



BIODUJŲ VALYMO FOTOBIOABSORBERYJE TAIKANT *MONORAPHIDIUM GRIFFITHI* MIKRODUMBLIŲ KULTŪRĄ EFEKTYVUMO TYRIMAI

Loreta Juškaitė¹, Alvydas Zagorskis²

VGTU Aplinkos inžinerijos fakultetas, Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
El. paštas: ¹loreta.juskaite@vgtu.lt; ²alvydas.zagorskis@vgtu.lt

Anotacija. Siekiant didinti energinį biodujų efektyvumą, būtina jas efektyviai valyti nuo anglies dvideginio, sieros vandenilio bei kitų priemaišų ir jų sudėtyje padidinti metano koncentraciją. Biodujų valymas naudojant mikrodumblų kultūras – naujas biologinis valymo būdas, kai vykstant fotosintezės procesui mikrodumbliai savo augimui sunaudoja anglies dvideginį. Tyrimams naudotas fotobiologinis absorberis su *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblų suspensija, skirtas biodujoms valyti. Eksperimentinių tyrimų metu buvo nustatyta biodujų sudėtis prieš ir po valymo naudojant fotobiologinį absorberį. Tyrimų metu buvo įvertinta, kad CO₂ biodujų valymo efektyvumas taikant *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblų kultūrą siekia 53,33 %. Taip pat dėl tirpumo vandenyje bei fotosintezės proceso po valymo biodujose 17,32 % sumažėjo CH₄. Deguonies koncentracija biodujose po valymo padidėjo nuo 2,7 iki 8,3 %. Deguonies koncentracijos padidėjimas rodo, kad teršalus skaidant dalyvauja mikrodumbliai, kurie fotosintezės proceso metu išskiria deguonį.

Raktažodžiai: mikrodumbliai, biodujų valymas, fotobiologinis absorberis, fotosintezė.

Įvadas

Biodujų gamyba anaerobiniu būdu apdorojant organines atliekas yra viena efektyviausių priemonių klimato kaitai mažinti. Anaerobiniu būdu apdorojant atliekas išsiskiria biodujos, kurių pagrindiniai komponentai yra metanas, anglies dioksidas, deguonis, azotas ir sieros vandenilis. Biodujų sudėtis turi įtakos kogeneracinių variklių darbui bei pačių biodujų energinei vertei. Mažinant anglies dvideginio koncentraciją galima padidinti biodujų energinę vertę, todėl ieškoma efektyvių būdų biodujoms valyti ne tik nuo anglies dioksido, bet ir nuo kitų komponentų, tokių kaip sieros vandenilis bei amoniakas.

Biodujų valymo procesams pagerinti pasaulyje taikomi skirtingi metodai: cheminiai, fizikiniai, biologiniai. Būtent pastarojo metodo potencialas yra vis plačiau tiriamas ir vertinamas. Intensyviau bandoma panaudoti mikrodumblų kultūras biodujoms valyti, kadangi gaunama dvejopa nauda – aukštu efektyvumu išvalytos biodujos ir susiformavusi nauja žaliava – mikrodumblų biomasė. Visgi pagrindiniai išskylantys sunkumai yra tinkamų kultūrų parinkimas ir optimalių sąlygų valymo įrenginiuose užtikrinimas, siekiant sumažinti CO₂ ir išvalytose biodujose išlaikyti aukštą CH₄ koncentraciją. Šiai problemai

spręsti laboratorijose atliekami tyrimai su skirtingai mikrodumblų kultūromis prisotintais tirpalais ir suspensijomis. Tyrimų metu sudaromos skirtingos sąlygos, siekiant nustatyti efektyviausią terpę.

Biologiniai biodujų valymo metodai pasaulyje vis plačiau tiriami bei taikomi dėl kelių pagrindinių priežasčių. Visų pirma, biologiškai išvalytos biodujos gali tapti praktiškai grynu metanu „Greengas“, tiekiamu į gamtinių dujų tinklus, ir taip pastarąsias pakeisti. Šiuo atveju būtų pasiekama akivaizdi ekonominė nauda. Be to, aukštu efektyvumu išvalytos biodujos gali būti naudojamos kaip transporto kuras, atsižvelgiant į skirtingose šalyse taikomus tokio kuro kokybės ir atitikties reikalavimus.

Žvelgiant platesniu mastu, mikrodumblų kultūros, savo gyvybinei veiklai sunaudodamos CO₂, žymiai sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas į aplinką. Todėl taikant šį metodą biodujų valymo įrenginiuose iš dalies gali būti sprendžiamos ir globalios aplinkosauginės klimato kaitos problemos.

Laikoma, jog biologinis biodujų valymas mikrodumbliais ne visada užtikrina aukštą biodujų išvalymo efektyvumą, todėl nuolat ieškoma sistemos konstrukcijų

patobulinimo būdų, terpių optimizavimo ir tinkamų mikrodumblių. Prie didelės absorbcinės gebos turinčių kultūrų priskiriami gėlame vandenyje aptinkami *Monoraphidium griffithi* mikrodumbliai. Tam, jog mikrodumbliai palaikytų savo gyvybines funkcijas ir būtų naudingi biodujų valymo proceso metu, jie sunaudoja anglies dioksidą. Taip iš biodujų pašalinami kenksmingi komponentai ir sumažėja biomasės gamybos sąnaudos (Hendroko ir kt., 2013).

Monoraphidium griffithii – verpstės formos mikrodumbliai, kurie aptinkami gėlo vandens telkiniuose. Svarbu atkreipti dėmesį į tai, jog jiems reikalingas saulės arba dirbtinis šviesos šaltinis tam, kad absorbuotų anglies dioksidą daug efektyviau, nei tai daro augalai. Šie dumbliai naudojami ir biodyzelino bei bioetanolio gamybai. Vėliau, po biodujų valymo, mikrodumblių organizmų biomasė gali būti tiekiamą į bioreaktorių kaip pirminė žaliava.

Ž. Bingelytė ir A. Zagorskis aprašė atliktus mikrodumblių eksperimentinius tyrimus valant biodujas (2017). Šio tyrimo metu nevalytos dujos buvo leidžiamos per *Monoraphidium griffithii* suspensiją. Po 35 parų nustatyta CO₂ koncentracija pakito nuo 37 % iki 31 %. Tačiau remiantis užsienio mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais biodujų valymo efektyvumas naudojant mikrodumblių kultūras turėtų siekti iki 70 %. Vienas iš svarbiausių aspektų atliekant tyrimą yra konstrukcijos sandarumas bei gana sudėtingas pastovios terpės išlaikymas. Tuo metu CH₄ koncentracija padidėjo 7 %, o, palyginti su kitų mokslininkų atliktais tyrimais, metano koncentracija galėtų padidėti iki 20 %. Metano kiekio pokyčio sumažėjimas dažnai galimai įvyksta dėl oksidacijos. *Monoraphidium griffithi* gyvybiniais procesams palaikyti nenaudoja degonies, priešingai, vykstant fotosintezei, O₂ kiekis didėja, todėl kokybinė ir šiluminė biodujų vertė mažėja (Bingelytė ir Zagorskis, 2017).

Lenkijoje buvo atliktas tyrimas, susijęs su biodujų valymo mikrobiologiniu konsorciumu, esant deguonies azoto formoms biofiltre su biologinėmis nuosėdomis. Biodujas generuoja anaerobinės bakterijos, dėl kurių išsiskiria organinės medžiagos. Tyrimo metu nustatyta, kad biodujos su dideliu vandenilio sulfido kiekiu sėkmingai gali būti valomos biologiniais metodais kolonų sistemose su diferencijuotais lygiais, kurių paviršiuje susidaro biologinė plėvelė iš dujas degraduojančių bakterijų. Dažnai atsitinka taip, kad tokių sistemų mikrobiologinės biologinės įvairovės vertė yra susijusi su bakterijų erdvinio išdėstymu stulpelyje, todėl gali skirtis įvairiais lygmenimis (Calvo-Bado ir kt., 2003).

Biologinė įvairovė dėl tam tikrų mikroorganizmų grupių specifinių savybių dažnai kinta (van der Gast, Ager,

ir Lilley, 2008). Bakteriologinio kintamumo determinatoriai yra fizikiniai veiksniai (pH, temperatūra, oksigenacija), cheminiai veiksniai (kultūros terpės sudėtis, toksiškų junginių buvimas), taip pat ekologiniai santykiai tiriant biocenozę, kultūrą ir teigiamą bei neigiamą sąveiką sistemoje. Biodujų valymo sistemų atveju paties inokulianto perkėlimas į koloną sukelia itin didelį kiekybinį-kokybinį išekvojimą prisitaikymo fazėje (Maestre ir kt., 2010). Paprastai toks įvairovės nykimas laikomas biocenozės specializacija, parenkant geriausiai pritaikytus mikroorganizmus, išskiriant konkurenciją, toksišką užteršimo poveikį arba mažinant turimų mitybos šaltinių kiekį (Eichner, Erb, Timmis ir Wagner-Döbler, 1999).

Anglies dvideginio skaidymas taikant mikrodumblių kultūras labai priklauso nuo fizikinių parametų. Svarbiausi parametrai, lemiantys anglies dvideginio skaidymo efektyvumą, yra šie: mikrodumblių suspensijos temperatūra, šviesos bangos ilgis, maistinės medžiagos pH reikšmė, konstrukciniai sprendimai ir anglies dioksido šaltinis (Zhao ir Su, 2014). Palyginti su augalais, mikrodumbliai gali užauginti dešimt kartų didesnę biomasės kiekį. Vienašėčiai ir daugialąsčiai dumbliai ypač efektyviai vykdo fotosintezę. Net 34,7 % aktyvių spindulių fotosintezei fitoplanktonas naudoja biomasei gaminti. Mikrodumblių biomasės kiekis per parą esant palankioms sąlygoms gali padvigubėti, o esant pakankamai maisto medžiagų vyksta eksponentinis augimas, kurio metu dumblių ląstelės dalijasi kas 3,5 val. (Chisti, 2007).

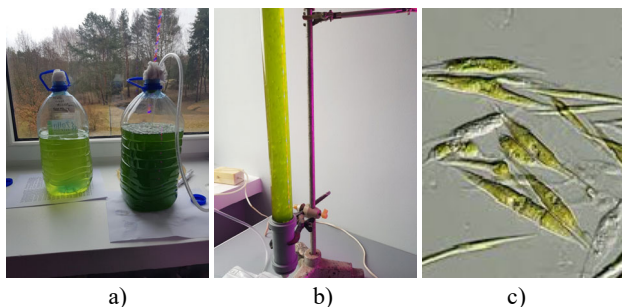
Mikrodumblių auginimas atvirose tvenkiniuose ir trasose yra gerai išplėtotas, tačiau tik kelios rūšys gali būti palaikytos tradicinėse atvirose sistemose, kuriose kontroliuojamas užterštumas šarminė arba druskinga selektyvia aplinka. Visiškai uždari fotobioreaktoriai suteikia galimybę auginti didesnę monoseptinės kultūros dumblių įvairovę, palyginti su atviromis sistemomis. Iš daugelio vertintų uždarytų fotobioreaktorių konstrukcijų perspektyviausi yra prietaisai su vamzdiniais saulės kolektoriais. Vamzdeliniai fotobioreaktoriai, kurie cirkuliuoja kultūrą, naudodami oro pakrovimo prietaisą, yra ypač patrauklūs dėl kelių priežasčių: cirkuliacija pasiekama be judančių dalių ir tai suteikia tvirtą kultūros sistemą, turinčią mažesnę užteršimo potencialą; išvengiama ląstelių pažeidimų, susijusių su mechaniniu siurbimu (Chisti, 1999); oro transportavimo įrenginys sujungia siurblio ir dujų šilumokaičio funkciją, kuri pašalina fotosintezės metu susidariusį deguonį (Rubio, Fernández, Pérez, Camacho ir Grima, 1999). Būtinai nuolatinis deguonies pašalinimas, nes per didelis ištirpusio deguonies kiekis slopina fotosintezę.

Tyrimo tikslas – įvertinti biodujų valymo efektyvumą taikant *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblių kultūrą.

Metodika

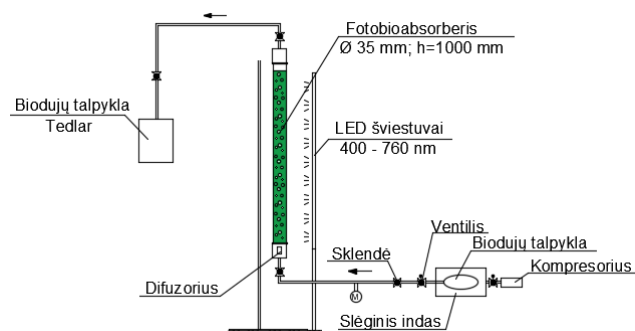
Tyrimams taikyta mikrodumblių kultūra:

Į 1 litro talpos kolonėlę buvo įpiltas tirpalas, sudarytas iš *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblių kultūros ir vandens su biogeniniais elementais. *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblių kultūra pateikta 1-ame paveiksle. Mikrodumblių kultūros biomasės kiekis siekė 0,045 g/l. Tyrimams mikrodumblių kultūra buvo atrinkta atsižvelgus į jos sudėtį, chlorofilų kiekį bei gebėjimą fotosintezės metu absorbuoti CO₂.



1 paveikslas. *Monoraphidium griffithi* mikrodumblių kultūra: a) mikrodumbliai inokuliacijos metu; b) mikrodumbliai kolonėlėje; c) mikrodumblių morfologinė struktūra

Mikrodumblių kultūra buvo atrinkta bendradarbiaujant su Gamtos tyrimų centro mokslininkais. Prieš atliekant tyrimus mikrodumbliai 14 dienų buvo inokuliuojami biogeniniais elementais prisotintoje terpėje MWC medium (Modified Woods Hole MBL Medium). Inokuliacijos metu į mikrodumblių suspensiją buvo tiekiamas deguonis.



2 paveikslas. Laboratorinio stendo schema

Tyrimams taikytas laboratorinis stendas ir tyrimo eiga:

Tyrimams atlikti buvo naudotas VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedroje sukonstruotas

fotobioabsorberis. Fotobioabsorberio stendo schema pateikta 2-ame paveiksle.

Į fotobioabsorberį anaerobiniu būdu apdorojant nuotekų dumblą buvo tiekiamos susidariusios biodujos. Prieš atliekant tyrimus biodujos buvo pripildytos į 10 litrų talpos 200 mbar slėginį indą. Panaudojant kompresorių iš slėginio indo biodujos 0,2 L/min greičiu buvo tiekiamos į mikrodumblių kultūrą pripildytą 1 litro talpos kolonėlę. Kolonėlės aukštis siekė 1000 mm, biodujų sąlyčio su bioterpe laikas – 2s. Biodujų temperatūra siekė 20 °C. Mikrodumblių kolonėlė buvo apšviesta natūraliu šviesos šaltiniu bei fotosintezės aktyvaciją padidinančiu šviesos šaltiniu (raudona/mėlyna šviesa) naudojant LED šviesos šaltinį. Apšvieta siekė 6000 lx. Pratekėjusios pro kolonėlę esančių mikrodumblių suspensiją biodujos buvo surinktos į 1 litro talpos Tedlar maišus. Tolygiam biodujų pasiskirstymui per visą kolonėlės skerspjūvio plotą biodujos buvo tiekiamos per kolonėlės apatinėje dalyje įrengtą difuzorių. Biodujos per bioterpę buvo tiekiamos 60 min. Tyrimų metu nustatyta biodujų kiekybinė ir kokybinė sudėtis prieš ir po fotobioabsorberio.

Biodujų valymo efektyvumui nuo per fotobioabsorberį leidžiamų biodujų srauto greičio nustatyti, biodujos buvo leidžiamos skirtingais greičiais: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ir 0,5 l/min. Biodujų srauto greitis buvo reguliuojamas naudojant įtekėjimo vamzdyje įrengtą sklendę.

Biodujų valymo efektyvumas nustatytas naudojant formulę:

$$E = \left(\frac{C_{prieš} - C_{po}}{C_{prieš}} \right) \times 100, \quad (1)$$

čia: E – biodujų valymo efektyvumas, %; $C_{prieš}$ – teršalo koncentracija prieš fotobioabsorberį, %; C_{po} – teršalo koncentracija po fotobioabsorberio, %.

Biodujų sudėtis buvo nustatyta naudojant biodujų sudėties analizatorių INCA 4000. Bioterpės temperatūra nustatyta, naudojant termometrą, biodujų pH nustatyta naudojant pH-metrą HI 98127 analizatorių.

Analitinių metodų taikymas

Biodujų sudėties matavimas buvo atliekamas kiekvieną dieną biodujų analizatoriumi INCA 4000 (2 paveikslas), kuris pateikia metano (%), anglies dvideginio (%), deguonies (%) koncentracijas ir sieros vandenilio koncentraciją (ppm). Prietaiso matavimo ribos: deguonis – 0–25 % (paklaida – ±1 %), sieros vandenilis – 0–100 ppm (paklaida – ±5 %), metanas – 0–100 % (paklaida – ±1 %), anglies dvideginio – 0–100 (paklaida – ±1 %).

pH nustatoma potenciometrinio metodu, kuris yra standartizuotas. Matuojama remiantis LST ISO 10523:1994. pH nustatyti naudojamas pH-metras HI 98127, kuris matuoja tirpalo pH (matavimo ribos nuo 0 iki 14, paklaida – $\pm 0,1$) ir temperatūrą (matavimo ribos nuo – 5 °C iki 60 °C, paklaida – $\pm 0,5$ °C). Substrato pH nustatomas prieš tyrimą ir po jo.

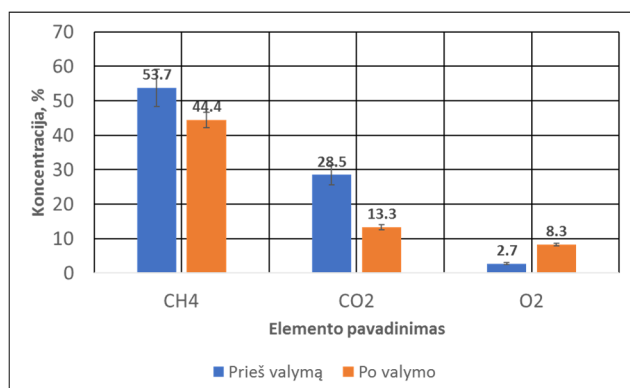
Apšvieta buvo matuota naudojant liuksmetrą *Metrel Poly MI6401*, kurio matavimo ribos (0–10 000) lx.

Matavimai buvo atliekami trimis pakartojimais. Gavus tam tikro parametro tyrimų rezultatus apskaičiuotas jo įvertis, kuris yra atskirų matavimų aritmetinis vidurkis. Žinant parametro aritmetinį vidurkį apskaičiuota atskirų matavimų tikimybių pasiskirstymą atitinkanti eksperimentinė dispersija. Apskaičiavus rastas geriausias aritmetinio vidurkio sklaidos įvertis, kuris yra vidurkio eksperimentinė aritmetinė dispersija, lygi normaliam pasiskirstymui. Gavus aritmetinio vidurkio sklaidos įvertį, skaičiuotas eksperimentinis standartinis aritmetinio vidurkio nuokrypis:

Darbe statistiniams skaičiavimams naudota *Microsoft Office Excel 2003* programa. Matavimų aritmetiniai vidurkiai, eksperimentinės aritmetinės dispersijos, standartiniai aritmetinio vidurkio nuokrypiai apskaičiuoti naudojant *Microsoft Office Excel 2003* statistikos (Statistical) funkcijas: AVERAGE (vidurkis), VARP (dispersija), STDEV (standartinis nuokrypis).

Rezultatai ir jų analizė

Atlikus biodujų valymo efektyvumo, taikant fotobioabsorberį su *Monoraphidium Griffithi* mikrodumblių suspensija, tyrimus nustatyta, kad mikrodumblių kultūra geba skaidyti biodujose esantį anglies dioksidą. Tyrimų rezultatai pateikti 3-ame paveiksle.



3 paveikslas. Biodujų sudėties tyrimų rezultatai prieš ir po valymo taikant fotobioabsorberį ($v = 0,2$ l/min)

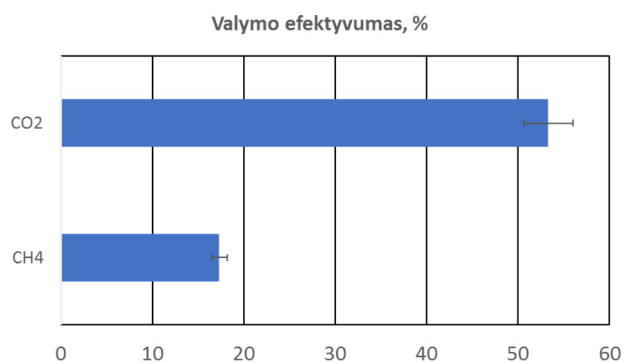
Atlikus tyrimus nustatyta, kad praleidus biodujas pro bioterpę su *Monoraphidium Griffithi* mikrodumbliais, metano koncentracija sumžėjo nuo 53,7 iki 44,4 %. Tokius pokyčius galėjo lemti CH₄ absorbcija bioterpėje. CO₂ koncentracija biodujose sumažėjo gana ženkliai – nuo 28,5 iki 13,3 %. Tokius pokyčius galėjo lemti fotobioabsorberyje vykstantys absorbcijos bei fotosintezės procesai.

Iš 3 paveiksle pateiktų rezultatų taip pat matyti, kad deguonies koncentracija biodujose padidėjo iki 8,3 %. Deguonies koncentracijos padidėjimas rodo, kad skaidant teršalus dalyvauja mikrodumbliai, kurie fotosintezės proceso metu išskiria deguonį.

4-ame paveiksle pateikiami biodujų valymo efektyvumo rezultatai naudojant fotobioabsorberį.

Iš pateiktų rezultatų matoma, kad fotobioabsorberijoje pasiektas ne tik CO₂ valymo efektyvumas, bet ir CH₄. Po biodujų valymo fotobioabsorberijoje metano sumažėjo 17,32 %. Šį sumažėjimą, rodantį dėl ko buvo gautas valymo efektyvumas, galima paaiškinti jo tirpumu vandenyje. Metanui absorbuojantis, vandenyje išsiskiria vandenilis ir CO₂. Metano tirpumas vandenyje yra 0,035 g/l. Remiantis užsienio autoriais, net iki 4 % metano gali absorbuotis bioterpėje (Lasocki, Kołodziejczyk ir Matuszewska, 2015; Ryckebosch, Drouillon ir Vervaeren, 2011).

Tačiau pagrindinė metano sumažėjimo priežastis yra pačių mikroorganizmų sąveika su biodujomis, kurios metu metanas yra suskaidomas iki vandenilio ir CO₂.



4 paveikslas. Biodujų valymo efektyvumo rezultatai naudojant fotobioabsorberį ($v = 0,2$ l/min)

CO₂ sumažėjimą ir aukštą jo išvalymo biodujose efektyvumą galima paaiškinti fotosintezės procesu ir absorbcija. CO₂ tirpumas vandenyje yra aukštesnis, palyginti su CH₄ – 1,45 g/l, todėl didesnė CO₂ dalis yra absorbuojama. Taip pat CO₂ tokiems mikroorganizmams, kaip dumbliai, vykdant fotosintezę yra išgyvenimui reikalingos dujos. Fotosintezės metu mikrodumbliai geba sintetinti organinius junginius iš neorganinių medžiagų. Organinės

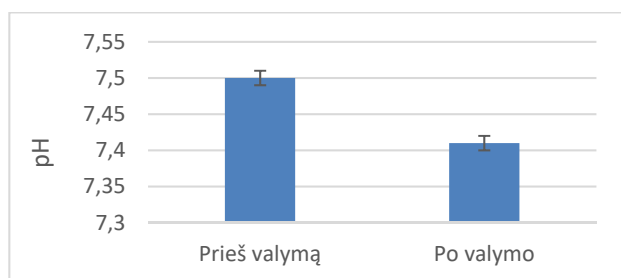
medžiagos sintetamos iš anglies dioksido ir vandens, o kaip šalutinis produktas išsiskiria deguonis. Šio proceso metu iš mažai energijos turinčių medžiagų – anglies dioksido ir vandens – sintetamas daug energijos turintis angliavandenis – gliukozė (Zhao ir Su, 2014):



Fotosintezės aktyvumas priklauso nuo apšvietimo intensyvumo, biodujose esančio CO₂ kiekio, biodujų temperatūros. Jos esmė – organinių medžiagų gaminimas, į aplinką išskiriant deguonį, tas ir matoma anksčiau pateiktoje reakcijoje. Fotosintezės metu ne tik sunaudojamas CO₂, bet ir išskiriamas O₂. Būtent todėl 3 paveiksle pastebimas O₂ padidėjimas po biodujų valymo fotobioabsorberijoje. O₂ taip pat yra tirpus vandenyje, tačiau tirpumo koeficientas yra labai mažas – 0,044 g/l, todėl ženkliai tyrimo rezultatų nepakeičia.

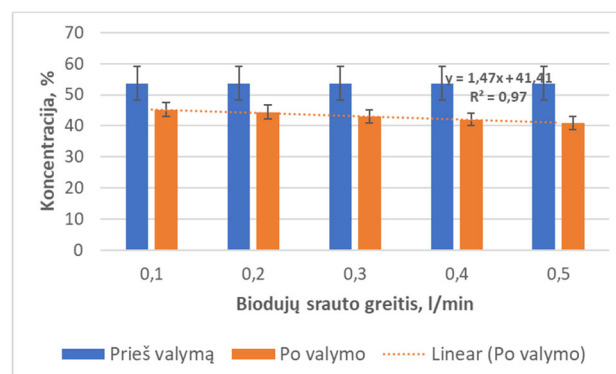
Be to, mokslininkas K. A. Strevettas ir jo bendraautoriai (Strevett, Vieth ir Grasso, 1995) pranešė, kad mikroorganizmai CO₂ ir H₂ gali konvertuoti į CH₄, kitaip sakant, gali pagaminti CH₄. Taip yra dėl hidrogenotropinių metanogenų gebėjimo naudoti CO₂ kaip anglies šaltinį ir elektronų akceptorį, o H₂ – kaip elektronų donorą energijos gaunančioje reakcijoje. Taigi, vienu metu mikroorganizmai gali ne tik sumažinti CO₂ koncentraciją dujose, tačiau ir padidinti CH₄ koncentraciją, dėl to pagerėja biodujų energetinis efektyvumas.

Šio tyrimo metu pasiektas CO₂ išvalymo efektyvumas siekia 53,33 %. Kitų autorių tyrimuose naudojant mikrodumblis iš biodujų buvo pašalinta apie 90–97 % CO₂ (Mann, Schlegel, Schumann ir Sakalauskas, 2009; Bahr, Díaz, Dominguez, González Sánchez ir Muñoz, 2013). Tokius aukštus CO₂ išvalymo efektyvumus galėjo sąlygoti pasirinkta mikrodumblių rūšis (*Chlorella vulgaris* ir alkalifilinis mikrodumblių bakterijų konsorciumas), sandarios konstrukcijos, konstrukcijų forma, tiksliai mikrodumblių rūšiai nustatyti pritaikyti ir palaikomi parametrai (terpės pH, temperatūra, maistinės medžiagos ir t. t.) bei biodujų sudėtis ir šaltinis.



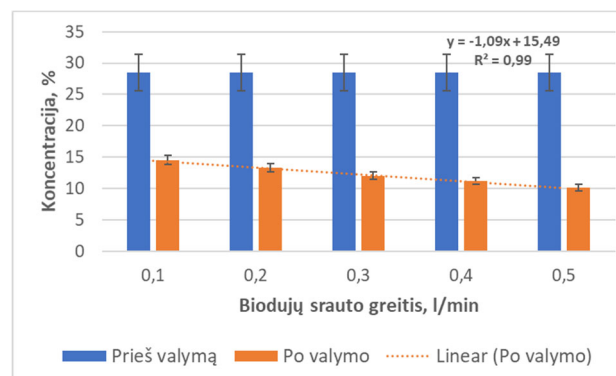
5 paveikslas. Bioterpės pH prieš ir po valymo įrenginio

Atlikus tyrimus nustatyta, kad leidžiant per mikrodumblių suspensiją biodujas bioterpės pH mažėja. Prieš tyrimą bioterpės pH koncentracija siekė 7,50. Pralaidus biodujas per bioterpę pH sumažėjo iki 7,41 (5 paveikslas). Nors šis pokytis nėra didelis, tačiau tyrimai rodo, kad biodujose esantis CO₂ rūgština bioterpę. Efektyviam biodujų valymui nuo CO₂ būtina užtikrinti neutralią arba artimą neutraliai bioterpės pH.



6 paveikslas. Metano valymo efektyvumo priklausomybės nuo per fotobioabsorberį leidžiamo biodujų srauto greičio

Atlikus tyrimus nustatyta, kad, didinant per fotobioabsorberį leidžiamų biodujų srauto greitį, metano koncentracija mažėja (6 paveikslas). Per fotobioabsorberį biodujas pralaidus 0,1 l/min greičiu metano koncentracija siekė 42,5 %. Padidinus biodujų srauto greitį iki 0,5 l/min, metano koncentracija sumažėjo iki 40,9 %. Atlikus tyrimus galima daryti prielaidą, kad esant didesniam biodujų srauto greičiui didesnė dalis metano absorbuojasi skystoje terpėje. Norint padidinti biodujų energinę vertę, būtina mažinti per fotobioabsorberį leidžiamų biodujų srauto greitį. Aukštas redukcijos koeficientas parodo pakankamai stiprų ryšį tarp leidžiamų biodujų srauto greičio ir metano valymo efektyvumo.



7 paveikslas. Anglies dioksido valymo efektyvumo priklausomybės nuo per fotobioabsorberį leidžiamo biodujų srauto greičio

7-ame paveiksle pateiktos anglies dioksido valymo efektyvumo priklausomybės nuo per fotobioabsorberį leidžiamo biodujų srauto greičio. Tyrimų rezultatai parodė, kad, padidinus per įrenginį leidžiamų biodujų srauto greitį nuo 0,1 iki 0,5 l/min., anglies dioksido koncentracija sumažėja nuo 14,5 iki 10,1 %. Atlikus tyrimus galima daryti prielaidą, kad dalis CO₂ buvo absorbuota skystoje bioterpėje, o dalis CO₂ buvo pašalinta dėl fotobioabsorberijoje vykstančios fotosintezės. Fotosintezės įtaką CO₂ sumažėjimui parodo deguonies koncentracijos biodujose padidėjimas. Didinant per fotobioabsorberį leidžiamų biodujų srauto greitį, O₂ koncentracija padidėjo nuo 2,5 iki 9,3 %.

Svarbu atkreipti dėmesį ir į fotobioreaktoriaus konstrukciją, kadangi nuo jos priklauso, koks bus mikrodumblių (bioterpės) ir valomų biodujų sąlyčio laikas. Kuo ilgesnis sąlyčio laikas, tuo ilgiau mikrodumbliai gali skaidyti biodujose esantį CO₂, dėl to padidėja ir valymo efektyvumas. Tačiau labai aukštos konstrukcijos yra brangios ir nepraktiškos, o vingiuotose konstrukcijose dėl esančių užlinkimų prastėja valymo efektyvumas, nėra išnaudojamas visas bioterpės aktyvus plotas bei padidėja pasipriešinimas, tuo pačiu ir energijos sąnaudos.

Išvados

1. Atlikus tyrimus nustatyta, kad per bioterpę su *Monoraphidium Griffithi* mikrodumbliais praleidus biodujas metano koncentracija sumažėjo nuo 53,7 iki 44,4 %. Tokius pokyčius galėjo lemti CH₄ absorbcija bioterpėje.
2. Per fotobioabsorberį praleidus biodujas, nustatyta, kad CO₂ koncentracija biodujose sumažėjo gana ženkliai – nuo 28,5 iki 13,3 %. Tokius pokyčius galėjo lemti fotobioabsorberijoje vykstantys absorbcijos bei fotosintezės procesai.
3. Deguonies koncentracija biodujose padidėjo nuo 2,7 iki 8,3 %. Deguonies koncentracijos padidėjimas rodo, kad skaidant teršalus dalyvauja mikrodumbliai, kurie fotosintezės proceso metu išskiria deguonį.
4. Siekiant sumažinti deguonies koncentraciją, biodujose po valymo rekomenduojama įrengti deguonies neutralizatorių, kuris pašalintų deguonį iš biodujų.
5. Tyrimai parodė, kad, didinant per fotobioabsorberį leidžiamų biodujų srauto greitį, metano ir anglies dvideginio koncentracijos mažėja. Tokius pokyčius gali lemti teršalų absorbcija skystoje terpėje bei fotosintezės procesai, kuriuos lemia mikrodumbliai *Monoraphidium Griffithi*.

Literatūra

- Bahr, M., Díaz, I., Dominguez, A., González Sánchez, A., & Muñoz, R. (2013). Microalgal-biotechnology as a platform for an integral biogas upgrading and nutrient removal from anaerobic effluents. *Environmental Science & Technology*, 48(1), 573-581. <https://doi.org/10.1021/es403596m>
- Bingelytė, Ž. ir Zagorskis, A. (2017). Biodujų valymo efektyvumo tyrimai naudojant mikrodumblių *Monoraphidium griffithii* suspensiją. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 9(4), 349-356. <https://doi.org/10.3846/mla.2017.1069>
- Calvo-Bado, L., Pettitt, T. R., Parsons, N., Petch, G. M., Morgan, J. A. W., & Whipps, J. M. (2003). Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(4), 2116-2125. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.2116-2125.2003>
- Chisti, Y. (1999). *Shear sensitivity*. *Encyclopedia of Industrial Biotechnology*, 1-40.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Eichner, C. A., Erb, R. W., Timmis, K. N., & Wagner-Döbler, I. (1999). Thermal gradient gel electrophoresis analysis of bioprotection from pollutant shocks in the activated sludge microbial community. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(1), 102-109.
- Hendroko, R., Salafudin, Wahono, S. K., Wahyudi, A., Salundik, Praptiningsih, G. A., & Liwang, T. (2013). Preliminary studies on biological purification system: integrated biogas from small anaerobic digestion and natural microalgae. In *2nd Natural Pigments Conference for South East Asia (NP-SEA)*, 12–13 July 2013. Indonesia: R&D Center Universitas Ma Chung Malang.
- Lasocki, J., Kołodziejczyk, K., & Matuszewska, A. (2015). Laboratory-scale investigation of biogas treatment by removal of hydrogen sulfide and carbon dioxide. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(3), 1427-1434. <https://doi.org/10.15244/pjoes/35283>
- Maestre, J. P., Rovira, R., Álvarez-Hornos, F. J., Fortuny, M., Lafuente, J., Gamisans, X., & Gabriel, D. (2010). Bacterial community analysis of a gas-phase biotrickling filter for biogas mimics desulfurization through the rRNA approach. *Chemosphere*, 80(8), 872-880. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.019>
- Mann, G., Schlegel, M., Schumann, R., & Sakalauskas, A. (2009). Biogas-conditioning with microalgae. *Agronomy Research*, 7(1), 33-38.
- Yan, Q., van der Gast, C. J., & Yu, Y. (2012). Bacterial community assembly and turnover within the intestines of developing zebrafish. *PLoS One* 7(1), e30603. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030603>
- Ryckeboosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633-1645. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Rubio, F. C., Fernández, F. A., Pérez, J. S., Camacho, F. G., & Grima, E. M. (1999). Prediction of dissolved oxygen and carbon dioxide concentration profiles in tubular photobioreactors for microalgal culture. *Biotechnology and Bioengineering*, 62(1), 71-86. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19990105\)62:1<71::AID-BIT9>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19990105)62:1<71::AID-BIT9>3.0.CO;2-T)

- Strevett, K. A., Vieth, R. F., & Grasso, D. (1995). Chemo-autotrophic biogas purification for methane enrichment: mechanism and kinetics. *The Chemical Engineering Journal and The Biochemical Engineering Journal*, 58(1), 71-79. [https://doi.org/10.1016/0923-0467\(95\)06095-2](https://doi.org/10.1016/0923-0467(95)06095-2)
- van der Gast, Ch. J., Ager, D., & Lilley, A. K. (2008). Temporal scaling of bacterial taxa is influenced by both stochastic and deterministic ecological factors. *Environmental Microbiology*, 10(6), 1411-1418. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01550.xx>
- Zhao, B., & Su, Y. (2014). Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.054>

RESEARCH OF BIOGAS CLEANING EFFICIENCY USING MICROWAVE OF *MONORAPHIDIUM GRIFFITHI* IN THE PHOTOBIOABSORBER

L. Juškaitė, A. Zagorskis

Summary

In order to increase the energy efficiency of biogas, it is necessary to effectively clean them from carbon dioxide, sulfur hydrogen and other impurities and to increase the concentration of methane. Biogas purification using microalgae is a new biological treatment method where microalgae use carbon dioxide for their growth during the photosynthesis process. In this research microalgae suspension of *Monoraphidium Griffithi* was used for biogas purification. Experimental studies have identified the composition of biogas before and after treatment with photobioabsorber. Research has estimated that the efficiency of CO₂ cleaning using the *Monoraphidium Griffithi* microalgae culture is 53.33%. Also, due to solubility in water and photosynthesis after purification CH₄ in biogas decreased by 17.32%. Oxygen concentration in biogas after cleaning process increased from 2.7 to 8.3%. An increase in oxygen concentration indicates that microalgae are involved in decomposition of pollutants, which release oxygen during the photosynthesis process.

Keywords: microalgae, biogas purification, fotobioabsorber, photosynthesis.