

## EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI PERDIRBANT MĖSOS IR AUGALINĖS KILMĖS ATLIEKAS PERIODINIO VEIKIMO BIOREAKTORIJE

Antonas Misevičius<sup>1</sup>, Pranas Baltrėnas<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>antonas.misevicius@gmail.com; <sup>2</sup>pbalt@vgtu.lt

**Santrauka.** Atliekos – nepageidaujamos medžiagos, kurios dažniausiai susidaro dėl žmogaus veiklos. Jos yra vienos iš aplinkos teršimo šaltinių. Šiuolaikiniame pasaulyje, didėjant žmonių skaičiui, daugiau susidaro ir atliekų. Kasmet didėjantys atliekų kiekiai yra viena iš svarbiausių šių dienų problemų, todėl jai spręsti reikia imtis efektyvių priemonių. Straipsnyje pateikiami eksperimentinių tyrimų su mėsos atliekomis ir jos mišiniais su žolinėmis atliekomis rezultatai. Eksperimentų metu stebėtos metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos, kai periodinio veikimo bioreaktorius veikė mezofiliniu režimu. Tyrimų metu nustatyta, kad naudojant žolines atliekas kaip papildą su mėsos atliekomis gaunami geresni rezultatai, nei vien tik perdirbant mėsos atliekas. Skaidant mėsos atliekas vidutinis biodujų kiekis siekė 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, mėsos atliekų ir žolinių atliekų mišinį (19:1) – 0,51 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, mėsos atliekų ir žolinių atliekų mišinį (9:1) – 0,56 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d. Metano kiekis biodujose siekė atitinkamai 0,074 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 0,083 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 0,101 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d.

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

### Įvadas

Atliekos tai – bet kokios medžiagos ar daiktai, kurių atliekų turėtojas (gyventojas, įmonė arba organizacija) atsikrato, nori atsikratyti ar privalo atsikratyti. Lietuvoje kasmet susidaro apie 1,3 mln. tonų komunalinių atliekų, iš kurių apie 50 % yra biologiškai skaidžios. Didžioji dalis biologiškai skaidžių atliekų šalinamos sąvartynuose, tačiau tai nėra vienintelė išeitis, kaip šias atliekas galima tvarkyti.

Iš 1 paveikslu matyti, 2008 m. vienam gyventojui tenkantis komunalinių atliekų kiekis siekė 413 kg. Palyginti su ankstesniais metais šių atliekų didėjimo tendencija nesikeičia, nuo 2007 m. šis kiekis padidėjo 12 kg (2007 – 10, 2006 – 14 kg). Kaip ir ankstesniais metais didžiąją dalį komunalinių atliekų sudaro mišrios komunalinės atliekos – 83 %, antrinės žaliavos – 6 %, kitos atliekos – 10 %. Nors nei vienai Europos Sąjungos valstybei nepavyksta neviršyti siektinos 300 kg ribos, Lietuvoje, palyginti su kitomis šalimis, vienam gyventojui tenkantis komunalinių atliekų kiekis yra vienas mažiausių.

Kadangi 90 % komunalinių atliekų, iš jų ir biologiškai skaidžių patenka į sąvartynus, prarandami dideli kiekiai vertingų medžiagų ir energijos.

Pagrindinė sąvartynų problema yra yrančios organinės atliekos (dujų CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub>, kurios turi įtakos šiltnamio efektui, išsiskyrimas, filtrato susidarymas, gruntinių ir paviršinių vandenų mikrobiologinis ir cheminis teršimas, patogeninių

bakterijų dauginimasis, nemalonūs kvapai), kurios turi neigiamą poveikį gamtai ir žmonių sveikatai (Zigmontienė, Zuokaitė 2009).

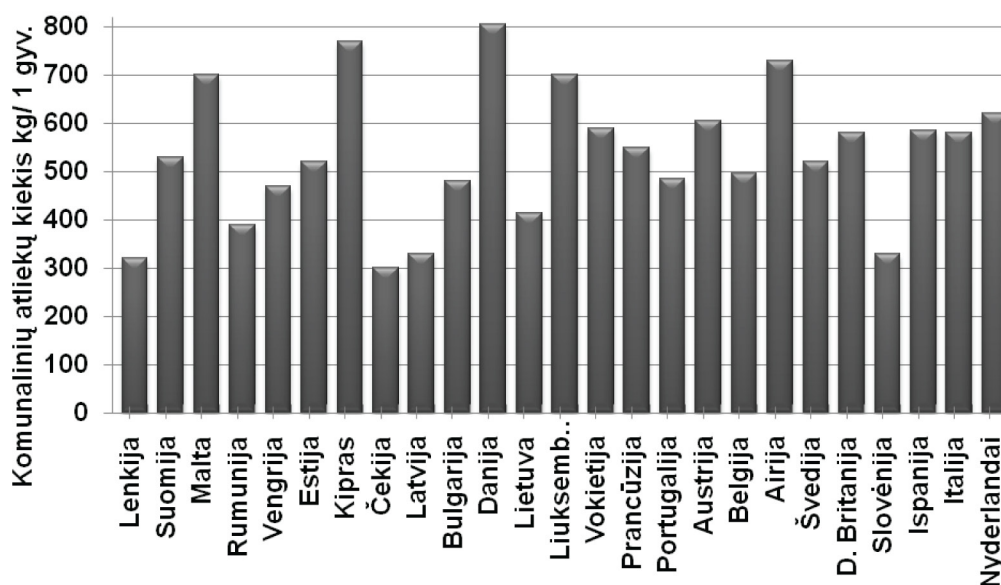
Laikui bėgant atliekos tampa vis vertingesniu ištekliu. Tas, kurių tvarkymas reglamentuojamas (pakuočių atliekas, naudoti netinkamas transporto priemonės, elektros ir elektroninės įrangos atliekas, biologiškai skaidomas atliekas ir padangas), imama pakartotinai naudoti, perdirbti ir iš jų gaminti energiją.

Biologiškai perdirbant, neleidžiant patekti į sąvartynus ir vis daugiau atliekų panaudojant, prisidedama prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimo (*Atliekų tvarkymas* 2011).

Apdorojant biologiškai skaidžias komunalines atliekas sprendžiamos ekologinės problemos ir kartu papildomai gaunama ekonominė nauda, elektros ir / ar šiluminė energija, be to, mažinamas irimo metu išsiskiriančių kvapų poveikis aplinkai, o perdirbtas substratas panaudojamas dirvai tręšti (Kvasauskas, Baltrėnas 2009).

Lietuva yra įsipareigojusi sumažinti sąvartynuose deponuojamų biodegrazuojančių atliekų kiekį. Pagal Lietuvos valstybinį strateginį atliekų tvarkymo planą, direktyva 1999/31/EB Lietuvoje turi būti įgyvendinama laipsniškai.

Nuo 2010 metų sąvartynuose šalinamos biologiškai skaidžios atliekos turi sudaryti 75 % nuo 2000 metais sąvar-



1 pav. Komunalinių atliekų susidarymas (kg) vienam gyventojui Europoje 2008 metais (*Waste statistics 2011*)  
 Fig. 1. Municipal waste generation in kg per capita in Europe in 2008 (*Waste statistics 2011*)

tynuose pašalinto kiekio, nuo 2013 metų – 50 %, nuo 2020 metų – 35 % (Kavaliauskienė 2008). Norint pasiekti tokių rezultatų, reikia imtis priemonių. Viena iš tokių priemonių gali būti šių atliekų anaerobinis apdorojimas.

### Biodujų gamybos procesas

Biodujų gamyba yra sudėtingas biologinis-cheminis procesas, kurio metu organines medžiagas veikia skirtingų rūšių bakterijos. Proceso metu sudėtingi organiniai junginiai suskaidomi į elementarius junginius, kuriuos metanogeninės bakterijos verčia į biodujas – metano, anglies dioksido ir kitų dujų junginį. Medžiagų apykaitos aktyvumas ir metano gamybos intensyvumas taip pat priklauso nuo perdirbamo substrato sudėties, palaikomos temperatūros ir jos svyravimų, išlaikymo trukmės, slopinimo faktorių (Nagel *et al.* 2001; Khandelwal 1990).

Mikrobiologinė veikla biodujų reaktoriuose yra palankiausia esant neutraliai arba silpnai šarminiai aplinkai ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) (Schön 2009).

Biodujų energetikoje priimta proceso temperatūras skirstyti į tris grupes: psichrofilinę (10–25 °C), mezofilinę (25–40 °C), termofilinę (40–55 °C). Mezofiliniai biodujų reaktoriai dažniausiai naudojami gyvulių mėšlui ir maisto produktų įmonių atliekoms perdirbti. Normaliai fermentacijai reikalinga stabili darbo temperatūra. Biodujų mikrobai, kaip ir kiti gyvi organizmai, yra jautrūs aplinkos temperatūros pokyčiams. Didesni temperatūros pokyčiai gali sutrikdyti biodujų gamybą ir parūgštinti substratą. Rekomenduojama, kad temperatūros kitimo sparta nebūtų didesnė kaip  $\pm 2$  °C/h – esant psichrofiliniam režimui,

$\pm 1$  °C/h – mezofiliniam režimui ir  $\pm 0,5$  °C/h – termofiliniam režimui (Masse DI, Masse 2001). Biomase reaktoriuje išbūna nustatyta laiką, per kurį didesnioji jos dalis suyra ir virsta biodujomis. Šis laikotarpis priklauso nuo biomasės pobūdžio ir sudėties. Ilgiausiai trunka biomasės rišamųjų medžiagų – celiuliozės ir hemiceliuliozės suirimas. Lengviau suyra baltymai, riebalai ir angliavandeniai. Ilgesnė biomasės perdirbimo trukmė yra susijusi su didesnėmis energetinėmis sąnaudomis, todėl parenkant žaliavas biodujoms gaminti ir sudarant biodujų gamybos programą būtina įvertinti energetinį efektyvumą (Schön 2009).

Biodujų energinė vertė tiesiogiai susijusi su metano koncentracija. Esant metano daugiau negu 55 %, biodujos laikomos vertingu kuru. Metanas yra bekvapis, netoksiškas ir lengvesnis už orą. Deginamas metanas virsta anglies dioksidu ir vandens garais.

Šiuo metu biodujos yra ekologiškiausias automobilių kuras. Kai biodujos naudojamos kaip automobilių kuras, jos išvalomos iki 97 % metano lygio. Vienas kubinis metras išvalytų biodujų apytikriai prilygsta vienam litrui benzino.

Biodujoms gaminti gali būti naudojamos įvairios žaliavos: gyvulių mėšlas, augalų liekanos, maisto pramonės ir žemės ūkio atliekos, nuotekų dumblas, organinės komunalinės atliekos, viešojo maitinimo įstaigų atliekos ir energetiniai augalai. Biodujos taip pat gali būti surenkamos specialiais įrenginiais iš sąvartynų (Baltrėnas, Kvasauskas 2008).

Kiekviena augalų ar atliekų rūšis ir jų mišiniai turi savitą organinę sudėtį. Anaerobinio perdirbimo požiūriu biomasė vertinama pagal joje esančių riebalų, baltymų ir angliavandenių kiekį.

Esant skirtingoms angliavandenių, baltymų ir riebalų proporcijoms substrate, gaunama ir skirtinga biodujų išeiga bei jose esantis metano kiekis (1 lentelė).

**1 lentelė.** Stechiometrinė biodujų išeiga ir metano kiekis jose (Budrys 2006)

**Table 1.** The stoichiometric yield of biogas and methane content contained therein (Budrys 2006)

Biodegrauojančių atliekų sudėtis	Stechiometrinė biodujų išeiga, m <sup>3</sup> /kg SM	Metano kiekis biodujose, %
Riebalai	1,4	80–90
Baltymai	0,6–0,9	75–80
Angliavandeniai	0,7–0,8	50–60

SM – sausa masė

Nuolatinio veikimo bioreaktoriuose įkrova pašalinama ne visa iš karto, o laipsniškai nustatytomis dalimis: į bioreaktorių pridedama dalis paruošto naujo substrato, tiek pat pašalinama degazuoto. Visa bioreaktoriaus įkrova pakeičiama per laiką, lygų išlaikymo trukmei (Savickas, Vrubliauskas 1997).

Darbo tikslas – išanalizuoti, koks biodujų ir metano kiekis išsiskiria iš žinomo kiekio mėsos atliekų ir jos mišinių su žolinėmis atliekomis, taip pat nustatyti, kokią įtaką biodujoms ir metanui išsiskirti turi žolinės atliekos.

### Tyrimų metodika

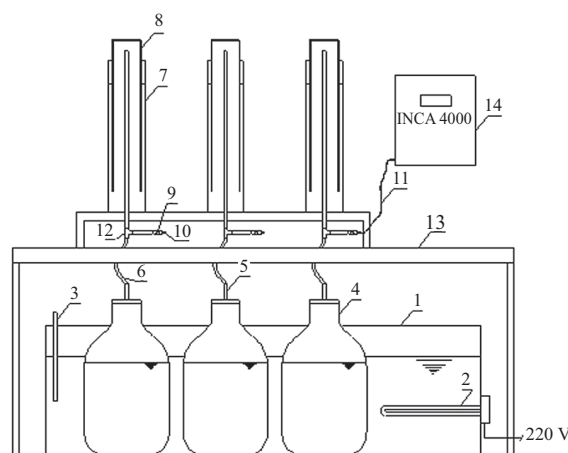
Tyrimai atliekami laboratorinėmis sąlygomis. Periodinio veikimo laboratorinis bioreaktorius (žr. 2 pav.), kurio tūris 5 l, per biomasės tiekimo angą užpildomas biologiškai skaidžiomis komunalinėmis atliekomis ir jų mišiniais, kurie nurodyti toliau. Bioreaktoriuje sukuriama anaerobinė sąlyga.

Ekperimentiniams tyrimams buvo pasirinktos šios organinės kilmės atliekos ir jų mišiniai:

- mėsos atliekos;
- mėsos atliekos ir žolinės atliekos (santykiu 19:1);
- mėsos atliekos ir žolinės atliekos (santykiu 9:1).

Bioreaktorius veikė mezofiliniu režimu. Kad būtų palaikoma 35±1 °C temperatūra, periodinio veikimo bioreaktorius įstatytas į specialų indą su vandeniu, kuriame buvo palaikoma 35 °C temperatūra. Eksperto trukmė – 15 dienų.

Per visą eksperimentą kasdien buvo stebimas išsiskiriantis biodujų kiekis (biodujos kaupėsi 0,0045 m<sup>3</sup> talpykloje), metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos, pH (pH rodiklis buvo nustatomas prieš eksperimentą ir eksperimentui pasibaigus) ir jų kitimas.



**2 pav.** Laboratorinio bioreaktoriaus stendo schema: 1 – talpykla su vandeniu; 2 – vandens šildymo elementas; 3 – termometras; 4 – bioreaktorius; 5 – atvamzdis žarnai tvirtinti; 6 – lanksti žarnelė; 7 – talpykla su vandeniu; 8 – dujų kaupimo talpykla (PVC vamzdis); 9 – ventilis; 10 – atvamzdis dujoms išeiti; 11 – lanksti žarnelė; 12 – trišakis; 13 – stalas; 14 – dujų analizatorius

**Fig. 2.** A scheme of the laboratory bench bioreactor: 1 – container with water; 2 – water heating element; 3 – thermometer; 4 – bioreactor; 5 – hose connector, a sturdy; 6 – flexible tube; 7 – container with of water; 8 – gas storage capacity (PVC pipe); 9 – valves; 10 – connector for gas to exit; 11 – flexible hose; 12 – tee; 13 – table; 14 – gas analyzer

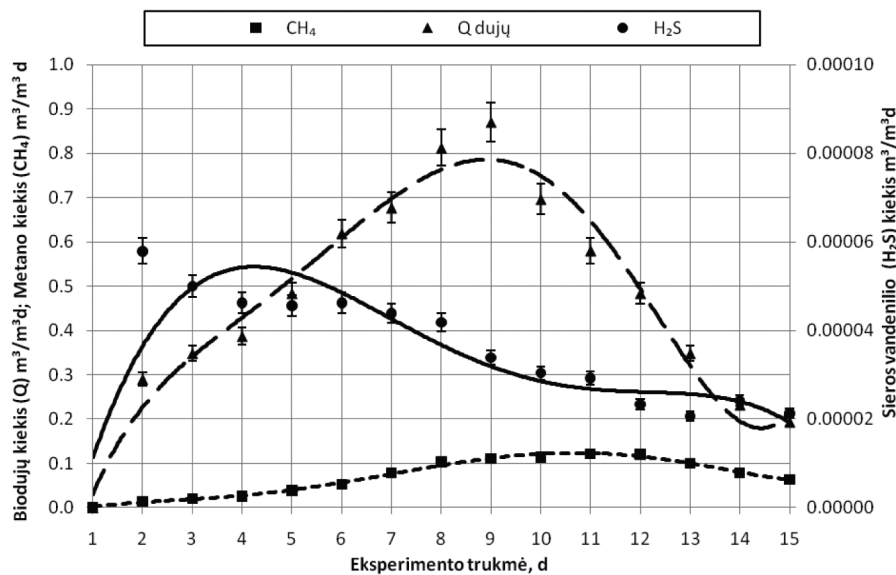
Matavimai atlikti analizatoriumi INCA 4000, kuris pateikia metano, anglies dvideginio ir deguonies kiekį, %, o sieros vandenilio koncentraciją – ppm. Prietaiso matavimo ribos: deguonies – 0–25 % (paklaida ±1 %), sieros vandenilio – 0–100 ppm (paklaida ±5 %), metano – 0–100 % (paklaida ±1 %). Prietaiso darbo sąlygos: aplinkos temperatūra buvo nuo +10 iki +40 °C, santykinis drėgnis – nuo 0 iki 95 %.

### Tyrimų rezultatai ir analizė

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) gaunama anaerobiniu būdu skaidantis organinėms atliekomis.

Atlikus ekperimentinius tyrimus su mėsos atliekomis gauti rezultatai pateikti 3 paveiksle.

Iki 9-osios eksperimento dienos stebimas biodujų kiekio didėjimas. Šią dieną dujų kiekis buvo didžiausias ir siekė 0,87 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d (3 pav.). Likusį eksperimento laiką biodujų kiekis svyravo nuo 0,19 iki 0,7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d. Tokį gerą biodujų kiekio išsiskyrimą lėmė tai, kad didžiąją dalį mėsos atliekų sudaro riebalai ir baltymai, iš kurių gaunama didžiausia stochiometrinė biodujų išeiga. Riebalų ir baltymų kiekis substrate taip pat labai turi



**3 pav.** Biodujų kiekis ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ), metano ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ), sieros vandenilio ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) koncentracija anaerobiniu būdu skaidant mėsos atliekas periodinio veikimo bioreaktoriuje mezofilinėmis sąlygomis

**Fig. 3.** The amount of biogas ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) and the concentration of methane ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) and hydrogen sulphide ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) in the anaerobic digestion of meat waste under periodic mesophilic conditions in the bioreactor

įtakos metano kiekiui biodujose, nes iš šių medžiagų išgaunama didžiausia metano koncentracija. Eksperimento metu didžiausias metano kiekis, užfiksuotas 11-ąją eksperimento dieną, siekė  $0,121 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Beveik visą šio tyrimo laikotarpį metano kiekis biodujose stabiliai didėjo. Stebint sieros vandenilio koncentracijos kitimą eksperimento metu, didžiausia koncentracija buvo užfiksuota eksperimento pradžioje, kai siekė  $5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ , tačiau iki eksperimento pabaigos buvo stebima sieros vandenilio mažėjimo tendencija ir pabaigoje užfiksuota mažiausia jo koncentracija  $2,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$  (3 pav.). Atliekant tyrimus su mėsos atliekomis anaerobinės sąlygos buvo išlaikytos, deguonies koncentracija svyravo nuo 0,1 iki 2,3 %. Biologiškai skaidantis mėsos atliekoms pH, išmatuotas eksperimento pradžioje, siekė 4,87, o eksperimento pabaigoje – 6,35.

Korėjos mokslininkai Jae Kyoung Cho, Soon Chul Park ir Ho Nam Chang taip pat tyrė biodujų išėigą ir metano koncentraciją iš biologiškai skaidžių maisto atliekų (mėsos, ryžių, kopūstų ir kt.). Jų tyrimų rezultatai rodo, kad geriausia išėiga ir didžiausias metano kiekis gaunamas anaerobiniu būdu perdirbant mėsos atliekas. Stochiometrinė metano išėiga siekė  $0,82 \text{ m}^3/\text{kg SM}$  (Kyoung Cho *et al.* 1995). Atsižvelgiant į žemą išsiskyrusį metano kiekį skaidant mėsos atliekas buvo sudaryti mišiniai su mėsos atliekomis ir žolinėmis atliekomis ir atliktas tyrimas siekiant gauti didesnę biodujų išėigą ir metano koncentraciją. Žolinės atliekos kaip papildas parinktas todėl, kad susidaro dideli jų kiekiai, taip pat buvo norima pagerinti C:N (anglies ir azoto) santykį, nuo kurio

priklauso ir biodujų bei metano išėiga. Biodujų kiekis perdirbant mėsos atliekų ir žolinių atliekų mišinį santykiu 95:5 %, didėjo iki 11-osios eksperimento dienos; šią dieną jis buvo didžiausias ir siekė  $0,87 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$  (4 pav.). Vėliau išsiskiriančių dujų iki eksperimento pabaigos mažėjo ir pabaigoje jos siekė  $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Vidutinis biodujų kiekis per visą eksperimento laiką buvo  $0,52 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Metano kiekis didėjo iki 12-osios eksperimento dienos, kurią jis siekė  $0,21 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Mažėjant maistinių medžiagų kiekiui, mažėjo ir metano kiekis, todėl nuo 12-osios dienos iki eksperimento pabaigos jis mažėjo ir pabaigoje siekė  $0,071 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Vidutinis metano kiekis per visą eksperimento laiką buvo apie  $0,083 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ , t. y. apie 14 % biodujų kiekio.

Didžiausia sieros vandenilio koncentracija buvo užfiksuota 2-ąją eksperimento dieną, kai siekė  $6,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Visą eksperimento laikotarpį sieros vandenilio koncentracija biodujose mažėjo ir pabaigoje užfiksuota pati mažiausia koncentracija –  $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$  (4 pav.). Atsižvelgiant į šį kiekį sieros vandenilio valyti iš biodujų nėra būtina. Eksperimento metu anaerobinės sąlygos buvo užtikrintos, nes deguonies kiekio biodujose svyravimo diapazonas buvo nuo 0,1 iki 3,8 %.

Rodiklis pH buvo matuojamas eksperimento pradžioje ir pabaigoje ir atitinkamai siekė 5,5 ir 6,28. Esant tokiai pH vertei biodujų ir metano gamyba nėra pakankamai efektyvi. Anaerobiniu būdu perdirbamo substrato pH vertei įtakos turėjo metanogenezės bakterijų augimas: kai pH vertė didesnė kaip 7 bakterijos, augimas yra geras ir stabilus, kai pH

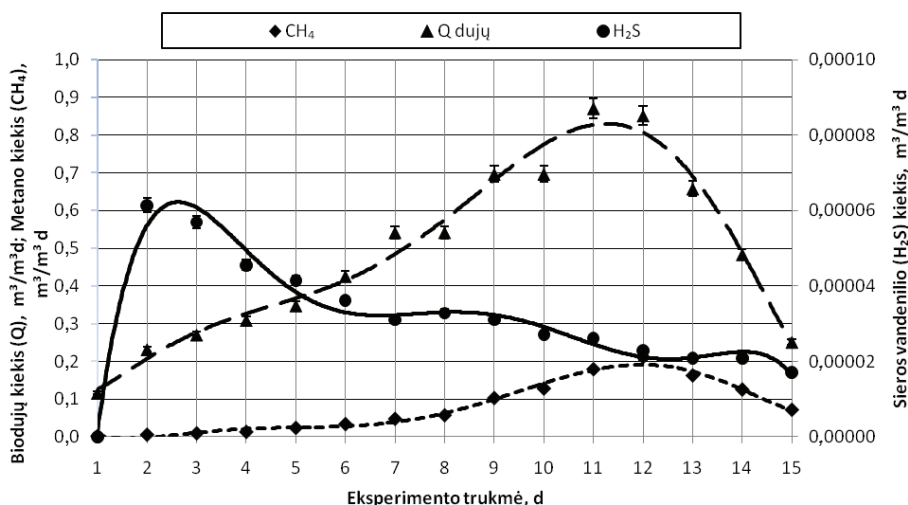
nukrenta, taip pat sutrinka ir augimas – bakterijos pradeda žūti (Weiland 2009). Todėl galima daryti prielaidą, kad, esant didesniai pH rodikliui, biodujų ir metano išėiga iš perdirbamų atliekų turi būti didesnė.

Anaerobiniu būdu skaidant mėsos ir žaliųjų atliekų mišinį (mėsos atliekos sudarė 90 %, žolė – 10 %) biodujų kiekis sparčiai didejo nuo eksperimento pradžios iki 11-osios dienos. Šią dieną dujų kiekis buvo didžiausias ir siekė 1,12 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d (5 pav.). Bioreaktoriuje mažėjant maitinių medžiagų kiekiui, bakterijų veikla sutriko, biodujų kiekis pradėjo kristi ir pabaigoje siekė m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d (5 pav.).

Metano kiekis biodujose kito proporcingai biodujų kiekiui. Jų didėjimas stebimas iki 11-osios eksperimento dienos, kurią CH<sub>4</sub> kiekis buvo didžiausias – 0,253 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d.

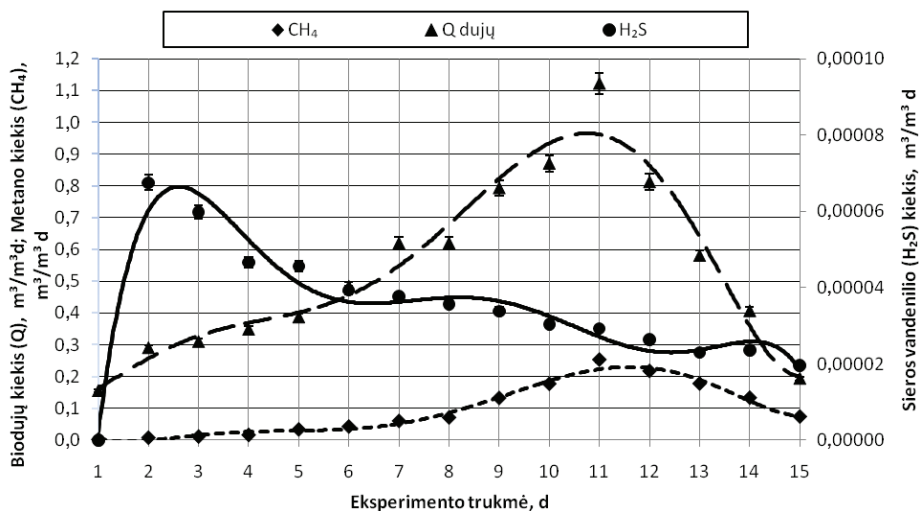
Sieros vandenilio koncentracija dujose eksperimento metu sparčiai mažėjo: nuo 6,7·10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d eksperimento pradžioje nukrito iki 2,0·10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d eksperimento pabaigoje (5 pav.).

Deguonies koncentracija išsiskyrusiose biodujose viso eksperimento metu beveik tolygiai mažėjo: nuo 4,2 % pradžioje iki 0,1 % eksperimento pabaigoje, tai rodo, kad anaerobinės sąlygos bioreaktoriuje buvo užtikrintos.



4 pav. Biodujų kiekis (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d), metano (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d), sieros vandenilio (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) koncentracija anaerobiniu būdu skaidant mėsos ir žolines atliekas (santykiu 19:1) periodinio veikimo bioreaktoriuje mezofilinėmis sąlygomis

Fig. 4. The amount of biogas (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) and the concentration of methane (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) and hydrogen sulphide (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) in the anaerobic digestion of meat and grass waste (ratio 19:1) under periodic mesophilic conditions in the bioreactor



5 pav. Biodujų kiekis (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d), metano (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d), sieros vandenilio (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) koncentracija anaerobiniu būdu skaidant mėsos ir žolines atliekas (santykiu 9:1) periodinio veikimo bioreaktoriuje mezofilinėmis sąlygomis

Fig. 5. The amount of biogas (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) and the concentration of methane (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) and hydrogen sulphide (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d) in the anaerobic digestion of meat and grass waste (ratio 9:1) under



Bioreaktoriuje buvo palaikomas mezofilinis režimas, tai yra temperatūra siekė  $35 \pm 1$  °C.

Biologiškai skaidantis mėšos ir žolinėms atliekoms pH buvo nustatyta eksperimento pradžioje ir siekė 5,68, o eksperimento pabaigoje – 6,25, t. y. buvo silpnai rūgštinė terpė. Todėl toks pH rodiklis rodo, kad anaerobinių bakterijų veikla nebuvo pakankamai gerai subalansuota.

### Eksperimentinių tyrimų rezultatų apibendrinimas

Biodujų ir metano kiekiai, gaunami suskaidžius organinių atliekų mišinius anaerobinėmis sąlygomis periodinio veikimo bioreaktoriuje ir bioreaktoriui veikiant mezofiliniu režimu, pateikti 6 ir 7 paveiksluose.

Kaip matyti, biodujos geriau išsiskyrė biologiškai skaidant mėšos ir žolinių atliekų mišinį santykiu 9:1. Vidutinis biodujų kiekis buvo  $0,56 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Didesnis žolinių atliekų kiekis pagerino biodujų išsiskyrimą, nes skaidant mėšos ir žolinių atliekų mišinį santykiu 19:1 vidutinis biodujų kiekis siekė  $0,51 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ . Anaerobiniu būdu skaidant vien tik mėšos atliekas biodujų kiekis buvo mažiausias ir siekė  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ .

Dujų kiekio skirtumas gali būti siejamas su azoto koncentracijos biomasėje didėjimu skaidant baltymus (Lindorfer *et al.* 2008). Taip pat tokia tendencija pastebėta maišant skerdyklų atliekas, augalinės kilmės atliekas ir daugiamečių žolių silosą (Navickas *et al.* 2007). Didelę dalį biomasės sudarančios skerdyklos atliekos dėl dide-

lės baltymų (amoniako) koncentracijos slopina biodujų išsiskyrimą.

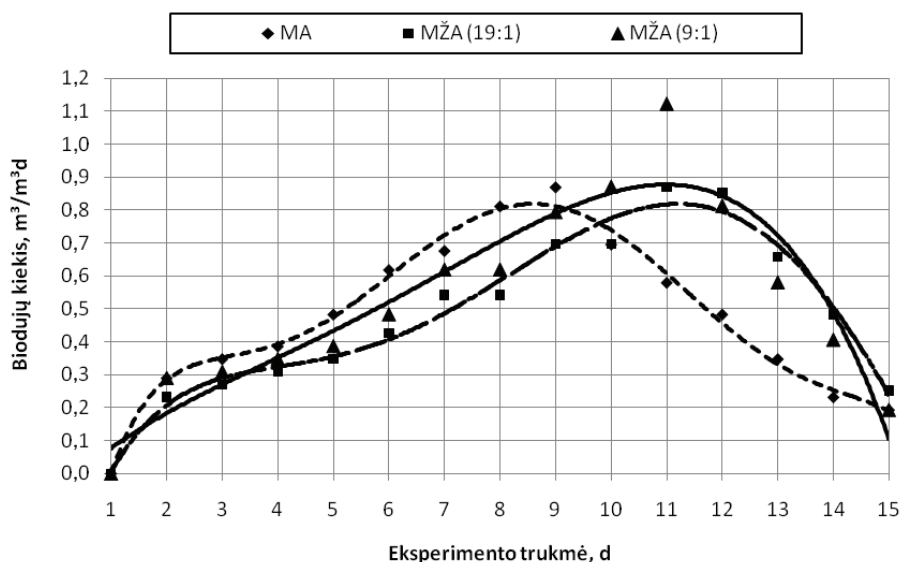
Biodujų kiekio skirtumą lėmė pH rodiklis, mišinyje esančių baltymų, riebalų ir angliavandenių kiekis, acetogenezes ir metanogenezes bakterijų veiklos intensyvumas, mikroorganizmų populiacija, taip pat biodujoms įtakos galėjo turėti makroelementų – anglies, azoto, fosforo ir sieros – santykis perdirbamoje biomasėje.

Pastebima, kad išsiskyrusių biodujų maksimali vertė pasiekama vėliau (per 11–12 eksperimento dienų).

Biodujų kiekio pikas gaunamas vėliau dėl mažesnio riebalų ir baltymų kiekio biomasėje. Biodujų kiekio pastovumą eksperimento pabaigoje palaiko jau susibalansavęs anaerobinis procesas dėl padidėjusio anglies kiekio, esančio žolės atliekose (ŽA), dėl ko pagerėja C:N (anglies ir azoto) santykis biomasėje.

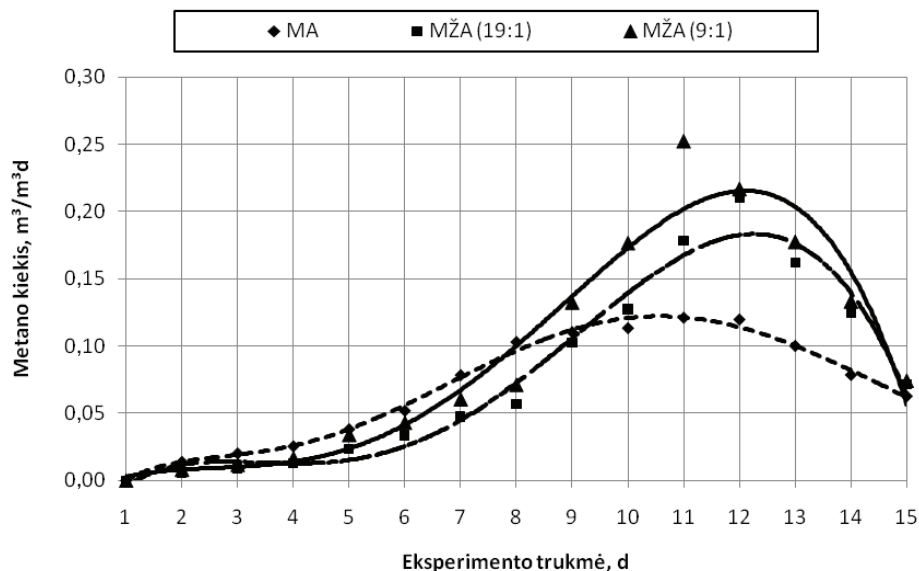
Analizuojant susidariusį metano kiekį biodujose matyti, kad daugiausia  $\text{CH}_4$  susidarė taip pat anaerobiniu būdu skaidant mėšos ir žolinių atliekų mišinį santykiu 9:1. Jo kiekis šiose biodujose siekė 18 %. Mažiausiai metano išsiskyrė skaidantis vien tik mėšos atliekoms, kurio kiekis buvo 15 %, o skaidant mėšos ir žolinių atliekų mišinį santykiu 19:1, metano kiekis siekė 16 %. Veiksniai, turintys įtakos biodujų kiekiui, taip pat veikė ir išsiskiriančio metano kiekis.

Visos tirtos organinės atliekos ir jų mišiniai energijai gauti (deginti) nėra tinkami, nes metano kiekis biodujose nesiekė 55 %. Tačiau jas maišant su kitomis degiosiomis dujomis, gautas biodujas būtų galima naudoti kaip kurą.



**6 pav.** Vidutinis biodujų kiekis ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) anaerobiniu būdu skaidant biologiškai skaidžias atliekas: MA – mėšos atliekos, MŽA (19:1) – mėšos ir žolinės atliekos, MŽA (9:1) – mėšos ir žolinės atliekos

**Fig. 6.** The average amount of biogas ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) considering the anaerobic digestion of biodegradable waste under periodic mesophilic conditions in the bioreactor: MW – meat waste, MGW – meat and grass waste (ratio 19:1), MGW – meat and grass waste (ratio 9:1)



7 pav. Vidutinis metano kiekis ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) anaerobiniu būdu skaidant biologiškai skaidžias atliekas: MA – mėsos atliekos, MŽA (19:1) – mėsos ir žolinės atliekos, MŽA (9:1) – mėsos ir žolinės atliekos

Fig. 7. The average methane content ( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ) considering the anaerobic digestion of biodegradable waste under periodic mesophilic conditions in the bioreactor: MW – meat waste, MGW – meat and grass waste (ratio 19:1), MGW – meat and grass waste (ratio 9:1)

## Išvados

1. Didžiausias išsiskyres biodujų kiekis –  $0,56 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$  nustatytas anaerobiniu būdu perdirbant mėsos ir žolinių atliekų mišinį santykiu 9:1.
2. Geresnė metano išeiga užfiksuota taip pat skaidantis mėsos ir žolinių atliekų mišiniui santykiu 9:1. Vidutinis metano kiekis siekė  $0,101 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ .
3. Didžiausias biodujų kiekis išsiskyre anaerobiniu būdu perdirbant MA, sumaišytas su 10 % žolės (nuo MA pagal sausą masę), kuris siekė  $8,0 \text{ m}^3$  biodujų iš vieno kubinio metro substrato, tačiau šių biodujų energetinė vertė nėra didelė (vidutinė metano koncentracija yra tik 18 %).
4. Nepageidaujamo komponento – sieros vandenilio koncentracija visų eksperimentų metu turėjo mažėjimo tendenciją. Biodujose  $\text{H}_2\text{S}$  neviršijo  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ . Tokias biodujas būtų galima naudoti deginimo katiluose ar kaip kurą automobiliuose.
5. Augalinės kilmės atliekas maišant su mėsos atliekomis pastebima geresnė biodujų ir metano išeiga. Biodujų kiekis padidėjo 10 %, o metano kiekis – 1,2 karto.

## Literatūra

Atliekų tvarkymas [interaktyvus], [žiūrėta 2011 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.sratc.lt>>.

Baltrėnas, P.; Kvasauskas, M. 2008. Experimental investigation of biogas production using fatty waste, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(4): 178–187. doi:10.3846/1648-6897.2008.16.178-187

Budrys, R. 2006. Nuotekų valymo dumblių (NVD) ir biodegraduojančių (BDA) atliekų tvarkymas, iš 9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios 2006 m. kovo 30 d., pranešimų medžiaga. Vilnius, 30–39.

Kavaliauskienė, I. 2008. *Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo strategija Lietuvoje* [interaktyvus], [žiūrėta 2010 m. gruodžio 5 d.]. Prieiga per internetą: <[www.am.lt/VI/files/File/2-Kavaliauskiene.pdf](http://www.am.lt/VI/files/File/2-Kavaliauskiene.pdf)>.

Khandelwal, K. C. 1990. Biogas technology development and implementation strategies – Indian experience, in *International Conference on Biogas Technologies and Implementation Strategies*, 10–15 January, Pune India (ed. BORDA), Bremen, FRG, 306–315.

Kyoung Cho, J.; Chul Park, S.; Nam Chang, H. 1995. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes, *Bioresource Technology* 52(3): 245–253. doi:10.1016/0960-8524(95)00031-9

Kvasauskas, M.; Baltrėnas, P. 2009. Anaerobiniu būdu perdirbtų organinių atliekų tinkamumo dirvožemiui tręšti tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 17(4): 205–211. doi:10.3846/1648-6897.2009.17.205-211

Lindorf, H.; Corcoba, A.; Vasilieva, V.; Braun, R.; Kirchmayr, R. 2008. Doubling the organic loading rate in the co-digestion of energy crops and manure – a full scale study, *Bioresource Technology* 99(5): 1148–1156. doi:10.1016/j.biortech.2007.02.033

Masse, DI.; Masse, L. 2001. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in ASB reactors, *Bioresource Technology* 76: 91–98. doi:10.1016/S0960-8524(00)00105-X

Nagel, F. J.; Tramper, J.; Bakker, M.; Rinzema, A. 2001. Temperature control in a continuously mixed bioreactor for solid-state fermentation, *Biotechnology and Bioengineering* 72(9): 219–230. doi:10.1002/1097-0290(2000120)72:2<219::AID-BIT10>3.0.CO;2-T

- Navickas, K.; Župerka, V.; Venslauskas, K. 2007. Gyvūninės kilmės šalutinių produktų anaerobinis perdirbimas į biudujas, *LŽŪU ŽŪI instituto ir LŽŪ universiteto mokslo darbai* 39(4): 60–68.
- Savickas, J.; Vrubliauskas, S. 1997. *Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybės Lietuvoje*. Kaunas: Technologija. 38 p.
- Schön, M. 2009. *Numerical Modelling of Anaerobic Digestion Processes in Agricultural Biogas Plants*. Innsbruck, Austria. 139 p.
- Waste statistics* [interaktyvus], [žiūrėta 2011 m. vasario 4 d.]. Prieiga per internetą: < [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Waste\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics)>.
- Weiland, P. 2009. Biogas production: current state and perspectives, *Applied Microbiology and Biotechnology* 85(4): 849–860. doi: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): 128–136.

## THE RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION RECYCLING MEAT AND PLANT WASTE IN THE PERIODIC OPERATION BIOREACTOR

A. Misevičius, P. Baltrėnas

Abstract

Waste is unwanted materials that are mainly the result of human activities and one of the sources of environmental pollution. An increase in the world's population causes a growth in the amounts of waste in the modern world. Every year, the increasing quantities of waste are the major problems these days; therefore, calls for taking effective measures to tackle this problem could be effective tools. The article presents the results of experimental studies on using meat waste and their mixes with herbal waste. The conducted experiments observed the concentrations of methane, hydrogen sulphide and oxygen under periodic mesophilic conditions in the bioreactor. Research has shown that the use of herbal supplements with meat waste produces better results than using only meat waste. The digestion of meat wastes points to an average amount of biogas which is 0.5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, that of meat and herbal waste mixture (19:1) – 0.51 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, meat and herbal waste mixture (9:1) – 0.56 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d. The content of biogas methane was 0.074 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 0.083 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 0.101 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d respectively.

**Keywords:** biodegradable municipal waste, biogas, methane, anaerobic processing.