



## PROIZVODNJA BIOPLINA KODIGESTIJOM PŠENIČNE SILAŽE I GOVEDE GNOJOVKE

## THE BIOGAS PRODUCTION BY CO-DIGESTION OF WHEAT SILAGE AND CATTLE MANURE

Đurđica Mihić, Daria Jovičić, D. Kralik, Ivana Majkovčan, A. Zorko

Izvorni znanstveni članak - Original scientific paper  
Primljeno - Received: 5. rujna - September 2011

### SAŽETAK

Cilj rada bio je utvrditi potencijal za proizvodnju bioplina iz pšenične silaže i goveđe gnojovke. Istraživanje je provedeno u diskontinuiranim reaktorima pri termofilnim uvjetima ( $>50^{\circ}\text{C}$ ) uz retencijsko trajanje od 45 dana. Kontrolnu skupinu činila je svježa goveđa gnojovka a eksperimentalnu goveđa gnojovka uz dodatak 5% pšenične silaže. Dodatkom pšenične silaže goveđoj gnojovki povećao se sadržaj suhe tvari u eksperimentalnoj skupini u prosjeku za 20% što je rezultiralo povećanom proizvodnjom bioplina. Tako je eksperimentalna skupina uzoraka dala veću količinu bioplina na kraju procesa u prosjeku za 36,8%. Udio metana u proizvedenom bioplinu iz eksperimentalne skupine uzoraka iznosio je u prosjeku 60,6%, izraženo na suhu tvar. Temeljem provedenog istraživanja može se zaključiti da pšenična silaža ima pozitivan utjecaj na proizvodnju bioplina u smislu povećanja količine proizvedenog metana. Od  $153,99 \text{ m}^3\text{t}^{-1}$  bioplina pšenične silaže moguće je dobiti  $307,98 \text{ kWh}$  električne energije i  $338,27 \text{ kWh}$  toplinske energije.

Ključne riječi: anaerobna fermentacija, kodigestija, bioplin, metan

### UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća postupak anaerobne digestije sve se više koristi u mnogim europskim zemljama, zahvaljujući određenim zakonskim alatima i propisima koji imaju za cilj povećati proizvodnju bioplina u različitim gospodarskim sektorima, primjerice u zootehnici i poljoprivrednoj industriji (Comino i sur., 2009) i doprinijeti smanjenju emisije stakleničkih plinova zamjenom fosilnih goriva (Wulf i sur., 2006).

Velike količine životinjskog izmeta koje nastaju u sektoru uzgoja životinja kao i ogromne količine vlažnog organskog otpada predstavljaju stalnu opasnost od zagađenja s mogućim negativnim posljedicama za okoliš ako se ne provode mjere za postupanje otpadom. Sve vrste bioloških sirovina, iz

poljoprivrednog sektora i različite vrste organskog otpada jesu dobri izvori bioplina. Najveći izvor bioplina je gnojovka iz govedarskih i svinjogojskih uzgojnih jedinica te iz peradarskog uzgoja, uzgoja riba i krznaša a potom slijede energetske usjevi od kojih se najčešće koriste žitarice i razne trave (Holm-Nielsen i sur., 2009). Stajski gnoj se vrlo često koristi kao sirovina za anaerobnu digestiju jer je lako dostupan i zbog visokog udjela dušika vrlo pogodan za razvoj anaerobnih mikroorganizama.

Međutim, koncentracija amonijaka u nekim vrstama stajskog gnoja je toliko visoka da može doći do inhibicije (Ward i sur., 2008; Hansen i sur., 1998; Sung i sur., 2003). Stoga se često koristi u kodigestiji s nekom drugom vrstom otpada koju odlikuje niski udio dušika, primjerice otpad od prerade voća i povrća (Alvarez i Lidén, 2008), a ujedno se i pobolj-

Dipl. ing. Đurđica Mihić, znanstveni novak; dipl. ing. Daria Jovičić, viši stručni suradnik; prof. dr. sc. Davor Kralik, redovni profesor; dipl. ing. Aleksandar Zorko, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek; dipl. ing. Ivana Majkovčan, Nova mliječna farma Holstein d.o.o., Orlovnjak bb, 31216 Antunovac

**Tablica 1. Prosječna vrijednost pH, suhe tvari i organske tvari u svježoj gnojovki, pšeničnoj silaži i smjesi svježe gnojovke i pšenične silaže prije i nakon fermentacije.**

**Table 1. The mean values of pH, total solids and volatile solids in fresh manure, wheat silage and mixture of fresh manure and wheat silage before and after fermentation.**

	Uzorak Sample	pH-vrijednost pH-value	Suha tvar Total solids (%)	Organska tvar Volatile solids (%)
Prije fermentacije Before fermentation	Svježa gnojovka Fresh manure	6,54	6,58	84,24
	Pšenična silaža Wheat silage	3,71	30,67	93,93
	Smjesa svježe gnojovke i pšenične silaže Mixture of fresh manure and wheat silage	6,33	7,90	85,71
Nakon fer- mentacije After fermentation	Svježa gnojovka Fresh manure	7,90	4,68	75,56
	Smjesa svježe gnojovke i pšenične silaže Mixture of fresh manure and wheat silage	7,89	5,40	77,77

šava proces u smislu povećanja prinosa bioplina zbog povoljnijeg omjera ugljika i hranjivih tvari (El-Mashad i Zhang, 2010). Kodigestija je tehnologija kojom se istovremeno tretira kruti i tekući organski otpad (Bouallagui i sur., 2009).

Cilj ovoga rada bio je utvrditi potencijal za proizvodnju bioplina iz pšenične silaže i govede gnojovke, odnosno energetski potencijal pšenične silaže u kodigestiji sa goveđom gnojovkom.

#### MATERIJAL I METODE

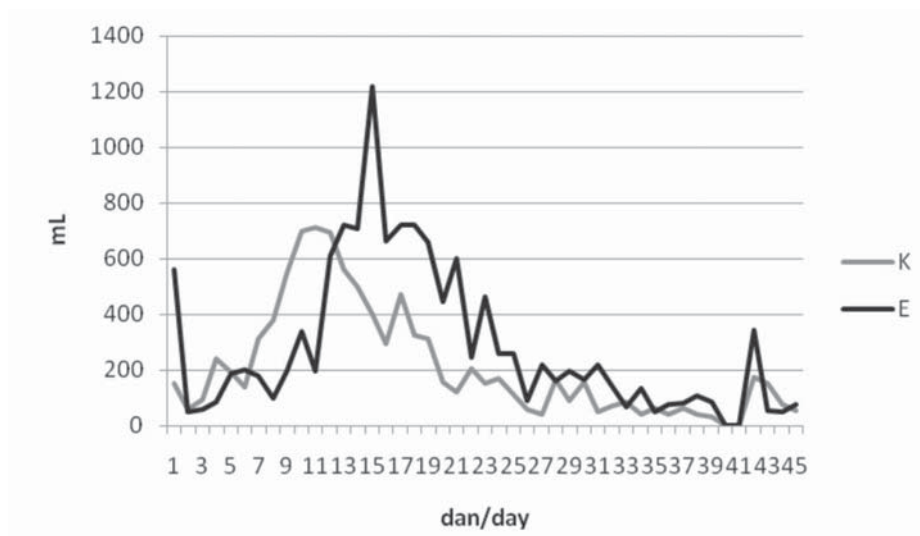
Istraživanje je provedeno u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku. Uzorci govede gnojovke i pšenične silaže uzeti su s govedarske farme Topolik u Baranji. Uzorci pšenične silaže usitnjeni su mljevenjem u mlinu. Anaerobna kodigestija provedena je pri termofilnim uvjetima (>50 °C) uz retencijsko trajanje od 45 dana. Kontrolnu skupinu činila je svježa goveđa gnojovka a eksperimentalnu goveđa gnojovka uz dodatak 5% pšenične silaže.

Prije i nakon fermentacije su prema Thompsonu (2001) određeni pH, suha tvar i organska tvar u uzorcima. U Tablici 1. prikazane su srednje vrijednosti izmjerenih parametara. pH uzoraka određen je pomoću pH-metra Methrom 827 pH lab. Suha tvar određena je sušenjem u sušioniku Kambič SP 440, te organska tvar žarenjem u žarnoj peći ISKRATERM Slovenija. Količina nastalog bioplina određena je

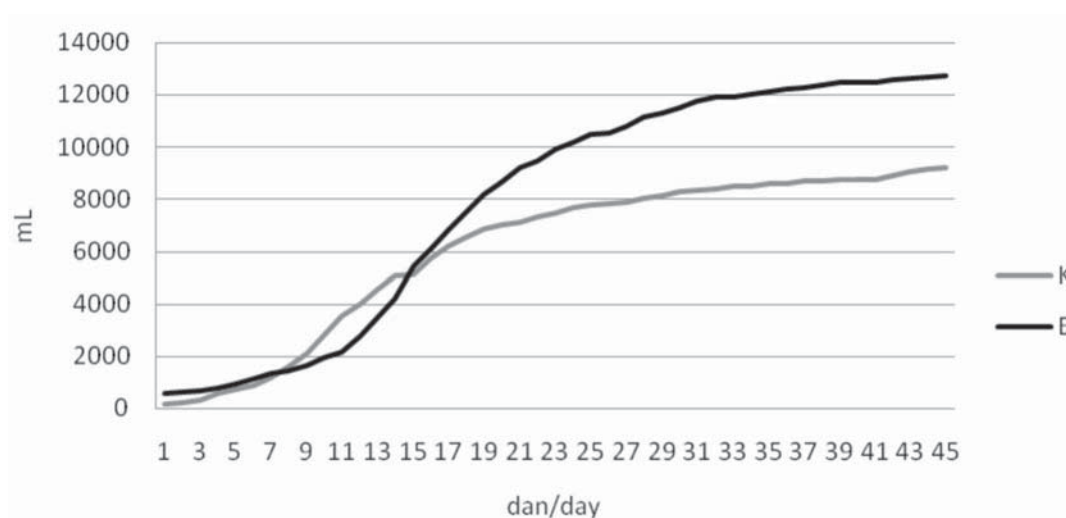
volumetrijski, a sastav bioplina (udio CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> i N) na plinskom kromatografu Varian GC 3900 prema modificiranoj metodi HRN ISO 6974-4:2000.

#### REZULTATI I RASPRAVA

Anaerobna digestija je mikrobiološki proces razgradnje organske tvari bez prisutnosti kisika (Al Seadi i sur., 2008). Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih mješovite populacije različitih vrsta bakterija razgrađuju organske spojeve a kao krajnji produkt nastaje bioplin (Lastella i sur., 2002). U posljednjoj fazi metanogene bakterije imaju ključnu ulogu u nastanku bioplina (metana) pa je stoga neophodno osigurati optimalne uvjete za njihovu aktivnost, u prvom redu optimalan pH (Hwang i sur., 2004; Chen i sur., 2008). Većina metanogenih mikroorganizama aktivna je pri pH 6,5 do 8,5 (Qdais i sur., 2010). Iz Tablice 1. vidljivo je da je prosječna vrijednost pH eksperimentalne skupine uzoraka po završetku fermentacije bila 7,89 što je unutar optimalnog raspona. Prosječni udio suhe tvari svježe govede gnojovke bio je 6,58% a pšenične silaže 30,67%. U eksperimentalnoj skupini uzoraka povećan je prosječni udio suhe tvari dodatkom pšenične silaže goveđoj gnojovki na 7,90%. Prema Raposo i sur. (2011) za uspješan proces udio suhe tvari u fermentoru ne bi trebao biti veći od 10%. Prosječni udio organske tvari u kontrolnoj skupini uzoraka bio je 84,24%, dok je u eksperimentalnoj skupini uzoraka bio 85,71%.



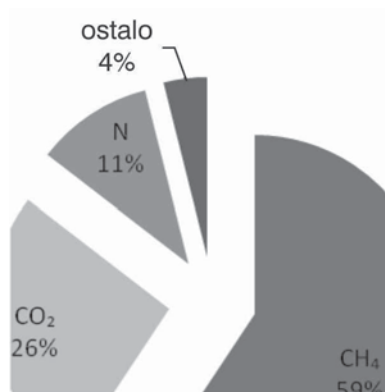
Slika 1. Dinamika proizvodnje bioplina (mL bioplina/dan)  
Figure 1. Dynamics of biogas production (mL of biogas/day)



Slika 2. Kumulativni prikaz dnevne proizvodnje bioplina (mL bioplina/dan)  
Figure 2. Cumulative biogas production curves (mL of biogas/day)

Dinamika proizvodnje bioplina prikazana je na slici 1. Jasno se vidi da je eksperimentalna skupina plina dala veće prinose bioplina gotovo tijekom cijelog procesa, izuzev perioda između 4. i 12. dana procesa kada je kontrolna skupina uzoraka dala veće prinose zbog ranijeg početka faze metanogeneze koja u eksperimentalnoj skupini uzoraka započinje nešto kasnije, što je posljedica kompleksnijeg sastava eksperimentalne skupine uzoraka. Najveća

dnevna proizvodnja bioplina u eksperimentalnoj skupini uzoraka zabilježena je između 13. i 19. dana nakon čega proizvodnja postepeno opada ali se odvija do kraja procesa. U kontrolnoj skupini uzoraka najveća dnevna proizvodnja zabilježena je između 10. i 12. dana nakon čega kao i u eksperimentalnoj skupini uzoraka proizvodnja postepeno opada ali se isto tako odvija do kraja procesa.



Slika 3. Prosječni sastav bioplina eksperimentalne skupine uzoraka nakon anaerobne fermentacije u termofilnim uvjetima

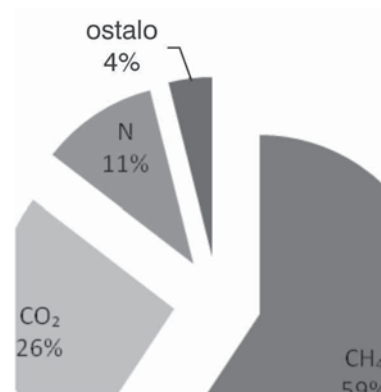
Figure 3. Mean biogas content from experimental group after anaerobic fermentation in thermophilic conditions

Pšenična silaža anaerobnom digestijom daje veće prinose bioplina u odnosu na svježu pšenicu, unatoč tomu što tijekom siliranja dolazi do razgradnje organske suhe tvari i sniženja pH (Herrmann i sur., 2011). Dewar i sur. (1963) navode da je to posljedica hidrolize hemiceluloze djelovanjem organskih kiselina nastalih tijekom siliranja.

Na slici 2. prikazan je kumulativni zbroj dnevne proizvodnje bioplina. Prosječna količina proizvedenog bioplina u kontrolnoj skupini uzoraka je 9200 mL a u eksperimentalnoj skupini uzoraka 12760 mL. Dinamika stvaranja bioplina u kontrolnoj skupini uzoraka najveći intenzitet ima u prvih 19 dana nakon čega se proizvodnja smanjuje odnosno ujednačuje. U eksperimentalnoj skupini uzoraka dinamika stvaranja bioplina lagano raste prvih desetak dana a između 11. i 23. dana dolazi do naglog porasta proizvodnje. Nakon toga slijedi postepeno usporavanje proizvodnje, odnosno kao i u kontrolnoj skupini proizvodnja teče ujednačeno do kraja procesa.

Prosječno 1m<sup>3</sup> bioplina daje 6,4 kWh energije, a od toga se dobije 2 kWh električne i 2,8 kWh toplinske energije. Ako se promatra energetska vrijednost proizvedenog bioplina, iz jedne tone pšenične silaže, odnosno 153,99 m<sup>3</sup>t<sup>-1</sup> bioplina dobije se 307,98 kWh električne energije.

Ovisno o vrsti sirovine, udio metana u bioplinau obično iznosi 50-70 % (Qdais i sur., 2010; Ramírez-Sáenz i sur., 2009). Ovim istraživanjem postignuti



Slika 4. Prosječni sastav bioplina kontrolne skupine uzoraka nakon anaerobne fermentacije u termofilnim uvjetima

Figure 4. Mean biogas content from control group after anaerobic fermentation in thermophilic conditions

udio metana u bioplinau je 59% u obje skupine uzoraka, kontrolnoj i eksperimentalnoj (slika 3. i 4.). Prema sastavu ispitivane skupine uzoraka se ne razlikuju značajno, međutim eksperimentalna skupina uzoraka proizvela je gotovo 40% više bioplina iz čega se može zaključiti da pšenična silaža ima energetska vrijednost i potencijal za proizvodnju bioplina te osigurava učinkovitiji proces u kodigestiji s goveđom gnojovkom.

## ZAKLJUČAK

Prema provedenim istraživanjima može se zaključiti da je proces anaerobne kodigestije goveđe gnojovke i pšenične silaže bio učinkovitiji od procesa digestije same goveđe gnojovke. Posljedica je to dodatka silaže gnojovki, što je rezultiralo višim prinosisima bioplina. Sastav bioplina nije se značajno razlikovao, ali je eksperimentalna skupina uzoraka dala u prosjeku više prinose bioplina, za 38,6%. Udio metana bio je zadovoljavajući, u prosjeku je činio oko 60% udjela bioplina, izraženo na suhu tvar.

Pšenična silaža kao energetska sirovina je isplativa ako se uzgaja u sklopu prirodnog ciklusa plodoreda (pšenica-kukuruz) međutim pri njezinom korištenju za proizvodnju bioplina treba uzeti u obzir da je to u izravnoj konkurenciji s proizvodnjom hrane, budući da pšenica predstavlja najznačajniju žitaricu u prehrani ljudi.

## LITERATURA

1. Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volks, S., Janssen, R., Kulišić, B., Kojaković, A. Priručnik za bioplin. (2008) BiG>East Biogas for Eastern Europe, Intelligent Energy for Europe.
2. Alvarez, R., Lidén, G. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure and fruit and vegetable waste. (2008) *Renewable Energy*, 33:726-734.
3. Bouallagui, H., Lahdheb, H., Romdan, E. B., Rachdi, B., Hamdi, M. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. (2009) *Journal of Environmental Management*, 90:1844-1849.
4. Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. (2008) *Bioresour. Technology*, 99:4044-4046.
5. Comino, E., Rosso, M., Riggio V. Development of a pilot scale anaerobic digester for biogas production from cow manure and whey mix. (2009) *Bioresour. Technology*, 100:5072-5078.
6. Dewar, W.A., McDonald, P., Whittenbury, R. The hydrolysis of grass hemicelluloses during ensilage. (1963) *Journal of Science Food and Agriculture*, 14:411-417.
7. El-Mashad, H.M., Zhang, R. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. (2010) *Bioresour. Technology*, 101:4021-4028.
8. Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K. Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. (1998) *Water Research*, 32:5-12.
9. Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. (2011) *Bioresour. Technology*, 102:5153-5161.
10. Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. (2009) *Bioresour. Technology*, 100:5478-5484.
11. Hwang, M.H., Jang, N.J., Hyun, S.H., Kim, I.S. Anaerobic bio-hydrogen production from ethanol fermentation: the role of pH. (2004) *Journal of Biotechnology*, 111:297-309.
12. Lastella, G., Testa, C., Cornacchia, G., Notornicola, M., Voltasio, F., Sharma, V.K. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. (2002) *Energy Conversion and Management*, 43:63-75.
13. Qdais, H. A., Hani, K. B., Shatnawi, N. Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm. (2010) *Resources, Conservation and Recycling*, 54:359-363.
14. Ramírez-Sáenz, D., Zarate-Segura, P.B., Guerrero-Barajas, C., García-Peña, E.I. H<sub>2</sub>S and volatile fatty acids elimination by biofiltration: Clean-up process for biogas potential use. (2009) *Journal of Hazardous Materials*, 163:1272-1281.
15. Raposo, F., De la Rubia, M.A., Fernández-Cegri, V., Borja, R. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. (2011) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:861-877.
16. Sung, S.W., Liu, T. Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion. (2003) *Chemosphere*, 53:43-52.
17. Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., Jones, D.L. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. (2008) *Bioresour. Technology*, 99:7928-7940.
18. Wulf, S., Jäger, P., Döhler, H. Balancing of greenhouse gas emissions and economic efficiency for biogas production through anaerobic co-fermentation of slurry with organic waste. (2006) *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112:178-185.

## ABSTRACT

The aim of this study was to determine biogas production potential from wheat silage and cattle manure. The experiment was conducted in discontinuous reactors at thermophilic conditions (>50°C) with retention time of 45 days. The control group was fresh cattle manure and the experimental group was fresh cattle manure with addition of 5% of wheat silage. Addition of wheat silage to cattle manure increased the total solids content (TS) on average by 20% which resulted in increased production of biogas. Thus, experimental group samples gave a higher amount of biogas at the end of the process on average for 36.8%. The methane content in

the biogas produced in the experimental group of samples was on average 60.6%, expressed on a dry matter. On the basis of the conducted study we can conclude that wheat silage has a positive impact on the biogas production in terms of increasing the amount of methane produced. From 153.99 m<sup>3</sup>t<sup>-1</sup> biogas wheat silage, 307.98 kWh of electricity and 338.27 kWh of thermal energy can be obtained.

Key words: anaerobic fermentation, co-digestion, biogas, methane