



## BIODUJŲ GAMYBOS EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI TAIKANT NUOTEKŲ DUMBLO ĮKROVĄ SU BIOANGLIES PRIEDU

Vitalij KOLODYNSKIJ<sup>1</sup>, Pranas BALTRĖNAS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>vitalij.kolodynskij@vgtu.lt; <sup>2</sup>pranas.baltrenas@vgtu.lt*

**Santrauka.** Biodujos – ekologiškas kuras, kuris priskiriamas prie alternatyvios energijos šaltinių. Pažymėtina, kad biodujos – atsinaujinantis energijos šaltinis, nereikalaujantis jokių specifinių klimato sąlygų ir nepriklausantis nuo šalies geografinės padėties, t. y. šis energijos šaltinis yra prieinamas ir gali būti sėkmingai gaminamas bei naudojamas visose pasaulio šalyse. Pagrindinės biodujų komponentės – metanas CH<sub>4</sub> ir anglies monoksidas CO<sub>2</sub>. Šios dujos susidaro esant anaerobinėms sąlygoms, kai mikroorganizmais yra skaidoma biomasė. Biologijos moksluose biomasė traktuojama kaip gyvos medžiagos kiekis, išreikštas gramais per ploto vienetą. O energetikos sektoriuje biomasės apibrėžimas yra ribojamas ir biomasė charakterizuojama kaip kuro šaltinis, susidarantis iš augalinių medžiagų ir organinių atliekų (maisto atliekos, mediena, dumblas, mėšlas, augalinės kilmės atliekos ir pan.). Šiuo metu pasaulyje biodujoms iš biomasės pagaminti naudojami bioreaktoriai. Tačiau siekiant padidinti biodujų kokybę ir išėigą, pasaulinėje praktikoje naudojami įvairūs bioįkrovos priedai: augalinės kilmės atliekos, molio mineralai bei didelį kiekį baltymų turinčios atliekos. Šio darbo tikslas – įvertinti bioanglies priedo įtaką biodujų kokybei ir išėigai naudojant nuotekų dumblo įkrovą. Nustatyta, kad 10 % bioanglies priedas padidino CH<sub>4</sub> vidutinę koncentraciją 7,9 %, sumažino CO<sub>2</sub> koncentraciją 3–4 % ir sumažino H<sub>2</sub>S koncentraciją iki 0 ppm.

**Reikšminiai žodžiai:** bioreaktoriai, biodujos, bioįkrovos priedai, nuotekų dumblas, bioanglis.

### Įvadas

Organinių medžiagų irimas gamtoje yra natūralus procesas. Jis paprastai užbaigia biologinių subjektų egzistavimo ciklą, kai sudėtingi organiniai junginiai skaidosi į elementarius, galimus toliau naudoti (Kvasauskas 2009). Šio proceso galutinis produktas – biodujos. Natūraliai šis procesas vyksta giluminiuose vandens telkiniuose, pelkėse, kur vyrauja redukcinė, o ne oksidacinė terpė. Taigi išsiskyrusios dujos turi mažą įtaką globaliniams klimato kaitos pokyčiams ir jų egzistavimas atmosferos sluoksniuose – būtina sąlyga temperatūrai palaikyti mūsų planetoje. Saulės spinduliuotė, kuri prasiskverbia pro Žemės atmosferą, kaitindama ją, patenka į matomosios ir infraraudonosios šviesos bangų ilgio ribas. Spinduliai, kurie atsispindi nuo Žemės paviršiaus, yra „pagaunami“ šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir taip didėja atmosferos temperatūra (Oktyabrskiy 2016).

Be natūraliai susiformavusių šiltnamio efektą sukeliančių dujų vidutinė temperatūra priežeminiame atmosferos sluoksnyje siektų vos –21 °C. Tačiau per paskutinį šimtmetį dėl antropogeninės veiklos ir industrializacijos itin padidėjo CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub> emisijos. Šių dujų perteklius kelia didelę grėsmę Žemės klimato kaitai dėl įtakos jau nusistovėjusiai gamtoje pusiausvyrai.

Biodujos – alternatyvios energijos šaltinis. Jos gaminamos iš anaerobiškai suskaidytos organinės medžiagos, pavyzdžiui, nuotekų, gyvulių mėšlo ir kitų atliekų. Šios medžiagos yra maisto šaltinis bakterijoms, gaminančioms svarbiausią biodujų komponentą – metaną (CH<sub>4</sub>). Pažymėtina, kad mėšlas yra pagrindinė organinė medžiaga, reikalinga biodujų gamybai anaerobiškai skaidant atliekas, tačiau ne vienintelė, nes šiam procesui tinkami ir kiti organinių atliekų šaltiniai (pvz., nuotekų dumblas, biologiškai skaidžios atliekos, maisto pramonės atliekos, žemės ūkio atliekos, gyvūninės kilmės šalutiniai produktai ir komunalinės atliekos) (Vorbrot-Strzałka, Pikoń 2013; Appels *et al.* 2008; Nasir *et al.* 2014; Demirbas *et al.* 2016; Demirer 2016).

Lietuvoje ir visame pasaulyje dėl vis augančios pramonės apimties ir medžiagų, iškasenų vartojimo didėja biologiškai skaidomų atliekų kiekis (Misevičius, Baltrėnas 2011). Mokslininkai (Balat, M., Balat, H. 2009; Nielsen *et al.* 2007) nustatė, kad 2007 m. ES šalyse susidarė itin dideli mėšlo kiekiai (1578 milijonų tonų). Esant tokiam mėšlo kiekiui, 2007 m. ES šalyse iš viso susidarė 31,568 milijonų kubinių metrų biodujų, iš kurių metano buvo 20,519 milijonų kubinių metrų (vidutinė metano koncentracija biodujose

siekė 65 %). O biodujų energijos potencialas siekė 827 PJ (827 × 10<sup>9</sup> MJ), arba 18,5 milijonų tonų naftos ekvivalente (Nielsen *et al.* 2007; Balat, M., Balat, H. 2009). Matyti, kad energijos kiekiai, gauti naudojant biomasę, yra dideli. Šis faktas reiškia, kad biodujos yra efektyvi ir alternatyvi energija, kurią gaminant mažinama aplinkos tarša. Pavyzdžiui, Indijos mokslininkas (Kalia 2000) teigia, kad biodujų naudojimas patenkins ne tik dalį energetinių Indijos poreikių, bet kartu sumažins miškų, kurie naudojami kaip biokuro šaltinis, kirtimų skaičių šalyje.

Šiuolaikinių biodujų gamybos technologijų užduotis – padidinti biodujų kokybę ir išieigą taikant bioreaktorių modifikacijas ir naudojant įvairius bioįkrovos priedus. Mokslininkai (Simenonov *et al.* 2010) išskiria šiuos bioįkrovos priedus:

- 1) Substrato priedai. Žaliosios biomasės (pomidorų, svogūnų, augalų atliekų) naudojimas padidina biodujų gamybą, nes susidaro palankesnė mikroorganizmams augti terpė ir dėl specifinių priedų adsorbcijos savybių. Tai pagerina biodujų gamybos proceso lokalinę kinetiką ir makrokinetiką. Minėtų priedų taikymas gali padidinti biodujų išieigą nuo 10 iki 80 %.
- 2) Priedai. Ni jonai padidina biodujų gamybą dėl Ni priklausomų metaloenzimų aktyvumo.
- 3) Bioreagentų priedai. Kai kurios mikroorganizmų rūšys, pavyzdžiui, aktinomicetai, gali padidinti biodujų gamybą stimuliuodami tam tikrų enzymų veiklą, kurie atlieka svarbų vaidmenį celiuliozės hidrolizės procese.

Tyrimams atlikti buvo pasirinktas bioanglies priedas. Mokslinėje literatūroje duomenų apie bioanglies panaudojimą gaminant bioįkrovą metanogenezės procesui yra labai mažai, todėl atlikti tyrimai yra svarbūs. Bioanglis – porėta medžiaga. Jos naudojimas įkrovoje pagerins bakterijų kolonijų susidarymo sąlygas ir dėl savo sorbcinių savybių sumažins teršalų koncentracijas jų susidarymo etape. Šio darbo tikslas – ištirti biodujų sudėtį, koncentraciją bei išieigą iš nuotekų dumblo įkrovos su 10 % bioanglies priedu (palyginus su tokia pat įkrova be priedo) ir nustatyti šio specifinio priedo įtaką biodujų gamybos procesui.

## Metodika

Ekperimentiniai tyrimai buvo atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos instituto mokslinėje laboratorijoje. Tyrimams atlikti buvo naudojamas periodinio veikimo (200 l tūrio) bioreaktorius. Mėginių koncentracijoms nustatyti buvo naudojamas biodujų analizatorius INCA 4000 (1 pav.). Prietaiso tikslumas siekia



1 pav. Biodujų analizatorius INCA 4000 (autorius nuotrauka)  
Fig. 1. Biogas analyzer INCA 4000 (author's picture)

±1 % matuojant CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> ir CO<sub>2</sub>; ±1 ppm matuojant H<sub>2</sub>S. Matavimo ribos matuojant CH<sub>4</sub> ir CO<sub>2</sub> siekia 0–100 %, matuojant O<sub>2</sub> – 0–25 %, matuojant H<sub>2</sub>S – 0–10 000 ppm.

**Bioįkrovos paruošimas.** Bioįkrovai pagaminti naudojama organinė medžiaga (perteklinis, nusaustas (drėgnis siekia 70 %) nuotekų dumblas) ir specifinis priedas (bioanglis). Bioangliai pagaminti naudojama pirminė žaliava – mediena. Mokslinėje literatūroje teigiama, kad bioanglis, pagaminta iš spygliuočių, pasižymi geresnėmis savybėmis, todėl eksperimentiniams tyrimams atlikti buvo naudojama eglės ir pušies mediena. Mediena supjaustoma 3–5 cm ilgio ir 1–2 cm pločio gabaliukais, apvyniojama folija. Paruošti mėginiai deginami krosnyje 2 valandas esant 600 °C temperatūrai. Pagaminta bioanglis smulkinama iki 1–3 mm dalelių dispersiškumo ir sumaišoma su nuotekų dumblo įkrova. Į gautą masę įpilamas vanduo, bioįkrova kruopščiai sumaišoma iki homogeniškos būsenos. Nustatomas bioįkrovos pH, kuris turi įtakos biodujų gamybos procesui. Šiam tikslui naudojamas *Mettler Toledo MultiSeven* matuoklis. Tinkamai paruoštoje bioįkrovoje pH reikšmės turi siekti 7,0–7,5.

Prieš tiekiant paruoštą bioįkrovą į bioreaktorių, nustatomas jos sausos masės (toliau –  $m_s$ ) kiekis.

Mėginys džiovinamas 100–105 °C temperatūroje apie 2–3 h iki pastovios masės. Taip iš mėginio pašalinamas vanduo ir gaunama sausa masė. Sausa masė susideda iš organinių ir neorganinių dalelių.

$$m_s = m_0 - m_{H_2O}, \quad (1)$$

čia  $m_s$  – mėginio sausa masė, g;  $m_0$  – mėginio masė prieš džiovinimą, g;  $m_{H_2O}$  – pašalinto iš mėginio vandens masė, g.

Sudeginus sausą masę apie 2–3 h (esant 600 °C temperatūrai) ir pasvėrus sudegintą mėginio masę, nustatomas sausos masės neorganinių dalelių kiekis ir apskaičiuojamas organinių dalelių (organinės masės) kiekis ( $m_{org}$ ):

$$m_{org} = m_s - m_{sn}, \quad (2)$$

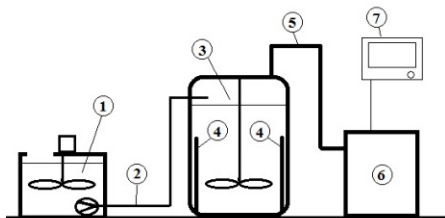
čia  $m_{org}$  – mėginio sausos masės organinių dalelių kiekis, g;  $m_s$  – mėginio sausa masė, g;  $m_{sn}$  – mėginio sausos masės neorganinių dalelių kiekis, g.

Žinant mėginio masę prieš deginimą ir po deginimo, nustatoma sudegusių organinių dalelių dalis nuo pradinės mėginio masės (prieš džiovinimą):

$$m = \frac{m_{org}}{m_0} \times 100\%, \quad (3)$$

čia  $m$  – mėginio organinių dalelių dalis nuo bendros mėginio masės prieš džiovinimą, %;  $m_{org}$  – mėginio sausos masės organinių dalelių kiekis, g;  $m_0$  – mėginio masė prieš džiovinimą, g.

Laboratorinio stendo principinė schema pateikta 2 pav.



2 pav. Laboratorinio stendo principinė schema:

- 1 – paruošimo kamera; 2 – slėginis bioįkrovos tiekimo kanalas; 3 – bioreaktorius; 4 – kaitinimo elementai;
- 5 – biodujų kanalas; 6 – biodujų talpykla; 7 – INCA 4000 analizatorius

Fig. 2. Laboratory stand principal scheme:

- 1 – preparation camera; 2 – pressure channel of bioloading;
- 3 – bioreactor; 4 – heating element; 5 – biogas channel;
- 6 – gasholder; 7 – INCA 4000 analyzer

Nustatyta, kad nuotekų dumblo (be priedo) organinės masės dalis siekia 11,0 %, o nuotekų dumblo įkrovos su 10 % (pagal masę) bioanglies priedu – 10,2 %. Organinės masės dalies rodiklis rodo, kiek procentų organinių medžiagų yra bioįkrovoje. Siekiant nustatyti naudingą bioreaktoriaus tūrį, t. y. organinių dalelių kiekį viename bioįkrovos litre (g VS/l), taikomas organinės apkrovos rodiklis. Atliekant tyrimus buvo nuspręsta ištirti įkrovas esant skirtingiems nuotekų dumblo ir bioanglies sumaišymo santykiams ir skirtingoms organinėms apkrovoms:

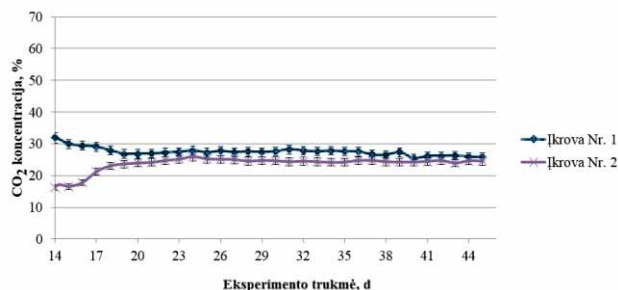
- 1) Įkrova Nr. 1 (nuotekų dumblo įkrova be bioanglies priedo): organinė apkrova – 11,0 g VS/l;
- 2) Įkrova Nr. 2 (nuotekų dumblo įkrova su 10 % bioanglies priedu): organinė apkrova – 10,2 g VS/l.

## Rezultatai ir jų analizė

Atliekant eksperimentinius tyrimus buvo palaikoma optimali temperatūra bioreaktoriuje – 35 °C (mezofilinis režimas). pH reikšmės prieš tyrimą siekė 7,1, o po tyrimo – 7,5. pH skirtumai abiejose bioįkrovose neviršijo paklaidų ribų, todėl abi įkrovos buvo paruoštos tinkamai. Pažymėtina, kad dėl ypač mažo biodujų kiekio, gauto iš įkrovos su bioanglies priedu per pirmas 2 savaites nuo eksperimento pradžios, nebuvo įmanoma nustatyti biodujų komponentų

koncentracijų. Todėl analizuojami rezultatų duomenys, gauti praėjus 14 parų nuo eksperimento pradžios.

3 pav. pateikta anglies monoksido koncentracijos priklausomybė nuo eksperimento dienų skaičiaus naudojant nuotekų dumblo įkrovą be priedo ir su bioanglies priedu.



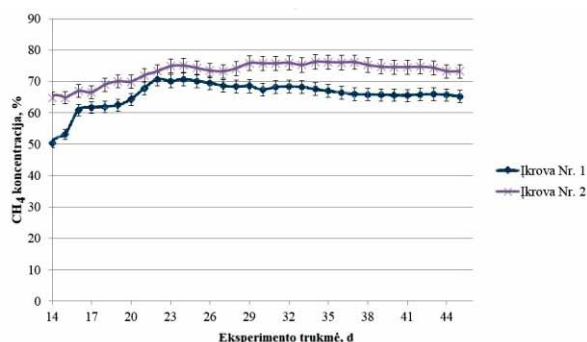
3 pav. CO<sub>2</sub> koncentracijos iš įvairių įkrovų kaita:

įkrovos Nr. 1 (be priedo) organinė apkrova – 11,0 g VS/l; įkrovos Nr. 2 (su 10 % bioanglies priedu) organinė apkrova – 10,2 g VS/l

Fig. 3. Change of CO<sub>2</sub> concentration from various loads: load Nr. 1 (without additive) organic loading – 11,0 g VS/l; load Nr. 2 (with 10 % biochar additive) organic loading 10,2 g – VS/l

Iš 2 pav. matyti, kad mažiausia CO<sub>2</sub> koncentracija pasiekta gaminant biodujas iš įkrovos su 10 % bioanglies priedu. Matyti, kad mažiausia CO<sub>2</sub> koncentracija užfiksuota po 14 parų (16,2 %) iš įkrovos su bioanglies priedu. Vidutinė CO<sub>2</sub> koncentracija siekė 23,6 %. Lyginant gautus rezultatus su įkrova be bioanglies priedo, nustatyta, kad mažiausia CO<sub>2</sub> koncentracija siekė 25,4 %, o vidutinė – 27,4 %. Galima teigti, kad bioanglis dėl savo adsorbentinių savybių sugeria CO<sub>2</sub> jo susidarymo metu.

4 pav. pateikta metano koncentracijos priklausomybė nuo eksperimento dienų skaičiaus. Iš pateikto paveikslėlio matyti, kad didžiausia metano koncentracija, gauta iš įkrovos su bioanglies priedu, siekia 76,2 %. Teigiama, kad bioanglies taikymas gaminant bioįkrovą naudoti pagerina sąlygas mikroorganizmams.



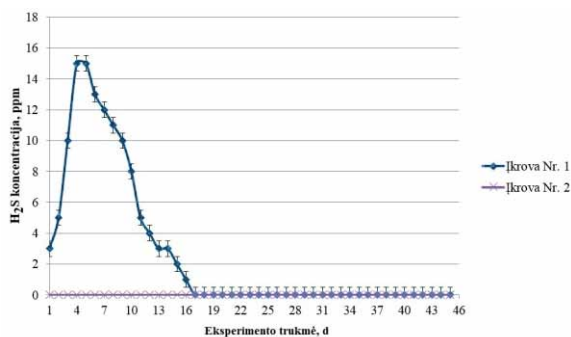
4 pav. CH<sub>4</sub> koncentracijos iš įvairių įkrovų kaita:

įkrovos Nr. 1 (be priedo) organinė apkrova – 11,0 g VS/l; įkrovos Nr. 2 (su 10 % bioanglies priedu) organinė apkrova – 10,2 g VS/l

Fig. 4. Change of CH<sub>4</sub> concentration from various loads: load Nr. 1 (without additive) organic loading – 11,0 g VS/l; load Nr. 2 (with 10 % biochar additive) organic loading – 10,2 g VS/l

Vidutinė  $\text{CH}_4$  koncentracija siekė 73,1 %. Nustatyta, kad didžiausia  $\text{CH}_4$  koncentracija, gauta skaidant įkrovą be bioanglies priedo, siekia tik 70,7 %, o vidutinė – 65,7 %. Tai reiškia, kad bioanglies panaudojimas (10 % nuo nuotekų dumblo masės) pagerino biodujų energetinę vertę 7,9 %.

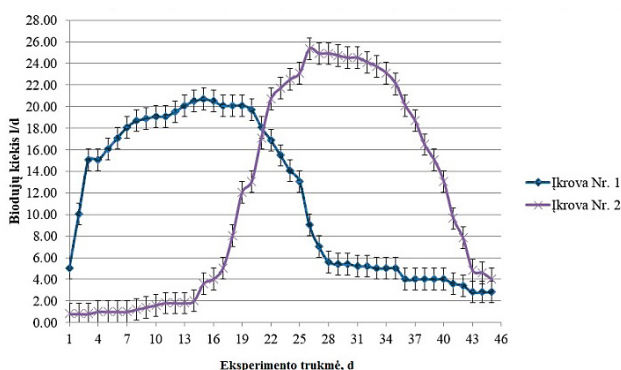
5 pav. pateikta vandenilio sulfido koncentracijos priklausomybė nuo eksperimento dienų skaičiaus.



5 pav.  $\text{H}_2\text{S}$  koncentracijos iš įvairių įkrovų kaita: įkrovos Nr. 1 (be priedo) organinė apkrova – 11,0 g VS/l; įkrovos Nr. 2 (su 10 % bioanglies priedu) organinė apkrova – 10,2 g VS/l

Fig. 5. Change of  $\text{H}_2\text{S}$  concentration from various loads. Load Nr. 1 (without additive) organic loading – 11,0 g VS/l; load Nr. 2 (with 10 % biochar additive) organic loading – 10,2 g VS/l

Iš 4 pav. matyti, kad  $\text{H}_2\text{S}$  koncentracija biodujose, gautose naudojant įkrovą su bioanglies priedu, per visą eksperimento trukmę (pradedant nuo 14 paros) siekė 0,0 ppm. Tai reiškia, kad bioanglis dėl savo adsorbicinių ypatumų visiškai pašalina  $\text{H}_2\text{S}$  iš biodujų šiame etape. Pažymėtina, kad  $\text{H}_2\text{S}$  kiekis, naudojant įkrovą be priedo, siekia tik 15 ppm eksperimento pradžioje.  $\text{H}_2\text{S}$  susidaro vykstant baltymų pūdymo procesui, todėl akivaizdu, kad nuotekų dumblo įkrovos organinę apkrovą reikėtų didinti, siekiant išgauti didesnę biodujų kiekį, kurio kaita pateikta 6 pav.



6 pav. Biodujų išeigos iš įvairių įkrovų kaita: įkrovos Nr. 1 (be priedo) organinė apkrova – 11,0 g VS/l; įkrovos Nr. 2 (su 10 % bioanglies priedu) organinė apkrova – 10,2 g VS/l

Fig. 6. Change biogas yield from various loads. Load Nr. 1 (without additive) organic loading – 11,0 g VS/l; load Nr. 2 (with 10 % biochar additive) organic loading – 10,2 g VS/l

Bioanglies naudojimas slopina mikroorganizmų veiklą per pirmas dvi savaites nuo eksperimento pradžios, todėl biodujų kiekis šiuo laikotarpiu siekia 0,0–2,0 l/d. Tačiau dėl bioanglies sugeriamųjų savybių mažėja  $\text{CO}_2$  kiekis, kuris sudaro beveik visą biodujų tūrį eksperimento pradžioje. Todėl biodujų kiekis naudojant bioanglį įkrovoje didėja tik po 14–15 d., kai mikroorganizmai adaptuojasi prie specifinių sąlygų. Didžiausias biodujų kiekis gautas po 26 parų (25,3 l/d). Didžiausias biodujų kiekis, gautas naudojant įkrovą be bioanglies priedo, siekia 20,7 l/d. Suminis biodujų kiekis, naudojant įkrovą be bioanglies priedo, siekė 524,7 l, o su 10 % bioanglies priedu – 525,3 l.

Iš pateikto paveikslo matyti, kad suminis biodujų kiekis yra praktiškai vienodas, todėl galima padaryti išvadą, kad 10 % bioanglies priedas neturi įtakos suminiam biodujų kiekiui, kuris gaunamas per 45 eksperimento dienas naudojant nuotekų dumblo įkrovą su 11,0 ir 10,2 g VS/l organinėmis apkrovomis.

## Išvados

1. Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad  $\text{CO}_2$  koncentracija biodujose, gautose iš įkrovos su 10 % pagal masę bioanglies priedu, yra mažesnė negu biodujose, gautose iš įkrovos be priedo. Skirtumas siekia 3,0–4,0 %. Teigiama, kad vykstant anaerobiniams procesams ir susidarant anglies monoksidui  $\text{CO}_2$ , bioanglis iš dalies sugeria šias dujas.
2. Analizuojant rezultatus nustatyta, kad vidutinė metano  $\text{CH}_4$  koncentracija biodujose, gautose iš įkrovos su 10 % bioanglies priedu, yra 7,9 % didesnė negu biodujose, gautose iš įkrovos be bioanglies priedo (atitinkamai 73,1 % ir 65,7 %). Dėl bioanglies savybių sugerti dalį  $\text{CO}_2$  ir  $\text{H}_2\text{S}$  susidaro palankesnė aplinka metanogeninėms bakterijoms ir jų kolonijoms, todėl biodujų kokybė (metano koncentracija) didėja.
3. Po adaptacinio bakterijų periodo (1–14 parų) vandenilio sulfido kiekis mažėja. Analizuojant  $\text{H}_2\text{S}$  koncentraciją biodujose, gautose iš įkrovos su 10 % bioanglies priedu, nustatyta, kad šių kenksmingų dujų koncentracija siekė 0 ppm. Teigiama, kad bioanglis sugeria dalį  $\text{H}_2\text{S}$  eksperimento pradžioje, tačiau, vykdant šiuos tyrimus, eksperimento pradžioje (1–14 parų) nebuvo įmanoma nustatyti  $\text{H}_2\text{S}$  koncentracijos biodujose, gautose iš įkrovos su 10 % bioanglies priedu, dėl mažo biodujų kiekio, kuris buvo nepakankamas analizei atlikti naudojant biodujų analizatorių INCA 4000.

4. Atlikus biodujų išėigos tyrimus nustatyta, kad tyrimo pradžioje geresnis rezultatas (pagal biodujų kiekį, o ne pagal kokybę) gaunamas naudojant įkrovą be bioanglies priedo. Suminis kiekis siekė 524,7 l. Naudojant įkrovą su 10 % bioanglies priedu, tyrimo pradžioje procesas vyksta neefektyviai, bakterijos dauginasi, adaptuojasi prie aplinkos ir suminis biodujų kiekis siekia 525,3 l. Galima daryti išvadą, kad, naudojant nuotekų dumblo įkrovą su maža organine apkrova (11,0 ir 10,2 g VS/l) ir maišant ją su bioanglies priedu, padidinama biodujų kokybė, bet biodujų išėiga, palyginti su tokia pat įkrova be bioanglies priedo, nesiskiria arba skirtumas neviršija paklaidų ribų.

## Literatūra

- Appels, L.; Baeyens, J.; Degreve, J.; Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of wasteactivated sludge, *Progress and energy combustion science* 34: 755–781. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
- Balat, M.; Balat, H. 2009. Biogas as a renewable energy source – a review, *Energy sources, Part A* 31: 1280–1293.
- Demirbas, A.; Taylan, O.; Kaya, D. 2016. Biogas production from municipal sewage sludge (MSS), *Energy Sources Part A: recovery, utilization, and environmental effects* 38(20): 3027–3033. <https://doi.org/10.1080/15567036.2015.1124944>
- Demirer, G. N. 2016. Biogas production from pistachio (pistaciavera L.) de-hulling waste, *International journal of green energy* 13(13): 1320–1324. <https://doi.org/10.1080/15435075.2016.1206001>
- Kalia, A. K. 2000. Biogas as a source of rural energy, *Energy sources* 22: 67–76. <https://doi.org/10.1080/00908310050014225>
- Kvasauskas, M. 2009. *Mažų gabaritų bioreaktoriaus tyrimai ir kūrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 24 p.
- Misevičius, A.; Baltrėnas, P. 2011. Experimental investigation of biogas production using biodegradable municipal waste, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 19(2): 167–177. <https://doi.org/10.3846/16486897.2011.576456>
- Nasir, I. M.; Mohd. Ghazi, T. I.; Omar, R.; Idris, A. 2014. Bioreactor performance in the anaerobic digestion of cattle manure: a review, *Energy Sources Part A: recovery, utilization, and environmental effects* 36:1476–1483. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.542439>
- Nielsen, J. B. H.; Oleskowicz-Popiel, P.; Al Seadi, T. 2007. Energy crops potentials for bioenergy, in EU-27, *15th European Biomass Conference & Exhibition From Research to Market Deployment*, 7–11 May, Berlin, Germany.
- Oktyabrskiy, V. 2016. A new opinion of the greenhouse effect, *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and mathematics* 2: 124–126.
- Simenonov, I.; Chorukova, E.; Mamatarkova, V.; Nikolov, L. 2010. Biogas production from organic wastes in suspended cell cultures and in biofilms, *Biotechnology and biotechnological equipment* 24(1): 558–566. <https://doi.org/10.1080/13102818.2010.10817897>
- Vorbrodt-Strzałka, K.; Pikoń, K. 2013. Environmental impacts associated with production and utilization of agricultural biogas, *Archives of waste management and environmental protection* 15(4): 1–12.

## BIOGAS PRODUCTION EXPERIMENTAL RESEARCH BY USING SEWAGE SLUDGE LOADING WITH BIOCHAR ADDITIVE

V. Kolodynskij, P. Baltrėnas

### Summary

Biogas – ecological fuel, which is assigned to alternative energy sources. It should be noted, that biogas – renewable energy source, which does not require any specific climatic conditions or geographical position of a country. This power source is available and can be successfully produced and used in all countries of the world. The main components of biogas – methane CH<sub>4</sub> and carbon monoxide CO<sub>2</sub>. This gas is formed under anaerobic conditions, when microorganisms decompose biodegradable biomass. In biological sciences biomass means a living matter content, expressed in grams per unit area. Meanwhile, in the energy sector, the definition of biomass is limited and biomass is characterized as fuel source, produced from plant materials and organic waste (food waste, wood, sludge, manure, vegetables, etc.). Currently, to produce biogas from biomass, bioreactors are used worldwide. However, in order to increase the quality and yield of biogas, in the world practice various bioload additives are used: vegetable waste, clay minerals, and a large amount of the protein-containing waste. The goal – to evaluate the impact of biochar on biogas quality and yield using sewage sludge load. It was found, that 10% biochar additive increased average CH<sub>4</sub> concentration of 7.9%, reduced the CO<sub>2</sub> concentration of 3–4% and totally removed H<sub>2</sub>S from biogas.

**Keywords:** bioreactor, biogas, bioloads additives, sewage sludge, biochar.