

UPORABA BIOLOŠKIH ODPADKOV ZA PRIDOBIVANJE BIOPLINA

USAGE OF ORGANIC FRACTION OF BIOLOGICAL WASTE FOR BIOGAS PRODUCTION

asist. dr. Sabina Kolbl, univ. dipl. inž. vki.

sabina.kolbl@fgg.uni-lj.si
UL-FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

prof. dr. Blaž Stres, univ. dipl. mikrobiol.

blaz.stres@bf.uni-lj.si
UL-BF, Groblje 3, 1230 Domžale

Znanstveni članek

UDK: 628.336.6: 628.4.042

Povzetek | V članku obravnavamo možnost izrabe biološko razgradljivih odpadkov za pridobivanje bioplina z anaerobno presnovo. Na podlagi eksperimentalno izmerjenih biometanskih potencialov bioloških odpadkov v mezofilnem temperaturnem območju, dinamike nastajanja metana, fizikalno-kemijskih parametrov za optimalno delovanje procesa in statističnih podatkov o količini zbranih bioloških odpadkov v Sloveniji smo izračunali potencialno proizvodnjo metana za območje Slovenije.

Ključne besede: anaerobna presnova, biološki odpadki, metanski potencial

Summary | The paper deals with the possibility of utilizing organic fraction of biological wastes (OFMSW) for the production of biogas by anaerobic digestion. Based on the experimentally measured methane potentials of OFMSW in the mesophilic temperature range, the dynamics of the formation of methane, the physicochemical parameters for optimal process performance and statistical data on the amounts of collected OFMSW in Slovenia, we calculated the potential production of methane for Slovenia.

Key words: anaerobic digestion, biological waste, methane potential

1 • UVOD

Biološki komunalni odpadki so definirani kot organska frakcija odpadkov iz gospodinjstva, kot so kuhinjski odpadki, sadni in vrtni odpadki, in se zbirajo ločeno od drugih odpadkov. Danes je znano, da povezovanje in združevanje aerobnega (kompostiranje) in anaerobnega (anaerobna presnova) procesa zmanjšujeta negativen vpliv na okolje. Da bi lahko biološke odpadke uspešno vpeljali v proces anaerobne presnove, morajo biti ti kakovostni, narejena pa mora biti tudi strategija njihovega zbiranja. Različne strategije zbiranja vplivajo na lastnosti zbranih bioloških odpadkov. V sistemu zbiranja bioloških odpadkov poznamo (Cecchi, 2011):

- mehansko ločene biološke odpadke (angl. Mechanically separated organic fraction of municipal solid wastes (MS-OFMSW)),
- ločeno zbrane biološke odpadke (angl. Separately collected organic fraction of municipal solid wastes (SC-OFMSW)) in
- biološke odpadke, ki jih ločimo na viru (angl. Source sorted organic fraction of municipal solid wastes (SC-OFMSW)).

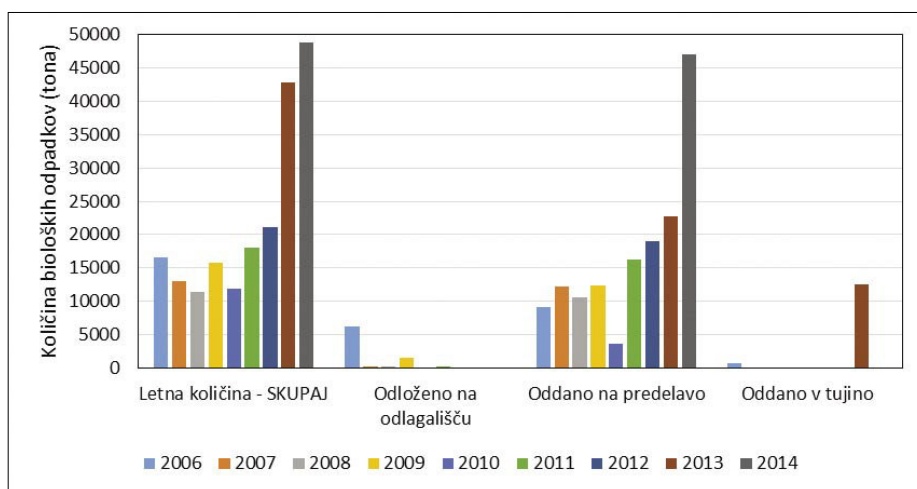
Raziskave in izkušnje različnih avtorjev kažejo, da so odpadki, ki se zbirajo ločeno ali jih ločimo na viru, dobre kakovosti in imajo visok biometanski potencial, medtem ko je za mehansko ločevanje odpadkov potrebne

veliko energije, biometanski potenciali pa so nizki (Cecchi, 2011). Kljub ločenemu zbiranju bioloških odpadkov ti lahko vsebujejo različne primesi, kar je lahko povezano tudi s socialno-ekonomskimi dejavniki. Take odpadke je pred anaerobno presnovo treba mehansko obdelati (Colazo, 2015).

Biometanski potencial (BMP) predstavlja eksperimentalno določeno vrednost maksimalne količine metana, ki bo nastala na gram organske obremenitve določene biomase s substratom. BMP določamo s testom BMP, kjer za določeno znano količino odpadkov v šaržnem sistemu pri anaerobnih razmerah izmerimo količino nastalega metana ali bioplina (in njegovo sestavo) (Lesteur, 2010). BMP-test se uporablja za določevanje anaerobne biorazgradljivosti in končnega biometanskega potenciala iz odpadnih snovi ali biomase

ter določevanje hitrosti razgradnje v procesu anaerobne presnove. Anaerobna presnova je biokemijski proces, pri katerem anaerobne bakterije ob odsotnosti kisika v več fazah (hidroliza, acetogeneza, acidogeneza) razgradijo organsko snovi, metanogene arheje pa iz produktov prejšnjih faz v četrti fazi (metanogeneza) proizvedejo metan (Kolbl, 2014). Tako se v fazi hidrolize netopni biopolimeri pretvorijo v topne organske spojine. Te se v acidogenezi pretvorijo v hlapne maščobne kisline (HMK). V tretji fazi se HMK pretvori v acetat in H_2 , v metanogenezi pa iz acetata ali iz H_2 nastane metan (De Mes, 2003).

Tehnologijo anaerobne presnove bioloških odpadkov lahko ločimo na suhi (vsebnost suhe snovi > 30 %), polsuhi (vsebnost suhe snovi med 15 in 20 %) in mokri proces (vsebnost suhe snovi < 10 %). Procesi se med seboj razlikujejo tudi po organski obremenitvi, hidravličnem zadrževalnem času in temperaturi. V industriji se uporabljajo predvsem polsuhi in mokri procesi, v zadnjem obdobju pa se uveljavlja suhi proces anaerobne presnove. Glede na temperaturo ločimo mezofilne in termofilne procese. Pri mezofilnih se temperatura giblje med 35 °C in 40 °C, pri termofilnih pa med 45 °C in 60 °C ((Kolbl, 2016), (De Mes, 2003)). Na količino metana, ki bo nastala iz bioloških odpadkov, vplivajo različni parametri.



Slika 1 • Količina zbranih bioloških odpadkov in oddanih v predelavo za obdobje 2006–2014

Osnovni gradniki organskih snovi so ogljikovi hidrati, lipidi in beljakovine, katerih sestava se v bioloških odpadkih razlikuje. Na količino metana vplivajo tudi pH, alkaliteta, vsebnost vlage, vsebnost organskih snovi, temperatura, razmerje med C/N, zadrževalni čas, velikost delcev, inhibitorne in toksične snovi, mešanje v reaktorju, kovine v sledovih, kakovost cepiva itd. (Leung, 2016).

V Sloveniji in EU količina bioloških odpadkov, ki se jih kompostira ali uporabi za pridobivanje

metana, narašča. Po statističnih podatkih (SURS, 2016) je v Sloveniji od leta 2012 količina bioloških odpadkov začela naraščati, tako je bilo leta 2014 zbranih 48.869 ton bioloških odpadkov (slika 1).

Zaradi naraščanja in čim bolj učinkovite izrabe bioloških odpadkov je cilj raziskave določiti biometanski potencial bioloških odpadkov, ga primerjati z obstoječimi podatki iz različne literature in oceniti potencialno proizvodnjo metana iz bioloških odpadkov za območje Slovenije.

2 • MATERIALI IN METODE

Pri pregledu literature smo dostopali do prosto dostopne metanske baze (<http://methane.fe.uni-lj.si/>; Murovec et al., 2015), iz katere smo uporabili 99 meritev metanskih potencialov organskih odpadkov različnih avtorjev.

2.1 Biometanski potencial

Za anaerobno presnovo različnih substratov in določevanje biometanskega potenciala smo uporabili napravo Automatic Methane Potential Test System (AMPTS II). AMPTS II (slika 2) je analizna naprava laboratorijske velikosti, ki omogoča meritve ultranizkih hitrosti tvorbe metana, proizvedenih med anaerobno presnovo biološko razgradljivih substratov. Tako lahko lažje določimo optimalni retenzijski čas in uporabno mešanico substratov za anaerobno presnovo ter ocenimo potrebo po dodatkih. AMPTS II je sestavljen iz dveh večjih enot. Prva enota vključuje 15 anaerobnih reaktorjev volumna 5000 ml. Vsak reaktor je

opremljen s plinotesnim gumijastim pokrovom in mehanskim mešalom, ki je vodeno preko mreže in računalnika. Reaktorji so potopljeni v termoregulirano vodno kopel, kjer lahko

vzdržujemo mezofilno ali termofilno temperaturno območje. Druga enota zajema 45 manjših steklenic volumna 100 ml, ki vsebujejo 3 M NaOH za absorpcijo CO_2 in napravo za merjenje volumna plina. Merjenje plina poteka po načelu izpodirivanja tekočine in vzgona (Bioprocess Control, 2014).



Slika 2 • Sistem za določevanje metanskega potenciala



Slika 3 • Ločeno zbrani biološki odpadki v biološko razgradljivih vrečkah

Za določevanje BMP smo uporabili naslednje komunalne odpadke: biološke odpadke iz restavracij in gospodinjstev, ki smo jih označili z A, B, C, D, E, G in so bili zbrani ločeno (slika 3). Lastnosti vhodnih substratov so podane v preglednici 1. Biološki odpadki so vsebovali različne vrste hrane, od jajčnih lupin, olupkov krompirja, pomaranč, mandarin in jabolok do kavnihi usedlin, solate, kvašenega testa, smokijev, lupine orehov, čajnih vrečk in druge hrane (slika 3). Zbrani so bili v biološko razgradljivih vrečkah, v katerih pa ni bilo izcedne vode, ki se po navadi pojavi pri daljšem zadrževalnem času odpadkov v bioloških zabojnikih. Vse substrate smo mehansko obdelali z mešalnikom Philips, da je njihova velikost delcev bila takšna, kot je na

realni bioplinski elektrarni ($d < 25$ mm), pred doziranjem v anaerobne reaktorje.

Za preskus z AMPST II smo za cepivo uporabili biomaso iz bioplinske elektrarne Šijanec. Uporabili smo tudi izhodiščne vzorce, pri čemer nismo dodajali substrata (kontrola) in glukoze. V vse reaktorje smo dodali 3000 ml cepiva in jim različno dozirali zmlete biološke odpadke (preglednica 2). Pred zagonom smo vse reaktorje 3 minute preprihovali z dušikom, da smo zagotovili anaerobne razmere. Temperaturo reaktorjev smo vzdrževali pri $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za določevanje parametrov, kot so suha snov, organska snov in dušik, smo vzorce odpadkov iz restavracij mehansko obdelali, da je bila velikost delcev manjša od 15 mm (slika 4).

2.2 Kemijske analize

Suho snov in organsko snov smo določili po navodilih APHA (APHA, 2005). Celotni dušik in amonijev dušik smo določili z napravo Skalar SAN++ po navodilih proizvajalca. Za merjenje vrednosti pH smo uporabili multimeter Hach Lange HQ40D. Hlapne organske kisline (HOK) in pufrsko kapaciteto (CAO) smo določili z napravo Biogas Titration Manager TIM 840 (Hach Lange).

2.3 Koeficient hidrolize

Hidroliza je omejujoči korak v procesu anaerobne presnove in je merilo, kako hitro se v procesu anaerobne presnove razgradijo suspendirani delci. Iz rezultatov BMP-preskusov lahko definiramo konstanto hidrolize prvega

Vzorec	Predhodna obdelava	Velikost delcev	SS (%)	OS (% SS)	OS (% SM)	N_{celotni} (mg l ⁻¹)	
Biološki odpadki	A	mehanska*	< 15 mm	30.90 ± 1.39	78.99 ± 3.71	24.38 ± 0.35	974 ± 13
	B	mehanska*	< 15 mm	28.64 ± 2.41	95.38 ± 0.03	27.33 ± 2.39	1203 ± 72
	C	mehanska*	< 15 mm	38.18 ± 2.87	76.18 ± 3.38	29.13 ± 3.08	2076 ± 12
	D	mehanska*	< 15 mm	44.11 ± 0.53	67.72 ± 1.10	29.87 ± 0.15	2306 ± 12
	E	mehanska*	< 15 mm	28.60 ± 1.20	71.14 ± 1.08	20.35 ± 1015	2029 ± 32
	G	mehanska*	< 15 mm	57.54 ± 2.30	71.07 ± 1.57	53.38 ± 3.05	4810 ± 100
cepivo	brez	< 15 mm	5,59 ± 0,2	71,07 ± 0,72	4,04 ± 0,3	3906 ± 42	

* prostostoječi mešalnik Philips

Preglednica 1 • Fizikalno-kemijski parametri bioloških odpadkov A, B, C, D, E in G

Reaktor	Število reaktorjev	Organska obremenitev (g OS/l)	Doziranje (g)	Doziranje vode (ml)	Cepivo (ml)
A	2	10	105,9	316,3	3000
B	2		125,5	303,2	3000
C	2		139,8	369,3	3000
D	2		113,3	321,1	3000
E	2		130,0	301,4	3000
G	2		145,6	321,1	3000
kontrola – cepivo	2	0	0	0	3000
glukoza	1	10	31	100	3000

Preglednica 2 • Sestava anaerobnih reaktorjev za preskus z AMPTS II

reda, ki jo napišemo kot (Angelidaki et al., 2009):

$$\ln((B_{\infty}-B)/B) = -k_H t, \quad (1)$$

kjer so:

B_{∞} – končna tvorba metana (ml),

B – metan, proizveden ob določenem času t (ml),

k_H – konstanta hidrolize prvega reda, ki je definirana kot naklon linearne krivulje (d^{-1}),

t – čas (d).

Razgradnjo organske snovi poda delež organske snovi, ki jo mikroorganizmi razgradijo pri procesu anaerobne presnove. Določimo jo z naslednjo enačbo (Bioprocess Control, 2014):

$$\text{razgradnja OS (\%)} = \frac{OS_{\text{začetek}} - OS_{\text{konec}}}{OS_{\text{začetek}}} \cdot 100 \quad (2)$$

Pri tem sta:

$OS_{\text{začetek}}$ – količina organske snovi (cepivo in dodani substrat) v anaerobnem reaktorju na začetku preskusa (g),

OS_{konec} – količina organske snovi v anaerobnem reaktorju na koncu preskusa (g).

3 • REZULTATI IN DISKUSIJA

Koncentracija hlapnih organskih kislin v cepivu pred zagonom preskusa je bila 4136 ± 213 mg/l, celotnega anorganskega ogljika 11234 ± 58 mg/l, njuno razmerje HOK/CAO = $0,368 \pm 0,018$, celotnega amonijevega dušika 829 ± 40 mg/l in pH = 7,5. Vsi ti parametri so se gibali znotraj območja, pri katerem so pogoji za tvorbo metana optimalni (Kolbl, 2014).

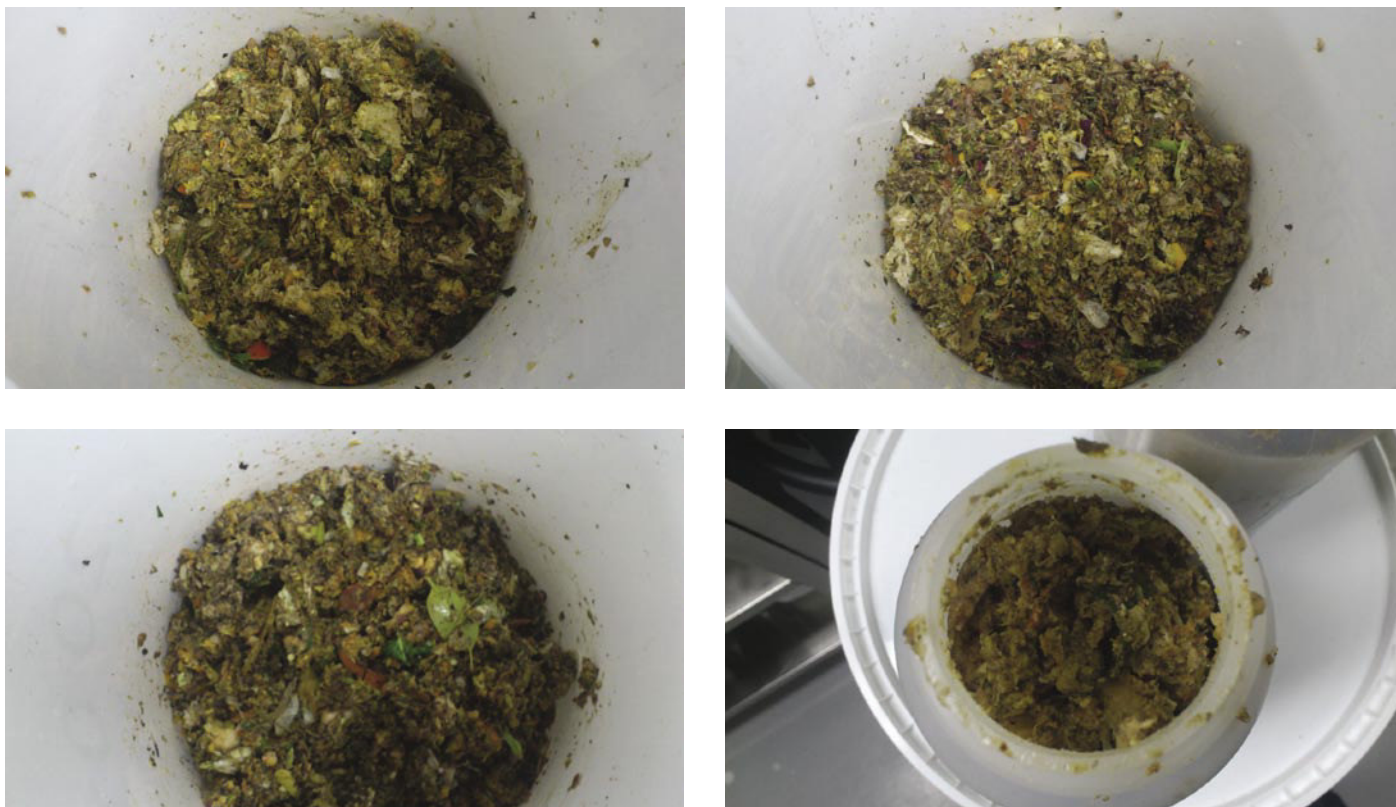
V odpadkih A, kjer je biometanski potencial (BMP) z $201 \pm 10,5$ ml CH₄/g OS bil najmanjši, so bili kavne usedline, jajčne lupine, veliko papirja itd. Takšni substrati so težje razgradljivi in posledično je BMP pri njih manjši. Največjo tvorbo biometana smo izmerili pri bioloških odpadkih D (473 ± 150 ml CH₄/g OS) in E (493 ± 184 ml CH₄/g OS) (slika 5). Višji BMP lahko pripišemo večji količini kuhinjskih olj, ki so jih vsebovali biološki odpadki. V bioloških odpadkih A, B,

C in G je večina metana nastala v prvih treh do štirih dneh, medtem ko je pri odpadkih D in E strmo naraščala prvih sedem do osem dni, nato pa je tvorba metana začela počasi upadati. Največ metana glede na dodano količino substrata smo dobili v reaktorju A, in sicer 76,1 ml CH₄/kg substrata (preglednica 3), najmanj pa v reaktorju C.

Izmerjene metanske potenciale smo primerjali z metanskimi potenciali organskih bioloških odpadkov iz prosto dostopne metanske baze (slika). Povprečne vrednosti se med izmerjenimi potenciali in potenciali iz preskusov niso bistveno razlikovale. Mediana iz preskusa je znašala 329,5 ml CH₄/g OS, za podatke iz literature pa je bila nekoliko večja, 361,6 ml CH₄/g OS. Kljub tem podobnostim lahko nastanejo večje razlike, tako je npr. razlika med najvišjim in najnižjim potencialom iz literature 599 ml CH₄/g OS. Zato so za načrtovanje

pridobivanja metana iz bioloških odpadkov potrebni tehten premislek, predhodna preskušanja in ocena kakovosti odpadkov, saj različne sestavine proizvedejo različno količino metana.

Vsi biološki odpadki so najvišji koeficient hidrolize dosegli prvi dan, biološki odpadki G so maksimalni kH dosegli v drugem dnevu (slika 7). Najvišji koeficient hidrolize so imeli biološki odpadki G, pri katerih je bila prvi in drugi dan dnevna tvorba metana glede na organsko obremenitev najvišja. Tako je prvi dan dosegla vrednost 120 ml CH₄/g OS dan in 139 ml CH₄/g OS dan, kar je okrog 75 % celotnega metana bioloških odpadkov G. Pri bioloških odpadkih C je v prvih dveh dneh nastalo 72 % vsega metana glede na dozirano organsko snov. To lahko pripišemo hitro razgradljivim sestavinam v bioloških odpadkih, ki so jih mikroorganizmi lahko hitreje uporabili za hrano in pretvorbo v metan. Najmanjši koeficient hidrolize smo zaznali pri bioloških odpadkih D. V tem primeru je v prvih dveh dneh nastalo okrog 33 % vsega metana



Slika 4 • Mehansko obdelani biološki odpadki v posodah s premerom 30 cm

glede na dozirano organsko snov. Koeficient hidrolize je kazalnik, pri katerih substratih bo hidroliza hitreje potekla in posledično v kolikšnem času se bo BMP približal maksimalnemu BMP-ju. Na hitrost hidrolize vpliva tudi delež lignina v substratu in prisotnost maščob. V našem primeru smo imeli različne vrste bioloških odpadkov, ki so vsebovali različne

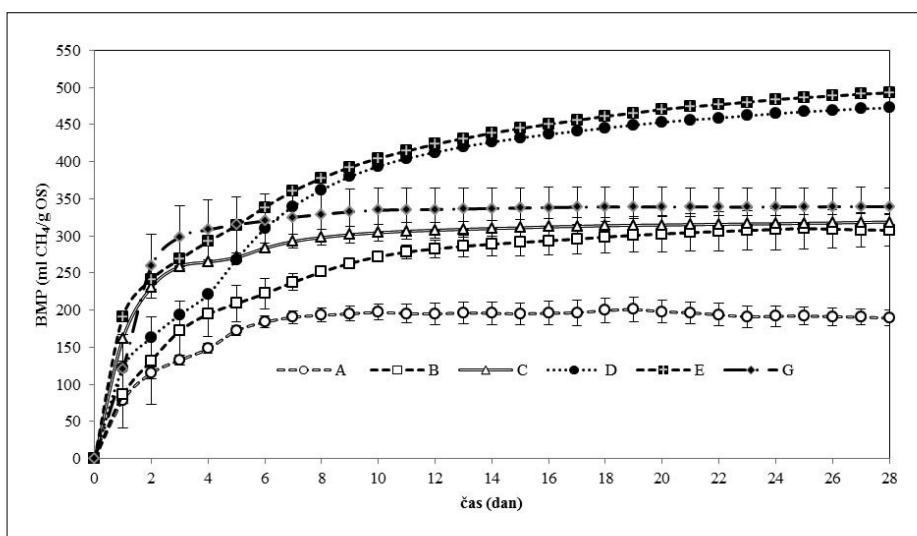
deleže lignina, celuloze in hemiceluloze ter različne deleže maščob v obliki olj in maščob, zato so različni tudi koeficienti hidrolize in izmerjeni BMP-ji.

Na koncu preskusa smo izmerili tudi različne fizikalno-kemijske parametre (preglednica 3). Deleži suhe snovi, organske snovi in pH po koncu preskusa se med različnimi biološkimi

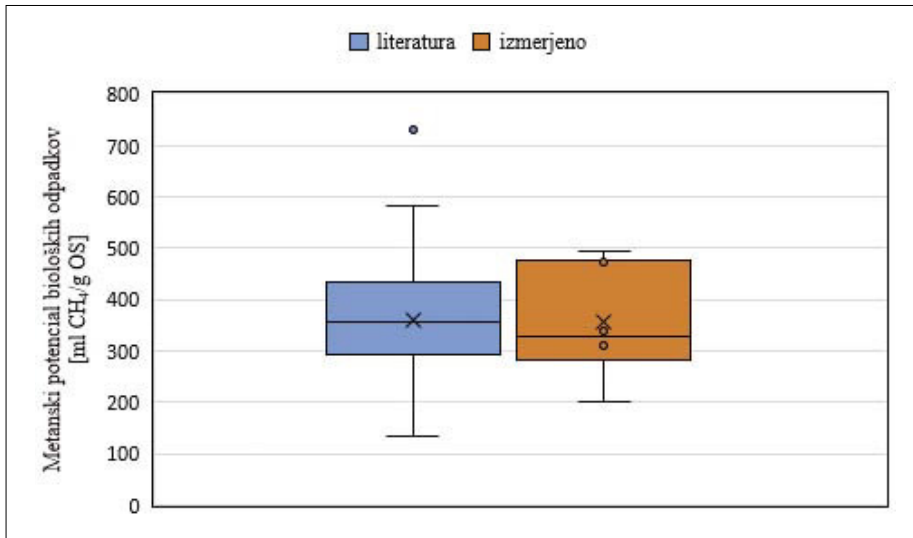
odpadki niso bistveno razlikovali. To velja tudi za koncentracije hlapnih maščobnih kislin, ki so bile v reaktorjih s substrati v nekoliko višjih koncentracijah kot pri kontrolnem reaktorju, kjer je bilo samo cepivo.

Koncentracije amonijevega dušika so bile zunaj inhibitornega območja, koncentracije celotnega dušika pa med 4100 in 4500 mg/l. Največjo razgradnjo organske snovi so imeli odpadki G, najmanjšo pa odpadki C in izhodiščni vzorec. Razmerje med hlapnimi organskimi kislinami (HOK) in pufrsko kapaciteto (CAO) se je v vseh primerih gibalo v optimalnem območju za proizvodnjo metana.

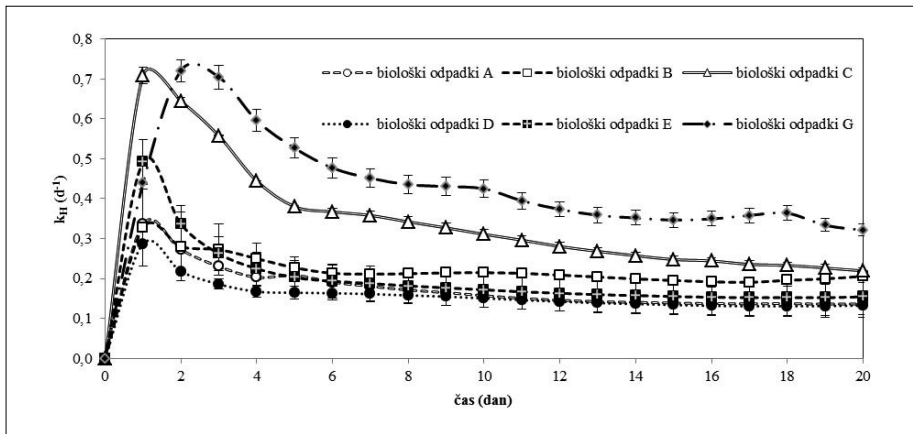
Glede na povprečno vrednost metanskega potenciala iz količine dodanega substrata smo izračunali tudi potencial proizvodnje metana v Sloveniji. Tako bi iz 48.869 ton bioloških odpadkov, ki jih letno zberemo v Sloveniji, lahko pridobili približno 3,022.500 m³ metana. Za ekonomsko upravičenost posamezne bioplinske elektrarne je treba upoštevati več različnih dejavnikov, od stroškov transporta, stroškov delovne sile, oddaljenosti virov substrata od naprave, stroškov gradnje in vzdrževanja, predelave substratov, optimalno vodenelega procesa tvorjenja metana in končno ravnanja z anaerobno stabiliziranim ostankom.



Slika 5 • Biometanski potencial bioloških odpadkov A, B, C, D, E in G s standardno deviacijo



Slika 6 • Primerjava izmerjenih metanskih potencialov iz literature (Murovec, 2015) in izmerjenih vrednosti v preskusu



Slika 7 • Koefficient hidrolize bioloških odpadkov

Vzorec	Odpadki iz restavracij						Izhodiščni vzorec
	A	B	C	D	E	G	
BMP (ml CH ₄ g ⁻¹ OS ⁻¹)	201 ± 10,5	310 ± 21,4	319 ± 11,5	473 ± 150	493 ± 184	340 ± 25,5	–
BMP (l CH ₄ kg ⁻¹ odpadkov ⁻¹)	76,1 ± 9,9	67,4 ± 11,3	44,3 ± 1,7	52,3 ± 4,4	73 ± 16	58 ± 2	–
SS (%)	5,34 ± 0,03	5,49 ± 0,07	5,67 ± 0,1	5,61 ± 0,13	5,60 ± 0,07	5,53 ± 0,09	5,53 ± 0,05
OS (% SS)	75,05 ± 0,37	67,76 ± 0,35	74,81 ± 0,40	74,55 ± 0,19	62,62 ± 0,39	76,16 ± 0,044	68,38 ± 0,24
OS (% SM)	4,01	3,72	4,24	4,18	3,51	4,21	3,78
pH	7,45 ± 0,01	7,44 ± 0,01	7,44 ± 0,01	7,44 ± 0,01	7,45 ± 0,01	7,45 ± 0,01	7,44 ± 0,00
HOK (mg/l)	2934 ± 25	2861 ± 7	2991 ± 23	3014 ± 24	2870 ± 6	2869 ± 54	3203 ± 57
CAO (mg/l)	9867 ± 54	9628 ± 74	9985 ± 59	9973 ± 342	9650 ± 45	10046 ± 149	9652 ± 113
HOK/CAO	0,297 ± 0,001	0,297 ± 0,002	0,300 ± 0,001	0,304 ± 0,009	0,298 ± 0,002	0,286 ± 0,007	0,333 ± 0,010
Ntotal (mg/l)	4331 ± 20	4325 ± 10	4448 ± 1	4437 ± 59	4381 ± 18	4112 ± 68	4126 ± 65
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	1020 ± 28	1171 ± 1	1010 ± 29	930 ± 48	1065 ± 18	852 ± 48	1040 ± 40
Razgradnja OS (%)	10,6	16,2	8,5	9,5	10,6	17,7	6,9

Preglednica 3 • Izmerjeni različni parametri v anaerobnih reaktorjih po končanem preskusu s podano standardno deviacijo

4 • SKLEP

Biološki odpadki predstavljajo dobro alternativo energetskim rastlinam za pridobivanje bioplina v procesu anaerobne presnove. Anaerobna presnova, kjer za substrat uporabljamo biološke komunalne odpadke, je zelo zahteven proces. Biološki odpadki iz različnih virov se med seboj razlikujejo. Na količino metana, ki se bo proizvedla, tako vplivajo vrsta odpadkov, vsebnost soli, vsebnost maščob, vsebnost vlaken, organska obremenitev anaerobnih reaktorjev, velikost

delcev, temperatura procesa in drugi vplivi. Največjo težavo povzročata nehomogenost odpadkov, zaradi česar lahko pride do preobremenjenosti in kopičenja maščobnih kislin, kar upočasni proces tvorjenja metana. Zato je potrebno dnevno spremljanje delovanja reaktorjev, da čim bolj zmanjšamo nihanja v proizvodnji metana, čeprav se jim zaradi narave bioloških odpadkov ne moremo izogniti. Namesto mezofilnega temperaturnega območja lahko preidemo na termofilno

območje, kjer razgradnja poteka hitreje, velikost anaerobnih reaktorjev se zmanjša, prav tako pa se zaradi višje temperature zmanjša število patogenih mikroorganizmov. Vendar pa je zaradi občutljivosti mikroorganizmov za spremembe v temperaturi proces težje voditi. Biološki odpadki lahko vsebujejo tudi primesi, kot so les, plastika, kovina in steklo, zato je nujno, da se taki odpadki že zbirajo ločeno. Prav tako je pred doziranjem v anaerobne reaktorje potrebna groba mehanska predobdelava, kjer se velikost delcev zmanjša, saj se v biološke odpadke odlagajo organsko razgradljivi materiali, ki so lahko tudi večjih dimenzij.

5 • LITERATURA

- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J. L., Guwy, A. J., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., van Lier, J. B., Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays, *Water Science and Technology*, 59(5), 927–934. 2009.
- APHA, American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed., Washington, USA, 2005.
- Bioprocess Control, AMPTS II Automatic Methane Potential Test System, Operation and Maintenance Manual, 2014.
- Cecchi, F., Bolzonella, D., Pavan, P., Macé, S., Mata-Alvarez, J., 6.36, Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste for Methane Production, Research and Industrial Application. in: *Comprehensive Biotechnology (Second Edition)*, (Ed.) M.-Y. Editor-in-Chief: Murray, Academic Press. Burlington, pp. 463–472, 2011.
- Colazo, A. B., Sánchez, A., Font, X., Colón, J., Environmental impact of rejected materials generated in organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion plants: Comparison of wet and dry process layout, *Waste Management*, 43, 84–97, 2015.
- De Mes, T. Z. D., Stams, A. J. M., Reith, J. H., and Zeeman, G., Methane Production by Anaerobic Digestion of Wastewater and Solid Wastes, v Reith, J. H., Wijffels, R. H., and Barten, H. (Eds.), *Bio-methane and bio-hydrogen*. 58–102, Petten: Dutch Biological Hydrogen Foundation, 2003.
- Kolbl, S., Palocz, A., Panjan, J., Stres, B., Addressing case specific biogas plant tasks: Industry oriented methane yields derived from 5 L Automatic Methane Potential Test Systems in batch or semi-continuous tests using realistic inocula, substrate particle sizes and organic loading, *Bioresource Technology*, 153, 180–188, 2014.
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., Latrille, E., Roger, J.M., Junqua, G., Steyer, J.P., Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review, *Process Biochemistry*, 45(4): 431–440, 2010.
- Leung, D.Y.C., Wang, J., An overview on biogas generation from anaerobic digestion of food waste, *International Journal of Green Energy*, 13(2), 119–131, 2016.
- Murovec, B., Kolbl, S., Stres, B.; Methane Yield Database: Online infrastructure and bioresource for methane yield data and related metadata, *Bioresource Technology*, 189(0), 217–223, 2015.
- SURS, Statistični urad Republike Slovenije, http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1822303S&ti=&path=./Database/Okolje/18_energetika/05_18223_obnovljivi_viri_odpadki/&lang=2, povzeto 31. 8. 2016.