



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Dominykas Lincevičius**

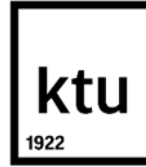
Projekto autorius

**Doc. dr. Rolandas Jonynas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas  
Termoinžinerija (6211EX023)

---

**Dominykas Lincevičius**

Projekto autorius

**Doc. dr. Rolandas Jonynas**

Vadovas

**Prof. dr. Vytautas Dagilis**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Dominykas Lincevičius

## **Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Dominyko Lincevičiaus, baigiamasis projektas tema „Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Studijų programa: 6211EX023 Termoinžinerija

## **MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Studentui (-ei)

**Dominykas Lincevičius**

*(Vardas, Pavardė)*

### **1. Baigiamojo Projekto tema –**

Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas

*(Lietuvių kalba)*

Investigation of Gas Microturbine Application in Biogas Plant

*(Anglų kalba)*

### **2. Darbo tikslas ir uždaviniai –**

Darbo tikslas – nustatyti energijos gamybos dujų mikroturbinomis technologijos panaudojimo Lietuvos gyvulininkystės ūkiuose techninius-ekonominius ir aplinkosauginius rodiklius.

Uždaviniai:

1. apžvelgti biodujų, gamtinių dujų ir elektros energetikos sektorius;
2. apžvelgti mikrokogeneracijos technologijas, kuriose gali būti panaudojamos biodujos;
3. atlikti dujų mikroturbinos darbo modeliavimą pagal pasirinktus veikimo režimus;
4. apskaičiuoti pasirinktos mikroturbinos techninius-ekonominius rodiklius;
5. įvertinti tokių sistemų aplinkosauginius aspektus.

Studentas

**Dominykas Lincevičius**

2020-02-18

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Baigiamojo projekto vadovas

**Rolandas Jonynas**

2020-02-18

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Lincevičius, Dominykas. Dujų mikroturbinos panaudojimo biodujų jėgainėje tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Rolandas Jonynas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Energijos inžinerija (E300), Technologijos mokslai (Inžinerija)

Reikšminiai žodžiai: biodujos, biodujų jėgainė, metanas, dujų mikroturbina, vidaus degimo variklis, elektros energija, šilumos energija, žemės ūkio atliekos.

Kaunas, 2020. 68 p.

### **Santrauka**

Į aplinką išsiskyręs metanas atmosferai daro ženkliai didesnę žalą nei anglies dioksidas. Šiame darbe atliekama tiriamoji analizė, kurios tikslas yra išnagrinėti biodujų gamybos technologiją, galinčią surinkti nepanaudotą metaną ir panaudoti jį energijos gamybai. Darbe apžvelgiami biodujų, gamtinių dujų ir elektros energetikos sektoriai, analizuojama esama Lietuvos gyvulininkystės ūkių situacija (skaičiavimams atlikti pasirinktas 6550 gyvulių kiaulininkystės kompleksas). Tiriamajai analizei atlikti pasirenkami skirtingi dujų mikroturbinos veikimo scenarijai. Šie scenarijai modeliuojami programinės įrangos paketu MATLAB/Simulink. Modeliavimo metu nustatomi dujų mikroturbinos veikimo parametrai, t.y. vidutinė mėnesio apkrova, elektros ir šilumos energijos gamybos efektyvumo koeficientai prie nustatytos apkrovos ir pagamintas energijos kiekis pagal apkrovą ir efektyvumo koeficientus. Atliekamas ekonominės dalies skaičiavimas, kuriame lyginamųjų investicijų metodu nustatomos kapitalinės projekto investicijos ir sąnaudos, apskaičiuojama pagamintos energijos savikaina, pinigų srautas ir grynoji dabartinė vertė. Gauti rezultatai panaudojami projekto atsipirkimo trukmei nustatyti. Palyginami aplinkosauginiai aspektai. Projekto rezultatai rodo, kad dujų mikroturbinos kapitalinės investicijos, palyginti su vidaus degimo varikliu, yra didesnės, tačiau eksploatacinės sąnaudos mažesnės. Nepriklausomai nuo to ar biodujų jėgainė komplektuojama su dujų mikroturbina, ar su vidaus degimo varikliu, projekto atsipirkimo trukmė yra beveik ta pati. Pateikti rezultatai gali būti naudingi investuotojams, projektuotojams ar net ūkių savininkams ir sprendimų priėmėjams.

Lincevičius, Dominykas. Investigation of Gas Microturbine Application in Biogas Plant. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Rolandas Jonynas; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Energy Engineering (E300), Technological Science (Engineering)

Keywords: biogas, biogas plant, methane, gas microturbine, internal combustion engine, electrical energy, thermal energy, agricultural waste.

Kaunas, 2020. 68 p.

### **Summary**

Methane released into the environment does significantly more damage to the atmosphere than carbon dioxide. This paper focuses on the exploratory analysis and aims to examine the biogas production technology which can be used for energy production. This analysis reviews the biogas, natural gas and electricity sectors and assesses the current situation of livestock farms in Lithuania (the pig farm with total number of 6550 livestock was selected for calculations). Different scenarios of gas microturbine operation are selected for this analysis. These are modeled with the MATLAB/Simulink software package. During the simulation, the operating parameters of the gas microturbine are identified, such as average monthly load capacity, efficiency coefficients of electrical and thermal energy production at the measured load capacity. The amount of energy produced according to the load capacity and efficiency coefficients is also calculated. The calculation of the economic part is performed where the capital investment and expenditures of the project are determined using the comparative investment method. In addition, indicators, such as the cost of produced energy, cash flow and net present value are calculated. The obtained results are used to determine the payback period of the project. Environmental aspects are compared. The results suggest that the capital expenditures of the gas microturbine are higher compared to an internal combustion engine, however, the operating costs are lower. Regardless of whether the biogas power plant is equipped with a gas microturbine or with an internal combustion engine, the payback period of the project is almost the same. Presented results may be beneficial to the shareholders or investors, designers or even farm owners and decision makers.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>2</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>3</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>5</b>
1.1. Lietuvos žemės ūkio ir biodujų gamybos istorija ir galimybių apžvalga .....	5
1.2. Bendrosios žinios apie biodujų gamybą.....	8
1.3. Biodujų sudėtis ir savybės.....	10
1.4. Europos Sąjungos politika biodujų srityje .....	11
1.5. AEI naudojančios elektrinės Lietuvoje .....	11
1.6. Biodujų gamyba ir panaudojimas Lietuvoje .....	12
1.7. Biodujų gamybos proceso teikiama nauda.....	14
1.8. Elektros energijos kainos Lietuvoje ir Europoje.....	15
1.9. Gamtinių dujų istorija ir vartojimas Lietuvoje.....	15
1.10. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija .....	17
<b>2. Tyrimo objektas ir metodika.....</b>	<b>19</b>
2.1. Esamo biodujų gavybos šaltinio apžvalga ir prielaidos .....	19
2.2. Biodujų jėgainės įrengimas ir technologiniai sprendimai.....	19
2.3. Mikroturbinos panaudojimas elektros ir šilumos energijos gamybai .....	20
2.4. Technologinės prielaidos ir skaičiavimai mikroturbinos parinkimui.....	21
<b>3. Tiriamoji dalis: analizė ir rezultatai .....</b>	<b>29</b>
3.1. Biodujų kogeneracija .....	29
3.2. Tiriamasis objektas ir tikslai .....	29
3.3. Šilumos ir elektros energijos poreikis bei sistemų veikimo scenarijai .....	30
3.4. Biodujų jėgainės termodinaminė analizė .....	31
3.5. Modeliavimo rezultatai .....	32
3.5.1. Pirmasis scenarijus.....	32
3.5.2. Antrasis scenarijus .....	36
<b>4. Projekto ekonominė analizė ir aplinkosaugos aspektai .....</b>	<b>38</b>
4.1. Kapitaliniai ir eksploataciniai projekto kaštai.....	38
4.2. Energijos gamybos apimtys ir pagamintos energijos kaina .....	39
4.3. Projekto esamoji vertė.....	43
4.4. Projekto atsipirkimo trukmė.....	44
4.5. Projekto aplinkosauginiai aspektai.....	46
<b>Išvados .....</b>	<b>48</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>49</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>52</b>
1 priedas. Projekto esamoji vertė (biodujų jėgainė su mikroturbina).....	52
2 priedas. Projekto esamoji vertė (biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu).....	53
3 priedas. Projekto esamoji vertė su parama (biodujų jėgainė su mikroturbina) .....	54
4 priedas. Projekto esamoji vertė su parama (biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu) .....	55
5 priedas. Publikacija tarptautinei jaunųjų tyrėjų konferencijai .....	56

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Atrankos kriterijai paramai gauti ir suteikiami balai [4].....	8
2 lentelė. Biodujų sudarančių elementų charakteristikos ir jų vertės [1] .....	10
3 lentelė. Sąvartynų biodujų gamyba ir transformavimas .....	13
4 lentelė. Nuotekų valymo dumblo biodujų gamyba ir transformavimas .....	13
5 lentelė. Žemės ūkio atliekų biodujų gamyba ir transformavimas.....	13
6 lentelė. Gamtinių dujų suvartojimas Lietuvoje 2016–2018 metais .....	16
7 lentelė. Biodujų išėiga pagal atliekos šaltinį .....	22
8 lentelė. Pagrindiniai biodujų sudarantys cheminiai komponentai.....	22
9 lentelė. Pasirinktos mikroturbinos parametrai .....	24
10 lentelė. Projektuojamos biodujų jėgainės pagrindinės charakteristikos .....	38
11 lentelė. Projektuojamos biodujų jėgainės lyginamosios kapitalinės investicijos .....	39
12 lentelė. Projektuojamos biodujų jėgainės kapitalinės investicijos.....	39
13 lentelė. Suminės projekto kapitalinės investicijos ir metiniai priežiūros bei aptarnavimo kaštai	39
14 lentelė. Metinės pajamos (sutaupyti pinigai) pagal energijos rūšį (1 scenarijus).....	40
15 lentelė. Metinės pajamos (sutaupyti pinigai) pagal energijos rūšį (2 scenarijus).....	40
16 lentelė. Metinės eksploataavimo sąnaudos (mikroturbina, 1 scenarijus) .....	41
17 lentelė. Metinės eksploataavimo sąnaudos (mikroturbina, 2 scenarijus) .....	42
18 lentelė. Metinės eksploataavimo sąnaudos (vidaus degimo variklis, alternatyvioji technologija)	42
19 lentelė. Elektros energijos gamybos savikainos .....	42
20 lentelė. Projekto esamoji vertė.....	44
21 lentelė. Palyginamosios išmetamose dujose esančių teršalų vertės pagal kogeneratoriaus tipą ..	47
22 lentelė. Skleidžiamo triukšmo lygis pagal kogeneratoriaus tipą .....	47



## Paveikslų sąrašas

1 pav. Suminis galvijų ir kiaulių skaičius ūkiuose, 2007–2016 m. duomenys.....	6
2 pav. Ūkių skaičius ir galvijų bei kiaulių populiacija, 2007–2016 m. duomenys.....	6
3 pav. Ūkių skaičiaus ir galvijų bei kiaulių populiacijos kitimo tendencija (2007–2016 m.).....	7
4 pav. Lietuvos elektrinių suminė įrengtoji galia pagal elektrinės tipą (2018 m. duomenys).....	12
5 pav. Biodujų gamyba ir suvartojimas Lietuvoje [17].....	14
6 pav. Elektros energijos kaina (įskaitant mokesčius), 2019 m. I pusmetis.....	15
7 pav. Gamtinių dujų suvartojimas Lietuvoje (2015–2018 m.).....	16
8 pav. Biodujų reaktoriaus principinė schema.....	20
9 pav. Principinė mikroturbinos schema.....	21
10 pav. Metinis šilumos energijos poreikio grafikas.....	30
11 pav. Metinis elektros energijos poreikio grafikas.....	31
12 pav. Biodujų jėgainės termodinaminė analizė.....	31
13 pav. Mikroturbinos apkrovos ir pagamintos elektros energijos kiekio grafikas.....	32
14 pav. Pagamintos šilumos energijos kiekio ir perteklinės šilumos energijos kiekio grafikas.....	32
15 pav. Elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas.....	33
16 pav. Elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas pasirinktu laikotarpiu.....	33
17 pav. Šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas.....	34
18 pav. Šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas.....	34
19 pav. Į mikroturbiną tiekiamas kuro kiekis.....	35
20 pav. Į mikroturbiną tiekiamo kuro galia.....	35
21 pav. Pagamintos elektros energijos perteklius.....	36
22 pav. Pagaminta šilumos energija ir jos perteklius.....	36
23 pav. Elektros energijos rinkos kaina laikotarpiu 2017–2020 m. ....	43
24 pav. Projekto atsipirkimo grafikas (biodujų jėgainė su mikroturbina).....	45
25 pav. Projekto atsipirkimo grafikas (vidaus degimo variklis).....	45
26 pav. 30 % finansuojamo projekto atsipirkimo grafikas (jėgainė su mikroturbina).....	46
27 pav. 30 % finansuojamo projekto atsipirkimo grafikas (jėgainė su vidaus degimo varikliu).....	46

## Ivadas

Sparčiai didėjantis žemėje gyvenančių žmonių skaičius ir pragyvenimo lygis lemia didėjančią energijos vartojimą. Iki 80 procentų viso pasaulinio energetinio poreikio yra pagaminama iš naftos, gamtinių dujų bei akmens anglies. Paminėti išteklių yra priskiriami iškastiniams kuro ištekliams, kurie yra riboti, o jų pasiskirstymas nėra tolygus. Šalys, kurios neturi arba išgauna mažus kiekius iškastinio kuro yra priverstos ieškoti alternatyvų bei importuoti kurą iš kitų valstybių. Dėl augančio vartojimo didėja ir organinių atliekų kiekis praktiškai visose srityse, pavyzdžiui, žemės ūkyje (paukščių ir gyvulių mėšlas, šiaudai, srutos ir kt.), maisto ir gėrimų pramonėje (alkoholio ir gėrimų gamybos, mėsos perdirbimo, aliejaus gamybos metu susidaranti atliekos ir kt.), nuotekų pramonėje (dumblas ir kt.), biodegalų pramonėje (rapsų išspaudos ir kt.). Šios atliekos daro žalą aplinkai bei neigiamą poveikį žmonių sveikatai. Labai svarbu kaip įmanoma labiau sumažinti šią žalą ir neigiamą poveikį.

Iškastiniai kuro išteklių yra riboti ir tai reiškia, kad ateityje šių išteklių nebeturėsime arba turėsime labai mažai. Vis labiau mažėjantis iškastinių kuro išteklių kiekis didina jų kainą, todėl šiuo metu yra svarbu išsiaiškinti efektyvias alternatyvias energijos technologijas. Lietuva negali pasigirti iškastinės energijos ištekliais, todėl svarbiausia – maksimaliai išnaudoti alternatyvios energijos išteklių potencialą. Tokiai energijai galima priskirti saulės spinduliuotę, vėją, hidroenergią, biodujas ir kt. Naudojantis šių atsinaujinančių energijos išteklių potencialu prisidedama prie ES ir nacionalinės politikos strateginių tikslų. Šių išteklių panaudojimas ateityje galėtų patenkinti ne tik dalį Lietuvos energetinio poreikio, bet ir sumažinti kertamų miškų, naudojamų biokurui, t.y. šilumos ir elektros gamybai, skaičių.

Lietuvoje yra daug augalininkystės, gyvulininkystės, maisto perdirbimo, gėrimų gamybos įmonių, todėl biodujų gamybos potencialas yra didelis, tačiau susidomėjimas biodujų gamyba ir jų konvertavimu į šilumos ir elektros gamybą kol kas yra mažas. Visiškai priešinga situacija yra matoma saulės energetikos sektoriuje, kuriame pastaruoju metu vyksta intensyvi technologinė konkurencija bei yra sulaukiama didelių investicijų, tačiau Lietuvos energijos poreikių patenkinimas vien tik saulės energija nėra realus, todėl vertėtų ieškoti kombinuotų energijos gamybos sistemų, pavyzdžiui, pasitelkiant biodujas, saulės energiją, geoterminę ir aeroterminę energiją bei gamtines dujas.

Šio darbo tikslas – nustatyti energijos gamybos dujų mikroturbinomis technologijos panaudojimo Lietuvos gyvulininkystės ūkiuose techninius-ekonominius ir aplinkosauginius rodiklius.

Uždaviniai:

1. apžvelgti biodujų, gamtinių dujų ir elektros energetikos sektorius;
2. apžvelgti mikrokogeneracijos technologijas, kuriose gali būti panaudojamos biodujos;
3. atlikti dujų mikroturbinos darbo modeliavimą pagal pasirinktus veikimo režimus;
4. apskaičiuoti pasirinktos mikroturbinos techninius-ekonominius rodiklius;
5. įvertinti tokių sistemų aplinkosauginius aspektus.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Lietuvos žemės ūkio ir biodujų gamybos istorija ir galimybių apžvalga

Biodujų gamybos istorija pradėta tyrimais Lietuvos energetikos institute, siekiant įvertinti energijos gamybos, klimato kaitą lemiančių dujų mažinimo bei paviršinio ir gruntinio vandens taršos mažinimo galimybes. Šie tyrimai buvo atliekami daugelį metų, kol galiausiai tyrimų rezultatai sudomino ir šalies verslininkus. Sumanymas Lietuvoje gaminti biodujas iš organinių atliekų kilo 1981–1983 metais, tačiau biodujų gamybos technologija Lietuvos energetikoje buvo pradėta vystyti 1994 metais, kai akcinė bendrovė „Sema“ nusipirko ir pradėjo eksploatuoti reaktorius biodujoms gaminti iš spirito žlaugtų (šalutinis produktas gaminant spiritą) [1]. Po ketverių metų (1998) šia sritimi susidomėjo žemės ūkio bendrovė „Vyčia“, kuri investavo į biodujų jėgainę, kurioje buvo perdirbamas kiaulių mėšlas ir kitos maisto pramonės atliekos. Po maždaug 17 parų (nuo pirmosios įkrovos) buvo uždegtas fakelas, kuriame degė biodujos iš kiaulių mėšlo, tačiau fakelas nebuvo žymus, nes metano koncentracija dar buvo maža. Praėjus dar kelioms savaitėms, ši biodujų jėgainė veikė projektiniu galingumu ir iš kiekvieno bioreaktoriaus per parą buvo pagaminama po maždaug 200–300 kubinių metrų kokybiškų biodujų, kuriose metano koncentracija sudarė apie 70 %. 1999 ir 2000 metais į šias technologijas investavo Utenos bei Kauno miesto vandenvalos įmonės, kurių reaktoriuose biodujos gaminamos iš susidarančio nuotekų dumblo.

Vienam iš geriausių biodujų ir biodegalų projektų Lietuvoje galima priskirti Pasvalyje veikiančią uždarają akcinę bendrovę „Kurana“, kurioje gaminamos biodujos iš bioetanolio gamybos atliekų. Pagamintos biodujos sudeginamos įmonės kogeneratoriuose bei garo katiluose, pagaminta energija naudojama įmonės poreikiams patenkinti. Atliekinė elektros energija parduodama elektros tinklams, o atliekinė šilumos energija – Pasvalio rajono katilinei, kuri priklauso akcinei bendrovei „Panevėžio energija“.

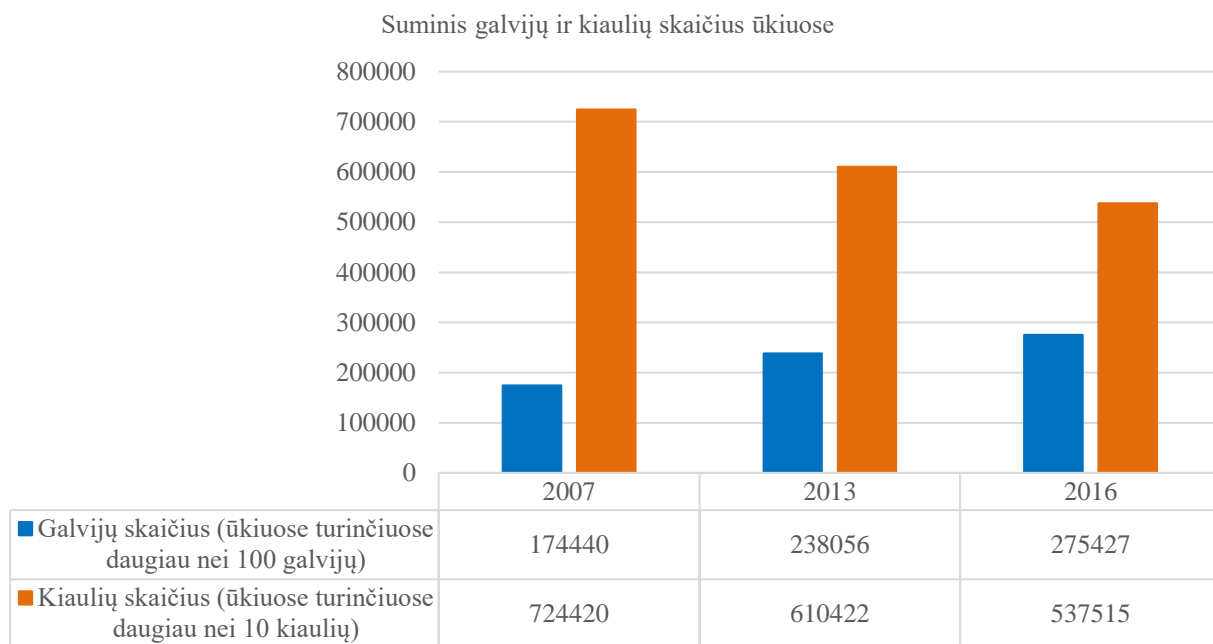
Biodujų gaminimas iš anaerobiškai apdorotų organinių atliekų suteikia galimybę pasigaminti šilumos bei elektros energijos, tačiau pastebima, kad toks energijos gamybos būdas Lietuvoje nėra populiarus. Tai dažniausiai lemia ilgas šios technologijos atsipirkimo laikotarpis bei nevertinama šios technologijos teikiama ekologinė nauda.

Nors biodujų jėgainės technologija ekologiniu aspektu yra patraukli, tačiau šios technologijos plėtra didžiausią pagreitį įgavo tik apie 2014 metus ir šiai dienai vis tiek sudaro labai mažą dalį bendrame energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių kontekste. Šiame skyriuje apžvelgiamos pagrindinės galimybės vystyti biodujų gamybos projektus ir priežastys, lemiančios ūkininkų ir bendrovių nesusidomėjimą biodujų jėgainių įgyvendinimu.

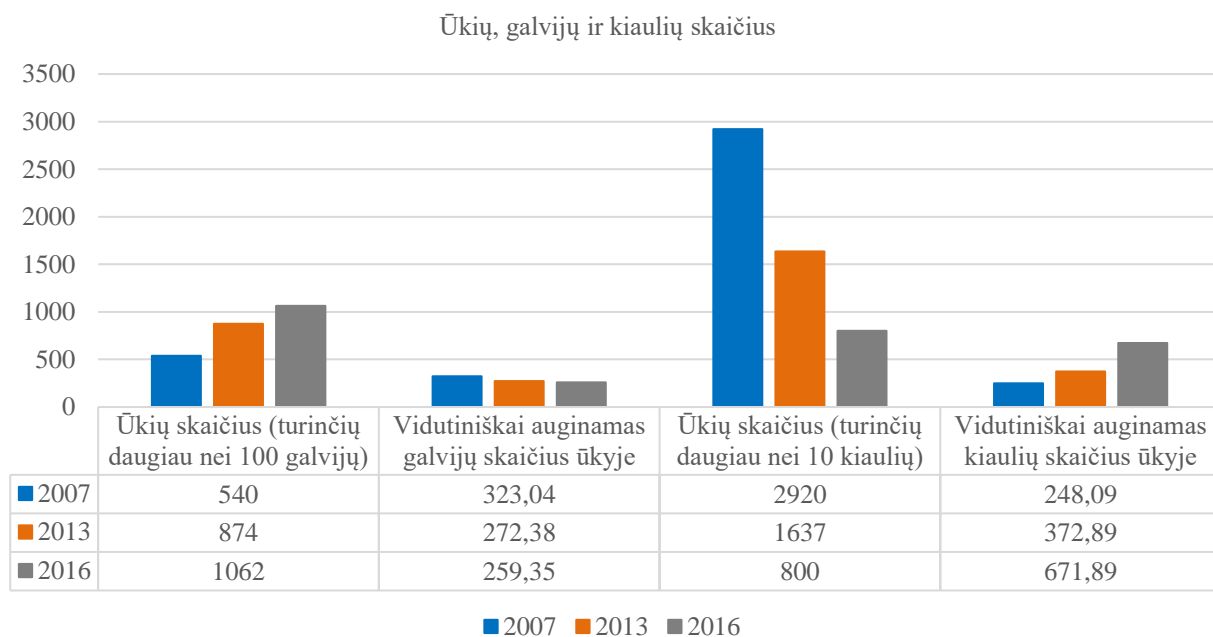
Atsižvelgiant į auginamų galvijų skaičių, labai nedidelę dalį ūkių, paplitusių Lietuvos teritorijoje, sudaro ūkiai, kuriuose auginamas galvijų skaičius viršija 100 vienetų. Remiantis literatūros šaltiniu, biodujų jėgainės statyba ūkiuose, kuriuose galvijų skaičius nesiekia 500, nebūtų tinkamas pasirinkimas, kadangi kuras (šiuo atveju – mėšlas), kurio reikia pastoviai biodujų gamybai, nebūtų pakankamas net ir tuo atveju, jei vertintume pačios mažiausios galios jėgainės. Taip pat pabrėžiama, kad Lietuvos ūkių, kuriuose auginama daugiau kaip 500 galvijų, yra apie 100, o ūkių, kuriuose auginama daugiau nei 1000 kiaulių, yra tik apie 50 [2].

Atsižvelgiant į toliau esančius grafikus (žr. 1 pav., 2 pav.), kurie sudaryti remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis, galima daryti prielaidą, kad literatūros šaltinyje [2] pateikiami

duomenys dėl ūkių skaičiaus, kuriuose auginama daugiau kaip 500 galvijų ir daugiau kaip 1000 kiaulių, yra teisingi.



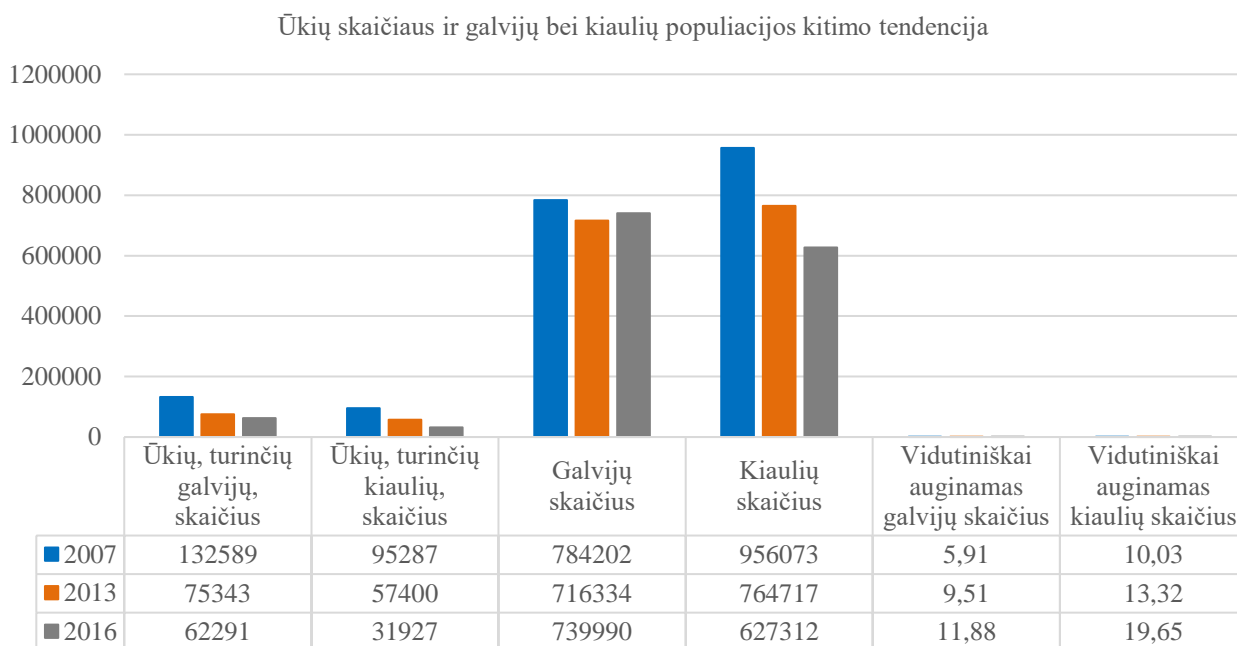
**1 pav.** Suminis galvijų ir kiaulių skaičius ūkiuose, 2007–2016 m. duomenys



**2 pav.** Ūkių skaičius ir galvijų bei kiaulių populiacija, 2007–2016 m. duomenys

Yra keletas priežasčių, kurios lemia biodujų gamybos technologijos nepatrauklumą. Pirmoji biodujų gamybos iš gyvulių mėšlo problema yra ta, kad didžiausia dalis mėšlo susidaro tuose ūkiuose, kuriuose yra tik keletas ar kelios dešimtys gyvulių. Tokiuose ūkiuose nebūtų galima pastatyti biodujų jėgainės, kadangi žaliavos, kuri yra reikalinga biodujų gamybai, būtų per mažai. Todėl reikėtų ieškoti būdų, kaip surinkti mėšlą iš mažų ūkių ir pristatyti jį į dideliuose ūkiuose esančias biodujų jėgaines, tačiau toks mėšlo surinkimo modelis būtų nepatrauklus dėl ekonominių aspektų.

Antroji biodujų gamybos iš gyvulių mėšlo problema yra ta, kad Lietuvos ūkyje pastebima gyvulių skaičiaus mažėjimo tendencija, kuri parodo, kad gyvulių auginimas praranda populiarumą. Savaiame suprantama, kad mėšlo kiekis, susidarantis Lietuvos ūkiuose, yra proporcingas gyvulių kiekiui. Grafike pateikiama ūkių skaičiaus ir galvijų bei kiaulių populiacijos kitimo tendencija 2007–2016 m. laikotarpiu (žr. 3 pav.). Iš grafiko matoma, kad nors ūkių skaičius ir gyvulių populiacija mažėjo, tačiau vidutiniškai auginamų galvijų ir kiaulių skaičius didėjo. Tai parodo, kad gyvulių koncentracija ūkiuose didėja.



**3 pav.** Ūkių skaičiaus ir galvijų bei kiaulių populiacijos kitimo tendencija (2007–2016 m.)

Trečiaja priežastimi yra laikomas per mažas biodujų jėginių skatinimas finansine parama. 2017 metais Europos Komisijos išleistoje ataskaitoje pabrėžiama, kad yra būtina steigti finansavimo schemas biodujų sektoriui, kad būtų užtikrinta pastovi šio sektoriaus plėtra [3]. Atsaku į tai, Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerija yra paskelbusi, kad 2019 metais bus sudarytos galimybės gauti paramą biodujų gamybos reikmėms. Nacionalinė mokėjimo agentūra sudarys sąlygas teikti paraiškas pagal Lietuvos kaimo plėtros 2014–2020 metų programos priemonės „Ūkio ir verslo plėtra“ veiklą „Parama biodujų gamybai iš žemės ūkio ir kitų atliekų“. Skelbiama, kad iš viso bus skirta 12 mln. Eur, o didžiausia paramos suma, į kurią gali pretenduoti paramos gavėjas, bus 1,6 mln. Eur. Planuojama, kad didžiausia suteikiama parama negalės viršyti 60 % visų tinkamų finansuoti projekto išlaidų. Galimybę paramai gauti turės visi pareiškėjai, kurių veiklos sritis ar sritys atitinka šias kategorijas:

- biodujų gaminimas iš gyvulių ir paukščių mėšlo ar kitų biologiškai skaidomų atliekų;
- biometano gamyba ir suspaudimas;
- šilumos ir elektros energijos gamyba iš biodujų.

Šiai paramai gauti yra nustatyti atrankos kriterijai, kuriuos turi atitikti paraiškos teikėjas. Pirmiausiai ši parama skiriama ūkininkams, mažoms ir labai mažoms įmonėms. Pareiškėjų pateikti projektai bus vertinami balais. Minimalus balų skaičius paramai gauti – 40 balų. Toliau lentelėje pateikiami atrankos kriterijai ir balai (žr. 1 lent.).

## 1 lentelė. Atrankos kriterijai paramai gauti ir suteikiami balai [4]

Charakteristika	Balų skaičius
Perdirbamo mėšlo kiekis iki 10 tūkst. tonų per metus	20
Perdirbamo mėšlo kiekis, viršijantis 10 tūkst. tonų per metus	30
Esamas mėšlo tiekėjų skaičius nuo 3 iki 5 su sąlyga, kad vienas tiekėjas tiekia ne mažiau kaip 5 % mėšlo	20
Esamas mėšlo tiekėjų skaičius sudaro daugiau kaip 5, su sąlyga, kad vienas tiekėjas tiekia ne mažiau kaip 5 % mėšlo	30
Biodujų gamybos žaliavų struktūroje kitų biologiškai skaidžių atliekų dalis sudaro nuo 5 iki 10 proc. (įskaitant)	15
Biodujų gamybos žaliavų struktūroje kitų biologiškai skaidžių atliekų dalis sudaro daugiau kaip 10 proc.	20
Kai prašoma mažesnio paramos intensyvumo nuo 5 iki 10 % (įskaitant)	15
Kai prašoma mažesnio paramos intensyvumo daugiau kaip 10 %	20

Parama gali būti suteikta žemos galios energijos iš atsinaujinančių išteklių gamybos įrenginiui, kuriame naudojamos biodujos bei elektrinė galia neviršija 1 MW. Jeigu gaminamos tik biodujos, biodujų gamybai naudojamo įrenginio galia neviršija 500 m<sup>3</sup> biodujų per valandą, o gaminant tik biometaną, gamybai naudojamo įrenginio galia neviršija 250 m<sup>3</sup> biometano per valandą [4].

### 1.2. Bendrosios žinios apie biodujų gamybą

Biodujų gamybos procese nepakeičiamais yra laikomi anaerobiniai mikroorganizmai, kurie atlieka visą darbą. Šie mikroorganizmai į reaktoriaus talpą įleidžiami pirmą kartą paleidžiant jėgainę, vėliau to daryti nebereikia. Yra skiriami du pagrindiniai mikroorganizmų įleidimo būdai, t.y., įleidžiant mikroorganizmų koncentratą, tiekiant šviežią mėšlą arba biomasę iš kito jau eksploatuojamo reaktoriaus. Dažniausiai tiekiamas šviežias mėšlas arba biomasė, kadangi tai ekonomiškai patrauklesnis sprendimas. Mėšle vyrauja mikrobai, kurie yra patekę iš gyvūnų žarnyno. Jie nėra kenksmingi nei žmonėms, nei gyvūnams, o pati reaktoriaus sistema yra hermetiška [1][5].

Biodujų gamyboje išskiriamos trys pagrindinės sąvokos, jų apibrėžimai pateikiami toliau:

- biomasė – žemės ar miškų ūkio, įskaitant ir augalinės ar gyvulinės kilmės medžiagas bei kitų pramonės šakų produktai ar atliekinės medžiagos, ar jų skaidoma dalis;
- biokuras – dujinės, skystos ar kietos fazės produktai, gaminami iš biomasės ir naudojami šilumos bei elektros energijai gaminti;
- biodujos – tai alternatyvios energijos šaltinis, jos gaunamos anaerobiškai skaidant organinės kilmės medžiagas bei atliekas.

Mikroorganizmai yra viena iš dažniausiai aptinkamų būtybės formų mūsų planetoje. Tai plika akimi nepastebimi ir tik pro mikroskopą matomi organizmai. Mikroorganizmams yra priskiriamos įvairios bakterijos, grybeliai, mikroskopiniai pirmuonys, dumbliai, virusai bei prionai. Pastarieji du nėra laikomi gyvais organizmais. Mikroorganizmai yra sutinkami beveik visose žemės vietovėse. Mikroorganizmai, kaip ir žmonės, vartoja maisto medžiagas ir energiją, kad galėtų augti, daugintis ir palaikyti gyvybines funkcijas. Vienu iš mikroorganizmų gebėjimų yra laikoma galimybė skaidyti visas gamtoje esančias organines ir kai kurias neorganines medžiagas, vėliau jas įsisavinti ir

susintetinti naujus junginius. Mikroorganizmai yra neatsiejama biodujų gamybos proceso gyvybė skaidant augalinės ir gyvulinės kilmės atliekas [1][5]. Atsižvelgiant į kvėpavimo būdą, skirstomi į:

- aerobus – naudoja atmosferoje esantį molekulinį deguonį, kad galėtų oksiduoti kvėpuojamą medžiagą;
- obligatinius anaerobus – naudoja surištą deguonį iš organinių ar neorganinių junginių, nes atmosferoje esantis molekulinis deguonis (O<sub>2</sub>) jiems yra žalingas;
- fakultatyvinius anaerobus – molekulinį deguonį naudoja tik tuo atveju, kai jo yra aplinkoje, tačiau gali augti net ir tuo atveju, kai aplinkoje deguonies nėra, tuomet atliekama fermentacija ar anaerobinis kvėpavimas.

Procesas, kurio metu yra išskiriamos biodujos, vadinamas organiniu medžiagų skaidymu (esant anaerobinėms sąlygoms). Šiame procese dalyvauja kelios dešimtys įvairių mikroorganizmų. Vienos rūšies mikroorganizmų pagamintos medžiagos tampa maistu kitų rūšių mikroorganizmams [1][5]. Biodujų gamyboje vykstantis anaerobinis procesas yra skirstomas į keturis etapus:

- hidrolizė – pirmame etape organinės medžiagos yra depolimerizuojamos, dėl to riebalai suskaidomi į riebalines rūgštis bei glicerolį, angliavandeniai skaidomi į monosacharidus ir disacharidus, o baltymai skyla į amino rūgštis bei amino rūgščių polimerus, kurie sujungti su peptidinėmis jungtimis;
- acidogenezė – antrame etape susidaro maža dalis vandenilio ir anglies dioksido;
- acetogenezė – trečiame etape acetogeninės bakterijos organines rūgštis paverčia acto rūgštimi, vandeniliu, amoniaku ir anglies dioksidu, leisdamos prasidėti galutiniam etapui – metanogenezei;
- metanogenezė – konvertuoja šiuos galutinius komponentus į metaną ir anglies dioksidą, kurie vėliau gali būti naudojami kaip degi, žalia energija.

Norint paspartinti ar efektyvinti anaerobinį biodujų gamybos procesą reikia sudaryti kiek įmanoma labiau palankias sąlygas, kadangi palankesnės aplinkos sąlygos užtikrina didesnę mikroorganizmų aktyvumą, jie sparčiau auga ir dauginasi, greičiau skaidomos organinės medžiagos, o tai lemia didesnę pagaminamų biodujų kiekį. Pagrindiniais veiksniais, kurie lemia biodujų gamybos procesą, yra laikomi temperatūra, žaliavos sudėtis ir rūgštingumas bei įvairūs stimulatoriai ar inhibitoriai [5].

- temperatūra – metano gamyba gamtoje galima esant temperatūros diapazonui nuo 0 iki 100 laipsnių pagal Celsijų, tačiau kiekviena procese dalyvaujanti mikroorganizmų rūšis reikalauja vis kitokios temperatūros, todėl mikroorganizmus pagal temperatūrą priimta skirstyti į šias grupes: psichrofilinius (palankiausia temperatūra ~15 °C), mezofilinius (palankiausia temperatūra 25–40 °C) ir termofilinius (palankiausia temperatūra 50–60 °C) [6];
- substrato sudėtis – nuo substrato sudėties, t.y. mineralinių ir organinių medžiagų, priklauso kuo maitinasi mikroorganizmai. Skirtingiems mikroorganizmams būdingos atskiros medžiagų koncentracijos. Mikroorganizmai nustoja daugintis, esant kažkurios medžiagos trūkumui. Tas pats įvyksta, jei medžiagų koncentracijos viršija maksimalias, tuomet mikroorganizmai pradeda lėčiau daugintis, kol galiausiai visiškai nustoja. Kadangi mikroorganizmai yra sudaryti iš anglies (sudaro apie 50 % nuo sausosios masės), azoto, vandenilio ir deguonies, todėl šie elementai turi sudaryti teisingą santykį ir jų turi būti pakankamas kiekis [7];

- substrato rūgštingumas – skirtingi mikroorganizmai reikalauja skirtingo substrato rūgštingumo. Yra žinoma, kad pH diapazonas kinta nuo 0 iki 14, neutralia terpe yra laikoma, kai pH yra lygus 7, rūgštine, kai pH yra nuo 0 iki 7, o šarminė, kai nuo 7 iki 14. Žinoma, kad metano gamyba yra efektyviausia, kai substrato rūgštingumo pH vertė yra nuo 7,0 iki 8,0 [8];
- stimulatoriai bei inhibitoriai – skiriama nemažai organinių ir neorganinių veikliųjų medžiagų, kurios gali stimuliuoti arba slopinti biodujų gamybos procesą [9].

Biodujų jėgainės technologinė schema ir struktūra gali priklausyti nuo keleto veiksnių, pavyzdžiui, naudojamos žaliavos, tiekimo būdo, jėgainės dydžio, technologinio proceso parametrų, perdirbtos žaliavos panaudojimo, pagaminamo biodujų kiekio ir jų sudėties ir kt. Standartinėje biodujų jėgainėje yra numatytos substratų talpos, paruošimo ir transportavimo įrenginiai reaktoriams biodujoms gaminti, talpos pagamintų biodujų saugojimui (jos reikalingos, kadangi biodujų gamyba ir suvartojimas yra netolygus), valymo įrenginiai, talpos perdirbtai biomasei, atskyrėjai (separatoriai), valdymo ir duomenų apdorojimo sistema, deginimo įrenginys (fakelas), energijos tiekimo ir paskirstymo sistemos [1][10].

Biodujų gamybai naudojami substratai vamzdynais tiekiami į reaktorių naudojant siurbli. Substratai į jėgainės reaktorių yra tiekiami dalimis, kad būtų galima reguliuoti pagaminamų biodujų kiekį. Prieš patenkant į reaktorių, substratas atitinkamai paruošiamas tam skirtose talpose. Substrate gali pasitaikyti stambesnių priemaišų, kaip šiaudai, žolė ar kt., todėl šias priemaišas reikia pašalinti arba susmulkinti. Tai atliekama specialiai įrengiamais tinklais bei smulkinimo aparatais. Modernūs siurbliai yra komplektuojami su smulkinimo įrenginiais, todėl smulkinimas gali būti atliekamas siurbliu. Siekiant efektyvesnio biodujų gamybos proceso, substratų šildymui bioreaktoriaus viduje įrengiami šilumokaičiai, kurie pašildo terpę iki reikiamos proceso temperatūros. Siekiant išvengti nuosėdų susidarymo ir sluoksniavimosi, patiekti substratai turi būti maišomi. Efektyviam substratų maišymui įtakos turi ir pati korpuso forma, todėl nuolat ieškoma pranašesnių korpuso formų už kitas. Pagrindine reaktoriaus dalimi yra laikomas korpusas. Korpusas gali būti pagamintas iš plastmasės, plieno ir kitų medžiagų. Numatomas reaktorių tarnavimo laikas yra 25–30 metų [1].

### 1.3. Biodujų sudėtis ir savybės

Biodujų pagrindą sudaro metanas ( $\text{CH}_4$ ) ir anglies dvideginis ( $\text{CO}_2$ ), tačiau biodujose taip pat galima aptikti mažus kiekius azoto (N), vandenilio ( $\text{H}_2$ ), sieros vandenilio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ir deguonies ( $\text{O}_2$ ). Metano dujos yra pats vertingiausias elementas biodujų sudėtyje. Anglies dvideginis nėra degus, todėl jis gali būti vadinamas vidiniu kuro balastu. Biodujų energetinę vertę iš esmės lemia jose esanti metano koncentracija. Biodujos yra laikomos vertinga kuro rūšimi, jei metano koncentracija yra lygi ar didesnė nei 55 %. Metanas neturi kvapo, nėra toksiškas bei sveria mažiau nei oro molekulės. Sudegintas metanas tampa anglies dioksidu bei vandens garais. Vidutiniškai biodujų degimo šiluma gali svyruoti nuo 20 iki 25  $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ . Energetiniu požiūriu tai yra labai geras rezultatas, kuris tik maždaug vienu trečdaliu nusileidžia gamtinėms dujoms.

Toliau esančioje duomenų lentelėje (žr. 2 lent.) pateikiamos biodujas sudarančių elementų charakteristikos ir jų vertės [11].

**2 lentelė.** Biodujas sudarančių elementų charakteristikos ir jų vertės [1]

Charakteristika	Sudėtis				Biodujos
	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	



Teorinis kiekis, %	55–70	30–45	<1	<3	100
Šiluminė vertė, MJ/m <sup>3</sup>	37,7	-	10,8	22,8	22,6
Užsiliepsnojimo temperatūra, °C	650–750	-	530–590	290–487	650–750
Dujų užsiliepsnojimo ore ribinės koncentracijos, %	5-15	-	4,74	4–42	6–12
Tankis, kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2
Kritinė temperatūra, °C	-82,5	31,0	-	100	-82,5
Kritinis slėgis, bar	46	73	13	89	73–89

Iš 1-oje lentelėje pateiktos kritinės temperatūros (kuri yra labai žema) ir kritinio slėgio (kuris yra ganėtinai aukštas) reikšmės galima teigti, kad biodujų suskystinimas yra galimas, tačiau jį suskystinti būtų galima tik naudojant labai brangią įrangą, kuri suvartotų labai daug energijos.

#### 1.4. Europos Sąjungos politika biodujų srityje

Europos Sąjungos narės, tarp jų ir Lietuva, privalo laikytis Europos Sąjungoje galiojančių teisinių aktų, kurie reglamentuoja gamyboje susidarančių atliekų priežiūrą, perdirbimą ir tolimesnį naudojimą. Šios atliekos daro neigiamą įtaką teršdamos vandenį, orą bei dirvožemį, todėl šioms atliekoms tvarkyti yra išleisti teisiniai aktai.

Remiantis 2008 metų kovo 12-os dienos Europos Parlamento rezoliucija dėl tvaraus žemės ūkio ir biodujų, pripažįstama, kad biodujos yra labai svarbus energijos išteklius, kurio vartojimas skatina prisidėjimą prie tvarios ekonomikos, žemės ūkio ir kaimo plėtros ir aplinkos apsaugos. Pabrėžiami Europos Sąjungos energetinės nepriklausomybės, tiekimo saugumo, konkurencingumo ir tvarumo aspektai, prie šių aspektų formavimo didele dalimi prisidėtų ir biodujų panaudojimas. Manoma, kad tobulėjant mokslinių tyrimų srityje galima pasiekti didesnę nepriklausomybę nuo iškastinio kuro vartojimo. Raginama išnaudoti su biodujomis susijusias galimybes, skirtas skatinti investicijas į biodujų įrenginius ir į jų išlaikymą. Aplinkosauginiu aspektu nurodoma, kad biodujų gamyba iš atliekų, susidarančių gyvulininkystės srityje, yra naudinga tuo, kad mažinamas išmetamo metano, CO<sub>2</sub>, kietųjų dalelių ir azoto suboksidų kiekis. Pakartojama, kad bet kokia finansinė parama įmonėms, gaminančioms biodujas, turi būti grindžiama technologiniu efektyvumu ir pažanga, teigiama išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio pusiausvyra, naudos gyvulininkystės ūkiams ir kaimo regionams užtikrinimu [12][13].

Remiantis 2018 metų gruodžio 11-os dienos Europos Parlamento ir Tarybos direktyva dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, Europos Sąjungos narės turi pasiekti, kad 32 % energijos būtų pagaminama iš atsinaujinančių energijos išteklių iki 2030 metų, taip pat paliekamos galimybės didinti šį užsibrėžtą tikslą. Direktyvoje iš naujo apibrėžiama, kas gali būti laikoma atsinaujinančiu energijos šaltiniu ir pateikiama daugiau paaiškinimų, susijusių su biodujų ir biomasės gamyba [14].

Į sąvoką „*nemaistinės celiuliozės medžiagos*“ įtraukiamos maistinių ir pašarinių augalų liekanos, pavyzdžiui, šiaudai, kukurūzų kotai, išaižos ir kevalai, žoliniai energetiniai augalai, kuriuose yra mažai krakmolo, pavyzdžiui, aukštoji avižuelė, sora, miskantai, didžioji arundinarija ir kita [14].

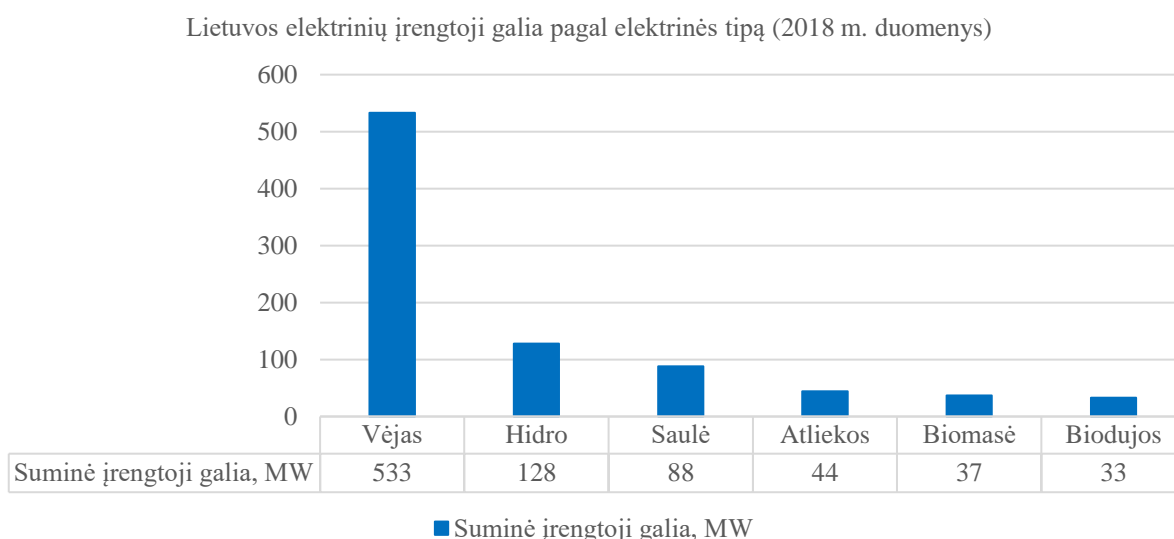
#### 1.5. AEI naudojančios elektrinės Lietuvoje

Lietuvoje esantys dideli gyvulininkystės ūkiai susiduria su problemomis, kurias sukelia gyvulių mėšlo tvarkymas. Šis mėšlas dažniausiai laikomas atvirose talpyklose, kurios vadinamos sruvų

lagūnomis. Toks mėšlo ir srutų sandėliavimo modelis kelia pavojų gruntiniams vandenims, kadangi rizikuojama juos užteršti, sudaro galimybes nemalonių kvapų atsiradimui ir išskiria metano dujas. Teisingai utilizuojamas mėšlas galėtų būti panaudojamas biodujoms gaminti, taip pat būtų išsprendžiamos problemos, susijusios su neigiamu poveikiu aplinkai. Gaminant biodujas būtų gaunamos kokybiškos trąšos, o ūkininkai galėtų generuoti papildomas pajamas.

Biodujas gaminančios įmonės dažniausiu atveju yra įsikūrusios didesniu atstumu nuo gyvenviečių, todėl iš biodujų gaminama elektros energija yra parduodama elektros skirstymo tinklams, o pagaminta šilumos energija naudojama saviems šilumos poreikiams patenkinti. Vis dėlto, didžioji dalis pagamintos šilumos energijos nėra panaudojama, kadangi dažnu atveju tam nebūna sudarytos sąlygos, nes šilumos energijos vartotojai yra toli nuo biodujas gaminančių įmonių.

Remiantis statistikos duomenimis, kurie pateikiami Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos internetiniame puslapyje, Lietuvoje yra instaliuota 200 vėjo, 102 hidro, 3050 saulės, 2 komunalinių atliekų, 162 biomasės ir 40 biodujų jėgainių, kurios yra gavusios leidimus gaminti elektros energiją iš atsinaujinančių energijos išteklių. Šių elektrinių bendroji galia sudaro 863 MW. Į statistiką papildomai įtraukta 2019 metais pastatyta nauja atliekų deginimo kogeneracinė jėgainė Kauno mieste [15].



**4 pav.** Lietuvos elektrinių suminė įrengtoji galia pagal elektrinės tipą (2018 m. duomenys)

## 1.6. Biodujų gamyba ir panaudojimas Lietuvoje

Pagrindinis biodujas gaminančių jėgainių produktas yra biodujos, kurios panaudojamos elektros ir šilumos energijai gaminti. Pats paprasčiausias energijos transformavimo būdas yra biodujų deginimas dujiniuose katiluose. Tokiu būdu biodujas galima deginti įprastuose katiluose, kurie skirti deginti gamtines dujas, tačiau biodujų deginimas mikroturbinose ar vidaus degimo varikliuose, lyginant ekonominiu aspektu, yra daug kartų naudingesnis procesas, nes sudegintų biodujų energija yra transformuojama į mechaninę ir tokiu būdu sukamas elektros generatorius, gaminama ne tik šilumos, bet ir elektros energija. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis, pagamintų biodujų kiekis Lietuvoje 2016 m. sudarė 67 mln. m<sup>3</sup>, 2017 m. – 67,6 mln. m<sup>3</sup>, o 2018 m. – 77,8 mln. m<sup>3</sup>. Iš jų didžiausia dalis buvo transformuota pramonės įmonių elektrinėse bei elektrinėse, kurių pagrindinė veikla yra energijos gamyba. 2016 m. buvo transformuota 49,8 mln. m<sup>3</sup>, kas atitinkamai sudaro 74,32

%, 2017 m. – 50,3 mln. m<sup>3</sup>, kas atitinkamai sudaro 74,4 %, o 2018 m. – 60,5 mln. m<sup>3</sup>, kas atitinkamai sudaro 77,7 %. Likusi dalis suvartota paslaugų sektoriuje arba pramonėje. Toliau pateikiama išplėstinė informacija apie įvairių rūšių biodujų gamybą ir suvartojimą Lietuvoje. Toliau pateikiami duomenys apie biodujų gamybą iš sąvartynų, nuotekų ir žemės ūkio atliekų laikotarpiu nuo 2016 iki 2018 metų [16].

**3 lentelė.** Sąvartynų biodujų gamyba ir transformavimas

	Reikšmė, mln. m <sup>3</sup>		
	2016 m.	2017 m.	2018 m.
Gamyba	17,8	10,7	20,9
Transformuota	17,1	9,9	19,6
Elektrinėse (pagrindinė veikla – gaminti energiją)	13,2	5,8	15,3
Pramonės įmonių elektrinėse	3,9	4,1	4,3
Galutinis suvartojimas	0,7	0,8	1,3
Pramonėje	0,0	0,1	0,0
Paslaugų sektoriuje	0,7	0,7	1,3

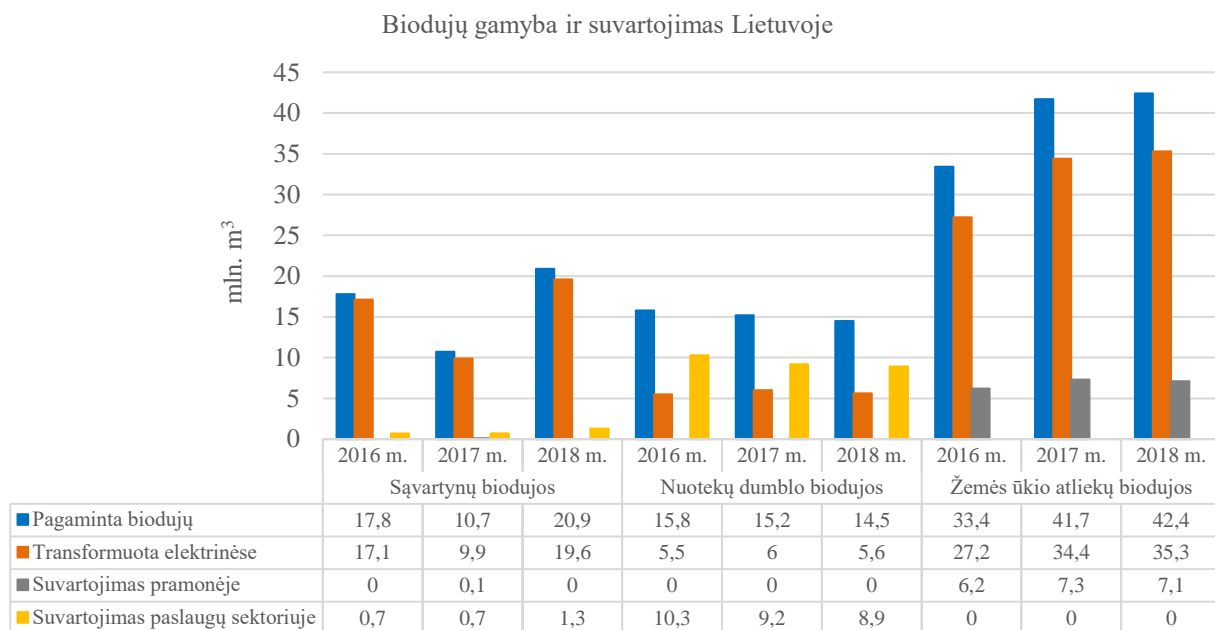
**4 lentelė.** Nuotekų valymo dumblo biodujų gamyba ir transformavimas

	Reikšmė, mln. m <sup>3</sup>		
	2016 m.	2017 m.	2018 m.
Gamyba	15,8	15,2	14,5
Transformuota	5,5	6,0	5,6
Elektrinėse (pagrindinė veikla – gaminti energiją)	0,2	-	-
Pramonės įmonių elektrinėse	5,3	6,0	5,6
Galutinis suvartojimas	10,3	9,2	8,9
Paslaugų sektoriuje	10,3	9,2	8,9

**5 lentelė.** Žemės ūkio atliekų biodujų gamyba ir transformavimas

	Reikšmė, mln. m <sup>3</sup>		
	2016 m.	2017 m.	2018 m.
Gamyba	33,4	41,7	42,4
Transformuota	27,2	34,4	35,3
Elektrinėse (pagrindinė veikla – gaminti energiją)	2,5	10,5	24,7
Pramonės įmonių elektrinėse	24,7	23,9	10,6
Galutinis suvartojimas	6,2	7,3	7,1
Pramonėje	6,2	7,3	7,1

Toliau pateikiamas biodujų gamybos ir suvartojimo Lietuvoje grafikas (žr. 5 pav.) laikotarpiu nuo 2016 iki 2018 metų. Iš pateikto grafiko matosi visas pagamintas biodujų kiekis, transformuotas biodujų kiekis elektrinėse, suvartojimas pramonėje ir paslaugų sektoriuje. Matosi, kad pateiktu laikotarpiu nuo 2016 iki 2018 metų biodujų gamyba ir suvartojimas nuosekliai auga, todėl galima daryti prielaidą, kad ateityje biodujų gamybos ir suvartojimo apimtys elektrinėse, pramonėje ir paslaugų sektoriuje toliau augs.



5 pav. Biodujų gamyba ir suvartojimas Lietuvoje [17]

Sąvokų paaiškinimas:

- transformuota elektrinėse – kuro pavertimas (šiuo atveju biodujų) į elektros arba šilumos energiją;
- suvartojimas pramonėje – pramonės įmonių energijos poreikio patenkinimui suvartotas kuras (šiuo atveju biodujos);
- suvartojimas paslaugų sektoriuje – kuras (šiuo atveju biodujos), kuris suvartotas prekybos, sveikatos, švietimo, administracinių, komunalinių, komercinių ir kitų įmonių patalpų šildymui bei apšvietimui.

### 1.7. Biodujų gamybos proceso teikiama nauda

Pagrindiniu biodujų jėgainių produktu yra laikomos biodujos, tačiau galutiniame biodujų gamybos proceso etape susidaro perdirbta biomasė, kurią tikslinga naudoti trąšų ar komposto gamybai. Perdirbta biomasė panaudojama tręšiant laukus.

Biodujų panaudojimo galimybės gali būti skirstomos į tris dalis:

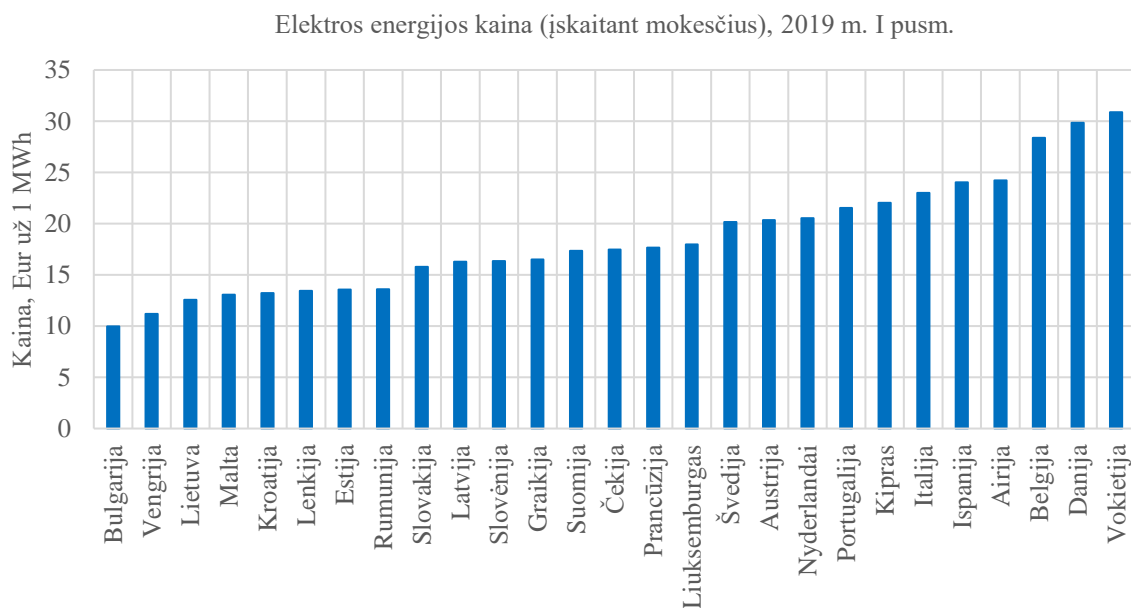
- kai biodujos nevalomos ir sudeginamos katilo pakuroje ar degimo kameroje;
- kai biodujos išvalomos minimaliai ir sudeginamos kogeneraciniame įrenginyje;
- kai biodujos išvalomos iki grynojo metano tam, kad galėtų būti tiekiamos į gamtinių dujų infrastruktūrą.

Neabejotina, kad biodujos teikia įvairiapusišką naudą visais aspektais, t.y. aplinkosauginiais, žemdirbystės, energetiniais, ekonominiais bei socialiniais. Efektyvi biodujų gamyba mažina tokių teršalų kaip metano ar azoto oksidų išmetimą į aplinką, nes biodujų gamybos procese yra tinkamai apdorojamas mėšlas ir tokiu būdu mažinamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis bei oro tarša, kuri susijusi su nemaloniais kvapais (į atmosferą išmetamas amoniakas ir kietosios dalelės). Biodujų gamyba ir naudojimas mažina energetinę priklausomybę ir padidina energetinio saugumo lygį.

kadangi naudojantis vietiniu alternatyvios energijos šaltiniu reikia mažesnio kiekio iškastinio kuro, kuris galimai importuojamas iš kitų šalių. Biodujų jėgainės sudaro galimybes perdirbti surinktą mėšlą. Perdirbto mėšlo vertė yra didesnė, nes esant anaerobiniam biodujų gamybos procesui dalis piktžolių sėklų yra suardoma ir tokiu būdu sumažėja jų daigumas, taip pat sunaikinami pavojų keliantys mikroorganizmai ir įvairūs ligų sukėlėjai. Esanti augalija geba greičiau įsisavinti maistines medžiagas, kai naudojamas perdirbtas mėšlas. Ūkininkams atsiranda galimybė sutaupyti dalį lėšų, kurios išleidžiamos mineralinių trąšų pirkimui. Mažinama rizika užteršti požeminius vandenis nitratais, kadangi perdirbtas mėšlas yra sparčiau ir daugiau įsisavinamas egzistuojančios augalijos. Naujų objektų statybai ir jų eksploatavimui yra sukuriamos naujos darbo vietos, skaičiuojama, kad 1 MW galios biodujų jėgainės eksploatavimui reikalinga nuo 2 iki 5 naujų darbo vietų. Tuose Lietuvos regionuose, kuriuose aptinkama labiau išplėtotą gamybinę bazę (įkurti žemės ūkiai, veikiančios biodujų jėgainės), bendrasis vidaus produktas auga sparčiau nei esamas vidurkis šalies atžvilgiu [18].

### 1.8. Elektros energijos kainos Lietuvoje ir Europoje

Toliau esančiame grafike (žr. 6 pav.) pateikiamos 2019 metų pirmo pusmečio elektros energijos kainos. Mažiausiai už elektros energiją mokėjo Bulgarija, šios energijos kaina sudarė 9,97 Eur už 1 MWh. Daugiausiai už elektros energiją mokėjo Vokietija, šios energijos kaina sudarė 30,88 Eur už 1 MWh. Palyginimui, Lietuva už elektros energiją mokėjo 12,55 Eur už 1 MWh [19].



6 pav. Elektros energijos kaina (įskaitant mokesčius), 2019 m. I pusmetis

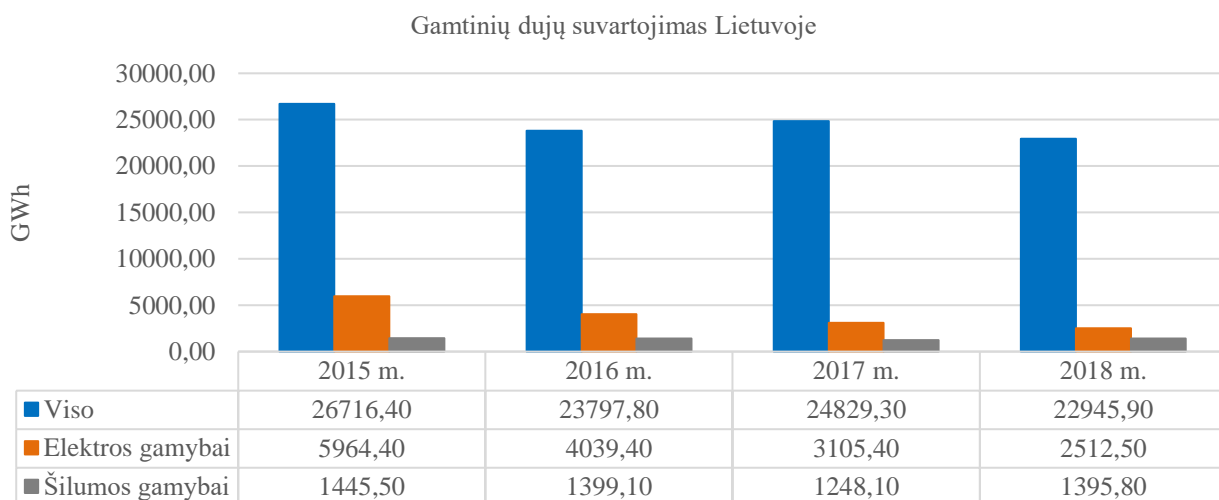
### 1.9. Gamtinių dujų istorija ir vartojimas Lietuvoje

Lietuvos teritorijų dujų fiksavimas dažniausiai vykdomas tradiciniu būdu, t.y. tiesiant dujotiekio sistemas. 1861 m. Klaipėdos mieste, 1864 m. Vilniaus mieste, o 1907 m. Šilutės mieste buvo pradėti eksploatuoti pirmieji dujų gamybos fabrikai, iš kurių gamtinės dujos vamzdynais buvo tiekiamos gyventojams. Po maždaug 100 metų gamtinių dujų tiekimo mastai įgavo dar didesnę pagreitį ir tokiu būdu Lietuvoje gamtinės dujos buvo pradėtos tiekti prie Ukrainos ir Baltarusijos magistralinio dujotiekio prijungus ir įrengus dujotiekio infrastruktūrą, tiekiančią dujas į Vilnių, šiek tiek vėliau į Kauną ir Elektrėnus, o dar vėliau ir į kitus Lietuvos miestus.

Lietuvoje nuo 2014 metų pabaigos veikia suskystintų gamtinių dujų terminalas, kuris priskiriamas prie objektų, užtikrinančių nacionalinį energetinį nepriklausomumą. Suskystintos gamtinės dujos gali būti importuojamos iš viso pasaulio, vėliau, pasitelkiant sudėtingas technologines sistemas, išgarinamos ir tiekiamos vamzdynais vartotojams. Remiantis suskystintų gamtinių dujų laivo-saugyklos dujinimo įrenginių techniniais duomenimis, reikalingas minimalus metinis kiekis nepertraukiamo veikimo užtikrinimui yra 503 mln. m<sup>3</sup>. 2015 metų pradžioje buvo pasirašyta sutartis tarp kompanijų „Statoil“ ir „Litgas“. Šia sutartimi kompanija „Statoil“ įsipareigojo penkerius metus iš eilės tiekti 540 mln. m<sup>3</sup> gamtinių dujų (iš kurių apie 950 tūkst. m<sup>3</sup> suskystintų gamtinių dujų), kad užtikrinti nenutrūkstamą terminalo veiklą.

Statistiniams skaičiavimams atlikti priimama, kad tona naftos ekvivalentu (tne) išreikštas gamtinių dujų kiekis pagal žemutinį šilumingumą yra perskaiciuojamas tokiu santykiu, t.y. 1 tne yra lygus 11,63 MWh.

Toliau pateikiamas Lietuvoje suvartotų gamtinių dujų grafikas (žr. 7 pav.). Grafike atvaizduojami rezultatai pagal 2015–2018 m. laikotarpio duomenis (duomenis galima patikrinti šioje nuorodoje: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/>).



**7 pav.** Gamtinių dujų suvartojimas Lietuvoje (2015–2018 m.)

Statistiniams skaičiavimams atlikti priimama, kad 1 m<sup>3</sup> gamtinių dujų yra lygus 10,4 kWh arba 1000 m<sup>3</sup> gamtinių dujų yra 10,4 MWh pagal viršutinį šilumingumą (duomenis galima patikrinti šioje nuorodoje: [https://www.eso.lt/lt/verslui/dujos\\_235/skirstymo-paslauga-ir-duju-silumingumas/duju-silumingumas.html](https://www.eso.lt/lt/verslui/dujos_235/skirstymo-paslauga-ir-duju-silumingumas/duju-silumingumas.html)). Remiantis pateiktu grafiku ir Lietuvos statistikos departamento pateikiamais duomenimis, galutinis gamtinių dujų suvartojimas toliau pateiktuose sektoriuose 2015 m. sudarė 26716,4 GWh, 2016 m. – 23797,8 GWh, 2017 m. – 24829,3 GWh, o 2018 m. – 22945,9 GWh (taikant viršutinį šilumingumą). Lietuva per 2015–2018 metus vidutiniškai suvartojo 3150,3 mln. m<sup>3</sup> gamtinių dujų kiekvienais metais, kas sudaro apytiksliai daugiau nei šešis kartus didesnę kiekį nei yra reikalingas minimalaus suskystintų gamtinių dujų terminalo poreikiui užtikrinti.

**6 lentelė.** Gamtinių dujų suvartojimas Lietuvoje 2016–2018 metais

	GWh (taikant viršutinį gamtinių dujų šilumingumą)		
	2016 m.	2017 m.	2018 m.

Transformuota	5469,4	4363,5	3908,3
Elektrinėse (pagrindinė veikla – gaminti energiją)	3522,6	2540,2	2186,5
Pramonės įmonių šiluminėse elektrinėse	516,8	565,2	326,0
Katilinėse (pagrindinė veikla – gaminti šilumą)	1250,0	1144,4	1297,3
Pramonės įmonių katilinėse	149,1	103,7	98,5
Geoterminiuose įrenginiuose	30,9	10,0	-
Sunaudota energetikos sektoriuje	340,5	238,6	240,3
Žalios naftos gavybos	0,7	0,5	0,4
Rafinuotų naftos produktų gamybos	17,9	19,5	14,3
Elektros, dujų, garo tiekimo ir oro kondicionavimo	321,9	218,6	225,6
Sunaudota neenergetinėms reikmėms	10864,3	12863,8	11083,5
Galutinis suvartojimas	7123,6	7363,4	7713,8
Pramonėje	3558,1	3580,7	3830,7
Statyboje	160,3	188,9	190,1
Transporte	402,2	435,8	349,5
Žemės ūkyje	277,4	281,1	270,4
Paslaugų sektoriuje	846,0	889,8	944,6
Namų ūkiuose	1879,6	1987,1	2128,5
VISO	23797,8	24829,3	22945,9

### 1.10. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija

2018 metų birželio mėnesį patvirtintoje nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijoje pateikiami Lietuvos energetikos sektoriaus tikslai, vizijos ir uždaviniai. Daug dėmesio skiriama konkurencingumui, patikimumui, aplinkos oro taršos mažinimui. Aprašomos pagrindinės tendencijos pasaulyje, kurių Lietuva sieks šioje strategijoje numatytu laikotarpiu, pavyzdžiui, iškastinio kuro mažinimas, spartus energijos vartojimo efektyvumo didinimas, atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas. Kad to pasiektų, Lietuva imsis konkurencinių priemonių, skatinančių investuoti į vietinės energijos gamybos technologiją ir tokiu būdu užtikrinti vietinių energijos išteklių panaudojimą, taip pat planuose numatyta sukurti efektyviai veikiančią gamtinių dujų rinką Baltijos šalyse ir kt. Akcentuojamas tiekiamos energijos patikimumo užtikrinimas, nes nuo to priklauso šalies gyventojų saugumas, jų gerovė ir šalies ekonomikos augimas. Vienas iš būdų užtikrinti patikimai tiekiamą energiją yra elektros sistemos sinchronizavimas su kontinentinėje Europoje esančia sistema. Pabrėžiama, kad sistemos sinchronizavimas turi būti įgyvendintas iki 2025 m., nes tai yra saugumo prioritetasis. Kitas tikslas, kurį svarbu pasiekti, yra Lietuvos ir Lenkijos dujų tiekimo jungties projekto užbaigimas, jį planuojama užbaigti iki 2021 metų. Įgyvendinus šį projektą, bus padidintas energijos tiekimo saugumas ir skatinama konkurencija tarp tiekėjų, taip pat bus sudarytos sąlygos efektyvinti naudojimąsi suskystintų gamtinių dujų terminalu Klaipėdoje [20].

Siekama, kad ateityje importuotą elektros energiją pakeis vietinė elektra, kurią gaminsime pasinaudodami ištekliais, galinčiais gaminti švarią ir ekonomišką elektros energiją. Šiam siekiui įgyvendinti, planuojama, kad jau 2020 metais bendrai suvartojama galutinė elektros energija turės būti bent 35 % dalimi pagaminta Lietuvoje, o 65 % – importuota. Vėliau pagamintas vietinės elektros

energijos kiekis turės didėti ir 2030 m. sudaryti bent 70 % bendrai suvartojamos galutinės elektros energijos, o iki 2050 metų turėsime pasiekti 100 % rodiklį [20].

Taip pat minima oro taršos mažinimo svarba, pabrėžiama, kad svarbu taupyti energiją, nes tai gali sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir pagerinti oro kokybę. Dėl šios priežasties bus siekiama įtraukti saulės kolektorius, kaip įrangą padedančią gaminti šilumą vartotojams prisijungusiems prie centralizuoto šilumos tiekimo, taip pat įvairiomis priemonėmis bus skatinama įsigyti naujausias ir aplinkai palankiausias technologijas. Todėl iki 2050 metų yra užsibrėžti šie tikslai: iki 2020 metų pasiekti, kad 30 % bendrai suvartojamos galutinės energijos būtų pagaminta iš atsinaujinančių energijos šaltinių, 45 % – iki 2030 metų ir 80 % – iki 2050 metų [20].



## **2. Tyrimo objektas ir metodika**

### **2.1. Esamo biodujų gavybos šaltinio apžvalga ir prielaidos**

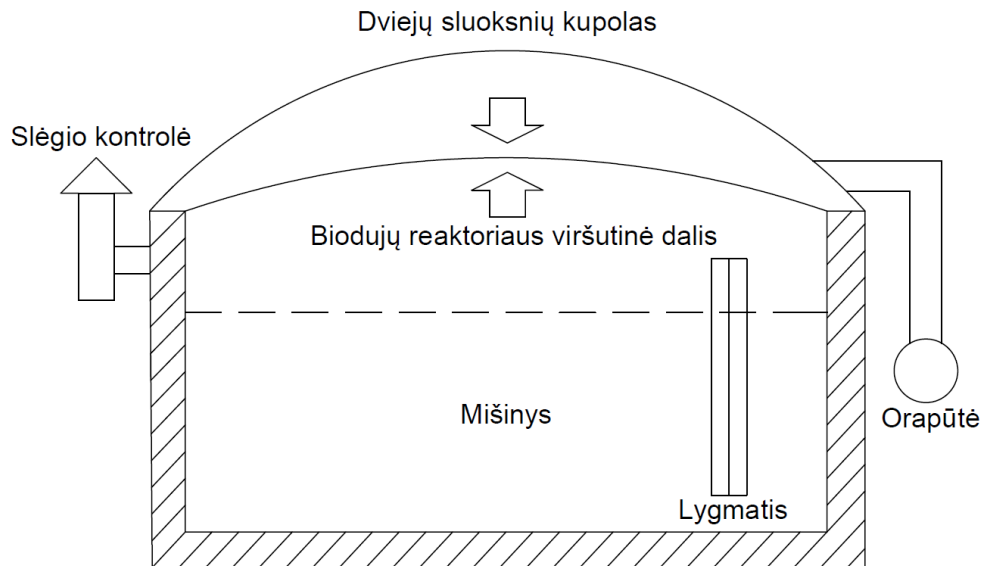
Analizuojamu objektu pasirinktas kiaulininkystės kompleksas Molėtų r. savivaldybėje. Pagrindinė šio kiaulininkystės komplekso veikla yra kiaulių auginimas ir žemdirbystė. Šią veiklą bendrovė vykdo nuo 1969 metų. Komplekse auginama 650 paršavedžių, 3600 kiaulių ir 2300 paršelių. Visi gyvuliai auginami viename pastate, kuriame įrengti devyni tvartai. Visi tvartai sujungti koridorinės sistemos pagalba. Mėšlo iš tvartų šalinimui naudojamas hidroplovimas. Surinktas mėšlas naudojamas kaip trąša laukams tręšti. Šiuo metu mėšlas kaupiamas atvirose talpose, kurių bendra talpa ~12000 m<sup>3</sup>, viso naudojamos dvi talpos. Apsaugai nuo amoniako ir nemalonaus kvapo yra naudojamas purškiamas biostabilizatorius, kuris skatina natūralių mikroorganizmų vystymąsi. Suprojektavus ir įrengus biodujų jėgainę, mėšlo kaupimo metu išsiskiriančio amoniako kiekis apytiksliai sumažės 98–99 procentais.

Šiame skyriuje analizei projektuojama biodujų jėgainė su mikroturbina. Alternatyvia technologija energijos gamybai pasirinktas vidaus degimo variklis. Šios dvi technologijos bus palygintos tarpusavyje ekonominio skaičiavimo skyriuje.

### **2.2. Biodujų jėgainės įrengimas ir technologiniai sprendimai**

Biodujų jėgainės įrengimui planuojama pasinaudoti šiuo metu nenaudojama kiaulininkystės komplekse esančia mėšlide, kurios plotas sudaro 1300 m<sup>2</sup>. Biodujų gamybai reikiamos medžiagos (skystas mėšlas, nuotekos, skerdyklos produktai arba mišinys) bus tiekiamos iš esamų tvartų ir kiaulininkystės komplekso pastatų į siurblinę, kurioje šiuo metu veikia 22 kW elektrinio galingumo siurblys su smulkintuvu. Smulkintuvo pagalba smulkinamos mišinyje pasitaikančios stambios priemaišos. Iš siurblinės biodujų gamybos produktai bus tiekiami į naujai planuojamą įrengti bioreaktorių. Pastovios temperatūros palaikymas bioreaktoriuje yra viena iš svarbiausių sąlygų, kuri užtikrina nuoseklų darbą ir didelę biodujų išėigą, todėl bioreaktoriuje bus įrengiama mišinio šildymo sistema, kurią sudarys biodujų mikroturbina, šilumokaitis po mikroturbinos ir bioreaktoriuje įrengti šildymo vamzdiniai. Maksimaliam šilumos nuostolių sumažinimui bioreaktorių bus padengtas šiluminės izoliacijos sluoksniu. Bioreaktoriaus viduje bus įrengta maišyklė, kuri neleis mišiniui stingti ir susidaryti nuosėdoms, taip pat sudarys lengvesnes sąlygas mikroorganizmams kontaktuoti su naujai įkrautu mišiniu ir tinkamai paskirstys maistingas medžiagas. Mišinio fermentacijos trukmė užtruks maždaug 45 dienas, to rezultatas – pagaminamos biodujos ir laukų tręšimui tinkamas substratas.

Pagamintos biodujos kaupsis bioreaktoriaus viršutinėje dalyje. Ši dalis pavaizduota toliau esančiame paveikslėlyje (žr. 8 pav.). Biodujų saugojimas viršutinėje bioreaktoriaus dalyje yra reikalingas dėl netolygios biodujų gamybos. Bioreaktoriaus kupolas sudarytas iš dvejų sluoksnių dangos. Didėjant pagamintų biodujų tūriui (kartu ir slėgiui), bioreaktoriaus viduje esantis dangos sluoksnis plečiasi, todėl didėja ir bioreaktoriaus viršutinės dalies tūris. Bioreaktoriaus viduje naudojami dujų lygio indikacijos prietaisai, kurie užtikrina, kad į bioreaktorių nepatektų nepageidaujamas deguonies kiekis. Išorėje įrengta orapūtė palaiko reikiamą slėgį, kad nesubliukštų bioreaktoriaus kupolai, nes kupolai gaminami iš brezento medžiagos. Bioreaktoriaus išorėje įrengtos aptarnavimo aikštelės ir apžiūros stiklai, per kuriuos galima stebėti bioreaktoriuje vykstantį biodujų gamybos procesą. Šio proceso metu palaikomas pastovus ~3 mbar slėgis. Toliau pateikiama principinė biodujų reaktoriaus schema (žr. 8 pav.).



**8 pav.** Biodujų reaktoriaus principinė schema

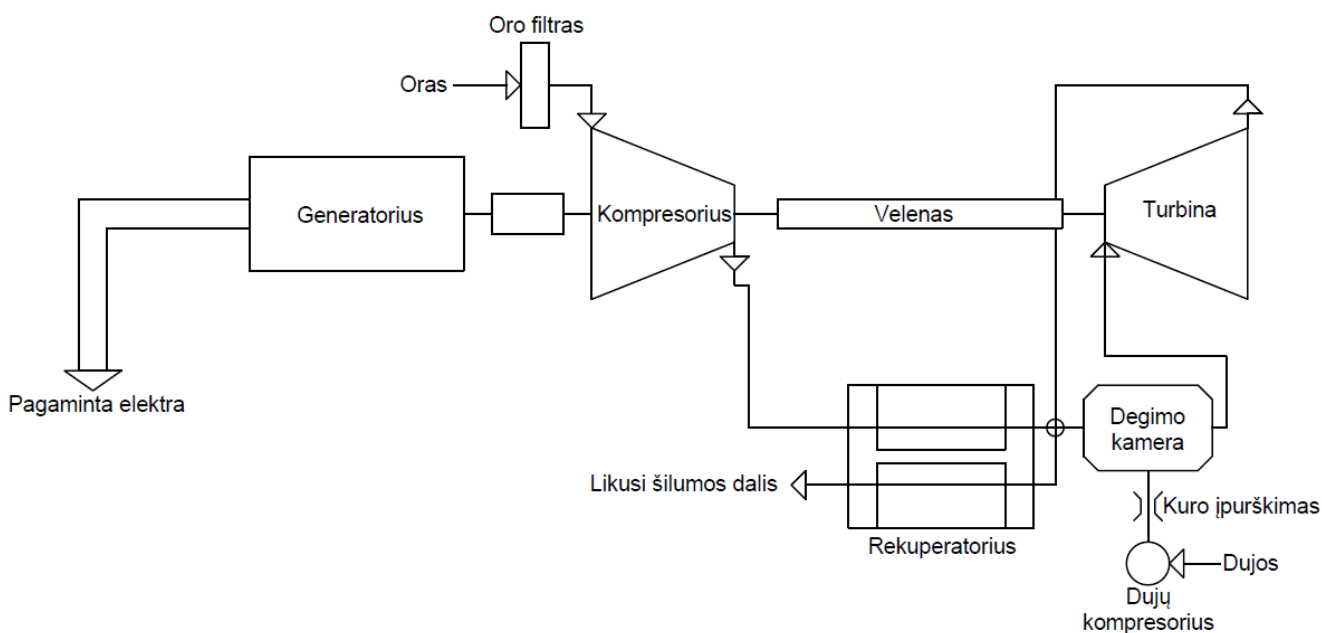
Sekančiuose skyreliuose yra pateikiama mikroturbinės technologijos apžvalga ir aprašomi pagrindiniai mikroturbinės privalumai gaminant elektros ir šilumos energiją.

### 2.3. Mikroturbinės panaudojimas elektros ir šilumos energijos gamybai

Pagrindiniai mikroturbinų panaudojimo privalumai mažosios energetikos sektoriuje yra šie:

- ilgas eksploatavimo laikotarpis – skirtingi mikroturbinų gamintojai garantuoja, kad jų mikroturbinės patikimai veikia nuo 80 tūkst. iki 120 tūkst. darbo valandų [21];
- sąlyginai mažos techninės priežiūros sąlygos – mikroturbinės planiniai sustojimai vyksta kas 8 tūkst. darbo valandų. Šių sustojimų metu keičiamos uždegimo žvakės, kuro ir oro filtrai. Purkštukai ir terminiai elementai keičiami kas maždaug 20 tūkst. darbo valandų;
- deginamo kuro kokybė – šioje vietoje mikroturbinės yra gerokai pranašesnės už vidaus degimo variklius, nes mikroturbinose gali būti naudojamos įvairių tipų dujos, pavyzdžiui, biodujos, sąvartynų dujos, gamtinės dujos, kuriose sieros kiekis gali sudaryti net iki 7 %. Palyginimui, vidaus degimo varikliai gali deginti dujas, kuriose sieros kiekis neviršija 0,3 %. Taigi, naudojant mikroturbines, sieros pašalinamo įranga nėra reikalinga. Pasaulyje yra mikroturbinų, galinčių deginti dujas, kuriose metano kiekis yra 35 % arba kiek mažiau. Palyginimui, minimalus metano kiekis dujose, kurias dar galima deginti vidaus degimo varikliuose yra apie 60–65 % [22];
- paprastesnė šilumos perdavimo sistema – nereikalingi papildomi šilumokaičiai, kadangi iš mikroturbinės išmetamas degimo dujas galima nuvesti tiesiai į šildymo katilą. Skystame kuro katile galima sumontuoti specialų degiklį ir panaudoti deguonį, esantį degimo dujose;
- garso lygis – mikroturbinų keliamas triukšmo lygis yra mažesnis nei vidaus degimo variklių ir vidutiniškai siekia 85 dB. Vidaus degimo varikliai vidutiniškai sukelia maždaug 15–20 dB didesnę triukšmo lygį;
- aplinkosauga – mikroturbinose vykstančiame degimo procese naudojamas aukštas oro pertekliaus koeficientas, todėl, jei lygintume vidaus degimo variklius su mikroturbinomis, tai mikroturbinose susidarančios azoto oksidų ir anglies monoksidų koncentracijos yra nuo 5 iki 10 kartų mažesnės, kai deguonies koncentracija (perskaičiuota) yra 5 % [23].

Toliau pateikiama principinė mikroturbinos schema (žr. 9 pav.). Degimo procesui reikalingas oras paimamas iš aplinkos, šis oras tuo pat metu aušina generatorių. Iš aplinkos paimtas oras išvalomas specialiu oro filtru. Generatorius naudojamas starterio funkcijai atlikti mikroturbinos paleidimo metu. Generatorius įsuka mikroturbiną iki paleidimui reikalingo sukimosi greičio. Paleidimo trukmė užima 1–2 minutes. Kompresoriaus pagalba suslėgtas oras nukreipiamas į rekuperatorių. Rekuperatoriuje vyksta oro pašildymo procesas. Orui pašildyti naudojamas mikroturbinos išmetamų degimo dujų šiluminis potencialas. Suslėgtas ir pašildytas oras nukreipiamas degimo kameros link. Dujų kompresoriaus pagalba suslegiamas kuras, kuris, prieš išpurškiant į degimo kamerą, yra sumaišomas su suslėgtu ir pašildytu oru. Degimo kameroje susidariusios karštos dujos nukreipiamos į turbiną, kuri, kaip ir generatorius, veleno pagalba yra sujungta vienoje ašyje. Turbina suka veleną ir prie jo pritvirtintą generatorių. Tokiu būdu pagaminama elektros energija, o likusi šilumos energijos dalis gali būti panaudota kitoms reikmėms [23].



9 pav. Principinė mikroturbinos schema

#### 2.4. Technologinės prielaidos ir skaičiavimai mikroturbinos parinkimui

Pasirinktame kiaulininkystės komplekse auginama 650 paršavedžių, 3600 kiaulių ir 2300 paršelių. Per metus šiame kiaulininkystės komplekse susidaro 8530 kub. m. mėšlo, 104 tonų gyvulių virškinamojo trakto turinio, 1200 m<sup>3</sup> nuotekų (susidarančių skerdykloje) ir 310 m<sup>3</sup> buitinių nuotekų. Susidaręs mėšlas hidroplovimu patenka į transporterį. Skaičiavimams supaprastinti, priimsime, kad 1 kubinis metras atliekos šaltinio yra lygus 1 tonai masės vieneto. Remiantis šiais duomenimis, toliau pateikiamas mikroturbinos parinkimo skaičiavimas, kuriuo nustatomas reikiamas elektrinis ir šiluminis mikroturbinos galingumas.

Projektuojamas biodujų reaktorius bus užkraunamas skysto pavidalo organine medžiaga. Tai yra vienas iš populiariausių būdų gaminti biodujas. Tačiau per didelis sausos medžiagos koncentracijos sumažinimas nėra pageidaujamas, kadangi tokiu atveju reiktų projektuoti didesnės talpos biodujų reaktorius, padidėtų reikalingas energijos kiekis mišinio šildymui, pamašymui ir transportavimui. Pernelyg aukšta sausos medžiagos koncentracija pablogina biodujų gamybos procesą, mišinio pamašymą ir gali užkimšti vamzdinius. Todėl pastoviu režimu veikiančiuose biodujų reaktoriuose

rekomenduojama sausos medžiagos koncentraciją palaikyti diapazone nuo 6 iki 12 % ir taip išvengti nepageidaujamų reiškinių [1].

Skaičiavimams atlikti priimsime, kad biodujose esančio metano koncentracija sudarys 65 % [24], taip pat priimama, kad žemutinis metano šilumingumas yra 35,8 MJ/m<sup>3</sup>. Toliau lentelėje (žr. 7 lent.) pateikiama biodujų išeiga pagal atliekos šaltinį.

**7 lentelė.** Biodujų išeiga pagal atliekos šaltinį

Atliekos šaltinis	Kiekis, t	Biodujų išeiga iš mišinio, Nm <sup>3</sup> /t
Skystas kiaulių mėšlas	8530	30
Gyvulių virškinamojo trakto turinys	104	50
Skerdyklos nuotekos	1200	25
Buitinės nuotekos	310	20

Toliau lentelėje (žr. 8 lent.) pateikiami biodujų cheminiai komponentai [Karellas et al., 2010, Kapdi, et al., 2005, Ryckeboscha, et al., 2011].

**8 lentelė.** Pagrindiniai biodujas sudarantys cheminiai komponentai

Parametras	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Biodujos
Kiekis, %	65	29	5	<1	100
Žemutinis šilumingumas, MJ/m <sup>3</sup>	35,8	-	-	-	23,27
Tankis, kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Apskaičiuojamas žemutinis biodujų šilumingumas:

$$Q_{\text{šil.}}^{\text{žem.}} = \%_{\text{CH}_4} \cdot LCV_{\text{CH}_4} \quad (1)$$

čia  $Q_{\text{šil.}}^{\text{žem.}}$  – žemutinis biodujų šilumingumas,  $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$

$\%_{\text{CH}_4}$  – metano koncentracija biodujose, %

$LCV_{\text{CH}_4}$  – žemutinis metano šilumingumas,  $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$

$$Q_{\text{šil.}}^{\text{žem.}} = 0,65 \% \cdot 35,8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 23,27 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 6,46 \text{ kWh/m}^3$$

Priimama, kad specifinis biodujų kiekis yra 30 Nm<sup>3</sup>/t, tuomet apskaičiuojamas per metus iš kiaulių mėšlo pagamintas biodujų tūris [25]:

$$V_{\text{kiaulių mėšlas}} = m_{\text{kiaulių mėšlas}} \cdot P_{\text{kiaulių mėšlas}} \quad (2)$$

čia  $V_{\text{kiaulių mėšlas}}$  – iš kiaulių mėšlo pagamintas biodujų tūris per metus,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$

$m_{\text{kiaulių mėšlas}}$  – per metus susidaranti kiaulių mėšlo masė, t

$P_{\text{kiaulių mėšlas}}$  – specifinis biodujų kiekis,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{t}}$

$$V_{\text{kiaulių mėšlas}} = 8530 \text{ t} \cdot 30 \frac{\text{Nm}^3}{\text{t}} = 255900 \frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$$

Priimama, kad specifinis biodujų kiekis yra  $50 \text{ Nm}^3/\text{t}$ , tuomet apskaičiuojamas per metus iš virškinamojo trakto turinio pagamintas biodujų kiekis:

$$V_{\text{viršk. trakto tur.}} = m_{\text{viršk. trakto tur.}} \cdot P_{\text{viršk. trakto tur.}} \quad (3)$$

čia  $V_{\text{viršk. trakto tur.}}$  – iš virškinamojo trakto turinio pagamintas biodujų tūris per metus,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$

$m_{\text{viršk. trakto tur.}}$  – per metus susidaranti virškinamojo trakto turinio masė,  $t$

$P_{\text{viršk. trakto tur.}}$  – specifinis biodujų kiekis,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{t}}$

$$V_{\text{viršk. trakto tur.}} = 104 \text{ t} \cdot 50 \frac{\text{Nm}^3}{\text{t}} = 5200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$$

Priimama, kad specifinis biodujų kiekis yra  $25 \text{ Nm}^3/\text{t}$ , tuomet apskaičiuojamas per metus iš skerdyklos nuotekų pagamintas biodujų kiekis:

$$V_{\text{skerdyklos nuotek.}} = m_{\text{skerdyklos nuotek.}} \cdot P_{\text{skerdyklos nuotek.}} \quad (4)$$

čia  $V_{\text{skerdyklos nuotek.}}$  – iš skerdyklos nuotekų pagamintas biodujų tūris per metus,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$

$m_{\text{skerdyklos nuotek.}}$  – per metus susidaranti skerdyklos nuotekų masė,  $t$

$P_{\text{skerdyklos nuotek.}}$  – specifinis biodujų kiekis,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{t}}$

$$V_{\text{skerdyklos nuotek.}} = 1200 \text{ t} \cdot 25 \frac{\text{Nm}^3}{\text{t}} = 30000 \frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$$

Priimama, kad specifinis biodujų kiekis yra  $20 \text{ Nm}^3/\text{t}$ , tuomet apskaičiuojamas per metus iš buitinių nuotekų pagamintas biodujų kiekis:

$$V_{\text{buitinės nuotek.}} = m_{\text{buitinės nuotek.}} \cdot P_{\text{buitinės nuotek.}} \quad (5)$$

čia  $V_{\text{buitinės nuotek.}}$  – iš buitinių nuotekų pagamintas biodujų tūris per metus,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$

$m_{\text{buitinės nuotek.}}$  – per metus susidaranti buitinių nuotekų masė,  $t$

$P_{\text{buitinės nuotek.}}$  – specifinis biodujų kiekis,  $\frac{\text{Nm}^3}{\text{t}}$

$$V_{\text{buitinės nuotek.}} = 310 \text{ t} \cdot 20 \frac{\text{Nm}^3}{\text{t}} = 6200 \frac{\text{Nm}^3}{\text{metus}}$$

Apskaičiuojamas viso planuojamas pagaminti biodujų kiekis per metus normalinėmis sąlygomis:

$$V_{\text{sum}} = V_{\text{kiaulių mėšlas}} + V_{\text{viršk. trakto tur.}} + V_{\text{skerdyklos nuotek.}} + V_{\text{buitinės nuotek.}} \quad (6)$$

$$V_{sum} = 255900 + 5200 + 30000 + 6200 = 297300 \frac{Nm^3}{metus} = 33,94 \frac{Nm^3}{h}$$

Šiame skaičiavime normalinėmis sąlygomis laikysime biodujas, kurių slėgis yra 101325 Pa (1,01325 bar), o temperatūra 273,15 K (0 °C). Pagamintos biodujos prieš patekdamos į mikroturbiną yra suslegiamos iki darbinio slėgio, kuris paprastai mikroturbinų sistemose svyruoja nuo 345 iki 552 kPa slėgio. Šį slėgį nustato mikroturbinų gamintojai, jis priklauso nuo dujų tipo ir jų parametrų. Biodujos suslegiamos prieš mikroturbiną esančio kompresoriaus pagalba. Biodujų perskaičiavimui iš normalinio slėgio į darbinį naudosime kombinuotą dujų lygtį, kuri teigia, kad santykis tarp dujų slėgio ir tūrio sandaugos ir temperatūros yra tiesiogiai proporcingas tam pačiam, tik kitų parametrų santykiui. Priimama, kad projektuojamu atveju biodujų temperatūra prieš kompresorių yra 30 laipsnių pagal Celsijų, o slėgis po kompresoriaus 3,69 bar. Perskaičiuojame biodujų tūrį po kompresoriaus realiomis sąlygomis:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_{2,mik.g.}}{T_2} \quad (7)$$

$$V_{2,mik.g.} = \frac{1,01325 \text{ bar} \cdot 33,94 \text{ m}^3 \cdot 303,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K} \cdot 3,69 \text{ bar}} = 10,34 \text{ m}^3$$

čia  $p_1$  – biodujų slėgis prieš kompresorių, *bar*

$V_1$  – biodujų tūris prieš kompresorių, *m*<sup>3</sup>

$T_1$  – biodujų temperatūra prieš kompresorių, *K*

$p_2$  – biodujų slėgis po kompresoriaus, *bar*

$V_2$  – biodujų tūris po kompresoriaus, *m*<sup>3</sup>

$T_2$  – biodujų temperatūra po kompresoriaus, *K*

Apskaičiuojamas biodujų energijos potencialas:

$$E_{2,mik.g.} = Q_{\text{šil.}}^{\text{žem.}} \cdot V_{sum} \quad (8)$$

$$E_{2,mik.g.} = 23270 \frac{kJ}{Nm^3} \cdot 33,94 \frac{Nm^3}{h} = 789783,8 \text{ kJ}$$

čia  $E_{2,mik.g.}$  – energijos kiekis, *kJ*

$Q_{\text{šil.}}^{\text{žem.}}$  – žemutinis biodujų šilumingumas,  $\frac{kJ}{Nm^3}$

$V_{sum}$  – pagaminamas biodujų tūris per valandą,  $\frac{Nm^3}{h}$

Toliau lentelėje (žr. 9 lent.) pateikiami pasirinktos Capstone gamintojo dujų mikroturbinos parametrai:

**9 lentelė.** Pasirinktos mikroturbinos parametrai

Parametras	Reikšmė
------------	---------

Gamintojas, šalis	Capstone, JAV
Modelis	C65
Šilumokaičio modelis	ITC 1
Galia, kW	65
Dujų kompresoriaus galia, kW	4
Oro kompresoriaus galia, kW	1
Vandens siurblio galia (šilumokaičio pusėje), kW	1
Elektrinė galia (netto), kW	59
Tiekiamo kuro energijos srautas <sup>1</sup> , kJ/h / kW	806904 / 224,14
Naudingos (atiduodamas) šilumos energijos srautas <sup>2</sup> , kW	112,07
Elektrinės galios (netto) ir šilumos santykis	0,53
Elektrinis efektyvumas, %	29
Šiluminis efektyvumas, %	50
Suminis efektyvumas, %	79

Pagamintos elektros energijos kiekis priklauso nuo įrangos tipo ir generuojamos galios, taip pat nuo naudojamo kuro kokybės ir darbinių aplinkos sąlygų. Iš keleto galimų modelių šiam modeliavimo tyrimui pasirinkta Capstone C65 mikroturbina, į kurią galima tiekti biodujas, turinčias žemą metano koncentraciją ir didelius kiekius teršalų. Ši turbina konstrukciniu atžvilgiu yra paprastas įrenginys, galintis patenkinti energijos poreikį analizuojamu atveju, be to, jos kaina santykinai žema. Pasirinkta C65 mikroturbina dirba 96000 apsisukimų per minutę greičiu, kai tiekiamo kuro energija yra 806904 kJ/h, o slėgis 369 kPa. Ši mikroturbina turi trejų fazių elektros generatorių (400/480 VAC, 50/60 Hz), kuris per valandą pagamina iki 65 kWh elektros energijos. Sistemos elektrinis efektyvumas siekia 29 % (prie 283,15 K) prie pilnos apkrovos. Mikroturbina gali būti prijungta tiesiogiai prie elektros tinklų arba kitų įrenginių. Atidirbusių degimo produktų temperatūra po rekuperatoriaus yra 309 laipsniai pagal Celsijų (582,15 K). Išmetamų degimo produktų srautas sudaro 0,49 kg/s.

Apskaičiuojamas mikroturbinais reikalingas užtikrinti biodujų srautas esant maksimaliam galingumui:

$$V_{2,mik.s.} = \frac{Q_{b.s.}}{Q_{šil.}^{žem.}} \quad (9)$$

$$V_{2,mik.s.} = \frac{806904 \frac{kJ}{h}}{23270 \frac{kJ}{m^3}} = 34,68 \frac{Nm^3}{h}$$

čia  $V_{2,mik.s.}$  – mikroturbinos suvartojamas biodujų tūris,  $\frac{Nm^3}{h}$

$Q_{b.s.}$  – maksimaliai leistinas biodujų energijos kiekis,  $\frac{kJ}{h}$

$Q_{šil.}^{žem.}$  – žemutinis biodujų šilumingumas,  $\frac{kJ}{m^3}$

<sup>1</sup> Tiekiamo kuro energija ir efektyvumo vertės pateikiamos remiantis žemutine biodujų šilumingumo verte.

<sup>2</sup> Naudinga šilumos energija laikoma karšto vandens gamyba, kurio temperatūra yra 80 °C.

Priimama, kad biodujų gamyba reaktoriuje vyks visus metus, t.y. 8760 valandų, o mikroturbinos darbo laikas per metus sudarys 8200 valandų. Apskaičiuojamas biodujų gamybos ir suvartojimo balansas:

$$B_{gamyba} - B_{suvartojimas} = V_{sum} \cdot T - V_{2,mik.s.} \cdot T \quad (10)$$

$$33,94 \frac{Nm^3}{h} \cdot 8760 h - 34,68 \frac{Nm^3}{h} \cdot 8200 h = 12938,4 Nm^3$$

čia  $B_{gamyba}$  – biodujų reaktoriuje pagaminamas biodujų kiekis,  $\frac{Nm^3}{h}$

$B_{suvartojimas}$  – mikroturbinos degimo kameroje sudeginamas biodujų kiekis,  $\frac{Nm^3}{h}$

Iš apskaičiuoto biodujų gamybos ir suvartojimo balanso matosi, kad per metus susidarys 12938,4 Nm<sup>3</sup> biodujų perteklius. Pagamintos biodujos bus kaupiamos viršutinėje bioreaktoriaus dalyje, todėl bus užtikrinamas pastovus reikiamo srauto tiekimas į mikroturbiną.

Pagamintos elektros energijos kiekiui apskaičiuoti gali būti taikoma toliau esanti formulė. Šiuo atveju skaičiuojamas pagamintos elektros kiekis, kai mikroturbina dirba prie 100 % apkrovos, taigi generuojamos elektros energijos srautas 65 kW.

$$P_{el.mik.} = P_{mik.g.} \cdot \frac{E_{2,mik.s.}}{Q_{b.s.}} \quad (11)$$

čia  $P_{el.mik.}$  – mikroturbinos generatoriaus pagaminama elektros energija, kWh

$P_{mik.g.}$  – mikroturbinos generatoriaus galia, kW

$E_{2,mik.s.}$  – į mikroturbiną patiektų biodujų energija, kJ

$Q_{b.s.}$  – maksimaliai leistinas biodujų energijos kiekis,  $\frac{kJ}{h}$

Proceso efektyvumo didinimui atliekinė šiluma iš išmetamų degimo produktų panaudojama vandens šildymui. Šilumokaitis yra prijungiamas tiesiogiai prie karštų degimo produktų išmetimo atvamzdžio. Mikroturbinos šilumokaitis naudoja 1 kW galios vandens siurbį, kuris cirkuliuoja vandenį šildymo kontūre.

Skaičiavimams atlikti priimama, kad per šilumokaitį tekantis vandens srautas bus tiekiamas į kiaulininkystės komplekse esančius tvartus ir šildys patalpas. Priimama, kad grįžtančio vandens temperatūra bus lygi 45 laipsniams pagal Celsijų, o paduodamo vandens 80 laipsnių pagal Celsijų. Tuomet apskaičiuojamas vandens masinis debitas per šilumokaitį:

$$G_{mv} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t} \quad (12)$$

$$G_{mv} = \frac{112,07 kW}{4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (80 - 45) ^\circ C} = 0,77 \frac{kg}{s} = 2757,7 \frac{kg}{h}$$

čia  $G_{mv}$  – masinis vandens debitas,  $\frac{kg}{h}$



$Q$  – šilumokaičio galia,  $kW$

$c_p$  – specifinė vandens šiluma,  $\frac{kJ}{kg \cdot K}$

$\Delta t$  – temperatūrų skirtumas tarp paduodamo ir grįžtamo vandens,  $^{\circ}C$

Apskaičiuojamas tūrinis vandens debitas per šilumokaitį, kad būtų galima įsitikinti, jog esami cirkuliaciniai siurbiai bus pajėgūs užtikrinti nepriekaištingą vandens cirkuliaciją.

$$G_V = \frac{G_{mv}}{\rho_{H_2O}} \quad (13)$$

$$G_V = \frac{2757,7 \frac{kg}{h}}{981,9 \frac{kg}{m^3}} = 2,81 \frac{m^3}{h}$$

čia  $G_V$  – tūrinis vandens debitas,  $\frac{kg}{h}$

$G_{mv}$  – masinis vandens debitas,  $\frac{kg}{h}$

$\rho_{H_2O}$  – vandens tankis,  $\frac{kg}{m^3}$

Atliekamas patikrinamasis vamzdyno skersmens skaičiavimas, kad būtų įsitikinta, jog esami kaulininkystės komplekso vamzdyno skersmens matmenys yra tinkami. Apskritimo ploto skaičiavimui atlikti pasitelkiama toliau esanti formulė.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (14)$$

Pasinaudojama literatūroje [26] pateikta formulė:

$$A = \frac{G_{mv}}{\rho \cdot w} \quad (15)$$

Iš šių formulių išreiškiamas srauto greitis ir atliekamas patikrinamasis srauto greičio skaičiavimas pagal esamą vamzdyno diametrą, kuris yra DN25 (vidinis diametras 26,64 mm).

$$w = \frac{4 \cdot G_{mv}}{\rho_{H_2O} \cdot \pi \cdot d^2} \quad (16)$$

$$w = \frac{4 \cdot 0,77 \frac{kg}{s}}{981,9 \frac{kg}{m^3} \cdot \pi \cdot 0,02664^2 m} = 1,41 m/s$$

čia  $w$  – termofikacinio vandens greitis,  $\frac{m}{s}$

$G_{mv}$  – masinis vandens debitas,  $\frac{kg}{h}$

$\rho_{H_2O}$  – vandens tankis,  $\frac{kg}{m^3}$

$d$  – vidinis vamzdyno skersmuo,  $m$

Pagal literatūroje [26] pateiktą informaciją, toks termofikacinio vandens greitis vamzdyne yra galimas, todėl priimama, kad skaičiavimai yra teisingi.

Apskaičiuojama pro kaminą ištekančių degimo produktų temperatūra. Skaičiavimams priimama, kad į šilumokaitį įtekančių degimo produktų temperatūra yra 309 °C, entalpija 328 kJ/kg, srautas 0,49 kg/s, naudingai gaminamos šilumos energijos srautas 112,07 kW. Iš toliau pateiktos lygties išreiškiama ir apskaičiuojama degimo produktų entalpija po šilumokaičio, t.y. pro kaminą.

$$Q = (h_1 - h_2) \cdot F \quad (17)$$

$$h_2 = h_1 - \frac{Q}{F} = 328 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{112,07 \text{ kW}}{0,49 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} = 99,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

čia  $Q$  – naudingai generuojama (arba gaminama) šiluma,  $kW$

$h_1$  – degimo produktų entalpiją prieš šilumokaitį,  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$h_2$  – degimo produktų entalpija po šilumokaičio,  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$F$  – degimo produktų srautas,  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Apskaičiavus į aplinką išmetamų degimo produktų entalpiją ir taikant proporcijos metodą, priimama, kad jų temperatūra bus apytiksliai lygi 100 laipsnių pagal Celsijų.

### 3. Tiriamoji dalis: analizė ir rezultatai

Šioje dalyje pateikiama visa su atliktu tyrimu susijusi informacija. Atliktas tyrimas aktualus tuo, jog pasaulis, kuriame gyvename, susiduria su vis didėjančia taršos problema ir augančiomis energijos kainomis. Tiriamas kiaulininkystės ūkis yra priskiriamas prie žemės ūkio srities, o tokių ir panašių ūkių pasaulyje yra daugybė. Dauguma jų teršia aplinką neapdorotomis atliekomis ir išskiria biodujas, kuriose gausu metano. Išsiskyrusios biodujos gali būti panaudojamos elektros ir šilumos energijos gamybai. Nors šių energijos rūšių gamyba yra santykinai brangi, tačiau šiuo metu stebimas tendencingas energijos kainų augimas, o tai galėtų reikšti, kad energijos gamyba iš biodujų ir tokių technologijų, pavyzdžiui, kaip mikroturbinos ar vidaus degimo varikliai, panaudojimas laikui bėgant taps vis labiau patrauklesne šaka.

#### 3.1. Biodujų kogeneracija

Kogeneracijos pagrindinis uždavinys yra patenkinti tiek elektros, tiek šilumos energijos arba dalinį abiejų energijų poreikį. Atsižvelgiant į elektros ir šilumos energijos poreikio grafiką, kogeneracinėms sistemoms gali tekti dirbti prie ne pilno apkrovimo. Tokiu atveju, perteklinė šilumos ar elektros energija gali būti kaupiama arba perduodama, o esant trūkumui, perkama iš kitų šaltinių, pavyzdžiui, elektros tinklų arba šilumą gaminančių katilinių. Gautą šilumos perteklių galima išmesti į aplinką arba laikyti tam reikalui pritaikytose šilumos saugyklose, pavyzdžiui, vandens rezervuaruose. Tokiu atveju perteklinė elektra gali būti kaupiama energijos kaupimo prietaisuose, tokiuose kaip, akumulatoriai ar kondensatoriai. Kogeneracinės sistemos veikimo grafikas gali priklausyti nuo kintančių elektros energijos kainų, todėl tokios sistemos tampa vis patrauklesnėmis stebint tendencingą elektros kainų augimą.

Visos sistemos elektrinis efektyvumas apskaičiuojamas pagal pagamintos elektros energijos ir sunaudoto kuro santykį, taip, kaip parodyta toliau esančiose lygtyse. Kogeneracinės sistemos efektyvumas apskaičiuojamas pagal sunaudoto kuro energiją, kurią galima panaudoti šilumos ir elektros energijos gamybai, tačiau nepanaudota kuro energija yra prarandama ir laikoma sistemos nuostoliais.

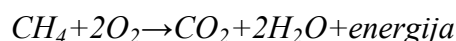
$$\text{Elektrinis efektyvumas} = \frac{\text{Elektros galia (kW)}}{\text{Sunaudotas kuras (kW)}} \quad (18)$$

$$\text{Bendras efektyvumas} = \frac{\text{Šiluminė galia} + \text{Elektros galia (kW)}}{\text{Sunaudotas kuras (kW)}} \quad (19)$$

#### 3.2. Tiriamasis objektas ir tikslai

Šiame darbe tiriamuoju objektu yra laikoma kiaulininkystės komplekse planuojama įrengti biodujų jėgainė, kurioje iš komplekse susidarančių atliekų pagamintos biodujos būtų deginamos mikroturbinoje. Numatoma, kad pasirinktas kiaulininkystės kompleksas per metus pagamintų 297300 Nm<sup>3</sup> biodujų. Jas sudeginus būtų ženkliai sumažintas taršos poveikis aplinkai, kadangi į aplinką išsiskyręs metanas daro keliasdešimt kartų didesnę žalą nei išsiskyręs anglies dioksidas. Atsižvelgiant į toliau pateikiamą metano degimo reakciją [27], viena dujinės fazės metano molekulė susijungusi su

dviem molekulėmis deguonies reaguoja ir išskiria vieną molekulę anglies dioksido ir dvi molekules vandens.



Deginant biodujas, o kartu ir jose esantį metaną, gali būti gaunama ne tik ekologinė, bet ir ekonominė nauda, todėl vis dažniau auga susidomėjimas panaudoti biodujose esančią energiją šilumos ir/ar elektros gamybai. Pasinaudojant „MATLAB Simulink“ programinės įrangos paketu, modeliuojama biodujų jėgainės su mikroturbina sistema. Toliau pateikiami pagrindiniai šio tyrimo uždaviniai:

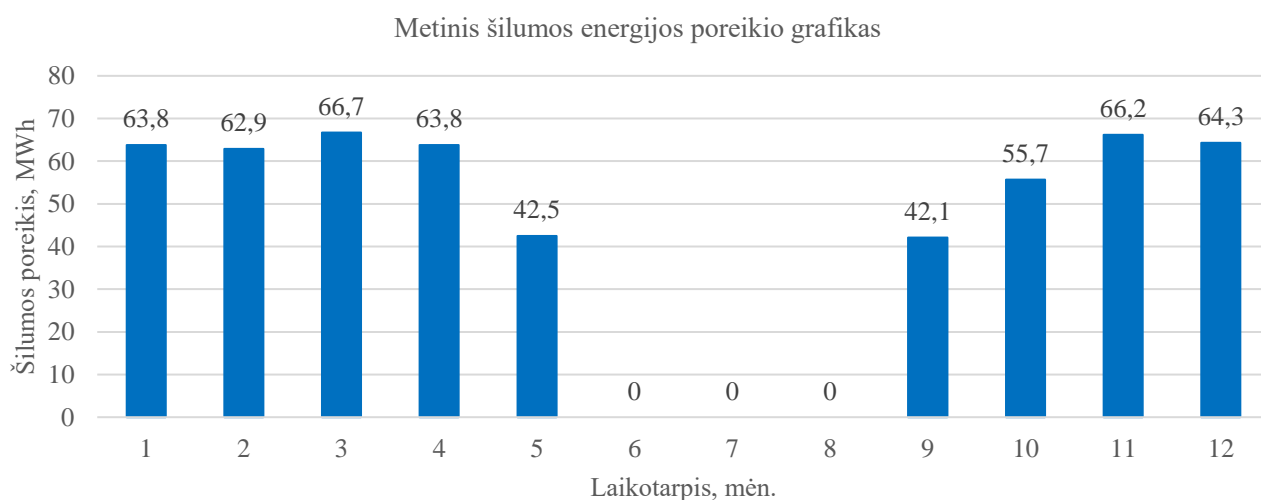
- apsibrėžti du skirtingus šilumos ir elektros energijos gamybos scenarijus;
- atlikti biodujų jėgainėje pagaminamos energijos modeliavimą;
- nustatyti pagrindinius energijos gamybą lemiančius parametrus;
- atlikti ekonominį vertinimą ir nustatyti mikroturbinų panaudojimo patrauklumą.

### 3.3. Šilumos ir elektros energijos poreikis bei sistemų veikimo scenarijai

Tiriamajam darbui atlikti pasirinktame kiaulininkystės komplekse vidutiniškai per metus suvartojama 528 MWh šilumos ir 439,7 MWh elektros energijos. Sistemos modeliavimui ir tolimesniam palyginimui atlikti sudaromi du scenarijai:

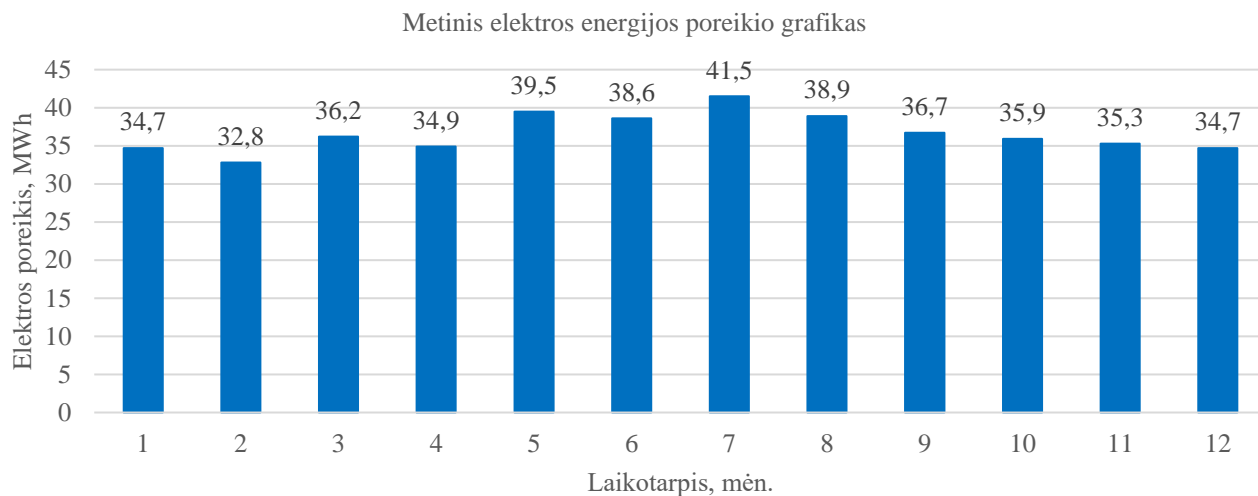
- pirmasis scenarijus – suprojektuota kogeneracinė mikroturbinos sistema yra skirta patenkinti esamą elektros energijos poreikį ir dirbti skirtingomis apkrovomis. Šiuo atveju šilumos energija yra laikoma šalutiniu produktu, tai reiškia, kad nepanaudota šilumos dalis bus išmetama į aplinką;
- antrasis scenarijus – suprojektuota kogeneracinė mikroturbinos sistema visu laikotarpiu yra skirta dirbti pilnu apkrovimu. Šiuo atveju perteklinė elektros energija bus parduodama į elektros tinklus, o nepanaudota šilumos energijos dalis išmetama į aplinką.

Grafike (žr. 10 pav.) atvaizduojamas metinis šilumos energijos poreikis pasirinktame kiaulininkystės komplekse:



10 pav. Metinis šilumos energijos poreikio grafikas

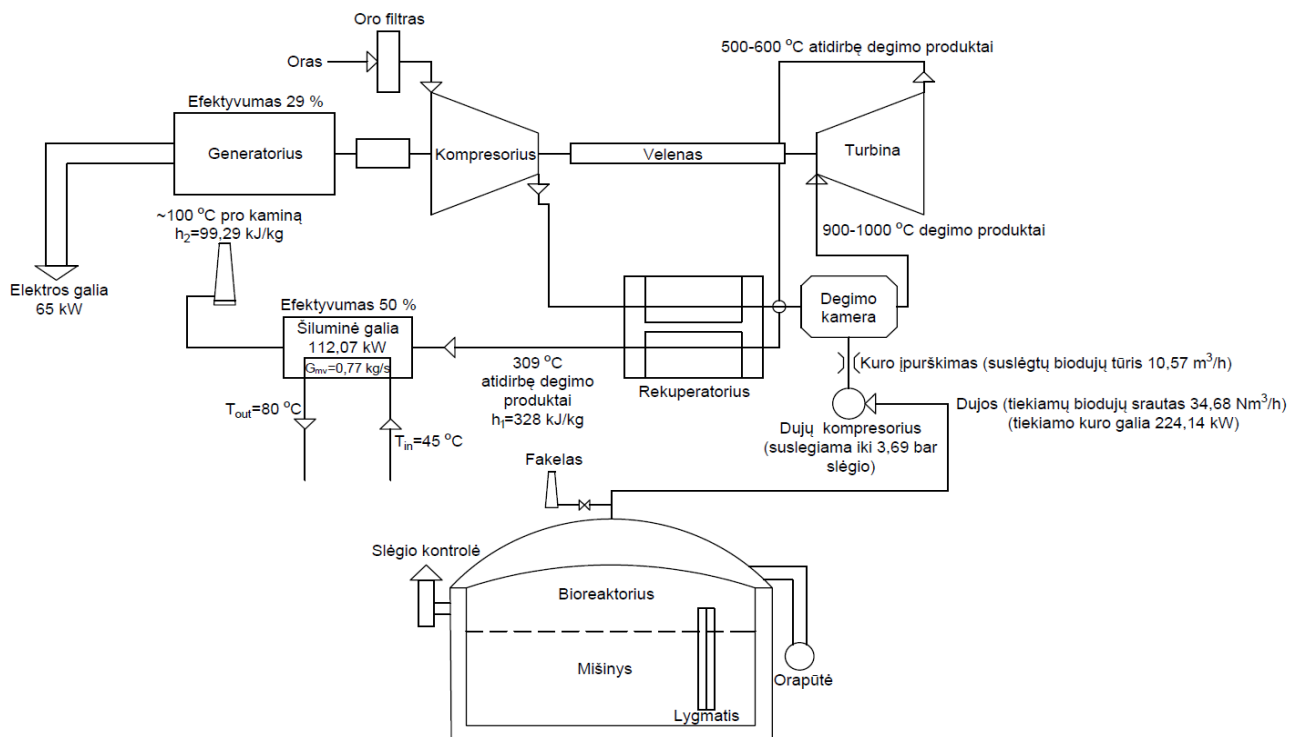
Grafike (žr. 10 pav.) atvaizduojamas metinis šilumos energijos poreikis pasirinktame kiaulininkystės komplekse:



11 pav. Metinis elektros energijos poreikio grafikas

### 3.4. Biodujų jėgainės termodinaminė analizė

Toliau pateiktoje scheme (žr. 12 pav.) pateikiama biodujų jėgainės termodinaminė analizė. Duomenys pateikiami priimant, jog mikroturbina dirba pilnu apkrovimu, išvystydama 29 % elektros gamybos ir 50 % šilumos gamybos efektyvumą. Biodujų jėgainės termodinaminėje analizėje pateikti duomenys yra paimti iš praeituose skyriuose atliktų skaičiavimų ir papildomai atsižvelgiant į mikroturbinos specifikacijoje nurodytas vertes [28].

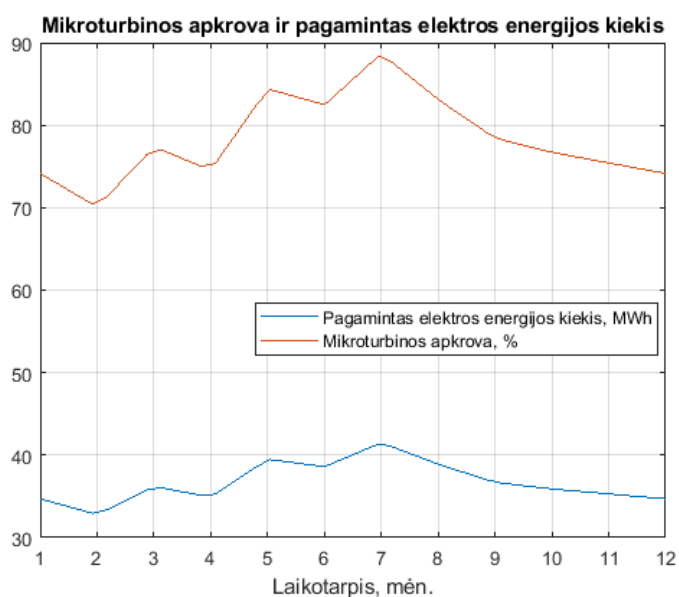


12 pav. Biodujų jėgainės termodinaminė analizė

### 3.5. Modeliavimo rezultatai

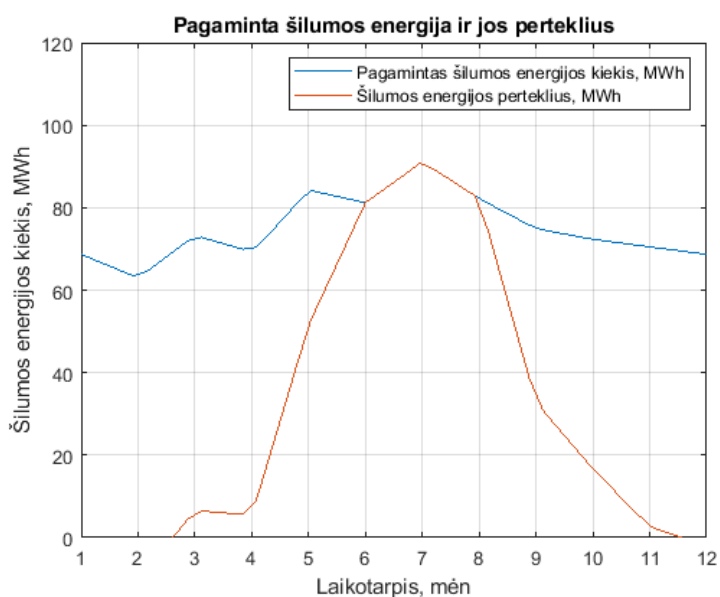
#### 3.5.1. Pirmasis scenarijus

Elektros energijos gamybos modeliavimo rezultatai pateikiami toliau esančiame grafike (žr. pav. 13). Apskaičiuojama mikroturbinos apkrova pagal pasirinktą elektros energijos poreikį pasirinktą metų mėnesį. Pagal pateiktus rezultatus matosi, kad mikroturbinos apkrova vidutiniškai kinta nuo kiek daugiau nei 70 % iki beveik 90 % reikšmės, o pagaminamos elektros energijos kiekis atitinka pasirinktą.



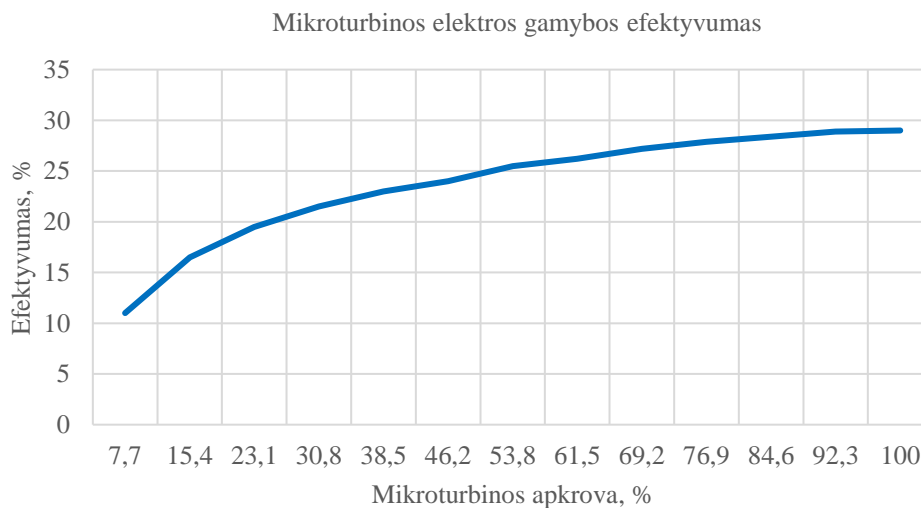
13 pav. Mikroturbinos apkrovos ir pagamintos elektros energijos kiekio grafikas

Šilumos energijos gamybos modeliavimo rezultatai pateikiami toliau grafike (žr. pav. 14).



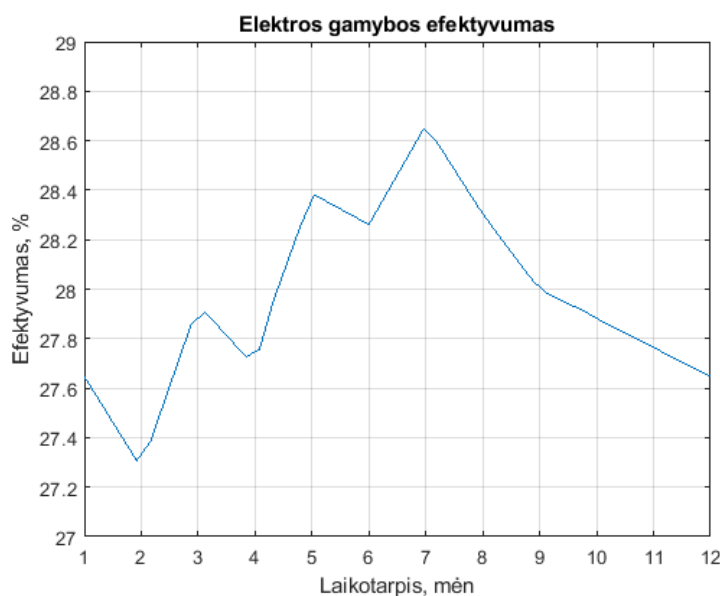
14 pav. Pagamintos šilumos energijos kiekio ir perteklinės šilumos energijos kiekio grafikas

Darbo metu mikroturbina veleno pagalba suka elektros generatorių, kurio elektros energijos gamybos efektyvumas kinta pagal momentinę mikroturbinos apkrovą. Atsižvelgiant į įvairius mikroturbinos gamintojo pateikiamus šaltinius apie elektros gamybos efektyvumo kreivės kitimą, buvo sudarytas individualus elektros gamybos efektyvumo kitimo grafikas prie skirtingos mikroturbinos darbo apkrovos. Toliau pateikiamas elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas (žr. 15 pav.) [29].



**15 pav.** Elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas

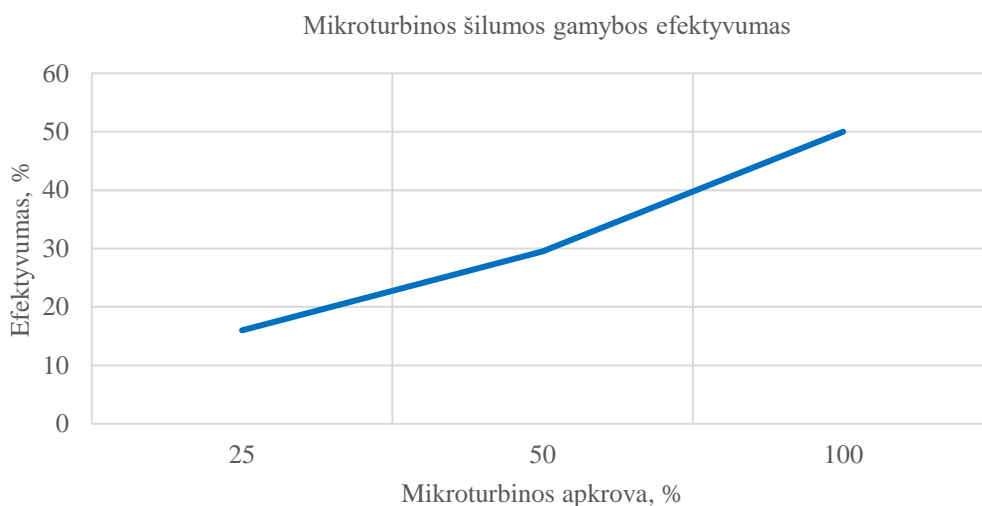
Pagal priimtą elektros energijos gamybos efektyvumo grafiką, atliekamas tolimesnis mikroturbinos modeliavimas ir gaunamas mikroturbinos elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas esant realioms sąlygoms pagal pasirinktą elektros energijos poreikio grafiką. Iš grafiko (žr. 16 pav.) matosi, kad mikroturbinos elektrinis efektyvumas pagal apkrovą (žr. 13 pav.) kinta ribose nuo kiek daugiau nei 27,3 % iki beveik 28,7 %. Svarbu paminėti, kad tai yra vidutinių efektyvumo reikšmių grafikas, nes modeliuojamu atveju priimamas vidutinis energijos suvartojimas per mėnesį.



**16 pav.** Elektros energijos gamybos efektyvumo grafikas pasirinktu laikotarpiu

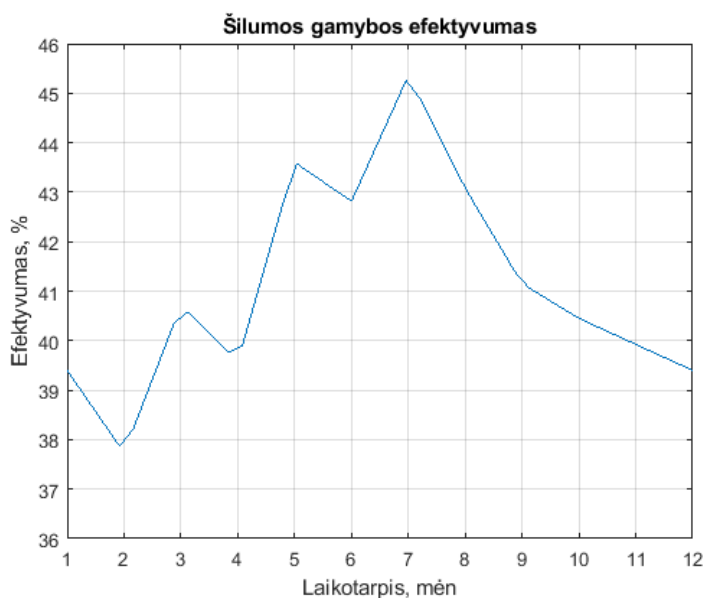
Iš pagamintos šilumos energijos ir susidarančios šilumos energijos pertekliaus grafiko (žr. 14 pav.) matosi, kad nuo sausio mėnesio pradžios iki apytiksliai vasario mėnesio vidurio ir apytiksliai nuo lapkričio mėnesio vidurio iki metų pabaigos, pagamintos šilumos energijos perteklius nesusidarys ir visa šilumos energija bus panaudojama jos poreikiui patenkinti.

Kadangi tikslūs duomenys apie šilumos energijos gamybos efektyvumą prie kintančios mikroturbinos apkrovos nėra pateikiami, todėl tam tikslui buvo sudarytas preliminarus šilumos gamybos efektyvumo grafikas, atsižvelgiant į šaltinyje [30] pateiktą informaciją. Toliau pateikiamas individualus šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas (žr. 17 pav.).



**17 pav.** Šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas

Pagal priimtą šilumos energijos gamybos efektyvumo grafiką, atliekamas tolimesnis mikroturbinos modeliavimas ir gaunamas mikroturbinos šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas esant realioms sąlygoms pagal pasirinktą elektros energijos poreikio grafiką (žr. 18 pav.).

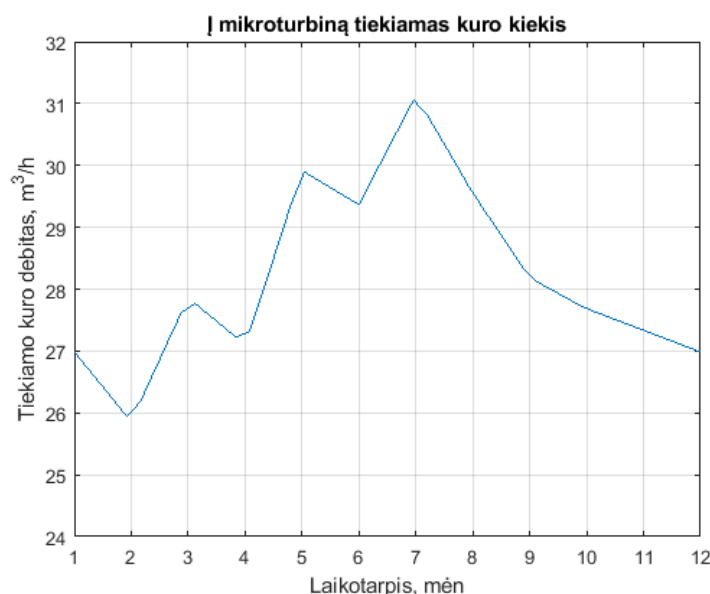


**18 pav.** Šilumos energijos gamybos efektyvumo grafikas

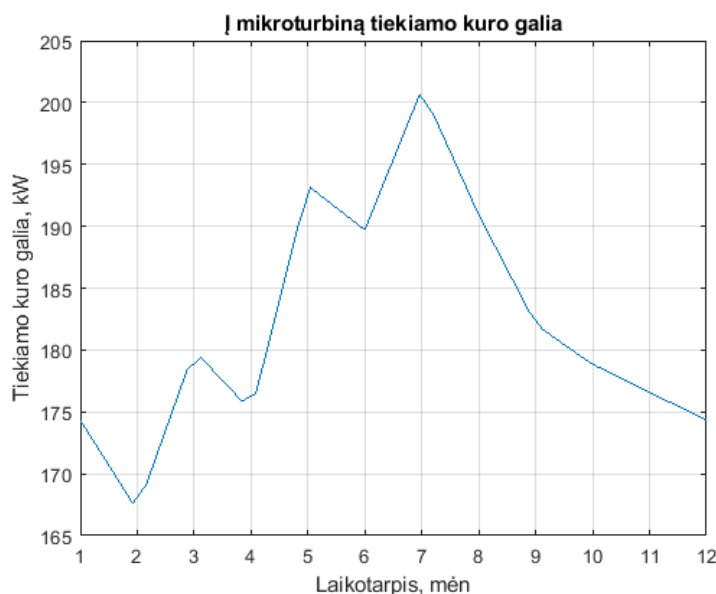


Iš grafiko (žr. 18 pav.) matosi, kad mikroturbinos šilumos energijos gamybos efektyvumas prie skirtingos apkrovos kinta ribose nuo beveik 38 % iki kiek daugiau nei 45 %. Svarbu paminėti, kad tai yra vidutinių efektyvumo reikšmių grafikas, nes modeliuojamu atveju priimamas vidutinis energijos suvartojimas per mėnesį.

Į mikroturbiną tiekiamo kuro kiekis taip pat priklauso nuo apkrovos, prie kurios dirba mikroturbina. Apkrovai didėjant, didėja ir tiekiamo kuro kiekis. Toliau esančiame grafike (žr. 19 pav.) nurodytos tiekiamo kuro kiekio reikšmės yra esant normalinėms sąlygoms. Iš pateikto grafiko (žr. 19 pav.) matosi, kad mažiausias tiekiamo kuro kiekis bus vasario mėnesį ir apytiksliai sudarys 26 m<sup>3</sup>/h. Atitinkamai didžiausias tiekiamo kuro kiekis bus liepos mėnesį ir sudarys apie 31 m<sup>3</sup>/h. Taip yra dėl to, kad vasarį fiksuojamas mažiausias elektros energijos poreikis, o liepą – didžiausias.



19 pav. Į mikroturbiną tiekiamas kuro kiekis

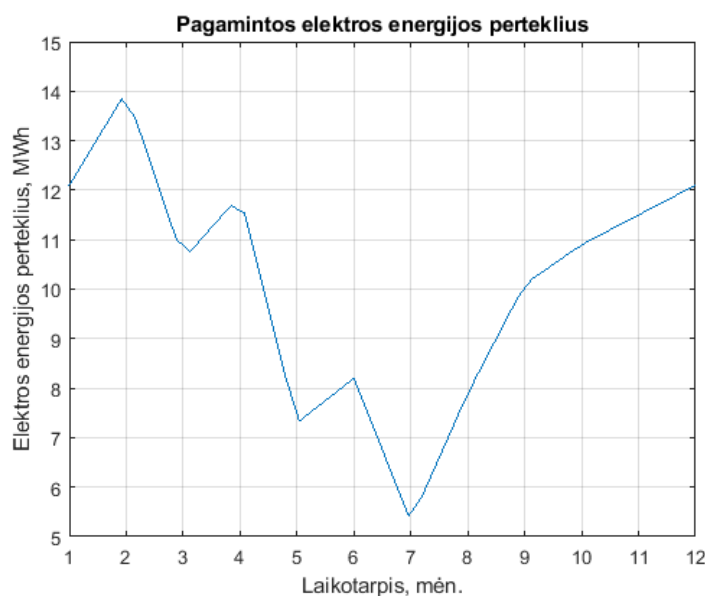


20 pav. Į mikroturbiną tiekiamo kuro galia

### 3.5.2. Antrasis scenarijus

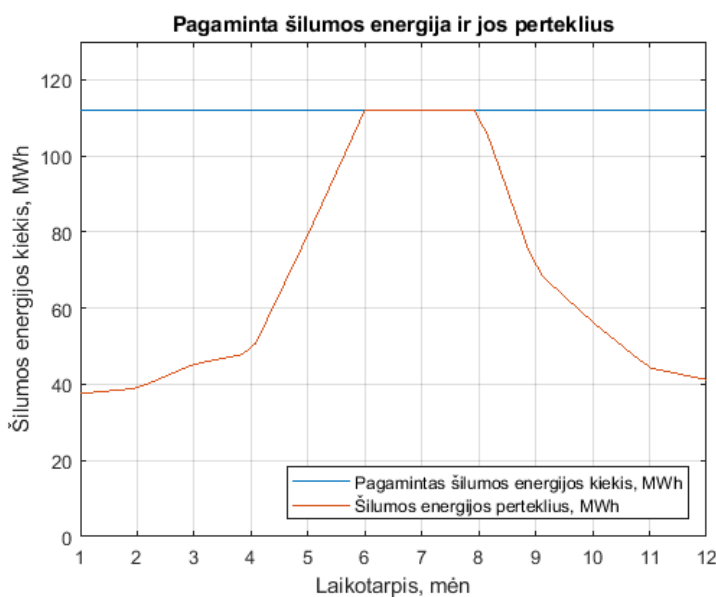
Šis scenarijus nuo pirmojo skiriasi tuo, kad mikroturbina visą darbo laiką per metus dirba pilnu apkrovimu ir kiekvieną metų mėnesį pagamina apytiksliai tą patį elektros ir šilumos energijos kiekį. Atsižvelgiant į metinį šilumos ir elektros energijos poreikį (žr. 10 ir 11 pav.), tai reiškia, kad nagrinėjamu atveju mikroturbina pagamins abiejų rūšių energijos perteklių. Elektros energijos perteklius bus parduodamas į tinklus, o perteklinė (nepanaudota) šiluma – išmetama į aplinką.

Toliau esančiame grafike (žr. 21 pav.) pateikiamas pagaminamos elektros energijos perteklius kiekvieną mėnesį.



21 pav. Pagamintos elektros energijos perteklius

Toliau grafike (žr. 22 pav.) pateikiami pagaminamos šilumos energijos ir jos pertekliaus rezultatai.



22 pav. Pagaminta šilumos energija ir jos perteklius

Iš pateiktų grafikų (žr. 21 ir 22 pav.) matoma, kad mažiausias pagamintos elektros energijos perteklius bus liepos mėnesį ir sudarys maždaug 5,5 MWh energijos kiekio, o didžiausias – vasario mėnesį ir sudarys beveik 14 MWh energijos kiekio. Mažiausias šilumos energijos perteklius susidarys gruodžio–sausio mėnesiais ir sieks apie 40 MWh energijos kiekio, o didžiausias – birželio, liepos ir rugpjūčio mėnesiais, kai poreikio šildyti patalpas nėra ir suvartojamas šilumos kiekis yra lygus nuliui.

#### 4. Projekto ekonominė analizė ir aplinkosaugos aspektai

Ekonominės analizės dalis užima vieną iš svarbiausių vietų visoje projekto apimtyje, nes šioje dalyje atliktų skaičiavimų rezultatai leidžia parengti informaciją, kuri yra reikalinga, kad sužinoti, ar planuojamas įgyvendinti projektas gali suteikti ekonominės naudos ir būti patrauklus investuotojams. Be to, ši analizė reikalinga ir tam, kad būtų galima palyginti alternatyvius projektus, nustatyti energijos gamybos, perdavimo ir skirstymo, vartojimo sąnaudas, apskaičiuoti projektuojamo energetikos objekto finansų balansą ir pelningumą, taip pat nustatyti projekto atsipirkimo laikotarpį, kitus ekonominius rodiklius ir rizikas.

Šioje dalyje atliekami ekonominiai skaičiavimai, kad būtų nustatyta, ar projektuojama mikroturbina su papildomais įrenginiais gali būti patrauklus investicinis sprendimas. Parenkama kiek įmanoma labiau panaši technologija, kuri gali būti laikoma kaip alternatyva projektuojamam atvejui. Atsižvelgiama į aplinkosauginius technologijų aspektus.

##### 4.1. Kapitaliniai ir eksploataciniai projekto kaštai

Kapitalinių investicijų (kaštų) apskaičiavimui (angl. Capital Expenditure, sutrumpintai CapEx) pasitelkiamas lyginamųjų investicijų metodas, kuris yra laikomas vienu iš plačiausiai ir universaliausiai pritaikomų projekto vertinimo metodų. Šio metodo pagrindinis principas yra panaudoti alternatyvią technologiją ir palyginti ją su vertinama [31].

$$K = k_{lyg} \cdot P_{inst} \quad (20)$$

čia  $K$  – kapitalinės projekto investicijos, *Eur*

$k_{lyg}$  – lyginamosios kapitalinės investicijos,  $\frac{Eur}{kW}$

$P_{inst}$  – biodujų jėgainės instaliuotoji galia, *kW*

Toliau lentelėje (žr. 10 lent.) pateikiamos pagrindinės biodujų jėgainės charakteristikos.

**10 lentelė.** Projektuojamos biodujų jėgainės pagrindinės charakteristikos

Parametras	Vienetai	Vertė
Biodujų jėgainės darbo laikas	dienos/metus	365
Žemutinis biodujų šilumingumas	kWh/Nm <sup>3</sup>	6,46
Metano kiekis biodujose	%	65
Bioreaktoriaus talpa	m <sup>3</sup>	1250
Kogeneratoriaus darbo laikas	valandos/metus	8200
Kogeneratoriaus galia	kW	65
Pagamintas elektros energijos kiekis	kWh/metus	439700
Pagamintas šilumos energijos kiekis	kWh/metus	896000
Suvartojama pagaminto elektros energijos kiekio procentinė dalis	%	100
Suvartojama pagaminto šilumos energijos kiekio procentinė dalis	%	59

Toliau lentelėje (žr. 11 lent.) yra nurodytos biodujų jėgainės lyginamosios projekto kapitalinės investicijos [32].

**11 lentelė.** Projektuojamos biudujų jėgainės lyginamosios kapitalinės investicijos

Parametras	Vienetai	Vertė
Biodujų jėgainės kaina (be kogeneratoriaus)	Eur už 1 m <sup>3</sup>	200
Mikroturbinos kaina	Eur už 1 kW <sub>el</sub>	1500
Biodujų jėgainės su mikroturbina priežiūros išlaidos (įskaitant ir aptarnavimą)	Eur už 1 kWh	0,016
Vidaus degimo variklio kaina	Eur už 1 kW <sub>el</sub>	1100
Biodujų jėgainės su vidaus degimo varikliu priežiūros išlaidos (įskaitant ir aptarnavimą)	Eur už 1 kWh	0,025
Projektavimas, įrengimas ir papildomos išlaidos	Eur už 1 kW <sub>el</sub>	1450

Toliau lentelėje (žr. 12 lent.) yra pateikiamos biudujų jėgainės projekto kapitalinės investicijos.

**12 lentelė.** Projektuojamos biudujų jėgainės kapitalinės investicijos

Nr.	Įrenginys	Kapitalinės investicijos, Eur
1.	Mikroturbina	97500,00
1A.	Vidaus degimo variklis	71500,00
2.	Biodujų jėgainė (be kogeneratoriaus)	250000,00
3.	Projektavimas, įrengimas ir papildomos išlaidos	94250,00

Šioje dalyje nagrinėjami du pasirinkimai, t.y.: pirmasis, kai biudujų jėgainė su mikroturbina ir antrasis, kai biudujų jėgainė su vidaus degimo varikliu. Skirtingais pasirinkimais gaunamos skirtingos lyginamosios kapitalinės investicijos.

Tuomet pagal 20 formulę apskaičiuojamos kapitalinės projekto investicijos kiekvienu atveju (žr. 13 lent.). Svarbu paminėti, kad kapitalines projekto investicijas sudaro dvi pagrindinės dedamosios [33]:

$$K = K_{stat} + K_{ir} \quad (21)$$

čia  $K_{stat}$  – investicija statybos ir montavimo darbų atlikimui, *Eur*

$K_{ir}$  – investicija įrenginiams ir medžiagoms, *Eur*

**13 lentelė.** Suminės projekto kapitalinės investicijos ir metiniai priežiūros bei aptarnavimo kaštai

Biodujų jėgainė su kogeneratoriumi		Suminės projekto kapitalinės investicijos, Eur	Metiniai priežiūros bei aptarnavimo kaštai, Eur
Kogeneratorius Nr. 1	Mikroturbina	441750,00	7035,20
Kogeneratorius Nr. 2	Vidaus degimo variklis	415750,00	10992,50

**4.2. Energijos gamybos apimtys ir pagamintos energijos kaina**

Per vienerių metų laikotarpį pagaminamas elektros energijos kiekis:

$$W_E = \sum_i P_i \cdot T_i \quad (22)$$

čia  $W_E$  – per metus pagamintas elektros energijos kiekis, *MWh*

$P_i$  – galia, *MW*

$T_i$  – trukmė,  $h$

Skaiciavimams priimta, kad kiaulininkystės komplekso metinis elektros energijos suvartojimas yra 439,7 MWh, o šilumos energijos suvartojimas yra 528 MWh. Pagal šiuo metu galiojančius elektros energijos tarifus, priimama, kad 1 MWh pirkimo kaina yra 149 Eur. Pagal kiaulininkystės komplekso išlaidų už šildymą istoriją, priimama, kad 1 MWh šilumos energijos pasigaminimo kaina yra 35 Eur. Apskaičiuojamos metinės pajamos už elektros ir šilumos energiją, kurios yra lygios sutaupyti pinigų kiekiui, jei elektrą pirtume iš elektros tinklų, o šilumą gamintume pirkdami kurą.

$$R = (W_{el} \cdot c_{el}) + (W_{\tilde{s}il} \cdot c_{\tilde{s}il}) \quad (23)$$

čia  $R$  – metinės pajamos (sutaupyti pinigai),  $Eur$

$W_{el}, W_{\tilde{s}il}$  – metinis elektros ir šilumos energijos poreikis,  $MWh$

$c_{el}, c_{\tilde{s}il}$  – elektros ir šilumos energijos kaina,  $Eur$

Toliau lentelėje (žr. 14 lent.) pateikiami metinių pajamų (sutaupyti pinigų) skaičiavimo rezultatai pagal energijos rūšį. Skaiciavimai atlikti pagal pirmosios konfigūracijos scenarijų, kai pagaminama tiek elektros energijos, kiek reikia, o perteklinė šiluma išmetama į aplinką kartu su degimo produktais. Skaiciavimo rezultatai gali būti taikomi, kai pasirinktu kogeneratoriumi yra laikomas vidaus degimo variklis.

**14 lentelė.** Metinės pajamos (sutaupyti pinigai) pagal energijos rūšį (1 scenarijus)

Energijos rūšis	Energijos kaina, Eur už 1 MWh	Energijos poreikis, MWh	Metinės pajamos (sutaupyti pinigai), Eur
Elektros energija	149,00	439,70	65515,30
Šilumos energija	35,00	528	18480,00
		Suma, Eur	83995,30

Toliau lentelėje (žr. 15 lent.) pateikiami metinių pajamų (sutaupyti pinigų) skaičiavimo rezultatai pagal energijos rūšį. Skaiciavimai atlikti pagal antrosios konfigūracijos scenarijų, kai pagaminamas maksimalus elektros energijos kiekis, o perteklinė šiluma išmetama į aplinką kartu su degimo produktais.

**15 lentelė.** Metinės pajamos (sutaupyti pinigai) pagal energijos rūšį (2 scenarijus)

Energijos rūšis	Energijos kaina, Eur už 1 MWh	Energijos poreikis, MWh	Pagamintos energijos perteklius, MWh	Metinės pajamos (sutaupyti pinigai), Eur	Pajamos už parduotą energiją, Eur
Elektros energija	149,00	439,70	93,30	65515,30	4735,91
Šilumos energija	35,00	528	nevertinama	18480,00	nevertinama
				Suma, Eur	88731,21

Apskaičiuojamos metinės biodujų jėgainės eksploatavimo sąnaudos:

$$C = C_a + C_k + C_{es} \quad (24)$$

čia  $C$  – metinės eksploatavimo sąnaudos, *Eur*

$C_a$  – nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos, *Eur*

$C_k$  – kuro sąnaudos, *Eur*

$C_{es}$  – eksploatacinės sąnaudos, *Eur*

Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos gali būti apskaičiuojamos pagal toliau esančią formulę:

$$C_a = k_a \cdot K \quad (25)$$

čia  $C_a$  – nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos, *Eur*

$k_a$  – metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma, %

$K$  – kapitalinės projekto investicijos, *Eur*

Skaičiavimams priimama, kad projektuojamos biodujų jėgainės tarnavimo trukmė yra 15 metų [34]. Taip pat priimama, kad biodujų jėgainės likvidacinė vertė yra lygi 10 % nuo projekto kapitalinių investicijų vertės. Tuomet apskaičiuojama metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma.

$$k_a = \frac{(K - K_L)}{T_a} \cdot \frac{1}{K} \cdot 100 \% \quad (26)$$

čia  $k_a$  – metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma, %

$K$  – kapitalinės projekto investicijos, *Eur*

$K_L$  – biodujų jėgainės likvidacinė vertė, *Eur*

Apskaičiuota metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma lygi 6 %. Skaičiavimams priimama, kad visas biodujų gamybai reikalingas substratas išgaunamas kiaulininkystės komplekse, todėl nieko nekainuoja. Skaičiavimams priimama, kad metinės išlaidos draudimui sudaro 0,5 % nuo kapitalinių projekto investicijų vertės. Toliau lentelėje (žr. 16 lent.) pateikiami pirmojo scenarijaus skaičiavimo rezultatų duomenys.

**16 lentelė.** Metinės eksploatavimo sąnaudos (mikroturbina, 1 scenarijus)

Sąnaudų rūšis	Sąnaudos, Eur
Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	26505,00
Kuro sąnaudos	0
Eksploatacinės sąnaudos	7035,20
Išlaidos darbuotojų atlyginimams	12000,00
Išlaidos draudimui	2208,75
VISO SĄNAUDŲ SUMA	47748,95

Apskaičiuojama biodujų jėgainės pagaminamos elektros energijos savikaina. Kadangi biodujų jėgainėje yra gaminama tiek elektros, tiek šilumos energija, tuomet iš metinių eksploatavimo sąnaudų reikia atimti už šilumos energiją sutaupytus pinigus.

$$c_{sk} = \frac{C-R}{W_E} \quad (27)$$

čia  $c_{sk}$  – elektros energijos savikaina, *Eur*

$C$  – metinės eksploataavimo sąnaudos, *Eur*

$R$  – pajamos (sutaupyti pinigai) už šilumos energiją, *Eur*

$W_E$  – per metus pagamintas elektros energijos kiekis, *Eur*

Skaičiuojant antrojo scenarijaus atveju pagamintos elektros energijos savikainą, priimama, kad prisijungimas prie elektros tinklų, kuris reikalingas, kad būtų galima parduoti elektros energijos perteklių, kainuoja 60000 *Eur* [32]. Toliau lentelėje (žr. 17 lent.) pateikiami metinių eksploataavimo sąnaudų duomenys:

**17 lentelė.** Metinės eksploataavimo sąnaudos (mikroturbina, 2 scenarijus)

Sąnaudų rūšis	Sąnaudos, <i>Eur</i>
Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	30105,00
Kuro sąnaudos	0
Eksploatacinės sąnaudos	8528,00
Išlaidos darbuotojų atlyginimams	12000,00
Išlaidos draudimui	2508,75
VISO SĄNAUDŲ SUMA	53141,75

Biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu vietoje mikroturbinos yra laikoma alternatyvia energijos gamybos technologija. Todėl toliau lentelėje (žr. 18 lent.) pateikiamos metinės eksploataavimo sąnaudos.

**18 lentelė.** Metinės eksploataavimo sąnaudos (vidaus degimo variklis, alternatyvioji technologija)

Sąnaudų rūšis	Sąnaudos, <i>Eur</i>
Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	24945,00
Kuro sąnaudos	0
Eksploatacinės sąnaudos	10992,50
Išlaidos darbuotojų atlyginimams	12000,00
Išlaidos draudimui	2078,75
VISO SĄNAUDŲ SUMA	50016,25

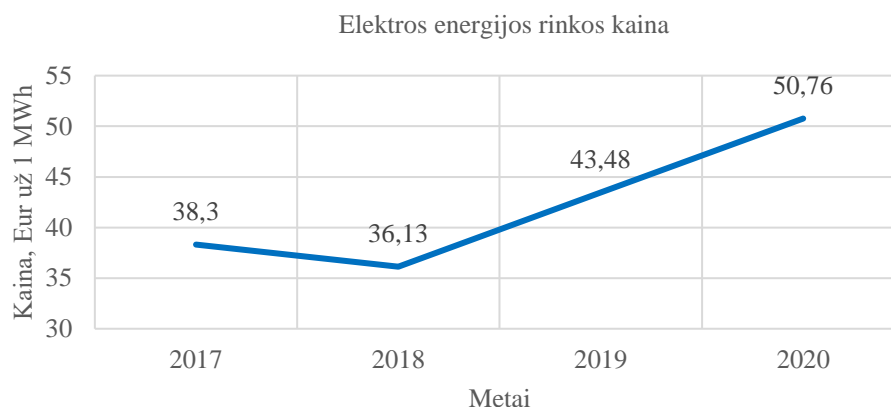
Pagal lentelėse (žr. 16–18 lent.) pateiktus rezultatus, apskaičiuojama elektros energijos gamybos savikaina kiekvienu atveju. Skaičiavimo rezultatai pateikiami toliau esančioje lentelėje (žr. 19 lent.).

**19 lentelė.** Elektros energijos gamybos savikainos

Technologija	Savikaina, <i>Eur</i> už 1 MWh
Mikroturbina, 1 scenarijus	66,57
Mikroturbina, 2 scenarijus	65,03
Vidaus degimo variklis	71,72



Pagal galiojusias kvotas, biodujų jėgainės, gaminančios elektros energiją iš biodujų išgaunamų anaerobiniu ar kitu būdu perdurbant biodegraduojančias organinės kilmės atliekas ar substratus, galėjo pardavinėti elektros energiją į tinklus esant 106 Eur už 1 MWh tarifui. Pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymo 13 straipsnio 3 dalį, skatinimo kvotos elektros energijos gamybai yra išnaudotos, todėl jomis pasinaudoti šiuo metu galimybės nėra. Pagal šiuo metu galiojančią Lietuvos Respublikos valstybinės energetikos reguliavimo tarnybos nuosprendį, nustatyta elektros energijos rinkos kaina 2020 metams yra 50,76 Eur už 1 MWh. Toliau pateikiamas šios kainos kitimo grafikas (žr. 23 pav.) laikotarpiu nuo 2017 iki 2020 metų (įskaitant):



**23 pav.** Elektros energijos rinkos kaina laikotarpiu 2017–2020 m.

Iš pateiktų duomenų matoma, kad visais nagrinėjamais atvejais skirtumas tarp elektros energijos gamybos savikainos ir nustatytos rinkos kainos būtų neigiamas, todėl antrasis scenarijus tolimesniuose skaičiavimuose nėra vertinamas. Tolimesniuose skaičiavimuose yra vertinama tik biodujų jėgainė su mikroturbina (1 scenarijus) ir biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu (alternatyvi technologija), nes visa pagaminta elektros ir šilumos energija būtų suvartojama tam, kad patenkintume esamą kiaulininkystės komplekso energijos poreikį. Apibendrinant galima teigti, kad elektros energijos gamyba antruoju scenarijumi būtų nuostolinga, dėl to ji atmetama.

### 4.3. Projekto esamoji vertė

Projekto esamosios vertės nustatymo metodas yra vienas iš dažniausiai taikomų elektros energetikoje taikomų metodų. Šis metodas negali būti taikomas, jei projektuojamos ir alternatyvios technologijos tarnavimo laikai nesutampa. Skaičiuojamu atveju abiejų technologijų tarnavimo laikotarpis yra 15 metų, todėl šio metodo taikymas yra galimas. Pagal toliau esančią formulę (28), apskaičiuojama projekto esamoji vertė [35].

$$PV = -K + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad (28)$$

čia  $PV$  – projekto esamoji vertė, *Eur*

$K$  – pradinės projekto investicijos, *Eur*

$T$  – projekto gyvavimo laikotarpis išreikštas metais

$t$  – pasirinkti metai

$CF_t$  – pinigų srautas pasirinktais metais, *Eur*

$k$  – diskonto norma, %

Apskaičiuojamas pinigų srautas pasirinktais metais:

$$CF_t = (R - C) \cdot (1 - t_p) + C_a \quad (29)$$

čia  $CF_t$  – pinigų srautas pasirinktais metais, *Eur*

$R$  – pajamos (sutaupyti pinigai) už elektrą, *Eur*

$C$  – metinės eksploatavimo sąnaudos, *Eur*

$t_p$  – procentinis pelno mokesčio dydis, %

$C_a$  – nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos, *Eur*

Procentinis pelno mokesčio dydis yra prilyginamas nuliui, kadangi visa pagaminta elektros energija bus suvartojama savoms reikmėms. Skaičiavimams atlikti, priimama, kad diskonto norma yra lygi 5 %. Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos yra pašalinamos iš projekto esamosios vertės skaičiavimo. Šios sąnaudos yra naudojamos tik tam, kad būtų sumažintas pelno mokesčio dydis. Toliau lentelėje (žr. 20 lent.) pateikiami skaičiavimo rezultatai. Rezultatai pateikiami penkioliktais projekto gyvavimo metais. Detalesni rezultatai pateikiami prieduose (žr. priedą Nr. 1 ir Nr. 2).

**20 lentelė.** Projekto esamoji vertė

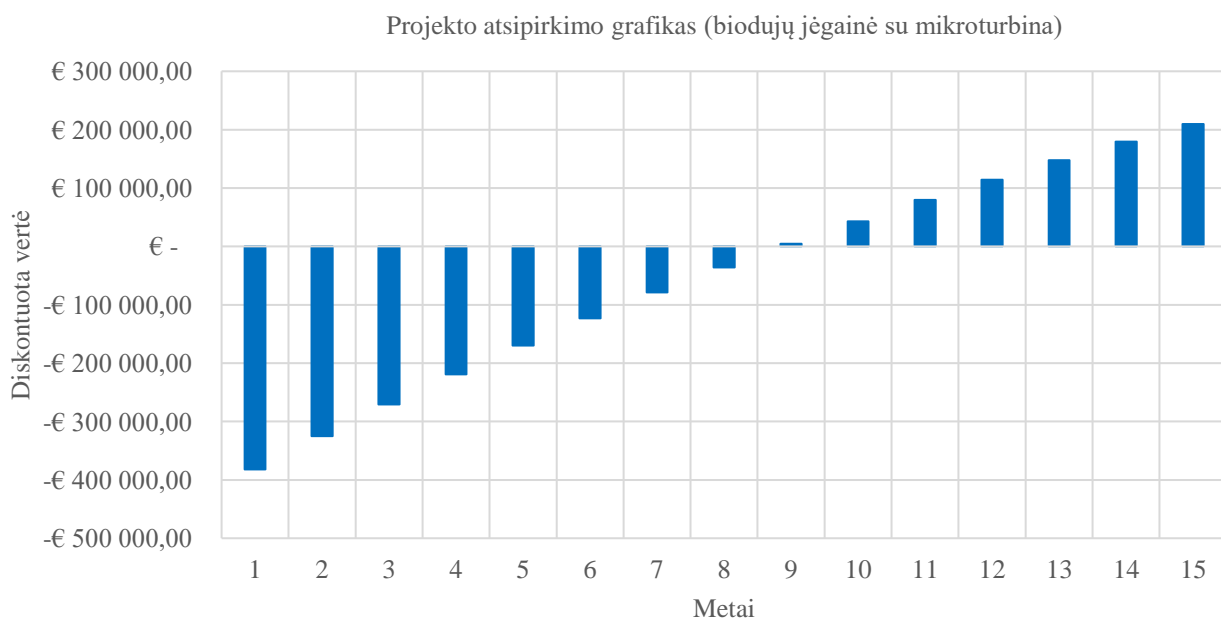
Technologija	Projekto esamoji vertė, <i>Eur</i>
Biodujų jėgainė su mikroturbina	209587,55
Biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu	195861,49

Abiem atvejais projekto esamoji vertė yra didesnė už nulį, tai reiškia, kad įgyvendinti abu projektus gali būti ekonomiškai naudinga ir šie projektai kurs pridėtinę vertę. Jei šis rodiklis būtų neigiamas, tikėtina, kad projektas taptų nuostolingas ir toliau neturėtų būti vertinamas. Jei šis rodiklis būtų lygus nuliui, tuomet projektas nebūtų nuostolingas, tačiau taip pat nebūtų sukuriama pridėtinė vertė [36]. Apibendrinant galima teigti, kad biodujų jėgainės projektas su mikroturbina arba su vidaus degimo varikliu gali būti toliau nagrinėjamas.

#### 4.4. Projekto atsipirkimo trukmė

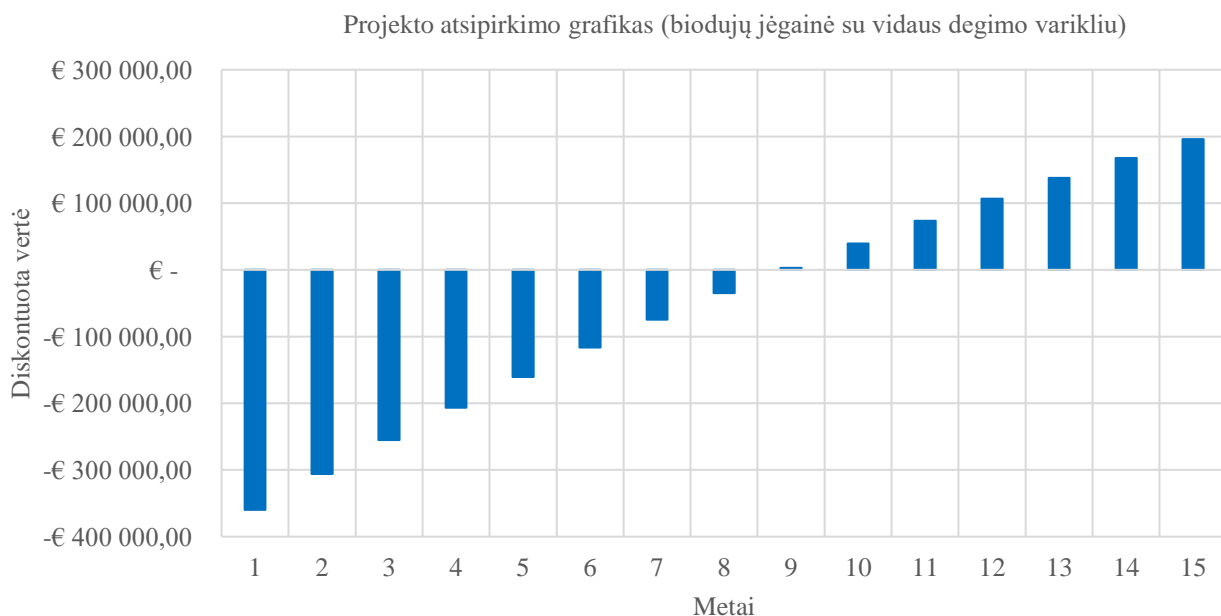
Toliau pateikiamas biodujų jėgainės su dujų mikroturbina projekto atsipirkimo grafikas (žr. 24 pav.). Nagrinėjamu atveju projektas atsipirks po 8,89 metų. Tikėtina, kad tokia projekto atsipirkimo trukmė nebūtų patraukli investuotojams, todėl tokio tipo projektai turėtų būti skatinami finansine parama. Atsižvelgiant į galimybes gauti Europos Sąjungos finansinę paramą, priimta prielaida, kad šiam projektui įgyvendinti būtų suteikta 30 % finansinė parama. Svarbu paminėti, kad tokie projektai neturėtų būti vertinami tik ekonominiu aspektu. Biodujų gamyba iš žemės ūkyje susidarantių atliekų ir jų panaudojimas energijos gamyboje mažina ekologinę taršą. Biodujų jėgainės su mikroturbina palyginimui buvo pasirinkta alternatyvi energijos gamybos technologija, t.y. vidaus degimo variklis. Nustatyta, kad kapitalinės investicijos biodujų jėgainei su vidaus degimo varikliu yra mažesnės, tačiau eksploataciniai kaštai didesni. Atlikti skaičiavimai parodo abiejų technologijų atsipirkimo

trukmę. Gauti rezultatai pateikiami toliau esančiuose grafikuose. Nors šių technologijų kapitalinės investicijos skiriasi, tačiau gauti rezultatai rodo, kad abiejų technologijų atsipirkimo trukmė yra beveik vienoda. Tai lemia didesnės biodujų jėgainės su vidaus degimo varikliu eksploatacinės išlaidos.



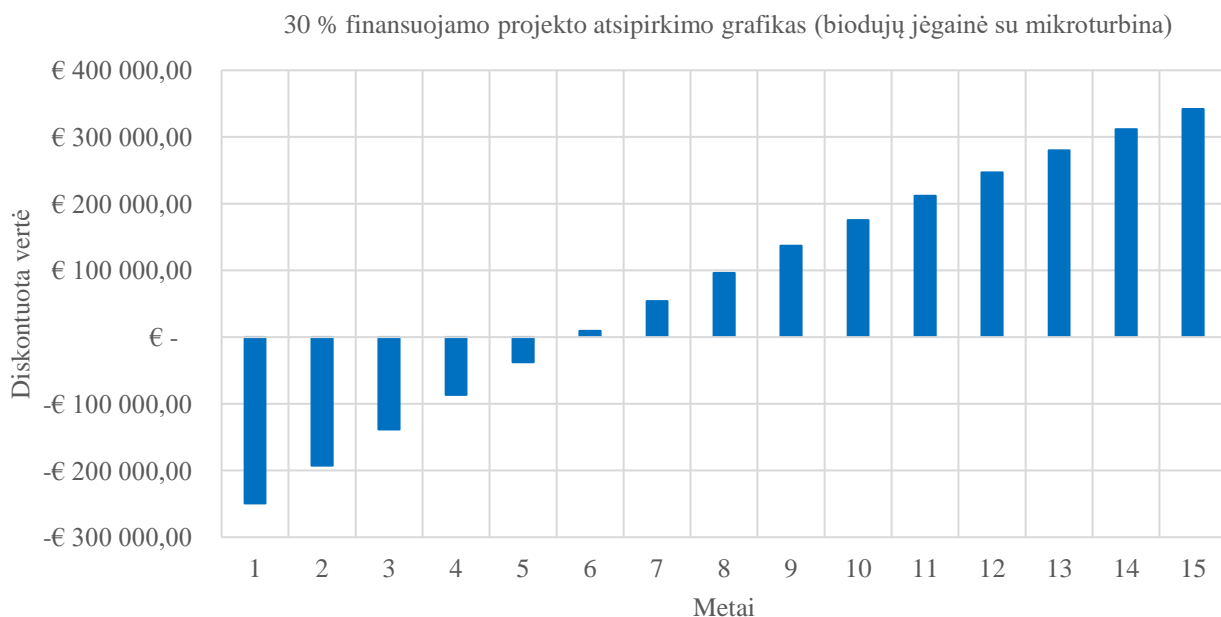
**24 pav.** Projekto atsipirkimo grafikas (biodujų jėgainė su mikroturbina)

Toliau pateikiamas projekto atsipirkimo grafikas (žr. 25 pav.). Nagrinėjamu atveju projektas atsipirks po 8,92 metų.



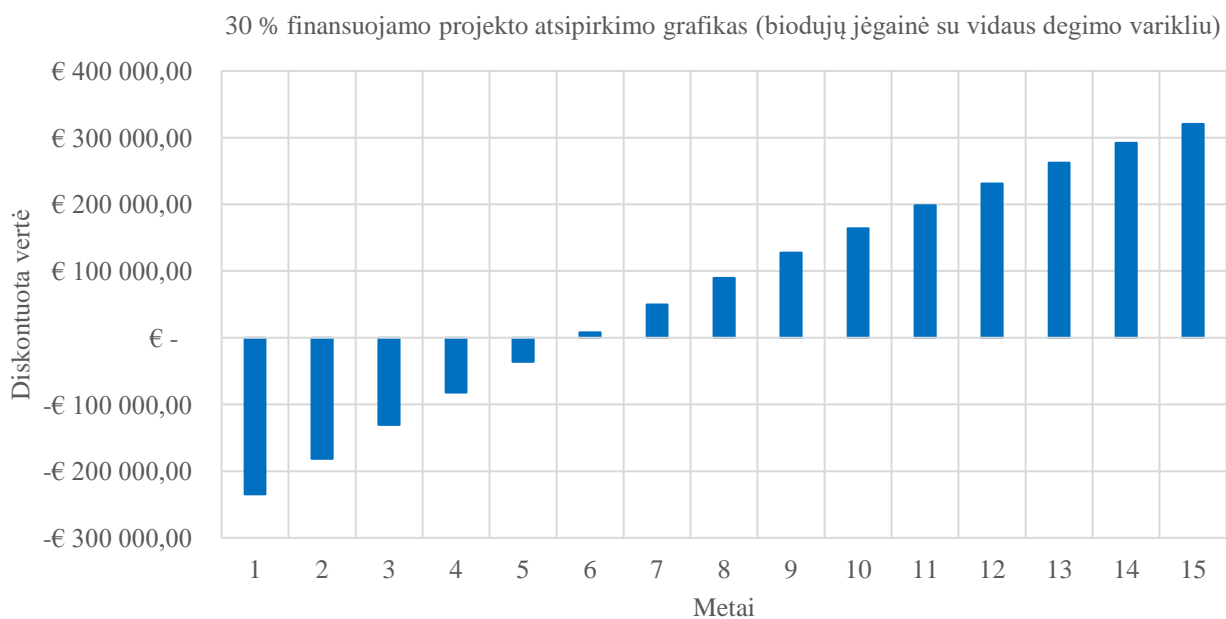
**25 pav.** Projekto atsipirkimo grafikas (vidaus degimo variklis)

Toliau pateikiamas biodujų jėgainės projekto su mikroturbina atsipirkimo grafikas (žr. 26 pav.), kai projektui suteikiama 30 % finansinė parama. Nagrinėjamu atveju projektas atsipirks po 5,8 metų.



**26 pav.** 30 % finansuojamo projekto atsipirkimo grafikas (jėgainė su mikroturbina)

Toliau pateikiamas biudujų jėgainės projekto su vidaus degimo varikliu atsipirkimo grafikas (žr. 27 pav.), kai projektui suteikiama 30 % finansinė parama. Nagrinėjamu atveju projektas atsipirks po 5,82 metų.



**27 pav.** 30 % finansuojamo projekto atsipirkimo grafikas (jėgainė su vidaus degimo varikliu)

#### 4.5. Projekto aplinkosauginiai aspektai

Kogeneratorių išmetamose dujose aptinkama nemažai cheminių junginių, neigiamai veikiančių mūsų atmosferą. Vienas iš Capstone dujų mikroturbinos technologinių pranašumų yra gebėjimas pasiekti ypač žemą išmetamose dujose esantį teršalų kiekį. Po degimo proceso iš dujų mikroturbinos

išmetamas dujas, palyginti su vidaus degimo varikliu, sudaro gerokai žemesni teršalų kiekiai. Taip yra dėl to, kad dujų mikroturbinose vyksta pastovus degimo procesas, kuris sudaro sąlygas visiškam sudegimui. Remiantis literatūros šaltiniu [37] ir Capstone dujų mikroturbinos oficialiame gamintojo puslapyje pateikiama informacija, azoto oksidų koncentracija išmetamose dujose neviršija 9 ppm, anglies monoksido (CO) koncentracija neviršija 40 ppm, o lakiųjų organinių junginių arba angliavandenilių (LOJ) koncentracija neviršija 9 ppm, kai naudojamas kuras yra gamtinės dujos. Skaičiavimai pateikiami esant 15 % O<sub>2</sub> koncentracijai. Remiantis literatūros šaltiniu [37], Capstone mikroturbinos, palyginti su vidaus degimo varikliais, pasižymi žemesniais azoto oksidų (NO<sub>x</sub>), anglies monoksido (CO) ir lakiųjų organinių junginių (LOJ) kiekiais išmetamose dujose. Apibendrinti duomenys pateikiami toliau esančioje lentelėje (žr. 21 lent.).

**21 lentelė.** Palyginamosios išmetamose dujose esančių teršalų vertės pagal kogeneratoriaus tipą

Parametras	Capstone mikroturbina, galia: 65 kW	Kitos mikroturbinos, galia: 45–75 kW	Pramoninės turbinos, galia: 0,8–11 MW	Vidaus degimo variklis, galia: 35 kW	Vidaus degimo variklis, galia: 170–1500 kW
NO <sub>x</sub> , ppm	≥9	9–25	6–140	31–454	30–3214
CO, ppm	≥40	25–240	515–798	244–378	325–883
LOJ, ppm	≥9	25	6–559	nėra duomenų	2747

Remiantis literatūros šaltiniu, triukšmo lygis 10 metrų spinduliu aplink Capstone mikroturbiną yra apytiksliai 70 dBA [38]. Triukšmo lygis stovint šalia mikroturbinos gali būti iki 85 dBA [39]. Vidaus degimo variklių skleidžiamas garsas gali būti iki 15–20 dBA didesnis [40]. Apibendrinti duomenys pateikiami toliau esančioje lentelėje (žr. 22 lent.). Iš pateiktų duomenų matosi, kad, norint sumažinti triukšmo lygį iki pageidaujamos triukšmo lygio ribos, vidaus degimo varikliui gali būti taikomi daugiau investicijų reikalaujantys sprendimai.

**22 lentelė.** Skleidžiamo triukšmo lygis pagal kogeneratoriaus tipą

Parametras	Capstone mikroturbina, galia: 600 kW	Deutz vidaus degimo variklis, galia: 600 kW
Triukšmo lygis, dBA <sup>3</sup>	85	99

<sup>3</sup> Triukšmo lygis esant 1 metro atstumui nuo įrenginio.

## Išvados

1. Atlikus analizę nustatyta, kad biodujų, kaip energijos šaltinio, panaudojimas Lietuvoje yra pats mažiausias, lyginant su kitais atsinaujinančiais energijos šaltiniais, tačiau kiekvienais metais stebimas šios technologijos įgyvendinimo augimas. Tai parodo, kad biodujų (taip pat ir kitų atsinaujinančios energijos šaltinių) potencialas šalyje dar nėra pilnai išnaudotas. Didesnei šios technologijos įgyvendinimo plėtrai pasiekti, tikėtina, prireiks didesnio Europos Sąjungos dėmesio ir finansinės paramos.
2. Biodujų jėgainės su mikroturbina palyginimui buvo pasirinkta alternatyvi energijos gamybos technologija, t.y. vidaus degimo variklis. Nustatyta, kad kapitalinės investicijos biodujų jėgainei su vidaus degimo varikliu yra mažesnės, tačiau eksploataciniai kaštai didesni. Nagrinėjamu atveju biodujų jėgainės su vidaus degimo varikliu aptarnavimo ir remonto kaštai per metus būtų 3957,3 Eur didesni nei biodujų jėgainės su mikroturbina. Per visą projekto trukmę, t.y. 15 metų, išlaidos biodujų jėgainės su vidaus degimo varikliu aptarnavimui ir remontui būtų 59359,5 Eur brangesnės nei biodujų jėgainės su mikroturbina. Nagrinėjamu atveju kapitalinės investicijos į biodujų jėgainę su mikroturbina būtų 26000 Eur didesnės nei į biodujų jėgainę su vidaus degimo varikliu. Šie rezultatai lemia projekto atsipirkimo laiką.
3. Šiame darbe buvo nagrinėjamas biodujų jėgainės projekto su mikroturbina įgyvendinimas. Buvo pasirinkti du skirtingi mikroturbinos darbo scenarijai. Nustatyta, kad antrasis mikroturbinos darbo scenarijus nėra ekonomiškai ir technologiškai patrauklus, nes pagamintos elektros energijos savikaina už 1 MWh sudaro 65,03 Eur. Pagal šiuo metu galiojančią elektros energijos rinkos kainą, elektros energijos pardavimas į tinklus būtų nuostolingas. Be to, pastovus mikroturbinos darbas prie pilno apkrovimo, tikėtina, darytų neigiamą poveikį mikroturbinos tarnavimo laikui. Taigi šis scenarijus buvo atmestas.
4. Nustatyta, kad biodujų jėgainės su mikroturbina projekto atsipirkimo trukmė lygi 8,89 metų, o su vidaus degimo varikliu – 8,92 metų. Tikėtina, kad tokia projekto atsipirkimo trukmė nebūtų patraukli investuotojams, todėl tokio tipo projektai turėtų būti skatinami finansine parama. Atsižvelgiant į galimybes gauti Europos Sąjungos finansinę paramą, priimta prielaida, kad šiam projektui įgyvendinti būtų suteikta 30 % finansinė parama. Atsižvelgiant į šią prielaidą, biodujų jėgainės su mikroturbina projekto atsipirkimo trukmė būtų 5,8 metų, o su vidaus degimo varikliu – 5,82 metų.
5. Tokie projektai neturėtų būti vertinami tik ekonominiu aspektu. Biodujų gamyba iš žemės ūkyje susidarantių atliekų ir jų panaudojimas energijos gamyboje mažina ekologinę taršą. Į atmosferą patekęs metanas, lyginant su anglies dioksidu, sukelia keliasdešimt kartų didesnę šiltnamio efektą, todėl labai svarbu tinkamai apdoroti susidarantią atlieką. Šiame darbe apžvelgti aplinkosauginiai aspektai ir nustatyta, kad mikroturbinos išmeta mažesnius teršalų kiekius nei vidaus degimo varikliai. Be to, mikroturbinų sukeliama triukšmo lygis darbo metu yra 15–20 dBA mažesnis už vidaus degimo variklių sukeliama triukšmą.

## Literatūros sąrašas

1. DZENAJAVIČIENĖ, Eugenija F., Nerijus PEDIŠIUS, Romualdas ŠKĖMA. *Darni bioenergetika*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2011 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/bioenerlt/index\\_files/Biodujos\\_bros-SVVVV.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodujos_bros-SVVVV.pdf)
2. Lietuvos agrarinės ekonomikos institutas. *Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybių, poreikių įvertinimo ir plėtros galimybės (27 priemonė)*. Vilnius: Lietuvos agrarinės ekonomikos institutas, 2018 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT\\_versija/Veiklos\\_sritys/Zemes\\_ir\\_maisto\\_ukis/Bioenergetika/Biodujustudija%202018.pdf](https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Zemes_ir_maisto_ukis/Bioenergetika/Biodujustudija%202018.pdf)
3. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *The role of waste-to-energy in the circular economy*. Brussels: European Commission, 2017 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/environment/waste/waste-to-energy.pdf>
4. *Dėl Lietuvos kaimo plėtros 2014–2020 metų programos priemonės „Ūkio ir verslo plėtra“ veiklos „Parama biodujų gamybai iš žemės ūkio ir kitų atliekų“ įgyvendinimo taisyklių, taikomų nuo 2019 metų, patvirtinimo*, 2019 m. gegužės 7 d. Nr. 3D-285. (2019) [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f731c6a070a511e9a13eeecaacbc653f>
5. SAVICKAS Jonas, Stanislovas VRUBLIAUSKAS. *Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybės Lietuvoje*. Vilnius: Energetikos agentūra, 1997.
6. KOMEMOTO K., Y.G. LIM, N. NAGAO, Y. ONOUE, C. NIWA, T. TODA. *Effect of temperature on VFA's and biogas production in anaerobic solubilization of food waste*. Tokyo: Soka University, 2009 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09003079>
7. LIU Y., Y. ZHANG, X. QUAN, Y. LI, Z. ZHAO, X. MENG, S. CHEN. *Optimization of anaerobic acidogenesis by adding Fe0 powder to enhance anaerobic wastewater treatment*. Dalian: Dalian University of Technology, 2012 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712004044>
8. ZHOU J., R. ZHANG, F. LIU, X. YONG, X. WUA, T. ZHENG, M. JIANG, H. JIS. *Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure*. Nanjing: Nanjing Tech University, 2016 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416302140>
9. MUDHOO A., S. KUMAR. *Effects of heavy metals as stress factors on anaerobic digestion processes and biogas production from biomass*. Tehran: Islamic Azad University, 2013 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/257807191\\_Effects\\_of\\_heavy\\_metals\\_as\\_stress\\_factors\\_on\\_anaerobic\\_digestion\\_processes\\_and\\_biogas\\_production\\_from\\_biomass](https://www.researchgate.net/publication/257807191_Effects_of_heavy_metals_as_stress_factors_on_anaerobic_digestion_processes_and_biogas_production_from_biomass)
10. NAZIR M. *Biogas plants construction technology for rural areas*. Pakistan: Biotechnology and Food Research Centre, 1990 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0960852491901265?via%3Dihub>
11. ADEBAYO A. O., S. O. JEKAYINFA, B. LINKE. Effects of Organic Loading Rate on Biogas Yield in a Continuously Stirred Tank Reactor Experiment at Mesophilic Temperature. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2015, DOI: 10.9734/BJAST/2015/18040.
12. SCARLAT N., J-F. DALLEMAND, F. FAHL. *Biogas: Developments and perspectives in Europe*. Ispra: European Commission, Joint Research Centre, Directorate for Energy, Transport and Climate, 2018 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811830301X>

13. *Europos Parlamento rezoliucija dėl tvaraus žemės ūkio ir biodujų: poreikis peržiūrėti ES teisės aktus (2007/2107(INI)), 2008 m. kovo 12 d. Nr. (2009/C 66 E/05).* (2008) [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:066E:0029:0034:LT:PDF>
14. Europos Parlamentas ir Taryba. *Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančiųjų išteklių energiją*, 2018 m. gruodžio 11 d. Direktyva Nr. (ES) 2018/2001. (2018) Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
15. Lietuvos respublikos energetikos ministerija. *Atsinaujinančiųjų energijos išteklių dalis skirtinguose sektoriuose* [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/statistika>
16. Lietuvos statistikos departamentas. Oficialios statistikos portalas, biodujų gamyba Lietuvoje [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize#/>
17. Valstybinė energetikos reguliavimo taryba. *Gamtinių dujų rinkos stebėsenos ataskaita už 2019 m. I pusmetį*. Vilnius: Valstybinė energetikos reguliavimo taryba, 2019 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [http://www.regula.lt/SiteAssets/naujienu-medzia-ga/2019/rugsejis/DUJOS\\_ataskaita\\_2019\\_I\\_pusm.pdf](http://www.regula.lt/SiteAssets/naujienu-medzia-ga/2019/rugsejis/DUJOS_ataskaita_2019_I_pusm.pdf)
18. SHANE A., S. H. GHEEWALA. Missed environmental benefits of biogas production in Zambia. *Journal of Cleaner Production* 142 (2017) 1200-1209. 2016 [žiūrėta 2020-04-18], DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.060.
19. Eurostat. Electricity prices for household consumers [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_204f](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204f)
20. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [http://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija\\_2018\\_LT.pdf](http://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf)
21. NASCIMENTO, Marcos A. R, Lucilene O. RODRIGUES, Eraldo C. SANTOS, Eli E. B. GO-MES, Fagner L. G. DIAS, Elkin I. G. VELÁSQUES and Rubén A. M. CARRILLO. *Micro Gas Turbine Engine: A Review*. Brazil: Federal University of Itajubá – UNIFEI [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://cdn.intechopen.com/pdfs/45114/InTech-Micro\\_gas\\_turbi-ne\\_engine\\_a\\_review.pdf](https://cdn.intechopen.com/pdfs/45114/InTech-Micro_gas_turbi-ne_engine_a_review.pdf)
22. The European Association of Internal Combustion Engine Manufacturers. *Requirements on the quality of natural gas*. 2017 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.euromot.eu/wp-content/uploads/2018/02/EUROMOT-Position-Gas-Quality-2017-11-09-.pdf>
23. LAV C., C. KAUL, R. K. SINGH, A. RAI. Potential of Micro Turbines for Small Scale Power Generation. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*. 2013 [žiūrėta 2020-04-18], ISSN: 2319:2682.
24. MATULAITIS, R., V. JUŠKIENĖ, R. JUŠKA. Measurement of methane production from pig and cattle manure in Lithuania. *Zemdirbyste-Agriculture [interaktyvus]*. Baisogala, 2015, vol. 102, No. 1 (2015), 103–110 [žiūrėta 2020-04-18]. doi 10.13080/z-a.2015.102.013
25. NAGY G., W. AGNES. Biogas production from pig slurry - feasibility and challenges. *Materials Science and Engineering*. 2012, Pages 65–75 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/281368872\\_Biogas\\_production\\_from\\_pig\\_slurry\\_-\\_feasibility\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/281368872_Biogas_production_from_pig_slurry_-_feasibility_and_challenges)
26. GIMBUTIS, Gajus, Kazimieras KAJUTIS, Vytautas KRUKONIS, Algimantas PRANCKŪNAS, Petras ŠVENČIANAS. Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas, 1993 m.



27. FERREIRA, D. L. Bárbara, Jaqueline M. PAULO, João P. Braga e Rita C. O. SEBASTIÃO. *Methane combustion kinetic rate constants determination: an ill-posed inverse problem analysis*. Quim. Nova, Vol. 36, No. 2 (2013), 262-266 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n2/v36n2a11.pdf>
28. KIM S., T. SUNG, K. C. KIM. *Thermodynamic Performance Analysis of a Biogas-Fuelled Micro-Gas Turbine with a Bottoming Organic Rankine Cycle for Sewage Sludge and Food Waste Treatment Plants*. Busan: Pusan National University, 2017 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/275>
29. EBRAHIMI M., A. KESHAVARZ. 2 - CCHP Technology. *Combined Cooling, Heating and Power*. 2015, Pages 35-91 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099985-2.00002-0>
30. U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership. *Catalog of CHP Technologies, Section 5. Technology Characterization – Microturbines*. 2015 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog\\_of\\_chp\\_technologies\\_section\\_5\\_characterization\\_-\\_microturbines.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies_section_5_characterization_-_microturbines.pdf)
31. DARŠKUVIENĖ V. Įmonės finansų valdymas. Kaunas: Technologija, 1997 m.
32. SALERNO M., F. GALLUCCI, L. PARI, I. ZAMBON, D. SARRI, A. COLANTONI. Costs-benefits analysis of a small-scale biogas plant and electric energy production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017, 23 (No 3) 2017, 357–362 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://flore.unifi.it/retrieve/handle/2158/1167770/420812/2\\_Bulgarian.pdf](https://flore.unifi.it/retrieve/handle/2158/1167770/420812/2_Bulgarian.pdf)
33. Rimantas Pranas Deksnys, Robertas Staniulis, Vaclovas Miškinis. Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis. Kursinis projektavimas. Mokomoji knyga. Kaunas: Technologija, 2007 m.
34. WALLA C., W. SCHNEEBERGER. The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy*. 2008, Pages 551-557 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.009>
35. GEBREZGABHERA S. A., M. P. M. MEUWISSENA, B. A. M. PRINSB, A. G. J. M. O. LANSINK. Economic analysis of anaerobic digestion—A case of Green power biogas plant in The Netherlands. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 2009, pages 109–115 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.njas.2009.07.006>
36. COKER A. K. Cost estimation and economic evaluation. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants (Fourth Edition)*. 2007, Pages 69-102 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-075067766-0/50009-9>
37. Capstone Turbine Corporation. *Capstone Low Emissions MicroTurbine Technology, White Paper*. Chatsworth: Capstone Turbine Corporation, 2000 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://www.bioturbine.org/Publications/PDF/Capstone-White\\_Paper.pdf](https://www.bioturbine.org/Publications/PDF/Capstone-White_Paper.pdf)
38. Capstone Turbine Corporation. *Capstone MicroTurbine User's Manual*. Chatsworth: Capstone Turbine Corporation, 2002 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://www.wmrc.edu/projects/BAREnergy/manuals/c-30-manuals/400001\\_C30\\_C60\\_MicroTurbine\\_Users\\_Manual.pdf](https://www.wmrc.edu/projects/BAREnergy/manuals/c-30-manuals/400001_C30_C60_MicroTurbine_Users_Manual.pdf)
39. Capstone Turbine Corporation. *Product Specification: Models C600, C800, and C1000*. Chatsworth: Capstone Turbine Corporation, 2009 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: [https://swiftequipment.com/Images/Generators/100784/C1000PRODUCT\\_SPECIFICATIONS.PDF](https://swiftequipment.com/Images/Generators/100784/C1000PRODUCT_SPECIFICATIONS.PDF)
40. Deutz. Characteristics of the TCG. Mannheim: DEUTZ AG, 2016 [žiūrėta 2020-04-18]. Prieiga per: <http://www.coalinfo.net.cn/deutz/eng/Doku/TCG2016.pdf>

**Priedai**

**1 priedas. Projekto esamoji vertė (biodujų jėgainė su mikroturbina)**

**Biodujų jėgainė su mikroturbina**

	1 metai	2 metai	3 metai	4 metai	5 metai	6 metai	7 metai	8 metai	9 metai	10 metai	11 metai	12 metai	13 metai	14 metai	15 metai
Išlaidos kurui, Eur	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Išlaidos atlyginimams, Eur	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00
Išlaidos draudimui, Eur	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75	-€ 2208,75
Išlaidos eksploatacijai, Eur	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20	-€ 7035,20
Pajamos (sutaupyti pinigai), Eur	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30
Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35	€ 62751,35

	Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	Diskonto normos koeficientas	Projekto esamoji vertė
0 metai	-441750	1	-€ 441 750,00
1 metai	62751,35	1,05	€ 59 763,19
2 metai	62751,35	1,1025	€ 56 917,32
3 metai	62751,35	1,157625	€ 54 206,98
4 metai	62751,35	1,21550625	€ 51 625,69
5 metai	62751,35	1,276281563	€ 49 167,32
6 metai	62751,35	1,340095641	€ 46 826,02
7 metai	62751,35	1,407100423	€ 44 596,21
8 metai	62751,35	1,477455444	€ 42 472,58
9 metai	62751,35	1,551328216	€ 40 450,08
10 metai	62751,35	1,628894627	€ 38 523,89
11 metai	62751,35	1,710339358	€ 36 689,41
12 metai	62751,35	1,795856326	€ 34 942,30
13 metai	62751,35	1,885649142	€ 33 278,38
14 metai	62751,35	1,979931599	€ 31 693,70
15 metai	62751,35	2,078928179	€ 30 184,47
		Projekto esamoji vertė	€ 209 587,55

1 metai	-381986,8		
2 metai	-325069,5		
3 metai	-270862,5		
4 metai	-219236,8		
5 metai	-170069,5		
6 metai	-123243,5		
7 metai	-78647,26		
8 metai	-36174,67		
9 metai	4275,4057		
10 metai	42799,291		
11 metai	79488,706		
12 metai	114431,01		
13 metai	147709,39		
14 metai	179403,08		
15 metai	209587,55	Atsipirkimo trukmė	8,89

**Pagrindinės charakteristikos**

Elektros energijos kaina, Eur/MWh	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00
Metinis elektros energijos poreikis, MWh	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7
Sutaupyti pinigai už elektros energiją, Eur	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30
Šilumos energijos kaina, Eur/MWh	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00
Metinis šilumos energijos poreikis, MWh	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
Sutaupyti pinigai už šilumos energiją, Eur	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00

2 priedas. Projekto esamoji vertė (biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu)

Biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu

	1 metai	2 metai	3 metai	4 metai	5 metai	6 metai	7 metai	8 metai	9 metai	10 metai	11 metai	12 metai	13 metai	14 metai	15 metai
Išlaidos kurui, Eur	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Išlaidos atlyginimams, Eur	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00	-€ 12000,00
Išlaidos draudimui, Eur	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75	-€ 2078,75
Ekspluatacijos sąnaudos, Eur	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50	-€ 10992,50
Pajamos (sutaupyti pinigai), Eur	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30	€ 83995,30
Pinigų srautas, CF, Eur	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05	€ 58924,05

	Pinigų srautas, CF, Eur	Diskonto normos koeficientas	Projekto esamoji vertė
0 metai	-415750	1	-€ 415 750,00
1 metai	58924,05	1,05	€ 56 118,14
2 metai	58924,05	1,1025	€ 53 445,85
3 metai	58924,05	1,157625	€ 50 900,81
4 metai	58924,05	1,21550625	€ 48 476,96
5 metai	58924,05	1,276281563	€ 46 168,54
6 metai	58924,05	1,340095641	€ 43 970,03
7 metai	58924,05	1,407100423	€ 41 876,22
8 metai	58924,05	1,477455444	€ 39 882,12
9 metai	58924,05	1,551328216	€ 37 982,97
10 metai	58924,05	1,628894627	€ 36 174,26
11 metai	58924,05	1,710339358	€ 34 451,67
12 metai	58924,05	1,795856326	€ 32 811,12
13 metai	58924,05	1,885649142	€ 31 248,68
14 metai	58924,05	1,979931599	€ 29 760,65
15 metai	58924,05	2,078928179	€ 28 343,48
		Projekto esamoji vertė	€ 195861,49

1 metai	-359631,9		
2 metai	-306186		
3 metai	-255285,2		
4 metai	-206808,2		
5 metai	-160639,7		
6 metai	-116669,7		
7 metai	-74793,44		
8 metai	-34911,33		
9 metai	3071,6398		
10 metai	39245,895		
11 metai	73697,567		
12 metai	106508,68		
13 metai	137757,36		
14 metai	167518,01		
15 metai	195861,49	Atsipirkimo trukmė	8,92

Pagrindinės charakteristikos

Elektros energijos kaina, Eur/MWh	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00
Metinis elektros energijos poreikis, MWh	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7
Sutaupyti pinigai už elektros energiją, Eur	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30	€ 65515,30
Šilumos energijos kaina, Eur/MWh	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00
Metinis šilumos energijos poreikis, MWh	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
Sutaupyti pinigai už šilumos energiją, Eur	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00	€ 18480,00

**3 priedas. Projekto esamoji vertė su parama (biodujų jėgainė su mikroturbina)**

**Biodujų jėgainė su mikroturbina (su 30 % finansine parama)**

	1 metai	2 metai	3 metai	4 metai	5 metai	6 metai	7 metai	8 metai	9 metai	10 metai	11 metai	12 metai	13 metai	14 metai	15 metai
Išlaidos kurui, Eur	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Išlaidos atlyginimams, Eur	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00
Išlaidos draudimui, Eur	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75	-€ 2 208,75
Išlaidos eksploatacijai, Eur	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20	-€ 7 035,20
Pajamos (sutaupyti pinigai), Eur	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30
Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35	€ 62 751,35

	Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	Diskonto normos koeficientas	Projekto esamoji vertė
0 metai	-309225	1	-€ 309 225,00
1 metai	62751,35	1,05	€ 59 763,19
2 metai	62751,35	1,1025	€ 56 917,32
3 metai	62751,35	1,157625	€ 54 206,98
4 metai	62751,35	1,21550625	€ 51 625,69
5 metai	62751,35	1,276281563	€ 49 167,32
6 metai	62751,35	1,340095641	€ 46 826,02
7 metai	62751,35	1,407100423	€ 44 596,21
8 metai	62751,35	1,477455444	€ 42 472,58
9 metai	62751,35	1,551328216	€ 40 450,08
10 metai	62751,35	1,628894627	€ 38 523,89
11 metai	62751,35	1,710339358	€ 36 689,41
12 metai	62751,35	1,795856326	€ 34 942,30
13 metai	62751,35	1,885649142	€ 33 278,38
14 metai	62751,35	1,979931599	€ 31 693,70
15 metai	62751,35	2,078928179	€ 30 184,47
		Projekto esamoji vertė	€ 342 112,55

1 metai	-249461,81		
2 metai	-192544,49		
3 metai	-138337,51		
4 metai	-86711,82		
5 metai	-37544,49		
6 metai	9281,53		
7 metai	53877,74		
8 metai	96350,33		
9 metai	136800,41		
10 metai	175324,29		
11 metai	212013,71		
12 metai	246956,01		
13 metai	280234,39		
14 metai	311928,08		
15 metai	342112,55	Atsipirkimo trukmė	5,8

**Pagrindinės charakteristikos**

Elektros energijos kaina, Eur/MWh	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00
Metinis elektros energijos poreikis, MWh	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7
Sutaupyti pinigai už elektros energiją, Eur	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30
Šilumos energijos kaina, Eur/MWh	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00
Metinis šilumos energijos poreikis, MWh	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
Sutaupyti pinigai už šilumos energiją, Eur	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00

**4 priedas. Projekto esamoji vertė su parama (biodujų jėgainė su vidaus degimo varikliu)**

**Biodučių jėgainė su vidaus degimo varikliu (su 30 % finansine parama)**

	1 metai	2 metai	3 metai	4 metai	5 metai	6 metai	7 metai	8 metai	9 metai	10 metai	11 metai	12 metai	13 metai	14 metai	15 metai
Išlaidos kurui, Eur	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00	€ 0,00
Išlaidos atlyginimams, Eur	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00	-€ 12 000,00
Išlaidos draudimui, Eur	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75	-€ 2 078,75
Eksplotacijos sąnaudos, Eur	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50	-€ 10 992,50
Pajamos (sutaupyti pinigai), Eur	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30	€ 83 995,30
Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05	€ 58 924,05

	Pinigų srautas, CF <sub>t</sub> , Eur	Diskonto normos koeficientas	Projekto esamoji vertė
0 metai	-291025	1	-€ 291 025,00
1 metai	58924,05	1,05	€ 56 118,14
2 metai	58924,05	1,1025	€ 53 445,85
3 metai	58924,05	1,157625	€ 50 900,81
4 metai	58924,05	1,21550625	€ 48 476,96
5 metai	58924,05	1,276281563	€ 46 168,54
6 metai	58924,05	1,340095641	€ 43 970,03
7 metai	58924,05	1,407100423	€ 41 876,22
8 metai	58924,05	1,477455444	€ 39 882,12
9 metai	58924,05	1,551328216	€ 37 982,97
10 metai	58924,05	1,628894627	€ 36 174,26
11 metai	58924,05	1,710339358	€ 34 451,67
12 metai	58924,05	1,795856326	€ 32 811,12
13 metai	58924,05	1,885649142	€ 31 248,68
14 metai	58924,05	1,979931599	€ 29 760,65
15 metai	58924,05	2,078928179	€ 28 343,48
		Projekto esamoji vertė	€ 320 586,49

1 metai	-234906,86		
2 metai	-181461,01		
3 metai	-130560,20		
4 metai	-82083,24		
5 metai	-35914,70		
6 metai	8055,33		
7 metai	49931,56		
8 metai	89813,67		
9 metai	127796,64		
10 metai	163970,90		
11 metai	198422,57		
12 metai	231233,68		
13 metai	262482,36		
14 metai	292243,01		
15 metai	320586,49	Atsipirkimo trukmė	5,82

**Pagrindinės charakteristikos**

Elektros energijos kaina, Eur/MWh	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00	€ 149,00
Metinis elektros energijos poreikis, MWh	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7	439,7
Sutaupyti pinigai už elektros energiją, Eur	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30	€ 65 515,30
Šilumos energijos kaina, Eur/MWh	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00	€ 35,00
Metinis šilumos energijos poreikis, MWh	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528	528
Sutaupyti pinigai už šilumos energiją, Eur	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00	€ 18 480,00

# Modelling and simulation of biogas micro-turbine power plant for livestock farm

**Dominykas LINCEVIČIUS\*, Rolandas JONYNAS\***

*\* Kaunas University of Technology, Department of Energy, Studentų st. 56, Kaunas, dominykas.lincevicius@ktu.edu, rolandas.jonynas@ktu.lt*

## 1. Introduction

Rapidly growing human population and the cost of living leads us to the increasing consumption. Up to 80 percent of the total global energy demand is generated by using oil, natural gas and coal resources. Fossil fuel resources are known to be limited. Growing consumption also increases the amount of organic matter in all areas, such as agriculture, the food and beverage industry, sewage industry and biofuel industry. This organic matter causes damage to the environment and has an effect on human health. It is essential to minimize this damage and negative impact.

Fossil fuel resources are limited, which means that people will no longer have or will have very few of these resources in the future. The dwindling amount of fossil fuel resources increases its price, thus it is important to identify efficient alternative energy technologies. Such energy consists of solar radiation, wind, hydro, biogas, and more. Unlocking the potential of these renewable energy resources contributes to the strategic objectives of the European Union and national policy. The use of these resources in the future could satisfy not only a part of Lithuania's energy needs but could also reduce deforestation.

For this investigation, the technology of energy production from biogas has been chosen. The production of biogas from anaerobically treated organic matter provides an opportunity to produce electricity and thermal energy, but it is seen that such energy production method is not attractive in Lithuania. This usually happens due to the long payback period of this technology, and also because there is a lack of interest in the ecological benefits.

There are a couple of reasons that make biogas production technology unattractive. The first problem with biogas production from livestock manure is that most manure is produced on farms with only a few or a few dozen livestock. It would not be effective to build biogas power plants on such farms because the

raw materials needed for biogas production would be simply not enough. The second problem is considered to be the insufficient financial support for the construction of biogas power plants. A report published by the European Commission in 2017 emphasizes the need to set up financing schemes for the biogas sector in order to ensure its sustainable development.

## 2. Composition and properties of biogas

Biogas is mainly composed of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) but small amounts of nitrogen (N), hydrogen (H<sub>2</sub>), hydrogen sulphide (H<sub>2</sub>S) and oxygen (O<sub>2</sub>) can also be detected in biogas. Biogas heating value is mainly determined by the concentration of methane. Biogas is considered a valuable fuel if the methane concentration is equal to or higher than 55 %. On average, heating value of biogas can range from 20 to 25 MJ/Nm<sup>3</sup>. From an energy point of view, this is a great result, which is only about one third lower than the natural gas. The data table shows characteristics of biogas (see *Table 1*).

Table 1.

Biogas characteristics [1]

Parameter	Composition				Biogas
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
Theoretical content, %	55–70	30–45	<1	<3	100
Heating value, MJ/m <sup>3</sup>	37,7	-	10,8	22,8	22,6
Density, kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

## 3. Modelling and simulation

Pig farm in Molėtai county was chosen for the biogas power plant with microturbine modelling and simulation. Current livestock population on this farm is 6550. All livestock are kept in one building with nine barns. All barns are connected by a corridor system. The hydro washing system is used to remove pig manure from barns. The collected pig manure is used as a fertilizer. Spray bio stabilizer promotes faster development of natural microorganisms, moreover, it is used to protect against ammonia and unpleasant odours.

It is assumed that the concentration of methane in biogas is 65 %, and lower calorific value of methane is 35,8 MJ/m<sup>3</sup>. The production of biogas, given in equation (1) is function of the annual organic matter amount and biogas yield. Given result values are under normal conditions. The data table shows results of annual amount of biogas produced from the organic matter (see *Table 2*).

$$V_{biogas\ production} = m_{annual\ amount\ of\ organic\ matter} \cdot P_{biogas\ yield} \quad (1)$$

Table 2.

Biogas characteristics

Organic matter	Annual organic matter amount, tones	Annual biogas production, Nm <sup>3</sup>
Pig manure	8530	255900
Digestive system content	104	5200
Slaughterhouse wastewater	1200	30000
Domestic wastewater	310	6200

The figure shows principle scheme of biogas plant with microturbine (see *Figure 1*).

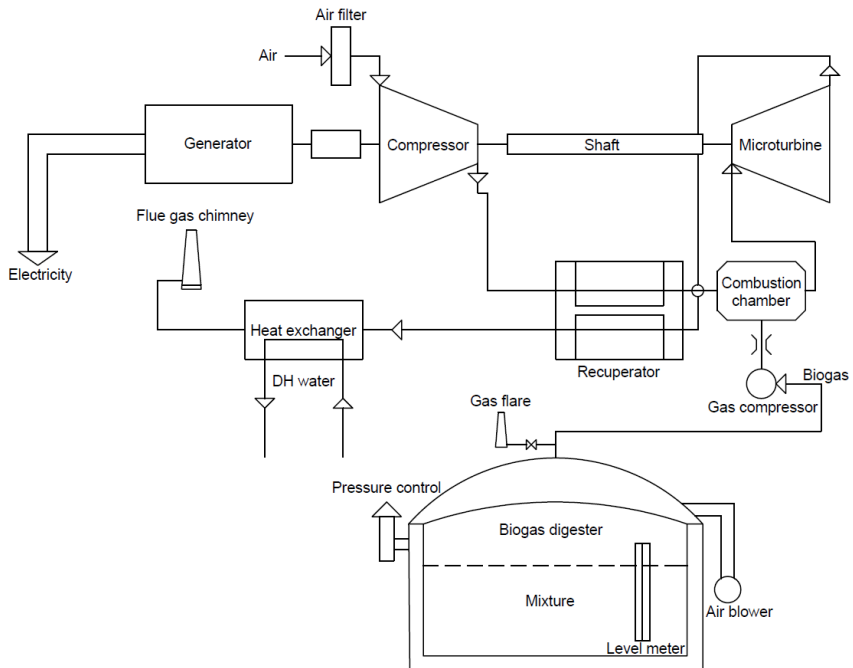


Fig. 1 Principle scheme of biogas plant with microturbine

It is assumed that the temperature of biogas before the compressor is 303,15 K and the pressure after the compressor is 105115 Pa. The volume of biogas under operating conditions, given in equation (2) is function of pressure,



volume and temperature that changes from one state to another.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \tag{2}$$

The amount of electricity produced depends on the type of equipment and the power generated, as well as the quality of the fuel used and the operating environmental conditions. From several possible models, a Capstone C65 microturbine was selected for this modelling study, to which biogas with low methane concentration and high amounts of pollutants could be supplied. The selected pig farm annually consumes an average of 528 MWh of thermal energy and 439,7 of electricity. The figure shows the annual thermal energy and electricity demand (see *Figure 2*).

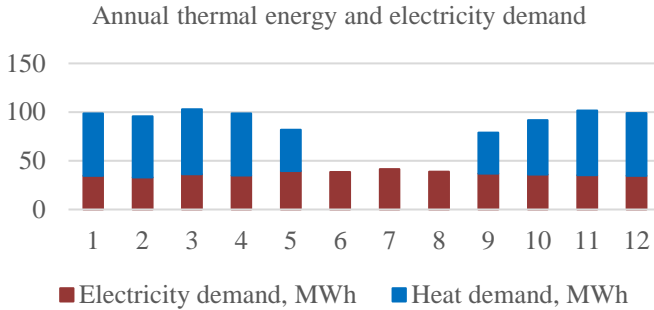


Fig. 2 Annual thermal energy and electricity demand

To evaluate the use of biogas microturbine for the pig farm, two different scenarios were created.

Scenario 1 – system is designed to completely meet the electricity demand. Thermal energy generation becomes the by-product. In this case, the surplus thermal energy will be released into the atmosphere.

Scenario 2 – system is designed to operate at the full load capacity. Thermal energy generation becomes the by-product. In this case, the surplus electricity will be sold to the electricity grid and the surplus thermal energy will be released into the atmosphere.

The electricity and thermal energy generation capacity mainly depends on microturbine load capacity and efficiency at the chosen load capacity point. Graphs show the efficiency coefficients (see *Figure 3*). These electricity and thermal energy production graphs based on manufacturer’s provided data [2][3].

Due to the low annual average temperature in Lithuania, the ambient temperature conditions are not evaluated in this modelling, as these conditions would not have a significant meaning in the final result.

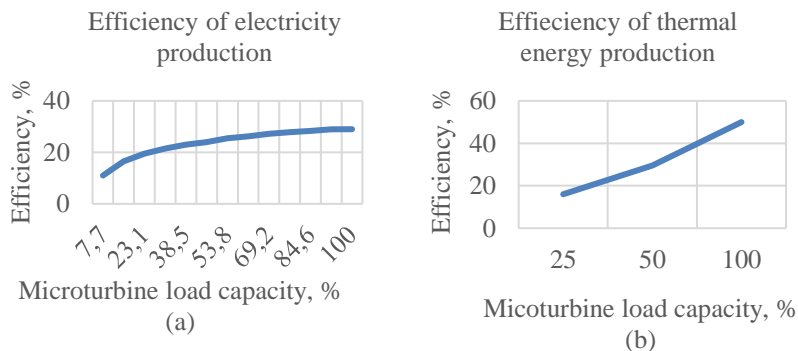


Fig. 3 Efficiency of: a – electricity, b – thermal energy production

## 4. Modelling results

This model was built using MATLAB/Simulink software package.

### 4.1. Scenario 1

The graph it is shown modelling results of microturbine load capacity and the amount of generated electricity (see *Figure 4*). The load capacity of microturbine is calculated based on set electricity demand. According to the results presented in the graph, it can be seen that the load of the microturbine varies on average from slightly more than 70 % to almost 90 %, and the amount of electricity produced corresponds to the electricity demand. The graph shows modelling results of the thermal energy production (see *Figure 4*).

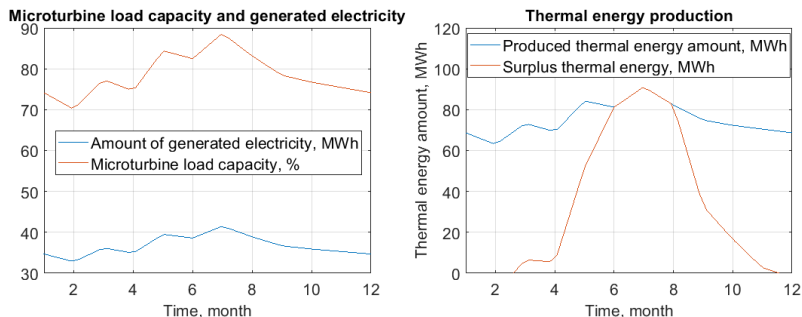


Fig. 4 Load capacity and production of electricity and thermal energy

The graph shows that the efficiency of electricity production varies from slightly more than 27.3% to almost 28.7% (see *Figure 5*). The graph shows that the efficiency of thermal energy production at different loads varies in the range from almost 38 % to slightly more than 45 % (see *Figure 5*). It is important to mention that this is the graph of the average efficiency values, as the simulated case assumes average energy consumption per month.

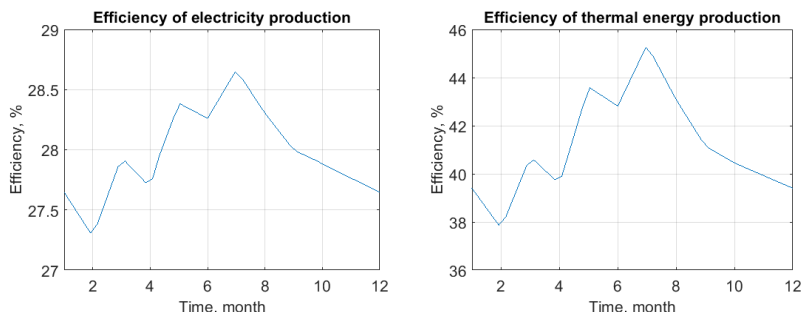


Fig. 5 Efficiency of electricity and thermal energy production

The amount of supplied fuel also depends on the load at which the microturbine is operating. As the load increases, so does the amount of supplied fuel. The amount of supplied fuel shown in the graph is under normal conditions when the pressure is 101325 Pa and the temperature is 273,15 K. From the presented graph it is seen that the minimum fuel supply will be in February and will be approximately 26 m<sup>3</sup>/h (see *Figure 6*). Accordingly, the maximum amount of supplied fuel will be in July and will be approximately 31 m<sup>3</sup>/h. Shown results depend on the lowest electricity demand in February and the highest electricity demand in July. The graph shows the amount of supplied fuel power to the microturbine (see *Figure 6*).

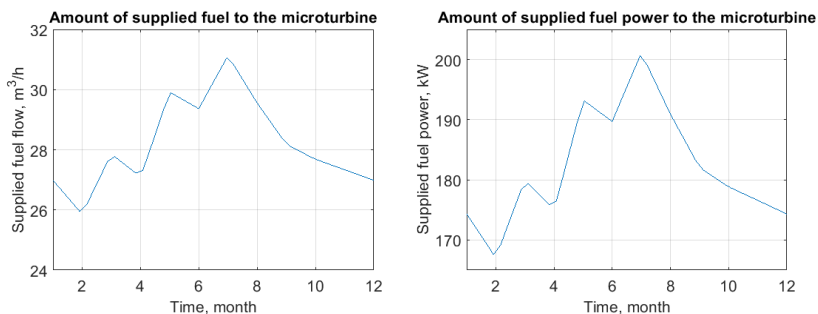


Fig. 6 Amount of supplied fuel and fuel power to the microturbine

### 4.1. Scenario 2

The microturbine operates at the full load throughout the year and produces approximately the same amount of electricity and thermal energy each month. The microturbine will produce the surplus amount of electricity and thermal energy. The surplus electricity will be sold to the electric grid, however, the surplus thermal energy will be released into the atmosphere. The graph shows the surplus electricity generated each month (see *Figure 7*) and the surplus thermal energy production each month (see *Figure 7*). In addition, graphs show that the lowest amount of surplus electricity generated will be in July and will result to approximately 5,5 MWh, while the highest will be in February and will result to almost 14 MWh (see *Figure 7*). The lowest amount of surplus thermal energy will be produced from December to January and will reach about 40 MWh, while the highest will be from June to August when there is no need to heat the pig farm and the amount of thermal energy consumed is equivalent to zero.

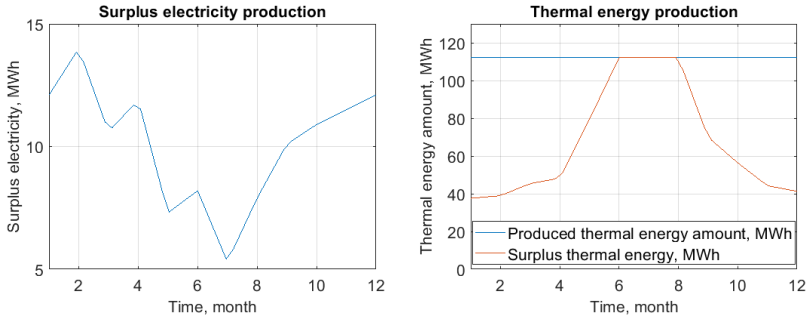


Fig. 7 Surplus electricity and thermal energy production

### 5. Conclusions

For the first scenario, the electricity demand was completely supplied by the microturbine. According to the results presented in the graph, it can be seen that the load of the microturbine varies on average from slightly more than 70 % to almost 90 %, and the amount of electricity produced corresponds to the electricity demand. The efficiency of electricity production varies from slightly more than 27.3% to almost 28.7%. The efficiency of thermal energy production at different loads varies in the range from almost 38 % to slightly more than 45 %. The minimum fuel supply will be in February and will be approximately 26 m<sup>3</sup>/h. The maximum amount of supplied fuel will be in July and will be approximately 31 m<sup>3</sup>/h.

For the second scenario, the amount of produced electricity was surplus, and it was necessary to sell the surplus electricity to the grid. The lowest

amount of surplus electricity generated will be in July and will result to approximately 5,5 MWh, while the highest will be in February and will result to almost 14 MWh. The lowest amount of surplus thermal energy will be produced from December to January and will reach about 40 MWh, while the highest will be from June to August when there is no need to heat the pig farm.

Performed investigation will possibly help to make a decision to invest or not by evaluating the best option between two scenarios. It will also be necessary to perform an economic analysis, considering the investment, cost of operation and maintenance, as well as the cost of electricity sold to the grid. By having economic analysis, the best scenario will be chosen.

## References

1. **Lithuanian institute of agrarian economics.** Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybių, poreikių įvertinimo ir plėtros galimybės (27 priemonė). Vilnius: Lithuanian institute of agrarian economics, 2018 [accessed April 14th, 2020]. Access via: [https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT\\_versija/Veiklos\\_sritys/Zemes\\_ir\\_maisto\\_ukis/Bioenergetika/BI\\_odujustudija%202018.pdf](https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Zemes_ir_maisto_ukis/Bioenergetika/BI_odujustudija%202018.pdf)
2. **Capstone Turbine Corporation.** Capstone Low Emissions MicroTurbine Technology, White Paper. Chatsworth: Capstone Turbine Corporation, 2000 [accessed April 14th, 2020]. Access via: [https://www.biorturbine.org/Publications/PDF/Capstone-White\\_Paper.pdf](https://www.biorturbine.org/Publications/PDF/Capstone-White_Paper.pdf)
3. **U.S. Environmental Protection Agency,** Combined Heat and Power Partnership. Catalog of CHP Technologies, Section 5. Technology Characterization – Microturbines. 2015 [accessed April 14th, 2020]. Access via: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog\\_of\\_chp\\_technologies\\_section\\_5\\_characterization\\_-\\_microturbines.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies_section_5_characterization_-_microturbines.pdf)

Dominykas LINCEVIČIUS, Rolandas JONYNAS

## Modelling and simulation of biogas power plant for livestock farm

### S u m m a r y

In this paper, the biogas based microturbine power plant was investigated (using MATLAB/Simulink software package). The graphs of microturbine load capacity, electricity and thermal energy production, efficiency of energy production, amount of supplied fuel and fuel power were created. Presented results may be beneficial to the investors, system designers or even farm owners and decision makers.

**Keywords:** biogas, power plant, microturbine, electricity, thermal energy.