



[www.ror.tf.bor.ac.rs](http://www.ror.tf.bor.ac.rs)

## REZULTATI SAGOREVANJA RAZLIČITIH OTPADNIH GORIVA U FLUIDIZOVANOM SLOJU

### RESULTS OF COMBUSTION OF DIFFERENT WASTE FUEL IN FLUIDIZED BED

Milica R. Mladenović<sup>1, #</sup>, Dragoljub V. Dakić<sup>2</sup>, Stevan Đ. Nemoda<sup>1</sup>, Milijana J. Paprika<sup>1</sup>,  
Aleksandar M. Erić<sup>1</sup>, Branislav S. Repić<sup>1</sup>, Mirko S. Komatina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, Srbija

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Inovacioni centar, Beograd, Srbija

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija

Primljen: 14. avgust 2014. Prihvaćen: 24. septembar 2014.

**IZVOD** – Održivi razvoj domaće energetike podrazumeva racionalno korišćenje energetske resursa, upotrebu obnovljivih izvora energije i upravljanje otpadom uz zadovoljenje ekoloških propisa. Način za istovremeno ispunjavanje navedenih ciljeva je energetska iskorisćenje niskovrednih, otpadnih materija, primenom tehnologije sagorevanja u fluidizovanom sloju (FS). U radu su prikazani rezultati eksperimenata sagorevanja više vrsta čvrstih i tečnih otpadnih materija, obavljani na dvema instalacijama: industrijsko-demonstracionom (snage do 500 kW) i eksperimentalnom FS kotlu (snage do 100 kW). Mereno je temperaturno polje po visini ložišta, analiziran sastav dimnih gasova na izlazu iz ložišta i ostali parametri sagorevanja predmetnih goriva. Analizom dobijenih rezultata data je ocena njihove podobnosti sagorevanja u FS uz mogućnost iskorišćenja njihovog energetskog potencijala.

**Ključne reči:** otpadne materije, fluidizovan sloj

**ABSTRACT** - The sustainable development of the national energy sector implies the rational use of energy resources, use of RES, and waste management with satisfying environmental regulations. A way to simultaneously fulfill the above objectives is the utilization of low-calorific and waste materials, applying the technology of fluidized bed combustion (FBC). This paper presents experimental results of combustion of number of solid and liquid wastes, conducted on two installations: industrial demonstration (capacity up to 100 kW) and experimental FB boiler (capacity up to 500 kW). The furnace temperature distribution, the composition of flue gas at the exit of furnace, and the other combustion parameters of the fuels are given. On the basis of these results, an evaluation of the waste fuels FB combustion and possibility of utilization of their energy potential is given.

**Key words:** low-calorific materials, waste, fluidized bed

<sup>#</sup> Kontakt adresa autora: Milica R. Mladenović, University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences "Vinča", Laboratory for Thermal Engineering and Energy, P. O. Box 522, 11001 Belgrade, Serbia,  
E-mail: [mica@vinca.rs](mailto:mica@vinca.rs)

\*Rad je u skraćenom obliku predstavljen na 9. Simpozijumu „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, Zaječar, Srbija 2014.

\*\* Autori se zahvaljuju Ministarstvu za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj za finansiranje istraživanja u okviru projekata TR33042 i III42011

## UVOD

Rad je prilog istraživanju sagorevanja čvrstih i tečnih otpadnih materija čije odlaganje predstavlja sve veći ekološki problem. Toplotna moć nekih od ovih materija je na nivou toplotne moći domaćih ugljeva, pa se njihovim sagorevanjem postižu dodatni energetske i ekonomski efekti, te se mogu smatrati gorivom. Zbog neujednačenog sastava i gustine, velike viskoznosti, kao i visokog udela balasta tečna otpadna goriva se teško ili se ne mogu sagorevati u konvencionalnim ložištima, pa je tehnologija pogodna za njihovu termičku dezintegraciju fluidizovani sloj (FS) koji omogućava sagorevanje različitih goriva nehomogenog sastava. FS tehnologijom se mogu sagorevati odnosno spaljivati i otpadne niskokalorične materije (kao npr. zaprljane vode sa malim koncentracijama otrovnih materija, crvena voda iz proizvodnje TNT-a...) uz podršku nekog drugog goriva. Kako se u kotlovima sa FS mogu sagorevati čvrsta goriva sa sadržajem balasta i do 85%, sa efikasnim odsumporavanjem dodavanjem krečnjaka direktno u sloj uz nisku emisiju azotnih oksida -  $\text{NO}_x$  (niska temperatura sagorevanja od oko  $850^\circ\text{C}$ ), FS ima značajnu prednost u poređenju sa drugim tehnologijama sagorevanja.

Od širokog spektra ispitivanih goriva u radu su predstavljeni rezultati sagorevanja onih najreprezentativnijih i to od tečnih otpadnih goriva: *taloga iz rezervoara sirove nafte, iskorišćenih jestivih ulja, masti i ulja iz valjaonica i glicerina* (nus-produkta proizvodnje biodizela). Od čvrstih otpadnih goriva rad tretira: *vanbilansne rezerve uglja* (sitne granulacije, sa visokim sadržajem mineralnih materija i niskom toplotnom moći), *zrnastu biomasu* - kukuruz zaražen aflatoksinom, i *papirni mulj* (otpad iz proizvodnje papira).

### Zašto su navedene materije interesantne za ovaj rad?

Navedene otpadne materije su pre svega značajne zbog potencijala za njihovo generisanje u Srbiji i zato što se eliminacija ovih materija ne izvodi potpuno u skladu sa važećim ekološkim normama (karakterističan primer je problem nastao usled neadekvatnog rešavanja problema sa tečnim otpadom iz fabrike Zvezda-Helios iz Gornjeg Milanovca).

Potencijalni kapacitet *otpadnih maziva i ulja, naftnog taloga, iskorišćenih maziva* i sl.se izražava sledećim podacima [1]:

1. Na tržište Srbije se godišnje plasira 4 miliona tona naftnih derivata, pri čemu na njenoj teritoriji postoje:
  - 2 rafinerije, 1600 javnih i 500 internih benzinskih stanica,
  - 8 velikih terminala za pretakanje i skladištenje naftnih derivata,
  - 43 toplane koje za proizvodnju toplotne energije koriste ulje za loženje,
  - preko 300 naftnih bušotina,
  - 2 međunarodna aerodroma i još 37 manjih.

Osim značajnog zagađenja vazduha u procesu rafinerijske prerade nafte u rafinerijama Pančevo i Novi Sad, veoma ozbiljnu ekološku opasnost predstavlja veliko zagađenje zemljišta na odlagalištima rafinerijskog mulja. Prema podacima dobijenim od saradnika rafinerije nafte Pančevo godišnje se generiše preko 3000 *t naftnog mulja* (slobodna procena, koja se može menjati od godine do godine). Mulj nastao čišćenjem rezervoara odlaže se u sabirne taložnike, a dalje se uljna emulzija iz mulja izdvaja centrifugiranjem, tretira ultrafiltracijom i vraća u postupak prerade nafte, a nastali muljni koncentrat se zbrinjava procesom solidifikacije, nakon čega se transportuje van fabrike u potpunoj odgovornosti podugovarača koji izvodi proces solidifikacije.

2. Procena je da se godišnje troši oko 50000 t različitih ulja mineralnog porekla. Osim toga, procena je da se na teritoriji Beograda godišnje troši oko 10000 - 15000 t motornih i drugih ulja i maziva [2].
3. Procenjeno je da industrija Srbije proizvede mešanih organsko-vodenih emulzija 257000 t/godišnje [3].

U pogonima hladnih i toplih valjaonica U.S. Steel Serbia za podmazivanje su se koristile emulzije različitih ulja i masti pretežno životinjskog porekla, neravnomernog sastava, ali potencijalno znatne toplotne vrednosti. Prema podacima iz 2007. godine, iz proizvodnog ciklusa U.S. Steel Serbia mesečno se generisalo 237 t istrošenih ulja i masti i to: 19,5 t iz tople, 215 t iz hladne valjaonice, 2 t ostalih ulja i 14 t istrošene masti. Ove količine različitih mešavina ulja i masti iz proizvodnog procesa, su se odlagale u rezervoar – taložnik, u kome se prema podacima iz 2007. nalazilo oko 3000 *t mešanih organsko-vodenih emulzija*.

4. Podaci Ministarstva energetike, razvoja i zaštite životne sredine Republike Srbije pokazuju da potrošnja jestivog ulja u Srbiji iznosi oko 16 l po stanovniku godišnje, što znači da bi se tokom godine moglo sakupiti oko 10000 tona *otpadnog*

*jestivog ulja* koje bi se koristilo kao alternativno gorivo, direktno u procesima kontrolisanog sagorevanja.

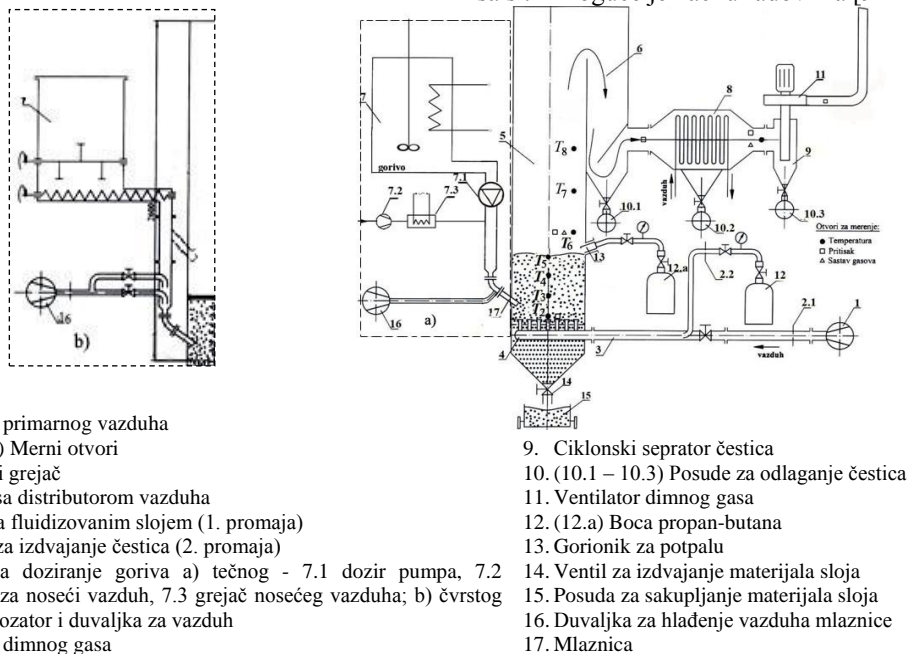
5. Skladno smernicama iz Bruxellesa (2008), EU je do 2020. godine propisala povećanja udela biogoriva na čak 20% u gorivima za saobraćaj, čime se želi, uz primarno očuvanje sredine, osigurati i stabilnost investicija u taj sektor. Glavni nusproizvod proizvodnje biodizela je *glicerol* (od polazne sirovine za dobijanje biodizela, recimo iskorišćenih jestivih ulja, 10% masenih otpada na glicerol). Veća potražnja za biodizelom može dovesti do prezasićenosti tržišta glicerolom pa se i on može tretirati kao otpad i koristiti kao gorivo.

Na teritoriji Srbije postoji nekoliko fabrika za proizvodnju i preradu hartije: Fabrika kartona Umka, Avala ada, Fabrika hartije Beograd. Jedan od nusproizvoda prerade hartije u ovim fabrikama je *papirni mulj* velike vlažnosti i neujednačenog sastava, koji se ne može dalje prerađivati, ali se zato može sagorevati u FS uz podršku nekog kaloričnijeg goriva.

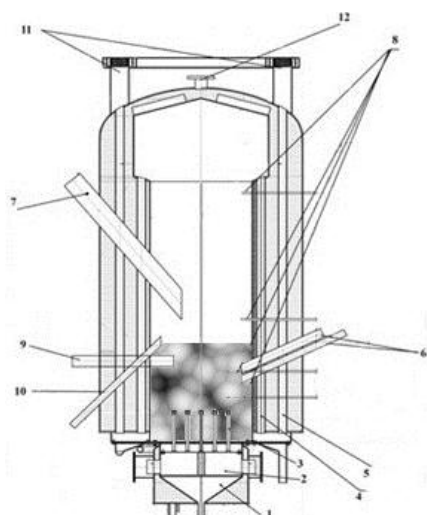
U radu su dati i eksperimenti sagorevanja zrnaste biomase-kukuruz. Iako je *zrnasta biomasa* pre svega hrana u ljudskoj i životinjskoj ishrani, ona se može tretirati kao izvanredno gorivo i to upotrebom *otpadnog -zaraženog zrna aflatosinima ili fusarijumom*, otpadna semenska biomasa, otpad iz mlinova i fabrika kornfleksa i dr. Ovo je od posebnog značaja kada se ima u vidu nedavni problem vezan za kontaminaciju kukuruza aflatoxinima, kada je svega 32 % roda bilo bezbedno za upotrebu.

Karakteristike domaćih lignitskih i mrko lignitskih basena ukazuju da su oscilacije karakteristika uglja, iskopanog sadašnjom mehanizacijom, neminovnost. Eksploatacione i rudarsko-geološke karakteristike basena kao i potreba za iskorišćenjem *vanbilansnih rezervi uglja* (ugljevi sitne granulacije, sa visokim sadržajem balasta i sumpora, niske toplotne moći) ukazuju na neminovnost primene tehnologije manje osetljiva na navedene promene - kotlova sa FS. Već sada doneti propisi o dozvoljenoj emisiji kotlova termoelektrana nameću neophodnost smanjenja emisije ispod vrednosti karakterističnih za klasične kotlove bez postrojenja za odsumporavanje i preduzetih mera za smanjenje emisije  $\text{NO}_x$ -a.

Laboratorija za termotehniku i energetiku Instituta "Vinča" se dugi niz godina bavi proučavanjem fenomena sagorevanja u FS i razvojem FS ložišta. U sklopu tih istraživanja razvijena je metodologija ispitivanja podobnosti sagorevanja goriva u FS na eksperimentalnoj/poluidustrijskoj aparaturi u stacionarnim režimima rada. Ekperimenti sagorevanja otpadnih goriva su, u ovom slučaju, izvedeni na dvema FS instalacijama i to: eksperimenti sagorevanja tečnih otpadnih goriva i sitnih granulacija uglja na eksperimentalnom ložištu snage 100 kW (Sl. 1), sa doziranjem goriva *u sloj*, i eksperimenti sagorevanja zrnaste biomase i papirnog mulja na demonstraciono-eksperimentalnom toplovodnom kotlu (500 kW) sa doziranjem *na sloj* (Sl. 2). Više o eksperimentalnoj aparaturi sa sl. 1 i demonstracionom toplovodnom kotlu sa sl. 2 moguće je naći u radovima [9÷12].



Slika 1. Šema eksperimentalne instalacije 1 sa sistemom za doziranje goriva [4÷6]



## Legenda

1. Sabirnik sa vodenim hlađenjem za odvođenje pepela i inertnog materijala sloja
2. Sabirna komora distributora vazduha za fluidizaciju
3. Pečurke distributora vazduha
4. Cevi prve promaje dimnih gasova
5. Cevi druge promaje dimnih gasova (uronjene u vodeni omotač)
6. Kosi uvodnici za pneumatsko doziranje u sloj
7. Kosi uvodnik za doziranje na sloj
8. Keramičke cevi u kojima su smešteni termoparovi za akviziciju temperature u i iznad sloja
9. Horizontalni uvodnik za doziranje čvrstog goriva u sloj
10. Prelivna cev za odvođenje pepela iz sloja
11. Sabirni dimni kanal
12. Izlaz vode iz kotla

Slika 2. Crtež kotla sa fluidizovanim slojem/instalacija 2 sa pozicijama [7,8]

## REZULTATI I DISKUSIJA

Po usvojenoj metodologiji, izvršena je karakterizacija goriva (Tabela 1), radi izračunavanja adijabatske temperature sagorevanja koja predstavlja po-

polazni parametar za podešavanje rada aparature (definisane protoka goriva i vazduha radi uspostavljanja stacionarnog stanja na željenoj temperaturi sagorevanja).

Tabela 1. Karakterizacija goriva – delimična tehnička i elementarna analiza

Gorivo [%]	Sunc. ulje		Glicerin	Ulja i masti iz valjaonice		Naftni mulj	Sitni ugalj	Papirni mulj	Kukuruz u zrnju
	I <sup>1</sup>	II <sup>2</sup>	I	I	II	III <sup>3</sup>	I	III	I
Vlaga	0,1	23,04	-	13,21	50,01	78,31	30,81	46,09	11,9
Pepeo	0	0	-	2,27	1,31	9,35	16,16	13,94	1,9
Ispaljivo	99,17	76,13	99	84,01	49,6	10	28,87	39,35	76,7
C	77,52	59,72	39,1	74,58	42,95	10,64	36,58	15,99	38,52
H	11,49	8,85	8,7	8,94	5,15	1,28	2,48	2,68	6,32
O	10,89	8,39	10,9	0,09	0,05	0,01	11,79	20,46	40,28
N	0	0	0	0,27	0,16	0,04	0,97	0,73	1,07
S	0	0	0	0,64	0,37	0,37	1,20	0,12	0,01
Hd[MJ/kg]	37	27,9	17	29,8	18,7	11,3	13,6	4,8	17,3



<sup>1</sup>Gorivo sagorevano u dostavnom stanju

<sup>2</sup>Dostavno gorivo podmešano sa vodom

<sup>3</sup>Sagorevanje uz podršku gasa

Nakon startovanja instalacije sagorevanjem tečnog gasa i dostizanja temperature FS potrebne za početak sagorevanja ispitivanog goriva, ono se dozira uz podizanje radne temperature FS do željene vrednosti. Podešavanjem protoka radnog goriva i vazduha postiže

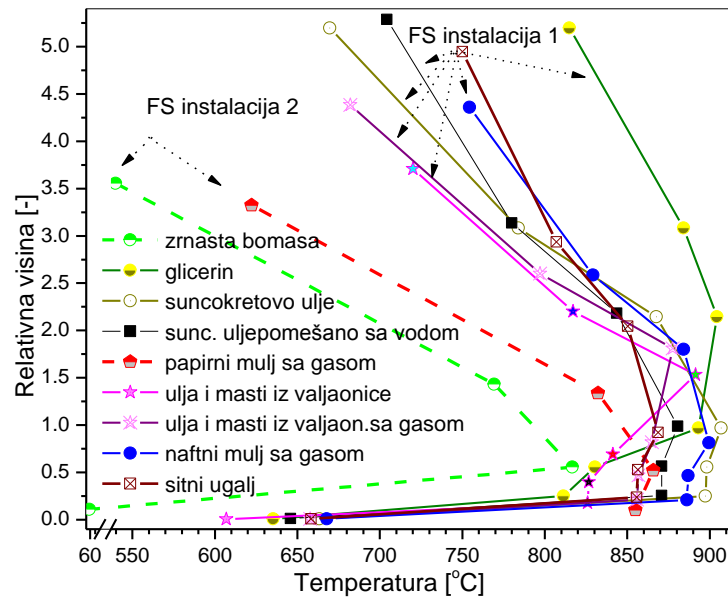
se stacionarni rad instalacije sa unapred definisanim parametrima rada. Potom se vrše merenja sastava dimnih gasova, protoka goriva, primarnog i sekundarnog vazduha (zbirna Tabela 2).

Tabela 2. Radni parametri FS instalacije 1  i 2 

Režim	Protok goriva [kg/h]		Temperatura aktiv. dela FS				Sastav gasa						$\lambda$	Protok prim. vazduha [l/h]	Protok sec. vazduha [l/h]	$v_f$ [m/s]	N [-]	$H_{exp}$ [mm]	$P_{lozmax}$ [kW]
			$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	C	O <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>							
			[°C]				%		ppm										
Sun. ilje	I	3,7	663	898	899	907	5,4	14,5	14	0	12	0	3	116500	2410	1,5	4,8	459	38
	II	4,7	646	871	871	884	5,3	14	2	0	10	0	3	116220	2300	1,5	4,6	451	38
Glicerin		8	634	811	813	893	5,9	14,1	-	-	-	-	3	114720	2630	1,3	4,1	498	38
Ulja i masti iz valj.	I	4,2	607	826	827	841	5	14,4	10	0	50	0	3,1	126480	2780	1,6	4,9	643	35
	II	5,3	658	856	857	865	5,7	13,5	0	0	87	0	2,8	75820	1800	0,95	3	544	27
Naft. mulj + gas		13,7 mulj + 2,6 gas	660	882	886	899	5,3	12,8	90	166	-	-	2,5	128133	2650	1,65	5	547	44
Sitni ugaj		7,8	658	856	856	869	7,9	13,8	20	940			2,9	73419	15128	0,94	3	482	30
Pap. mulj + gas		58,1 p.m. + 17,2 gas	855	866	832	·	7,2	11,7	87	78	42	2,4	2,4	565063	·	2,11	4,6	489	300
Kukuruz u zrnju		41.2	60	817	769	·	6,1	14,5	22	0	246	5	3	513722	·	1,9	4	457	170

Proces sagorevanja se u eksperimentima na FS instalaciji 1 obavljao u približno adijabatskim uslovima (bez razmene toplote u sloju), dok je na demonstracionom industrijskom kotlu (FS instalacija 2) postojala razmena toplote između sloja i zidova ložišta. Ložište instalacije 2 ima vodom hlađeni cilindrični plašt obložen vatrostalnom opeknom u zoni FS pa je otežan prenos toplote sa sloja na plašt ložišta (koji ima ulogu hladnjaka dimnih gasova) pa je i u tom postrojenju 2

sagorevanje u FS bilo blisko adijabatskom. Stoga izmereni viškovi vazduha  $\lambda$  u svim eksperimentalnim režimima približno odgovaraju viškovima vazduha pri teorijskim temperaturama sagorevanja goriva. Na Slici 3, dat je uporedni prikaz promena izmerenih temperatura po relativnoj visini ložišta (visina položaja termoparova u ložištu podeljena sa visinom ekspandiranog sloja) prilikom sagorevanja ispitivanih otpadnih goriva.



Slika 3. Promena temperatura po relativnoj visini ložišta

Sa slike 3 se vidi da prilikom sagorevanja zrnaste biomase i papirnog mulja doziranih na sloj, i uglja pneumatski doziranog u sloj, imamo efikasno uvlačenje plamena u sloj, što nije slučaj pri sagorevanju visoko volatilnih tečnih goriva gde je izražen proces dogorevanja u zoni iznad FS. Naime, tečna visoko volatilna goriva, naglo isparavaju pri ulasku u zagrejan FS i brzo prolaze kroz sloj bez adekvatnog mešanja sa vazduhom s posledicom premeštanja zone sagorevanja na zonu iznad slobodne površine FS, što je konstantovano i u radovima [6-9]. Stoga se za sagorevanje tečnih volatilnih goriva preporučuje veća visina FS, doziranje „u sloj“ i manji stepen fluidizacije N. Pri tome se parametri sagorevanja poboljšavaju pri dubljem uranjanju mlaznice u sloj. Zbog velike viskoznosti i lakog stinjanja naftnog mulja i istrošenih ulja iz valjaonice, neophodno je njihovo mešanje sa vodom i grejanje linije za doziranje. To ne samo da olakšava doziranje, već i dovodi do pomeranja zone intenzivnog sagorevanja prema sredini sloja, uz smanjenje emisije CO, što je ispitivano pri sagorevanju suncokretovog ulja i ulja i masti iz valjaonica u režimima II (Tabela 2).

Veliki sadržaj ukupnog balasta u naftnom i u papirnom mulju, zahteva podršku sagorevanja propanbutanom ili nekim drugim visoko kaloričnim gorivom.

Pri sagorevanju niskokvalitetnih frakcija uglja Lubnice ostvaruje se manja razlika temperatura u i iznad sloja, ali i veća emisija SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, od 2200mg/m<sup>3</sup> i 763

mg/m<sup>3</sup>, respektivno, nego pri sagorevanju ispitivanih tečnih goriva, što se rešava odsumporavanjem-dodavanjem krečnjaka u sloj, odnosno amonijaka (redukcija NO<sub>x</sub>). Kako su se eksperimenti sagorevanja odvijali na temperaturama od 810-900°C, koje su nepovoljne sa stanovišta formiranja termičkog i promptnog NO<sub>x</sub>, nešto viša emisija azotnih oksida nije posledica organizacije sagorevanja već je posledica visokog sadržaja azota u sastavu ispitivanog uglja, što je slučaj i sa sumporom (Tabela 1) i emisijom SO<sub>2</sub> (Tabela 2).

Kosagorevanjem papirnog mulja i gasa emisija SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> ne prelazi zakonske norme.

Koncentracija NO<sub>x</sub> od 634 mg/m<sup>3</sup> pri sagorevanju zrnaste biomase<sup>2</sup> nije posledica organizacije sagorevanja već satava ispitivane žitarice (kukuruz) koju karakteriše visok sastav N i O.

Vizuelno ispitivanje je potvrdilo postojanje intenzivnog mešanja u sloju i dobru ispunjenost plamena po zapremini ložišta u toku svih eksperimenata, što ukazuje na optimalnu kinetiku procesa termičke razgradnje ispitivanih goriva.

<sup>1</sup> Granična vrednost emisije za mala postrojenja za sagorevanje na čvrsta goriva na ugalj, brikete od uglja i koks, odnosi se na zapreminski udeo kiseonika u otpadnom gasu od 7%

<sup>2</sup> Granična vrednost emisije za mala postrojenja za sagorevanje na čvrsta goriva, a koja nisu ugalj, brikete od uglja i koks, odnosi se na zapreminski udeo kiseonika u otpadnom gasu od 13%.

## ZAKLJUČAK

Težište zaključaka ispitivanja podobnosti sagorevanja ispitivanih otpadnih materija i niskokaloričnih goriva u FS odnose se na kvalitet sagorevanja što podrazumeva potpunost sagorevanja i zadovoljenje ekoloških kriterijuma. Izloženi rezultati pokazuju da se goriva različita po sastavu i stanju mogu uspešno sagorevati u FS kotlovima uz pravilno definisane uslove sagorevanja. Izmerene koncentracije CO u dimnim gasovima su u svim slučajevima znatno niže od zakonom dozvoljenih granica, pa su i gubici usled nedogorelog u gasovitim produktima sagorevanja zanemarljivi. Komentar kvaliteta sagorevanja sa stanovišta zadovoljenja ekoloških propisa u pogledu emisije SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> su povoljni sem u slučaju sagorevanja sitnih frakcija uglja i kontaminiranog kukuruza, što je posledica hemijskog sastava navedenih materija, a ne posledica organizacije sagorevanja. Potrebno je istaći da u Uredbi o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduhu nije definisana granična vrednost emisije NO<sub>x</sub> pri sagorevanju biomase koja nije drvene prirode, što se može smatrati propustom, pogotovu kada se u vidu da od raspoložive količine biomase u Srbiji 60% se odnosi na biomasu iz poljoprivredne proizvodnje, a da upravo ratarsku biomasu karakteriše izuzetno visok sadržaj N usled intenzivnog đubrenja ratarskih kultura. Uz to zrnastu biomasu-žitarice, specijalno, karakteriše visok sadržaj proteina, zbog čega su žitarice veoma važne u ljudskoj i životinjskoj ishrani. Međutim, visok sadržaj proteina i drugih amino-kiselina implicira i visok sadržaj N u sastavu zrnaste biomase-goriva, pa samim tim i veću emisiju azotnih oksida (koji potiču od sastava goriva) pri njihovom sagorevanju. Sve ovo je potrebno imati u vidu pri sagorevanju i kontrolisanju emisije primarnim i sekundarnim merama.

Država je usvojila nacionalnu strategiju [13] za upravljanje otpadom, koja će u potpunosti uvesti evropske standarde u oblasti recikliranja/iskorišćenja otpada do 2019. Imajući u vidu sve veću potrebu i neophodnost rešavanja problema otpada iz domaće industrije i neminovnost iskorišćenja ostataka iz ratarske odnosno poljoprivredne proizvodnje u Srbiji, moguće je graditi savremene, efikasne i ekološki prihvatljive kotlove sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju za proizvodnju energije (toplotne i električne) u industriji i u sistemima daljinskog grejanja, sagorevajući ova goriva

koja se u kotlovima drugih tipova ne mogu sagorevati, ili se ne može ostvariti potrebna efikasnost sagorevanja i zadovoljiti obavezne ekološke norme.

## LITERATURA

1. Beškoski; V. P. Bioremedijacija zemljišta kontaminiranog naftom i naftnim derivatima: mikroorganizmi, putanje razgradnje, tehnologije. *Hemijska industrija* **2012**, 66(2), 275–289.
2. Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. Godine. Službeni glasnik RS, 2010 broj 29/10.
3. Upravljanje opasnim otpadom u Republici Srbiji. Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, 2011.
4. Nemoda, S., et al. Numerical model of gaseous fuel jet injection into a fluidized furnace. *Int. J. of Heat and Mass Transfer* **2009**, 52, 3427–3438.
5. Mladenović, M. i dr. Eksperimenti sagorevanja različitih tečnih goriva u ložištu sa fluidizovanim slojem. *Termotehnika* **2010**, 36(1), 133–142.
6. Mladenović, M. R., et al., Combustion of low grade fractions of Lubnica coal in fluidized bed. *Thermal Science* **2012**, 16(1), 295-309.
7. Mladenović, M. at al. A paper waste combustion in a demo-industrial facility with FB, Proceedings (on CD) of International Conference Power Plants, Zlatibor 2012, Serbia; pp. 1220-1236 (ISBN 978-86-7877-021-0).
8. Mladenović, M. i dr., Mogućnosti sagorevanja kontaminirane zrnaste biomase i drugih ostataka poljoprivredne proizvodnje u fluidizovanom sloju. *Savremena poljoprivredna tehnika* **2013**, 39 (4), 213-220.
9. Barker, D.; Beacham, B. "Development and Commercial Application of Liquid-Fuelled Fluidised Combustion", Proceedings of the Inst. Of Fuel Conf. "Fluidized Combustion: Systems and Applications", London (UK) 1980; p.IA-3-1.
10. Okasha, F.M.; El-Emam, S.H. M. The fluidized bed combustion of a heavy liquid fuel. *Experimental Thermal and Fluid Science* **2003**, 27(4), 473–480.
11. Miccio, F.; Miccio, M.; Repetto, L.; Gradassi A. T. Dispersion and Combustion of a Bitumen-based Emulsion in Bubbling Fluidized Bed, Proceedings on 15<sup>th</sup> International Conference on Fluidized Bed Combustion; ed., R. B. Reuther, ASME, CD-ROM, FBC99-0141, (1999), pp. 1354–1376.

12. Anthony, E. J.; Lu, D. Y.; Zhang, J. Q. Combustion Characteristics of Heavy Liquid Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. *Journal of Energy Resources Technology* 2002, 124(1), 40-47.
13. Nacionalna strategija za uključivanje Republike Srbije u mehanizam čistog razvoja – Upravljanje otpadom, poljoprivreda i šumarstvo, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, 2010, Službeni glasnik RS, broj 8/10.