

Bibliid: 0350-2953 (2017) 43(3): 101-110

UDK: 620; 62.6; 697;

Originalni naučni rad

Original scientific paper

## MOGUĆNOST NEKATALITIČKE REDUKCIJE NOX-a AMONIJAKOM PRI SAGOREVANJU BALIRANE BIOMASE U POTISNOM LOŽIŠTU

### POSSIBILITY OF NON CATALYTIC REDUCTION OF NOX BY AMMONIA AT BALED BIOMASS COMBUSTION IN PUSHING FURNACE

Milica Mladenović<sup>1</sup>, Ana Marinković<sup>1</sup>, Milijana Paprika<sup>1</sup>, Dragoljub Dakić<sup>2</sup>,  
Branislav Repić<sup>1</sup>, Stevan Nemoda<sup>1</sup>, Aleksandar Erić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča",  
Laboratorija za termotehniku i energetiku, 11351 Beograd, Mike Petrovića Alasa 12-14

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta,

11000 Beograd, Kraljice Marije 16

E-mail: mica@vinca.rs

#### SAŽETAK

Intenzivnije korišćenje poljoprivredne biomase kao goriva doprinosi unapređenju poljoprivredne proizvodnje jer se tako dobijena energija "na licu mesta", bez dodatne sopstvene potrošnje za pripremu goriva, najlakše koristi u tehnologijama koje podižu nivo obrade poljoprivrednih proizvoda. Karakteristično za sagorevanje agrarne (poljoprivredne) biomase je povišena emisija azotnih oksida. Stoga je u radu posvećena posebna pažnja analizi emisije NO<sub>x</sub> i efektima nekatalitičke denitrifikacije amonijakom, pri sagorevanju u eksperimentalnom ložištu pogodnom za sagorevanje celih malih bala po cigaretnom principu. Efekti su analizirani u režimima sagorevanja sa različitim parametrima i to: temperaturama sagorevanja i različitim NH<sub>3</sub>/NO odnosom.

**Cljučne reči:** Biomasa, sagorevanje, NO<sub>x</sub> emisija, denitrifikacija.

#### 1. UVOD

Prema Nacionalnom akcionom planu za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srbije, u skladu sa obavezom Direktive 2009/28/E3 – Odluka 2009/548/E3, do 2020. godine planira se korišćenje 27% energije dobijene iz obnovljivih izvora energije (OIE). Srbija ima potencijala za proizvodnju 5,6 Mtoe (tona ekvalenta nafte) energije iz OIE, od čega su potencijali biomase procenjeni na oko 3,3 Mtoe, sa 2 Mtoe (~60%) potencijalom poljoprivredne biomase (Repic et al. 2013). Biomasa iz poljoprivredne proizvodnje je većinom raspoloživa u baliranom stanju. Tehnologija cigaretnog sagorevanja, odn. sagorevanja u potisnom ložištu, kojom se efikasno i kontrolisano sagoreva biomasa u formi kako se i prikuplja na njivama i skladišti (Mladenović et al. 2008, Erić, 2010, Đurović i dr. 2016), je preporučena od komisija Evropske Unije kao najpogodnija za sagorevanje balirane biomase (Kavalov and Peteves, 2004).

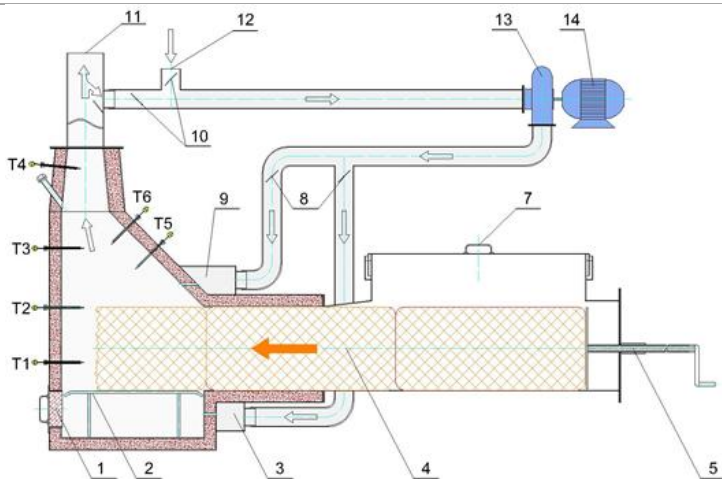
Biomasa, kao i svako drugo gorivo, pri sagorevanju emituje izvesne polutante, od kojih su azotni oksidi, NO<sub>x</sub>, posebno problematični sa aspekta formiranja fotohemijskog smoga, prizemnog ozona, kiselih kiša, pogoršanja vidljivosti, oštećenja prirodnih ekosistema i useva, kao i zbog formiranja otrovnih i iritirajućih hemikalija u atmosferi, uzročnika respiratornih zdravstvenih problema (Mladenović i dr. 2017). Problemi vezani za emisiju NO<sub>x</sub> se mogu očekivati posebno pri sagorevanju poljoprivredne biomase jer ona sadrži visok procenat N usled izraženog sadržaja proteina, zbog čega je i značajna kao nutrient. Pored toga upotreba azotnih đubriva u poljoprivredi dodatno doprinosi povećanju N u ovoj biomasi (Mladenović et al. 2016).

Rad upravo spreže obe problematike - sagorevanje balirane biomase u ložištu sa cigaretnim principom sagorevanja uz ispitivanje efekata dodavanja 25% vodenog rastvora amonijaka (NH<sub>3</sub>) u ložište, u cilju denitrifikacije dimnih gasova.

## **2. MATERIJAL I METOD**

### **2.1. Opis eksperimentalnog postrojenja za sagorevanje balirane biomase**

Eksperimentalno ložište (Erić i dr. 2013) je prilagođeno sagorevanju bala dimenzija 0,45×0,35×0,80 cm (Sl. 1). U eksperimentima su korišćene bale pšenične slame. Balirana biomasa (poz. 4) se pomoću navojnog vretena (5) uvodi u izolovano ložište, sa oslanjanjem donjeg dela bale na rešetku (2). Ložište je izolovano izolacionim materijalom debljine 30 mm, koeficijenta toplotne provodljivosti 0,3 W/(mK), pa je odavanje toplote okolini svedeno na minimum. Vazduh za sagorevanje se u ložište uvodi na dva nivoa preko distributivnih komora (3 i 9), sa raspodelom preko klapni (8). Aparatura omogućava i recirkulaciju dimnog gasa sa regulisanjem stepena recirkulacije klapnama (10). Fluid za sagorevanje (vazduh/mešavina vazduha i dimnog gasa) se transportuje ventilatorima (13 i 14). Postavljen je niz termoparova za merenje temperaturskog profila u ložištu, kao i merači protoka fluida za sagorevanje (Sl. 1 i 2). Startovanje procesa sagorevanja biomase se vrši pilot plamenom kroz otvor za start i reviziju (1).



Sl. 1. Eksperimentalna aparatura

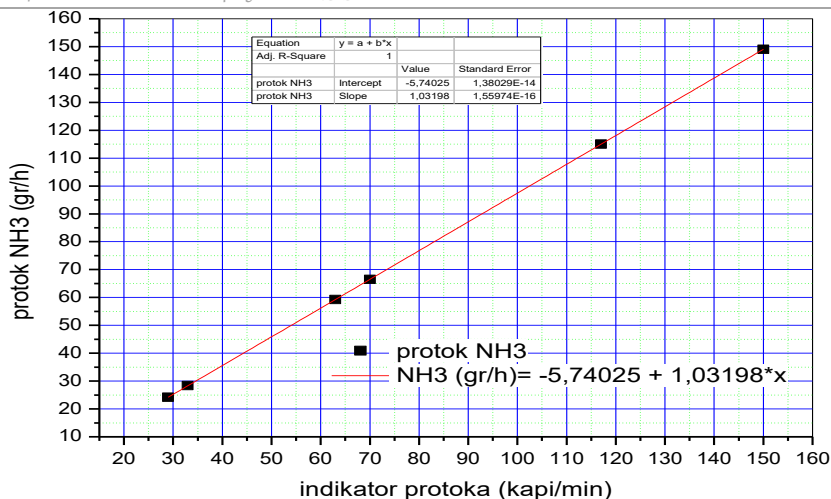
Fig. 1. Experimental facility

Rastvor  $\text{NH}_3$  se uvodi u nivou nešto višim od nivoa termopara 2. Protok de $\text{NO}_x$  reduktanta je meren brojanjem kapljica na indikatoru protoka (Sl. 3). Merenje protoka fluida za sagorevanje u oba kanala vrši se Pitot-Pradtl-ovim sondama i mikromanometrima ALNOR visoke tačnosti (dinamički pritisci u dovodnim kanalima 20 - 100 Pa). Doziranje /protok goriva, se meri i reguliše kontrolisanjem broja obrtaja navojnog vretena poznatog koraka uz poznatu masu bale po jedinici dužine. Težine bale se mere digitalnom vagom KERN. Korišćen analizador gasa je MRU Air fair Varioplus Industrial. Za akviziciju temperature korišćen je višekanalni akviziter Kitley.



Sl. 2. Spoljni izgled eksperimentalnog postrojenja

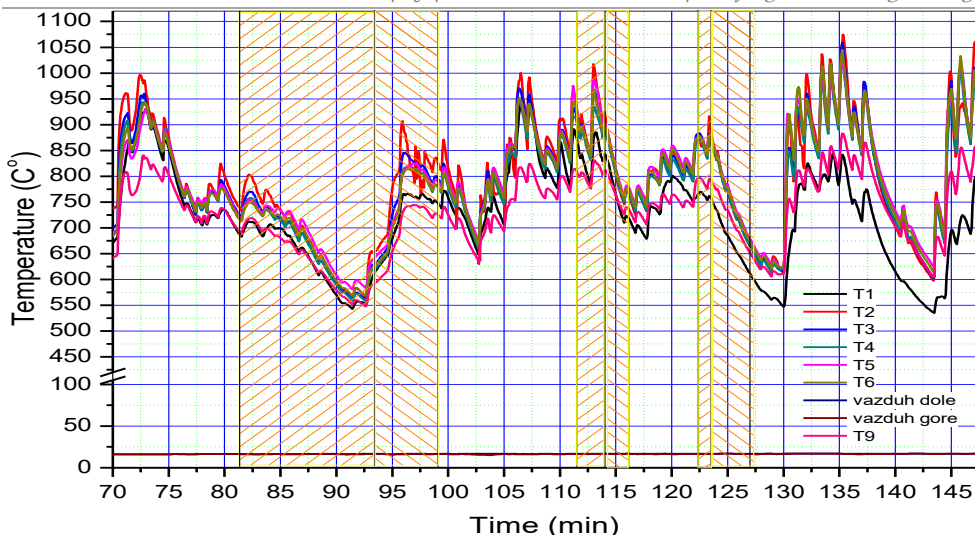
Fig. 2. The external appearance of experimental facility



Sl. 3. Baždarni dijagram za protok reduktanta  
Fig. 3. Calibration diagram for reductant flow

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Svi rezultati eksperimentalnih ispitivanja prikazani su obliku dijagrama i tabela. Promena merenih temperatura u vremenu tokom čitavog eksperimenta sagorevanja balirane pšenične slame data je na Slici 4, sa šrafiranim periodima kada je u ložište ubacivan amonijak. U sva tri slučaja ubacivanja ovog deNOx reduktanta varirani su njegovi protoci. Nadalje je svaki od ovih perioda dat posebno, sa usrednjenim vrednostima parametara.



Sl. 4. Temperaturski profil sa označenim periodima doziranja  $\text{NH}_3$  u ložište  
 Fig. 4. Temperatures profile with marked  $\text{NH}_3$  dosing periods in the furnace

**Eksperiment I:** Temperaturski profil i koncentracije merenih gasova ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) tokom ovog eksperimenta prikazani su na Sl. 5. Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  na osnovu parametara (režima) sagorevanja eksperimenta I prikazan je u Tabeli 1. Protok vazduha  $G_{v1}$  (dole) i  $G_{v2}$  (gore) odnose se na količine vazduha ubačene u ložište preko donje distributivne komore (poz. 3, Sl. 1.) i donje komore (poz. 9). Isto se odnosi i na pad pritiska  $\Delta p_1$  (donji vazduh) i  $\Delta p_2$  (gornji vazduh). Koncentracija azotmonoksida u Tabeli 1 merena je pre doziranja reduktanta. Usrednjene koncentracije relevantnih gasova iz eksperimenta I u toku doziranja deNOx reduktanta date su u Tabeli 2.

**Tab. 1.** Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment I

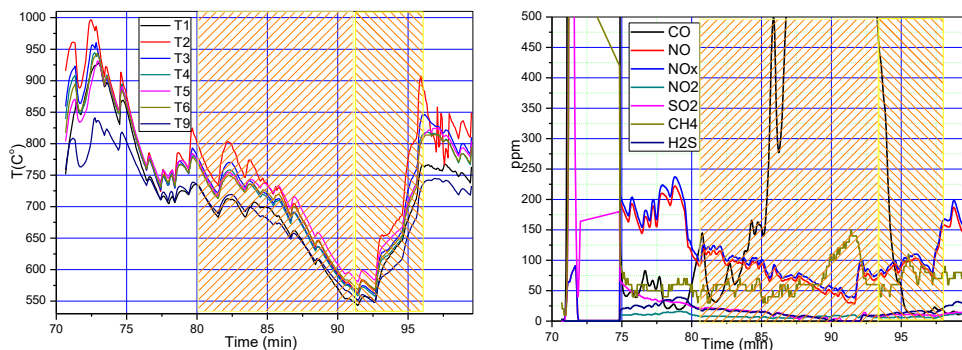
**Tab. 1.** Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment I

| $\tau$ , min | $\Delta p_1$<br>[Pa] | T7<br>[°C] | $\rho_1$          | $G_{v1}$ |       | $\Delta p_2$<br>[Pa] | T8<br>[°C] | $\rho_2$          |
|--------------|----------------------|------------|-------------------|----------|-------|----------------------|------------|-------------------|
|              |                      |            | kg/m <sup>3</sup> | kg/s     | kg/h  |                      |            | kg/m <sup>3</sup> |
| 80-92        | 50                   | 16,43      | 1,256             | 0,05     | 178,2 | 38                   | 16,23      | 1,257             |
| 92-97        | 45,5                 | 16,54      | 1,256             | 0,05     | 169,9 | 33                   | 16,25      | 1,257             |

Tab. 1. (nastavak) Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment I

Tab. 1. (continued) Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment I

| $G_{v2}$ |       | Mv    | Mg   | Mps   | NO   | NO    | $\text{NH}_3$ | $\text{NH}_3/\text{NO}$ |
|----------|-------|-------|------|-------|------|-------|---------------|-------------------------|
| kg/s     | kg/h  | kg/h  | kg/h | kg/h  | ppm  | g/h   | g/h           | molški                  |
| 0,04     | 155,5 | 333,5 | 14,8 | 347,3 | 150  | 52,1  | 71            | 2,4                     |
| 0,04     | 144,8 | 314,7 | 17,4 | 330,9 | 90,8 | 30,05 | 99            | 5,8                     |



Sl. 5. Temperaturski profil i koncentracije gasova u eksperimentu I  
Fig. 5. Temperature profile and gas concentrations in experiment I

Tab. 2. Usrednjene koncentracije relevantnih gasova za eksperiment I

Tab. 2. Averaged concentrations of relevant gases for experiment I

| $\tau$ , min | $\text{O}_2$ | $\text{CO}_2$ | $\lambda$ | NO   | CO  |
|--------------|--------------|---------------|-----------|------|-----|
|              | %            |               | -         | ppm  |     |
| 80-92        | 13,63        | 7,1           | 2,97      | 76,3 | 680 |
| 92-97        | 10,12        | 10,23         | 2,03      | 85,8 | 295 |

**Eksperiment II:** Temperaturski profil i koncentracije merenih gasova ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) tokom eksperimenta II prikazani su na Sl. 6. Proračun molaskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  na osnovu parametara (režima) sagorevanja eksperimenta I prikazan je u Tabeli 3. Koncentracija azotmonoksida u Tabeli 3 merena je pre doziranja reduktanta. Usrednjene koncentracije relevantnih gasova iz eksperimenta I u toku doziranja deNO<sub>x</sub> reduktanta date su u Tabeli 4.

Tab. 3. Proračun molaskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment II

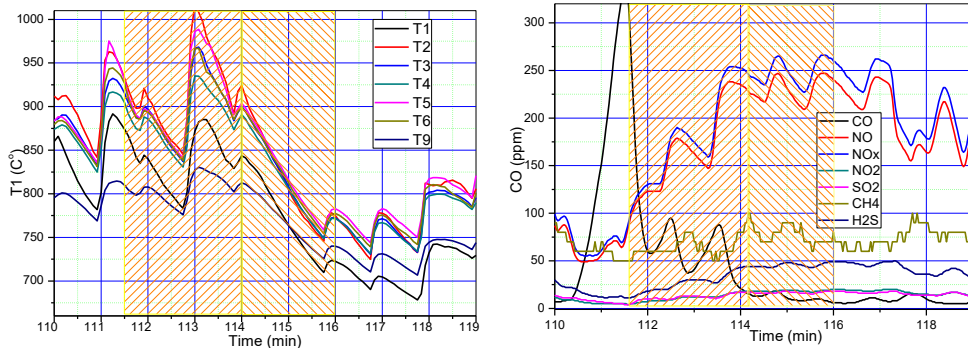
Tab. 3. Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment II

| $\tau$ , min | $\Delta p_1$<br>[Pa] | T7<br>[°C] | $\rho_1$          | $G_{v1}$ |        | $\Delta p_2$<br>[Pa] | T8<br>[°C] | $\rho_2$          |
|--------------|----------------------|------------|-------------------|----------|--------|----------------------|------------|-------------------|
|              |                      |            | kg/m <sup>3</sup> | kg/s     | kg/h   |                      |            | kg/m <sup>3</sup> |
| 111,5-114    | 52,5                 | 16,82      | 1,255             | 0,05     | 182,44 | 37                   | 16,45      | 1,256             |
| 114-116      | 52,5                 | 16,89      | 1,254             | 0,05     | 182,42 | 37                   | 16,53      | 1,256             |

**Tab. 3.** (nastavak) Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment II

**Tab. 3.** (continued) Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment II

| $G_{v2}$ |        | $M_v$  | $M_g$ | $M_{ps}$ | NO    | NO    | $\text{NH}_3$ | $\text{NH}_3/\text{NO}$ |
|----------|--------|--------|-------|----------|-------|-------|---------------|-------------------------|
| kg/s     | kg/h   | kg/h   | kg/h  | kg/h     | ppm   | g/h   | g/h           | molski                  |
| 0,04     | 153,26 | 335,71 | 17,4  | 351,89   | 100,1 | 35,22 | 48            | 2,4                     |
| 0,04     | 153,24 | 335,66 | 17,4  | 351,84   | 250,4 | 88,10 | 133           | 2,7                     |


**Sl. 6.** Temperaturski profil i koncentracije gasova u eksperimentu II

**Fig. 6.** Temperature profile and gas concentrations in experiment II

**Tab. 4.** Usrednjene koncentracije relevantnih gasova za eksperiment II

**Tab. 4.** Averaged concentrations of relevant gases for experiment II

| $\tau$ , min | $\text{O}_2$ | $\text{CO}_2$ | $\lambda$ | NO    | CO   |
|--------------|--------------|---------------|-----------|-------|------|
|              | %            |               | -         | ppm   |      |
| 111,5-114    | 11,98        | 8,44          | 2,34      | 58,10 | 86,5 |
| 114-116      | 10,33        | 10,18         | 1,98      | 81,06 | 11,1 |

**Eksperiment III:** Temperaturski profil i koncentracije merenih gasova ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ) tokom eksperimenta III prikazani su na Sl. 7. Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  na osnovu parametara (režima) sagorevanja eksperimenta III prikazan je u Tabeli 5. Koncentracija azotmonoksida u Tabeli 5 merena je pre doziranja reduktanta. Usrednjene koncentracije relevantnih gasova iz eksperimenta III u toku doziranja deNO<sub>x</sub> reduktanta date su u Tabeli 6.

**Tab. 5.** Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment III

**Tab. 5.** Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment III

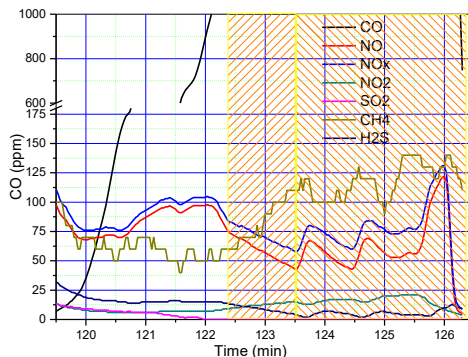
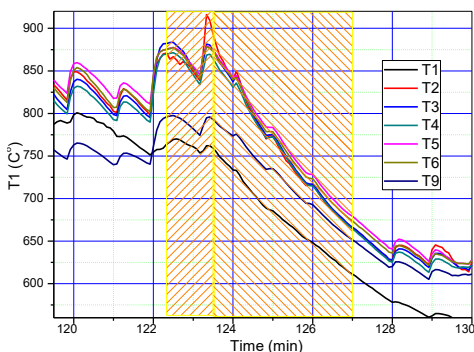
| $\tau$ , min | $\Delta p_1$<br>[Pa] | T7<br>[°C] | $\rho_1$          | $G_{v1}$ |      | $\Delta p_2$<br>[Pa] | T8<br>[°C] | $\rho_2$          |
|--------------|----------------------|------------|-------------------|----------|------|----------------------|------------|-------------------|
|              |                      |            | kg/m <sup>3</sup> | kg/s     | kg/h |                      |            | kg/m <sup>3</sup> |

|             |      |       |       |      |        |    |       |       |
|-------------|------|-------|-------|------|--------|----|-------|-------|
| 122,3-123,5 | 52,5 | 16,82 | 1,255 | 0,05 | 182,45 | 37 | 16,39 | 1,256 |
| 123,5-127   | 52,8 | 16,88 | 1,254 | 0,05 | 182,95 | 37 | 16,51 | 1,256 |

**Tab. 5.** (nastavak) Proračun molskog odnosa  $\text{NH}_3/\text{NO}$  za eksperiment III

**Tab. 5.** (continued) Calculation of the molar ratio  $\text{NH}_3/\text{NO}$  for experiment III

| $G_{v2}$ |        | Mv     | Mg   | Mps    | NO    | NO    | $\text{NH}_3$ | $\text{NH}_3/\text{NO}$ |
|----------|--------|--------|------|--------|-------|-------|---------------|-------------------------|
| kg/s     | kg/h   | kg/h   | kg/h | kg/h   | ppm   | g/h   | g/h           | molski                  |
| 0,04     | 153,28 | 335,72 | 17,4 | 351,90 | 94,00 | 33,08 | 38            | 2,0                     |
| 0,04     | 153,25 | 336,19 | 17,4 | 352,37 | 47,01 | 16,57 | 114           | 12                      |



**Sl. 7.** Temperaturski profil i koncentracije gasova u eksperimentu III

**Fig. 7.** Temperature profile and gas concentrations in experiment III

**Tab. 6.** Usrednjene koncentracije relevantnih gasova za eksperiment III

**Tab. 6.** Averaged concentrations of relevant gases for experiment III

| $\tau$ , min | $\text{O}_2$ | $\text{CO}_2$ | $\lambda$ | $\text{NO}$ | $\text{CO}$ |
|--------------|--------------|---------------|-----------|-------------|-------------|
|              | %            |               |           | ppm         |             |
| 111,5-114    | 14           | 5,9           | 3,45      | 59,42       | 1552        |
| 114-116      | 14,14        | 6,37          | 3,4       | 61,01       | 1850        |

Na osnovu grafičkih i tabelarnih prikaza se može zaključiti da je najuspešniji eksperiment što, se tiče stepena denitrifikacije, bio eksperiment br. I (Sl. 5.), jer je NO sa 150 ppm neposredno pre uvođenja reduktanta smanjen na 76,3 ppm, pri molskom odnosu  $\text{NH}_3/\text{NO} = 2,4$ , ali se istovremeno javlja i porast ugljen monoksida. Sa povećanjem molskog odnosa ova dva gasa na 5,8, kao i smanjenja viška vazduha  $\lambda=2$ , CO pada na 295 ppm uz blago povećanje NO u odnosu na prethodni režim eksperimenta I (Tabela 1 i 2). U eksperimentu II, NO raste (Tabela 3 i 4) nakon ubacivanja reduktanta (Sl. 6.) u slučaju molskog odnosa 2,4 i višim temperaturama sagorevanja nego u eksperimentu I, ali sa jako niskim vrednostima CO. Kada je molski odnos povećan na 2,7, NO se ustaljuje na 250



ppm, pri nižim temperaturama sagorevanja nego u prethodnom režimu eksperimenta II. U eksperimentu III za moljski odnos  $\text{NH}_3/\text{NO}=2$  i 12 (Tabela 5) imamo neznatno smanjenje  $\text{NO}_x$  i izrazito povećanje CO (Tabela 6), što se pripisuje izrazito niskim srednjim temperaturama sagorevanja u ložištu (Sl. 7.), usled kojih  $\text{NH}_3$  nije izreagovao sa NO.

Iz svega iznetog može se zaključiti da su dosada izvršena eksperimentalna ispitivanja pokazala primetan uticaj ubacivanja amonijaka na efekat redukcije azotnih oksida. Neophodno je nastaviti sa daljim eksperimentalnim ispitivanjima procesa sa dužim režimima ubacivanja amonijaka u ložišni prostor.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu priloženih rezultata se može zaključiti da je za pravilno vođenje denitrifikacionog procesa u potisnom ložištu za sagorevanje bala pšenične slame, potrebno pre svega proces denitrifikacije sa  $\text{NH}_3$  voditi u pravom temperaturskom opsegu i to od 850-950 °C, i pri moljskom odnosu  $\text{NH}_3/\text{NO} = 3-5$ , kao i optimalnim viškom vazduha ( $\lambda \sim 2$ , za ovaj tip goriva), što zahteva dobro kontrolisane uslove sagorevanja i sofisticiran način doziranja uz kontinualnu akviziciju parametara sagorevanja. Eksperimenti u ovom radu su dali dobar putokaz za dalja opsežna istraživanja na polju  $\text{NH}_3$ -denitrifikacije, kao i smernice za bolju organizaciju sagorevanja u ložištu u smislu poboljšanja načina kontinualnog doziranja malih bala.

#### 5. LITERATURA

- [1] Đurović D, Dakić D, Repić B, Živković G, Mladenović M. (2016). Optimizacija ložišta za sagorevanje poljoprivredne biomase u cilju povećanja energetske efikasnosti i smanjenja zagađenja životne sredine. *Savremena poljoprivredna tehnika* 42(4): 187-196.
- [2] Erić A. (2010). Termomehanički procesi pri sagorevanju baliranog sojinog ostatka u potisnom ložištu. Ph.D. diss, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.
- [3] Erić A, Dakić D, Repić B, Đurović D, Mladenović M, Nemoda S. (2013). Analiza sagorevanja balirane biomase u ložištu toplotne snage 50 kW. *Savremena poljoprivredna tehnika* 39(4): 221-228.
- [4] Kavalov B, Peteves S. D. (2004). Bioheat Applications in the European Union: An Analysis and Perspective for 2010. European Commission, Directorate General, Joint Research Centre, Petten, The Netherlands.
- [5] Mladenović R, Erić A, Mladenović M, Repić B, Dakić D. (2008). Energy Production Facilities of Original Concept for Combustion of Soya Straw Bales, Proceedings. In Proc: 16th European Biomass Conference & Exhibition - From Research to Industry and Markets, 1260-1270. Valencia, Spain, 2-6 June.
- [6] Mladenović M.R, Dakić D.V, Nemoda S.Đ, Paprika M.P, Komatina M.S, Repić B.S, Erić A.M. (2016). The combustion of biomass - the impact of its types and combustion technologies on the emission of nitrogen oxide. *Hemijska industrija* 70(3): 287-298.

- [7] Mladenović M, Marinković A, Paprika M, Repić B. (2017). Eksperimentalna aparatura za simulaciju sagorevanja biomase i kontrolu azotnih oksida. In Proc: 30 međunarodni kongres o procesnoj industriji PROCESING 2017, 175-182. Beograd, Srbija, 1-2 jun.
- [8] Repić B, Dakic D, Eric A, Djurovic D, Marinkovic A, Nemoda S. (2013). Investigation of the cigar burner combustion system for baled biomass. Biomass and Bioenergy 58: 10-19.

## **POSSIBILITY OF NON CATALYTIC REDUCTION OF NOX BY AMMONIA AT BALED BIOMASS COMBUSTION IN THRUSTED FURNACE**

**Milica Mladenović, Ana Marinković, Milijana Paprika, Dragoljub Dakić,  
Branislav Repić, Stevan Nemoda, Aleksandar Erić**

### **SUMMARY**

More intensive use of baled biomass as a fuel contributes to the improvement of agricultural production, because of the efficiently generated energy, without the additional own electricity consumption, is best used in technologies that raise the processing level of agricultural products. Emission of nitrogen oxides is characteristic for combustion of agricultural / baled biomass. Therefore, a special attention has been paid here to the analysis of NO<sub>x</sub> emissions and the effects of non-catalytic denitrification with ammonia in the baled biomass combustion. The experiments were carried out in a cigarette-type experimental furnace burning small bales. The effects were analyzed for the combustion regimes varying combustion temperatures and different NH<sub>3</sub>/NO ratio.

**Keywords:** Biomass, combustion, NO<sub>x</sub> emissions, denitrification.

**Napomena:** Rad je realizovan u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije „Razvoj i unapređenje tehnologija za energetski efikasno korišćenje više formi poljoprivredne i šumske biomase na ekološki prihvatljiv način, uz mogućnost kogeneracije“, Ev. broj projekta III42011, i projekta „Unapređenje industrijskog postrojenja sa fluidizovanim slojem u okviru razvoja tehnologije za energetski efikasno i ekološki opravdano sagorevanje različitih otpadnih materija u fluidizovanom ložištu“, Ev. broj projekta TR33042.

**Primljeno:** 12. 08. 2017. god.

**Prihvaćeno:** 19. 08. 2017. god.