



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Anaerobinis biologinės kilmės atliekų skaidymas

Baigiamasis magistro projektas

Eimantas Semėnas

Projekto autorius

doc. dr. Linas Miknius

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Anaerobinis biologinės kilmės atliekų skaidymas

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Eimantas Semėnas

Projekto autorius

doc. dr. Linas Miknius

Vadovas

lekt. dr. Birutė Grybaitė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Eimantas Semėnas

Anaerobinis biologinės kilmės atliekų skaidymas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Eimantas Semėnas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanas
prof. K. Baltakys

Suderinta:
Organinės chemijos katedra
Katedros vedėja dr. E. Arbačiauskienė

Dekano potvarkis Nr. V25-02-11 (2023 m. gegužės 15 2023 m. vasario mėn. 8 d.
d.)

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Anaerobinis biologinės kilmės atliekų skaidymas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Baigiamojo magistro projekto tikslas: ištirti ir įvertinti organinių junginių, kaip priedų, įtaką anaerobinio skaidymo metu išgaunamų biodujų kiekiui ir kokybei

Darbo uždaviniai:

1. išnagrinėti biodujų gamybos procesą ir jo parametrus;
2. ištirti organinių junginių kodigestavimo galimybes;
3. nustatyti susidariusių biodujų sudėtį;
4. apžvelgti saugaus darbo aspektus.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanų 2023 m. kovo 17 d. potvarkiu Nr. V25-02-4 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovas

doc. dr. L. Miknius

2023-02-08

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Eimantas Semėnas

(studento vardas, pavardė)

2023-02-08

(parašas, data)

Semėnas, Eimantas. Anaerobinis biologinės kilmės atliekų skaidymas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Linas Miknius; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Chemijos inžinerija, Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: biodujos, anerobinis skaidymas, kodigestavimas.

Kaunas, 2023. 50 p.

Santrauka

Lietuvoje besiplečiantis atsinaujinančios energijos sektorius, sudaro galimybės panaudoti žemės ūkyje susidaranti biologines atliekas perdirbti ir paversti jas į biodujas, sumažinant priklausomybę nuo gamtinių dujų. Šiame projekte aprašomi atlikti biodujų kodigestavimo tyrimai mažai apžvelgtoje ir nagrinėtoje galimybėje kartu su biologinėmis atliekomis skaidyti organinius junginius, dyzeliną, tepalus ir aliejų. Magistro baigiamąjį projektą sudaro literatūros apžvalga, metodinė ir medžiagų, tyrimų rezultatų ir jų aptarimo, rekomendacijų ir darbuotojų saugos ir sveikatos dalys. Literatūros apžvalgos dalyje apžvelgiama biodujų sudėtis, žaliavos, susidarymo procesai, kodigestavimas, biodujų jėgainės ir biodujų valymo technologijos. Tiriamoji dalis susideda iš metodinės ir medžiagų dalies ir tyrimų rezultatų dalies. Metodinėje ir medžiagų dalyje pateikiamos tyrimuose naudotos medžiagos, jų paruošimas, tyrimų atlikimas ir tyrimuose naudota įranga. Tyrimų rezultatų ir jų aptarimo dalyje yra pateikiama tyrimų metu surinkti duomenys, iš jų apskaičiuoti parametrai ir aptariami rezultatai. Rekomendacijų dalyje pateikiama viena iš galimų biodujų jėgainės schemų, kurioje būtų galima vykdyti šių tyrimų metu tirtą procesą. Darbuotojų saugos ir sveikatos dalyje aptariama biodujų gamybos proceso metu susidarantys veiksniai, kurie gali įtakoti darbuotojų saugą ir sveikatą, ir kaip nuo jų apsisaugoti.

Semėnas, Eimantas. Anaerobic Digestion of Biodegradable Waste. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Linas Miknius; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Chemical engineering, Engineering sciences.

Keywords: biogas, anaerobic digestion, codigestion.

Kaunas, 2023. 50 pages.

Summary

Lithuania's expanding renewable energy sector offers opportunities to recycle agricultural bio-waste and convert it into biogas, reducing dependence on natural gas. This project describes the research carried out on biogas codigestion in the little reviewed and studied option of co-digestion of carbohydrates, diesel, lubricants and oil. The final project of master's study consists of a literature review, methodological and materials, results and discussion of the research, recommendations and occupational health and safety sections. The literature review part provides an overview of biogas composition, raw materials, formation processes, codigestion, biogas plants and biogas upgrading technologies. The research part consists of a methodological and material part and a results part. The methodological and material part covers the materials used in the studies, their preparation, the conduct of the studies and the equipment used in the studies. The Results and discussion section presents the data collected during the studies, the parameters calculated from them and the results discussed. The recommendations section presents one possible biogas plant scheme that could be used to carry out the process investigated in these studies. The occupational health and safety section discusses the factors arising during the biogas production process that may affect the safety and health of workers and how to protect against them.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Biodujos.....	12
1.1.1. Biodujų sudėtis ir savybės	12
1.2. Biodujų žaliavos	13
1.3. Biodujų gamybos procesas	14
1.4. Biodujų gamybos parametrai.....	15
1.4.1. Temperatūra.....	16
1.4.2. pH	16
1.4.3. C:N santykis	16
1.4.4. Inhibitoriai	16
1.5. Kodigestavimas	17
1.6. Biodujų jėgainės	17
1.7. Biodujų valymo metodai	20
1.7.1. Sieros vandenilio šalinimas iš biodujų	20
1.7.2. Anglies dioksido šalinimas iš biodujų	21
1.7.3. Kitų priemaišų šalinimas	21
2. Tiriamoji dalis.....	22
2.1. Medžiagos ir metodai	22
2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	25
2.2.1. Pirmasis tyrimas	25
2.2.2. Antrasis tyrimas.....	30
2.2.3. Trečiasis tyrimas.....	35
2.2.4. Tirtų medžiagų rezultatų palyginimas	41
3. Rekomendacijos.....	43
4. Darbuotojų sauga ir sveikata	45
Išvados	47
Literatūros sąrašas	48

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Dujų šilumingumo vertės ir Wobbe indeksas [4].	12
1.2 lentelė. Dujų kokybės parametrai [4].	12
1.3 lentelė. Didžiausios teorinės metano išėigos ir biodujų procentinės sudėties įvertinimas [6].	13
1.4 lentelė. Biodujų išėigos ir elektros energijos, pagamintos iš skirtingų žaliavų, palyginimas [8].	14
3.1 lentelė. Pirmojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais.	25
3.2 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais.	26
3.3 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.	27
3.4 lentelė. Pirmojo tyrimo biodujų sudėtis.	28
3.5 lentelė. Apskaičiuoti pirmojo tyrimo duomenys.	29
3.6 lentelė. Antrojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais.	30
3.7 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais.	31
3.8 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.	32
3.9 lentelė. Antrojo tyrimo biodujų sudėtis.	33
3.10 lentelė. Apskaičiuoti antrojo tyrimo duomenys.	34
3.11 lentelė. Trečiojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais.	35
3.12 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais.	36
3.13 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.	37
3.14 lentelė. Trečiojo tyrimo biodujų sudėtis.	39
3.15 lentelė. Apskaičiuoti trečiojo tyrimo duomenys.	39

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	Anaerobinis organinių medžiagų skaidymas.....	14
1.2 pav.	Biodujų jėgainės, pritaikytos kogeneracijai, schema [19].....	17
1.3 pav.	Viena iš LIPP įmonės tiekiamų bioreaktorių konfigūracijų [18].	18
1.4 pav.	MWM įmonės tiekiamas kogeneratorius [20].....	19
2.1 pav.	Elektroninės KERN EG 4200-2NM svarstyklės.	22
2.2 pav.	Hanna Instruments pH 213 analizatorius.	23
2.3 pav.	Ritter MilliGascounter MGC-1 PMMA.	23
2.4 pav.	LAUDA Aqualine AL 18/A vandens vonia.	24
2.5 pav.	Avensys Awite AwifLEX Cool+ dujų analizatorius.	24
3.1 pav.	Susidariusio biodujų kiekio palyginimas.	41
3.2 pav.	Metano koncentracija biodujose tūrio procentais.....	41
4.1 pav.	Principinė biodujų jėgainės schema.	43
5.1 pav.	Dyzelino pavojingumo piktogramos.	46

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

CH₄ – metanas;

CO₂ – anglies dioksidas;

H₂ – vandenilis;

H₂S – vandenilio sulfidas

N₂ - azotas

Terminai:

Biodujos - dujos pagaminamos iš biologiškai skaidomos biomasės.

Anerobinis skaidymas – mikroorganizmų vykdomas medžiagų skaidymas terpėje, kurioje nėra deguonies.

Kodigestavimas – biologinio skaidymo procesas, kurio metu yra skaidomos dvi ar daugiau žaliavų.

Ko-generatorius – vidaus degimo variklis leidžiantis deginimo metu išgauti šiluminę ir elektros energijas.

Įvadas

Pasauliui siekiant sumažinti energijos priklausomybę nuo iškastinio kuro, kurio išteklių kiekvienais metais mažėja, yra skiriama vis daugiau dėmesio atsinaujinantiems energijos šaltiniams. Europos Sąjunga užsibrėžė tikslą iki 2030 metų padidinti atsinaujinančios energijos dalį bent iki 30 % [1]. Lietuvos Respublikoje, pagal 2019 metų duomenis, 25,5 % visos suvartojamos energijos buvo pagaminta naudojant atsinaujinančios energetikos metodus. Didžiausia šios pagamintos energijos dalis buvo išgauta naudojant kietą biokurą, antroje vietoje – vėjo energija, trečioje – skystas biokuras. Biodujos 2019 metais pagaminamos energijos iš atsinaujinančių šaltinių sudarė tik 2,5 % [2]. Biodujų išgavimas anaerobiškai skaidant gyvūninės ar augalinės kilmės atliekas yra efektyvus atliekų perdirbimo metodas. Skaidant atliekas anaerobiškai yra sumažinamas oro aplinkos, dirvožemio ir vandens tarša. Anaerobinio skaidymo metu išgautos biodujos gali būti panaudojamos elektros ir šiluminės energijos gamybai, o po anaerobinio skaidymo likusi biomasė gali būti panaudojama laukų tręšimui. Vienas iš metodų padidinti biodujų išeigą iš organinės kilmės atliekų yra kodigestavimas. Šio metodo metu kartu su lengvai skaidomomis atliekomis į reaktorių kartu yra dozuojuama sunkiau skaidomos atliekos. Šio darbu metu bus apžvelgta organinių junginių, dyzelino, tepalų ir aliejaus, kaip priedų kodigestavimo metu, įtaka biodujų išeigai ir kokybei. Šių organinių junginių kodigestavimas biodujų jėgainėse yra mažai tirta ir apžvelgta galimybė juos perdirbti ir mažinti jų sukeltą aplinkos taršą.

Baigiamojo magistro projekto tikslas: ištirti ir įvertinti organinių junginių, kaip priedų, įtaką anaerobinio skaidymo metu išgaunamų biodujų kiekiui ir kokybei

Darbo uždaviniai:

1. išnagrinėti biodujų gamybos procesą ir jo parametrus;
2. ištirti organinių junginių kodigestavimo galimybes;
3. nustatyti susidariusių biodujų sudėtį;
4. apžvelgti saugaus darbo aspektus.

Temos aktualumas: bioreaktorių, pritaikytų organinių junginių kodigestvimui, įrengimas leistų Lietuvos Respublikos teritorijoje vyraujančių nedidelių ūkinių fermų gyvūnines atliekas panaudoti energijos išgavimui ir alternatyviai apdoroti dyzelino, tepalų ar aliejaus atliekas, taip sumažinant energetinę priklausomybę nuo iškastinių energijos šaltinių ir taršą gamtai.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Biudujos

Biudujos yra dujos pagaminamos iš biologiškai skaidomos biomasės. Biomase gali būti įvairių kilmės organinės atliekos: augalinės, gyvulinės, komunalinės ar pramoninės[31]. Pagrindinės biudujos sudarančios dujos yra metanas (CH_4) ir anglies dioksidas (CO_2). Biudujose mažesniais kiekiais taip pat gali būti vandenilio (H_2), sieros vandenilio (H_2S), organinių sulfidų (CH_3SH), azoto (N_2) ir kitų medžiagų. Pagrindiniai veiksniai lemiantys dujų koncentraciją ir būvimą biudujose yra proceso parametrai, žaliavos tipas ir jos sudėtis.

1.1.1. Biudujų sudėtis ir savybės

Neapdorotose biudujose metano koncentracija dažniausiai svyruoja tarp 50-75 %, o anglies dioksido koncentracija svyruoja tarp 25-50 % [3]. Tokios sudėties biudujos yra netinkamos tiekti į dujų tinklus ar naudoti transporte, tačiau neapdorotos biudujos gali būti panaudotos ko-generatoriuose, jei dujų sieros vandenilio koncentracija biudujose yra ne didesnė už ko-generatoriaus gamintojo leidžiamą koncentraciją. Apdorotų biudujų, tinkamų tiekti į dujų tinklus ar naudoti transporto vidaus degimo varikliuose, kokybės parametrus apibrėžia Lietuvos Respublikos gamtinių dujų kokybės reikalavimai [4]. Iki šių parametrų išvalytos ir paruoštos biudujos dar yra vadinamos biometanu.

1.1 lentelė. Dujų šilumingumo vertės ir Wobbe indeksas [4].

Parametras	Ribinės vertės			
	25 / 0		25 / 20	
Norminės sąlygos, temperatūra (degimo / matavimo) °C	min	maks	min	maks
Viršutinis šilumingumas H_s , kWh/m ³	≥ 10,41	-	≥ 9,69	-
Viršutinis Wobbe indeksas W , kWh/m ³	14,02	15,51	13,06	14,44

1.2 lentelė. Dujų kokybės parametrai [4].

Eil. Nr.	Rodiklis	Vertė
1.	Metanas CH_4 , % mol	≥ 90
2.	Azotas N_2 , % mol	≤ 3
3.	Anglies dioksidas CO_2 , % mol	≤ 2,5
4.	Deguonis O_2 , % mol: – kai dujų sistemoje slėgis $P < 1,6$ MPa – kai dujų sistemoje slėgis $P \geq 1,6$ MPa	≤ 0,5 ≤ 0,02
5.	Metano skaičius	≥ 65
6.	Santykinis tankis	0,55–0,70
7.	Sieros vandenilis H_2S , g/m ³	≤ 0,007
8.	Merkaptaninė siera (be odoranto), g/m ³	≤ 0,016
9.	Skystos fazės vandens ir angliavandenilių kiekis	neleistinas
10.	Mechaninių priemaišų kiekis, g/m ³	≤ 0,001
11.	Vandens rasos taško temperatūra, °C (4 MPa)	< -10

12.	Angliavandenilių rasos taško temperatūra °C (0,1–7,0 MPa)	< -2
13.	Bendras sieros kiekis (be odoranto), g/m ³	< 0,03
14.	Vandenilis H ₂ % mol: – kai dujų sistemoje slėgis P < 1,6 MPa – kai dujų sistemoje slėgis P ≥ 1,6 MPa	≤ 2 ≤ 0,1

Didžiausią įtaką biodujų šiluminei vertei daro jose esanti metano koncentracija. Gryno metano šiluminė vertė svyruoja tarp 50 – 55 MJ/m³, natūralių gamtinių dujų, kurių didžiąją dalį taipogi sudaro metanas, šiluminė vertė svyruoja taro 42-46 MJ/m³. Metano koncentracijai biodujose svyruojant tarp 50-75 %, biodujų šiluminė vertė svyruoja tarp 17,9-27,2 MJ/m³ [5]. Neapdirbtų biodujų šiluminę vertę neigiamą įtaką daro biodujose esančios kitos dujos. Antrosios pagal koncentraciją esančios anglies dioksido dujos mažina biodujų šiluminę vertę. Šiluminę vertę taip pat mažina biodujose randamas amoniakas, azotas, sieros vandenilis ir kitos dujos esančios mažais kiekiais. Kokios dujos ir kokiais kiekiais susidarys skaidymo metu nulemia naudojamos žaliavos ir jų organinė sudėtis.

1.2. Biodujų žaliavos

Biodujų žaliavas galima išskirti į dvi pagrindines grupes: augalinės ir gyvūninės kilmės. Augalinės kilmės žaliavos gali būti po derliaus likusios augalų atliekos, biodujų gamybai auginami augalai, maisto atliekos iš maitinimo įstaigų ar parduotuvių. Gyvūninės kilmės atliekos yra gyvulių mėšlas, skerdyklų atliekos, taip pat gali būti įvairios maistinės atliekos. Biodujoms išgauti taip pat galima panaudoti nuotekas arba nuotekų valymo įrenginių aktyvųjų dumblą. Skirtingos kilmės žaliavos daro įtaką ne tik susidariusių biodujų sudėčiai bet ir jų kiekiui. Tai nulemia žaliavas sudarančių maistinių medžiagų koncentracijos.

1.3 lentelė. Didžiausios teorinės metano išėigos ir biodujų procentinės sudėties įvertinimas [6].

Maistinė medžiaga	Metano išėiga, m ³ /kg VS	CH ₄ , %	CO ₂ , %
Angliavandeniai	0,42	50	50
Baltymai	0,50	50	50
Riebalai	1,01	70	30

Iš lentelės matoma, kad didžiausią energetinį potencialą turi riebalais turtingos žaliavos. Tačiau skaidant riebalus susiduriama su problemomis kylančiomis iš medžiagų, kurios susidaro skaidant. Susidariusios riebalinės rūgštys žemina terpės pH taip sudarydamos toksišką aplinką mikrobams atsakingiems už metano gamybą. Skaidant baltymus taipogi galima susidurti su problemomis. Anaerobiškai skaidant baltymus išsiskiria amoniakas, kuris esant didelėms jo koncentracijoms inhibuoja mikrobus, atsakingus už anaerobinį skaidymą [7]. Skaidant augalinės kilmės žaliavas, kurias sudaro dideli kiekiai angliavandenių, problema kyla bandant suskaidyti lignoceliuliozę, dėl sunkiai suardomos polimerinės struktūros. Augalinės kilmės žaliavos, kad palengvinti jų anaerobinį skaidymą, gali būti apdirbamos įvairiais metodais siekiant suardyti polimerinę struktūrą. Augalinės kilmės žaliavos taip pat gali būti skaidomos kartu su kitomis žaliavomis, kad palengvinti jų skaidymą ir padidinti dujų išėigą.

Priklausomai nuo šių maistinių medžiagų koncentracijų žaliavoje ir žaliavos kilmės kinta išgaunamas biodujų kiekis ir biodujų energetinė vertė. Įvairių žaliavų biodujų išeigos ir energetinių verčių palyginimas pateikiamas lentelėje.

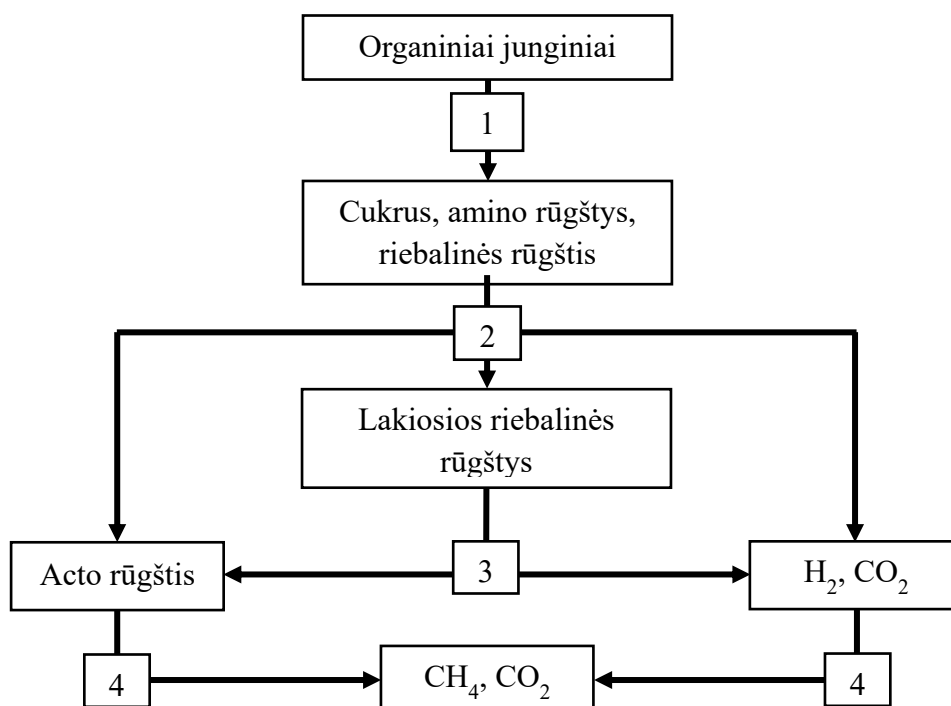
1.4 lentelė. Biodujų išeigos ir elektros energijos, pagamintos iš skirtingų žaliavų, palyginimas [8].

Žaliava	Biodujų išeiga iš tonos šviežių žaliavų, m ³	Iš vienos tonos šviežių žaliavų pagaminta elektros energija, kWh
Karvių mėšlas	55 – 68	122,5
Vištų mėšlas	126	257,3
Riebalai	826 – 1200	1687,4
Maisto atliekos	110	224,6
Vaisių atliekos	74	151,6
Arklių mėšlas	56	114,3
Kukurūzų silosas	200 – 220	409,6
Kietosios komunalinė atliekos	101,5	207,2
Kiaulių mėšlas	11 – 25	23,5
Nuotekų dumblas	47	96

1.3. Biodujų gamybos procesas

Biodujų gamybos procesas yra anaerobinis skaidymas. Anaerobinis skaidymas vyksta tuomet kai aplinkoje nėra ištirpusio laisvo deguonies. Pagrindinės keturios anaerobinio skaidymo stadijos yra:

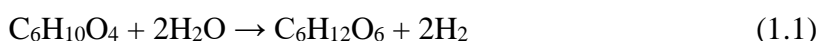
1. Hidrolizė;
2. Acitogenezė;
3. Acetogenezė;
4. Metanogenezė.



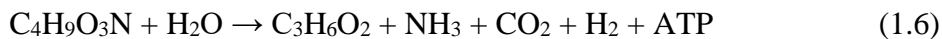
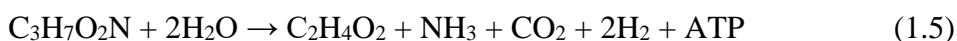
1.1 pav. Anaerobinis organinių medžiagų skaidymas

Kadangi žaliavos yra sudarytos iš sudėtingų organinių junginių (angliavandenių, baltymų, lipidų), norint juos perdirbti į metaną pirmiausiai reikia suskaidyti sudėtingus organinius junginius į jų sudedamąsias dalis. Tai įvyksta hidrolizės proceso metu. Vykstant hidrolizei angliavandeniai, baltymai ir lipidai yra suskaidomi hidrolizę vykdančių mikroorganizmų iki cukraus, amino rūgščių ir riebalinių rūgščių. Antrosios stadijos metu, acitogenezės, junginiai susidarę hidrolizės metu yra toliau skaidomi mikroorganizmų į acto rūgštį, anglies dioksidą, vandenilį, lakiąsias riebalines rūgštis. Acitogenezės metu taip pat susidaro amoniakas, sieros vandenilis ir kiti organinių junginių skaidymo šalutiniai produktai. Acetogenezės metu lakiosios riebalinės rūgštys yra suskaidomos iki acetato, acto rūgšties, vandenilio ir anglies dioksido. Metanogenezės metu mikroorganizmai užbaigia anaerobinę organinių junginių skaidymą paversdami jų skaidymo įvairius produktus į metaną, anglies dioksidą ir vandenį. Pateikiama šių stadijų reakcijų pavyzdžiai [6]:

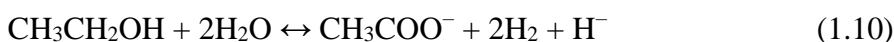
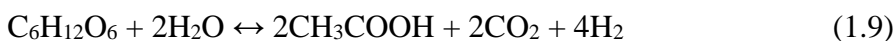
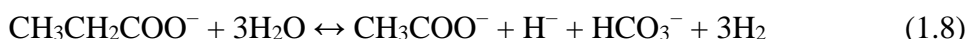
Celiuliozės hidrolizės reakcija:



Acitogenezės reakcijos:



Acetogenezės reakcijos:



Metanogenezės reakcijos:



1.4. Biodujų gamybos parametrai

Biodujų gamybos metu vykstančius anaerobinio skaidymo procesus ir jų nepertraukiamam vykimui įtaką daro keli skirtingi parametrai: temperatūra, pH, C:N santykis, inhibitoriai.

1.4.1. Temperatūra

Pagal temperatūra biodujų gamybos procesas gali būti suskirstytas į tris tipus:

1. Psichrofilinis;
2. Mezofilinis;
3. Termofilinis.

Bakterijos dalyvaujančios biodujų gamyboje veikia esant trims skirtingiems temperatūrų diapazonams: psichrofilinis $<25^{\circ}\text{C}$, mezofilinis $25 - 40^{\circ}\text{C}$ ir termofilinis $45 - 60^{\circ}\text{C}$. Didelis ar staigus temperatūros kitimas proceso metu gali sumažinti mikroorganizmų veiklumą arba sukelti jų žūtį, taip sumažinant biodujų išeią [9]. Dažniausiai taikomi temperatūrų diapazonai biodujų gamyboje yra mezofilinis ir termofilinis. Termofilinio proceso metu mikroorganizmai dalyvaujantys metano gamyboje dauginasi greičiau, nei mezofilinio proceso metu, tačiau esant aukštesnei temperatūrai yra susiduriama su amoniako sukeliama anaerobinių procesų inhibicija. Taip pat organizmai randami mezofilinėje temperatūroje yra atsparesni temperatūros svyravimams, toleruoja $\pm 3^{\circ}\text{C}$ temperatūros pokyčius nepatiriant didelio sumažėjimo metano gamyboje [10]. Termofilinių bakterijų optimaliomis sąlygomis vykdomas anaerobinis skaidymas gali būti iki dviejų kartų greitesnis už mezofilinių bakterijų, tačiau jie yra neatsparūs temperatūros svyravimams, toleruoja ne daugiau $\pm 1^{\circ}\text{C}$ pokyčius.

1.4.2. pH

Optimalus pH diapazonas metanogeniniams mikroorganizmams atsakingiems už metano gamybą yra tarp 6,5 ir 8, o mikroorganizmams dalyvaujantiems hidrolizės ir acitogenezės procesuose optimalus pH diapazonas yra tarp 5,5 ir 6,5 [11]. Jei pH yra aukštesnė ar žemesnė už šias ribas gali įvykti fermentų, dalyvaujančių anaerobinio skaidymo reakcijos, inaktyvavimas, dėl vidinės fermentų struktūros pakitimo. To pasėkoje procesas vyks lėčiau ir bus mažesnė proceso metano išeią. Optimalios pH ribos išgauti maksimalią biodujų išeią yra tarp 6,5 ir 7,5 [12].

1.4.3. C:N santykis

C:N santykis yra santykis tarp anglies ir azoto bioreaktoriaus įkrovoje. Optimalus C:N santykis biodujų gamyboje yra tarp 20:1 ir 35:1 [13]. Jei C:N santykis viršija šią ribą, pastebima mikroorganizmų dauginimo sulėtėjimas. C:N santykiui esant mažesniui nei 20:1 gali pasireikšti metanogeninių mikroorganizmų inhibavimas, dėl aukštos amoniako, kuris yra toksiškas metanogeniniams mikroorganizmams, koncentracijos.

1.4.4. Inhibitoriai

Kartu su žaliavomis į bioreaktorių taip pat įvairūs junginiai, kurie esant jų mažoms koncentracijoms turės teigiamą poveikį biodujų išeią, bet esant didesnėms jų koncentracijoms pasireikš inhibicinis efektas. Tokios medžiagos gali būti šarminių metalų druskos ir sunkieji metalai, kurie yra reikalingi, kai kurioms mikroorganizmų funkcijoms atlikti, bet esant didelėms šių metalų koncentracijoms jie neigiamai veikia anaerobinį procesą. Kartu su žaliavomis taip pat gali patekti organinės medžiagos, turinčios neigiamą įtaką anaerobiniams procesams. Tai gali būti antibiotikai, dezinfekcinės medžiagos ar būtinės cheminės medžiagos. Jos gali patekti jei kaip žaliava yra naudojamos keistosios būtinės atliekos, būtinės nuotekos ar nuotekų valymo įrenginių dumblas. Antibiotikai taip pat gali patekti kartu su gyvūninės kilmės žaliavomis.

1.5. Kodigestavimas

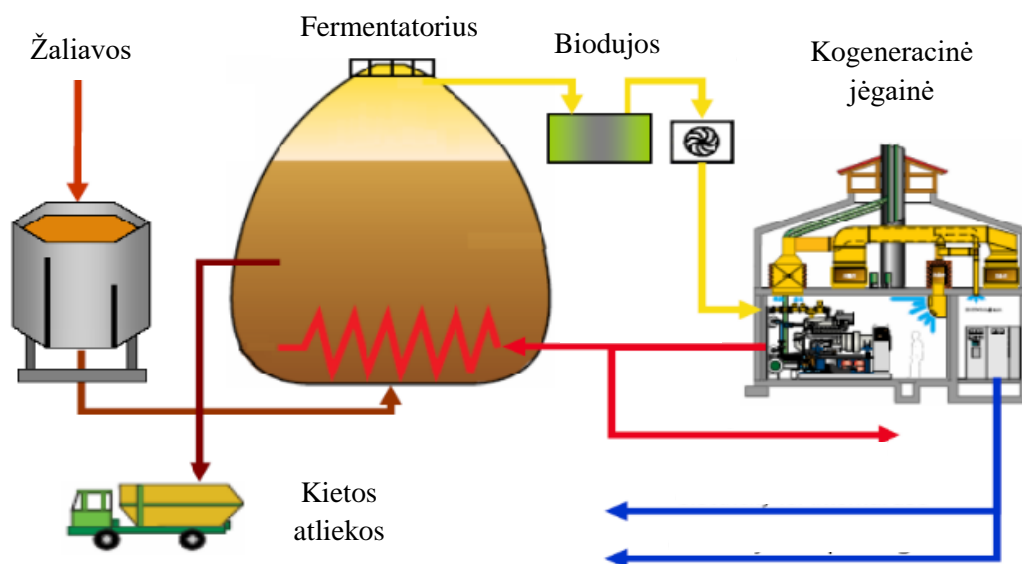
Vienas iš būdų siekiant pagerinti metano išeią anaerobinio skaidymo metu ir optimizuoti procesą yra kodigestavimas. Kodigestavimo metu sumaišomos kelios skirtingos žaliavos. Žaliavos parenkamos, kad būtų pasiektas optimalus C:N santykis. Dažniausiai yra maišom augalinės kilmės žaliavos, augalų atliekos ar energetiniai augalai (runkeliai, kukurūzai, grūdai), kartu su gyvūninės kilmės žaliavomis, gyvulių mėšlu ar skerdyklų atliekomis. Kadangi gyvūninės kilmės žaliavose dažniausiai yra žemas C:N santykis jos yra derinamos kartu su augalinės kilmės žaliavomis, kuriose dažniausiai yra aukštas C:N santykis, dėl didelio kiekio angliavandenių. Taikant kodigestavimą padidėja biodujų išeią ir metano koncentracija jose [14]. Kodigestavimas taip pat gali būti panaudotas anaerobiškai skaidyti riebalams iš maitinimo įstaigų. Anaerobiškai skaidant panaudotus riebalus yra pastebima padidėjusi biodujų išeią nuotekų valymo įrenginiuose [15]. Vienas iš kodigestavimo panaudojimo būdų gali būti naftos pramonės atliekų ir produktų anaerobinis digestavimas siekiant juos apdoroti [16].

1.6. Biodujų jėgainės

Biodujų jėgainės sudaro keli skirtingi komponentai reikalingi jų funkcionavimui:

- bioreaktorius;
- biodujų laikymo talpyklos;
- dujų valymo įrenginiai;
- dujų deginimo įrenginiai;
- digestato talpyklos;
- elektroninio valdymo ir monitoringo sistemos.

Biodujų jėgainės konfigūracija priklauso nuo naudojamų žaliavų ir jų kiekio, pasirinkto reaktoriaus tipo ir jo šildymo būdo, pagaminamo biodujų kiekio, reikalingų biodujų valymo sistemų, pagamintų biodujų panaudojimo.



1.2 pav. Biodujų jėgainės, pritaikytos kogeneracijai, schema [19].

Be šių pagrindinių komponentų, biogazų jėgainėse dažniausiai taip pat būna žaliavų talpyklos ir jų tiekimo būdai į bioreaktorių. Prieš bioreaktorių taip pat gali būti įrengiamos paruošimo talpos, kurios

leidžia apdoroti tiekiamas žaliavas (pvz. augalinės kilmės žaliavas), kad būtų palengvinama jų skaidymas bioreaktoriuje ir išgaunamas didesnis kiekis biodujų. Jei biodujų jėgainė yra įrengta šalia atliekų susidarymo vietos, žaliavos į talpyklas ar perdirbimo talpas ir į bioreaktorių yra tiekiamos vamzdiniais naudojant siurblius. Atliekos taip pat gali būti atvežamos, jei jos susidaro ne šalia biodujų jėgainių.

Bioreaktoriai yra svarbiausia biodujų jėgainės dalis, kurioje vyksta anaerobiniai procesai leidžiantys išgauti biogazą. Bioreaktorių konstrukcija priklauso nuo prieinamos žaliavos kiekio, reaktoriaus šildymo būdo, pasirinktos lokacijos reaktoriui. Šaltesniuose klimatuose reaktoriai dažniausiai yra izoliuojami siekiant sumažinti šilumos nuostolius į aplinką. Lietuvos statistikos departamento duomenimis 2017 metais Lietuvoje veikė 40 biodujų, 1 komunalinių atliekų, 162 vnt. biomasės elektrinių, kurių suminė galia – 90 MW [17].

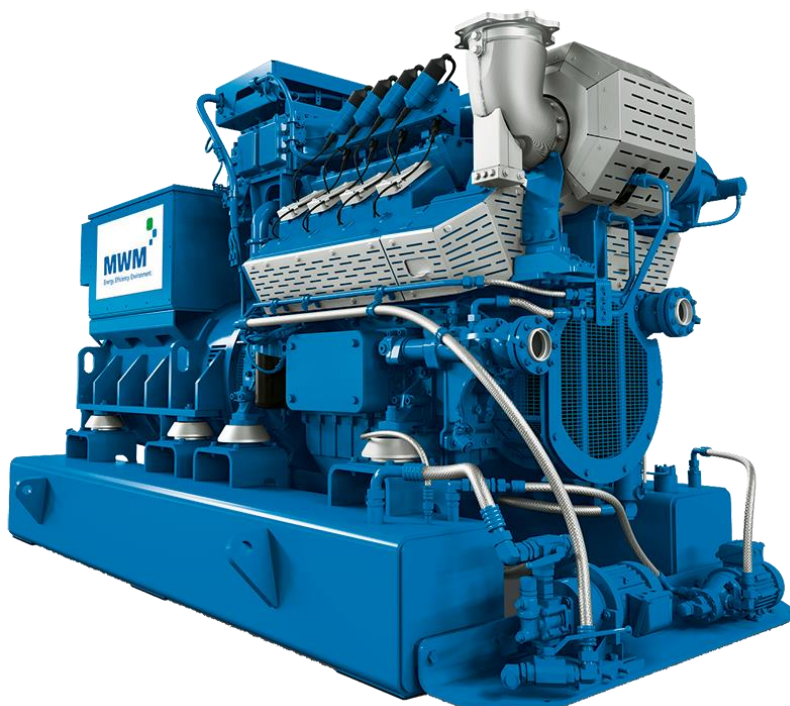


1.3 pav. Viena iš LIPP įmonės tiekiamų bioreaktorių konfiguracijų [18].

Biodujų reaktorių šildymas gali būti išskirtas į dvejus būdus: tiesioginį šildymą ir netiesioginį šildymą. Tiesioginio šildymo metu į bioreaktoriuje esančią biomasę tiesiogiai yra tiekiami vandens garai. Šis metodas nėra populiarus, dėl sudėtingo panaudojimo ir jo sukiamų problemų, tokių kaip vietinio biomasės perkaitinimo ir biomasės praskiedimo. Netiesioginiam šildymui naudojama šilumokaičiai. Šilumokaičiai gali būti įrengiami po bioreaktoriaus grindimis, reaktoriaus viduje, ant reaktoriaus sienų ar jose. Po grindimis įrengti šilumokaičiai yra retai naudojami, nes nuosėdų sluoksnis susidaręs ant grindų suprastina šilumos perdavimą į biomasę. Šilumokaičiai naudojami bioreaktoriaus viduje geriau paskirsto šilumą per biomasę, bet turi būti atsparūs mechaniniam stresui sukiamam maišyklių ir siurblių. Ant sienų ar sienose įrengti šilumokaičiai nesusiduria su problemomis, kurias sukelia mechaninis stresas, ir leidžia išnaudoti visą sienų plotą šilumos perdavimui, tačiau yra patiriami šilumos nuostoliai į aplinką.

Biodujų jėgainėse, kuriose biodujos yra suvartojamos gaminant elektros ar šilumos energiją, vienu metu yra saugomi maži kiekiai biodujų. Paprasčiausias būdas laikyti biodujoms yra plaukiojanti membrana, įrengta kaip bioreaktoriaus stogas. Šis žemo slėgio laikymo metodas yra patogus, nes nereikalauja papildomos konstrukcijos ir medžiagos naudojamos membranai yra atsparios sieros vandenilio sukiamai korozijai. Naudojant plaukiojančią membranai taip pat yra nesudėtinga įrengti oro dozavimo sistemą, kuri leidžia tiekti orą į biogazą, siekiant surišti sieros vandenilį, taip sumažinant jo koncentraciją biodujose. Jei biogazas siekiama valyti ir tiekti į esamus dujų tinklus, jų laikymui ir transportavimui yra naudojamos plieninės dujų cisternos.

Biodujų jėgainėse, kuriose biodujos nėra valomos siekiant jas tiekti į dujų tinklus kaip biometaną, yra įrengiami biodujų deginimo įrenginiai. Paprasčiausias biodujų energetinis panaudojimas yra jų deginimas dujiniuose vandens katiluose. Deginant dujiniuose katiluose biodujas, joms nėra reikalingos išsamios valymo sistemos, o sugeneruojama šiluma gali būti panaudojama bioreaktoriaus šildymui ir kitoms reikmėms. Jei iš biodujų yra siekiama išgauti ne tik šiluminę energiją, bet ir elektrinę, įrengiami kogeneratoriai. Kogeneratoriai tai vidaus degimo varikliai pritaikyti deginti biodujas, kurių metano koncentracija yra tarp 50-75 %. Biodujų deginimas kogeneratoriuose leidžia išgauti šiluminę energiją, kuri panaudojama bioreaktoriaus šildymui, ir elektros energiją, kuri dalis gali būti panaudota biodujų jėgainės sistemoms ir dalis tiekama į elektros tinklus. Toks biodujų panaudojimas yra ekonomiškesnis ir naudingesnis, bet į kogeneratorių tiekiamos biodujos turi būti išvalomos iki gamintojo reikalaujamų specifikacijų, kad būtų garantuojamas ilgalaikis ir kokybiškas kogeneratoriaus veikimas.



1.4 pav. MWM įmonės tiekiamas kogeneratorius [20].

Bioreaktoriuose susidaręs digestatas gali būti panaudojamas kaip trąša. Digestate yra augalams reikalingos ir naudingos maistinė medžiagos. Naudojant bioreaktorių digestatą sumažinama naudojamų mineralinių trąšų kiekiai. Jei digestatas naudojamas laistyti laukams, jis yra kaupiamas talpose iki nustatyto laiko, kada yra leidžiamas laukų laistymas. Tokios talpos yra paprastos konstrukcijos, dažniausiai konstruojamos iš betono. Jei digestatas yra perdirbamas, įrengiamos talpos, kurios leidžia atskirti skystąją frakciją iš digestato.

Biodujų jėgainėse įrengti monitoringo ir valdymo instrumentai leidžia stebėti ir kontroliuoti biodujų gamybos procesą. Taip pat įrengiami biodujų analizatoriai leidžiantys gyvai stebėti biodujų sudėtį.

1.7. Biodujų valymo metodai

Siekiant panaudoti biodujas dažniausiai yra reikalingas jų valymas. Biodujų panaudojimo įrenginiams pavojingas medžiagas ir priemaišas mažinančias jų šiluminę energiją pašalinti yra taikomi fizikiniai ir cheminiai būdai. Tinkami būdai pasirenkami atsižvelgiant į biodujose esančias priemaišas, jų koncentracijas ir biodujų panaudojimo būdus. Jei biodujos yra deginamos dujiniuose katiluose, jų valymas gali būti minimalus, jei priemaišų koncentracijos yra lėtos dujinio katilo gamintojo. Intensyvesnis biodujų valymas yra taikomas deginant vidaus degimo varikliuose – kogeneratoriuose. Intensyviausias valymas ir griežčiausi kriterijai išvalytoms biodujoms yra taikomi siekiant biodujas tiekti į dujų tinklus. Pagrindinės priemaišos, kurias gali tekti pašalinti, yra sieros vandenilis ir anglies dioksidas, taip pat gali būti kitų priemaišų, tokių kaip vanduo.

1.7.1. Sieros vandenilio šalinimas iš biodujų

Sieros vandenilio pašalinimas iš biodujų yra atliekamas, dėl jo sukeltų problemų vamzdinams ir įrangai. Sieros vandenilis kontaktuodamas su vamzdiniais, siurbliais ar plieninėmis laikymo talpomis sukelia jų koroziją, todėl siekiama jį pašalinti iš biodujų srauto kuo anksčiau. Taip pat biodujų deginimas, kuriose yra didelė sieros vandenilio koncentracija, didina išmetamus sieros dioksido, kuris yra vienas iš junginių sukeliančių rūgštingą lietu, kiekius į aplinką. Sieros vandenilis taip pat yra nuodingas žmonėms, gali sukelti staigią mirtį [21].

Oro ar deguonies tiekimas į reaktorių yra paprasčiausias sieros vandenilio šalinimo iš biodujų būdas. Siekiant šiuo būdu pašalinti sieros vandenilį reikia sudaryti 3-6 % tūrinę oro koncentraciją. Įleidus orą į reaktorių sieros vandenilis reaguoja su deguonimi esančiu ore ir iškrenta kaip elementinė siera. Dozuojant orą į reaktorių yra būtina stebėti jo koncentraciją, nes esant koncentracijai didesnei nei 6 % dujų mišinys yra sprogus, priklausant nuo metano koncentracijos. Naudojant šį metodą taip pat yra sutrukdoma metanogeninių bakterijų veiklą, dėl padidėjusios deguonies koncentracijos. Susidariusi elementinė siera taip pat padidina korozijos riziką reaktoriuje. Šis metodas yra tinkamiausias, kuomet biodujos yra naudojamos deginimui katiluose ar kogeneratoriuose, jei yra pasiekiamos gamintojo reikalaujamos sieros koncentracijos.

Sieros vandenilis iš biodujų srauto gali būti šalinamas naudojant adsorbiciją. Plačiausiai naudojamas adsorbentas sieros vandenilio šalinimui yra aktyvuota anglis. Šis metodas yra pigesnis ir paprastesnis nei cheminė absorbcija. Adsorbuotas sieros vandenilis ant aktyvuotos anglies paviršiaus gali būti katalizuojamas iki elementinės sieros, jei sieros vandenilis kontaktuoja su deguonimi. Aktyvuotos anglies naudojimas taip pat yra patogus, nes aktyvuota anglis gali būti regeneruojama, taip sumažinant išlaidas biodujų valymui. Sieros vandenilio adsorbicijai taip pat gali būti naudojami ceolitai ar geležies oksidai.

Vienas iš cheminės absorbcijos metodų sieros vandenilio šalinimui yra absorbcija naudojant geležies chloridą. Geležies chloridas yra dozuojamas į bioreaktorių, kur jis reaguoja su sieros junginiais ir susidarę produktai iškrenta kaip nuosėdos. Šis metodas yra efektyvus sieros vandenilio šalinimui, bet tinkamas mažesniems bioreaktoriams.

Kitas sieros vandenilio šalinimas iš biodujų srauto būdas yra absorbcija naudojant aminus. Sieros vandenilio absorbcijai yra naudojama monoetanolaminas, dietanolaminas ar N-metildietanolaminas. Šis metodas yra tinkamas tik didelio masto biodujų jėgainėms, dėl reikalingo didelio srauto ir aukšto slėgio. Šis metodas taip pat nėra pigus, dėl reikalingų įrenginių amino tirpalų regeneracijai ir pačių

tirpalų kainų. Naudojant aminus taip pat susiduriama su korozija. Absorbicija aminais dažniausiai yra naudojama kuomet yra siekiama iš biodujų taip pat pašalinti anglies dioksidą.

1.7.2. Anglies dioksido šalinimas iš biodujų

Anglies dioksidas iš biodujų yra šalinamas siekiant padidinti jų energijos kiekį. Deginant biodujas, kuriose yra didelė koncentracija, yra susiduriama su problemomis vidaus degimo varikliuose, dėl mažesnės tiekiamų biodujų energijos [22].

Viena iš paprasčiausių metodų naudojamų anglies dioksido šalinimui yra absorbicija vandeniui. Šis metodas yra paremtas tuo jog anglies dioksidas yra labiau tirpus vandenyje nei metanas. Valymo metu biodujos yra suspaudžiamos iki 2000 kPa ir paduodamos į įkrautinę koloną iš apačios, o vanduo yra tiekiamas į kolonos viršų. Taip panaudotas vanduo yra regeneruojamas ir grąžinamas atgal į koloną [23].

Anglies dioksidas, kaip ir sieros vandenilis, taip pat gali būti pašalinamas naudojant aminių tirpalus. Cheminės absorbicijos metu anglies dioksidas, esantis biodujose, reaguoja su aminu esančiu tirpale ir yra surišamas. Ši reakcija yra egzoterminė, tai leidžia pasiekti didesnius absorbicijos kiekius, nes reakcijos greitis didėja kartu su temperatūra. Panaudotas amino tirpalas gali būti regeneruojamas naudojant vandens garus [24].

Vienas iš naujesnių technologijų anglies dioksido šalinimui iš biodujų yra membranos. Jų veikimas yra paremtas biodujų srauto komponentų skirtingu giminingumu membranai. Tiekiant biodujų srautą pro membranas anglies dioksidas arba metanas prasiskverbia pro membraną ir yra atskiriamas nuo kito komponento. Pradinis srautas praleistas pro membranas yra vadinamas retentatu, o atskirtas srautas permeatu. Ši technologija yra populiari dėl mažesnių reikalaujamų pradinių ir operacinių išlaidų, bet tiekiamos dujos turi būti išvalytos nuo medžiagų, kurios gali pažeisti membranas – sieros vandenilio, amoniako ir kietų dalelių [25].

1.7.3. Kitų priemaišų šalinimas

Iš biodujų visais vartojimo atvejais privaloma pašalinti vandens garus. Tai dažniausiai atliekama kondensuojant vandens garus vamzdynuose, kuriuose yra įrengiami kondensato surinkimo talpos. Vanduo taip pat gali būti šalinamas biodujų srautą džiovinant silikageliu, bet šis metodas yra brangesnis ir sudėtingesnis.

Amoniakas iš biodujų dažniausiai yra pašalinamas šalinant sieros vandenilį ar anglies dioksidą. Jei šių metodų nepakanka, gali būti naudojami įvairūs impregnuoti adsorbentai pritaikyti amoniako adsorbicijai [26].

Degūnis ir azotas iš biodujų gali būti pašalinami naudojant membranas arba žemos temperatūros slėgio svyravimo adsorbiciją (PSA) [27].

2. Tiriamoji dalis

2.1. Medžiagos ir metodai

Tyrimams naudotos medžiagos:

- Inokuliamas;
- AB „AUGA Group“ fermų broilerinių vištų mėšlas;
- UAB „Circle K Lietuva“ dyzelinas miles®;
- Augalinis aliejus naudotas greitojo maisto restorane;
- „Liqui Moly“ sintetiniai tepalai naudoti žemės ūkio įrangoje.

Mėginio paruošimas ir tyrimo atlikimo eiga:

Tyrimo mėginiai paruošiami pasveriant 400 gramus inokuliamo, į jį pridodant 6 gramus paukščių mėšlo ir pasirinktą kiekį vienos iš tiriamų medžiagų. Šis mišinys sumaišomas maišykle ir išmatuojamas jo pH. Paruoštas mėginys yra supilamas į stiklinį buteliuką.

Du stikliniai buteliukai, kuriuose yra toks pats mišinys, poliuretano vamzdeliais yra sujungiami kartu. Abu buteliukai yra patalpinami į vandens vonią, kurios pagalba yra palaikoma 37°C temperatūra. Vienas iš buteliukų yra sujungiamas su skaitliuku registruojančiu su susidariusį biodujų kiekį. Skaitliuko duomenys nurašomi kas dieną.

Skaitliukas sujungiamas poliuretano vamzdeliu kartu su dujų maišu, kuriame tyrimo metu yra kaupiamos susidariusios biodujos.

Tyrimo pabaigoje dujų maišas yra atjungiamas nuo skaitliuko ir prijungiamas prie dujų analizatoriaus. Analizatoriumi yra išmatuojama biodujų sudėtis. Išmatuojama mėginio pH po tyrimo eigos.

Tyrimams naudota įranga:

Elektroninės KERN EG 4200-2NM svarstyklės:

- Maksimalus registruojamas svoris – 4200g;
- Minimalus registruojamas svoris – 0,5g;
- Raiška – 0,01g;
- Tikslumas – 0,1g.

EMIN
Testing & Measuring Everything



2.1 pav. Elektroninės KERN EG 4200-2NM svarstyklės.

Hanna Instruments pH 213 analizatorius:

- pH matavimo diapazonas – -2,00 pH iki 16,00 pH;
- pH raiška – 0,01 pH;
- pH tikslumas – 0,01 pH;
- Temperatūros matavimo diapazonas – 0 – 100°C;
- Temperatūros raiška – 0,1°C;
- Temperatūros tikslumas – 0,5°C;



2.2 pav. Hanna Instruments pH 213 analizatorius.

Ritter MilliGascounter MGC-1 PMMA:

- Minimalus srauto debitas – 1 ml/h;
- Maksimalus srauto debitas – 1 l/h;
- Matavimo tikslumas - $\pm 3\%$ / $\pm 1\%$;
- Matavimo talpos tūris – 3 ml;
- Minimalus matavimo tūris – 3 ml.



2.3 pav. Ritter MilliGascounter MGC-1 PMMA.

LAUDA Aqualine AL 18/A vandens vonia:

- Minimali darbinė temperatūra – 25°C;
- Maksimali darbinė temperatūra – 95°C;
- Minimali aplinkos oro temperatūra – 5 °C;
- Maksimali aplinkos oro temperatūra – 40 °C;
- Temperatūros stabilumas – 0,2 ±K;
- Energijos suvartojimas – 1,3 kW.



2.4 pav. LAUDA Aqualine AL 18/A vandens vonia.

Avensys Awite AwiFLEX Cool+ dujų analizatorius:

- Metano matavimo diapazonas – 0 – 100 tūrio %;
- Metano matavimų pakartojamumas – ± 0,2 %;
- Anglies dioksido matavimo diapazonas – 0 – 100 tūrio %;
- Anglies dioksido matavimų pakartojamumas – ± 0,2 %;
- Deguonies matavimo diapazonas – 0 – 25 tūrio %;
- Deguonies matavimų pakartojamumas – ± 0,1 %;
- Sieros vandenilio matavimo diapazonas – 0 – 10000 ppm;
- Sieros vandenilio matavimų pakartojamumas – ± 1 %.



2.5 pav. Avensys Awite AwiFLEX Cool+ dujų analizatorius.

2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

2.2.1. Pirmasis tyrimas

Pirmajam bandymui buvo paruošti keturi mėginiai:

1. Inokuliamas;
2. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo;
3. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 4 ml dyzelino;
4. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 4 ml naudoto aliejaus.

Pirmojo tyrimo metu biodujos buvo kaupiamos 30 dienų. Baigus kaupti dujas nustatyta jų sudėtis.

2.1 lentelė. Primojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais.

Tyrimo diena	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
1	0	0	0	0
2	636,3	780,64	765,9	879,04
3	981,72	1269,36	1232,1	1521,92
4	1205,94	1597,36	1535,13	1945,04
5	1393,8	1853,2	1774,89	2463,28
6	1499,89	2007,36	1944,72	3043,84
7	1584,69	2128,72	2077,92	3499,76
8	1663,47	2233,68	2214,45	4368,96
9	1724,07	2312,4	2324,34	5303,76
10	1784,67	2391,12	2440,89	6294,32
11	1839,21	2460	2544,12	7120,88
12	1896,78	2525,6	2643,03	7878,56
13	1963,44	2591,2	2713,95	8642,8
14	1996,77	2650,24	2797,2	9266
15	2039,19	2699,44	2867,13	9695,68
16	2090,7	2755,2	2950,38	10207,36
17	2136,15	2810,96	3013,65	10617,36
18	2172,5	2853,6	3063,6	10958,4
19	2211,9	2896,24	3113,55	11302,88
20	2257,35	2938,88	3176,16	11689,92
21	2287,65	2971,68	3203,46	12011,36
22	2317,55	3001,2	3233,43	12273,76
23	2354,31	3034	3266,73	12506,64
24	2386,31	3070,08	3303,36	12713,28
25	2408,85	3107,88	3330	12883,84
26	2430,06	3148,8	3376,62	13110,16
27	2448,28	3184,88	3406,59	13264,32
28	2469,45	3227,52	3453,21	13405,36

Tyrimo diena	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
29	2493,69	3266,88	3499,83	13539,24
30	2508,84	3293,12	3529,8	13634,96

2.2 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais.

Tyrimo diena	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
1	-	-	-	-
2	-	123 %	120 %	138 %
3	-	129 %	126 %	155 %
4	-	132 %	127 %	161 %
5	-	133 %	127 %	177 %
6	-	134 %	130 %	203 %
7	-	134 %	131%	221 %
8	-	134 %	133 %	263 %
9	-	134 %	135 %	308 %
10	-	134 %	137 %	353 %
11	-	134 %	138 %	387 %
12	-	133 %	139 %	415 %
13	-	132 %	138 %	440 %
14	-	133 %	140 %	464 %
15	-	132 %	141 %	475 %
16	-	132 %	141 %	488 %
17	-	132 %	141 %	497 %
18	-	131 %	141 %	504 %
19	-	131 %	141 %	511 %
20	-	130 %	141 %	518 %
21	-	130 %	140 %	525 %
22	-	129 %	140 %	530 %
23	-	129 %	139 %	531 %
24	-	129 %	138 %	533 %
25	-	129 %	138 %	535 %
26	-	130 %	139 %	539 %
27	-	130 %	139 %	542 %
28	-	131 %	140 %	543 %
29	-	131 %	140 %	543 %
30	-	131 %	141 %	543 %

Iš pirmojo tyrimo duomenų, pateiktų **2.1 lentelė**. Primojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais., yra matoma, kad mažiausias biodujų kiekis susidaro naudojant tik inokuliamą. Tyrimo metu per 30 dienų naudojant tik inokuliamą susidarė 2508,84 mililitrai biodujų. Tai nutinka, nes naudojame inokuliuojame didžiąją dalis organinių medžiagų, kurias mikroorganizmams skaidant anaerobinėmis sąlygomis susidaro biodujos, yra suvartota.

Jeigu inokuliuojamas yra pamaitinamas šviežiomis žaliavomis, yra stebimas didesnis susidaręs biodujų kiekis. Tai yra matoma antrajame mėginyje, kurio abu buteliukai tyrimo pradžioje buvo pamaitinti 6 gramais paukščių mėšlo. Iš mėginio tik su paukščių mėšlu tyrimo metu susidarė 3293,12 mililitrų biodujų. Kaip matoma **2.2 lentelėje**, tai yra 31 % padidėjimas lyginant su pirmuoju mėginiu.

Trečiajame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 4 mililitrais dyzelino, tyrimo metu susidarė 3529,8 mililitrai biodujų. Lyginant su pirmuoju mėginiu tai yra 41 % daugiau biodujų, o lyginant su antruoju mėginiu – 7 % daugiau.

Ketvirtajame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 4 mililitrais panaudoto aliejaus, tyrimo metu susidarė didžiausias kiekis biodujų – 13634,96 mililitrai. Tai yra 443 % daugiau biodujų lyginant su pirmuoju mėginiu ir 314 % daugiau biodujų lyginant su antruoju mėginiu.

Iš pateiktų duomenų yra matoma, kad geriausias rezultatas – didžiausias biodujų kiekis, yra pasiekiamas kodigestuojant paukščių mėšlą kartu su panaudotu aliejumi. Prasčiausias rezultatas matomas pirmajame mėginyje, kuriame naudotas tik inokuliuojamas. Mėginio tik su paukščių mėšlu ir mėginio su paukščių mėšlu ir dyzelinu rezultatai yra panašūs. Mėginio su dyzelinu biodujų kiekis yra didesnis tik 7 %.

2.3 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.

Tyrimo diena	Inokuliuojamas	Inokuliuojamas + p.m.	Inokuliuojamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliuojamas + p.m. + naudotas aliejus
1	0	0	0	0
2	636,3	780,64	765,9	879,04
3	345,42	488,72	466,2	642,88
4	224,22	328	303,03	423,12
5	187,86	255,84	239,76	518,24
6	106,09	154,16	169,83	580,56
7	84,8	121,36	133,2	455,92
8	78,78	104,96	136,53	869,2
9	60,6	78,72	109,89	934,8
10	60,6	78,72	116,55	990,56
11	54,54	68,88	103,23	826,56
12	57,57	65,6	98,91	757,68
13	66,66	65,6	70,92	764,24
14	33,33	59,04	83,25	623,2
15	42,42	49,2	69,93	429,68
16	51,51	55,76	83,25	511,68

Tyrimo diena	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
17	45,45	55,76	63,27	410
18	36,35	42,64	49,95	341,04
19	39,4	42,64	49,95	344,48
20	45,45	42,64	62,61	387,04
21	30,3	32,8	27,3	321,44
22	29,9	29,52	29,97	262,4
23	36,76	32,8	33,3	232,88
24	32	36,08	36,63	206,64
25	22,54	37,8	26,64	170,56
26	21,21	40,92	46,62	226,32
27	18,22	36,08	29,97	154,16
28	21,17	42,64	46,62	141,04
29	24,24	39,36	46,62	133,88
30	15,15	26,24	29,97	95,72

2.3 lentelėje yra matoma tyrimo metu kiekvieną dieną susidaręs biodujų kiekis mėginiuose. Tyrimo pradžioje visuose mėginiuose yra matomas tolygus susidarančio per dieną biodujų kiekio mažėjimas. Penktąją tyrimo dieną mėginio su naudotu aliejumi susidaręs biodujų kiekis lyginant su ketvirtąją tyrimo diena pakyla 22 % ir didėja iki 10 tyrimo dienos, kurią susidaro 990,56 ml biodujų. Po šio padidėjimo mėginio per dieną susidarantis biodujų kiekis, kaip ir kitų mėginių tolygiai mažėja iki tyrimo pabaigos.

Kiekvieno mėginio susidariusių biodujų sudėties koncentracijos pateiktos **2.4 lentelė**. Pirmojo tyrimo biodujų sudėtis **je**.

2.4 lentelė. Pirmojo tyrimo biodujų sudėtis.

	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
Metanas, %	50,3	56,5	63,1	66,2
Anglies dioksidas, %	13,9	7,6	15,7	23,6
Deguonis, %	7,43	7,21	6,34	2,09
Sieros vandenilis, ppm	0	12,7	8,6	33,3

Pirmojo mėginio, kurį sudaro tik inokuliamas, metano tūrinė koncentracija yra 50,3 %. Anglies dioksidas sudaro 13,9 % biodujų tūrio. Deguonis sudaro 7,43 % biodujų tūrio. Sieros vandenilio biodujose nebuvo nustatyta, jis galimai nesusidarė arba susidaręs mažas jo kiekis buvo surištas deguonies, kuris patenka tyrimo pradžioje prieš užsandarinant buteliukus. Surinktų biodujų 28,37 % sudaro kitos dujos, kurių neregistruoja naudojamas biodujų analizatorius. Didžiąją dalį neregistruojamų dujų sudaro azotas, kuris kartu su deguonimi patenka iš oro eksperimento pradžioje.

Antrojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas ir paukščių mėšlas, metano tūrinė koncentracija yra 56,5%. Anglies dioksidas sudaro 7,6 %, o deguonis sudaro 7,21 % biodujų tūrio. Biodujose nustatyta 12,7

ppm sieros vandenilio koncentracija. Neregistruojamos dujos sudaro 28,69 % tūrinės surinktų biodujų koncentracijos. Lyginant su pirmuoju mėginiu metano koncentracija yra 12 % didesnė už pirmojo.

Trečiojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir dyzelinas, metano tūrinė koncentracija yra 63,1 %. Anglies dioksidas sudaro 15,7 % biodujų tūrio. Deguonis sudaro 6,34 %. Nustatyta sieros vandenilio koncentracija biodujose yra 8,6 ppm. Neregistruojamos dujos sudaro 14,86 % biodujų tūrio. Trečiajame mėginyje susidariusio metano koncentracija yra 25 % didesnė nei pirmajame mėginyje ir 12 % didesnė nei antrajame mėginyje.

Ketvirtojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir panaudotas aliejus, metano tūrinė koncentracija yra 66,2 %. Anglies dioksidas sudaro 23,6 % biodujų tūrio, o deguonis 2,09 %. Nustatyta sieros vandenilio koncentracija yra didžiausia iš visų keturių mėginių – 33,3 ppm. Neregistruojamos dujos sudaro tik 8,11 % biodujų tūrio. Lyginant su pirmuoju mėginiu metano koncentracija biodujose ketvirtojo mėginio yra didesnė 32 %, 17 % didesnė už antrojo mėginio metano koncentraciją ir tik 5 procentais didesnė už trečiojo mėginio metano koncentraciją.

2.5 lentelė. Apskaičiuoti pirmojo tyrimo duomenys.

	Inokuliamas	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus
Biometano kiekis, l	1,262	1,861	2,227	9,026
bV, l/l	3,060	4,016	4,305	16,628
bSM, l/kg	1057,690	1388,331	1488,111	5748,297
bSOM, l/kg	1232,240	1617,446	1733,694	6696,935
bM, l/kg	125,442	164,656	176,490	681,748
eb, MJ/m ³	17,756	19,945	22,274	23,369
eM, MJ/kg	2,227	3,284	3,931	15,931

2.5 lentelėje pateikiamos apskaičiuotos įvairios biodujų išėigos, susidaręs biometano kiekis ir biodujų energetinės vertės. Iš lentelės matoma, kad prasčiausios išėigos yra kuomet yra naudojamas tik inokuliamas be pamaitinimo. Pamaitinus reaktorių tik paukščių mėšlu išėigos iš reaktoriaus tūrio ir substrato kiekio yra didesnės, nei naudojant tik inokuliamą. Susidaręs biometano kiekis taip pat yra 47 % didesnis. Biodujų energetinė vertė yra 12 % didesnė, o energetinė vertė iš įkrovos kiekio yra 47 % didesnė. Pamaitinus reaktorių paukščių mėšlu ir dyzelinu išėigos yra didesnės nei naudojant tik paukščių mėšlą. Biometano susidaro 20 % daugiau, o energetinės vertės yra 12 % ir 20 % didesnės, nei naudojant tik paukščių mėšlą. Didžiausios išėigos ir energetinės vertės yra matomos, kuomet yra naudojama paukščių mėšlas ir panaudotas aliejus. Susidaręs biometano kiekis lyginant su trečiuoju bandiniu yra 305 % didesnis. Išėigos iš substrato kiekio, sausųjų medžiagų, sausųjų organinių medžiagų ir įkrovos kiekio yra didesnės 286 %. Energetinė vertės lyginant su trečiuoju mėginiu yra didesnės 5 % ir 305 % procentais.

2.2.2. Antrasis tyrimas

Antrajam bandymui buvo paruošti trys mėginiai:

1. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo;
2. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 8 ml dyzelino;
3. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 4 ml naudotų tepalų.

Antrojo tyrimo metu biodujos buvo kaupiamos 34 dienų. Baigus kaupti dujas nustatyta jų sudėtis.

2.6 lentelė. Antrojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais.

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
1	0	0	0
2	324,21	354,24	372,96
3	515,1	567,44	566,1
4	642,36	718,32	692,64
5	766,59	885,6	819,18
6	857,49	1023,36	919,08
7	960,51	1190,64	1032,2
8	1090,8	1443,2	1165,5
9	1145,94	1561,28	1222,11
10	1178,67	1656,4	1258,74
11	1208,91	1735,12	1295,37
12	1236,24	1810,56	1332
13	1266,54	1886	1365,3
14	1299,87	1968	1405,26
15	1336,23	2053,28	1448,55
16	1360,47	2128,72	1478,52
17	1393,8	2210,72	1511,82
18	1424,1	2289,44	1545,12
19	1457,43	2374,72	1575,09
20	1493,79	2463,28	1615,05
21	1533,18	2545,28	1648,35
22	1572,57	2620,72	1686,15
23	1621,05	2715,84	1738,26
24	1669,53	2791,28	1784,88
25	1718,01	2866,72	1831,5
26	1760,43	2952	1874,19
27	1799,82	3030,72	1914,75
28	1830,12	3112,72	1954,71
29	1845,27	3165,2	1981,35
30	1851,33	3201,28	1994,67

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
31	1860,42	3230,8	2007,99
32	1869,51	3260,32	2021,31
33	1878,6	3289,84	2031,3
34	1887,69	3312,8	2041,29

2.7 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais.

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
1	-	-	-
2	-	109 %	115 %
3	-	110 %	110 %
4	-	112 %	108 %
5	-	116 %	107 %
6	-	119 %	107 %
7	-	124 %	107 %
8	-	132 %	107 %
9	-	136 %	107 %
10	-	141 %	107 %
11	-	144 %	107 %
12	-	146 %	108 %
13	-	149 %	108 %
14	-	151 %	108 %
15	-	154 %	108 %
16	-	156 %	109 %
17	-	159 %	108 %
18	-	161 %	108 %
19	-	163 %	108 %
20	-	165 %	108 %
21	-	166 %	108 %
22	-	167 %	107 %
23	-	168 %	107 %
24	-	167 %	107 %
25	-	167 %	107 %
26	-	168 %	106 %
27	-	168 %	106 %
28	-	170 %	107 %
29	-	172 %	107 %
30	-	173 %	108 %

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
31	-	174 %	108 %
32	-	174 %	108 %
33	-	175 %	108 %
34	-	175 %	108 %

Iš antrojo tyrimo duomenų, yra matoma, kad mažiausias biodujų kiekis susidaro naudojant tik inokuliamą ir paukščių mėšlą. Tyrimo metu per 34 dienų naudojant tik inokuliamas su paukščių mėšlu susidarė 1887,69 mililitrai biodujų.

Antrajame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 8 mililitrais dyzelino, tyrimo metu susidarė 3312,8 mililitrai biodujų. Lyginant su pirmuoju mėginiu tai yra 75 % daugiau biodujų.

Ketvirtajame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 4 mililitrais tepalų, tyrimo metu susidarė 2041,29 mililitrai biodujų. Tai yra tik 8 % daugiau biodujų lyginant su pirmuoju mėginiu.

Iš pateiktų duomenų yra matoma, kad geriausias rezultatas – didžiausias biodujų kiekis, antrojo tyrimo metu buvo pasiektas kodigestuojant paukščių mėšlą kartu su dyzelinu. Prasčiausias rezultatas matomas pirmajame mėginyje, kuriame naudotas tik inokuliamas su paukščių mėšlu. Mėginio tik su paukščių mėšlu ir mėginio su paukščių mėšlu ir tepalais rezultatai yra panašūs. Mėginio su dyzelinu biodujų kiekis yra didesnis tik 8 %.

2.8 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
1	0	0	0
2	324,21	354,24	372,96
3	190,89	213,2	193,14
4	127,26	150,88	126,54
5	124,23	167,28	126,54
6	90,9	137,76	99,9
7	103,02	167,28	113,12
8	130,29	252,56	133,3
9	55,14	118,08	56,61
10	32,73	95,12	36,63
11	30,24	78,72	36,63
12	27,33	75,44	36,63
13	30,3	75,44	33,3
14	33,33	82	39,96
15	36,36	85,28	43,29
16	24,24	75,44	29,97

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
17	33,33	82	33,3
18	30,3	78,72	33,3
19	33,33	85,28	29,97
20	36,36	88,56	39,96
21	39,39	82	33,3
22	39,39	75,44	37,8
23	48,48	95,12	52,11
24	48,48	75,44	46,62
25	48,48	75,44	46,62
26	42,42	85,28	42,69
27	39,39	78,72	40,56
28	30,3	82	39,96
29	15,15	52,48	26,64
30	6,06	36,08	13,32
31	9,09	29,52	13,32
32	9,09	29,52	13,32
33	9,09	29,52	9,99
34	9,09	22,96	9,99

2.8 lentelėje yra matoma tyrimo metu kiekvieną dieną susidaręs biodujų kiekis mėginiuose. Tyrimo pradžioje visuose mėginiuose yra matomas tolygus susidarančio per dieną biodujų kiekio mažėjimas. Aštuntąją tyrimo dieną yra matomas staigus šuolis visų trijų mėginių susidariusių dujų kiekiuose ir tolygus mažėjimas iki bandymo pabaigos.

2.9 lentelė. Antrojo tyrimo biodujų sudėtis.

	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
Metanas, %	57,53	65,2	61,2
Anglies dioksidas, %	9,8	15,7	9,6
Deguonis, %	6,33	3,47	5,8
Sieros vandenilis, ppm	12,7	10,9	11,8

Pirmojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas ir paukščių mėšlas, metano tūrinė koncentracija yra 57,53 %. Anglies dioksidas sudaro 9,8 % biodujų tūrio. Deguonis sudaro 6,33 % biodujų tūrio. Sieros vandenilio biodujose koncentracija – 12,7 ppm. Surinktų biodujų 26,34 % sudaro kitos dujos, kurių neregistruoja naudojamas biodujų analizatorius.

Antrojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir dyzelinas, metano tūrinė koncentracija yra 65,2 %. Anglies dioksidas sudaro 15,7 %, o deguonis sudaro 3,47 % biodujų tūrio. Biodujose nustatyta 10,9 ppm sieros vandenilio koncentracija. Neregistruojamos dujos sudaro 15,63 % tūrinės surinktų biodujų koncentracijos. Lyginant su pirmuoju mėginiu metano koncentracija yra 13 % didesnė už pirmojo.

Trečiojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir tepalai, metano tūrinė koncentracija yra 61,2 %. Anglies dioksidas sudaro 9,6 % biodujų tūrio. Deguonis sudaro 5,8 %. Nustatyta sieros vandenilio koncentracija biodujose yra 11,8 ppm. Neregistruojamos dujos sudaro 23,4 % biodujų tūrio. Trečiajame mėginyje susidariusio metano koncentracija yra 6 % didesnė nei pirmajame mėginyje ir 6,5 % mažesnė nei antrajame mėginyje.

2.10 lentelė. Apskaičiuoti antrojo tyrimo duomenys.

	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + dyzelinas	Inokuliamas + p.m. + tepalai
Biometano kiekis, l	1,086	2,160	1,249
bV, l/l	2,302	4,020	2,489
bSM, l/kg	795,822	1163,856	860,578
bSOM, l/kg	927,156	1355,927	1002,598
bM, l/kg	94,385	138,033	102,065
eb, MJ/m ³	20,308	23,016	21,604
eM, MJ/kg	1,917	3,177	2,205

Iš **2.10 lentelės** matoma, kad prasčiausios išeigos antrojo tyrimo metu yra kuomet yra naudojamas inokuliamas su paukščių mėšlu. Pamaitinus reaktorių paukščių mėšlu ir dyzelinu išeigos iš reaktoriaus tūrio ir substrato kiekio yra didžiausios iš trijų mėginių. Susidaręs biometano kiekis taip pat yra 98,8 % didesnis nei pirmojo mėginio ir 72,8 % didesnis, nei trečiojo mėginio. Biodujų energetinė vertė yra 13 % didesnė, o energetinė vertė iš įkrovos kiekio yra 98 % didesnė. Pamaitinus reaktorių paukščių mėšlu ir tepalais išeigos yra didesnės nei naudojant tik paukščių mėšlą. Biometano susidaro 15 % daugiau, o energetinės vertės yra 6 % ir 15 % didesnės, nei naudojant tik paukščių mėšlą.

2.2.3. Trečiasis tyrimas

Pirmajam bandymui buvo paruošti keturi mėginiai:

1. Inokuliamas;
2. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo;
3. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 8 ml tepalų;
4. Inokuliamas + 6 gramai paukščių mėšlo + 8 ml naudoto aliejaus;
5. Inokuliamas + 8 ml dyzelino.

Pirmojo tyrimo metu biodujos buvo kaupiamos 40 dienų. Baigus kaupti dujas nustatyta jų sudėtis.

2.11 lentelė. Trečiojo tyrimo metu susidaręs biodujų kiekis mililitrais

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
1	0	0	0	0
2	324,12	6,66	505,12	42,7
3	541,2	179,82	1141,28	60,6
4	698,64	309,69	1722	85,7
5	813,44	406,26	2351,76	105
6	902,08	416,19	3011,04	121
7	970,88	432,8	3489,92	137,4
8	1020,08	512,16	3913,04	148,4
9	1062,72	606,06	4286,96	161,9
10	1088,96	626,04	4601,84	170,5
11	1115,2	642,69	5038,08	179,2
12	1131,6	656,01	5352,96	181,6
13	1141,44	666	5605,52	184
14	1151,28	675,99	6005,68	187,4
15	1164,4	679,32	6186,08	192,7
16	1167,68	679,32	6340,24	198,1
17	1167,68	679,32	6494,4	206,8
18	1170,96	685,98	6658,4	219
19	1174,24	685,98	6970	236,3
20	1177,52	685,98	7455,44	241,6
21	1177,52	685,98	7973,68	251,6
22	1180,8	685,98	8485,36	254
23	1180,8	685,98	9026,56	256,9
24	1180,8	685,98	9584,16	258,9
25	1180,8	685,98	10305,76	261,3
26	1180,8	685,98	10883,04	266,6
27	1180,8	685,98	11443,92	274,3
28	1180,8	685,98	12211,44	275,8

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
29	1180,8	689,31	12926,48	275,8
30	1180,8	689,31	13562,8	276,7
31	1180,8	689,31	14110,56	282,6
32	1180,8	689,31	14586,16	287,9
33	1180,8	689,31	15048,64	287,9
34	1180,8	689,31	15511,12	287,9
35	1180,8	689,31	15927,68	287,9
36	1180,8	689,31	16347,52	287,9
37	1180,8	689,31	16724,72	288,8
38	1180,8	689,31	17095,36	291,3
39	1180,8	689,31	17397,12	296,1
40	1180,8	696,64	17666,08	301

2.12 lentelė. Pirmojo mėginio biodujų palyginimas su kitais mėginiais

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
1	-	-	-	-
2	-	2 %	156 %	13 %
3	-	33 %	211 %	11 %
4	-	44 %	246 %	12 %
5	-	50 %	289 %	13 %
6	-	46 %	334 %	13 %
7	-	45 %	359 %	14 %
8	-	50 %	384 %	15 %
9	-	57 %	403 %	15 %
10	-	57 %	423 %	16 %
11	-	58 %	452 %	16 %
12	-	58 %	473 %	16 %
13	-	58 %	491 %	16 %
14	-	59 %	522 %	16 %
15	-	58 %	531 %	17 %
16	-	58 %	543 %	17 %
17	-	58 %	556 %	18 %
18	-	59 %	569 %	19 %
19	-	58 %	594 %	20 %
20	-	58 %	633 %	21 %
21	-	58 %	677 %	21 %
22	-	58 %	719 %	22 %
23	-	58 %	764 %	22 %

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
24	-	58 %	812 %	22 %
25	-	58 %	873 %	22 %
26	-	58 %	922 %	23 %
27	-	58 %	969 %	23 %
28	-	58 %	1034 %	23 %
29	-	58 %	1095 %	23 %
30	-	58 %	1149 %	23 %
31	-	58 %	1195 %	24 %
32	-	58 %	1235 %	24 %
33	-	58 %	1274 %	24 %
34	-	58 %	1314 %	24 %
35	-	58 %	1349 %	24 %
36	-	58 %	1384 %	24 %
37	-	58 %	1416 %	24 %
38	-	58 %	1448 %	25 %
39	-	58 %	1473 %	25 %
40	-	59 %	1496 %	25 %

2.13 lentelė. Per dieną susidaręs biodujų kiekis.

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
1	0	0	0	0
2	324,12	6,66	505,12	42,7
3	217,08	173,16	636,16	17,9
4	157,44	129,87	580,72	25,1
5	114,8	96,57	629,76	19,3
6	88,64	9,93	659,28	16
7	68,8	16,61	478,88	16,4
8	49,2	79,36	423,12	11
9	42,64	93,9	373,92	13,5
10	26,24	19,98	314,88	8,6
11	26,24	16,65	436,24	8,7
12	16,4	13,32	314,88	2,4
13	9,84	9,99	252,56	2,4
14	9,84	9,99	400,16	3,4
15	13,12	3,33	180,4	5,3
16	3,28	0	154,16	5,4
17	0	0	154,16	8,7

Tyrimo diena	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m. + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
18	3,28	6,66	164	12,2
19	3,28	0	311,6	17,3
20	3,28	0	485,44	5,3
21	0	0	518,24	10
22	3,28	0	511,68	2,4
23	0	0	541,2	2,9
24	0	0	557,6	2
25	0	0	721,6	2,4
26	0	0	577,28	5,3
27	0	0	560,88	7,7
28	0	0	767,52	1,5
29	0	3,33	715,04	0
30	0	0	636,32	0,9
31	0	0	547,76	5,9
32	0	0	475,6	5,3
33	0	0	462,48	0
34	0	0	462,48	0
35	0	0	416,56	0
36	0	0	419,84	0
37	0	0	377,2	0,9
38	0	0	370,64	2,5
39	0	0	301,76	4,8
40	0	7,33	268,96	4,9

Pirmajame trečiojo tyrimo mėginyje, kuris susideda iš inokuliuo ir 6 gramų paukščių, susidarė 1180,8 ml biodujų ir biodujos nustojo gamintis 22 tyrimo dieną. Tai yra mažiausias kiekis biodujų susidaręs iš inokuliuo ir paukščių mėšlo.

Mažiausias biodujų kiekis trečiojo tyrimo metu susidarė ketvirtajame mėginyje, kuriame buvo naudojama tik inokuliamas ir dyzelinas. Šiuo atveju per 40 dienų susidarė tik 301 ml biodujų arba 25 % biodujų susidariusių mėginyje su inokuliuo ir paukščių mėšlu. Mažas susidaręs biodujų kiekis priklauso nuo stokos medžiagų, kurias mikroorganizmai esantys inokuliuo galėtų lengvai skaidyti, taip gaudami energijos suskaidyti sunkiau skaidomą dyzeliną.

Antrajame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 8 tepalų, trečiojo tyrimo metu susidarė 696,64 mililitrai biodujų. Lyginant su mėginiu, kuriame buvo inokuliamas ir paukščių mėšlas, tai sudaro 59 % pirmajame mėginyje susidariusių biodujų. Šiame mėginyje taip pat susidarė mažiau dujų, nei antrojo tyrimo metu, kada buvo naudojama 4 ml tepalų. Esant didesnei tepalų koncentracijai pasireiškė inhibicinis poveikis, dėl kurio slopinama biodujų gamyba sustojo 18 tyrimo dieną.

Trečiame mėginyje, kuris pamaitintas 6 gramais paukščių mėšlo ir 8 ml naudoto aliejaus, tyrimo metu susidarė 17666,08 mililitrai biodujų. Tai yra 1396 % daugiau biodujų lyginant su pirmuoju mėginiu.

Geriausias rezultatas – didžiausias biodujų kiekis, antrojo tyrimo metu buvo pasiektas kodigestuojant paukščių mėšlą kartu su naudotu aliejumi. Prasčiausias rezultatas buvo ketvirtajame mėginyje, kuriame naudotas tik inokuliamas su dyzelinu.

Kiekvieno mėginio trečiojo tyrimo metu susidariusių biodujų sudėties koncentracijos pateiktos **2.14 lentelėje**.

2.14 lentelė. Trečiojo tyrimo biodujų sudėtis.

	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
Metanas, %	56,7	59,7	68,5	-
Anglies dioksidas, %	8,2	12,5	26,6	-
Deguonis, %	3,68	1,44	0,83	-
Sieros vandenilis, ppm	9,8	10,1	12,3	-

Pirmojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas ir paukščių mėšlas, metano tūrinė koncentracija yra 56,7 %. Anglies dioksidas sudaro 8,2 % biodujų tūrio, o deguonis 3,68 %. Sieros vandenilio biodujose koncentracija – 9,8 ppm. Surinktų biodujų 31,42 % tūrio sudaro dujos neaptinkamos biodujų analizatoriumi.

Antrojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir tepalai, metano tūrinė koncentracija yra 59,7 %. Anglies dioksidas sudaro 12,5 %, o deguonis sudaro 1,44 % biodujų tūrio. Biodujose nustatyta 10,1 ppm sieros vandenilio koncentracija. Neregistruojamos dujos sudaro 26,36 % tūrinės surinktų biodujų koncentracijos. Lyginant su pirmuoju mėginiu metano koncentracija yra 5% didesnė už pirmojo.

Trečiojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas, paukščių mėšlas ir panaudotas aliejus, metano tūrinė koncentracija yra 68,5 %. Anglies dioksidas sudaro 26,6 % biodujų tūrio. Deguonis sudaro 0,83 %. Nustatyta sieros vandenilio koncentracija biodujose yra 12,3 ppm. Neregistruojamos dujos sudaro 4,07% biodujų tūrio. Trečiajame mėginyje susidariusio metano koncentracija yra 20,8 % didesnė nei pirmajame mėginyje ir 14,7 % didesnė nei antrajame mėginyje.

Ketvirtojo mėginio, kurį sudaro inokuliamas ir dyzelinas, tyrimo metu nesudarė pakankamas biodujų kiekis, kurį analizatorius galėtų iširti.

2.15 lentelė. Apskaičiuoti trečiojo tyrimo duomenys.

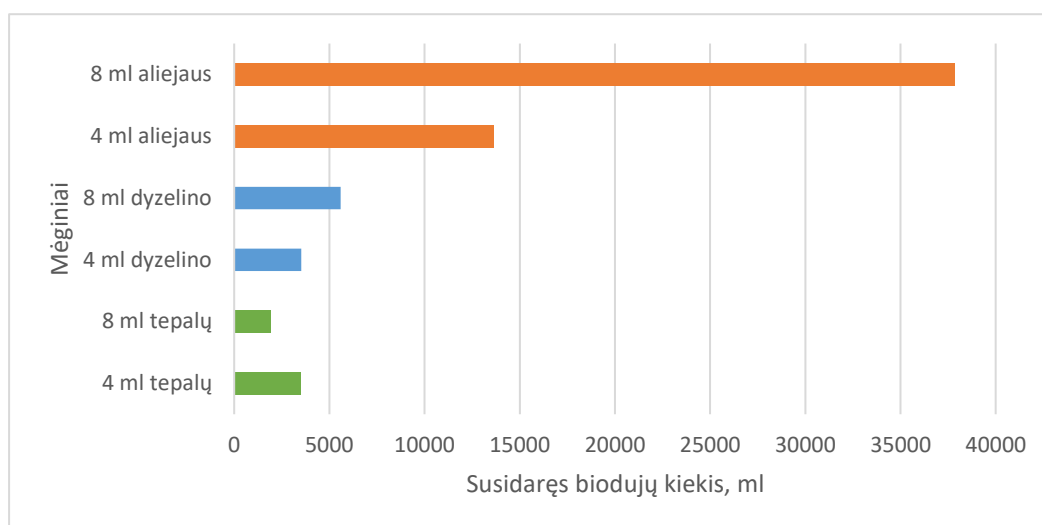
	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
Biometano kiekis, l	0,670	0,416	12,101	-
bV, l/l	1,440	0,850	21,544	-
bSM, l/kg	497,808	293,693	7447,757	-
bSOM, l/kg	579,961	342,161	8676,857	-

	Inokuliamas + p.m.	Inokuliamas + p.m + tepalai.	Inokuliamas + p.m. + naudotas aliejus	Inokuliamas + dyzelinas
bM, l/kg	59,040	34,832	883,304	-
eb, MJ/m ³	20,015	21,074	24,181	-
eM, MJ/kg	1,182	0,734	21,359	-

2.15 lentelėje lentelės matoma, kad prasčiausios išeigos, jei nevertiname ketvirtojo mėginio, yra antrojo mėginio su tepalais. Mėginio su paukščių mėšlu išeigos iš reaktoriaus tūrio ir substrato kiekio yra didesnės, nei naudojant paukščių mėšlą ir tepalus. Biometano susidaro 61 % daugiau, tačiau biodujų energetinė vertė yra 5 % mažesnė, dėl mažesnės metano koncentracijos, o energetinė vertė iš įkrovos kiekio yra 61 % didesnė. Didžiausios išeigos ir energetinės vertės yra matomos, kuomet yra naudojama paukščių mėšlas ir panaudotas aliejus. Susidaręs biometano kiekis lyginant su pirmuoju mėginiu yra 1707 % didesnis, o lyginant su antruoju didesnis 2810 %. Išeigos iš substrato kiekio, sausųjų medžiagų, sausųjų organinių medžiagų ir įkrovos kiekio yra didesnės 1396 % lyginant su pirmuoju mėginiu ir 2436 % lyginant su antruoju mėginiu. Energetinė vertės lyginant su pirmuoju mėginiu yra didesnės 21 % ir 1707 %, o lyginant su antruoju 15 % ir 2810 %.

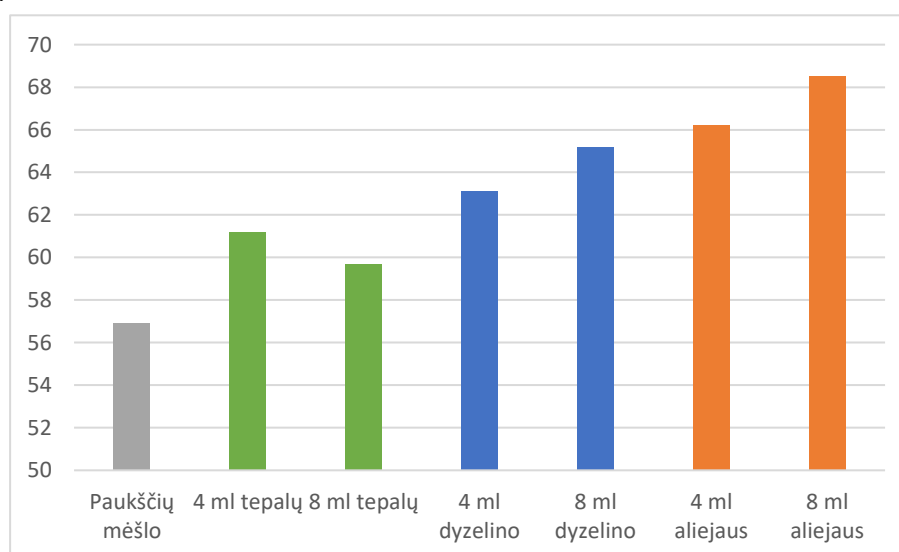
2.2.4. Tirtų medžiagų rezultatų palyginimas

30 tyrimų dieną susidarę skirtingų mėginių biodujų kiekiai proporcingai perskaičiuojami pagal inokuliuo ir paukščio mėšlo mėginius, kurie buvo daromi kiekvieno tyrimo metu, ir jų palyginimas pateikiamas **2.6 pav.**



2.6 pav. Susidariusio biodujų kiekio palyginimas.

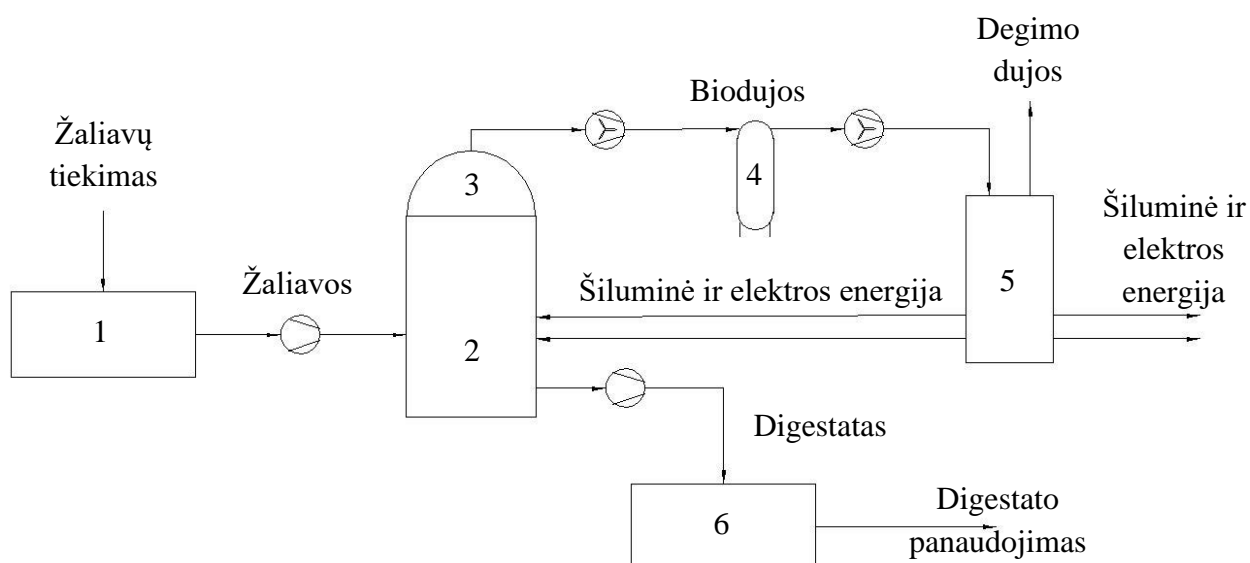
Iš atliktų tyrimų matoma, kad anaerobinis kodigestavimas biodujų jėgainėse leistų atlikti dyzelino, tepalų ar aliejaus perdirbimą. Dyzelinas tyrimų metu nepasižymėjo inhibicinėmis savybėmis ir leido išgauti didesnę, aukštesnės kokybės biodujų kiekį lyginant su mėginiu, kuriame naudotas tik paukščių mėšlas. Naudojant 8 ml dyzelino bioduju lyginant su 4 ml mėginiu susidaro daugiau. Metano koncentracija abiejų tyrimų metu susidarė panaši. Naudojant 4 ml sintetinių panaudotų tepalų antrojo tyrimo metu nestebimas inhibicinis poveikis, nors juose yra sunkiųjų metalų ir išgautų biodujų kokybė taip pat yra geresnė lyginant su dujomis išgautomis tik naudojant paukščių mėšlą. Trečiojo tyrimo metu naudojant 8 ml tepalų yra matomas ryškus inhibicinis poveikis, susidaro per pusę mažesnis biodujų kiekis, kai naudojama tik 4 ml. Geriausi rezultatai gaunami naudojant aliejų. Išgaunamas didžiausias biodujų kiekis ir aukščiausios kokybės dujos lyginant su kitomis naudotomis medžiagomis.



2.7 pav. Metano koncentracija biodujose tūrio procentais.

2.7 pav. matomas tyrimų metu susidariusių biodujų metano koncentracijų palyginimas, mėginių su paukščių mėšlu pateikiama vidurkinė koncentracija. Geriausi rezultatai iš visų trijų naudotų organinių priedų yra gaunami naudojant aliejų, abejais atvejais metano koncentracija yra aukštesnė už kitas naudotas medžiagas. Mėginių su tepalais metano koncentracija yra artima, tačiau žemesnė, nei mėginio su 4 ml aliejaus. Žemiausios koncentracijos metano biodujose, naudojant priedus, susidarė pridėjus tepalų. Naudojant 8 ml tepalų matomas atvirkščias poveikis metano koncentracijai, nei kai naudojami dyzelinas ar riebalai, jo susidaro mažiau. Tačiau naudojant priedus, vis tiek yra gaunamos aukštesnės metano koncentracijos lyginant su mėginiais, kuriuose naudojamas tik paukščių mėšlas.

3. Rekomendacijos



3.1 pav. Principinė biodujų jėgainės schema.

1. Žaliavų pirminio paruošimo talpa;
2. Bioreaktorius;
3. Membraninė biodujų talpykla;
4. Anglies filtras;
5. Kogeneratorius;
6. Digestato talpa.

Biodujų, elektros ir šiluminės energijos gamyba biodujų jėgainėje susideda iš kelių skirtingų etapų.

Pirmajame etape žaliavos yra tiekiamos į žaliavų pirminio paruošimo talpą. Į talpą yra tiekiamas paukščių mėšlas ir panaudotas aliejus. Talpoje, mechaninė maišyklės pagalba, jie yra sumaišomi. Iš talpos sumaišytos žaliavos siurbliu yra tiekiamos į bioreaktorių. Priimama, kad bioreaktorius yra 1000 m³ talpos, tokiu atveju į reaktorių kas dieną yra papildomas 15 tonų žaliavų. Kadangi tiekiamų žaliavų tankis yra artimas vandens, reikalingas siurblio debitas yra 15 m³/h.

Paukščių mėšlas sumaišytas kartu su aliejumi mėšlo talpoje yra tiekiamas į 1000 m³ bioreaktorių, kuriame palaikoma 37 °C temperatūra. Bioreaktoriuje mėšlo ir aliejaus mišinys anaerobiškai skaidomas bakterijų, kurios proceso metu išskiria metaną, anglies dioksidą, sieros vandenilį ir kitas dujas. Priimama, kad per dieną, biodujų reaktoriuje yra pagaminama iki 1600 m³. Šios biodujos kaupiamos viršutinėje bioreaktoriaus dalyje su membranos stogu.

Iš biodujų saugyklos dujos yra tiekiamos dujų siurbliu pro aktyvuotą anglies filtrą, kuris sumažina sieros vandenilio koncentraciją iki tinkamos kogeneratoriui. Panaudota aktyvuotas anglis yra kaupiama ir esant galimybei regeneruojama.

Iš anglies filtro biodujos yra tiekiamos į kogeneratorių. Kogeneratorius pasirenkamas pagal susidarančių biodujų kiekį ir energingumą. Pagal priimtus biodujų parametrus kogeneratorius degindamas tiekiamas biodujas sugeneruoja 140 kW elektros energijos ir 209 kW šiluminės energijos.

Dalis sugeneruojamos šiluminės energijos yra panaudojama bioreaktoriaus šildymui per šilumokaitį įrengtą jo viduje. Likusi šiluminė energija gali būti panaudojama patalpų šildymui arba perduodama į šiluminius tinklus. Pagaminama elektros energija naudojama įrenginių valdymui ir proceso monitoringui. Nesunaudojama elektros energijos dalis gali būti perduodama į elektros tinklus. Jėgainė taip pat yra įrengiama fakelas, kuris kogeneratoriaus veiklos sustojimo metu leistų sudeginti biodujų perteklių.

Panaudotas digestatas iš bioreaktoriaus pašalinamas siurbliu ir kaupiamas digestato talpoje. Panaudotas digestatas gali būti kaupiamas panaudojimui kaip trąša ir du kartus per metus, pavasarį ir rudenį, yra išlaistomas laukuose. Panaudotas digestatas taip pat gali būti perdirbamas į briketus.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Profesinės rizikos veiksniai, kurie gali pasitaikyti projekto aplinkoje [28]:

- biologinis veiksnys – mikroorganizmai, įskaitant genetiškai modifikuotus, ląstelių kultūros bei žmogaus endoparazitai, galintys darbuotojui sukelti infekciją, alergiją ar apsinuodijimą;
- cheminis veiksnys – cheminis elementas ar junginys, grynas ar mišinyje, egzistuojantis natūraliai arba gaminamas, naudojamas arba išskiriamas į aplinką, įskaitant atliekas, bet kokio darbo proceso metu, pagamintas tikslingai ar ne, teikiamas rinkai ar ne;
- ergonominis veiksnys – veiksnys, kurio pagrindą sudaro fizinio darbo krūvis ir įtampa bei darbo vietos pritaikymas darbuotojo galimybėms;
- fizinis veiksnys – veiksnys, kurio pagrindą sudaro fizikinių substancijų kitimai aplinkoje;
- fizinis veiksnys – veiksnys, kuris kelia pavojų dėl netinkamo darbo vietos įrengimo, darbo priemonių, jų judančių dalių, kėlimo įrangos, keliamo krovinio, transporto priemonių, krentančių daiktų fizinio poveikio, taip pat dėl galimo sprogo, gaisro, statinių stabilumo ir tvirtumo neužtikrinimo;
- psichosocialinis veiksnys – veiksnys, kuris dėl darbo sąlygų, darbo reikalavimų, darbo organizavimo, darbo turinio, darbuotojų tarpusavio ar darbdavio ir darbuotojo tarpusavio santykių sukelia darbuotojui psichinį stresą.

Biologiniai veiksniai biodujų jėgainėse kyla iš bakterijų, kurios vykdo anaerobinių organinių medžiagų skaidymą. Kontaktas su mikroorganizmais biodujų jėgainėse yra minimalus, nes biodujų reaktoriai yra uždaryti. Kontaktuoti su mikroorganizmais yra galimybė pirminėje žaliavų talpoje arba atliekant darbus reaktoriaus viduje. Siekiant išvengti infekcijos turi būti dėvima apranga pilnai dengianti rankas ir kojas, respiratoriai ir apsauginiai akiniai.

Pagrindiniai cheminiai veiksniai yra susidarančios biodujos. Biodujose esantis metanas, anglies dioksidas, sieros vandenilis ir kitos dujos yra toksiškos žmonėms esant aukštomis koncentracijoms. Cheminiai veiksniai taip pat yra tyrimuose naudotas dyzelinas, tepalai ir aliejus, kurie gali būti pavojingi, jei patenka į žmogaus organizmą. Siekiant sumažinti dujų sukeltą pavojų patalpose įrengiamos vėdinimo sistemos, kurios šalina dujas. Cheminių medžiagų ribinius dydžius apibrėžia Lietuvos higienos norma HN 23:2011 [29].

Siekiant sumažinti ergonominių ir fizinių veiksnių įtaką darbo rizikai, darbuotojų patalpos, kuriose būtų atliekamas proceso valdymas ir monitoringas, turi būti įrengtos atskirose patalpose nuo mechaninių įrenginių kurių sukeltas triukšmas gali sukelti diskomfortą, galvos skausmus, klausos susilpnėjimą ar praradimą, neurozes. Dirbant patalpose, kuriose yra įrenginiai keliantys triukšmą dėvimos ausinės arba ausų kištukai. Triukšmo ribinius dydžius reglamentuoja Lietuvos higienos norma HN 33:2011 [30].

Tiriamajame darbe naudotas paukščių mėšlas, aliejus ir sintetiniai tepalai yra nepriskiriami prie pavojingų cheminių medžiagų. Tyrimo metu naudotas dyzelinas yra priskiriamas prie pavojingų cheminių medžiagų.

Dyzelino pavojingumo frazės:

- H226: Degūs skystis ir garai;
- H304: Prarijus ir patekus į kvėpavimo takus, gali sukelti mirtį;
- H315: Dirgina odą;
- H332: Kenksmingas įkvėpus;

- H351: Įtariama, kad sukelia vėžį;
- H373: Gali pakenkti organams, jeigu medžiaga veikia ilgai arba kartotinai;
- H411: Toksiškas vandens organizmams, sukelia ilgalaikius pakitimus.

Dyzelino atsargumo frazės:

- P210: Laikyti atokiau nuo šilumos šaltinių, žiežirbų, atviros liepsnos karštų paviršių. Nerūkyti;
- P260: Neįkvėpti dulkių, dūmų, dujų, rūko, garų, aerozolio;
- P273: Saugoti, kad nepatektų į aplinką;
- P280: Mūvėti apsaugines pirštines, dėvėti apsauginius drabužius, naudoti akių (veido) apsaugos priemones;
- P301+P310: PRARIJUS: Nedelsiant skambinti į Apsinuodijimų kontrolės ir informacijos biurą arba kreiptis į gydytoją;
- P331: NESKATINTI vėmimo.



4.1 pav. Dyzelino pavojingumo piktogramos.

Įkvėpus dyzelino garų ir pastebėjus kvėpavimo trakto dirginimo simptomus, išvesti nukentėjusį į ramią ir gerai vėdinamą patalpą, jei taip padaryti yra saugu. Dyzelinui patekus ant odos ar rūbų nedelsiant nusivilkti užterštus drabužius, nusiauti avalynę ir saugiai pašalinti. Paveiktą vietą kruopščiai nuplauti vandeniu ir muilu. Jei odos dirginimas nepraeina, kreiptis į gydytoją. Patekus į akis, skalauti keletą minučių akis vandeniu. Jei akys po plovimo yra toliau dirginamos, kreiptis į gydytoją. Nukentėjusį, prarijusį dyzeliną, reikia nedelsiant išgabenti į ligoninę.

Dyzelino gaisrui gesinti tinka putos, vandens rūkas, sausi cheminiai milteliai, anglies dioksidas, inertinės dujos, smėlis arba žemės, vandens garai. Gaisro atveju nenukreipti vandens srovės tiesiogiai į degantį produktą, nes produktas gali išsitaškyti ir gaisras gali išplisti. Vengti gesinti putomis ir vandeniu tą patį paviršių vienu metu, nes vanduo sunaikina putas. Gesinant gaisrą naudoti tinkamus kvėpavimo aparatus, izoliuojančias dujokaukes ir izoliuojančius apsauginius rūbus.

Išvados

1. Literatūros apžvalgoje aptarta biodujų sudėtis ir savybės, žaliavos, kurios yra naudojamos biodujų gamybos procese, gamybos proceso parametrai, biodujų jėgainės sudedamosios dalys ir biodujų valymo metodai ir medžiagos.
2. Iš atliktų tyrimų rezultatų matoma, kad yra galimas perdirbimas dyzelino, sintetinių tepalų ir aliejaus naudojant anaerobinį skaidymą, siekiant išgauti biodujas. Nustatyta, kad dyzelinas, ir aliejus nepasižymi inhibicinėmis savybėmis anaerobiniam procesui kodigestavimo metu, tačiau tepalai esant didesnėms koncentracijom pasižymi inhibicinėmis savybėmis biodujų susidarymo procesui, lyginant su mažesne koncentracija tepalų. Tyrimuose didžiausias kiekis biodujų 30 tyrimo dieną susidarė naudojant panaudotą aliejų, 13,6 l naudojant 4 ml ir 13,5 litrai biodujų naudojant 8 ml. Pirmuoju atveju tai yra 414 % daugiau biodujų, o antruoju net 1496 % daugiau lyginant su tuo pačiu metu darytais bandiniais, kuriame naudotas tik paukščių mėšlas. Naudojant 8 ml dyzelino susidaro 75 % daugiau biodujų lyginant su paukščiu mėšlu, o naudojant 4 ml dyzelino susidaro 7 % daugiau biodujų. Naudojant 4 ml sintetinių tepalų susidaro 8% daugiau biodujų, o naudojant 8 ml sintetinių tepalų susidaręs biodujų kiekis buvo 41 % mažesnis už mėginį su paukščių mėšlu.
3. Geriausios kokybės biodujos, turinčios aukščiausią metano koncentraciją, susidaro naudojant aliejų ir paukščių mėšlą, 66,2 % ir 68,5 %. Naudojant dyzeliną susidarantių biodujų kokybė artima riebalų, tačiau metano koncentracija biodujose mažesnė, 63,1 % ir 65,2 %. Naudojant tepalus su paukščių mėšlu ir naudojant tik paukščių mėšlą, susidariusio metano koncentracijos yra panašios, 61,2 % ir 59,7 % tepalų, 56,5 %, 57,53 % ir 56,7 % paukščių mėšlo.
4. Apžvelgti darbo aplinkos rizikos veiksniai susiję su tyrimuose naudotomis medžiagomis ir pateiktos priemonės jų mažinimui. Nurodytos pavojingumo ir atsargumo frazės, numatyta pirmosios pagalbos ir priešgaisrinės priemonės pavojingoms cheminėms medžiagoms.

Literatūros sąrašas

1. EUROPOS SAJUGNOS PARLAMENTAS IR TARYBA. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. 2018 m. gruodžio 21 d. Nr. L 328/82 [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-02-10]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/>
2. <https://osp.stat.gov.lt/en/lietuvos-aplinka-zemes-ukis-ir-energetika-2020/energetika/atsinaujinantys-energijos-istekliai>
3. LI, Y., et al. Composition and Toxicity of Biogas Produced from Different Feedstocks in California. *Environmental science & technology*. [interaktyvus]. 2019, vol. 53(19), 11569-11579 [žiūrėta 2022-02-12]. Prieiga per: doi:10.1021/acs.est.9b03003
4. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Gamtinių dujų kokybės reikalavimai. 2013 m. spalio 04 d. Nr. 1-194 [interaktyvus]. [žiūrėta 2020-02-12]. Prieiga per: <https://eseimas.lrs.lt/>
5. DOBRE, P., et al. Main factors affecting biogas production - an overview. *Romanian Biotechnological Letters* [interaktyvus]. Romania: University of Bucharest, 2014, vol. 19(3), 9283-9296 [žiūrėta 2022-02-12].
6. NWOKOLO, N., et al. Waste to Energy: A Focus on the Impact of Substrate Type in Biogas Production. [interaktyvus]. 2020, [žiūrėta 2022-02-14]. Prieiga per: doi:10.3390/pr8101224
7. RAJAGOPAL, R., et al. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. [interaktyvus]. 2013, [žiūrėta 2022-02-14]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.030>
8. ACHINAS, S., et al. A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. [interaktyvus]. 2017, [žiūrėta 2022-02-14]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.002>
9. UZODINMA, E.O.U., et al. Optimum Mesophilic Temperature of Biogas Production from Blends of Agro-Based Wastes. [interaktyvus]. 2007, [žiūrėta 2022-02-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3923/tasr.2007.39.44>
10. WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. [interaktyvus]. 2009, [žiūrėta 2022-02-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>
11. SIBIYA, N., et al. Effect of Temperature and pH on the Anaerobic Digestion of Grass Silage. Iš: 6th Int'l Conf. on Green Technology, Renewable Energy & Environmental Engg. (ICGTREEE'2014), Nov. 27-28, 2014 Cape Town (SA). 2014. Pp. 198-201.
12. VIKRANT, U. D., et al. Temperature, pH and loading rate effect on biogas generation from domestic waste. [interaktyvus]. 2014, [žiūrėta 2022-02-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/ICAET.2014.7105292>
13. CERON-VIVAS, A., et al. Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. [interaktyvus]. 2019, [žiūrėta 2022-02-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190627>
14. DAS, A. and MONDAL, C. Biogas Production from Co-digestion of Substrates: A Review. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2016, 5 (1), 49-57. ISSN 2319-1414
15. HUNTER LONG, J., et al. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. [interaktyvus]. 2011, [žiūrėta 2022-03-01]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.10.001>

16. YANG, Q., et al. Anaerobic Co-Digestion of Oil Sludge with Corn Stover for Efficient Biogas Production. [interaktyvus]. 2019, [žiūrėta 2022-04-10]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.3390/su12051861>
17. <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/statistika>
18. <https://www.lipp-system.de/tanks/digesters/?lang=en>
19. ASADINEJAD, A., et al. Using Biomass in Power Generation for Supplying Electrical and Thermal Energy in Iran and Evaluation of Environmental Pollution Spread. Journal of Power and Energy Engineering. [interaktyvus]. 2016, 10. [žiūrėta 2022-04-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2016.01.007>.
20. <https://www.mwm.net/en/gas-engines-gensets/gas-engine-tcg-3016/>
21. ANDRIANI, D., et al. A review on biogas purification through hydrogen sulphide removal. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. [interaktyvus]. 2020, 483. [žiūrėta 2022-04-20]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/483/1/012034>.
22. MEL, M., et al. A review of chemical absorption of carbon dioxide for biogas upgrading. [interaktyvus]. 2016, [žiūrėta 2022-04-20]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2016.05.006>
23. ANDRIANI, D., et al. A Review on Optimization Production and Upgrading Biogas Through CO2 Removal Using Various Techniques. Appl Biochem Biotechnol. [interaktyvus]. 2014, 172, 1909-1928, [žiūrėta 2022-04-20]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0652-x>
24. DOMINGUES, P., S., et al. Main Biogas Upgrading Technologies. Int J Environ Sci Nat Res. [interaktyvus]. 2021, 27 (4), [žiūrėta 2022-04-20]. Prieiga per: <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2021.27.556219>
25. GOMES, M., G., et al. USE OF MEMBRANAS FOR BIOGAS PURIFICATION: REVIEW. Holos Environment. [interaktyvus]. 2019, 19 (3), 466-501, [žiūrėta 2022-04-22]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i3.12339>
26. SALIHU, A. ir ALAM, Z. Upgrading Strategies for Effective Utilization of Biogas. Environmental Progress & Sustainable Energy. [interaktyvus]. 2015, 34 (5), 1512-1520, [žiūrėta 2022-04-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1002/ep.12117>
27. RYCKEBOSCH, E., et al. Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy. [interaktyvus]. 2011, 35 (5), 1633-1645, [žiūrėta 2022-04-22]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
28. LIETUVOS RESPUBLIKOS SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTERIJA. Dėl profesinės rizikos vertinimo nuostatų tvirtinimo. 2002 m. birželio 26 d. Nr. 86/307 [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-05-13]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/>
29. LIETUVOS RESPUBLIKOS SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTERIJA. Dėl Lietuvos higienos normos HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai" patvirtinimo. 2011 m. rugsėjo 1 d. Nr. V-824/A1-389 [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-05-13]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/>
30. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. Dėl Lietuvos higienos normos HN 33:2011 "Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje" patvirtinimo. 2011 m. birželio 13 d. Nr. V-604 [interaktyvus]. [žiūrėta 2022-05-13]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/>

31. DONG, X., T., et al. Research on biogas fermentation raw materials, E3S Web of Conferences. [interaktyvus]. 2018, 35 (17) [žiūrėta 2022-05-13]. Prieiga per: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20185301030>