

Bibliid: 0350-2953 (2011)37, 3: 245-252
UDK:628.4.042: 536.7

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**UTICAJ SASTAVA BIOGASA NA EMISIJU POLUTANATA MIKROTURBINE
SA PILOT GORIONIKOM
EFFECT OF BIOGAS'S COMPOSITION ON EMISSIONS OF MICROTURBINE
WITH PILOT BURNER**

Marija Živković¹, Miroljub Adžić², Dejan Ivezić¹, Aleksandar Milivojević², Vasko Fotev², Dušan Danilović¹

¹Univerzitet u Beogradu-Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Đušina 7.

²Univerzitet u Beogradu- Mašinski fakultet, Beograd, Kraljice Marije 16.

zivkovic@rgf.bg.ac.rs

REZIME

Stimulacija korišćenja biogasa, koji predstavlja gorivo dobijeno iz obnovljivih izvora energije, intenzivirala je istraživanja vezana za razvoj i implementaciju različitih tehnika sagorevanja. Optimalna tehnika sagorevanja biogasa bi trebalo da obezbedi stabilno sagorevanje, uz zadovoljavanje sve strožijih ekoloških standarda u širokom dinamičkom opsegu rada. Prisustvo inertne komponente uzrokuje probleme vezane za stabilnost sagorevanja, gubitke energije, kao probleme vezane za emisiju štetnih supstanci. Sastav biogasa može značajno da varira u zavisnosti od načina proizvodnje i korišćene sirovine. Pored toplotne moći, koja se menja promenom sastava bigasa, takođe dolazi i do promena karakteristika sagorevanja, uključujući i emisiju štetnih supstanci. U radu je prikazano eksperimentalno istraživanje uticaja sadržaja ugljendioksida (inertne komponente) na emisiju azotnih oksida i ugljenmonoksida. Istraživanje je vršeno pomoću vihornog gorionika mikroturbine sa pilot gorionikom indukovanjem dva intenzivna vihora, variranjem mogućeg sastava biogasa i koeficijenta viška vazduha, pri nominalnoj snazi 9 kW. Utvrđeno je da sa povećanjem sadržaja ugljendioksida emisija azotnih oksida smanjuje, dok emisija ugljenmonoksida raste u celom opsegu koeficijenata viška vazduha za koje su vršena merenja.

Cljučne reči: sagorevanje, biogas, emisija polutanata.

1.UVOD

Problem energije uz hranu, vodu i sirovine predstavlja jedan od ključnih problema čovečanstva. Rast broja stanovnika kao i rast životnog standarda uslovljavaju sve veće potrebe energije, kako bi se ostvario zadovoljavajući nivo kvaliteta života. U prethodnom periodu koji su karakterisale niske cene kvalitetnih energenata, korišćenje energenata male toplotne moći bilo je zanemareno, s obzirom na teškoće koje se javljaju prilikom sagorevanja takvih goriva.

Promene na svetskom tržištu energije i rast cena energenata doveli su do pojave interesovanja za korišćenje gasova male toplotne moći - takozvanih "niskokaloričnih" gasova. U niskokalorične gasove spadaju prirodni gas sa povećanim sadržajem inertnih

komponenti (azot i/ili ugljendioksid), biogas i gas dobijen gasifikacijom uglja. Potreba za što manjom uvoznom zavisnošću (kada je reč o prirodnom gasu) i stimulacija korišćenja biogasa, koji predstavlja gorivo dobijeno iz obnovljivih izvora energije, inicirale su poslednjih godina intenziviranje istraživanja vezanih za razvoj i implementaciju različitih tehnika sagorevanja. Optimalna tehnika sagorevanja bi trebalo da obezbedi stabilno sagorevanje, uz zadovoljavanje sve strožijih ekoloških standarda u širokom dinamičkom opsegu rada. Predviđen rast korišćenja obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u državama Evropske unije do 2020. godine, kada u potrošnji primarne energije treba da budu zastupljeni sa 20% [1], čini problem istraživanja sagorevanja biogasa izuzetno aktuelnim. Procenjene količine biomase ukazuju da je reč o respektabilnom energentu u Srbiji [2].

Prisustvo inertne komponente uzrokuje probleme vezane za stabilnost sagorevanja, gubitke energije, kao probleme vezane za emisiju štetnih supstanci. Dodatno, mnoge od smeša niskokaloričnih gasova su van radnog režima konvencionalnih gorionika, tako da je često potrebna rekonstrukcija uređaja, kako bi se omogućilo sagorevanje takvih gasova.

Malo je adekvatnih tehnika za efikasno sagorevanje goriva male toplotne moći [3], a neke od njih su: interna recirkulacija toplote, sagorevanje vihornim gorionicima sa unutrašnjom recirkulacionom zonom, Flox tehnologija sa recirkulacijom produkata sagorevanja, višestepeno dovođenje vazduha ili sagorevanje u prisustvu katalizatora, kao i sagorevanje u poroznoj sredini [4]. Neke od ovih tehnika zahtevaju specifične uslove, kao što su velika zapremina, degradacija katalizatora itd. U novije vreme razvijena je tehnika blagog sagorevanja ("Mild combustion - moderate or intense low-oxygen dilution") [5]. To je takav način sagorevanja, koji obezbeđuje malu emisiju polutanata, što se posebno odnosi na termički NOx i ugljenmonoksid, dok se termička efikasnost sistema održava na visokom nivou.

Za dobijanje zadovoljavajućih parametara pri sagorevanju goriva male toplotne moći treba obezbediti uslove za recirkulaciju produkata sagorevanja, što se može postići i primenom sagorevanja u vihornoj struji, koja je izrazito povoljna sa stanovišta emisije polutanata, kao i mogućnosti stabilizacije plamena [6].

Izuzev istraživanja prikazanog u [5] nema podataka o uticaju sastava biogasa na emisiju polutanata koji nastaju kao posledica sagorevanja. Sastav biogasa značajno varira u zavisnosti od korišćene sirovine i načina proizvodnje [7-10]. Najveće razlike u sastavu vezane su za sadržaj ugljendioksida i posledično sadržaj metana u razmatranom biogasu. Kako je prikazano u [7-10] zapreminski udeo ugljendioksida može biti od 0,24 do 0,4, dok je udeo metana u opsegu 0,37 do 0,68.

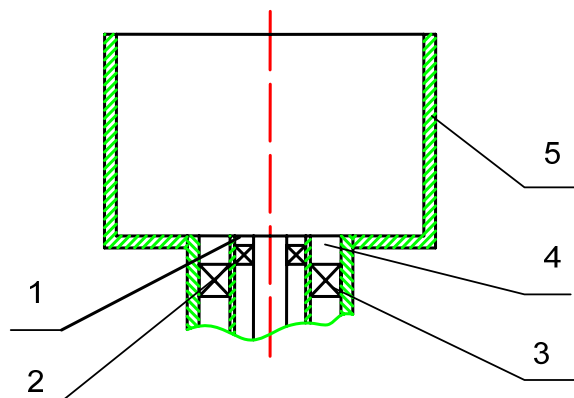
Istraživanje prikazano u ovom radu za cilj ima utvrđivanje uticaja sastava biogasa (odnosno sadržaja ugljendioksida) na emisiju polutanata: azotnih oksida-NOx i ugljenmonoksida.

2.MATERIJAL I METOD

Za istraživanje sagorevanja biogasa izabran je vihorni gorionik sa pilot gorionikom koji je razvijen u Laboratoriji za sagorevanje Mašinskog fakulteta u Beogradu, koji je šematski prikazan na slici 1. Gorionik je konstruisan tako da objedinjuje dva načina stabilizacije plamena: recirkulaciju koja se postiže zahvaljujući sagorevanju u vihornoj struji i dodatni

pilot gorionik, kako bi se ostvarili što bolji parametri sagorevanja gasa sa povećanim sadržajem inertne komponente [11-14]. Postojanje pilot plamena na obodu gorionika poboljšava stabilnost plamena nadoknađujući gubitke toplote u korenu plamena i zoni stabilizacije, onemogućavajući da plamen uđe u zonu nestabilnosti, što bi vodilo odizanju i oduvavanju plamena [15]. U cilju redukcije emisije polutanata objedinjeno je nekoliko mera primarne kontrole: recirkulacija, prethodno ostvarenje gorive smeše i sagorevanje u uslovima siromašne smeše [16].

U pilot gorioniku (1) sagoreva butan, uz prethodno ostvarenje gorive smeše sa vazduhom. Istraživanje je vršeno sa koeficijentom viška vazduha pilot gorionika $\lambda_1=1,2$ i toplotnom snagom pilot gorionika 1kW.



Sl.1. Šematski prikaz gorionika

1-pilot gorionik, 2-vrtložnik pilot gorionika-unutrašnji vrtložnik, 3-spoljašnji vrtložnik, 4-gorionik, 5-komora za sagorevanje

Fig.1. Schematic view of a burner

1- pilot burner, 2-burner turbulator pilot burner-internal turbulator, 3-external turbulator, 4-burner, 5-combustion chamber

Koaksijalno postavljen vihorni gorionik mikroturbine (4) kao gorivo koristi laboratorijski model prirodnog gasa. Merenja su vršena tako što je zapreminsko učešće ugljen-dioksida u gorivu varirano i to $r_{CO_2} = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$. Na ovaj način se simulira mogući sastav biogasa koji je promenljiv u zavisnosti od sirovine i metode dobijanja (Tabela 1.) Nominalna snaga gorionika mikroturbine održavana je na 8kW, pri svim merenjima. Gorivo i vazduh su prethodno mešani. Koeficijent viška je variran i to: $\lambda_2=1,2; \lambda_2=1,4; \lambda_2=1,6; \lambda_2=1,8$.

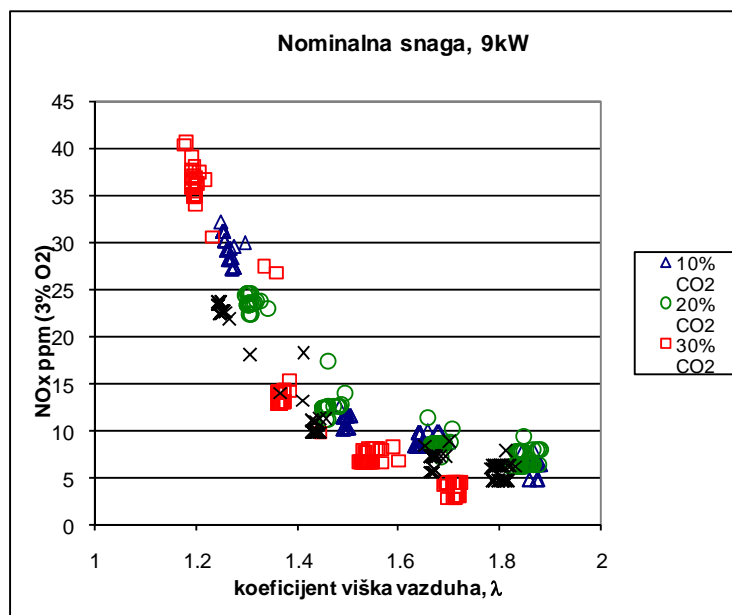
Izabrani su vrtložnici (2, 3) čiji su vihorni brojevi takvi da indukuju intenzivan vikor i to za pilot gorionik $S_1=1,98$ i za vihorni gorionik $S_2=1,13$.

Sastav produkata sagorevanja meren je gasnim analizatorom TESTO 350 XL.

3.REZULTATI I DISKUSIJA

3.1.Uticaj sadržaja ugljendioksida na emisiju azotnih oksida

Rezultati eksperimentalnog istraživanja pri nominalnoj snazi 9 kW (8kW vihorni gorionik + 1kW pilot gorionik), prikazani su na dijagramu na slici 2.



Sl. 2. Uticaj sadržaja ugljendioksida u biogasu na emisiju azotnih oksida

Fig. 2. Influence of carbon dioxide content in the biogas on emissions of nitrogen oxides

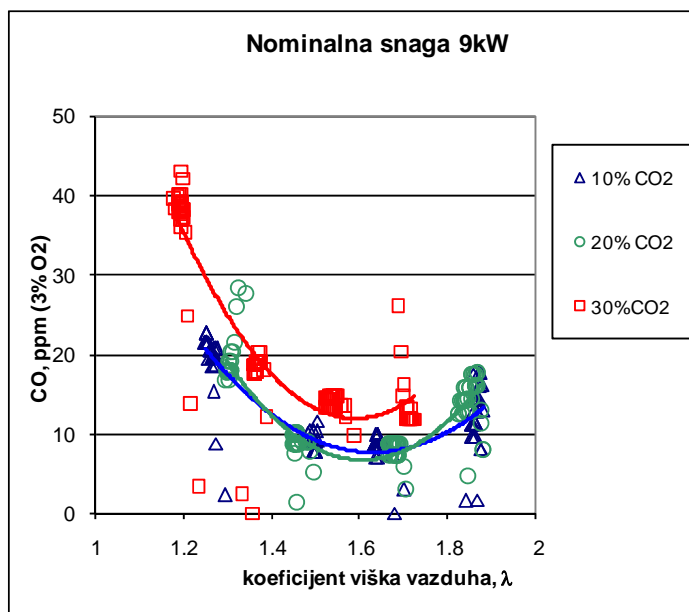
Zapaža se da razlike u sastavu biogasa (u smislu zapreminskog učešća ugljendioksida) dovode do razlike emitovanih azotnih oksida u toku procesa sagorevanja, pri ostalim nepromenjenim radnim parametrima.

Takođe, razlike u nivou emisije postoje u celokupnom opsegu koeficijenata viška vazduha za koje su vršena merenja. Najveći nivo emisije NO_x odgovara biogasu sa najmanjim učešćem ugljendioksida. Sa porastom učešća ugljendioksida emisija azotnih oksida opada pri nepromenjenom koeficijentu viška vazduha.

Prisustvo ugljendioksida u gorivu smanjuje emisiju azotnih oksida delujući na oba osnovna mehanizma nastajanja NO_x: termički (Zeldovichev) i promptni. Zbog postojanja inertne komponente u gorivoj smeši dolazi do smanjenja koncentracija O, OH i CH, a i do snižavanja temperature u zoni reakcije, čime se takođe deluje na smanjenje koncentracije radikala.

3.2. Emisija ugljenmonoksida

Na dijagramu na slici 3 prikazan je uticaj sastava biogasa (sadržaja ugljendioksida) na emisiju ugljenmonoksida.



Sl. 3. Uticaj sadržaja ugljendioksida u biogasu na emisiju ugljenmonoksida
Fig. 3. Influence of carbon dioxide content in the biogas on the emission of carbon monoxide

Većem sadržaju ugljendioksida odgovara veća emisija CO u celom mernom opsegu. Ovakvi rezultati su posledica razblaženja smeše usled značajnog učešća ugljendioksida, što vodi nižoj temperaturi, koja je favorizujući faktor kada je reč o emisiji ugljenmonoksida. Najveće razlike se uočavaju pri većim koeficijentima viška vazduha, gde se porast emisije CO vezuje za pojavu odizanja plamena na granici oduvavanja, što dalje uslovljava kraće vreme boravka potrebnog za završetak hemijske reakcije.

Može se zaključiti da je uticaj sadržaja ugljendioksida na emisiju CO suprotan od uticaja na emisiju NO_x, jer je u suštini njegov uticaj vezan za sniženje temperature, što je u slučaju NO_x inhibirajući faktor, dok je u slučaju CO to favorizujući faktor. Ipak, treba istaći da su emisije oba polutanata u slučaju sagorevanja biogasa niske, čime je zadovoljen ekološki aspekt procesa sagorevanja.

4.ZAKLJUČAK

Sagorevanje biogasa predstavlja izuzetno zanimljiv problem, pošto je reč o gorivu male toplotne moći, dobijenom iz obnovljivih izvora energije. Prikazano je eksperimentalno istraživanje sagorevanja biogasa različitih sastava, kako bi se utvrdio uticaj sadržaja ugljendioksida na emisiju azotnih oksida i ugljenmonoksida. Utvrđeno je da sa povećanjem sadržaja ugljendioksida emisija azotnih oksida smanjuje, dok emisija ugljenmonoksida raste u celom opsegu koeficijenata viška vazduha za koje su vršena merenja. Prisustvo ugljendioksida u gorivu smanjuje emisiju azotnih oksida delujući na oba osnovna mehanizma nastajanja NO_x: termički (Zeldovichev) i promptni. Zbog postojanja inertne komponente u gorivoj smeši dolazi do smanjenja koncentracija O, OH i CH, a i do snižavanja temperature u zoni reakcije, čime se takođe deluje na smanjenje koncentracije radikala. Uticaj sadržaja ugljendioksida na emisiju CO suprotan od uticaja na emisiju NO_x, jer je u suštini njegov uticaj vezan za sniženje temperature, što je u slučaju NO_x inhibirajući faktor, dok je u slučaju CO to favorizujući faktor.

5.LITERATURA

- [1] Adžić M, Fotev V, Milivojević V, Marija Živković. 2010. Effect of a Microturbine Combustor Type on Emissions at Lean-Premixed Conditions, *Journal of Propulsion and Power* vol 10 no 5 pages 1135-1143 doi: 10.2514/1.47456 ISSN 0748-4658 E-ISSN 1533-3876.
- [2] Adžić M, Marija Živković, Fotev V, Milivojević A, Adžić V. 2010. Uticajni parametri emisije azotnih oksida vihornog gorionika mikroturbine sa pilot gorionikom, *Hemijska industrija* 64(4):357-363.
- [3] Brkić M, Janić T. 2010. Nova procena vrsta i količina biomasa Vojvodine za proizvodnju energije, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 36(2):178-188.
- [4] Colorado A.F, Herrera B.A, Amell A. A.. 2010. Performance of Flameless combustion furnace using biogas and natural gas, *Bioresource Technology* 101, 2443-2449.
- [5] Cavaliere A, Joannon M.d. 2004. Mild Combustion, *Progress in Energy and Combustion Science* 30, 329-366.
- [6] Effenberger M, Lehner A, Djatkov Đ, Gronauer A. 2009. Karakteristike rada poljoprivrednih biogas postrojenja u Bavarskoj, *Savremena poljoprivredna tehnika*, Vol 35, No 4, 219-280.
- [7] EU renewable energy policy, [http://www. Euractiv.com/en/energy/eu-renewable-energy-policy/article-117536](http://www.Euractiv.com/en/energy/eu-renewable-energy-policy/article-117536).
- [8] Hamare Z. A, Diezinger S, Talukdar P, Issendorf F.V, Trimis D. 2006. Combustion of low calorific gases from landfills and waste pyrolysis using porous medium technology, *Trans IChemE, Part B*, July, 297-308.
- [9] Kumaran K.. 2007. U.S.P.Shet, Effect of swirl on lean flame limits on pilot-stabilized open premixed turbulent flames, *Combustion and Flame* 15:391-395.
- [10] Marija Živković. 2010. Istraživanje efikasnog sagorevanja prirodnog gasa sa povećanim sadržajem ugljendioksida, doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [11] Marija Živković, Adžić M, Fotev V, Milivojević M, Adžić V, Ivezić D, Čosić B. 2010. Influence of carbon dioxide content in the biogas to nitrogen oxides emissions, *Hemijska industrija*, 64(5):439-447.
- [12] Rasi S, A.Veijanen, J. 2007. Rintala Trace compounds of biogas from different biogas production plants, *Energy* 32:1375-1380.
- [13] Oslaj M, Mursec B. 2010. Vindis, Biogas production from maize hybrids, *Biomass and Bioenergy* 34, 1538-1545.

Marija Živković, i dr. (2011). Uticaj sastava biogasa na emisiju polutanata mikroturbine sa pilot gorionikom. *Savremena poljoprivredna tehnika* 37(3): 245-252.

- [14] Syred N, Beer J.M. 1974. Combustion in swirling flows: A Review, *Combustion and flame* 23, 143-201
- [15] World Energy Council, *Survey of Energy Resources*, London. 2007. ISBN 0946121265
- [16] Wolfgang Polifke. 1995. *Fundamental and practical limitations of NOx reduction in lean premixed combustion*, Premixed turbulent combustion, Aachen.

EFFECT OF BIOGAS'S COMPOSITION ON EMISSIONS OF MICROTURBINE WITH PILOT BURNER

Marija Živković, Miroljub Adžić, Dejan Ivezić, Aleksandar Milivojević, Vasko Fotev, Dušan Danilović

SUMMARY

Stimulation of using biogas, which is a fuel derived from renewable energy sources, has intensified the research, development and implementation of various combustion techniques. Optimal combustion technology should provide a stable combustion meeting ever stricter environmental standards in a wide dynamic range. The presence of inert components cause problems related to the stability of combustion, energy losses, as well as problems related to the emission of harmful substances. The composition of biogas can significantly vary depending on the mode of production and used materials. Combustion of biogas is a very interesting problem, as it is a low calorific value fuel, derived from renewable energy sources. Experimental investigation of combustion of biogas, in order to determine the effect of carbon dioxide content on the emission of nitrogen oxides and carbon monoxide is presented. It was found that with increasing carbon dioxide content emissions of nitrogen oxides are reduced, while carbon monoxide emissions are increased in the whole range of coefficients of excess air, for which measurements were carried out. The presence of carbondioxide in the fuel reduces the emission of nitrogen oxide by acting on both the basic mechanisms of NO_x formation: thermal and prompt. The existence of the inert component in the flammable mixture lead to decreased concentrations of O, OH and CH, and the lowering of the temperature in the reaction zone. The effect of carbon dioxide content on CO emissions is opposite to the impact on NO_x emissions, because it is essentially related to its effect temperature reduction, as it is in the case of NO_x inhibiting factor, while in the case of CO it is predisposing factor.

Key words: combustion, biogas, emissions of pollutants

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu TR 33001 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.
--

Primljeno: 10. 02. 2011.

Prihvaćeno: 25. 06. 2011.

Napomena: citati u tekstu su brojčano predstavljeni a ne onako kako bi trebalo