanja i fluidni prostor neposredno oko nje.

Pored određivanja ulaznih podataka za matematički model transportnih procesa koji se odvijaju pri sagorevanju biomase razvijena je i primenjena originalna metoda za određivanje temperaturnog profila u središnjoj ravni balirane biomase koji se formira u toku sagorevanja. Ovi podaci su od velike koristi kada je u pitanju verifikacija modela. Sprovedena istraživanja imaju i razvojno-istraživački karakter jer pomažu da se što bolje razume i sagleda nedovoljno istražena oblast cigaretnog sagorevanja balirane biomase.

## 5. LITERATURA

- [1] Bech N, Wolff L, Germann L. (1996). Mathematical modeling of straw bale combustion in cigar burners, *Energy & Fuels* 10(2): 276-283.
- [2] 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.
- [3] Erić A. (2010). Termomehanički procesi pri sagorevanju baliranog sojinog ostatka u potisnom ložištu. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.
- [4] Erić A, Dakić D, Nemoda S, Komatina M, Repić B. (2010a). Određivanje stagnantne toplotne provodljivosti baliranog sojinog ostatka. *Savremena poljoprivredna tehnika* 36(4): 334-343.
- [5] Erić A, Dakić D, Nemoda S, Komatina M, Repić B. (2011). Experimental method for determining Forchheimer equation coefficients related to flow of air through the bales of soy straw. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54(19-20): 4300–4306.
- [6] Miltner M, Miltner A, Harasek M, Friedl A. (2007). Process simulation and CFD calculations for the development of an innovative baled biomass-fired combustion chamber. *Applied Thermal Engineering* 27(7): 1138–1143.
- [7] Mladenović R, Erić A, Mladenović M, Repić B, Dakić D. (2008). Energy production facilities of original concept for combustion of soya straw bales. In Proc. 16<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition, 1260-1270, Valencia, Spain, 2-6 June.
- [8] 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.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BALED SOY STRAW COMBUSTION IN CIGARETTE FURNACE

Aleksandar Erić, Dragoljub Dakić, Stevan Nemoda, Mirko Komatina,  
Branislav Repić, Milica Mladenović, Dejan Đurović

### SUMMARY

This paper presents the experimental research results of baled soy straw combustion on 1,5 MW semi-industrial plant that works on the cigarette combustion principle. The researches were conducted to determine the necessary input parameters for the development of an appropriate combustion process mathematical model of the proposed cigarette combustion method. Experiments have measured the input data such as the fuel mass flows, combustion air, temperatures and flue gas composition at the outlet section of the calculated domain. Beside measurement input data that are important for the combustion process, the determination of temperature profiles in the central plane of soy straw has been conducted. Presented experimental results are significant not only for the cigarette combustion process mathematical modelling, but for a comprehensive analysis and understanding of transport processes that take place during the new and still not sufficiently researched combustion principle.

**Key words:** cigarette combustion, baled soy straw, experiment.

<p>Rad je proistekao u okviru projekata: „Applied research EU project Biom-Adria 2 – A development and improvement of technologies, methodologies and tools for the enhanced use of agricultural biomass residues“ i „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetske efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“ evidencioni broj III42011.</p>
--

Primljeno: 9.09.2011.

Prihvaćeno: 20.09.2011.