

# VPLIV VELIKOSTI DELCEV ORGANSKIH KOMUNALNIH ODPADKOV NA PROIZVODNJO BIOPLINA

Mija SEŽUN<sup>1</sup>, Ilja Gasan OSOJNIK ČRNIVEC<sup>2</sup>, Romana MARINŠEK-LOGAR<sup>3</sup>

Delo je prispelo 24. oktobra 2008, sprejeto 3. junija 2009.  
Received October 24, 2008; accepted June 3, 2009.

## *Vpliv velikosti delcev organskih komunalnih odpadkov na proizvodnjo bioplina*

V Sloveniji postaja problematika komunalnih odpadkov vedno bolj aktualna, saj je ravnanje z odpadki eno najslabše rešenih nalog v okviru varstva okolja. Odlaganje na deponije je trenutno najbolj običajna praksa ravnanja s komunalnimi odpadki. Posledica neprimerne ravnanja z odpadki je tudi prekomerno sproščanje metana iz odlagališč, zato bo potrebno poiskati primernejše rešitve. V tej raziskavi smo ugotavljali, kakšna je potencialna produkcija metana iz organskih komunalnih odpadkov glede na njihovo različno granulacijo (delci različnih velikosti: >100 mm, 40–100 mm, 10–40 mm in <10 mm). Vzorcem smo predhodno določili delež organske snovi (OS), suho snov (SS), skupni organski ogljik (TOC), dušik po Kjeldahlu (TKN),  $\text{NH}_4^+$  in C/N razmerje. Pred inkubacijo in po njej smo določili kemijsko potrebo po kisiku (KPK). Iz podatkov, pridobljenih v testu biokemijskega metanskega potenciala (BMP), smo izračunali naslednje parametre: kumulativno produkcijo metana, metanski potencial in izplen metana. Izkazalo se je, da velikost delcev pomembno vpliva na metanski potencial organskih komunalnih odpadkov in da bo le-te pred presnovo v bioplin potrebno zdrobiti.

**Ključne besede:** organski komunalni odpadki / varstvo okolja / bioplin / metan / biokemijski metanski potencial / Slovenija

## 1 UVOD

Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje v Sloveniji proizvedemo okoli 400 kg komunalnih odpadkov na prebivalca letno (Ločeno zbiranje..., 2008). Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije za

## *The influence of municipal organic waste particle size on biogas production*

In Slovenia we are facing with municipal waste problems, because their treatment is one of the worst solved goals in environmental protection. Landfilling is the most frequently used practise at the moment, which causes releasing of methane gas into the atmosphere. That's why better solutions are needed. In the present study we determined the potential methane production from organic municipal wastes of different particle size (particle size: >100 mm, 40–100 mm, 10–40 mm and <10 mm). We determined volatile solids (VS), total solids (TS), total organic carbon (TOC), Kjeldahl nitrogen (TKN),  $\text{NH}_4^+$  and C/N ratio of the samples. Before and after incubation we determined chemical oxygen demand (COD). Following the biomethane potential test (BMP) we calculated parameters like: methane potential, methane yield and max. velocity of methane production. The results show that the particle size has the strongest influence on metan potential of organic waste and the grinding pretreatment is needed before biogas production process.

**Key words:** municipal organic waste / environmental protection / biogas / methane / biochemical methane potential / Slovenia

leti 1995 in 1998 je bila ta številka nekoliko višja (515 in 523 kg/prebivalca na leto). Metodologija zbiranja teh podatkov je bila drugačna, zato težko sklepamo, da se je količina nastalih odpadkov resnično toliko zmanjšala. Po podatkih za leto 2002 je Slovenija proizvedla 411 kg komunalnih odpadkov na prebivalca. V letu 2003 jih je na-

<sup>1</sup> Janševa ulica 3a, SI-4240 Radovljica, Slovenija, e-pošta:mija.sezun@ki.si

<sup>2</sup> Univ. v Ljubljani, Biotehniška fak., Odd. za zootehniko, Groblje 3, SI-1230 Domžale, Slovenija, asist.

<sup>3</sup> Isti naslov kot 2, prof., dr., mag., e-pošta: romana.marinsek@bfro.uni-lj.si

stalo 786.608 ton, zbrani pa so bili z lokalno javno službo zbiranja in prevažanja komunalnih odpadkov, kar predstavlja 402 kg odpadkov na prebivalca. V letu 2004 jih je bilo zbranih 792 046 ton oziroma 403 kg na prebivalca ter v letu 2005 792 046 t oziroma 398 kg na prebivalca (Ločeno zbiranje..., 2008).

Slovenska gospodinjstva vsako leto »proizvedejo« več kot 600 000 ton odpadkov, v Evropski uniji pa letno nastaneta dve milijardi ton odpadkov. Količina odpadkov v razvitih državah sicer še narašča, vendar se odnos do njih spreminja. Odpadki namreč niso več nekaj odvečnega, kar sodi zgolj na vedno bolj polne deponije, temveč predstavljajo potencialne surovine, katerih pot se s sicer urejenih, okolju prijaznih odlagališč vedno bolj preusmerja v tehnološko vrhunsko razvito industrijo za predelavo odpadkov v koristne surovine, kompost ali gorivo. Pri tem procesu preobrazbe odpadkov v ponovno uporabne surovine lahko sodelujemo prav vsi, in sicer tako, da ločeno zbiramo odpadke. Tako pomembno prispevamo k možnosti njihove ponovne uporabe. Na odlagališče bodo tako prispeli le odpadki, ki jih ni mogoče predelati ali koristno uporabiti. To določa tudi zakonodaja EU, ki od svojih članic zahteva, da vsako leto zmanjšujejo količino odpadkov na odlagališčih (Ločeno zbiranje..., 2008). Trdni komunalni odpadki vsebujejo več kot 40 % lahko razgradljivih organskih snovi. Prvotno so se trdni komunalni odpadki odstranjevali z odlaganjem na deponijah. Anaerobna razgradnja komunalnega blata in organskih komunalnih odpadkov v bioplinskih digestrih je s časom postala vedno bolj privlačen in sprejemljiv način ravnanja z organskimi odpadki (Hamzawi in sod., 1998). Kontrolirana anaerobna metanogena razgradnja ima številne prednosti: zmanjševanje toksičnih komponent, izboljšanje ravnotežja med hranili, boljše sodelovanje mikroorganizmov med seboj, povečanje biorazgradljivosti organske snovi in večji izplen bioplina (Poggi-Varaldo in Oleszkiewicz, 1992).

V raziskavi smo proučevali, kako velikost delcev organskih komunalnih odpadkov in nekatere druge lastnosti vplivajo na proizvodnjo bioplina in ali lahko s predobdelavo odpadkov (mletje) izboljšamo proizvodnjo bioplina v bioplinskih napravah.

## 2 MATERIAL IN METODE

Pred pričetkom testa biokemijskega metanskega potencila (BMP test v OxiTop® steklenicah) smo v biomaso bioplinske naprave prašičerejske farme Ihan (inokulum) izmerili delež organske snovi. Biomasa smo termostatali 6 dni pri 37 °C brez dodatka hranil. Pred in po inkubaciji smo izmerili pH vrednost. Prav tako smo predhodno analizirani posamezne vzorce zbranih ko-

munalnih organskih odpadkov (substrati). Izmerili smo naslednje parametre: KPK (kemijska potreba po kisiku), TOC (skupni organski ogljik), suha snov, organska snov, TKN (skupni dušik po Kjeldahlu),  $\text{NH}_4^+$  in C/N razmerje. Vzorce smo zaradi lažje izvedbe testa BMP redčili z vodo (dejavniki redčitve so podani v preglednici 2). Substrat bi bil brez redčenja hidravlično neobvladljiv. Rezultate navajamo za kg neredčenega vzorca.

### 2.1 DOLOČANJE OS (ORGANSKE SNOVI) IN SS (SUHE SNOVI)

SS in OS smo določali s standardno metodo (Clesceri in sod., 1998). Vzorce smo sušili 24 ur pri 105 °C, ter žarili 24 ur pri 550 °C. Suho in organsko snov smo izračunali po naslednjih enačbah:

$$\text{SS (g/l)} = 1000 \cdot (m_{\text{pos}} - m_{\text{lon}}) / V_{\text{vz}} \quad (1)$$

$$\text{OS (g/l)} = 1000 \cdot (m_{\text{pos}} - m_{\text{pož}}) / V_{\text{vz}} \quad (2)$$

$m_{\text{lon}}$  - masa praznega lončka (g)  
 $m_{\text{pos}}$  - masa lončka z vzorcem po sušenju (g)  
 $m_{\text{pož}}$  - masa lončka z vzorcem po žarjenju (g)  
 $V_{\text{vz}}$  - volumen vzorca pred sušenjem (10 ml)

### 2.2 DOLOČANJE SKUPNEGA DUŠIKA PO KJELDAHLU (TKN)

Vsebnost organskega dušika smo v vzorcih določali z metodo po Kjeldahlu (SIS EN 25663, 1996). Razklop smo opravili v kislem mediju v prisotnosti bakrovega sulfata ( $\text{CuSO}_4$ ), destilacijo  $\text{NH}_3$  v alkalnem mediju, titracijo s HCl ob prisotnosti borne kisline in indikatorjev. TKN smo določali z aparaturo Kjeltec auto 1030 Analyser.

### 2.3 DOLOČANJE KEMIJSKE POTREBE PO DUŠIKU (KPK)

KPK vzorcev smo določili po standardni metodi SIS ISO 6060, 1996. Vzorce smo segrevali v močno kislem mediju dve uri pri 148 °C ob prisotnosti živosrebrovega (II) sulfata z znano količino kalijevega dikromata v prebitku in s srebrovim katalizatorjem. Med reakcijo se del dikromata ( $\text{Cr}_2\text{K}_2\text{O}_7$ ) reducira  $\text{Cr}^{3+}$ , preostanek pa smo določili titrimetrično z raztopino amonijevega železovega (II) sulfata.

**Preglednica 1:** Lastnosti vzorcev organskih komunalnih odpadkov, ki smo jih testirali s testom BMP

**Table 1:** Characteristics of organic municipal waste samples tested by BMP assay

Vzorec	LASTNOSTI		
M1	nepresejano, prečiščeno nezaželenih primesi (plastika, tekstil, kamenje, kovine, kosti ipd.) in grobo predmleto	biogene sestavine, brez nezaželenih primesi	ločeni organski kuhinjski odpadki
M2	delci večji od 100 mm	biogene sestavine	mešani gospodinjski odpadki
M3	delci 40 do 100 mm	biogene sestavine	mešani gospodinjski odpadki
M4	delci 10 do 40 mm	biogene sestavine, vključno papir, karton in lepenka	mešani gospodinjski odpadki
M5	delci do 10 mm	nesortirano, vključno z mineralnimi snovmi	mešani gospodinjski odpadki

#### 2.4 DOLOČANJE SKUPNEGA ORGANSKEGA OGLJIKA (TOC = TOTAL ORGANIC CARBON))

Za določanje TOC v vzorcih z vsebnostjo TOC  $\geq 1$  mg/l (vsi vzorci) smo uporabili metodo z infrardečo celičo (Eaton in sod., 1995). Meritev poteka tako, da v vzorcu najprej izmerimo celotno količino ogljika (anorganskega in organskega – TC (Total Carbon), nato samo anorganski del – IC (Inorganic Carbon) in iz razlike izračunamo vrednost organskega ogljika – TOC.

Metanski potencial lahko merimo na več načinov. Kot osnovni testni postopek smo uporabili test BMP (biokemijski metanski potencial) po Owenu, 1979.

S testom BMP smo ugotavljali produkcijo metana, ki nastane pri anaerobni razgradnji substrata med inkubacijo. Mešanica je vsebovala mikrobo biomaso, pufer za vzdrževanje pH vrednosti ( $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{NaHPO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ), v vsaki drugi steklenici tudi NaOH za vezavo  $\text{CO}_2$  iz bioplina in substrat. Kot substrat smo uporabili različne vrste organskih odpadkov iz različnih naselbinskih območij v Ljubljani in njeni okolici. Vzorce smo predhodno zmleli do različnih velikosti. Vzorci so bili označeni z oznakami od M1 do M5. Njihove lastnosti prikazuje preglednica 1.

Poleg poskusnih steklenic z vzorci od M1 do M5 smo inkubirali tudi ničelni vzorec, s katerim smo spremljali produkcijo metana same biomase. Vzporedno smo inkubirali tudi standardni vzorec z lahko razgradljivim definiranim substratom. Kot standardni substrat smo uporabili glukozo v začetni koncentraciji 600 mg KPK/L. Mikrobo biomasa mora biti obremenjena s primerno količino substrata. V vsaki steklenici smo na začetku in na koncu inkubacije analizirali parametra KPK in pH. Mešanico smo inkubirali 14 dni pri temperaturi 37 °C, z začetno obremenitvijo 2g OS/L testne mešanice ter stresali pri 120 obratih. Testne steklenice OxiTop® smo med polnjenjem preprihovali z dušikovim plinom.

Nastajanje bioplina ( $\text{CH}_4$  in  $\text{CO}_2$ ) v steklenicah je povzročilo naraščanje tlaka, ki je pokazatelj obsega in hitrosti produkcije. Na steklenicah so nameščene merilne glave, ki beležijo spremembe pritiska v hPa.

Izmerjene podatke smo prenesli v preglednico programa Excel in prikazali v obliki krivulje kumulativne produkcije bioplina. Prvotna krivulja je predstavljala porast tlaka zaradi nastanka bioplina med anaerobno razgradnjo, to pa smo pretvorili v volumne nastalega bioplina oz. metana.

#### 2.5 IZRAČUN KOLIČINE NASTALEGA METANA

Od nastalega metana v testnih mešanicah smo odšteli produkcijo metana pri ničelnem vzorcu. Količino nastalega metana smo spremljali z merjenjem razlik tlakov v steklenicah z digitalnim kontrolnim modulom OxiTop®. Po prenosu izmerjenih razlik v tlaku v program Excel ( $P_x$ ) smo s splošno plinsko enačbo (enačba 3) izračunali prostornine metana in rezultate kumulativno prikazali na grafikonu.

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_x \cdot V_x}{T_x} \quad (3)$$

$P_0$  - 101,3 kPa  
 $V_0$  - prostornina plina pri normalnih pogojih  
 $T_0$  - 273 K  
 $P_x$  - izmerjeni tlak  
 $V_x$  - razpoložljiva prostornina v steklenici ( $V_x = 710$  ml)  
 $T_x$  - temperatura inkubacije (310 K)

Metanski potencial smo izračunali iz produkcije metana ( $\text{m}^3$ ) na kilogram organske snovi (OS) vzorca ( $\text{m}^3 \text{CH}_4 / \text{kg OS}$ ).

Izplen metana smo izračunali kot razmerje med teoretično vrednostjo produkcije metana iz 1 kg razgraje-

**Preglednica 2:** Vsebnost suhe snovi (SS v g/kg in %), organske snovi (OS v g/kg in %), organska/suha (%) in faktor redčitve

**Table 2:** Contents of total suspended solids (g/kg, %), volatile suspended solids (g/kg, %), total suspended solids/ volatile suspended solids and dilution factor

Vzorec	SS (g/kg)	SS (%)	OS (g/kg)	OS (%)	OS v sušini (%)	faktor redčitve
M1	278,7	27,9	202,9	20,3	72,8	2
M2	527,9	52,8	416,0	41,6	78,8	4
M3	469,1	46,9	348,0	34,8	74,2	3,5
M4	325,7	32,6	247,7	24,8	76,0	2,5
M5	707,8	70,8	331,0	33,1	46,8	3

**Preglednica 3:** Vsebnost TOC (% in g/kg), TKN (% in g/kg),  $\text{NH}_4^+$  (g/kg) in razmerje C/N

**Table 3:** Contents of TOC (% , g/kg), TKN (% , g/kg),  $\text{NH}_4^+$  (g/kg) and C/N ratio

Vzorec	TOC (% v ss)	TOC (g/kg)	TKN (g/kg)	TKN (% v ss)	$\text{NH}_4^+$ (g/kg)	C/N
M1	36,73	102,36	6,0176	2,16	0,2375	17,0
M2	40,03	211,32	8,8452	1,68	0,3800	23,9
M3	37,86	177,61	9,0360	1,93	0,3738	19,7
M4	38,61	125,76	8,0038	2,46	0,5776	15,7
M5	23,10	163,51	10,0824	1,42	0,5547	16,2

TOC – total organic carbon / skupni organski ogljik; TKN – total Kjeldahl nitrogen / dušik po Kjeldahlu;  $\text{NH}_4^+$  – amoniak; C/N – razmerje med ogljikom in dušikom

nega KPK in izmerjeno produkcijo metana iz 1 kg KPK v testu BMP. Teoretična vrednost predvideva, da je iz 1 kg razgrajenega KPK mogoče pridobiti 0,35 m<sup>3</sup> metana pri standardnih plinskih pogojih (STP) (Michaud in sod., 2002).

Za analizo sestave bioplina smo uporabili plinski kromatograf GC-MS (Agilent 6890N) s kapilarno kolono Agilent 113-4362 GS-GASPRO, premera 0,32 cm in dolžine 60m, nosilni plin je bil helij.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Glede na to, da biološki odpadki predstavljajo vedno večjo obremenitev okolja, smo se v naši raziskavi

**Preglednica 4:** Sestava plina (%) posameznih vzorcev ob zaključku testa BMP

**Table 4:** Biogas composition (%) of individual samples at the end of BMP assay

Vzorec (oznaka)	% $\text{CH}_4$	% $\text{CO}_2$	% $\text{H}_2\text{S}$
M1	74,5	25,4	0,089
M2	70,8	29,1	0,094
M3	64,3	35,6	0,105
M4	58,6	41,2	0,172
M5	42,7	57,2	0,137

lotili preučevanja pogojev za kontrolirano metanogeno razgradnjo različnih organskih komunalnih odpadkov, ki smo jih predhodno razvrstili po velikosti sestavnih delcev in analizirali nekatere njihove lastnosti, ki vplivajo na metanogeno razgradnjo.

Analize vzorcev so pokazale, da je imel vzorec M1 najmanjši delež suhe snovi (SS), največji delež pa M5. Največji delež organske snovi smo ugotovili pri vzorcu M2, najmanjši delež pa pri vzorcu M1. Preglednica 2 prikazuje deleže SS in OS za vse poskusne vzorce.

Pri vzorcu M5 smo ugotovili najmanjši delež skupnega organskega ogljika (TOC), največji delež pa pri vzorcu M2. Največ skupnega dušika po Kjeldahlu (TKN) je vseboval vzorec M5, najmanj pa vzorec M1. Preglednica 3 prikazuje vsebnost TOC, TKN in razmerje C/N za vse poskusne vzorce.

Plinskokromatografska analiza vzorcev bioplina ob zaključku testa BMP je pokazala, da največji delež metana v bioplenu nastane pri anaerobni metanogeni razgradnji vzorca M1 (74,5 %) in pada do vzorca M5 (pregl. 4), kjer je v bioplenu najmanjši delež metana (42,7 %)

Izmerjene vrednosti pH (pred in po inkubaciji) so pokazale, da se pH vrednost med 14-dnevno inkubacijo v testu BMP občutno ne spremeni (pregl. 5).

Med anaerobno razgradnjo vzorcev M1 do M5 smo ugotovili največjo redukcijo KPK (ki kaže stopnjo razgradnje organske snovi) pri vzorcih M4 in M5 z najmanjšim premerom delcev, najmanjšo pa pri vzorcih M2 in M3.

**Preglednica 5:** pH pred in po inkubaciji, KPK (kemijska potreba po kisiku) pred in po inkubaciji (mg/L) ter redukcija KPK med anaerobno metanogeno razgradnjo

**Table 5:** pH before and after incubation, COD (chemical oxygen demand) before and after incubation (mg/L) and reduction of COD during anaerobic methanogenic degradation

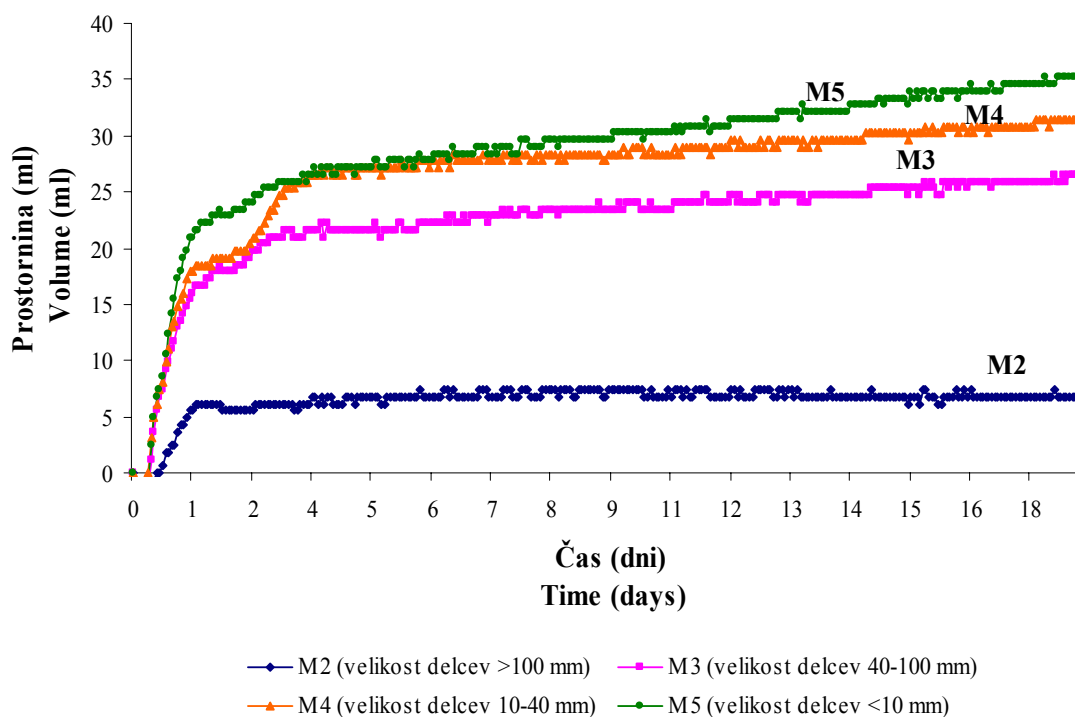
Vzorec	pH pred inkubacijo	pH po inkubaciji	KPK pred inkubacijo (mg/L)	KPK po inkubaciji (mg/L)	redukcija KPK (mg/L)
M1	7,84	7,74	2466	1850	616
M2	7,85	7,73	2202	1761	441
M3	7,85	7,74	2026	1585	441
M4	7,55	7,58	2554	1497	1057
M5	7,64	7,60	2554	1409	1145

Redukcijo KPK prikazuje preglednica 5. Največja redukcija KPK se ujema z največjim metanskim potencialom in z največjim izplenom pri vzorcih M4 in M5 (pregl. 6).

Parametre, ki smo jih izmerili s testom BMP prikazujemo v preglednici 6 in na sliki 1. S testom BMP smo največjo kumulativno produkcijo metana izmerili pri vzorcu M5, ki ga sestavljajo najmanjši delci (>10mm). Najmanjšo kumulativno produkcijo metana smo izmerili pri vzorcu M2. Rezultati so tudi pokazali, da se metanski potencial in izplen povečujeta z zmanjševanjem velikosti delcev. Povečanje metanskega potenciala in izplena je opazno, če so delci manjši od 40 mm.

V študiji Mshandeta in sod. (2005) so dokazali, da pri rastlinah z večjo vsebnostjo vlaknin večji delci zavirajo anaerobno razgradnjo, medtem ko se manjši delci hitreje razgrajujejo.

Prav tako so Hansena in sod. (2007) predstavili vpliv lastnosti substrata na razgradnjo ter s predobdelavo na tri različne velikosti delcev dokazali vpliv velikosti na razgradnjo. Manjša velikost delcev je bolj ugodna za mikroorganizme, saj jim omogoča boljši dostop do substrata. Metanski potencial, izplen in maksimalna hitrost produkcije metana so navadno v pozitivni korelaciji z velikostjo delcev. Anaerobne bakterije lažje kolonizirajo



**Slika 1:** Kumulativna produkcija metana pri vzorcih od M2 do M5 (mL/dan).

**Figure 1:** Cumulative methane production for samples M2 to M5 (mL/dan).

**Preglednica 6:** Parametri produkcije bioplina, velikost delcev ter C/N razmerje vzorcev**Table 6:** Biogas production parameters, particle size and C/N ratio of samples

Vzorec	Velikost delcev	C/N	CH <sub>4</sub> potencial (m <sup>3</sup> /kg OS)	Izplen (%)	Kumulativna produkcija metana na vzorec (mL)
M1	> 100 mm	17,0	Nd	Nd	Nd
M2	> 100 mm	23,9	0,15	44	6,79
M3	40–100 mm	19,7	0,15	44	26,54
M4	10–40 mm	15,7	0,37	105,7 *	31,48
M5	< 10 mm	16,2	0,40	114,5 *	35,18

\* izračunana vrednost nad 100 % je lahko posledica eksperimentalnih napak

in bolje razgradijo substrat, če je razmerje površina/prostornina ugodno (najbolj ugodno za substrate, katerih velikost delcev je majhna).

Poleg velikosti delcev ima pomemben vpliv na metanski potencial razmerje med ogljikom in dušikom (C/N) v substratu. Ogljik je vir energije pri anaerobnem dihanju. Optimalno razmerje C/N za produkcijo bioplina je 30 : 1 (Bardiya in Gaur, 1997), najmanjše še ugodno razmerje pa 16:1 (Deublein in Steinhauser, 2008). Največji metanski potencial smo dokazali pri vzorcu M5, najmanjšega pa pri M2 in M3, kar ne kaže na direktno povezavo z razmerjem C/N.

Mata-Alvarez (2003) poroča o metanskem potencialu 0,489 m<sup>3</sup>/kg OS pri organskih trdnih odpadkih. V Južni Koreji je bila narejena raziskava, ki je vključevala posamezne komunalne odpadke ter njihove mešanice. Anaerobno razgradnjo so testirali s testom BMP. V testiranje so vključili naslednje vzorce: kuhano meso, katerega potencial je bil največji, in sicer 482 ml CH<sub>4</sub>/g OS, sledilo je zelje z metanskim potencialom 277 ml CH<sub>4</sub>/g OS, nato kuhan riž 294 ml CH<sub>4</sub>/g OS ter mešanica vseh komunalnih odpadkov s potencialom 472 ml CH<sub>4</sub>/g OS (Cho in sod., 1995). Elango in sod. (2007) so pri organskih komunalnih odpadkih dosegli maksimalno količino producirane metana 0,36 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ kg OS. Metanska potenciala vzorcev M4 in M5 (pregl. 6) iz naše raziskave, kjer so delci manjši od 40 mm, sta primerljiva z metanskimi potenciali organskih komunalnih odpadkov iz omenjenih tujih raziskav. Rezultati kažejo na to, da bo za učinkovito presnovo organske snovi v bioplin potrebno drobljenje ali mletje organskih komunalnih odpadkov.

#### 4 SKLEPI

Iz rezultatov raziskave lahko zaključimo, da je metanski potencial komunalnih odpadkov v Sloveniji primerljiv z metanskimi potenciali podobnih odpadkov iz tujih raziskav. Komunalne odpadke smo razdelili v sku-

pine glede na velikost delcev. Dokazali smo, da velikost delcev pomembno vpliva na metanski potencial, saj smo pri komunalnih odpadkih z manjšo velikostjo delcev dokazali večji metanski potencial. Torej je predobdelava organskih komunalnih odpadkov eden izmed pomembnih korakov učinkovite anaerobne razgradnje.

#### 5 SUMMARY

In our research we tried to find the correlation between different particle sizes of organic municipal waste samples and methane potential. In the present study we determined the potential methane production from organic municipal wastes of different particle size (particle size: >100 mm, 40–100 mm, 10–40 mm and <10 mm). We incubated buffered substrates and inoculum biomass in gastight bottles OxiTop<sup>®</sup> for 14 days. As a standard test substrate we applied glucose. Before and after incubation we determined chemical oxygen demand (COD) and pH. We analysed volatile solids (VS), total solids (TS), total organic carbon (TOC), Kjeldahl nitrogen (TKN), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and calculated the C/N ratio of the samples. Following the biomethane potential test (BMP) we calculated and compared parameters like: cumulative methane production, methane potential (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kgVSS) and methane yield (% of maximum theoretical yield of CH<sub>4</sub>/kg COD). Biogas composition was determined by GC-MS. The highest methane potential was determined for sample M5, the lowest for sample M4 (size fraction <10 mm). Correspondingly, the highest yield was recorded for sample M5 and the lowest for sample M4; also the rate of CH<sub>4</sub> production was the highest for sample M5 and the lowest for sample M4. It is evident that the methane potential and yield depend on mean particle size of the substrate, being most favourable for the smallest particles. Anaerobic bacteria would more successfully colonise and further successfully degrade the substrate when the particle area/volume ratio is favourable (being the most favour-

able for the samples with the smallest particle size). Our results show partial correlation between C/N ratio and cumulative biogas production, too. The results show that sample M4 had low C/N ratio (less than 16) which could have an effect on cumulative methane production.

## 6 VIRI

- Bardiya N., Gaur A.C. 1997. Effects of carbon and nitrogen ratio on rice straw biomethanation. *J. Rural Energy*, 4
- Cho J.K., Park S.C., Chang H.N. 1995. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food waste. *Bioresour. Technol.*, 52: 245–253
- Clesceri L.S., Greenberg A.E., Eaton A.D. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Solids. Washington, D.C., American Public Health Association: 2–51
- Deublein D., Steinhauser A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA: 442 str.
- Clesceri L.S., Eaton A.D., Greenberg A.E., Franson M.A.H., American Public Health Association. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup> edition. Washington, DC: American Public Health Association: 5–17
- Elango D., Pulikesi M., Baskaralingam P., Ramamurthi V., Sivanesan S. 2007. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. *Journal of Hazardous Material*, 141: 301–304
- Hamzawi N., Kennedy K.J., MC Lean D.D. 1998. Technical feasibility of anaerobic co-digestion of sewage sludge and municipal solid waste. *Environ. Technol.*, 19: 993–1003
- Hansen T.L., Jansen J.C., Davidsson A., Christensen T.H. 2007. Effect of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery. *Waste Management*, 27: 398–405
- Ločeno zbiranje odpadkov. 2008. Snaga-Ljubljana. <http://www.jh-lj.si/snaga/locevanje> (02. okt. 2008)
- Mata-Alvarez J. 2003. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. *IWA Publishing*, 1900222 140
- Michaud S., Bernet N., Buffière P., Roustan M., Moletta R. 2002. Methane yield as a monitoring parameter for the start-up of anaerobic fixed film reactors. *Water Research*, 36, 5: 1385–1391
- Mshandete A., Bjornsson L., Kivaisi A.K., Rubindamayugi M.S.T., Mattiasson B. 2005. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. *Renewable Energy*, 31: 2385–2392
- Owen W.F., Stuckey D.C., Healy J.B., Young L.Y., Mc Carty P.L. 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water Research*, 13: 485–492
- Poggi-Valardo H.M., Oleszkiewicz J.A. 1992. Anaerobic co-composting of municipal solid waste and waste sludge at high solid level. *Environ. Technol.*, 13: 409–421
- SIST EN 25663. Water quality-Determination of Kjeldahl nitrogen- Method after mineralization with selenium. *Kakovost vode- določevanje dušika po Kjeldahlu-Metoda po mineralizaciji s selenom*. 1996
- SIST ISO 6060. Water quality-determination of the chemical oxygen demand. 2<sup>nd</sup> edition. *Kakovost vode-določanje kemijske potrebe po kisiku*. 1996-10-15