



BIODUJŲ VALYMO EFEKTYVUMO, TAIKANT SKIRTINGAS MIKRODUMBLIŲ SUSPENSIJAS, TYRIMAI

Inga JACKEVIČIŪTĖ¹, Alvydas ZAGORSKIS²

VGTV AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

El. paštas: ¹inga.jackeviciute@stud.vgtu.lt; ²alvydas.zagorskis@vgtu.lt

Anotacija. Iš atsinaujinančių energijos šaltinių galima išgauti energiją, kuri vėliau gali būti panaudota elektros ar šilumos energijos gamybai. Lietuvoje ir visame pasaulyje vis labiau auganti pramonė ir medžiagų, iškasenų suvartojimas generuoja didelius biologiškai skaidomų atliekų kiekius. Anaerobiniu būdu apdorojant organinės kilmės atliekas išsiskiria biodujos – ekologiškai naudingas energijos šaltinis, kuris daugiausia susideda iš metano (CH₄) ir anglies dioksido (CO₂). Panaudojant biodujas kaip biokurą, tokie biodujų komponentai, kaip anglies dioksidas, deguonis, azotas ir sieros vandenilis, turi neigiamą reikšmę efektyviam biodujų panaudojimui. Šiame tyrime biodujų valymui nuo anglies dvideginio buvo panaudotos trys mikrodumblų *Chlorella*, *Monoraphidium* ir *Stichococcus* suspensijos. Per jas buvo leidžiamos biodujos, ir nustatoma biodujų išeiga bei sudėtis. Atlikus tyrimus nustatyta, kad, perleidus biodujas per mikrodumblų suspensijas, anglies dioksido koncentracija biodujose sumažėjo, o metano – padidėjo. Anglies dvideginio koncentracija nuo šeštos tyrimo dienos mažėjo, biodujas leidžiant per visas tris mikrodumblų kultūras.

Reikšminiai žodžiai: mikrodumbliai, fotobiofiltras, biodujų valymas, biodujos, metanas, anglies dioksidas.

Įvadas

Vienas iš svarbiausių žmonijos uždavinių yra išsaugoti švarią aplinką, kuo mažiau paveiktą įvairių teršalų ar kitų aplinką teršiančių veiksnių. 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).

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). Kiekvienai metanogeninių ir kitų biodujų gamybos procese dalyvaujančių mikroorganizmų rūšių 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,

Raghuraman ir Brewer, 2007; Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, Kohli ir Rana, 2004).

Anaerobiniuose reaktoriuose pagamintų biodujų pagrindiniai komponentai yra metanas (CH₄) (40–75 %) ir anglies dioksidas (CO₂) (25–50 %). Žymiai mažesnę dalį sudaro sieros vandenilis (H₂S), amoniakas (NH₃), vandenilis (H₂), azotas (N₂) (6–7 %), anglies monoksidas (CO), deguonis (O₂), vandens garai (iki 2 %) ir kiti junginiai (Baltrėnas, Kazlauskienė ir Zaveckytė, 2006). Biodujų sudėtis priklauso nuo gamybos proceso parametrų, žaliavos rūšies ir sudėties, todėl biodujų energetinė vertė tiesiogiai susijusi su metano koncentracija jose. Jei metano kiekis sudaro daugiau kaip 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).

Šiuo metu yra atliekama nemažai tyrimų, kurių metu biodujų valymui naudojami mikrodumbliai. Mikrodumbliais biodujose siekiama sumažinti anglies dioksido (CO₂) kiekio išsiskyrimą ir padidinti išsiskiriančio metano

(CH₄) kiekį. Mikrodumbliai, vykdydami fotosintezę, iš biodujų pasisavina neorganinę anglį (CO₂). Po valymo mikrodumbliai gali būti panaudoti kaip organinė medžiaga naujų biodujų gavybai.

Biodujų valymui naudojami cheminiai, fizikiniai, biologiniai metodai. Pagrindiniai biologinių metodų sunkumai yra tinkamų mikroorganizmų suspensijų parinkimas ir fotobioreaktoriaus optimalių sąlygų nustatymas. Naudojant biologinius valymo metodus, naudojamos skirtingos kilmės ir struktūros mikroalerginės suspensijos. Mikrodumbliai mokslininkų dėmesį patraukė dėl unikalių savybių, tokių kaip gebėjimas greitai augti, kaupti aliejų ir kitas vertingas medžiagas, fiksuoti anglies dioksidą. Palyginti su žemės ūkio augalais, mikrodumbliai gali užauginti dešimt kartų didesnę biomasės kiekį. Mikrodumblių auginimo ir panaudojimo energijos reikmės tyrimai pasaulyje pradėti palyginti neseniai.

Mikrodumbliai gali augti greičiau nei augalai, jiems nereikia derlingos žemės ir vandens, nereikia konkuruoti dėl saulės energijos, jie gali naudoti degimo proceso išmetamąsias dujas kaip savo anglies šaltinį. Mikrodumbliai yra alternatyva tvariai biodyzelino, bioetonolio ir biodujų gamybai (Chisti, 2007). Mikrodumbliai, vykdydami fotosintezę, pasisavina CO₂, tokiu būdu išgrynina mos biodujos.

Mikrodumbliai yra vienaląsčiai ar daugiאלąsčiai mikroorganizmai, dažniausiai aptinkami vandens telkiniuose, tačiau juos galima aptikti ir ant drėgnų paviršių: žemės, akmenų, uolų, medžių ir kt. Kai kurie mikro-

dumbliai auga ir ekstremalesnėmis sąlygomis – karštoje versmėje, ledynuose ar druskos telkiniuose. Mikrodumbliai pagal įvairius rodiklius skirstomi į skyrius, klases, eiles ir gentis. Mokslininkai kuria naujas mikrodumblių rūšis, pasižyminčias pageidautiniais požymiais, pavyzdžiui, didesniu aliejaus kiekiu.

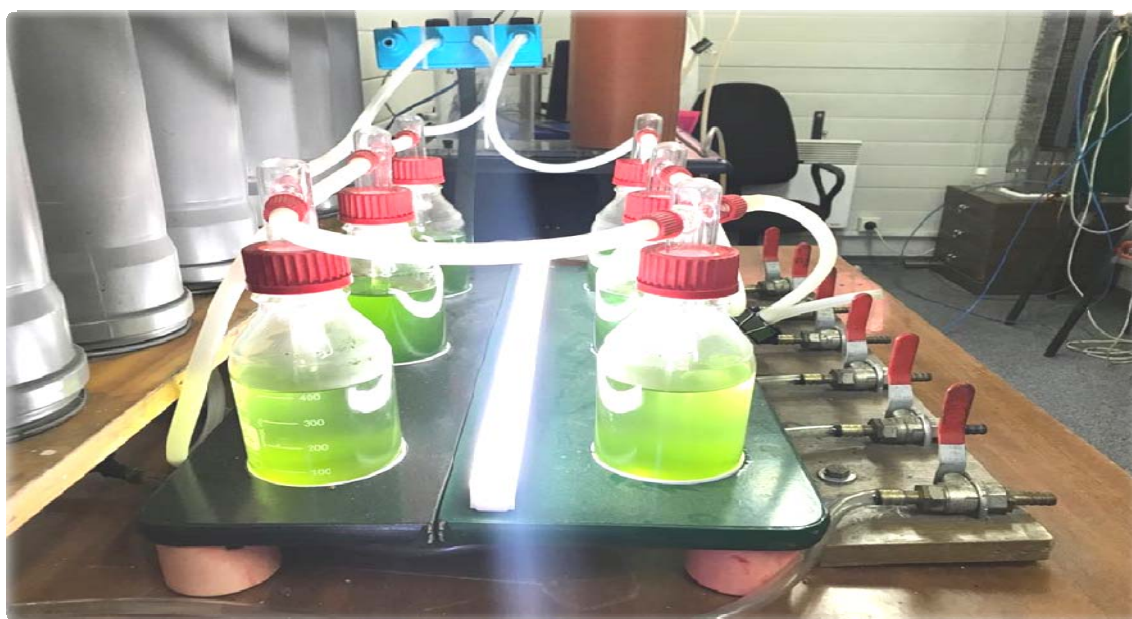
Gamtoje mikrodumbliai intensyviau auga šiltuoju metų laikotarpiu (ilsėdamiesi prie ežerų galime pastebėti žalsvą vandens spalvą), taigi mikrodumbliams augti reikalinga šiluma, šviesa, tam tikros maisto medžiagos, iš kurių pagrindinės yra azoto ir fosforo junginiai. Siekiant sumažinti mikrodumblių auginimo kaštus, tiriamos galimybės mikrodumblių auginimui naudoti tinkamus šalutinius produktus ir nuotekas, kuriose gausu azoto ir fosforo junginių.

Tyrimo tikslas – atlikti biodujų valymo efektyvumo tyrimus, taikant skirtingas suspensijas, sudarytas iš mikrodumblių kultūrų (*Chlorella*, *Monoraphidium*, *Stichococcus*), ir įvertinti jų įtaką biodujų sudėčiai.

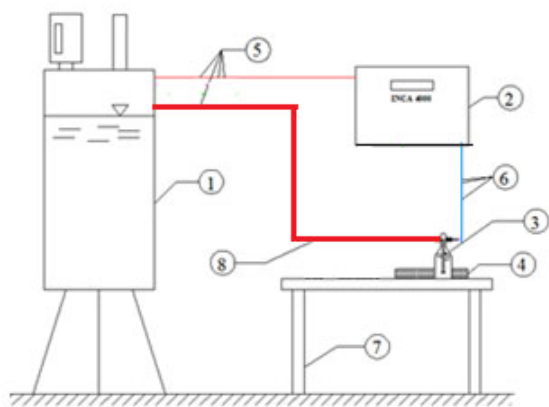
Tyrimų metodika

Tyrimai buvo atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos instituto laboratorijoje bendradarbiaujant su Gamtos mokslų institutu. Tyrimas atliktas laboratorinėmis sąlygomis, naudojant laboratorijoje sukonstruotą stendą (1, 2 paveikslas).

Pagrindiniu energijos šaltiniu biodujose yra metanas, kurio energinė vertė – 37,7 MJ/m³.



1 paveikslas. Laboratorinio tyrimo stendo nuotrauka (autorės nuotrauka)



2 paveikslas. Laboratorinio tyrimo stendo principinė schema: 1 – bioreaktorius; 2 – dujų sudėties analizatorius INCA 4000; 3 – dujų valymo kolba su stiklo filtru (fotobioreaktorius); 4 – šviesos šaltinis (fluorescencinė lempa); 5 – nevalytų dujų įleidimas; 6 – valytų dujų išleidimas; 7 – laboratorinis stalas; 8 – dujų įleidimo anga (Bingelytė ir Zagorskis, 2017)

Viso eksperimento metu kiekvieną dieną buvo stebima biodujų išėiga, metano, sieros vandenilio ir deguonies koncentracijos bei šių parametrų kaita.

Tyrimė naudojami trijų rūšių dumbliai: *Chlorella*, *Monoraphidium* ir *Stichococcus*. Dumbliai buvo supilstyti į du buteliukus. Biodujos buvo leidžiamos iš saugomų talpų, jos per vamzdelį patekdavo į pirmąjį stiklinį butelį, iš kurio vėliau patekdavo į antrąjį ir vėl perėjusios per dumblių tirpalą vamzdeliu buvo tiekiamos į talpyklas. Tokiu principu procesas vyko trijuose fotobiofiltruose ir buvo tiekiamos į skirtingas, kiekvienai dumblių kultūrai skirtas dujų talpyklas (1 paveikslas). Siekiant suaktyvinti fotochemines reakcijas, tyrimo metu mikrodumbliai buvo apšviesti dirbtiniu šviesos šaltiniu – buvo įjungtas tarp fotobiofiltrų esantis šviestuvas.

Fotobiofiltrus sudarė trijų skirtingų mikrodumblių suspensijos. Suspensijų sudėtis bei koncentracija pateiktos 1-oje lentelėje.

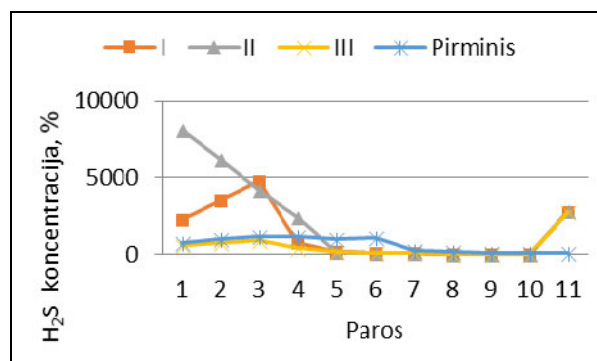
1 lentelė. Dumblių pavadinimai, per kuriuos leidžiamos dujos

I fotobiofiltras	II fotobiofiltras	III fotobiofiltras
<i>Chlorella</i>	<i>Monoraphidium</i>	<i>Stichococcus</i>
102,92 µg/l	67,73 µg/l	22,94 µg/l
500 ml	500 ml	500 ml

Matavimai buvo atliekami naudojant biodujų analizatorių INCA 4000, kuris pateikia metano, anglies dvideginio ir deguonies kiekį procentais (%), 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 %.

Rezultatai ir jų analizė

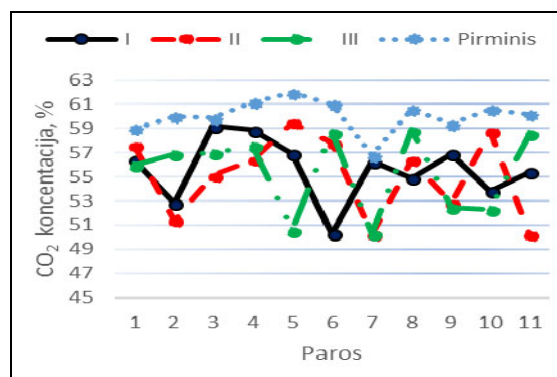
Analizuojant gautus rezultatus, kurie pavaizduoti 3–5 paveiksluose, galima pastebėti, kad didžiausia metano koncentracija gaunama 5 paveiksle pateiktoje diagramoje, tai yra II fotobiofiltre, kuriame buvo naudoti *Monoraphidium* dumbliai.



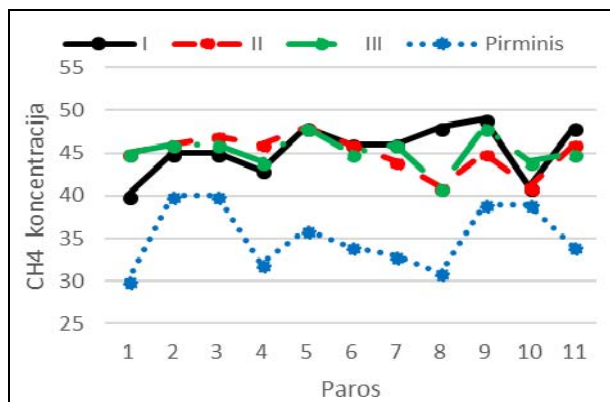
3 paveikslas. H₂S koncentracijos išsiskyrimo kiekiai visuose trijuose fotobioreaktoriuose

Analizuojant metano dujų išsiskyrimą, galima pastebėti, kad jis nėra ženkliai matomas. Visuose trijuose fotobiofiltruose svyruoja nuo 0,3 iki 11,7 procentų koncentracijos. Aukščiausias rodmuo fiksuotas II fotobiofiltre 10 tyrimo dieną. Tyrimai atliekami fotobiofiltruose, tik pirminės biodujos buvo tiriamos prieš pradėdant šį tyrimą.

Mažėjanti anglies dvideginio koncentracija buvo nustatyta visuose trijuose fotobiofiltruose. Lyginant su biodujų koncentracija, kuri buvo leidžiama per mikrodumblių kultūras (*Chlorella*, *Monoraphidium* ir *Stichococcus*), neženklaus mažėjimas pastebimas nuo pirmosios tyrimo dienos. Didesnis šuolis fiksuojamas septintąją tyrimo dieną, kai III fotobiofiltre CO₂ koncentracija (%), lyginant su leidžiamųjų biodujų per fotobiofiltrus sudėtimi, buvo mažesnė 26,5 %.

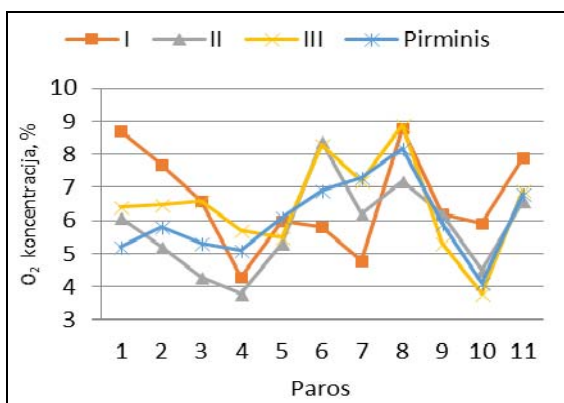


4 paveikslas. CO₂ koncentracijos išsiskyrimo kiekiai visuose trijuose bioreaktoriuose



5 paveikslas. CH₄ koncentracijos išsiskyrimo kiekiai visose trijuose bioreaktoriuose

Atlikus O₂ išsiskyrimo koncentracijos kiekio analizę, matyti, kad tai labiausiai kintančių gautų rezultatų kreivė (6 paveikslas). Nepaisant to, galima pastebėti, kad ir pirmąją, ir paskutinąją – vienuoliktąją tyrimo dieną didžiausias O₂ išsiskyrimas užfiksuotas pirmajame fotobiofiltre, kuris buvo prikraitas *Chlorella* mikrobūlių.



6 paveikslas. O₂ koncentracijos priklausomybė nuo laiko visuose trijuose bioreaktoriuose

Pavaizduotoje diagramoje (3 paveikslas) matyti, kad staigus H₂S kiekio išsiskyrimas buvo stebimas iki 4 tyrimo dienos, vėliau visuose fotobiofiltruose sumažėjo, be kita ko, šis sumažėjimas yra ženklus, siekiantis net kelis šimtus kartų. Ir tik 11 tyrimo dieną rodmenys vėl pakyla ir visuose trijuose bioreaktoriuose svyruoja nuo 2750 iki 2861 ppm.

Mikrodumbliai anglies dioksido koncentraciją panaudoja fotosintezės procesui. Fotosintezė vyksta dėl saulės ir anglies dioksido, vykstant šiai reakcijai, mikrodumbliai gamina angliavandenius kaip pagrindinį šaltinį biomasei formuoti (Converti, Casazza, Ortiz, Perego ir Borghi, 2009).

Iš 5 paveikslo matyti, kad atliekant tyrimą su mikrodumbliais (*Chlorella*, *Monoraphidium*, *Stichococcus*) pirmosiomis tyrimo dienomis CH₄ koncentracijos išsi-

skyrimo kiekiai visose trijuose talpose buvo panašūs. Metano koncentracijos svyravimai nedideli, tik nuo aštuntosios tyrimo dienos duomenys keičiasi ir ryškus 15 % šuolis fiksuojamas pirmajame fotobiofiltre, kai CH₄ padidėja nuo 30 iki 45 %. Nepaisant to, vėliau didžiausias kiekis fiksuojamas būtent antrajame fotobiofiltre tiek dešimtą, tiek vienuoliktą tyrimo dieną.

Iš gautų rezultatų matyti, kad naudojant tris skirtingas mikrodumblių kultūras (*Chlorella*, *Monoraphidium*, *Stichococcus*) gaunami rezultatai yra beveik vienodi. Tyrime naudojamų mikrodumblių kultūrų poveikis biodujoms, kurios buvo leidžiamos per šias (*Chlorella*, *Monoraphidium*, *Stichococcus*) mikrodumblių suspensijas, buvo panašus. Didžiausią įtaką biodujų sudėčiai turėjo *Stichococcus* ir *Chlorella* mikrodumblių kultūros.

Išvados

1. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didžiausią įtaką anglies dvideginio sumažėjimui biodujose turėjo *Stichococcus* mikrodumblių suspensija. Biodujas perleidus per šią mikrodumblių kultūrą, anglies dvideginio koncentracija jose vidutiniškai sumažėjo nuo 60 iki 53 %. Didžiausias koncentracijos pokytis užfiksuotas šeštąją tyrimų dieną.

2. Tyrimų metu nustatyta, kad metano koncentracijai didžiausią įtaką turėjo *Chlorella* mikrodumblių kultūros. Metano koncentracijas biodujose po fotobiofiltro siekė vidutiniškai apie 10 %.

3. Didžiausia deguonies koncentracija užfiksuota trečiajame fotobiofiltre, prikraitame *Stichococcus* dumblių suspensijos. 8-ąją tyrimo dieną O₂ koncentracija siekė nuo 8,9 %. Padidėjusi koncentracija parodė mikrodumblių aktyvumą apdorojant biodujas.

Padėkos

Dėkojame Gamtos mokslo instituto kolektyvui už pagalbą atliekant eksperimentinius tyrimus.

Literatūra

- Abdeshahian, P., Al-Shorgani, N. K. N., Salih, N. K. M., Shukor, H., Kadier, 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>
- Bailey, J. E. (1991). Toward a science of metabolic engineering. *Science*, 252(5013), 1668-1675. <https://doi.org/10.1126/science.2047876>
- Baltrėnas, P., Kazlauskienė, A., & Zaveckytė, J. (2006). Experimental investigation into toxic impact of road maintenance

- nance salt on grass vegetation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 14(2), 83-88.
- Bingelytė, Ž., & Zagorskis, A. (2017). Biodujų valymo efektyvumo tyrimai naudojant mikrodumblių *Monoraphidium Griffithii* suspensiją. *Science: Future of Lithuania*, 9(4), 349-356. <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1069>
- Converti, A., Casazza, A. A., Ortiz, E. Y., Perego, P., & Borghi, D. M. (2009). Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing*, 48(6), 1146-115. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2009.03.006>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Durand, A. (1998). Solid state fermentation. *Biofuture*, 1998(181), 41-43. [https://doi.org/10.1016/S0294-3506\(98\)80171-3](https://doi.org/10.1016/S0294-3506(98)80171-3)
- Feng, W., Raghuraman, M. K., & Brewer, B. J. (2007). Mapping yeast origins of replication via single-stranded DNA detection. *Methods*, 41(2), 151-7. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2006.07.023>
- 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.
- Koven, B. (2009, February). The use of anaerobic digesters on a small scale could provide localized energy sources while reducing the negative effects of greenhouse gases. *Bio-mass magazine*. Missouri, USA.
- Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different technique. *Bioresource Technology*, 95(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010>

BIOGAS CLEANING EFFICIENCY RESEARCH USING DIFFERENT MICRONUTRIENT SUSPENSIONS

I. Jackevičiūtė, A. Zagorskis

Summary

Renewable energy sources can generate energy that will then be used to generate electricity or heat. In Lithuania and worldwide, growing industry and use of fossil fuels generates large amounts of biodegradable waste. Anaerobic treatment of waste from organic matter gives rise to biogas, an eco-friendly energy source, which mainly consists of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). When biogas is used as biofuel, such components of biogas as carbon dioxide, oxygen, nitrogen and hydrogen sulfide have a negative effect on the efficient use of biogas. In this study, three micronutrients – *Chlorella*, *Monoraphidium* and *Stichococcus* – were used to remove carbon dioxide from biogas. The output and composition of the released biogas were determined. The results of the research showed that, after passing biogas through microalgae suspensions, the concentration of carbon dioxide in biogas decreased and that of methane increased. From the sixth day of the study, the concentration of carbon dioxide decreased in all three micronutrient crops.

Keywords: micronutrients, photobiofiltration, biogas cleaning, biogas, methane, carbon dioxide.