



## ANGLIES DIOKSIDO IR DEGUONIES TYRIMAI BIODUJOSE, ANAEROBIŠKAI PERDIRBANT ATLIEKAS, SUDARYTAS IŠ ARKLIŲ IR AVIŲ MĚŠLO BEI AUGALINĖS KILMĖS ATLIEKŲ MIŠINIŲ

Alvydas ZAGORSKIS<sup>1</sup>, Inga JACKEVIČIŪTĖ<sup>2</sup>

*VGTU AIF Aplinkos apsaugos katedra*

*El. paštas: <sup>1</sup>alvydas.zagorskis@vgtu.lt; <sup>2</sup>inga.jackeviciute@stud.vgtu.lt*

**Anotacija.** Atliekos – nepageidaujamos medžiagos, kurios dažniausiai susidaro dėl žmogaus veiklos. Jos yra vienos iš aplinkos taršos šaltinių. Šiuolaikiniame pasaulyje didėjant žmonių skaičiui, didėja ir susidarančių atliekų kiekiai. Kasmet didėjantys atliekų kiekiai yra viena iš svarbiausių šių dienų problemų, todėl reikia imtis efektyvių priemonių šiai problemai spręsti. Straipsnyje pateikiami eksperimentinių tyrimų su arklių ir avių mėšlu ir jų mišiniais su žolinėmis atliekomis (topinambais), sumaišytais su mikrodumbliais, rezultatai. Eksperimentų metu stebėtas biodujų kiekis, metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos periodinio veikimo bioreaktoriui veikiant mezofiliniu režimu.

Atlikus tyrimus nustatyta, kad biodujų sudėtis priklauso nuo substrato sudėties, t. y. nuo substrato prigimties bei mišinių proporcijų. Mažiausia CO<sub>2</sub> koncentracija yra išsiskyrusi bioreaktoriuje, į kurį įkrauta arklio mėšlo, topinambų ir mikrodumblių. Šiuo atveju mažiausia O<sub>2</sub> koncentracija išskiria 2-asis bioreaktorius, į kurį arklio mėšlo ir topinambų, įkrauta santykiu 50:50.

**Reikšminiai žodžiai:** anaerobinis perdirbimas, biologiškai skaidžios atliekos, biodujos.

### Įvadas

Vienas iš svarbiausių visų pasaulio žmonių uždavinių yra išsaugoti švarią aplinką, kuo mažiau paveiktą įvairių teršalų ar kitų aplinką teršiančių būdų. Oro tarša ir klimato atšilimas yra vienos iš pagrindinių problemų, atsirandančių aplinkoje dėl žmogaus egzistavimo. Vis augantis energijos poreikis, naftos kainų svyravimai ir iškastinio kuro išteklių išsekimas skatina žmoniją ieškoti atsinaujinančių energijos šaltinių alternatyvos (Abdeshahian *et al.* 2014, 2016). Dabartiniu laiku visame pasaulyje organinės atliekos vis dažniau naudojamos energijai generuoti (Baltrėnas, Kvasauskas 2008).

Lietuvoje ir visame pasaulyje vis auganti pramonės apimtis ir medžiagų, iškasenų suvartojimas generuoja didelius biologiškai skaidomų atliekų kiekius (Baltrėnas, Misevičius 2011). Kaip rezultatas susidaro biodujos – ekologiškai naudingas energijos šaltinis, kuris daugiausia susideda iš metano (apie 60 %) ir anglies dioksido (35–40 %). Taip pat, biodujų sudėtyje yra kitų dujų, pavyzdžiui, amoniako (NH<sub>3</sub>), vandenilio sulfido (H<sub>2</sub>S), vandenilio (H<sub>2</sub>), deguonies (O<sub>2</sub>), azoto (N<sub>2</sub>) ir anglies monoksido (CO) (Chasnyk *et al.* 2015; Sun *et al.* 2015; Abdeshahian *et al.* 2016).

Pagrindinės problemos yrant organinėms atliekomis yra dujų CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub>, kurios lemia šiltnamio efektą, išsiskyrimas, metano neigiama įtaka yra net 21 kartą didesnė nei anglies dvideginio (Baltrėnas *et al.* 2005), gruntinių ir paviršinių vandenų mikrobiologinis ir cheminis teršimas, patogeninių bakterijų dauginimasis, nemalonūs kvapai, kurie daro neigiamą įtaką gamtai ir žmonių sveikatai (Zigmontienė, Zuokaitė 2009; Kvasauskas, Baltrėnas 2009; Čepanko, Baltrėnas 2009).

Teigiami faktoriai perdirbant biologiškai skaidžias atliekas yra šie:

- Pagamintos biodujos nepatenka į aplinką, o yra suvartojamos kaip kuras;
- Sprendžiamos ekologinės problemos ir kartu papildomai gaunama ekonominė nauda, elektros ir/ar šiluminė energija;
- Mažinamas irimo metu išsiskiriančių kvapų poveikis aplinkai;
- Perdirbtas substratas panaudojamas dirvos tręšimui (Kvasauskas, Baltrėnas 2009).

Biodujų gamyba yra sudėtingas procesas, nes organinės medžiagos veikia skirtingų rūšių bakterijos. Veikiant

anaerobinėms bakterijoms organinių medžiagų virsmas į biodujas vyksta trimis etapais: hidrolizės, acetogenezės ir metanogenezės. Kiekvienas etapas yra susijęs su tam tikra mikroorganizmų grupe, turinčia skirtingas funkcijas ir savybes (Bailey 1991). Tačiau kiekvienai metanogeninių ir kitų biodujų gamybos procese dalyvaujančių mikroorganizmų rūšiai reikalinga tik jai būdinga optimali temperatūra. Biodujų energetikoje priimta temperatūras skirstyti į tris grupes: psichrofilinę (10–25 °C), mezofilinę (25–40 °C), termofilinę (50–65 °C) (Feng *et al.* 2007; Yadvika *et al.* 2004).

Išsiskiriančių biodujų, taip pat ir metano, kiekis priklauso nuo substrato pH. Anaerobiškai perdirbamo substrato pH vertę lemia metanogenezės bakterijų augimas. Metano gamyba vyksta gana siaurame pH intervale – maždaug nuo 5,5 iki 8,5 (Weiland 2009).

Anaerobiniuose reaktoriuose pagamintų biodujų pagrindiniai komponentai yra metanas (CH<sub>4</sub>) (40–75 %) ir anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>) (25–50 %). Žymiai mažesnę dalį sudaro sieros vandenilis (H<sub>2</sub>S), amoniakas (NH<sub>3</sub>), vandenilis (H<sub>2</sub>), azotas (N<sub>2</sub>) (6–7 %), anglies monoksidas (CO), deguonis (O<sub>2</sub>), vandens garai (iki 2 %) ir kiti junginiai (Baltrėnas *et al.* 2006). Biodujų sudėtis priklauso nuo gamybos proceso parametru, žaliavos rūšies ir sudėties, todėl biodujų energetinė vertė tiesiogiai susijusi su metano koncentracija jose. Jei metano kiekis sudaro daugiau apie 60 %, tai biodujos laikomos vertingu kuru (Durand 1998). Apie 70 % metano pagaminama iš acetatų, o 30 % – iš vandenilio ir anglies dioksido (Ghose 2003; Koven 2009).

Kiekviena augalų ar kitų biologiškai skaidžių atliekų rūšis ir jų mišiniai turi savitą organinę sudėtį. Anaerobinio perdirbimo požiūriu biomasę vertinama pagal joje esančių riebalų, baltymų ir angliavandenių kiekį. Esant skirtingoms angliavandenių, baltymų ir riebalų proporcijoms substrate, skirtinga gaunama ir biodujų išeiga bei metano kiekis jose. Didžiausia biodujų ir metano išeiga gaunama perdirbant riebalus (Alvarez *et al.* 2006).

Gamybinėje ir kitoje veikloje pagrindiniai bioskaidžių atliekų srautai susidaro žemės ūkio, maisto pramonės įmonių ir nuotekų valymo įrenginių veikloje. Pažymėtina tai, kad žemės ūkio bioskaidžios atliekos sudaro didžiąją dalį Lietuvoje susidarantių bioskaidžių atliekų (Baltrėnas, Misevičius 2011).

Didžiausią dalį mėšlo kiekio sudaro galvijų mėšlas, taip yra todėl, kad mėšlo išeiga iš galvijų yra didžiausia. Norint, kad ūkiuose susidaręs mėšlas būtų efektyviai panaudotas, rekomenduojama jį anaerobiškai perdirbti bioreaktoriuje. Perdirbant mėšlą yra atsižvelgiama į mėšle esančių sausos medžiagos kiekį. Nuo sausos medžiagos kiekio

priklauso, kokį kiekį mėšlo ir kitos papildomos medžiagos reikės tiekti į bioreaktorių (Ahn *et al.* 2010).

Galvijų mėšle yra nuo 5 iki 12 % sausos masės. Iš vieno kilogramo sausos masės galima išgauti nuo 0,2 iki 0,3 m<sup>3</sup> biodujų (Al Seadi 2008). Norint pagerinti biodujų ir metano išeigą, rekomenduojama galvijų mėšlą maišyti su kitomis biologiškai skaidžiomis atliekomis, pvz., žole. Maišant galvijų mėšlą su žole, pagerinamas C:N santykis, pH rodiklis. Šie faktoriai veikia ne tik biodujų ir metano gamybos intensyvumą, bet ir didesnį jų kiekį. Iš žolės taip pat gaunama gera biodujų ir metano išeiga, kadangi nekyla problemų dėl reikiamo kiekio, nes žolės atliekų šienaujamos pievose paprastai susidaro daug.

Mokslininkų, tyrusių biodujų ir metano išeigą, naudojant įvairų mėšlą, yra nemažai, tačiau nėra tiek daug mokslininkų, kurie tyrinėjo biodujų ir metano gamybą naudodami arklių mėšlo ir žolinės kilmės atliekų mišinius, todėl atsižvelgiant į tai, mūsų tyrimai buvo atliekami su arklių mėšlo ir žolinės kilmės atliekomis (topinambais) skirtingais santykiais. Palyginimui į vieną bioreaktorių įkrovėme avių mėšlo ir topinambų.

*Darbo tikslas* – nustatyti anglies dioksido ir deguonies koncentraciją anaerobiškai apdorojant organinės kilmės biologiškai skaidžias atliekas, sudarytas iš arklio mėšlo ir augalinės kilmės atliekų mišinių, bei avies mėšlo ir augalinės kilmės mišinio, įmaišant mikrodumblių kultūras.

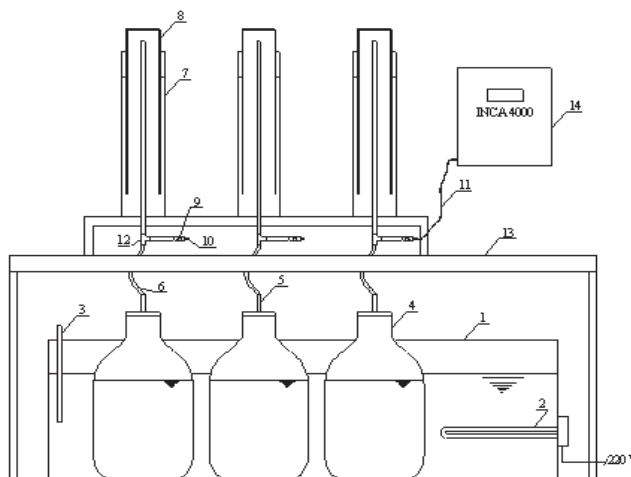
## Tyrimų metodika

Tyrimai atliekami laboratorinėmis sąlygomis, naudojant periodinio veikimo bioreaktorių (1 pav.). Periodinio veikimo laboratorinis bioreaktorių, kurio tūris – 5 litrai, per biomasės tiekimo angą pripildomas mėšlo, žaliųjų atliekų, substrato ir mikrodumblių kultūrų. Bioreaktoriuje sukuriama anaerobinė sąlyga.

Viso eksperimento metu kiekvieną dieną stebėtas biodujų kiekis, biodujų metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos bei šių parametru kaita.

### *Pagrindiniai bioreaktoriaus elementai*

Pagrindinis bioreaktoriaus elementas yra atitinkamu substratu užpildyta talpa, kurioje vyksta anaerobiniai procesai. Tyrimams naudoti 6 periodinio veikimo bioreaktoriai, įstatyti į specialų indą su vandeniu, kuriame, naudojant vandens kaitinimo elementą, palaikoma pastovi 35 °C temperatūra. Pastovi substrato temperatūra palaikoma automatiškai būdu, naudojant temperatūros daviklį, kuris reaguoja į substrato temperatūros pokyčius. Substrato temperatūra stebima kiekvieną tyrimo dieną. Bioreaktoriuje išsiskyrusios biodujos nuvedamos į biodujų kaupimo talpas.



1 pav. Laborinio bioreaktoriaus stendo schema:  
 1 – talpa su vandeniu, 2 – biomasės šildymo elementas,  
 3 – termometras, 4 – bioreaktorius, 5 – atvamzdis žarnai tvirtinti, 6 – lanksti žarnelė, 7 – talpa su vandeniu, 8 – dujų kaupimo talpa (PVC vamzdis), 9 – ventilis, 10 – atvamzdis dujoms išeiti, 11 – lanksti žarnelė, 12 – trišakis, 13 – stalias, 14 – dujų analizatorius (Baltrėnas, Misevičius 2011)

Kiekvienas bioreaktorius turi atskirą biodujų kaupimo talpą.

Kadangi bioreaktorių talpa nėra didelė, todėl biomasė bioreaktoriuje maišoma mechaniniu būdu kiekvieną dieną.

#### Bioreaktoriaus veikimo principas

Į laboratorinį bioreaktorių (1 pav.) įpilama paruošta biomasė (2–4 pav.). Į periodinio veikimo bioreaktorių, kurio tūris 5 litrai, biomasė tiekama per tam skirtą angą. Substrato temperatūra palaikoma automatiškai naudojant kaitinimo teną ir šilumos daviklį, o maišymas atliekamas mechaniniu būdu.

Pasibaigus eksperimento laikui visa perdirbta biomasė pašalinama per tą pačią angą, per kurią buvo pakrauta. Substrato pH rodiklis nustatytas prieš eksperimentą ir eksperimentui pasibaigus.

#### Substratas

Tyrimams atlikti buvo pasirinkti 6 substratai, sudaryti iš avių, arklių mėšlo ir topinambų mišinių (2–4 pav.) bei mikrodumblių kultūrų (3–5 bioreaktoriai). Substratų pasirinkimą lėmė vis labiau besiplečiantys arklių ir avių ūkiai bei vis dažniau naudojamos topinambų kultūros. Mikrodumbliai turi pakankamai maistinių medžiagų metanogeninėms bakterijoms, todėl gali būti naudojami, siekiant padidinti metano koncentraciją biodujose.

Ekperimentiniams tyrimams buvo pasirinkti šie organinės kilmės atliekų mišiniai:

- Arklio mėšlas 75 % ir topinambai 25 % (bioreaktorius Nr. 1);
- Arklio mėšlas 50 % ir topinambai 50 % (bioreaktorius Nr. 2);



2 pav. Avių mėšlas sumaišytas su vandeniu



3 pav. Susmulkintas arklių mėšlas



4 pav. Sutarkuoti topinambai

- Arklio mėšlas 66,66 % ir topinambai 33,33 % bei mikrodumbliai *Chlorella sp.* (bioreaktorius Nr. 3);
- Arklio mėšlas 66,66 % ir topinambai 33,33 % bei mikrodumbliai *Monoraphidium sp.* (bioreaktorius Nr. 4);
- Arklio mėšlas 66,66 % ir topinambai 33,33 % bei mikrodumbliai *Stichococcus sp.* (bioreaktorius Nr. 5);
- Avies mėšlas 83,33 % ir topinambai 16,67 % (bioreaktorius Nr. 6).

Siekiant parinkti optimalius substratų mišinius, organinės atliekos buvo maišomos tarpusavyje. Sumaišymo santykiai pateikti 1-oje lentelėje.

1 lentelė. Santykiai, kuriais įkrauti bioreaktoriai

Bioreaktoriaus Nr.	Substrato masė, kg	Žaliųjų atliekų masė, g	Vandens kiekis, l
1	Arklio 1,5	Topinambai 0,5	2,5
2	Arklio 0,75	Topinambai 0,75	2,5
3	Arklio 1,0	Topinambai 0,5 (mikrodumbliai)	2,5
4	Arklio 1,0	Topinambai 0,5 (mikrodumbliai)	2,5
5	Arklio 1,0	Topinambai 0,5 (mikrodumbliai)	2,5
6	Avies 1,0	Topinambai 0,2	2,2

Remiantis standartizuotais metodais buvo nustatyta substratų sausoji dalis (2 lentelė).

2 lentelė. Pagrindinės substrato charakteristikos

Parametrai	Matavimo vienetai, %	Tyrimė naudojamos medžiagos		
		Arklių mėšlas	Avių mėšlas	Topinambai
Vandens kiekis	%	78	62	79
Sausoji dalis, SM	%	22	38	21

#### Biodujų kiekio matavimas

Biodujų kiekis nustatytas naudojant 0,0045 m<sup>3</sup> dujų kaupimo talpą su vandeniu. Taip pat naudoti atvamzdžiai žarnoms tvirtinti, žarnelės ir liniuotė (1 pav.).

#### Dujų sudėties (metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos) matavimas

Matavimai atlikti analizatoriumi INCA 4000, kuris pateikia metano, anglies dvideginio ir deguonies kiekį %, o sieros vandenilio koncentraciją ppm. Prietaiso matavimo ribos: deguonis – 0–25 %, sieros vandenilis – 0–100 ppm, metanas – 0–100 %. Prietaiso darbo sąlygos: aplinkos temperatūra nuo –5 °C iki +40 °C, santykinis drėgnis iki 95 %.

#### Tyrimų rezultatai ir diskusija

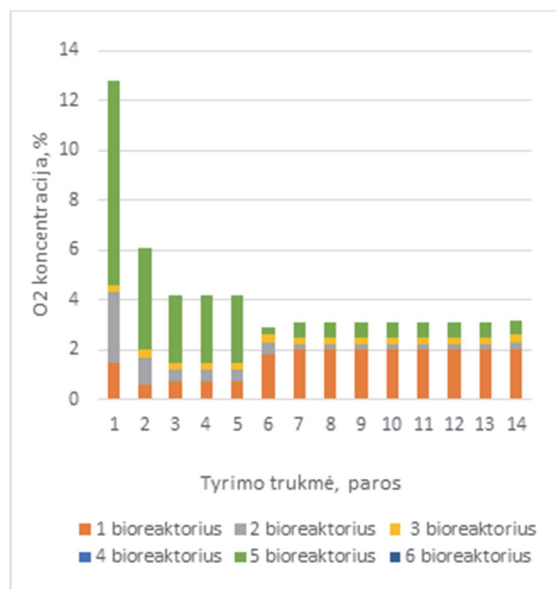
Vienas iš svarbiausių efektyvumo rodiklių, perdirbant biologiškai skaidžias atliekas anaerobiniu būdu, yra išsiskiriantis biodujų kiekis. Kuo didesnė biodujų išeiga, esant pastoviam metano kiekiui, tuo daugiau naudos (daugiau energijos) gauname anaerobiškai skaidantis organinėms atliekoms.

Mokslininkai M. Hammad, D. Badarneh ir K. Ahboubas tyrė biodujų gamybą, bioreaktoriui veikiant 35 °C režimu, iš galvijų, paukščių, avių ir arklių mėšlo ir

nustatė, kad biodujų kiekis, gaunamas anaerobiškai skaidant galvijų mėšlą, siekė 0,28 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d (Hammad *et al.* 1999). Kiti mokslininkai, t. y. R. Alvarezas, S. Villca, G. Lidenbas tyrė biodujų gamybą iš karvių mėšlo ir jų tyrimų metu vidutinis biodujų kiekis siekė apie 0,37 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d (Alvarez *et al.* 2006).

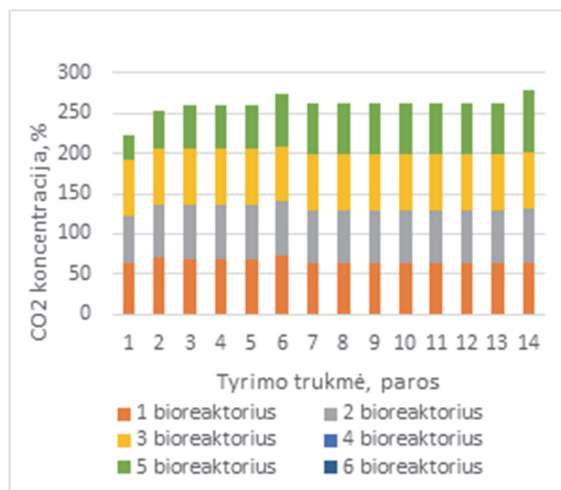
Atlikus deguonies koncentracijos tyrimus (5 pav.) nustatyta, kad pirmąjį eksperimento dieną deguonies koncentracija visuose 6 bioreaktoriuose biodujose kito nuo 1,5 iki 8,2 %, bet nuo šeštos dienos iki eksperimento pabaigos deguonies koncentracija stabilizavosi ir svyravo nuo 0,2 % iki 1,8 %. Rezultatai rodo, kad anaerobinės sąlygos bioreaktoriuje buvo išlaikytos.

Temperatūra viso eksperimento metu buvo išlaikyta apie 35 °C±1 °C. Biologiškai skaidantis arklių mėšalui pH eksperimento pradžioje siekė 5,1, o pabaigoje 6,2, t. y. silpnai rūgštinė terpė, todėl biodujų ir metano gamyba nebuvo efektyvi.



5 pav. O<sub>2</sub> koncentracija (%), anaerobiškai skaidant arklių ir avių mėšlą, sumaišyta su topinambais bei mikrodumbliais, periodinio veikimo bioreaktoriuje mezofilinėmis sąlygomis

H. K. Ahnas ir jo kolegos nustatė, kad metano koncentracija, perdirbant šį atliekų mišinį, svyravo diapazone nuo 7 % iki 25 %. Pats autorius teigia, kad prastą metano gamybą lėmė prastas metanogeninių bakterijų augimas. Taip pat įtakos galėjo turėti žolinėse atliekose esanti celiuliozė ir hemiceliuliozė, kuri labai sunkiai sklaidosi. Kuo labiau subrendę ir vėliau pjaunami augalai, tuo tvirtesnės jų ląstelės sienelės, tuo daugiau yra ląstelienos (Bartkevičiūtė 2006). Mikroorganizmams trūkstant maistinių medžiagų biodujų gamybai, vyksta biodujų kiekio mažėjimas.



6 pav. CO<sub>2</sub> koncentracija (%), anaerobiškai skaidant arklių ir avių mėšlą, sumaišytą su topinambais bei mikrodumbliais periodinio veikimo bioreaktoriuje mezofilinėmis sąlygomis

Atlikus anglies dioksido koncentracijos tyrimus (6 pav.) nustatyta, kad pirmąsias eksperimento dienas CO<sub>2</sub> koncentracija svyravo nuo 30,1 iki 69,1 %. Didžiausia CO<sub>2</sub> koncentracijos išeiga stebima 3 bioreaktoriuje, kuriame sumaišytas arklių mėšlas su topinambais bei mikrodumbliais. Trečiajame bioreaktoriuje CO<sub>2</sub> išsiskyrimas yra stabilus. Antrajame ir penktajame bioreaktoriuose matome CO<sub>2</sub> kiekio augimą, kai kiekvieną dieną procentinė dalis vis didėja. Tuo tarpu pirmajame bioreaktoriuje CO<sub>2</sub> koncentracija nesvyruoja ir visomis dienomis išsiskiria beveik vienodai. Temperatūra viso eksperimento metu buvo išlaikyta apie 35 °C±1 °C.

## Išvados

1. Didžiausia anglies dvideginio koncentracija buvo užfiksuota 5 bioreaktoriuje, į kurį buvo įkrauta arklio mėšlo, topinambų bei mikrodumblių mišinio 14-ąją tyrimo dieną, kai CO<sub>2</sub> išsiskyrimas – 76,6 %. Tai didžiausia visų šešių bioreaktorių per 14 tyrimo dienų išsiskyrusi CO<sub>2</sub> koncentracija.
2. Didžiausia deguonies koncentracija buvo užfiksuota 5 bioreaktoriuje, į kurį buvo įkrauta arklio mėšlo, topinambų bei mikrodumblių mišinio 1-ąją tyrimo dieną – O<sub>2</sub> koncentracija siekė 8,2 %. Padidėjusi koncentracija parodė mikrodumblių aktyvumą apdorojant biodujas.
3. Naudojant kitus substratų mišinius O<sub>2</sub> išsiskyrimas tyrimo pradžioje išliko panašus ir siekė 0,2–0,8 %.
4. Bendras mažiausias CO<sub>2</sub> koncentracijos išsiskyrimas nustatytas 5-ajame bioreaktoriuje, kuriame arklio mėšlas buvo sumaišytas su topinambais ir 3-ies rūšių mikrodumbliais. Šiame bioreaktoriuje pirmąją dieną CO<sub>2</sub> išsiskyrimas buvo 30,1 %, vėliau stebimas

nuoseklus CO<sub>2</sub> koncentracijos mažėjimas. Galima daryti prielaidą, kad CO<sub>2</sub> koncentracijos mažėjimui įtakos turėjo mikrodumblių kultūros.

5. Mažiausias O<sub>2</sub> koncentracijos išsiskyrimas užfiksuotas 2 bioreaktoriuje, kuriame arklio mėšlas su topinambais buvo sumaišytas santykiu 50:50. Šiame bioreaktoriuje pirmąją dieną O<sub>2</sub> išsiskyrimas buvo 2,8 %, vėliau stebimas nuoseklus mažėjimas ir 14 dieną fiksuojamas tik 0,3 % koncentracijos išsiskyrimas.

## Literatūra

- Abdeshahian, P.; Al-Shorgani, N. K. N.; Salih, N. K. M.; Shukor, H.; Kadir, A.; Hamid, A. A.; Kalil, M. S. 2014. The production of biohydrogen by a novel strain *Clostridium* sp. YM1 in dark fermentation process, *International Journal of Hydrogen Energy* 39(24): 12524–12531. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.05.081>
- Abdeshahian, P.; Lim, J. S.; Ho, W. S.; Hashim, H.; Lee, Ch. T. 2016. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60: 714–723. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>
- Ahn, H. K.; Smith, M. C.; Kondrad, S. L.; White, J. W. 2010. Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass – animal manure mixtures, *Applied Biochemistry and Biotechnology* 60: 965–975. <https://doi.org/10.1007/s12010-009-8624-x>
- Al Seadi, T.; Rutz, D.; Prassl, H.; Köttner, M.; Finsterwalder, T.; Volk, S.; Janssen, R. 2008. *Biogas handbook*. 126 p.
- Alvarez, R.; Villca, S.; Liden, G. 2006. Biogas production from llama and cow manure at high altitude, *Biomass and Bioenergy* 30: 55–75.
- Bailey, J. E. 1991. Toward a science of metabolic engineering, *Science*, 252(5013): 1668–1675.
- Baltrėnas, P.; Jankaitė, A.; Raistenskis, E. 2006. Natūralių biodegradacijos procesų maisto atliekose, esant skirtingam drėgmės kiekiui, eksperimentiniai tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 4: 173–181.
- Baltrėnas, P.; Jankaitė, A.; Raistenskis, E. 2005. Natūralių biodegradacijos procesų, vykstančių maisto atliekose, eksperimentiniai tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(4): 167–176.
- Baltrėnas, P.; Kvasauskas, M. 2008. Experimental investigation of biogas production using fatty waste, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(4): 178–187. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.178-187>
- Baltrėnas, P.; Misevičius, A. 2011. Eksperimentinių tyrimų rezultatai perdirbant mėsos ir augalinės kilmės atliekas periodinio veikimo bioreaktoriuje, iš 14-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 50–57.
- Bartkevičiūtė, Z. 2006. *Ląsteliena gyvulių racionuose* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. spalio 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.manoukis.lt/index.php?s=915&m=1&z=44>
- Chasnyk, O.; Sołowski, G.; Shkarupa, O. 2015. Historical, technical and economic aspects of biogas development: case of

- Poland and Ukraine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52: 227–239.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.122>
- Čepanko, V.; Baltrėnas, P. 2009. *Air pollution assessment of fermented waste incineration* [Oro taršos vertinimas deginant fermentuotas atliekas], *Science – Future of Lithuania* 1(4): 105–109.
- Durand, A. 1998. Solid state fermentation, *Biofuture* 181: 41–43.  
[https://doi.org/10.1016/S0294-3506\(98\)80171-3](https://doi.org/10.1016/S0294-3506(98)80171-3)
- Feng, Li Y.; Ren, N. Q.; Chen, Y.; Zheng, G. X. 2007. Ecological mechanism of fermentative hydrogen production by bacteria, *International Journal of Hydrogen Energy* 32(6): 755–760. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.08.004>
- Ghose, T. K. 2003. *Bioconversion of organic residues. Methane from integrated biological systems*. Biochemical Engineering Research Centre, Indian Institute of Technology, New Delhi, India. 12 p.
- Hammad, M.; Badarnah, D.; Tahboub, K. 1999. Evaluating variable organic waste to produce methane, *Energy Conversion and Management* 40: 1463–1475.  
[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00024-2)
- Yadvika; Santosh; Sreerishnan, T. R.; Kohli, S.; Rana, V. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different technique, *Bioresource Technology* 95: 1–10.
- Koven, B. 2009. The use of anaerobic digesters on a small scale could provide localized energy sources while reducing the negative effects of greenhouse gases, *Biomass magazine, Missouri, USA*, inside February 2009.
- Kvasauskas, M. 2008. Biodujų eksperimentiniai tyrimai naudojant kiaulių mėšlą ir mėsos atliekas, iš *11-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, 81–90.
- Kvasauskas, M.; Baltrėnas, P. 2009. Research on anaerobically treated organic waste suitability for soil fertilisation, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 17(4): 205–211.  
<https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.205-211>
- Sun, Q.; Li, H.; Yan, J.; Liu, L.; Yu, Z.; Yu, X. 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology—a review of biogas cleaning, upgrading and utilization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51: 521–532.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029>
- Weiland, P. 2009. Biogas production: current state and perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology* 85(4): 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
- Zigmontienė, A.; Zuokaitė, E. 2009. Dujinių teršalų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą su miško atliekomis, tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(2): 128–13.

## RESEARCH OF CARBON DIOXIDE AND OXYGEN IN BIOGAS OF ANAEROBICALLY PROCESSED WASTE COMPOSITES OF HORSE MANURE, SHEEP MANURE AND VEGETABLE MIXTURES

A. Zagorskis, I. Jackevičiūtė

### Summary

Waste comprises undesirable substances usually resulting from human activity. They are one of the sources of environmental pollution. In the modern world the growing number of people is concurrent with larger volumes of waste generated. Every year, the quantity of waste is increasing. Therefore, effective measures need to be taken to address the problem. This paper presents experimental studies of horse and sheep manure and their mixtures with herbal waste (Jerusalem artichoke) mixed with microalgae. In experiments, the concentrations of biogas, methane, hydrogen sulphide and oxygen in bioreactors were observed in mesophilic conditions.

During the first 14 days, the 4 and 6 bioreactors did not yield results. In other reactors, the results were not the same because their substrates differed. The lowest CO<sub>2</sub> concentration was observed in bioreactor 5 containing horse manure, Jerusalem artichokes and 3rd type of microalgae. The minimum O<sub>2</sub> concentration (50:50) was observed in bioreactor 2 containing horse manure and Jerusalem artichokes.

**Keywords:** anaerobic processing of biodegradable waste, biogas.