



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Kauno regione atskirai surinktų komunalinių maisto atliekų valdymas, taikant pramoninės simbiozės principus

Baigiamasis magistro projektas

Urtė Misiūnaitė

Projekto autorė

doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Aplinkos inžinerijos institutas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Kauno regione atskirai surinktų komunalinių maisto atliekų valdymas, taikant pramoninės simbiozės principus

Baigiamasis magistro projektas
Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Urtė Misiūnaitė

Projekto autorė

doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

prof. dr. Jolita Kruopienė

Recenzentė

Kaunas, 2023

Misiūnaitė, Urtė. Kauno regione atskirai surinktų komunalinių maisto atliekų valdymas, taikant pramoninės simbiozės principus. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas; Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: Maisto ir virtuvės atliekos, medžiagų ir srautų analizė, pramoninė simbiozė, anaerobinis apdorojimas, kompostavimas, biodujos, biometanas.

Kaunas, 2023. 87 p.

Santrauka

Maisto atliekų tvarkymo klausimas aktualus dėl biomasės energetinio ir maistinio potencialo, kurio išnaudojimas prisidėtų prie linijinės ekonomikos transformavimo į žiedinę, remiantis tvarumo bei išteklių atgavimo principais. Europos Sąjungos ir Lietuvos Respublikos teisiniai reikalavimai nurodo, kad nuo 2023 m. gruodžio 31 d. valstybės narės privalės užtikrinti biologiškai skaidžių atliekų atskirą surinkimą arba perdirbimą jų susidarymo vietoje. Kauno regione atskiro maisto atliekų surinkimo ir perdirbimo infrastruktūra dar nėra įdiegta, todėl yra ieškomi tinkami būdai valdyti šį atliekų srautą. Pirmenybė tvarkant maisto atliekas turi būti teikiama biodujų gamybai bei likutinio substrato kompostavimui, užtikrinant darnų ir kokybišką pridėtinių vertės produktų gamybą, nesukeliant papildomo neigiamo poveikio aplinkai ar žmonių sveikatai.

Baigiamasis magistro projektas yra skirtas Kauno regione atskirai surinktų maisto ir virtuvės atliekų valdymo galimybėms analizuoti. Projekto tikslams ir uždaviniams pasiekti buvo naudojami švaresnės gamybos įdiegimo įmonės lygmenyje bei pramoninės ekologijos principų įdiegimo įmonės ir regiono lygmenyse metodikos elementai: dematerializavimas per taršos prevenciją ir pramoninis metabolizmas, realizuojant pramoninę simbiozę.

2022 m. atliktoje galimybių studijoje „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ buvo nuspręsta, kad Kauno regionui šiuo metu priimtiniausia alternatyva – pasterizuotos maisto ir virtuvės atliekų biomasės ruošimas Zabieliškio MAR teritorijoje ir jos perdavimas kitoms atliekų tvarkymo įmonėms. Baigiamojo projekto metu ši alternatyva buvo laikoma „esama situacija po 1 projekto įdiegimo“, su kuria buvo lyginamos dvi alternatyvos.

Pirmosios alternatyvos atveju siūloma maisto ir virtuvės atliekų biomasę apdoroti anaerobiškai, gautas biodujas gryninti ir skystinti į bio-CH₄ ir bio-CO₂, o gautą digestatą kompostuoti su žaliosiomis atliekomis (ŽA) vadovaujantis pramoninės simbiozės principais. Pagamintas suskystintas bio-CH₄ galėtų būti naudojamas transporto sektoriuje (vietoje iškastinio kuro naudojimo) bei pramonės sektoriuose (įmonių dujų degikliuose). Suskystintas bio-CO₂ galėtų būti naudojamas apdirbamosios ir kitos pramonės įmonėse bei būtų išvengiama CO₂ patekimo į aplinkos orą. Gautas biokompostas galėtų būti naudojamas žemės ūkio sektoriuje vietoje mineralinių trąšų naudojimo. Šios alternatyvos aplinkosauginė nauda VAP dėl ŠESD mažinimo srityje lygi 238,43–667,70 t CO_{2e}/m. arba 18–49 kg CO_{2e}/t MVA, priklausomai kokio tipo iškastinį kurą (atitinkamai gamtines dujas ar dyzelino kurą) pakeičia bio-CH₄ transporto sektoriuje. Ekonominė nauda pastebima dėl pajamų už

pridėtinės vertės produkcijos pardavimus – iš viso 1,34 mln. Eur/m., kai pagaminama 0,6 tūkst. t/m. bio-CH₄/m., 0,9 tūkst. t/m. bio-CO₂/m. ir 4 tūkst. t/m. biokomposto. Pajamos įvertinus kitų energijos ir medžiagų srautų kiekio ir kainos pokyčius siektų 814,73 tūkst. Eur/m. arba 60,9 Eur/t MVA. Projekto investicijos siektų 6,12 mln. Eur, atsiperkamumo trukmė – 7,5 metai.

Antrosios alternatyvos atveju siūloma po maisto ir virtuvės atliekų biomasės anaerobinio apdorojimo gautas biodujas deginti kogeneracinėje jėgainėje, gaminant elektros ir šilumos energiją savoms reikmėms bei pardavimui, o gautą digestatą, kaip ir 1-os alternatyvos atveju, tvarkyti toliau kartu su ŽA. Šios alternatyvos aplinkosauginė nauda VAP dėl ŠESD mažinimo srityje – 151,04 t CO_{2e}/m. arba 11 kg CO_{2e}/t MVA. Ekonominė nauda pastebima tik dėl perteklinės elektros energijos tiekimo į tinklus (iki 2,5 GWh/m.) bei pridėtinės vertės biokomposto gamybos – iš viso 403,76 tūkst. Eur/m. Didžioji dalis šilumos energijos nepanaudojama dėl šalia teritorijos neišvystytų dujų vamzdžių tinklų bei dėl to, kad Kėdainių miestas jau šiuo metu apšildomas naudojant šalia veikiančios AB „Lifosa“ pertekline energija. Įvertinus kitų energijos ir medžiagų srautų kiekio ir kainos pokyčius pajamos siektų 364,31 tūkst. Eur/m. arba 26,87 Eur/t MVA. Projekto investicijos siektų 6,68 mln. Eur, tačiau jų atsiperkamumo trukmė – 18,3 metai.

Remiantis atlikto tyrimo rezultatais, įmonei rekomenduojama įdiegti 1-ąją alternatyvą, t.y. suskystinto bio-CH₄ ir bio-CO₂ bei biokomposto gamybos pajėgumus dėl, visų pirma, didesnio aplinkosauginio veiksmingumo klimato kaitos mažinimo dėl ŠESD srityje (37–77 proc. didesnis VAP, lyginant su 2 alternatyva), antrą – dėl geresnių ekonominių rodiklių: 8 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant apdoroti 1 toną MVA ir 79 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant sumažinti klimato kaitą apdorojant MVA (t.y. sumažinti 1 toną CO_{2e}).

Misiūnaitė, Urtė. Management of Separately Collected Municipal Food Waste in the Kaunas Region, Applying the Principles of Industrial Symbiosis. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Irina Kliopova; Institute of Environmental Engineering; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: Food waste, material flow analysis, industrial symbiosis, anaerobic digestion, composting, biogas, biomethane.

Kaunas, 2023. 87 p.

Summary

The issue of food waste management is relevant due to the energy and nutritional potential of biomass, which could contribute to the linear economy transformation into a circular, based on the principles of sustainability and resource recovery. The legal requirements of the European Union and Lithuania indicate that from 2023 December 31 member states will have to ensure separate collection or recycling of biodegradable waste at the point of generation. In the Kaunas region, the infrastructure for separate collection and processing of food waste has not yet been implemented, so appropriate ways to manage this waste flow are being sought. When handling food waste, priority must be given to the production of biogas and composting of the residual substrate, ensuring sustainable and high-quality production of value-added products, without causing additional negative effects on the environment or human health.

The final master's project is aimed at analyzing the possibilities of separately collected food and kitchen waste management in the Kaunas region. To achieve the goals and objectives of the project, elements of the methodology of introducing cleaner production at the company level and introducing the principles of industrial symbiosis at the company and regional levels were used: dematerialization through pollution prevention and industrial metabolism, realizing industrial symbiosis.

In 2022, in the conducted feasibility study "Preparation for the introduction of separate collection of food and kitchen waste in the municipalities of Kaunas region", it was decided that the most acceptable alternative for the Kaunas region is the preparation of pasteurized food and kitchen waste biomass in the territory of Zabieliškis MAR and the transfer of biomass to other waste management companies. During the final project, this alternative was considered as the existing situation after the implementation of the project, against which the two alternatives were compared.

In the case of the first alternative, it is proposed to process the biomass of food and kitchen waste anaerobically, purify and liquefy the obtained biogas into bio-CH₄ and bio-CO₂, and compost the obtained digestate with green waste according to the principles of industrial symbiosis. The produced liquefied bio-CH₄ could be used in the transport sector (in place of fossil fuel use) and in the industrial sectors (in enterprise gas burners). Liquefied bio-CO₂ could be used in manufacturing industries, preventing CO₂ from entering the ambient air. Biocompost could be used in the agricultural sector instead of using mineral fertilizers. The environmental benefit of this alternative in terms of GHG reduction is equal to 238.43–667.70 t CO_{2e}/year. or 18–49 kg CO_{2e}/t FW, depending on the fossil fuel replaced by bio-CH₄ (natural gas or diesel, respectively). The economic benefit is noticeable due to

the income from the sales of value-added products – a total of 1.34 million. EUR/year, when 0.6 thousand tons of bio-CH₄, 0,9 thousand tons of bio-CO₂/year and 4 thousand tons of biocompost are produced per year. Income after evaluating changes in the amount and price of other energy and material flows would amount to 814.73 thousand EUR/year. or 60.9 EUR/t FW. Project investments would amount to 6.12 million. EUR, payback period 7.5 years.

In the case of the second alternative, it is proposed to burn the biogas obtained after the anaerobic treatment of food and kitchen waste biomass in a cogeneration plant, producing electricity and heat energy for own needs and for sale, and, as in the case of the 1st alternative, to further process the digestate together with green waste. The environmental benefit of this alternative in terms of GHG reduction is equal to 151.04 t CO_{2e}/year. or 11 kg CO_{2e}/t FW. The economic benefit is noticeable only due to the supply of electricity to the grid (2.5 GWh/year) and the production of added value biocompost – a total of 403.8 thousand EUR/year. Most of the heat energy is not used due to the undeveloped gas pipe networks near the territory and the fact that the city of Kėdainiai is already being heated using the surplus energy of AB "Lifosa" operating nearby. After evaluating the changes in the amount and price of other energy and material flows, the income would reach 364.4 thousand EUR/year. or 26.87 EUR/t FW. Project investments would amount to 6.68 million. EUR, but the payback period is 18.3 years.

Based on the results of the conducted research, the company is recommended to implement the 1st alternative, i.e. liquefied bio-CH₄ and bio-CO₂ and biocompost production capacity, firstly, due to higher environmental performance in terms of climate change mitigation due to GHG (37–77% higher reduction of global warming potential compared to alternative 2), secondly due to better economic indicators: 8% lower investment requirement to treat 1 tonne of FW and 79% lower investment requirement to reduce climate change by treating FW (i.e. reduce 1 tonne CO_{2e}).

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, statistinių duomenų analizė bei teisės aktų apžvalga maisto atliekų valdymo srityje	13
1.1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymą reglamentuojančių Europos Sąjungos bei Lietuvos Respublikos teisės aktų apžvalga	13
1.2. Maisto ir virtuvės atliekų susidarymo potencialas, tendencijos ir kiekių prognozė.....	17
1.3. Rūšiuojamuoju būdu surenkamų maisto ir virtuvės atliekų valdymo schemos ir jų pritaikymas Kauno regione	18
1.4. Maisto ir virtuvės atliekų apdorojimo technologijos.....	21
1.4.1. Maisto ir virtuvės atliekų savybės bei veiksniai, darantys įtaką jų sudėčiai ir anaerobinio apdorojimo proceso efektyvumui	25
1.4.2. Maisto ir virtuvės atliekų anaerobinio apdorojimo metu gaunami pridėtinės vertės produktai	28
1.5. Būvio ciklo įvertinimas optimaliam maisto ir virtuvės atliekų valdymui	30
2. Metodinė dalis.....	34
2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas.....	34
2.2. Duomenų rinkimo ir analizės metodologija	34
2.3. Švaresnės gamybos diegimo pramonės įmonėse metodikos pritaikymas tyrime.....	35
2.4. Pramoninės ekologijos koncepcijos elementų pritaikymas tyrime	36
2.5. Tyrime naudojamos metodikos (metodai) kiekybiškai įvertinti įvedinius ir išvedinius	37
3. Tyrimo rezultatai.....	40
3.1. Mišrių komunalinių atliekų centralizuotas tvarkymas Kauno regione: situacijos analizė	40
3.2. Kauno regione planuojama situacija, įgyvendinus maisto ir virtuvės atliekų surinkimą ir išgryninimą: analizė ir problemų identifikavimas	44
3.3. Siūlomos alternatyvos ir jų įvykdomumo analizė	51
3.3.1. Išskirtų maisto ir virtuvės atliekų anaerobinis apdorojimas gaminant suskystintą bio–metaną ir bio–anglies dioksidą bei biokompostą (1 alternatyvos įvykdomumo analizė)	51
3.3.2. Išskirtų maisto ir virtuvės atliekų anaerobinis apdorojimas gaminant elektros ir šilumos energiją bei biokompostą (2 alternatyvos įvykdomumo analizė).....	62
4. Rekomendacijos rūšiuojamuoju būdu surinktų maisto ir virtuvės atliekų apdorojimo technologijų įdiegimui Kauno regione.....	70
Išvados	72
Literatūros sąrašas	72
1 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (esama situacija po 1 projekto įgyvendinimo)	81
2 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (1 alternatyva).....	83
3 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (2 alternatyva).....	86

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Biodujų ir komposto gamybos reikalavimai perdirbant MVA į organines trąšas [10] ..	14
1.2 lentelė. Biologiškai skaidžių atliekų aerobinio ir anaerobinio apdorojimo metu reikalaujami temperatūros režimai [13].....	15
1.3 lentelė. Kompostuose ir anaerobiniuose rauguose leistinos užterštumo ribinės vertės [14, 15]	16
1.4 lentelė. Komposto ir anaerobinio raugo kaip trąšos vertingumo rodikliai [15].....	17
1.5 lentelė. Kauno regione susidariusių MVA kiekis 2021–2022 m. [18].....	18
1.6 lentelė. Aerobinio apdorojimo proceso pagrindiniai parametrai [19, 28].....	23
1.7 lentelė. Anaerobinio apdorojimo fazės [29, 31, 32].....	24
1.8 lentelė. Maisto ir virtuvės atliekų anaerobinio apdorojimo termofilinėmis ir mezofilinėmis sąlygomis palyginimas [32, 33, 34].....	24
1.9 lentelė. Maisto virtuvės atliekų apdorojimo alternatyvų poveikio aplinkai vertinimas visame gamybos cikle: literatūros analizės rezultatai	32
2.1 lentelė. Kuro grynoji šiluminė vertė [62].....	37
2.2 lentelė. Oro taršos emisijų faktorius pagal kuro rūšį [15].....	38
2.3 lentelė. ŠESD emisijų faktoriai pagal kuro rūšį [62, 64]	38
2.4 lentelė. Emisijų sumažinimo efektyvumas (η) [15, 65]	39
2.5 lentelė. ŠESD emisijoms paskaičiuoti taikomi koeficientai [66].....	39
3.1 lentelė. Kauno MBA medžiagų ir energijos srautai (2021 ir 2022 m.).....	41
3.2 lentelė. Zabieliškio MAR medžiagų ir energijos srautai (2021 ir 2022 m.)	42
3.3 lentelė. MVA paruošiamo perdirbti Zabieliškio MAR proceso įvediniai ir išvediniai („esama situacija po 1 projekto įdiegimo“)	49
3.4 lentelė. Identifikuotos MVA paruošiamo perdirbti Zabieliškio MAR proceso problemos ir proceso optimizavimo galimybės	50
3.5 lentelė. Kompostuojamos MVA digestato ir ŽA masės C/N santykio nustatymas ir tankio įvertinimas [15, 70]	55
3.6 lentelė. 1 alternatyvos (MVA perdirbamos į bio-CH ₄ , bio-CO ₂ ir kompostą Zabieliškio MAR teritorijoje) įvedinių ir išvedinių lyginamosios analizės bei tiesioginių kaštų ir planuojamų pajamų įvertinimo rezultatai.....	59
3.7 lentelė. Gamybos proceso optimizavimui reikalingos investicijos, kai MVA perdirbamos į bio-CH ₄ , bio-CO ₂ ir biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje	61
3.8 lentelė. Kogeneracinėje jėgainėje pagamintos elektros energijos naudojimas (po 2 alternatyvos įdiegimo).....	63
3.9 lentelė. Kogeneracinėje jėgainėje pagamintos šilumos energijos naudojimas (po 2 alternatyvos įdiegimo).....	64
3.10 lentelė. 2 alternatyvos (MVA perdirbamos, gaminant elektros ir šilumos energiją bei biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje) įvedinių ir išvedinių lyginamosios analizės bei tiesioginių procesų kaštų ir planuojamų pajamų įvertinimo rezultatai.....	67
3.11 lentelė. MVA perdirbimo procesų optimizavimui reikalingos investicijos, įgyvendinant 2 alternatyvą	69
4.1 lentelė. MVA apdorojimo alternatyvų techninės, aplinkosauginės ir ekonominės analizės rezultatų palyginimas.....	70

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Maisto ir virtuvės atliekų rūšiuojamojo surinkimo priemonės.....	19
1.2 pav. Atliekų tvarkymo technologijų pasirinkimas priklausomai nuo medžiagos savybių [23] ..	21
1.3 pav. Biologiškai skaidžių atliekų klasikinio kompostavimo proceso principinė schema	22
1.4 pav. Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo būdai (A – kompostavimas po plėvele B – tunelinė kompostavimo sistema; C – konteinerinė kompostavimo sistema) ^{1,2}	22
1.5 pav. Anaerobinio apdorojimo reaktorių tipai (A – vieno ciklo; B – dviejų ciklų; C – trijų ciklų) [44]	28
2.1 pav. Baigiamojo darbo projekto tyrimo metodikos algoritmas.....	34
2.2 pav. Taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai pagal Švaresnės gamybos koncepciją [58]	35
2.3 pav. Pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai [52, 60].....	37
3.1 pav. Kauno regiono centralizuotai tvarkomų MKA apdorojimo Kauno MBA ir Zabieliškio MAR įrenginiuose atliekų srautų diagrama (2022 m.)	40
3.2 pav. Rūšiuojamuoju būdu surinktų MVA valdymo Zabieliškio MAR schema, įgyvendinus planuojamą projektą (esama situacija po 1 projekto įdiegimo).....	45
3.3 pav. Planuojama vieta naujam lengvųjų konstrukcijų pastatui Zabieliškio MAR teritorijoje, skirtam MVA apdorojimui	46
3.4 pav. Depakerio sistema, skirta priemaišų atskyrimui iš MVA, pvz. „Biogreenline VS900“ ¹ ...	47
3.5 pav. Terminio apdorojimo (pasterizavimo) sistema, skirta patogenų sunaikinimui biomasėje, pvz. „BioChop Hygenisation System (Landia)“ ¹	47
3.6 pav. MVA paruošimas perdirbimui Zabieliškio MAR prieš perdavimą tolimesniam apdorojimui (esama situacija po 1 projekto įdiegimo).....	48
3.7 pav. 1 alternatyvos medžiagų ir energijos srautų diagrama, kai MVA perdirbamos į bio-CH ₄ , bio-CO ₂ ir biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje	52
3.8 pav. Biodujų gamybos bioreaktoriai „Antec Biogas“ (A-B – horizontaliai išsidėstę reaktoriai; C – reaktorių pertvaros leidžiančios formuotis bioplėvelei; D – atskirų trijų stadijų anaerobinis apdorojimas) [69]	54
3.9 pav. Kriogeninio biodujų valymo, gryninimo ir skystinimo proceso principinė schema ¹	54
3.10 pav. Kogeneracinis blokas skirtas elektros ir šilumos energijos gamybai iš biodujų, pvz. „Tedom Flexi 350“ (bendra galia iki 1 MW) ¹	63
3.12 pav. 2 alternatyvos medžiagų ir energijos srautų diagrama, kai MVA perdirbamos į elektros ir šilumos energiją bei biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje	65

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AAA – Aplinkos apsaugos agentūra;
AAI – aplinkos apsaugos indikatoriai;
AAIs – santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai;
AAV – aplinkos apsaugos veiksmingumas;
AD – anaerobinis apdorojimas;
AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;
APS – atliekų perkrovimo stotis;
AT – atsipirkimo trukmė;
AŽ – antrinės žaliavos;
BA – biologinis apdorojimas;
BCĮ – būvio ciklo įvertinimas;
BSA – biologiškai skaidžios atliekos;
FU – funkcinis vienetas;
KA – komunalinės atliekos;
Kauno MBA – Kauno mechaninio atliekų rūšiavimo ir biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo įrenginys;
Kauno RATC – VšĮ Kauno regiono atliekų tvarkymo centras;
KJ – kogeneracinė jėgainė;
LRR – lakios riebalų rūgštys;
MA – mechaninis apdorojimas;
MKA – mišrios komunalinės atliekos;
MVA – maisto ir virtuvės atliekos;
OM – organinė medžiaga;
SM – sausoji medžiagos dalis;
ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
ŠG – švaresnė gamyba;
ŠGP – šalutiniai gyvūniniai produktai;
TIPK – taršos integruota prevencija ir kontrolė;
TK – taršos leidimas;
VAP – visuotinio atšilimo potencialas;
Zabališkio MAR – Zabališkio komunalinių atliekų mechaninio–biologinio apdorojimo įrenginys;
ŽA – žaliosios atliekos;
ŽAK – žaliųjų atliekų kompostas;
ŽAKA – žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelė.

Įvadas

Maisto ir virtuvės atliekų (MVA) ir maisto švaistymo mastai auga dėl lygiagrečiai didėjančios žmonių populiacijos, urbanizacijos ir gerėjančio pragyvenimo lygio, kas lemia neigiamą poveikį aplinkai bei riziką maisto tiekimui ateityje [1]. Kasmet Europoje teoriškai susidaro apie 60 milijonų tonų MVA, iš kurių atskirai surenkama ir apdorojama tik 9 milijonai, t.y. apie 16 proc. [2]. Galima teigti, kad MVA yra nepakankamai įvertintas biomasės išteklis, kuris gali prisidėti prie tvarios ekonomikos kūrimo, grąžinti vertingas medžiagas atgal į žiedinį ekonominį modelį bei užtikrinti nepriklausomybę nuo importuojamų žaliavų [3]. Naudojant MVA pridėtinės vertės produktų gamybą (bioenergijai ir/ar biokompostui) išvengiamas neigiamas aplinkosauginis ir socialinis poveikis, susijęs su įprastiniais atliekų tvarkymo procesais, tokie kaip atliekų šalinimas sąvartynuose ar atliekų deginimas kogeneracinėse jėgainėse [1].

Darbo problematika. Europos Parlamento ir Tarybos 2018 m. priimtoje Direktyvoje (ES) 2018/851 „dėl atliekų“ [4] bei Lietuvos Respublikos Vyriausybės Valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plane [5] nurodoma, kad nuo 2023 m. gruodžio 31 d. valstybės narės privalės užtikrinti biologiškai skaidžių atliekų (BSA) atskirą surinkimą arba perdirbimą jų susidarymo vietoje. Kauno regione, kaip ir daugelyje kitų Lietuvos regionų, dar nėra įdiegti atskiro MVA surinkimo ir perdirbimo pajėgumai, todėl reikalinga nuodugni analizė užtikrinanti geriausiai prieinamą maisto atliekų tvarkymą aplinkosauginiu, ekonominiu ir socialiniu pagrindu. MVA tvarkymas anaerobiniu būdu gaminant bioenergiją ir biokompostą yra vienas iš svarbiausių sprendimų, galinčių prisidėti prie energetinio ir maisto medžiagų potencialo išnaudojimo. Taip pat, anaerobinis MVA perdirbimas prisidėtų prie darnaus vystymosi tikslų siekimo, pavyzdžiui, prie 12.5 tikslo *iki 2030 metų labai sumažinti atliekų susidarymą, taikant prevenciją, mažinimą, perdirbimą ir pakartotinį panaudojimą* ir 7.2 tikslo *iki 2030 metų labai padidinti atsinaujinančiosios energijos dalį pasaulinės energijos rūšių derinyje*.

Tyrimo objektas – iš Kauno regiono gyventojų surinktos maisto ir virtuvės atliekos ir jų perdirbimo procesai

Tyrimo tikslas – pasiūlyti atskirai surinktų Kauno regiono gyventojų maisto ir virtuvės atliekų valdymui pramoninės simbiozės principu paremtus sprendimus ir atlikti jų įvykdomumo analizę.

Darbo uždaviniai:

1. atlikti mokslinės ir praktinės literatūros bei teisės aktų analizę, susieta su maisto ir virtuvės atliekų atskiro atliekų surinkimo ir jų apdorojimo technologijomis bei pramonine ekologija;
2. išnagrinėti mišrių komunalinių atliekų centralizuoto tvarkymo Kauno RATC įrenginiuose medžiagų ir energijos srautus (esamos situacijos analizė), įvertinti šių srautų kiekybinį ir kokybinį pasikeitimą įdiegus maisto ir virtuvės atliekų atskirą surinkimą ir apdorojimą;
3. pateikti pasiūlymus Kauno RATC įrenginiuose išgrynintos maisto ir virtuvės atliekų biomasės tinkamam valdymui, išnaudojant jų energetinį ir medžiaginį potencialą;
4. atlikti pasiūlytų alternatyvų įvykdomumo analizę (techninį, aplinkosauginį ir ekonominį vertinimą) ir pateikti išvadas bei rekomendacijas.

Mokslinis darbo naujumas. Taikomajame moklinime darbe, iš Kauno regiono gyventojų surinktoms MVA (apie 14 tūkst. t/m.) ir jų perdirbimo procesų optimizavimui pasiūlytos dvi MVA

perdirbimo alternatyvos, kuriose taikomi pramoninės ekologijos metodai – dematerializavimas taikant taršos prevenciją ir pramoninis metabolizmas taikant pramoninę simbiozę. Tyrimo metu buvo įrodyta, kad MVA valdymas be pramoninės simbiozės yra sunkiai įgyvendinamas. Darbe įvertintas poveikio VAP dėl ŠESD sumažėjimas produkto iš MVA biomasės gamybos ir naudojimo būvio cikle:

1. 1-os alternatyvos atveju, gaminant bio-CH₄ (apie 45,1 kg/t MVA), bio-CO₂ (apie 70,6 kg/t MVA) ir biokompostą (apie 320 kg/t BSA), kurio sudėtyje iki 3,71 kg N_b, iki 1,48 kg P_b, iki 3,90 kg K_b, VAP sumažėja nuo minimaliai 238,43 (18 kg CO_{2e}/t MVA.) iki 667,70 t CO_{2e}/m. (49 kg CO_{2e}/t MVA), priklausomai kokio tipo iškastinį kurą (atitinkamai gamtines dujas ar dyzelino kurą) pakeičia bio-CH₄ transporto sektoriuje;
2. 2-os alternatyvos atveju, gautąsias biodujas nukreipiant minėto biokomposto ir alternatyvios energijos gamybai (elektros – iki 256 kWh/t MVA ir iki 23 proc. panaudojant savoms reikmėms, likusią energiją nukreipiant į tinklus, šilumos energijos – iki 287 kWh/t MVA ir tik 17 proc. naudingai panaudojant), VAP sumažėtų 151,04 t CO_{2e}/m. arba 11 kg CO_{2e}/t MVA.

Mokslinio darbo praktinė nauda. Darbo praktiniai rezultatai parodė, kad anaerobinis MVA apdorojimas gaminant biodujas, jas išgryninant ir panaudojant bioenergijos gamybai (MVA energetinio potencialo išnaudojimas) bei likusio digestato naudojimas biokomposto gamybai (MVA maistinių medžiagų atgavimo potencialo išnaudojimas) išlieka vienas iš aktualiausių MVA valdymo sprendimų. Dėl naujų technologijų atsiradimo, tokių kaip kriogeninis biodujų valymas, gryninimas ir skystinimas, mažėja MVA valdymo sistemos pagrindinio trikdžio poveikis – pakankamai dideli atstumai nuo MVA apdorojimo iki / iš MVA gaminamų produktų realizavimo. Taip pat praktinė nauda pastebima ir Kauno RATC, dėl:

- esamos MKA tvarkymo sistemos bei planuojamos įdegti MVA pirminio apdorojimo sistemos atliktos detalios medžiagų ir energijos srautų analizės už 2021–2022 metus;
- praktinių patarimų tolimesnės MVA apdorojimo valdymo sistemos realizavimo įmonėje;
- ekonominės ir aplinkosauginės naudos (poveikio aplinkai mažinimo VAP srityje) siekimo galimybių.

Eksperimento ir teorinių vertinimo rezultatai naudoti rengiant taikomo mokslo projekto „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiuro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ galutinę ataskaitą [6].

Dalis tyrimo rezultatų pristatyti 2022 m. lapkričio 10–11 d. vykusioje 4-toje tarptautinėje konferencijoje „Tvarus vartojimas ir gamyba: kaip tai padaryti“ antroje sesijoje „Sveikos mitybos sistema. Maisto atliekų tvarkymas“ (angl. *Sustainable consumption and production: how to make it possible*, 2nd session "Healthy food system. Food waste management). Pranešimas publikuotas abstraktų knygoje: Kliopova, I., Misiūnaitė, U. *Management of separately collected municipal food waste in the Kaunas region, applying the principles of industrial symbiosis*. Prieiga per: <https://scpconference.ktu.edu/>

1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, statistinių duomenų analizė bei teisės aktų apžvalga maisto atliekų valdymo srityje

1.1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymą reglamentuojančių Europos Sąjungos bei Lietuvos Respublikos teisės aktų apžvalga

Europos Sąjunga formuoja atliekų tvarkymo politiką, kurios tikslas yra mažinti atliekų susidarymo ir tvarkymo neigiamą poveikį žmonių sveikatai ir aplinkai bei skatinti tausų, efektyvų ir racionalų gamtos išteklių valdymą. Atliekų tvarkymo politikos pagrindas turi būti paremtas atliekų prevencijos, žiedinės ekonomikos principais.

Europos Parlamento ir Tarybos 2018 m. priimtoje Direktyvoje (ES) 2018/851 „dėl atliekų“ [4] iškeliami tikslai bei uždaviniai susiję su susidarantių atliekų kiekio mažinimu ES šalyse taikant žiedinės ekonomikos modelį. Viena iš svarbiausių Direktyvos sričių yra darnus komunalinių atliekų, tarp jų ir BSA bei MVA, valdymas, kuris pasiekiamas šiais punktais:

1. atliekų prevencija – nustatytas tikslas iki 2030 m. sumažinti vienam pasaulio gyventojui tenkantį maisto atliekų kiekį iki 50 proc.;
2. prevencijos priemonės MVA kiekio mažinimui visoje tiekimo grandinėje – maisto aukojimas ir dovanojimas, namudinis kompostavimas, žmonių sąmoningumo kėlimas ir švietimo programų skatinimas;
3. monitoringas – šalys narės privalo teikti ataskaitas apie MVA sugeneruotą kiekį, prevencijos priemonių veiksmingumą, taikyti ES metodikas, prevencijos programas, standartus;
4. atskiras MVA surinkimas – nuo 2023 m. gruodžio 31 d. valstybės narės privalės užtikrinti BSA atskirą surinkimą arba perdirbimą jų susidarymo vietoje;
5. efektyvaus išteklių naudojimo skatinimas – nustatyti KA perdirbimo ir paruošimo pakartotinai panaudoti tikslai (iki 2025 m. 55 proc., iki 2030 m. 60 proc., iki 2023 m. 65 proc. pagal KA svorį) bei nurodymas, kad nuo 2027 m. sausio 1 d. tik atskirai surenkamos arba atskiriamos susidarymo vietoje biologinės KA patenkančios į aerobinį arba anaerobinį apdorojimą galės būti laikomos perdirbtomis.

Taip pat svarbu paminėti ir Europos Komisijos ataskaitas, kurios inicijuoja žiedinės ekonomikos principų taikymą valdant atliekų srautus. **2014 m. Europos Komisijos ataskaitoje COM (2014) „Žiedinės ekonomikos kūrimas. Europos be atliekų programa“** [7] nurodomos atliekų tvarkymo gairės, pateikiant inovacijos sprendimus visoje produkto vertės grandinėje. Programoje minima pramoninės simbiozės svarba ir kaip svarbu kurti šalutinių produktų rinką siekiant sumažinti atliekų susidarymą ir didinti išteklių atgavimo potencialą.

2017 m. Europos Komisijos ataskaitoje COM (2017) apie žiedinės ekonomikos veiksmų plano rezultatus [8] nurodomi įvykdyti uždaviniai, kurie prisideda prie atliekų prevencijos, išteklių atgavimo ir tinkamo atliekų apdorojimo tikslų. Pavyzdžiui, 2016 m. buvo pateiktas pasiūlymas pakeisti CE ženklą pažymėtų tręšiamųjų produktų tiekimo rinkai taisyklės ir iš dalies keisti reglamentus (EB) Nr.1069 ir (EB) Nr.11107/2009, pagal kuriuos *bus sukurta tikra bendroji iš antrinių žaliavų (visų pirma iš atgautųjų maisto medžiagų) gaminamų trąšų rinka ir taip atliekų tvarkymo problemos bus paverstos ekonominėmis galimybėmis*. Taip pat buvo sukurta ES maisto nuostolių ir švaistymo prevencijos platforma, parengtos ES gairės skirtos maisto dovanojimui palengvinti ir ES gairės skirtos nebevartojamų maisto produktų naudojimo gyvuliams šerti. Žiedinės

ekonomikos veiksmų plane didelis dėmesys akcentuojamas energijos iš atliekų išgavimo principui, tačiau pabrėžiama, kad energija būtų išgaunama griežtai vadovaujanti atliekų hierarchija, t.y. prioritetas būtų teikiamas atliekų prevencijai, antriniam panaudojimui ir perdirbimui, o tik tam netinkamos atliekos būtų naudojamos energijos išgavimo tikslams.

Europos Sąjunga taip pat kelia uždavinius ir atsinaujinančios energetikos srityje. Pagal **2018 m. Direktyvą (ES) 2018/2001 „dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją“** [9] valstybės narės turės laikytis nustatytais tvarumo ir išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo kriterijais biodegalams, skystiesiems bioproduktams ir biomasės kurui. Atsinaujinančių išteklių energija iki 2030 m. turi sudaryti bent 32 proc. – pagal Direktyvos (ES) 2018/2001 I priedą, Lietuvoje 2020 m. atsinaujinančių išteklių energijos procentinės dalies bendrajame galutinės energijos suvartojime rodiklis lygus 23 proc. Taip pat, iki 2030 m. alternatyvūs ištekliai transporto sektoriuje turi siekti 14 proc., iš jų 3,5 proc. turi sudaryti pažangūs biodegalai ir biodujos. Rodiklių augimui didelės įtakos gali turėti atskiras MVA surinkimas ir apdorojimas išgaunant bioeneriją.

Perdirbant MVA į organines trąšas, dirvožemį gerinančias medžiagas, kompostą ar paverčiant jas į biodujas svarbu atsižvelgti į reikalavimus pateiktus **2011 m. vasario 25 d. Komisijos reglamente (ES) Nr. 142/2011** [10]. Reikalavimai biodujų gamybos ir kompostavimo įmonėms pateikti šio reglamento V priede (apibendrinta informacija pateikta 1.1 lent.). Svarbu paminėti, kad pasterizavimo procesas nėra būtinas, jei po anaerobinio apdorojimo digestatas (irimo atliekos) yra kompostuojamos.

1.1 lentelė. Biodujų ir komposto gamybos reikalavimai perdirbant MVA į organines trąšas [10]

	Reikalavimai pagal Komisijos reglamentą (ES) Nr. 1069/2009
Biodujų gamybos įmonės	3 kategorijos ŠGP prieš anaerobinį apdorojimą turi būti pasterizuotas ar higieniškai sutvarkytas. Į pasterizavimo padalinį patenkantys ŠGP turi būti ne didesni kaip 12 mm. Įrenginyje ŠGP turi būti pasterizuojamas 70 °C temperatūroje ne trumpiau kaip 1 valandą. Pasterizavimo padalinyje turi būti įrengta automatinė registravimo ir apsaugos sistema.
Kompostavimo įmonės	ŠGP kompostavimas turi vykti uždaroje patalpoje ar reaktoriuje. Į kompostavimo patalpą patenkantys ŠGP turi būti ne didesni kaip 12 mm. 70 °C temperatūroje medžiaga turi išbūti ne trumpiau kaip 1 valandą. Kompostavimo patalpoje turi būti įrengta automatinė registravimo ir apsaugos sistema.

Lietuvos Respublikoje apie atskirą MVA surinkimą ir apdorojimą buvo pradėta kalbėti **Valstybiniame atliekų tvarkymo 2014–2020 m. plane** [11], kur buvo nurodyta BSA rūšiujamojo atliekų surinkimo sistemos plėtos užduotis nuo 2019 m. pradėti atskirą MVA surinkimą ir tvarkymą. Ši užduotis daugelyje Lietuvos regionų, tarp jų ir Kauno regione, iki 2019 m. nebuvo pasiekta, tačiau MVA rūšiujamojo surinkimo plėtra yra numatyta 2021–2027 m. laikotarpyje. **Valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 m. plane** (toliau – **VAPTP**) [5] numatytas uždavinys *iki 2024 m. aprūpinti namų ūkius biologinių atliekų surinkimo priemonėmis urbanizuotose vietovėse, kuriose gyventojų – daugiau nei 2000, arba užtikrinti kompostavimą šių atliekų susidarymo vietose, taip pat užtikrinti, plėtoti ir skatinti kompostavimo bendruomenių daržuose sistemą*. VAPTP taip pat nurodo ir atliekų prevencijos ir tvarkymo priemones, tokias kaip Lietuvos pramonės perorientavimas link klimatui neutralios ekonomikos, susidarančių atliekų kiekio mažinimas ir efektyvus jų tvarkymas. Svarbu paminėti, kad pagal VAPTP MA/MBA įrenginiuose iš MKA pagamintas techninis kompostas naudojamas sąvartynų perdangai nuo 2027 m. negalės būti vertinamas kaip perdirbtos KA.

Pagal **Atliekų tvarkymo taisykles** [12] pirmenybė tvarkant komunalines, gamybos ir kitoje ūkinėje veikloje susidarančias BSA turi būti teikiama kompostavimui arba biodujų gamybai ir likutinio substrato kompostavimui.

BSA kompostavimas ir anaerobinis apdorojimas turi būti vykdomas visuomenės sveikatai ir aplinkai saugiu būdu, pagal reikalavimus nurodytus **Lietuvos Respublikos ministro 2007 m. įsakyme „dėl biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo“** [13] (toliau – **Reikalavimai**). Lentelėje 1.2 pateikiami temperatūros režimo reikalavimai apdorojant BSA atliekas aerobiniu arba anaerobiniu būdu, 1.3 lent. pateikiamos didžiausios leistinos užterštumų koncentracijos.

1.2 lentelė. Biologiškai skaidžių atliekų aerobinio ir anaerobinio apdorojimo metu reikalaujami temperatūros režimai [13]

Biologiškai skaidžių atliekų apdorojimo būdai	Apdorojant BSA turi būti užtikrintas bent vienas iš temperatūros režimų
Aerobinis apdorojimas	Ne trumpiau kaip 5 dienas išlaikyti ne žemesnę kaip 65 °C temperatūrą.
	Ne trumpiau kaip 7 dienas išlaikyti ne žemesnę kaip 60 °C temperatūrą.
	Ne trumpiau kaip 14 dienų išlaikyti ne žemesnę kaip 55 °C temperatūrą.
Anaerobinis apdorojimas	Ne trumpiau kaip 24 valandas išlaikyti ne žemesnę kaip 55 °C temperatūrą užtikrinant, kad apdorojamos atliekos įrenginyje bus laikomos ne trumpiau kaip 20 dienų.
	Apdorojus BSA ne žemesnėje kaip 55 °C temperatūroje, ne trumpiau kaip 1 valandą, turi būti pasterizuojama ne žemesnėje kaip 70 °C temperatūroje.
	Apdorojus BSA ne žemesnėje nei 55 °C temperatūroje, jos turi būti kompostuojamos užtikrinant bent vieną iš Reikalavimų 20.1.1–20.1.3 papunkčiuose nurodytų temperatūrinių režimų.
	Apdorojus BSA 37–40 °C temperatūroje ne trumpiau kaip 1 valandą, turi būti pasterizuojama ne žemesnėje kaip 70 °C temperatūroje.
	Apdorojus BSA 37–40 °C temperatūroje, vėliau jos turi būti kompostuojamos užtikrinant bent vieną iš Reikalavimų 20.1.1–20.1.3 papunkčiuose nurodytų temperatūrinių režimų.

Analizuojant MVA tvarkymą yra svarbu atkreipti dėmesį bendruosius tręšimo produktų kokybės ir saugos reikalavimus, kurie yra pateikti **2019 m. patvirtintame Žemės ūkio ministro įsakyme „Dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų tręšimo produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų tręšimo produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo“** [14] (toliau – **Tręšimo produktų identifikavimo aprašas**). Analizuojant maisto ir virtuvės atliekų tvarkymo galimybes, mums aktualūs šie tręšiamieji produktai:

1. kompostas/pūdinys (D.2.1.1.1) – produktas gaunamas kompostuojant mėšlą, nuotekų dumblą, žaliąsias atliekas, augalų liekanas, **maisto atliekas**, organines atliekas maisto pramonėje ar kitas panašias medžiagas, tinkančias naudoti kaip dirvožemio gerinimo medžiagas;
2. anaerobinėmis sąlygomis fermentuota biomasė (D.4.1.1.13) – šalutinis biodujų gamybos produktas, gaunamas anaerobinėmis sąlygomis fermentuojant **biologiškai skaidžias atliekas**,

tokias kaip vandens biomasė, žievės, nuotekų dumblas, žlaugtai, medienos likučiai, gyvulių mėšlas ir kt. Gali būti nusausinta (po apdorojimo dekanterio).

Tręšimo produktų identifikavimo apraše [14] nurodyti reikalavimai yra lyginami su 2016 m. LAAMC tyrimų laboratorijoje eksperimentiniu būdu atliktais MVA maišytos su ŽA komposto užterštumo rodiklių ribinėmis vertėmis [15] bei su didžiausiomis leistinėmis užterštumų koncentracijomis pagal Reikalavimus BSA kompostavimui [13] (žr. 1.3 lent.).

1.3 lentelė. Kompostuose ir anaerobiniuose rauguose leistinos užterštumo ribinės vertės [14, 15]

	Didžiausios koncentracijos Reikalavimus kompostavimui [13]	leistinos pagal BSA	Rekomenduojamos ribinės vertės kompostų užterštumo rodikliams [15]		Reglamentuotos ribinės vertės kompostų užterštumo rodikliams [14]	
	Kompostas ir anaerobinis raugas		I klasė	II klasė	D.2.1.1.1	D.4.1.1.13
Užterštumas sunkiaisiais metalais						
Kadmis (Cd) , mg/kg SM	≤2		1,0	2,0	2,0	2,0
Švinas (Pb) , mg/kg SM	≤120		50	100	120	120
Gyvsidabris (Hg) , mg/kg SM	≤1		0,4	1,0	1,0	1,0
Chromas (Cr) , mg/kg SM	≤70		70	100	-	-
Chromas VI (Cr) , mg/kg SM	-		-	-	2,0	2,0
Cinkas (Zn) , mg/kg SM	≤800		400	600	800	800
Varis (Cu) , mg/kg SM	≤300		100	200	300	300
Nikelis (Ni) , mg/kg SM	≤50		40	60	50	50
Arsenas (Ar), mg/kg SM	≤40		-	-	40	40
Užterštumas organine tarša						
PCB7, mg/kg SM	-		0,2		0,7	-
PAH16, mg/kg SM	-		4,0		6,0	-
Užterštumas priemaisomis						
Plastikas, stiklas, metalas (d ≥ 2 mm)	≤0,5 proc. SM		≤0,5 proc. SM		3 g/kg SM	-
Akmenys (d > 10 mm), skaičiuojant sausu svoriu, proc.SM	≤5		≤5		≤5 (d iki 5 mm)	-
Daigios augalų sėklos, įsk. gyvybingas piktžolės ir šakniastiebius	2,0 vnt./kg		2,0 vnt./l		2,0 vnt./kg	-
Užterštumas mikrobiologinė tarša						
fekalinių žarnyno lazdelių (Escherichia coli), kol. sk./g	≤1 000		≤1 000		≤1 000	≤1 000
anaerobinių klostridijų (Clostridium perfringens), kol. sk./g	≤100 000		≤100 000		-	-
helmintų kiaušinėlių ir lervų, vnt./kg	0		0		-	-
salmonella bakterijų, vnt./kg	0		0		0 (25 g mėginyje)	0 (25 g mėginyje)

I klasė – kompostai ir anaerobiniai raugai, kurie gali būti naudojami žemės ūkyje;

II klasė – kompostai ir anaerobiniai raugai, kurie gali būti naudojami rekultivuojamuose plotuose, miestų žaliųjų erdvių, pakelių apželdinimui ir energetinių augalų ūkiuose.

Digestatai / raugai bei kompostas pagamintas iš atskirai surinktų maisto atliekų (įsk. ŠGP) dažnai priskiriami II klasės pagal užterštumą sunkiaisiais metalais, dėl juose esančios didelės Cd ir Zn koncentracijos [15]. Galima pastebėti, kad eksperimentiniu būdu gautos ir rekomenduojamos užterštumo rodiklių ribinės vertės [15] yra griežtesnės nei Tręšimo produktų identifikavimo apraše [14] bei Reikalavimuose BSA kompostavimui [13]. Komposto gamintojai turi užtikrinti komposto kokybę ir patogenų nebūvimą, todėl yra nustatyti rekomendacinis kompostų ir anaerobinio raugo, kaip trąšos, pagrindinių ir papildomų kokybės rodiklių sąrašas (žr. 1.4 lent.) [15].

1.4 lentelė. Komposto ir anaerobinio raugo kaip trąšos vertingumo rodikliai [15]

Pagrindiniai kokybės rodikliai	Komposto ar anaerobinio raugo kaip trąšos vertingumas				
	labai mažas	mažas	vidutinis	didelis	labai didelis
Pagrindiniai:					
pH KCl	<5,6	5,6–6,5	6,6–7,5	7,6–8,5	>8,5
Sausosios medžiagos, proc.	<21	21–30	31–40	41–50	>50
Organinės medžiagos, proc. SM	<16	16–25	25–35	36–45	>45
Suminis azotas (N), proc. SM	<0,5	0,5–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	>2,0
Suminis fosforas (P), proc. SM	<0,21	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	>0,80
Suminis kalis (K), proc. SM	<0,6	0,6–1,0	1,1–2,0	2,1–2,5	>2,5
Elektrinis laidis, mS/cm	<0,6	0,6–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	>2,0
C:N santykis	<11	11–15	16–20	21–25	>25
Vandenyje tirpus azotas (N–NH ₄ +N–NO ₃), mg/l NDM	<51	51–100	101–150	151–200	>200
Vandenyje tirpus fosforas (P), mg/l NDM	<26	25–50	51–75	76–100	>100
Vandenyje tirpus kalis (K), mg/l NDM	<91	91–160	161–230	231–300	>300
Papildomi:					
pH(H ₂ O)	<6,1	6,1–7	7,1–8,0	8,1–9,0	>9,0
Vandenyje tirpus kalcis (Ca), mg/l NDM	<101	101–200	201–300	301–500	>500
Vandenyje tirpus magnis (Mg), mg/l NDM	<31	31–60	61–90	91–120	>120
Sulfatai (SO ₄), mg/l NDM	<51	51–100	101–150	151–200	>200;>300*
Chloridai (Cl), mg/l NDM	<51	51–100	100–200	201–300	>300*
Biologinis skaidumas (stabilumas)	Gali būti vertinamas pagal ištirpusios organinės anglies koncentraciją. Tuo atveju jeigu ji ≤4000 mg/kg, kompostas arba anaerobinis raugas laikomas stabilu.				
Piltnis tankis, g/l	Pageidautina, kad kompostai būtų puresni				

Pagal Reikalavimus tręšimo produktams [14] komposto (D.2.1.1.1) privalomi kokybės rodikliai: organinės medžiagos kiekis (sausioje medžiagoje) – 25 proc. ir suminis kiekis – 2,5 proc. (N + P₂O₅ + K₂O). Anaerobinėmis sąlygomis fermentuotos biomasės (D4.4.1.13) privalomi kokybės rodikliai: suminis kiekis – 0,3 proc. (N + P₂O₅ + K₂O), organinės medžiagos kiekis – 20 proc. bei produktas, kurio gamyboje buvo naudota ŠGP, turi atitikti Komisijos reglamento (ES) Nr. 142/2011 reikalavimus.

1.2. Maisto ir virtuvės atliekų susidarymo potencialas, tendencijos ir kiekių prognozė

2020 m. Europos aplinkos apsaugos agentūra atliko BSA (vertinamos sodo ir maisto atliekos) esamo ir prognozuojamo surinkimo analizę 28 Europos Sąjungos šalyse. Duomenys parodė, kad kasmet

Europoje teoriškai susidaro apie 60 milijonų tonų maisto atliekų, iš kurių atskirai surenkama ir apdorojama tik 9 milijonai, t.y. apie 16 proc. [2]. Literatūroje teigiama, kad Lietuvoje teorinis maisto ir virtuvės atliekų susidarymo kiekis gyventojui (įskaitant ŽA, buitines ir komercines MVA) siekia 121,4 kg./gyv., kai ES vidurkis yra 116,7 kg/gyv., mažiausia rodiklio reikšmė Kipre (79,8 kg/gyv.), o didžiausia Ispanijoje (144,0 kg/gyv.) [16]. Kitame šaltinyje minima, kad dauguma ES šalių rūšiuojamuoju būdu surenka apie 10–30 kg/gyv. MVA per metus, nors surinkimo potencialas siekia apie 100–120 kg/gyv. per metus [17].

Siekiant įvertinti susidarantį komunalinių maisto atliekų potencialą Lietuvoje, yra vadovaujamasi mišrių komunalinių atliekų sudėties nustatymo rezultatais [18]. Lietuvoje 2020 m. biologiškai skaidžios MVA sudarė apie 15,4 proc., o 2021 m. 15,51 proc. MKA (2022 m. duomenys dar nėra paskelbti). Nacionaliniu lygmeniu MVA kiekiai kasmet auga – 2016 m. 1 gyventojui teko beveik 35 kg maisto atliekų, 2017 m. – 35,9 kg, 2018 m. – 37 kg, 2019 m. – 41 kg, 2020 m. – 43,7 kg [5].

Pagal MKA sudėties tyrimų duomenis (žr. 1.5 lent.) 2021 m. susidarė 152 800 t MKA, kuriose buvo apie 17 727 t MVA (9,3 proc. nuo MKA srauto) [18]. Aplinkos apsaugos agentūra dar nėra paskelbusi 2022 m. duomenų, tačiau remiantis Kauno RATC duomenimis, 2022 m. susidarė 147 300 t MKA, iš kurių 12 826 t buvo MVA (8,71 proc. nuo MKA srauto). Pagal šią informaciją matome mažėjančią surenkamų MKA atliekų bei jose esančių MVA kiekio tendenciją Kauno regione (žr. 1.5 lent.).

1.5 lentelė. Kauno regione susidariusių MVA kiekis 2021–2022 m. [18]

Savivaldybė	Surinktas mišrių komunalinių atliekų kiekis, t/m		MVA kiekis MKA sraute, proc.		MVA kiekis MKA sraute, t		MVA kiekis MKA sraute, kg/gyv. ¹	
	2021 m.	2022 m.	2021 m.	2022 m.	2021 m.	2022 m.	2021 m.	2022 m.
Kauno m.	84 483	81 493	13,4	9,10	11 321	7 418	38	24,62
Kauno r.	30 183	30 054	12,3	9,00	3 723	2 706	40	27,97
Kaišiadorių r.	6 816	6 104	11,0	12,16	750	742	25	25,38
Kėdainių r.	13 019	12 145	4,8	9,14	629	1 110	15	24,20
Raseinių r.	7 795	7 227	5,7	4,45	444	322	10	10,60
Jonavos r.	10 536	10 303	8,2	5,13	860	529	28	12,82
Kauno regionas	152 833	147 327	9,3	8,71	17 727	12 826	25,93	23,55

¹ Kauno regione 540 157 gyventojų

Lyginant MVA kiekius Lietuvos mastu su Kauno regiono duomenimis matome, kad Kauno regione 2022 m. susidarė 5,5–6,3 proc. mažiau MVA nei 2021 m. Tuo priežastimi galėtų būti tai, kad dalis augalinės kilmės MVA Kauno regione taip pat yra surenkamos individualiose valdose kartu su žaliosiomis atliekomis, tad šis kiekis nėra įvertinamas aplinkos apsaugos agentūros (AAA) organizuojamuose MKA sudėties tyrimuose [6].

1.3. Rūšiuojamuoju būdu surenkamų maisto ir virtuvės atliekų valdymo schemos ir jų pritaikymas Kauno regione

Atskiras MVA surinkimas užtikrina biomasės minimalų užterštumą priemaišomis ir sudaro galimybę biomasę efektyviai panaudoti pridėtinės vertės produkto gamybai, pvz. bioenergijai ir / ar kompostui [2]. Tačiau ES tik 43 proc. komunalinių biologiškai skaidžių atliekų yra surenkama atskirai, o likusi

dalį atsiduria MKA sraute [17]. Efektyviausias atskiro MVA atliekų surinkimo modelis pastebimas Austrijoje, kur daugiau nei 80 proc. MVA surenkama atskiru srautu [2]. Slovėnijoje, Bosnijoje ir Hercegovinoje, Kipre, Šiaurės Makedonijoje, Portugalijoje, Ispanijoje ir Turkijoje MVA atskiras surinkimas yra mažesnis nei 10 proc. [2]. Galima daryti išvadą, kad MVA atskiro surinkimo valdymo schemų įdiegimas šalyse dar nėra įsitvirtinęs ir reikalauja didesnio šalių dėmesio.

Šalyse pastebimi keli pagrindiniai rūšiuojamuoju būdu surenkamų buitinių MVA (ir ŽA) surinkimo ir / ar tvarkymo schemų variantai: „nuo durų iki durų“, kolektyvinis, bendruomeninis kompostavimas ir namudinis kompostavimas.

„**Nuo durų iki durų**“ valdymo schema (žr. 1.1 pav.) taikoma Vokietijoje, Austrijoje, Belgijoje, dalyje Portugalijos ir Ispanijos, Italijoje, Maltoje, Jungtinėje Karalystėje, Prancūzijoje ir Kopenhagoje (Danija) [17]. Namų ūkiams (individualių ir daugiabučių gyventojams) išduodami skylėti 10 litrų kibirėliai ir kompostuojami maišeliai, kad MVA surinkimas būtų patogus, talpoje nesusidarytų drėgmės perteklius, vyktų oro cirkuliacija ir atliekos neskleistų nemalonaus kvapo. Individualių namų gyventojams taip pat išduodami ir 30 litrų kibirėliai, kuriuos gyventojai gali laikyti lauke ir į juos pašalinti atliekas iš 10 litrų kibirėlio. Daugiabučių gyventojai MVA iš 10 litrų kibirėlių pašalina į 120–240 litrų talpos bendrus konteinerius. Šios surinkimo schemas našumas 60–100 kg/gyv. per metus, priemaišų kiekis mažiau nei 5 proc. [16, 17].



1.1 pav. Maisto ir virtuvės atliekų rūšiuojamojo surinkimo priemonės

Taip pat šalyse, pvz. dalyje Italijos, Prancūzijos, taikoma **kolektyvinė MVA valdymo schema**, kai daugiabučių namų rajone pastatomi bendri kolektyviniai MVA konteineriai su elektroniniais užraktais. MVA atskiras surinkimas taikant šią schemą mažesnis – apie 20–50 kg/gyv./m. ir priemaišų kiekis pastebimas didesnis – apie 10–15 proc. [17].

Kaimuose dažnai vykdomas **bendruomeninis kompostavimas**, tačiau tokia schema nėra privaloma, todėl gyventojų dalyvavimas siekia apie 50 proc. [17]. Dar vienas variantas yra **namudinis kompostavimas**, kuris taikomas individualiose valdose. Pagrindiniai namudinio ir bendruomeninio kompostavimo privalumai yra tai, kad BSA atliekos nepatenka į bendrą MKA srautą, mažinamas sąvartyne šalinamų BSA kiekis, mažinamas išlaidos už atliekų tvarkymą bei mažinamas poveikis aplinkai dėl atliekų transportavimo [19]. Taip pat didelis privalumas tai, kad žaliosios ir MVA atliekos yra sutvarkomos jų susidarymo vietoje, gaminamas kompostas ir sutaupomos ištekliai mineralinių trąšų pirkimui.

Sėkmingos atskirai surenkamų MVA sistemos ir tvarkymo įgyvendinimas reikalauja visapusiškos strategijos, atsižvelgiančios į daugelį veiksnių, pavyzdžiui: 1) svarbu aiškiai iškomunikuoti gyventojams kokios atliekos bus surenkamos, 2) nustatyti konkrečius, aiškius ir išmatuojamus surinkimo tikslus, 3) parinkti šaliai / regionui tinkamiausią surinkimo schemą, 4) siūlyti gyventojams ekonomines paskatas už MVA rūšiavimą, 5) sukurti efektyvią MVA apdorojimo infrastruktūrą, 6) didinti gyventojų sąmoningumą, viešinti MVA surinkimo / apdorojimo priežastis, privalumus ir rezultatus [2, 17].

Lietuvoje MVA pirminis rūšiavimas ir atskiras surinkimas vykdomas tik Alytaus regione – tai vienintelis regionas, kuris įgyvendino Valstybinio atliekų tvarkymo 2014–2020 m. reikalavimą iki 2019 m. įrengti atskirą MVA surinkimo infrastruktūrą¹. Nuo 2018 m. Alytaus regione MVA renkamos kartu su ŽA, tačiau tik iš individualių namų gyventojų – gyventojams buvo išdalinti 120 l talpos konteineriai, 10 litrų talpos kibirėliai ir talpa aliejui. Kasmet rūšiuojamuoju būdu surenkamas BSA kiekis augo, dėl didėjančio išdalintų konteinerių kiekio bei įtraukiant vis daugiau savivaldybių į šių atliekų surinkimo infrastruktūrą – 2018 m. buvo surinkta 22,99 t MVA, 2019 m. 550,18 t MVA, 2020 m. 1 047,1 t MVA ir 2021 m. 2 586,76 t MVA. Nuo 2020 m. vidurio Alytuje buvo pradėtas MVA surinkimas ir iš daugiabučių namų gyventojų (Alytaus mieste) – 2020 m. individualaus būsto gyventojui susidarė 68,27 kg ir daugiabučio gyventojui 8,53 kg, o 2021 m. 70,85 kg ir 13,4 kg atitinkamai. Vilniaus regione 2018–2019 m. laikotarpiu buvo įrengti maisto atliekų surinkimai skirti konteineriai, tačiau iki šiol atskiras MVA surinkimas nėra vykdomas, dėl ne pakankamai išvystytos infrastruktūros². 2021 m. Šiaulių regiono atliekų tvarkymo centras atliko bandomąjį maisto ir virtuvės atliekų surinkimo projektą Šiaulių miesto gyventojams [20]. Projekto tikslas buvo įvertinti galimą surinkti MVA kiekį vienam gyventojui per metus Šiaulių regione. Projektas dalyvavo 1000 namų ūkių (2 200 gyv.), kuriems buvo išdalinti 240 litrų talpos konteineriai ir 10 litrų talpos kibirėliai. Atliekos buvo surenkamos 2 kartus per savaitę. Per 6 mėn. trukusį projektą buvo surinkta apie 33,12 t MVA (apie 15,19 kg/gyv.) – lyginant kiekį su Lietuvoje susidarantiu komunaliniu MVA kiekiu (43,7 kg/gyv.), galima teigti, kad Šiaulių mieste MVA atliekų surinkta buvo ženkliai mažiau [5, 20]. Pirmu trijų mėnesių surinktų MVA sudėties tyrimų rezultatai parodė, kad priemaišos sudarė tik 2,35 proc. (stiklainiai, plastikiniai indeliai ir pan.) – tam įtakos galėjo turėti tai, kad gyventojams buvo komunuota tikslinga informacija apie tinkamą rūšiavimą bei buvo suteikiamos rūšiavimo priemonės (konteineriai, kibirėliai ir maišeliai). Taip pat buvo pastebėta, kad MKA kiekis gyvenvietėse, kur buvo surenkamos MVA, sumažėjo. Tauragės regione skatinama, kad dalis žaliųjų MVA būtų kompostuojama namudiniu būdu arba surenkama kolektyviniuose konteineriuose kartu su žaliosiomis atliekomis ir toliau kompostuojama centralizuotoje ŽAKA. Rezultate gaminamas ŽA kompostas (ŽAK), kuris pasižymi geresnėmis vertingumo rodyklėmis, palyginti su kitais Lietuvoje gaminamais ŽAK [19]. Klaipėdos, Marijampolės, Panevėžio, Telšių, Šiaulių ir Utenos regionuose rūšiuojamuoju būdu renkamų MVA infrastruktūra nėra išvystyta ir maisto atliekos patenka į MKA srautą. Kauno regione MVA taip pat nėra surenkamos rūšiuojamuoju būdu.

Ruošiantis įdiegti atskiro MVA surinkimo ir perdirbimo infrastruktūrą Kauno regione, iš pradžių buvo įvertinta iš kurių gyvenviečių MVA atskiras surinkimas yra privalomas, pagal VAPTP 261.2 punktą. Urbanizuotose vietovėse su daugiau nei 2 000 gyventojų 2021 m. gyveno apie 77 proc. Kauno regiono gyventojų, tačiau įvertinus MVA atskiro surinkimo logistiką planuojama MVA surinkimo

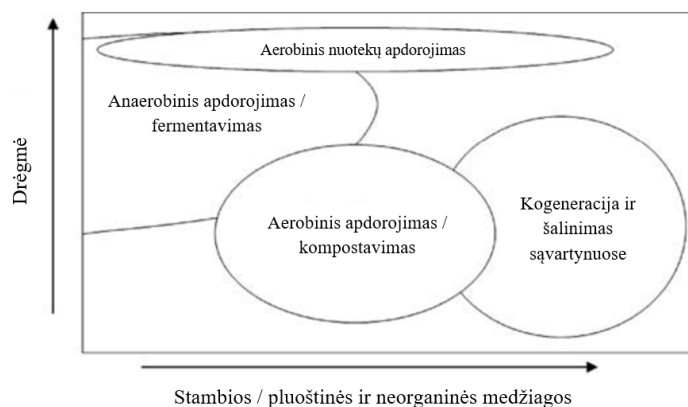
¹ <https://www.aratc.lt/metines-ataskaitos/>

² <https://www.vaatc.lt/apie-bendrove/veikla/metiniai-pranesimai/>

paslaugą teikti 81 proc. gyventojų [6]. Statistikos departamento 2021 m. duomenimis, šiose gyvenvietėse gyvena 416 618 gyventojų [21]. Planuojama, kad MVA kiekis – iki 14 tūkst. t/m. [6].

1.4. Maisto ir virtuvės atliekų apdorojimo technologijos

Pereinant prie atsinaujinančios energetikos yra ieškomi įvairūs tvarūs atliekų perdirbimo būdai, kurie užtikrintų didėjančią žaliosios energetikos poreikį. MVA pradedamos vertinti kaip neišnaudotas ištekliai, tinkantis energijos išgavimui [22]. Dėl to, mokslininkai pradėjo lyginti ir analizuoti esamus BSA tvarkymo metodus, siekdami pasiūlyti efektyvesnes ir aplinkai draugiškesnes BSA tvarkymo alternatyvas, kurios sudarytų galimybę iš atliekų išgauti pridėtinės vertės produktus (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Atliekų tvarkymo technologijų pasirinkimas priklausomai nuo medžiagos savybių [23]

Šiuo metu didžioji dalis MVA lieka MKA sraute ir po MKA apdorojimo dažniausiai nukeliauja į sąvartynus, nors pagal atliekų tvarkymo tai yra mažiausiai tinkama alternatyva [22, 24, 25]. Visų pirma, į sąvartyną patekusios organinės atliekos reaguodamos su aplinka skaidosi, todėl į aplinką yra išmetamos ŠESD – globaliu mastu apie 8 proc. antropogeninio metano emisijų išmetama iš sąvartynų [26]. Sąvartynuose susidarantys filtratai be tinkamo apdorojimo gali patekti į dirvožemį ir užteršti gruntinius vandenius. Tai pat teritorija aplink sąvartyną praranda vertę iš gyventojų perspektyvos dėl neigiamo poveikio žmonių sveikatai bei kraštovaizdžio taršos. Tačiau, jei sąvartynuose yra įdiegta dujų surinkimo ir energijos išgavimo infrastruktūra, šis MVA tvarkymo būdas visame būvio cikle gali būti aplinkosauginiu požiūriu tinkamesnis nei atviras MVA kompostavimas, kuomet į aplinką be valymo išsiskiria ŠESD ir kiti teršalai [27].

Atliekų deginimas siekiant išgauti energiją yra plačiai naudojamas atliekų tvarkymo būdas dėl technologijos gebos sumažinti atliekų tūrį 80–85 proc. ir atliekas paversti į energijos šaltinį [26]. Tačiau ši technologija laikoma taršia aplinkai dėl išmetamųjų teršalų ir sunkiųjų metalų bei dėl susidarancio šalutinio produkto pelenų, kurie turi būti tinkamai pašalinti užtikrinant tolimesnės taršos aplinkai sustabdymą [24, 26]. MVA nėra tinkamos deginimui dėl biomasėje esančio didelio drėgmės kiekio (SM apie 20 proc.), mažos energetinės vertės bei didelio peleningumo, nors MVA deginimas gali būti aplinkosauginiu požiūriu naudingas, jei energijos išgavimo technologijos yra našios ir inovatyvios [27].

Aerobinis apdorojimas (kompostavimas) – tai BSA tvarkymo būdas, kai dėl kompleksinių biologinių, biocheminių ir fizikinių procesų (dėl mikroorganizmų, dirvožemio gyvūnų ir jų išskiriamų

fermentų poveikio) mineralizuojasi BSA, išsiskiria biogeniniai elementai ir susidaro humusas [13]. BSA aerobinio apdorojimo principinė schema pateikiama 1.3 pav.



1.3 pav. Biologiškai skaidžių atliekų klasikinio kompostavimo proceso principinė schema

BSA apdorojimas aerobiniu būdu gali vykti keliais būdais (žr. 1.4 pav.) [19]. Pavyzdžiui, **atviro kompostavimo** metu BSA yra skaidomos atviroje aikštelėje. Pastebimi šio kompostavimo metodo trūkumai: dėl atviros sistemos nėra išlaikomi kompostavimo proceso technologiniai reikalavimai, į aplinką patenka nevalyta oro tarša, ŠESD ir nemalonūs kvapai, nekontroliuojamas C/N santykis, drėgmė ir temperatūra, šaltuoju sezonu metu biodegradacija nevyksta ir BSA yra tik kaupiamos [28].

Kompostavimo po plėvele metu kompostuojami kaupai uždengiami specialia plėvele siekiant labiau kontroliuoti irimo procesą, jo sąlygas (drėgmę, temperatūrą ir pan.) bei sulaikyti emisijas į aplinkos orą iki 97–99 proc.¹

Tunelinėje kompostavimo sistemoje BSA yra apdorojamos uždaruose tuneliuose (patalpose) apie 3–4 sav. – taip yra gaminamas pirminis kompostas. Tai laikoma efektyviu ir greitu kompostavimo procesu, kurį pasiekti leidžia tinkamo oro tiekimo, temperatūros ir drėgmės kontrolė [19].

Konteinerinėje kompostavimo sistemoje kompostavimas vyksta uždaruose konteineriuose, kurie gali būti lengvai transportuojami ir įrengiami be didelių investicijų.² BSA kompostuojama kontroliuojamomis sąlygomis su oro teršalų valymo sistema.



1.4 pav. Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo būdai (A – kompostavimas po plėvele B – tunelinė kompostavimo sistema; C – konteinerinė kompostavimo sistema)^{1,2}

Kompostavimo proceso pagrindiniai parametrai pateikiami 1.6 lentelėje.

¹ <https://www.sutco.com/products/biological-treatment/biodegma-membrane-technology>

² http://www.horstmann.pl/_uk/kompostownie-technologie.shtml

1.6 lentelė. Aerobinio apdorojimo proceso pagrindiniai parametrai [19, 28]

Parametrai	Proceso sąlygos	Aprašymas
Drėgnis	Optimalus drėgnis 50–60 proc.	Vanduo esantis biomasėje padeda mikroorganizmams transportuoti maistines medžiagas ir energiją pro ląstelės membranas. Esant per mažai drėgmei (<40 proc.) mikroorganizmai dehidratuoja ir skaidymo procesas sulėtėja. Esant per didelei drėgmei (>70 proc.) mikroorganizmams pradeda trūkti deguonies ir prasideda anaerobinis procesas.
Temperatūra	Mezofilinė stadija – 15 °C iki 45 °C, o termofilinė stadija – 50–75 °C ir sumažėjimas iki 45 °C.	Pirminio komposto gamyba susideda iš dviejų etapų, kurie priklauso nuo temperatūros. Mezofilinė stadija trunka apie 10 d., termofilinė – iki mėnesio. Komposto iš ŽA brandinimo / stabilizavimo procesas mezofilinėmis sąlygomis trunka apie 1 mėn.
Anglies ir azoto santykis	Optimalus C/N santykis 15–30:1, tačiau gali skirtis priklausomai nuo kompostuojamos medžiagos, pvz. MVA C/N santykis 26–45:1, dumblo 10–30:1.	Anglis yra energijos šaltinis mikroorganizmams, o azotas yra būtinas aminorūgščių, baltymų ir nukleino rūgščių sintezei. Esant per dideliu C/N santykiui kompostavimo procesas yra ilgesnis bei produkto kokybė yra prastesnė. Esant mažam santykiui, pastebimas padidėjusios azoto emisijos į atmosferą, komposto rūgštėjimas ir galimas fitotoksiškumas. Optimaliam C/N santykio palaikymui azotu prisotintos atliekos (MVA, dumblos) yra maišomos su anglimi turtingomis (mediena, šiaudai) atliekomis.
Deguonies kiekis	Optimalus deguonies kiekis 15–20 proc. BSA tūrio.	Esant per mažam deguonies kiekiui (<10 proc.) prasideda anaerobinis irimo procesas. Esant per dideliu deguonies kiekiui (>20 proc.), nepasiekama termofilinė stadija ir kompostavimo procesas sulėtėja. Siekiant kontroliuoti deguonies kiekį komposte, biomasė yra vartoma ir aeruojama.
Rūgštingumas (pH)	Neutralus pH yra optimalus mikroorganizmų veiklai. Mezofilinėje stadijoje pH iki 5, o termofilinėje stadijoje pH iki 8.	Mezofiliniame etape pH gali sumažėti dėl organinių rūgščių, išsiskiriančių skaidant paprastus organinius substratus. Rūgštingumo pokyčiai priklauso nuo kompostuojamos biomasės sudėties.
BSA dalelių dydis	Optimalus biomasės tankis 100–500 kg/m ³ .	Esant didesniai biomasės tankiui sumažėja biomasės birumas ir deguonies kiekis, todėl mikroorganizmų veikla ribojama. Esant per mažam tankiui, pastebimas vandens absorbcijos gebos mažėjimas.

Kompostavimo pabaigą galima atpažinti vizualiai įvertinus kompostą: kompostas neturėtų skleisti nemalonaus kvapo, jo temperatūra turėtų būti žema, masė turėtų būti drėgna, rupi, tamsios spalvos [28]. Tačiau norint kompostą naudoti žemės ūkyje, jis turi atitikti cheminius, biologinius ir fizinius kriterijus, kurie išvardinti 1.1 poskyryje 1.3–1.4 lentelėse – dėl šios priežasties privaloma atlikti komposto kokybės laboratorinius tyrimus [13, 15]. Komposto naudojimo privalumai: prisotina dirvožemį maistinėmis medžiagomis ir gerina augalų įsisavinimą, išvengiama resursų naudojimo gaminant chemines trąšas [28]. Taip pat, literatūroje teigiama, kad gaminant vertingą kompostą iš maisto atliekų, susidaro minimali oro tarša, lyginant su nepūdyto dumblo kompostavimu su žaliosiomis atliekomis (amoniako konc. sumažėja nuo 90 iki 97 proc., lakiųjų organinių junginių iki 50 proc., kietųjų dalelių iki 100 proc.) [15].

Šio darbo metu didžiausias dėmesys yra skiriamas **anaerobinio apdorojimo procesui**, nes remiantis mokslininkų teigimu, ši technologija yra tinkamiausia konvertuojant biomasės žaliavą į energiją bei

tuo pat metu gaminant pridėtinės vertės produktą biokompostą [29]. Anaerobinio apdorojimo procesas vyksta bedeguonėje aplinkoje, kuomet organinė medžiaga yra skaidoma į biodujas, kurių sudėtis yra apie 50–75 proc. CH₄, 25–50 proc. CO₂ ir likusi dalis dujų, priklausančių nuo skaidomos medžiagos [30]. Anaerobinis apdorojimas vyksta 4 etapais – hidrolizė, acidogenezė, acetogenezė ir metanogenezė (žr. 1.7 lent.).

1.7 lentelė. Anaerobinio apdorojimo fazės [29, 31, 32]

Anaerobinio apdorojimo fazės	Aprašymas
Fermentinė hidrolizė	Angliavandeniliai, baltymai ir riebalai yra skaidomi fermentų į mažesnės molekulinės masės vienetų – polimerai yra skaidomi į oligomeres arba monomerinius vienetų, polisacharidai į oligo– ir monosacharidus, baltymai į peptidus ir amino rūgštis, o lipidai verčiami gliceroliu ir riebalų rūgštimis. Šio etapo greičiui įtakos turi substrato pobūdis, dalelių dydis, bakterijų koncentracijos, pH, temperatūra. Bakterijos: <i>Streptokokas</i> ir <i>Enterobacterija</i> anaerobų gentys
Acidogenezė	Pirmos fazės produktai fermentuojami iki lakiųjų riebalų rūgščių (acetatas, propionatas, butiratas ir pan.). Rūgštinimo metu fakultatyvinės anaerobinės bakterijos naudoja deguonį ir anglį, sukurdamas anaerobines sąlygas metanogenezei.
Acetogenezė	Organinės rūgštys yra verčiamos į CO ₂ , acetatus ir H ₂ . Ši fazė, kuri parodo biodujų gamybos efektyvumą, nes 70 proc. metano susidaro redukuojant acetatui. Tuo pačiu metu proceso metu susidaro ir 11 proc. H ₂ , kuris turi slopinamąjį poveikį mikroorganizmams. Bakterijos: <i>Sintrofomonas</i> ir <i>Sintrofobakterija</i> gentys
Metanogenezė	Šio proceso metu vyksta acto rūgties fermentavimas arba CO ₂ redukcija, ko pasekoje susidaro CH ₄ . Bakterijos: <i>Archaea</i>

Anaerobinis apdorojimas gali vykti mezofilinėmis arba termofilinėmis sąlygomis – šių sąlygų privalumai ir trūkumai pateikti 1.8 lent.

1.8 lentelė. Maisto ir virtuvės atliekų anaerobinio apdorojimo termofilinėmis ir mezofilinėmis sąlygomis palyginimas [32, 33, 34]

Termofilinės sąlygos		Mezofilinės sąlygos	
Privalumai	Trūkumai	Privalumai	Trūkumai
Organinės medžiagos skaidymas vyksta 49–70 °C temperatūroje Dėl aukštesnės temperatūros skaidymo procesas vyksta greičiau. Dėl greičiau vykstančios skaidymo reakcijos susidaro didesnis kiekis biodujų (pvz. 740,4 cm ³ /g SM ⁻¹) Susidaro mažesnis kiekis oro teršalų / emisijų Geresnė digestato / raugo cheminė sudėtis Dėl greitai vykstančios cheminės reakcijos galima apdoroti didesnį kiekį organinių atliekų Aukštas patogenų sunaikinimo potencialas	Reikalingas didesnis kiekis energijos, siekiant išlaikyti tinkamą temperatūrą Cheminės reakcijos jautresnės trikdžiams Didelės laisvo NH ₄ ⁺ koncentracijos Aukštesnė lakiųjų riebalų rūgščių koncentracija	Organinės medžiagos skaidymas vyksta 30–35 °C temperatūroje. Stabilios cheminės reakcijos lemia stabilų biodujų išėgą Ekonomiškai prieinamas variantas (mažos energijos sąnaudos) Didelė mikroorganizmų įvairovė	Lėtesnis anaerobinio apdorojimo procesas Mažesnė biodujų išėiga (pvz. 274.7 cm ³ /g SM ⁻¹)

Taip pat anaerobinis fermentavimas išgaunant biodujas gali būti skirstomas pagal pūdumų atliekų drėgnį – šlapias fermentavimas (SM apie 15 proc.), sausas (SM apie 50 proc.) ir pusiau sausas (SM

apie 20 proc.) fermentavimas [35]. Pagrindinis skirtumas lyginant šlapia ir sausą fermentavimą yra tai, kad šlapio fermentavimo metu poveikis aplinkai yra didesnis dėl susidarancio nuotekų kiekio ir didesnio energijos sąnaudų poreikio, tačiau biodujų išeiga yra reikšmingai didesnė [35]. Šlapias / pusiau sausas fermentavimas dažniausiai naudojamas MVA anaerobinio apdorojimo proceso metu, nes MVA dažniausiai pasižymi iki 20 proc. SM (žr. 1.4.1 poskyrį).

Lyginant anaerobinio apdorojimo technologą su tradiciniais atliekų tvarkymo būdais, tokiais kaip atliekų šalinimas sąvartynuose ar deginimas, ši technologija užima mažesnę teritoriją, jos metu mikroorganizmų pagalba yra gaminami atsinaujinanti energija ir į aplinką yra išmetamos mažesnės ŠESD emisijos [26]. Pastebima, kad anaerobiškai apdorojant atskirai surinktas MVA daromas minimalus poveikis globaliam klimato šiltėjimui, lyginant su centralizuotu MVA tvarkymu kartu su MKA [15]. Tačiau reikia atsižvelgti ir į šios technologijos trūkumus, pvz. nenuspėjama MVA sudėtis turi įtakos proceso valdymui ir stabilumui, todėl atliekas tvarkant anaerobiniu būdu yra labai svarbu pirminis žaliavų apdorojimas ir priedų įvedimas, kuris gali padidinti bendrą proceso efektyvumą [26].

1.4.1. Maisto ir virtuvės atliekų savybės bei veiksniai, darantys įtaką jų sudėčiai ir anaerobinio apdorojimo proceso efektyvumui

Biologinių atliekų sudėties prognozė yra vienas iš iššūkių kalbant apie atskirą organinių atliekų surinkimą ir perdirbimą, nes heterogeninė maisto sudėtis anaerobinio apdorojimo procese turi didelės įtakos reakcijų stabilumui, organinės medžiagos skaidymo efektyvumui ir biodujų išeigai [36]. Metų laikais, šventiniai laikotarpiai, gyvenviečių tipai, iš kurių yra surenkamos atliekos, bei kiti veiksniai turi įtakos rūšiuojamuoju būdu surinkto maisto kiekiui ir sudėčiai, užterštumui, C/N santykiui, o tai lemia biodujų išeigos potencialą ir taip pat raugo kokybę [1]. Pavyzdžiui, teritorijoje, kur dominuoja individualūs namai, gyventojai galimai vykdo namudinį kompostavimą, todėl iš tokio tipo gyvenviečių būtų surenkamos tik MVA atliekos, o gyvenvietėse, kur dominuoja daugiabučiai namai, gyventojai neturi galimybės kompostuoti ŽA savo teritorijoje, todėl įdiegus atskirą MVA surinkimo infrastruktūrą į kontainerius galimai patektų ne tik MVA, bet ir ŽA. Vertinant metų laikų / sezonų įtaką MVA sudėčiai pokytis pastebimas ir Kauno regione – pagal MKA sudėties tyrimus 2021 ir 2022 m. didžiausias MVA srautas buvo pavasario sezono metu (12,57 proc. ir 11,71 proc.), o mažiausias – žiemos (7,44 proc. ir 6,29 proc.) [18].

Priemaišos MVA sraute susideda iš pakuočių, popierinių rankšluosčių, kavos filtrų, vaisių lipdukų ir pan. Priemaišų kiekis esantis atskiru srautu surenkamų MVA masėje priklauso nuo to, kaip ilgai ši sistema yra įkurta bei kaip efektyviai buvo vykdytas informacijos platinimas ir gyventojų švietimas. Vidutinis kiekis priemaišų svyruoja nuo 7,54–14,91 proc. MVA, kur apie 43 proc. būna plastiko pakuočių atliekos, 15 proc. metalo pakuotės, 13 proc. popierinės pakuotės, 7 proc. stiklo pakuotės ir 7 proc. tekstilė [37]. Kitame šaltinyje teigiama, kad MVA užterštumas iš gyventojų surinktose MVA siekia iki 13 proc., tačiau šioms gyventojams nebuvo taikomos jokios reguliacinės priemonės [1]. Remiantis maisto atliekų surinkimo vadovu [17], priemaišų kiekis MVA taip pat priklauso nuo gyvenvietės tipo – iš individualių namų surenkamose MVA priemaišų kiekis yra apie 5 proc., o iš daugiabučių – 10–15 proc. priemaišų. Priemaišos biomasėje sumažina galutinę biodujų išeigą ir šiluminę vertę bei turi neigiamą poveikį anaerobinio apdorojimo įrangai, pvz. didina įrenginių koroziją, mechaninį susidėvėjimą. [29].

MVA apdorojamo anaerobinėmis sąlygomis procesas dažnai nėra stabilus dėl MVA heterogeniškos sudėties, todėl reikalingas nuolatinis proceso monitoringas ir kontrolė [36]. Siekiant užtikrinti efektyvų ir našų anaerobinį procesą būtina palaikyti tinkamas aplinkos sąlygas mikroorganizmams, tokias kaip temperatūra, pH, C/N santykis, drėgmė, skaidumas, lakiųjų riebalų rūgščių koncentracija, maišymo / fermentavimo trukmė. Svarbiausi parametrai nulemiantys fermentavimo proceso stabilumą ir efektyvumą yra biomasės sudėtis (C/N santykis) ir temperatūra [32, 33].

Nors MVA sudėtis priklauso nuo daugelio veiksnių, literatūroje apibrėžiami **MVA cheminės sudėties rėmai**. Pavyzdžiui, autorių teigimu, MVA biomasėje nustatomas 82,9 proc. [34], 75,2–85,7 proc. [31], 79 proc. [38], 69,1–84,3 proc. [39], 77,97 proc. [40] drėgnis. Taip pat, MVA įprastai sudaro 42,74 – 61,9 proc. celiuliozė, 20,37 – 35,00 proc. riebalai ir 15,19 – 26,60 proc. baltymai [39, 40]. MVA, kuriose yra daugiau riebalų ir angliavandenių, paprastai turi didesnę biometano potencialą, o biomasėje, kurioje yra daugiau vandens ir lignino, biometano potencialas yra mažesnis [3, 29].

Kritinis parametras anaerobinio apdorojimo procese yra **anglies ir azoto santykis** (C/N) biomasėje. Literatūroje nurodomas MVA C/N santykis yra 11–21,1 [34], 14,4 (anglies 47,5 proc. SM, o azoto 3,3 proc. SM) [38], 11,5–24,5 (anglies 46,8–56,1 proc. SM, o azoto 2,3–3,8 proc. SM) [39]. Manoma, kad tinkamiausiais C/N santykis MVA biomasėje yra 20–30:1 ir esant nuokrypiams nuo optimalaus santykio pastebimas biodujų išeigos potencialo slopinimas – kai C/N santykis didesnis pastebimas azoto trūkumas mikroorganizmams, skaidymosi proceso lėtėjimas, tarpinių junginių, pvz. LRR kaupimasis, o esant mažesniui santykiui organinės medžiagos skaidymą slopina padidėjusi amoniako koncentracija, lemianti pH didėjimą, reakcijų slopinimo efektą ir kitus trikdžius proceso stabilumui [34]. Pavyzdžiui, MVA maišytų su mėšlu C/N santykis buvo 15,8:1 ir tai nulėmė mažesnę biodujų išeigą 388 ml/g^{-VS} [34].

Anaerobinių bakterijų veikla verčiant acto rūgštį į metaną tiesiogiai priklauso nuo **temperatūros** [31]. Pastebima, kad anaerobinio apdorojimo intensyvumas greitėja proporcingai didėjant temperatūrai ir tai lemia didesnę biodujų išeigą, intensyvesnį bakterijų dauginimąsi ir medžiagų apykaitos greitį, tačiau esant aukštesnei temperatūrai didėja laisvo amoniako kiekis, kuris gali slopinti mikroorganizmų ir reakcijų veiklą [32].

Sistemos **pH** taip pat turi įtakos proceso efektyvumui ir stabilumui, todėl anaerobinio proceso metu taikomos tam tikros priemonės optimalaus pH palaikymui. Pavyzdžiui, terminis MVA apdorojimas 60–100 °C temperatūroje prieš anaerobinį apdorojimą padėjo palaikyti sistemos pH 7,29–7,76 režiuose [34]. Tai pat pH kontrolei gali būti naudojami tirpalai (NaOH arba NaHCO₃) arba biomasės maišymas, pvz. MVA kartu su ŽA arba dumbliu [31].

Organinės apkrovos dydis (angl. *organic loading rate*) svarbus parametras vertinant kokia dalis sausos medžiagos gali būti tiekiama į reaktorių, kad užtikrinti medžiagų pilną suirimą [31]. Šis rodiklis išreiškiamas **organinės medžiagos kiekiu sausoje medžiagoje** (angl. „*volatile solids*“) ir padeda nustatyti tinkamą biomasės išlaikymo reaktoriuje laikotarpį, kad biomasės keitimas reaktoriuje nesutrikdytų mikroorganizmų veiklos, mikroorganizmai spėtų daugintis ir skaidyti substratą. Literatūroje teigiama, kad MVA organinės medžiagos kiekis sausoje medžiagoje yra 23,4 proc. [38], 37,23 proc. [17], tačiau kuo didesnis OAD, tuo biomasės išlaikymo laikotarpis reaktoriuje ilgesnis, sistemoje pradeda kauptis LRR, sutrinka mikroorganizmų veikla ir biodujų išeiga mažėja, o esant per mažai organinei apkrovai, sistema negali funkcionuoti pilnu pajėgumu [31].

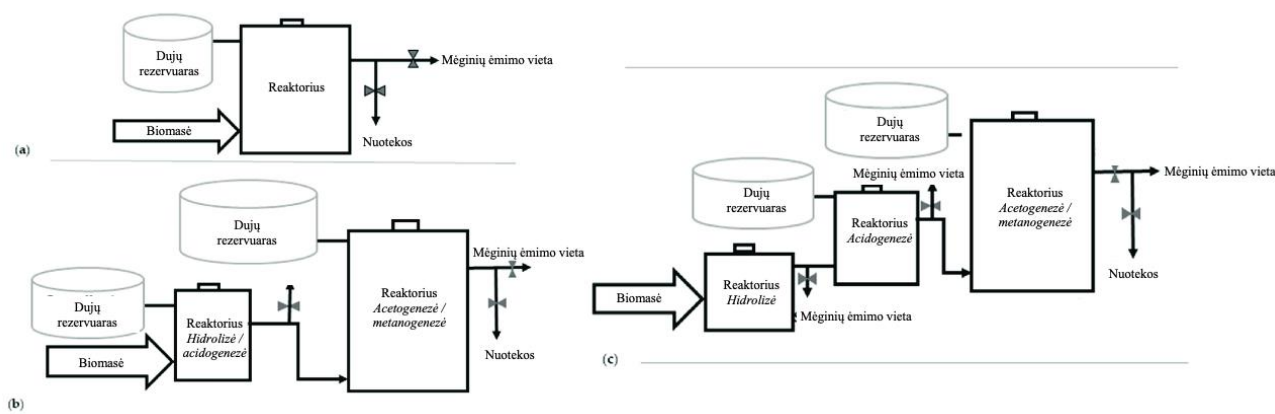
Substratų maišymas (angl. *co-digestion*). MVA sudėtyje dominuoja angliavandeniliai ir baltymai, tačiau dažnai pastebimas celiuliozės trūkumas. Esant per dideliu angliavandenilių kiekiui hidrolizė yra slopinama dėl fermentų trūkumo bei esant per dideliu kiekiui baltymų (pagrindė azoto) susidaro laisvo amoniako perteklius, kuris slopina mikroorganizmų veiklą [33, 41]. Dėl šių veiksnių anaerobinio apdorojimo metu yra patariama MVA maišyti kartu su ŽA tam, kad padidinti celiuliozės kiekį biomasėje ir pagerinti biodujų išeigos potencialą. Pavyzdžiui, 2018 m. Shi [33] tyrimo rezultatai parodė, kad anaerobiškai apdorojant MVA ir kviečių šiaudų mišinį (santykis 9:1) buvo pastebėtas stabilesnis maistinių medžiagų ir mikroorganizmų balansas bei didesnis išsiskiriančio metano kiekis, lyginant su MVA ir kviečių šiaudų apdorojimą atskiruose srautuose. Taip pat šio tyrimo metu buvo pastebėta, kad CH₄ kiekis ir biodujų išeiga termofilinėmis sąlygomis buvo didesnė (62,4 proc. ir 614 ml/g) nei mezofilinėmis sąlygomis (61,9 proc. ir 555 ml/g). Chen [41] nustatė, kad MVA ir ŽA santykis 40:60 buvo optimaliausias biodujų gamybai ir lėmė 90 proc. arba 272,1 ml/g metano išeigą (po 24,5 d. AD). Kainthola (cit. iš Chozhavendhan ir kt. [29]) tyrimo rezultatai nurodė, kad anaerobiškai apdorojant MVA maišytą su ryžių šiaudais CH₄ išeiga siekia 323,78 ml/g. optimaliose sąlygose (pH 7,32, C/N 30). Literatūroje teigiama, kad substratų maišymas užtikrina balansuotą maistinių medžiagų profilį ir geresnę biodujų išeigą nei vienaarūšės biomasės fermentavimas [42].

Nenuspėjama MVA sudėtis sukelia tam tikrų trikdžių anaerobinio apdorojimo procese ir sukelia biodujų išeigos slopinimą (angl. *inhibition*) – tai gali būti medžiagos patenkančius į reaktorių su pirmine žaliava arba tarpiniai produktai, susidarantys biomasės skilimo stadijose [36]. **Amoniako slopinimas** (angl. *ammonia inhibition*) – esant per didelei azoto ar baltymų koncentracijai biomasėje pastebimas mikroorganizmų veiklos slopinimas dėl laisvo amoniako (NH₃) ir amonio jonų (NH₄⁺) formavimosi [31]. Amoniako koncentracijos augimas koreliuoja su pH didėjimu (šarmingumu), temperatūros reaktoriuje augimu – reakcijos slopinimas pastebimas, kai amoniakinio azoto koncentracija biomasėje siekia >3 500 mg/l [23].

Lakiųjų riebalų rūgščių (angl. *volatile fatty acid*) formavimasis ir akumuliacija rodo anaerobinių bakterijų veiklos slopinimą, kas sukelia trikdžius metanogenezės fazėje ir nulemia lėtą biodujų gamybą [29]. Laisvosios LRR biomasėje kaupiasi dėl pH sumažėjimo (rūgštėjimo), kas dažnai nulemia negrįžtamus biocheminius pokyčius ląstelių lygmeniu. Pagal Paritosh ir kt. [31], LRR koncentracija MVA biomasėje turi būti palaikoma 2000–3000 mg/L režiuose, siekiant palaikyti tinkamą medžiagų apykaitą ląstelėse. **Vandenilio sulfidas (H₂S)** taip pat turi slopinamąjį poveikį mikroorganizmams, kai jo koncentracija biomasėje >50 mg/l [23]. Pastebimas ryšys tarp pH didėjimo ir laisvojo H₂S koncentracijos augimo [23]. **Sunkieji metalai** (Cr, Co, Zn, Cu) yra būtini mikroorganizmams, tačiau esant padidėjusiai koncentracijai, yra pastebimas anaerobinio proceso slopinimas, dėl fermentų formavimosi ir funkcijų trikdžių [39]. Taip pat esant didelei sunkiųjų metalų koncentracijai, pastebimas digestato kokybės mažėjimas [29].

Anaerobinis apdorojimo procesas vykdomas **bioreaktoriuose**, kurie gali būti įvairių tipų: vienos, dviejų ar trijų stadijų (žr. 1.5 pav.). Manoma, kad vienos stadijos bioreaktoriai, kur hidrolizės, acidogenezės, acetogenezės ir metanogenezės fazės vyksta vienoje talpoje, pasižymi stabilesniu perdirbimo procesu su mažiau trikdžių [31, 42]. Kitų autorių teigimu dviejų stadijų anaerobinio apdorojimo sistemos, kai hidrolizės, acidogenezės ir acedogenezės fazės vyksta viename bioreaktoriuje, o metanogenezės fazė atskirame bioreaktoriuje, pasiekama didesnė biodujų išeiga [34, 43]. Pavyzdžiui, metano išeiga dviejų stadijų bioreaktoriuje buvo 37 proc. didesnė nei vienos stadijos bioreaktoriuje anaerobiškai apdorojant MVA [31]. Termofilinėmis sąlygomis trijų stadijų

bioreaktoriuose apdorojama MVA ir ŽA biomasė lėmė atitinkamai 45 proc. ir 31 proc. didesnę biodujų išėigą nei vienos ar dvejų stadijų bioreaktoriai [42]. Tai lėmė trijų stadijų bioreaktoriaus sustiprintas celiuliozės ir hemiceliuliozės skilimas iki substratų pirmoje hidrolizės stadijoje [42].



1.5 pav. Anaerobinio apdorojimo reaktorių tipai (A – vieno ciklo; B – dviejų ciklų; C – trijų ciklų) [44]

1.4.2. Maisto ir virtuvės atliekų anaerobinio apdorojimo metu gaunami pridėtinės vertės produktai

MVA anaerobinio apdorojimo proceso metu gaunami produktai gali būti transformuojami į kurą, energiją ar dirvožemį gerinančias medžiagas [3]. Pagrindinis gaunamas produktas yra biudujos – autorių teigimu, iš 1 t MVA galima išgauti 125 m³ (CH₄ 62 proc., CO₂ 32 proc.) [45], 92–165 m³ [3], 114,24 m³ [46], 137 m³ [47], 108–138 m³ [38] biudujų, tačiau kaip ir buvo minėta praėjusiuose poskyriuose, biudujų išėiga priklauso biomasės sudėties ir anaerobinio proceso parametrų. Biudujos gali būti konvertuojamos į elektros ir šilumos energiją KJ. Autorių teigimu, KJ pagaminama elektros ir šilumos energijos atitinkamai 38 proc. ir 48 proc. [45], 30–40 proc. ir 30–55 proc. [27], 35 proc. ir 65 proc. [46]. Pagaminti energija gali būti naudojama savoms reikmėms arba gali būti atiduodama į tinklus – taip prisidedama prie globalinio atšilimo potencialo mažinimo, nes neatsinaujinantis energijos šaltinis yra pakeičiamas atsinaujinančiu [3]. Svarbu pabrėžti ir socialinį aspektą – energijos išėavimas iš atliekų turi teigiamą poveikį visuomenės nuomonei, nes piliečiai supranta iškastinio kuro neigiamą poveikį klimato kaitai ir kaip svarbu yra ieškoti aplinkos kokybę saugojančių alternatyvų. Literatūroje teigiama, kad biudujų tiekimas į bendrus tinklus yra ekonomiškai nepalankus ir įmonei nepelningas [48]. Vienas iš trūkumų biudujų gamyboje yra neorganizuoti išmetamųjų teršalų šaltiniai, kurie atsiranda biudujų nuotėkio rezervuaruose ir vamzdynuose [3]. Pagal IPCC, nekontroliuojami biudujų nuotėkiai siekia iki 10 proc. pagaminamos biudujų produkcijos (pagal tūrį) – tai gali lemti nemalonų kvapą gamybos teritorijoje, oro taršą bei neigiamą poveikį žmonių sveikatai [3].

Biudujų gryninimas – tai procesas, kurio metu didinama CH₄ koncentracija (iki 97 proc.) dujose, pašalinant kitų dujų priemaišas kaip pvz. CO₂, N₂, NH₃, O₂, H₂S, H₂ ir gaunamas biometanas (bio-CH₄) [49]. Priemaišų pašalinimui iš biudujų gali būti taikomos įvairios technologijos, kaip pvz. kriogeninis procesas (angl. *cryogenic process*), vandens skruberis (angl. *water scrubber*), aktyvuota anglis ir kt. [45, 50]. Kriogeninio proceso metu biudujos valomos ir gryninamos naudojant žemą temperatūrą (apie –150 °C), kurioje priemaišos kondensuojasi ir suformuoja kietos arba skystos fazės

daleles, kurios gali būti pašalintos iš sistemos¹. Šis valymo metodas pasižymi >99 proc. biodujų išgryninimo efektyvumu bei atskirais srautais išgauti produktai (bio-CH₄ ir bio-CO₂) gali būti suskystinami, taip palengvinant biodujų transportavimo ir pritaikomumo našumą¹. Tačiau šis metodas reikalauja didelių investicijų dėl inovatyvios technologijos bei didelių energijos sąnaudų dėl žemos temperatūros palaikymo¹. Biodujų valymo šlapiu skrubieriu procesas vyksta kuomet biodujos praleidžiamos pro vandens pripildytą koloną, kur priemaišos (pagrindė H₂S) yra surišamos su vandens molekulėmis ir pašalinamos iš sistemos [45]. Ši sistema pasižymi paprastomis ir ekonomiškai prieinamomis sąlygomis, gali būti naudojama mažose ir didelio masto biodujų gamyklose, pastebimi maži metano nuostoliai 0,3 kW/m³, metanas išgryninimas iki 98 proc. [45]. Tačiau proceso metu susidaro nuotekos, kurios yra užterštos priemaišomis, pagrindė sieros rūgštim, ir turi būti tinkamai išvalytos [45]. Taip pat H₂S pašalinimui naudojama aktyvuota anglis, kuri dėl didelio paviršiaus ploto ir absorbcijos gebos suriša H₂S molekuliniu lygmeniu (sąnaudos 1,76 kg/1000 m³ biodujų) [51]. Gazifikavimo ir pirolizės metodais iš biometano gaunamos sintetinės dujos „syngas“ – tai biodegalai, kuriuos sudaro 25–30 proc. H₂, 30–60 proc., 5–15 proc. CO₂ [45]. Sintetinės dujos naudojamas etanolio, metanolio ir kitų aldehydų ir olefinų pramoninei gamybai [29].

Biodujų gryninimas padidina biodujų kaloringumą nuo 20 iki 35,8 MJ/m³, kas lemia bio-CH₄ vertės augimą rinkoje [29]. Bio-CH₄ pasižymi panašia struktūra kaip ir gamtinės dujos, todėl jis gali būti tiekiamas į gamtinių dujų tinklus arba būti naudojamas kaip pakaitas šiluminės energijos gamybai [29]. Taip pat, bio-CH₄ gali būti naudojamas transporto sektoriuje kaip kuras – ES didelis dėmesys skiriamas bio-CH₄ naudojimui viešajam transportui dėl ES paskelbto tikslo iki 2030 m. transporto sektoriuje užtikrinti iki 14 proc. atsinaujinančios energijos šaltinius, iš kurių 3,5 proc. turi būti biodegalai ir biodujos [52]. Bio-CH₄ naudojimas transporto sektoriuje ar tiekimas į gamtinių dujų tinklus yra laikomi efektyviausiais biodujų naudojimo būdais [48]. Naudojant bio-CH₄ transporto sektoriuje vietoje iškastinio kuro galima sumažinti CO₂ emisijas į aplinką apie tris kartus bei CO₂ susidarantis biokuro deginimo procese yra susijęs su natūraliu fotosintezės procesu, todėl laikomas biogeniniu ir neutraliu aplinkai [50]. Biomase, iš kurios gali būti gaminamas biometanas, yra lengvai prieinama ir įvairialytė, todėl tai gali būti galimybė šaliai užtikrinti geopolitinę saugą ir energetinę nepriklausomybę, nes tarpvalstybinius konfliktus dažnai kelia netolygus iškastinių žaliavų prieinamumas ir pasiskirstymas tarp valstybių [50]. Bio-CH₄ rinka ES vis didėja dėl daugėjančių biodujų gamyklų, gerėjančio prieinamumo, suteikiamo finansavimo, reglamentavimo. Pagal nurodytą ES uždavinį atskirai surinkti ir tvarkyti MVA, galima prognozuoti, kad biodujų gamyklų kiekis ateityje tik augs [50]. Bio-CH₄ tai pat gali būti skystinamas, kas lemia mažesnius transporto kaštus dėl mažesnio užimamo tūrio / didesnio energijos tankio [49]. Puikus pavyzdys yra „CM Fluids“ autobusas varomas suskystintu bio-CH₄, gautu iš MVA anaerobinio apdorojimo metu. Šaltinyje teigiama, kad šio autobuso dyzelinis variklis buvo modifikuotas į varomą suskystintu bio-CH₄ – lyginant su elektra ar vandeniliu varomu autobusu, išlaidos šiai modifikacijai buvo mažesnės. Taip pat, šis autobusas gali nuvažiuoti iki 800 km (esant pilnam kuro bakui), kai pilnai pakrautas elektromobilis gali nuvažiuoti tik 280 km. Lyginant su dyzeliniu kuru varomais autobusais, „CM Fluids“ autobusas pasižymi 90 proc. mažesnėmis KD ir N₂O emisijomis [53].

Siekiant uždaryti bio-CH₄ gamybos ciklą, antrinio produkto **bio-CO₂** gauto po biodujų gryninimo panaudojimas turi būti taip pat apsvaistytas. Biodujų gryninimo metu gali būti atskiriamas CO₂, kuris

¹ <https://www.cryogenicsociety.org/>

gali būti panaudojamas tolimesniuose procesuose. Anglies dioksido koncentracija išauga iki 80–90 proc. nuo 40–50 proc. biodujose [29]. Grynas CO₂ laikomas ne pavojinga ir ne degia medžiaga, todėl tai gali būti vertingas produktas pramonėje, tačiau turi būti tinkamai išvalytas – iki 99,5–99,99 proc. priklausomai nuo naudojimo srities [54]. Suskystintas bio-CO₂ gali būti naudojamas chemijos pramonėje, gaminant metanolį, dimetileterį ir sintetinį kurą [29]. Bio-CO₂ gali būti naudojamas žemės ūkio sektoriuje, pavyzdžiui, praturtinti šiltnamių orą CO₂ dujomis, siekiant pagerinti augalų fotosintezės procesą bei pagreitinti augalų augimą. Taip pat, bio-CO₂ gali būti naudojamas maisto pramonėje: 1) maisto šaldymo procese, naudojant suskystintą CO₂, 2) maisto pakavimo procese, užtikrinant sanitariją ir saugumą, 3) gazuotų gėrimų gamybai [54]. Energijos sektoriuje bio-CO₂ gali būti naudojamas sintetinio kuro „syngas“ gamyboje. Mineralizacijos proceso dėka iš bio-CO₂ gali būti gaminamos žaliavos statybos sektoriui [54].

Po anaerobinio apdorojimo susidaro sub-produktas – **digestatas / raugas**. Digestatas yra maistinių medžiagų turtinga stabilizuota biomasė, kuri gali būti naudojama kaip organinė trąša papildanti arba pakeičianti mineralinių trąšų naudojimą [6]. Tikslus anglies ir azoto kiekis rauge priklausys nuo MVA sudėties, tačiau literatūroje teigiama, kad rauge nustatoma 24,70–30,6 proc., 47,6 proc. [55], 15–20 proc. [39] organinės anglies SM bei 7 proc. [27], 3,44 proc. [55], 2–3 proc. [39] azoto SM. Digestatas dažnai yra atskiriamas į skystą ir kietąją fazes ne tik dėl platesnio produkto panaudojimo realizavimo, bet ir dėl emisijų į aplinką potencialo sumažinimo [3]. Kietoji dalis paprastai prieš naudojamą yra sijojama, siekiant pašalinti jame esančias priemaišas – ši masė toliau gali būti kompostuojama maišant substratą su kitomis medžiagomis ir gaminant dirvožemį gerinančią medžiagą / biokompostą, deginama arba naudojama sąvartynų perdengimams, priklausomai nuo pradžios biomasės kokybės (užterštumo). Autorių teigimu, raugas nusausinamas iki 22,1–25 proc. sausos medžiagos [15, 27]. Skystoji dalis gali būti naudojama kaip skystoji trąša, tačiau svarbu užtikrinti ne per didelę NH₃ ir N₂O koncentraciją, kuri galėtų turėti neigiamą poveikį dirvožemio kokybei, augalų vystymuisi, žmonių sveikatai, vandens užterštumui. [49]. Vertinama, kad daugiau nei pusėje Europos dirvožemių pastebimas organinių medžiagų trūkumas, kas lemia sumažėjusią dirvožemio vandens bei maistinių medžiagų absorbcijos gebą [16]. Naudojant biokompostą, galima būtų praturtinti dirvožemį organine medžiaga, be pridėtinio neigiamo poveikio aplinkai, kuris sukuriamas išgaunant sintetines trąšas [3].

1.5. Būvio ciklo įvertinimas optimaliam maisto ir virtuvės atliekų valdymui

Siekiant įvertinti MVA apdorojimo technologijų poveikį aplinkai visame gamybos cikle yra atliekamas būvio ciklo įvertinimas (toliau – BCĮ) remiantis ISO 14040/14044 metodologija. Šiuo atveju buvo atlikta 5 BCĮ tyrimų literatūrinė apžvalga (žr. 1.9 lent.). Tyrimuose sistemos ribos nuo „lopšio iki kapo“, o funkcinis vienetas yra siejamas su surenkamu MVA kiekiu, pvz. 1 t MVA arba su pagaminamu energijos kiekiu, pvz. 1 MWh.

Rezultatai parodė, kad anaerobinis MVA apdorojimas lemia mažesnę poveikį aplinkai nei MVA šalinimas sąvartynuose ar MVA deginimas kogeneracinėse jėgainėse [38, 47, 56, 57]. Tačiau viename iš tyrimų, MVA deginimas kartu su MKA kogeneracinėse jėgainėse lėmė mažesnę poveikį aplinkai 6 iš 9 poveikio aplinkai kategorijų dėl efektyvesnio energijos išgavimo potencialo (22 proc. elektros ir 60 proc. šilumos energijos išgavimo efektyvumas) ir iškastinio kuro pakeitimo (gamtinių dujų ir anglies) [27].

Didžiausias poveikis aplinkai dėl AD pastebimas eutrofikacijos, klimato kaitos potencialo, fotocheminio ozono susidarymo ir aplinkos rūgštėjimo poveikio aplinkai kategorijose dėl gamybos procese reikalaujamų vandens sąnaudų bei tiesioginių ir netiesioginių emisijų į aplinką [38]. Vertinama, kad gaminant elektros energiją iš biodujų, poveikis aplinkai sumažinamas 13 iš 19 poveikio aplinkai kategorijų, lyginant su elektros energijos naudojimu iš tinklų [38]. Šios alternatyvos klimato kaitos potencialas 203 kg CO_{2e}/MWh – tai yra apie 50 proc. mažiau nei deginant gamtines dujas (499 kg CO_{2e}/MWh) ir 43 proc. mažiau nei naudojant elektrą iš bendrų tinklų (358 kg CO_{2e}/MWh), tačiau 2–17 kartų daugiau nei branduolinės energijos potencialas (12 iki 97 kg CO_{2e}/MWh.).

Lyginant biodujų deginimą KJ išgaunant energiją su biodujų gryninimu ir bio-CH₄ naudojimu transporto sektoriuje pastebima, kad bio-CH₄ naudojimas lemia klimato kaitos potencialo (–57 proc.), sausumos toksiškumo (–21 proc.) ir iškastinio kuro naudojimo (–218 proc.) poveikio aplinkai kategorijų reikšmių sumažėjimą [27]. Pagal kitą autorių, bio-CH₄ naudojimas transporto sektoriuje lemia mažesnes klimato kaitos potencialo vertes bei mažesnę iškastinio kuro naudojimo potencialą [57]. Tačiau bio-CH₄ tiekimas į tinklus (pakeičiant gamtinių dujų naudojimą) lėmė eutrofikacijos ir aplinkos rūgštėjimo poveikio aplinkai kategorijų reikšmių didėjimą [57]. CO₂ emisijų faktorius dėl elektros energijos naudojimo iš tinklų skiriasi šalyse, priklausomai nuo atsinaujinančios energijos šaltinių naudojimo, pvz. Turkijoje 0,9 kg CO_{2e}/kWh, Lietuvoje 0,42 kg CO_{2e}/kWh, kitose šalyse 0,1 kg CO_{2e}/kWh. Dėl šios priežasties Turkijos atveju energijos gamyba iš biodujų yra labiau patartina, palyginant su bio-CH₄ naudojimu transporto sektoriuje. Svarbu paminėti, kad klimato kaitos potencialo mažėjimas pasiekiamas tik tais atvejais, jei gamykloje yra techninės galimybės išnaudoti biodujų kogeneracijos metu išgautą šilumos energiją arba biometaną tiekti į gamtinių dujų tinklus/naudoti transporto sektoriuje [47]. Šio tyrimo metu taip pat buvo atlikta kaštų analizė (angl. *life cycle cost analysis*), kad biometano tiekimas į gamtinių dujų tinklus lemia mažiausias sąnaudas (23 GBP/t MVA). Biodujų deginimas išgaunant energiją lemia 37 GBP/t MVA sąnaudas, MVA šalinimas su MKA – 92 GBP/t MVA dėl kasmet didėjančio sąvartynų vartų mokesčio. Dėl NH₃ ir NO₃[–] emisijų į aplinką digestato naudojimo etape pastebimas didesnis poveikis eutrofikacijos (0,7 kg N_e/t MVA), aplinkos rūgštėjimo (7,6 kg SO_{2e}/t MVA), KD susidarymo (9,9 kg KD_{10e}/t MVA) bei užimamo žemės ploto (3,1 m²/t MVA) kategorijoje [38]. Kitame tyrime, digestato kompostavimas lėmė 66,4 t CO_{2e}/FU reikšmes pagrinde dėl CH₄ ir N₂O emisijų į aplinką [56]. Tačiau literatūroje įvardijamas teigiamas pokytis dėl digestato naudojimo vietoje mineralinių trąšų naudojimo, pvz. – 866 proc. [27].

Svarbu pabrėžti, kad MVA prevencija lemia didesnius aplinkosauginius privalumus nei MVA apdorojimas. Pavyzdžiui, išvengiant 20 proc. MVA susidarymo būtų išvengta 3,2 Mt CO_{2e}/m. – toks poveikis būtų pasiektas pašalinus 2,3 mln. automobilių iš gatvių [47]. Taip pat tokie CO_{2e} sutaupymai būtų 6 kartus didesni nei įdiegus anaerobinio apdorojimo sistemą, biodujų gryninimą ir bio-CH₄ naudojimą vietoje gamtinių dujų [47].

1.9 lentelė. Maisto virtuvės atliekų apdorojimo alternatyvų poveikio aplinkai vertinimas visame gamybos cikle: literatūros analizės rezultatai

Tyrimo šalis / šaltinis	Funkcinis vienetas	MVA apdorojimo alternatyvos	Rezultatai	Poveikio aplinkai kategorijos
Jungtinė Karalystė / [38]	1 t MVA / 1 MWh	1) AD (biodujų deginimas KJ, digestato kompostavimas) 2) Deginimas KJ su MKA 3) Šalinimas sąvartyne (biodujų deginimas KJ)	1-oji alternatyva lemia mažiausias reikšmes 15 iš 19 poveikio aplinkai kategorijų, tačiau pastebimas eutrofikacijos, aplinkos rūgštėjimo, KD susidarymo bei užimamo žemės ploto kategorijų reikšmių padidėjimas. Įgyvendinus 1-ąją alternatyvą būtų išvengiama –39 kg CO _{2e} /t ŠESD emisijų ir sutaupoma 2 GJ/t pirminės energijos.	19 kategorijų
Turkija / [27]	1 t MVA	1) Šalinimas sąvartyne (esama situacija) 2) AD (biodujų deginimas KJ, digestato kompostavimas) 3) AD (biodujų gryninimas ir biometano naudojimas vietoje kuro) 4) Deginimas KJ su MKA 5) Apdorojimas kartu su nuotekomis	Visi scenarijai lemia geresnius rezultatus poveikio aplinkai kategorijose, lyginant su esama situacija, išskyrus ekotoksiškumo ir eutrofikacijos kategorijose 4-oji alternatyva geriausia alternatyva daugumoje poveikio aplinkai kategorijų 2-oji alternatyva laikoma palankesnė nei 3-čioji dėl Turkijos energetinės priklausomybės nuo iškastinio kuro	22 kategorijos
Jungtinė Karalystė / [47]	1000 t MVA	1) 50 proc. deginama KJ, 34 proc. šalinama sąvartynuose, 10 proc. kompostuojama, 6 proc. AD (esama situacija) 2) Didinamas MVA deginimo KJ procentas 3) MVA AD (biodujų naudojimas šilumos energijos išgavimui) 4) MVA aerobinis apdorojimas kartu su ŽA 5) MVA AD (biodujų KJ arba biodujų gryninimas)	5-oji alternatyva pasižymi mažiausiomis emisijos 7 iš 19 poveikio aplinkai kategorijų, tačiau pastebimas padidėjęs neigiamas poveikis aplinkos rūgštėjimo, KD susidarymo kategorijose. Biodujų gryninimas į biometaną geriausia alternatyva klimato kaitos potencialo kategorijoje bei ekonominiu požiūriu.	19 kategorijų
Singapūras / [56]	1000 t MVA	1) Deginimas KJ su MKA (esama situacija) 2) AD (biodujų deginimas KJ, digestato kompostavimas) 3) AD (biodujų deginimas KJ, digestato deginimas KJ) 4) AD (biodujų deginimas KJ, digestato gazifikacija)	2-oji alternatyva sumažina poveikį 8 iš 11 poveikio aplinkai kategorijų, tačiau padidėjęs poveikis pastebimas eutrofikacijos, pažemio ozono susidarymo ir klimato kaitos potencialo kategorijose 4-oji alternatyva pasižymi mažiausiomis reikšmėmis klimato kaitos potencialo kategorijoje	11 kategorijų
Italija / [57]	1 mg organinių atliekų	1) Kompostavimas (esama situacija) 2) AD, biodujų deginimas KJ, digestato kompostavimas 3) AD, biodujų gryninimas, biometano tiekimas į tinklus, digestato kompostavimas 4) AD, biodujų gryninimas, biometano naudojimas vietoje kuro, digestato kompostavimas	AD pasižymi mažesniu poveikiu aplinkai nei MVA kompostavimas. Biometano gryninimo technologija lemia tiesioginių ir netiesioginių emisijų į aplinką didėjimą, tačiau pasižymi mažesniu poveikiu aplinkai visose kategorijose, lyginant su 2-ąja alternatyva. 3-oji alternatyva pasižymi mažesnėmis poveikio aplinkai reikšmėmis visose kategorijose, lyginant su esama situacija. Tačiau pasižymi didesniu poveikiu aplinkai eutrofikacijos ir aplinkos rūgštėjimo kategorijose nei 4-oji alternatyva	8 kategorijos

Poveikio aplinkai kategorijos: 1 – iškastinio kuro naudojimas; 2 – gamtos išteklių mažėjimas; 3 – dirvos degradacija; 4 – aplinkos rūgštėjimas; 5 – ekotoksiškumas (vandens ir sausumos faunai ir florai); 6 – savitasis globalinis šiltėjimo / klimato kaitos potencialas; 7 – ozono sluoksnio retėjimas; 8 – eutrofikacija; 9 – toksiškumas žmogui; 10 – biologinės įvairovės mažėjimas; 11 – pažemio ozono susidarymą sukeliančios emisijos; 12 – metalų naudojimas; 13 – urbanizacija; 14 – žemės naudos kaita

Skryriaus apibendrinančios išvados

Apibendrinant mokslinės ir praktinės literatūros bei teisės aktų analizės rezultatus galima teigti, kad MVA atskiras surinkimas ir apdorojimas turi energetinį ir medžiagų atgavimo potencialą, kuris galėtų užtikrinti darnų ir efektyvų gamtos išteklių valdymą. ES ir nacionaliniai teisės aktai nurodo aiškius MVA surinkimo ir tinkamo perdirbimo standartus, kurie užtikrintų pridėtinės vertės produktų gamybą, nesukeliant papildomo neigiamo poveikio aplinkai ir / ar žmonių sveikatai.

ES rūšiuojamuoju būdu surenkama ir atskirai apdorojama tik 16 proc. susidarantių MVA, todėl reikalingi pokyčiai, kurie skatintų gyventojų įsitraukimą į rūšiavimo sistemą. Lietuvoje MVA potencialas lygus 41–43,7 kg/gyv. (15 proc. MKA), o Kauno regione – 23,55–25,93 kg/gyv. MVA per metus (8–9 proc. MKA), tačiau realiam kiekiui įvertinti reikalingi individualūs tyrimai. Efektyviai MVA atskiro surinkimo schemai įdiegti, reikalinga atsižvelgti į jos patogumą gyventojui, nustatyti konkrečius reikalavimus, didinti gyventojų sąmoningumą ir komunikuoti infrastruktūros įdiegimo priežastis ir privalumus.

Pirmenybė tvarkant maisto ir virtuvės atliekas turi būti teikiama biodujų gamybai bei likutinio substrato kompostavimui, nes taikant šias technologijas yra išnaudojamas MVA energetinis ir maistinių medžiagų atgavimo potencialas.

Dėl nenuspėjamos MVA sudėties anaerobinio apdorojimo procesas dažnai būna nestabilus, todėl reikalinga nuolatinė proceso kontrolė ir monitoringas. Pagrindiniai parametrai, kurie turi būti stebimi yra temperatūra, C/N santykis, pH, drėgmė, skaidumas, LRR koncentracija, maišymo / fermentavimo trukmė. Tinkamos mikroorganizmams sąlygos užtikrina našių biodujų išėigą. Biodujos toliau gali būti naudojamos energijos gamybai, taip prisidedant prie atsinaujinančių išteklių kūrimo ir visuotinio klimato atšilimo mažinimo. Gryninant biodujas galima išgauti aukštesnės vertės produktus, pvz. bio-CH₄ ir bio-CO₂, pakeičiant pirminių žaliavų naudojimą transporto, energetikos, maisto, chemijos, statybų ir apdirbamosios pramonės sektoriuose.

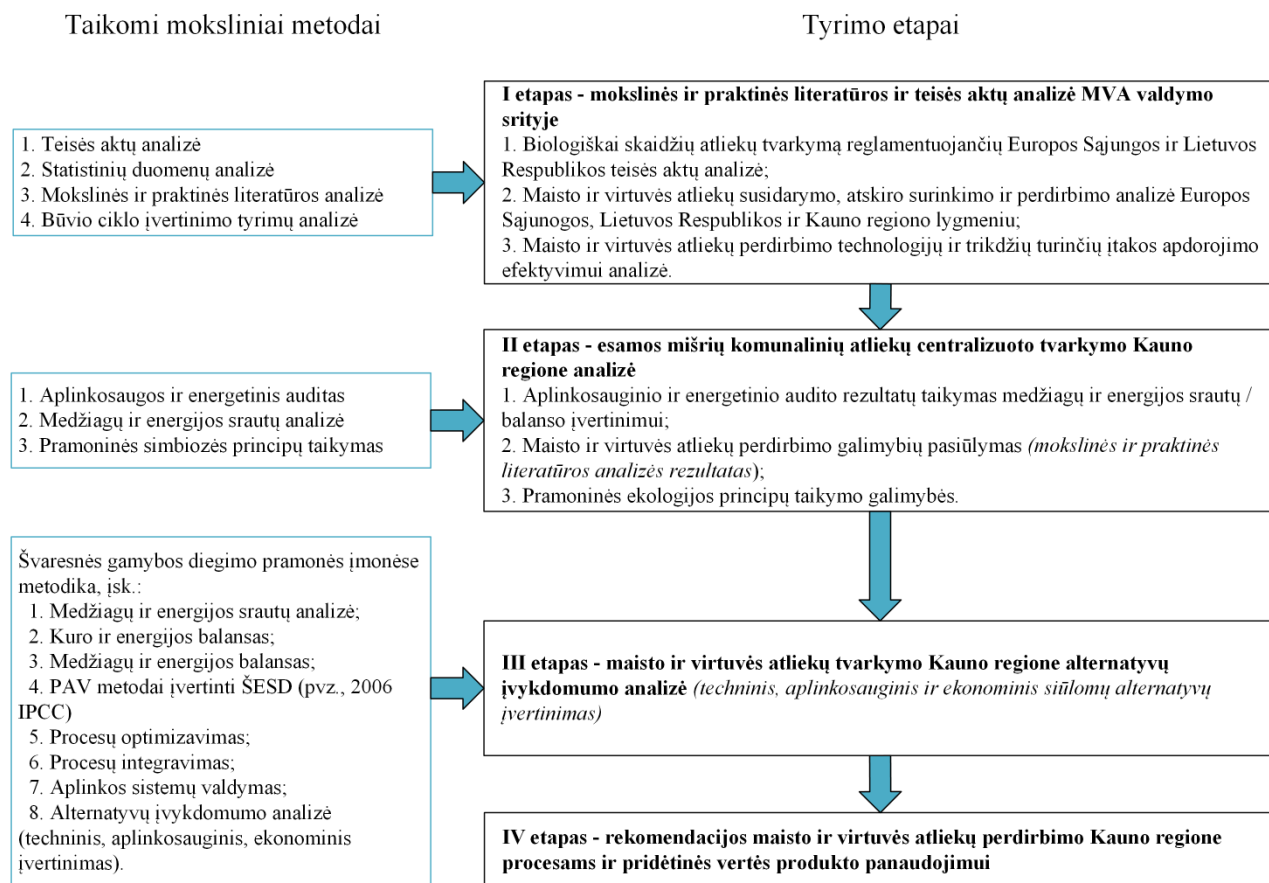
Po anaerobinio apdorojimo susidarantį digestatą yra siūloma kompostuoti kartu su anglimi prisotinta biomase, pvz. žaliosiomis atliekomis. Kompostavimo metu svarbu užtikrinti tinkamas mikroorganizmams sąlygas, tokias kaip drėgmė, temperatūra, C/N santykis, deguonies kiekis, pH ir BSA dalelių dydis. Biokompostas, pagamintas iš MVA digestato maišyto su ŽA, pasižymi didesniu vertingumu nei vienaarūšio substrato kompostas, todėl yra išpildomas maistinių medžiagų atgavimo potencialas, išvengiant išteklių cheminių trąšų gamybos pramonėje.

Lyginant anaerobinio apdorojimo technologijos taikymą MVA valdymui visame būvio cikle pastebimas mažesnis poveikis aplinkai, lyginant su MVA šalinimu sąvartynuose kartu su MKA (po apdorojimo) ar MVA deginimu kogeneracinėse jėgainėse. Biodujų naudojimas elektros ir šilumos gamybai turės mažesnę poveikį aplinkai, lyginant su biodujų gryninimu ir bio-CH₄ naudojimu transporto sektoriuje, tik tuo atveju, jei šalies energetikos sektorius yra paremtas iškastinio kuro naudojimu. Svarbu pabrėžti, kad visame būvio cikle, MVA susidarymo prevencija turi didesnius aplinkosauginius privalumus nei MVA apdorojimas ir pridėtinės vertės produktų gamyba, pakeičiant iškastinį kurą / chemines trąšas.

2. Metodinė dalis

2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas

Tyrimo objektas – iš Kauno regiono gyventojų surinktos maisto ir virtuvės atliekos ir jų perdirbimo procesai. Siekiant įgyvendinti šio darbo metu nusibrėžtus uždavinius buvo vadovaujama baigiamojo darbo projekto tyrimo metodikos algoritmu, kuris pateiktas 2.1 pav.



2.1 pav. Baigiamojo darbo projekto tyrimo metodikos algoritmas

2.2. Duomenų rinkimo ir analizės metodologija

Tyrimo metu Kauno RATC buvo atliktas aplinkosauginis ir energetinis auditas, Kauno MBA ir Zabieliškio MAR įrenginių TIPK, oro taršos šaltinių inventorizacijos ataskaitų, planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo, statinių techninių projektų bei kitų duomenų analizė. Informacija buvo renkama su tikslu identifikuoti įvedinių srautus (atliekų, cheminių preparatų, pakuočių, vandens, energijos ir kuro sąnaudas), veikloje analizuojamus išvedinių srautus (atliekų, susidarančių nuotekų, oro teršalų kiekį) ir įvertinti tiesioginį ir netiesioginį poveikį klimato kaitai dėl ŠESD emisijų.

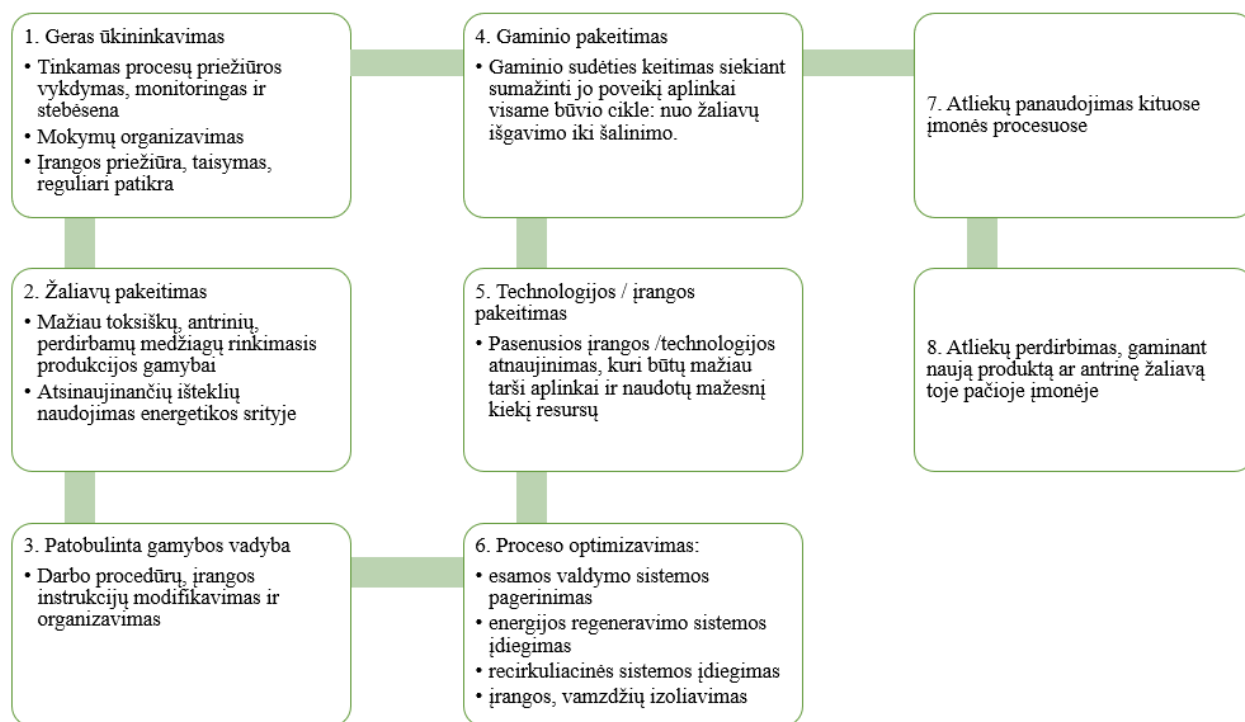
Atliekant tyrimą, 2022 m. dalyvauta Kauno RATC inicijuotame moksliniame – taikomajame projekte „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ [6], prisidedant prie Kauno MBA ir Zabieliškio MAR medžiagų ir energijos srautų identifikavimo bei analizės, medžiagų ir energijos balansų sudarymo.

2.3. Švaresnės gamybos diegimo pramonės įmonėse metodikos pritaikymas tyrime

Galimų MVA tvarkymo sprendimų vertinimui gamybos proceso lygmenyje (įmonės ribose) naudojama Švaresnės gamybos diegimo pramonės įmonėse metodika, kurioje siūloma sistemškai spręsti aplinkosaugos problemą nuo priežasčių identifikavimo iki siūlomų sprendimų detalios įvykdomumo analizės [58].

Pirminio įvertinimo etape, atliekant aplinkosauginį auditą Kauno MBA ir Zabieliškio MAR, surinkti duomenys, reikalingi MKA bei planuojamo MVA apdorojimo technologinių procesų detaliai analizei, medžiagų ir energijos balansų sudarymui bei veiklos daromo ir planuojamo poveikio aplinkai įvertinimui [58].

Antrame etape, remiantis pirminio įvertinimo rezultatais, atliekamas pagrindinių įmonės problemų ir kritinių procesų identifikavimas, nustatomos jų priežastys bei pasiūlomos problemų sprendimo galimybės [58]. Švaresnės gamybos koncepcija siūlo pagrindinius taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodus, pagal kuriuos galima parinkti įmonei aktualiausią (žr. 2.2 pav.)



2.2 pav. Taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai pagal Švaresnės gamybos koncepciją [58]

Trečiame etape atliekame siūlomų alternatyvų įvykdomumo analizę. **Techninio įvertinimo** metu analizuojamos alternatyvos įdiegimo techninės galimybės, poveikis kitiems proceso lygmenims, teisiniai ir praktiniai statybos / įrengimo principai [58]. Šiame tyrime techninio įvertinimo metu buvo atliekama techninio sprendimo ir įrangos tiekėjo paieška, vertinamos siūlomų sistemų (įrangos) techninės specifikacijos.

Aplinkosauginio įvertinimo metu visų pirma vertinamas alternatyvos aplinkosauginis efektas. Šiam tikslui atliekama įrenginio (įmonės) arba atskiro proceso įvedinių ir išvedinių prieš ir po inovacijos įdiegimą lyginamoji analizė, pagal formulę 1.1 [59]:

$$S = AAI_{(iki)} - AAI_{(po)} ; \quad (1.1)$$

čia S – sumažėja, sutaupoma, įdiegus inovaciją, vnt./m. (teigiama S reikšmė parodo aplinkos apsaugos afektą analizuojamoje srityje, pvz., sumažėja dyzelinio kuro sąnaudos (t/m.), sumažėja elektros sąnaudos (MWh/m.), sumažėja oro teršalų (t/m.), kt.); AAI (iki) ir AAI (po) – absoliutūs aplinkos apsaugos indikatoriai arba procesų įvediniai ir išvediniai prieš ir po inovacijos įdiegimo, vnt./m.

Toliau vertinamas planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas (AAV) – kaip priemonė prisidės prie poveikio aplinkai ir žmonių sveikatai mažinimo (pagal formulę 1.2). Tam naudojami santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai ($AAIs$), kurie parodo situacijos kitimą laike (pagal formulę 2) [59]:

$$AAV = AAI_{s(iki)} - AAI_{s(po)} ; \quad (1.2)$$

čia $AAIs$ (iki) ir $AAIs$ (po) – santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai prieš ir po inovacijos įdiegimo.

$$AAI_{s(iki/po)} = \frac{x}{\bar{z}} ; \quad (2)$$

čia X – proceso arba įmonės įvediniai ir išvediniai (pvz. pagaminama produkcija) per analizuojamąjį laikotarpį, vnt./m.; $\bar{Z}$ – paruošiamų perdirbti arba perdirbamų atliekų kiekis procese arba įmonėje perbirbamos žaliavos kiekis, vnt./m. (pavyzdžiui, tyrimo metu buvo vertinami $AAIs$ perdirbamų MKA vienetui (vnt./t MKA), biologiškai perdirbamų BSA vienetui (vnt./t BSA į BA) arba perdirbamų MVA vienetui (vnt./t MVA)).

Teigiama AAV reikšmė parodo inovacijos pozityvią įtaką analizuojamoje srityje, pvz. resursų sutaupymus, oro teršalų prevenciją ir t.t., neigiama reikšmė – priešingai.

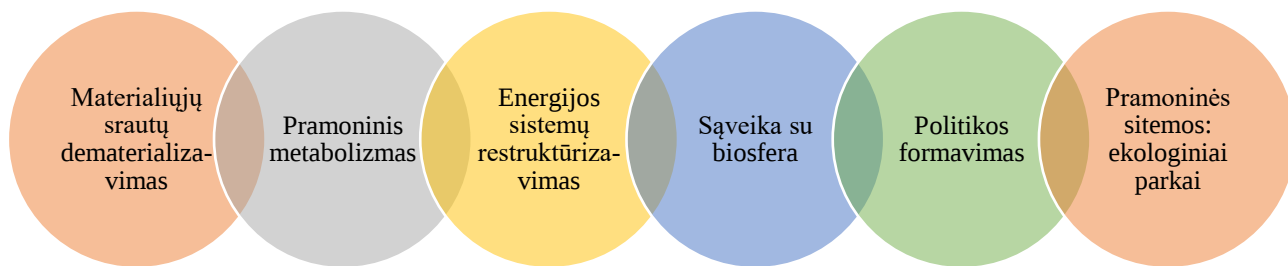
Ekonominio įvertinimo metu prognozuojami inovacijos įdiegimo kaštai, vertinamos sutapomos lėšos arba bendras tiesioginių procesų kaštų sumažėjimas dėl inovacijos įdiegimo bei skaičiuojama investicijų atsipirkimo trukmė metais (AT) [59]:

$$AT = \frac{\text{Inovacijos investicijos, Eur}}{\text{Tiesioginių procesų katų sumažėjimas, Eur/m.}} ; \quad (3)$$

Po visų siūlomų alternatyvų įvykdomumo analizės, atliekama gautų rezultatų lyginamoji analizė ir parenkamas geriausias prieinamas įmonei (atsižvelgiant į nustatytus kriterijus) projektas įdiegimui.

2.4. Pramoninės ekologijos koncepcijos elementų pritaikymas tyrime

Pramoninės ekologijos koncepcija pažymi ryšio tarp pramonės sistemų ir natūralių ekosistemų kūrimo svarbą – į pramonę žiūrima kaip į visumos dalį, o ne kaip į atskirą vienetą [60]. Pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai pateikiami 2.3 pav., po paveikslu plačiau aptariami elementai, kurie yra naudojami tyrimo metu.



2.3 pav. Pagrindiniai pramoninės ekologijos elementai [52, 60]

Pramonės materialijų srautų dematerializavimo strategija paremta taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodais (žr. 2.2 pav.) [52, 60]. Baigiamojo darbo metu, taikant dematerializavimo strategiją, siekiama sumažinti medžiagų ir energijos naudojimą gamybos procese.

Pramoninis metabolizmas gali būti apibūdinamas kaip simbiozė tarp skirtingų gamybos lygmenų – vieno proceso atliekamos medžiagos yra panaudojamos kitame procese taip uždaranč medžiagų ir energijos ciklą [52, 60]. Metabolizmui pasiekti gali būti naudojami Švaresnės gamybos koncepcijos įdiegimo žingsniai (žr. 2.3 poskyrį), kurie leidžia sistemiškai žvelgti į gamybos procesą ir identifikuoti proceso optimizavimo, aplinkos naudos ir ekonominio efekto pasiekimo galimybes [59]. **Pramoninė simbiozė** – tai procesas, kai vienu įmonių atliekos (šalutiniai produktai) arba atliekama energija tampa kitų įmonių žaliavomis, išsaugant jų medžiagines savybes ir energetinį potencialą. Šiame procese srautai analizuojami ne tik gamybos, bet ir regioniniu ar nacionaliniu mastu [61].

2.5. Tyrimo naudojamos metodikos (metodai) kiekybiškai įvertinti įvedinius ir išvedinius

Maksimalus šiluminės energijos poreikis (MWh/m.) nustatomas pagal formulę 4 [59]:

$$Q = C \times \rho \times V \times (t_2 - t_1); \quad (4)$$

čia ρ – medžiagos tankis, pvz. oro – 1,2 kg/m³; V – oro kiekis, m³/val.; C – savitoji šiluma, pvz., oro – 1040 J/(kg °C), vandens – 4200 J/(kg °C); t₁ – temperatūra patalpoje (norminė): gamyboje nuo 16 iki 18 °C; t₂ – vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvoje šildymo sezonui –5 °C (teoriniam vertinimui).

Kuro sąnaudos reikalingos pagaminti tam tikrą kiekį energijos vertinamos pagal formulę 5 [59]:

$$B = Q \times 3,6 \div (Q_z \times \eta); \quad (5)$$

čia Q – gaminamos energijos kiekis, MWh per analizuojamą laikotarpį; Q_z – kuro šiluminė vertė, GJ/t; (žr. 2.1 lent.); η – KDI naudingumo koeficientas.

2.1 lentelė. Kuro grynoji šiluminė vertė [62]

Analizuojamas kuras	2021 m. Kuro grynoji šiluminė vertė, TJ/t	2022 m. Kuro grynoji šiluminė vertė, TJ/t
Dyzelio kuras	0,04286	0,04291
Skystos naftos dujos (LPG)	0,04575	0,04579
Benzinas	0,04395	0,04391
¹ Biodujos	0,02	0,02
¹ Gamtinės dujos	0,033696	0,034577

¹reikšmė išreikšta TJ/1000 m³

Oro tarša vertinama remiantis EMEP / EEA / CORINAIR oro teršalų inventorizacijos vadove pateiktą metodiką [63] ir apskaičiuojama pagal formulę 6:

$$E_p = FC \times EF \times 10^{-6}; \quad (6)$$

čia FC – sunaudoto kuro (degalų) energetinė masė, kg/m.; EF – emisijų faktorius, g/GJ (žr. 2.2 lent.).

2.2 lentelė. Oro taršos emisijų faktorius pagal kuro rūšį [15]

Analizuojamas kuras	Emisijų faktorius, g/GJ				
	NO _x	CO	NMLOJ	SO _x	KD
Biodujų deginimas kogeneracinėse jėgainėse	179	43	2,1	19	2,63

ŠESD emisijos dėl sunaudoto kuro vertinamos remiantis 2006 m. IPCC gairėse dėl nacionalinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų aprašo 2 dalyje „Energija“ nurodyta metodika [64] ir apskaičiuojamas pagal formulę 7:

$$E_p = FC \times Q \times EFM \times 10^{-3}; \quad (7)$$

čia FC – sunaudoto kuro (degalų) masė, t/m.; Q – kuro grynoji šiluminė vertė, TJ/t (žr. 2.1 lent.); EF – emisijų faktorius, kg/TJ (žr. 2.3 lent.).

2.3 lentelė. ŠESD emisijų faktoriai pagal kuro rūšį [62, 64]

Analizuojamas kuras	Emisijų faktorius, kg/TJ				
	CO ₂	CH ₄		N ₂ O	
		Mobilūs šaltiniai ¹	Stacionarūs šaltiniai ²	Mobilūs šaltiniai ¹	Stacionarūs šaltiniai ²
Dyzelio kuras	72800	3,9	3	3,9	0,6
Suskystintos naftos dujos (LPG)	66810	62	1	0,2	0,1
Benzinas (su valymo įranga)	70130	25	3	8	0,6
Biodujos	58450	5	1	0,1	0,1
Gamtinės dujos	55340	92	1	3	0,1

¹Emisijų faktoriai vidaus degimo varikliuose.

²Emisijų faktoriai energetikos pramonėje.

ŠESD emisijos dėl BSA kompostavimo vertinamos remiantis 2006 m. IPCC gairėse dėl nacionalinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų aprašo 4 dalyje „Biologinis atliekų apdorojimas“ [65] nurodytą metodiką ir apskaičiuojamas pagal formulę 8:

$$E_p = M_i \times EF \times 10^{-3} \times (1 - \eta); \quad (8)$$

čia M_i – biologiškai apdorojamų organinių atliekų kiekis, t/m.; EF – emisijų faktorius, g/kg (žr. 2.4 lent.); η – sumažinimo efektyvumas (žr. 2.4 lent.).

2.4 lentelė. Emisijų sumažinimo efektyvumas (η) [15, 65]

	EF – emisijų faktoriai (be filtrų)	η – išvalymo / sumažinimo efektyvumas
BSA iš MKA srauto sausas fermentavimas, pūdytos masės gravitacinis sausinimas, anaerobinio raugo kompostavimas	CH ₄ – 0,411 kg/t BSA	Esant biofiltrui CH ₄ sumažėja iki 80 proc. N ₂ O iki 90 proc.
	N ₂ O – 0,11 kg/t BSA	
Centralizuotu būdu surinktų MKA biologiškai skaidžios dalies apdorojimas	CH ₄ – 4 kg/t BSA	Esant biofiltrui CH ₄ sumažėja iki 50 proc. N ₂ O iki 90 proc.
	N ₂ O – 0,24 kg/t BSA	
Atskirai surinktų MVA, taip pat maisto pramonės įmonių (įsk. ŠGP) kompostavimas	NH ₃ – 0,24 kg/t BSA	Esant biofiltrui NH ₃ sumažėja iki 90 proc., LOJ iki 50 proc., KD iki 99 proc.
	LOJ – 0,024 kg/t BSA	

Visuotinio atšilimo potencialo (VAP) vertinimas pagal ŠESD aprašą (žr. formulę 9). Koeficientų paaiškinimai pateikti 2.5 lent.

$$\text{VAP} (CO_{2e}) = CO_2 + 25 \times CH_4 + 298 \times N_2O ; \quad (9)$$

2.5 lentelė. ŠESD emisijoms paskaičiuoti taikomi koeficientai [66]

Pagal ŠESD aprašą	Koeficientai
ŠESD CO _{2e} koeficientai (nebiogeninės kilmės)	1 t CO ₂ lygi 1 t CO _{2e} ; 1 t CH ₄ perskaičiuojama kaip 25 t CO _{2e} ; 1 t N ₂ O perskaičiuojama kaip 298 t CO _{2e} .
Biodujų CO _{2e} koeficientas (biogeninės kilmės)	0 t CO _{2e}

Netiesioginės ŠESD emisijos dėl elektros energijos sąnaudų vertinamos pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010-04-06 įsakymo Nr. D1–275 Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo metodiką [66] (žr. formulę 10).

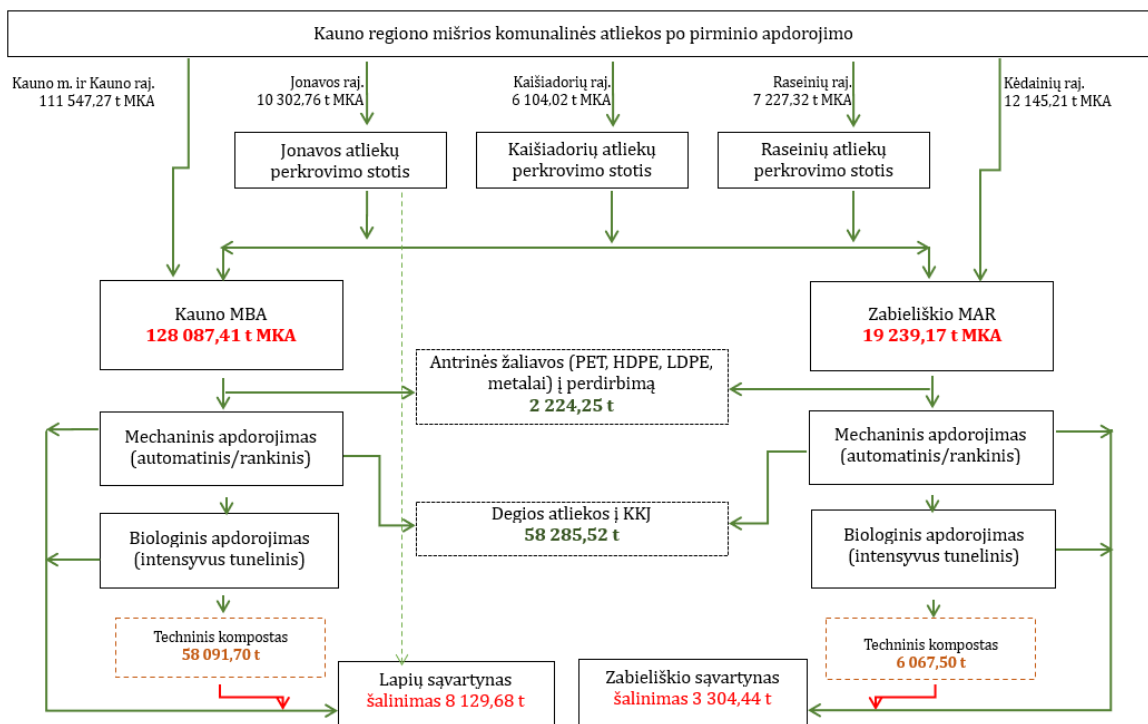
$$CO_{2e} = E_{el} \times EF ; \quad (10)$$

čia E_{el} – elektros sąnaudos iš tinklų, MWh/m.; EF – emisijos faktorius, CO_{2e}/MWh (Lietuvoje vykdomiems objektams taršos faktorius lygus 0,42 t CO_{2e}/MWh).

3. Tyrimo rezultatai

3.1. Mišrių komunalinių atliekų centralizuotas tvarkymas Kauno regione: situacijos analizė

Kauno regione po pirminio rūšiavimo likusios MKA yra surenkamos konteineriuose iš Kauno m., Kauno r., Kėdainių r., Kaišiadorių r., Raseinių r. ir Jonavos r. savivaldybėse esančių daugiabučių ir individualių namų gyventojų ir yra vežamos tvarkymui tiesiai arba per APS į MKA tvarkymo įrenginius – Kauno MBA arba Zabieliškio MAR. MKA apdorojimo atliekų srautų diagrama pateikta 3.1 pav. 2022 m. Kauno regione susidarė ir buvo sutvarkyta 147 327 t MKA – 87 proc. buvo sutvarkyti Kauno MBA ir 13 proc. Zabieliškio MAR įrenginiuose. Į Kauno MBA įrenginius tiesiogiai vežamos Kauno m. ir Kauno r. savivaldybių gyventojų MKA – atitinkamai 55 proc. ir 20 proc. nuo bendro MKA srauto. Jonavos r., Kaišiadorių r. ir Raseinių r. savivaldybių gyventojų MKA į Kauno MBA vežamos per atliekų perkrovimo stotis, t.y. 4 proc., 4 proc. ir 4 proc. MKA nuo bendro MKA srauto. Į Zabieliškio MAR yra vežamos MKA iš Kėdainių r., Raseinių r. ir Kaišiadorių r. savivaldybių – MKA iš Kėdainių (8 proc. nuo MKA) yra vežamos tiesiogiai į Zabieliškio MAR įrenginį, o Raseinių ir Kaišiadorių r. savivaldybių atliekos į Zabieliškio MAR yra vežamos per perkrovimo stotis (atitinkamai 1 proc. ir 3 proc. nuo metinio MKA srauto).



3.1 pav. Kauno regiono centralizuotai tvarkomų MKA apdorojimo Kauno MBA ir Zabieliškio MAR įrenginiuose atliekų srautų diagrama (2022 m.)

Remiantis pirminio įvertinimo rezultatais, 2022 m. MKA apdorojimo įrenginiuose buvo sutvarkyta 147 327 t MKA, iš kurių:

- 1,5 proc. buvo atgauta kaip antrinė žaliava, pvz. metalinė, plastikinė, stiklinė pakuotė ir pan.;
- 40 proc. buvo panaudota energijai išgauti;
- 44 proc. buvo panaudota stabilato gamybai ir tolimesniam sąvartynų sluoksnių perdengimui;
- 8 proc. pašalinta sąvartynuose.

Palyginamas tarp 2021–2022 m. medžiagų ir energijos srautų proceso pradžioje ir pabaigoje Kauno MBA pateikiamas 3.1 lentelėje. Matoma, kad Kauno MBA įrenginyje 2022 m. buvo priimta 682 t daugiau MKA, iš kurių išrūšiuota ir paruošta perdirbimui 880 t daugiau AŽ (teigimas pokytis 82 proc.), panaudota energijai išgauti 8 719 t mažiau MKA po rūšiavimo (neigiamas pokytis 14 proc.), panaudota techninio komposto gamybai ir sąvartynų perdengimui 4 102 t daugiau MKA po rūšiavimo (teigiamas pokytis 8 proc.) ir pašalinta sąvartyne 2 463 t mažiau MKA po rūšiavimo (neigiamas pokytis 23 proc.). Naudojant metodikoje pateiktą 2 formulę, 3.1 lentelės 5 ir 6 stulpelyje įvertinti 2022 m. santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai: AAI_{s1} – įvedinių ir išvedinių sąnaudos 1 t MKA (kai MKA kiekis 2022 m. – 128 087,41 t/m.) ir AAI_{s2} – įvedinių ir išvedinių sąnaudos į biologinį apdorojimą patenkančiam BSA kiekiui (kai BSA kiekis 2022 m. – 65 766,49 t).

3.1 lentelė. Kauno MBA medžiagų ir energijos srautai (2021 ir 2022 m.)

Srautai procesų pradžioje ir pabaigoje:	Vnt.	2021, vnt./m.	2022, vnt./m.	AAI _{s1} , Vnt./t MKA 2022 m.	AAI _{s2} , Vnt./t BSA į BA 2022 m.
1	2	3	4	5	6
Įvediniai					
MKA (po pirminio rūšiavimo)	t	127 405,84	128 087,41	1	
Cheminės medžiagos ir kt. (bendrai), įsk:	t	1,74	10,46	0,08¹	0,16¹
<i>Sieros rūgštis</i>	t	1,30	9,60	-	-
<i>Probiotikai (mikrobiologiniai preparatai)</i>	t	290,00	705,00	-	-
<i>Kalcinuota soda</i>	t	0,08	0,08	-	-
<i>Kalkės</i>	t	0,08	0,08	-	-
Pakuotė, įsk:					
<i>Rulonavimo plėvelė</i>	vnt.	18	57	<0,01	
<i>Rišamoji viela</i>	t	8,21	7,64	0,06 ¹	
Vanduo	m ³	2 875,00	4 869,00	0,04	
Elektros energija	MWh	2 367,88	2 869,03	0,02	
Dyz. kuras (vartytuvams, krautuvams, kitai technikai)	l	65 503,00	78 586,00	0,61	
Išvediniai					
Išskirtos antrinės žaliavos, pakuotė	t	1 079,51	1 959,84	15,30¹	
Metalinė pakuotė	t	775,87	818,86	6,39 ¹	
Juodieji metalai	t	6,32	12,36	0,10 ¹	
Aliuminis	t	77,32	41,93	0,33 ¹	
Popierius	t	6,46	376,38	2,94 ¹	
Plastikinė pakuotė	t	213,54	666,90	5,21 ¹	
Stiklas	t	-	43,41	0,34 ¹	
Išskirta degiųjų atliekų (į KKKJ)	t	60 948,86	52 229,70	407,77 ¹	
Išskirta BSA frakcija į BA	t	54 784,65	65 766,49	513,45 ¹	1
Pagaminta stabilato (sąvartyno sluoksnių perdengimui)	t	48 989,68	53 091,70	414,50 ¹	807,23 ¹
Šalinamos atliekos	t	10 592,82	8 129,68	63,47 ¹	
Skirtumas: nuotekos, oro tarša, išgaravimas, kiti praradimai	t	5 794,97	12 676,49	98,97 ¹	
Nuotekos (technologinės iš BA – filtratas į UAB „Kauno vandenys“)	m ³	795,52	1 245,96	0,01	0,02
Oro tarša po valymo įrenginių (bendrai), įsk:	t	13,69	14,64	0,11¹	0,22¹

Srautai procesų pradžioje ir pabaigoje:	Vnt.	2021, vnt./m.	2022, vnt./m.	AAI _{s1} , Vnt./t MKA 2022 m.	AAI _{s2} , Vnt./t BSA į BA 2022 m.
Amoniakas	t	7,79	4,94	-	-
Sieros vandenilis (H ₂ S)	t	<0,01	<0,01	-	-
Merkaptanai	t	0,02	<0,01	-	-
Acetonas	t	<0,01	0,05	-	-
Benzenas	t	0,37	0,26	-	-
Etilbenzenas	t	0,18	<0,01	-	-
m,p,o-ksilenai	t	1,39	0,01	-	-
Toluenas	t	0,17	0,06	-	-
Stirenas	t	<0,01	0,10	-	-
Heksanas	t	<0,01	0,01	-	-
Lakieji organiniai junginiai (NMLOJ)	t	3,79	9,20	-	-
Kietosios dalelės (C)	t	0,01	0,01	-	-
Nuotekos (buitinės)	m ³	2 875,00	4 869,00	0,04	
² ŠESD (dėl dyz. kuro sąnaudų)	t CO _{2e}	174,65	205,97	1,61 ¹	
³ ŠESD (dėl BSA kompostavimo)	t CO _{2e}	3 131,05	3 758,69		57,15 ¹
⁴ ŠESD (netiesioginis dėl elektros sąnaudų)	t CO _{2e}	994,51	1 204,99	9,41 ¹	

¹AAIs reikšmės pateikiamos kg/t BSA

²Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų skaičiavimai: poveikis klimato kaitai dėl dyzelinio kuro sąnaudų nustatomos pagal formulę 7: $(78\,586\,l \times 0,84 \div 1000) \times 0,04291 \frac{TJ}{t} \times 72,8 \frac{tCO_{2e}}{TJ} \div 1000 = 205,97 tCO_{2e}/m.$

³Netiesioginis poveikis klimato kaitai dėl elektros sąnaudų pagal formulę 10: $2\,869,03\,MWh/m. \times 0,42\,tCO_{2e}/MWh = 1\,204,99\,tCO_{2e}/m.$

⁴ŠESD emisijos dėl kompostavimo: pirma įvertinamos CH₄ ir N₂O emisijos į aplinką po biofiltro, kai CH₄ išvalymo efektyvumas 50 proc., N₂O – 90 proc. (žr. 2.4 lentelę), kompostuojamas kiekis 65766,49 t/m.: $4\,g/kg \times 65\,766,49\,t/m. \div 1000 \times 0,5 = 131,53\,tCH_4/m.$ Ir $0,24\,g/kg \times 65\,766,49\,t/m. \div 1000 \times 0,1 = 1,58\,tN_2O/m.$ Pagal formulę 9 apskaičiuojamas VAP vertės: $25 \times 131,53\,tCH_4 + 298 \times 1,58\,tN_2O = 3\,758,69\,tCO_{2e}/m.$

Zabielišio MAR įrenginyje 2022 m. buvo priimta 1 817 t daugiau MKA, iš kurių išrūšiuota ir paruošta perdirbimui 68 t daugiau AŽ (teigiamas pokytis 35 proc.), panaudota energijai išgauti 1 680 t daugiau MKA po rūšiavimo (teigiamas pokytis 38 proc.), panaudota techninio komposto gamybai ir sąvartynų perdengimui 91 t mažiau MKA po rūšiavimo (neigiamas pokytis 2 proc.) ir pašalinta sąvartyne 88 t mažiau MKA po rūšiavimo (neigiamas pokytis 2,6 proc.) (žr. 3.2 lent.). Naudojant metodikoje pateiktą 2 formulę, 3.2 lentelės 5 ir 6 stulpelyje įvertinti santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai: AAI_{s1} – įvedinių ir išvedinių sąnaudos 1 t MKA (kai MKA kiekis 2022 m. – 19 239,17 t/m.) ir AAI_{s2} – įvedinių ir išvedinių į biologinį apdorojimą patenkančiam BSA kiekiui (kai BSA kiekis 2022 m. – 9 616,21 t).

3.2 lentelė. Zabielišio MAR medžiagų ir energijos srautai (2021 ir 2022 m.)

Srautai procesų pradžioje ir pabaigoje:	Vnt.	2021, vnt./m.	2022, vnt./m.	AAI _{s1} , Vnt./t MKA 2022 m.	AAI _{s2} , Vnt./t BSA į BA 2022 m.
1	2	3	4	5	6
Įvediniai					
MKA (po pirminio rūšiavimo)	t	17 421,76	19 239,17	1	
Cheminės medžiagos ir kt. (bendrai), įsk.:	t	2,35	4,88	0,25 ¹	0,51 ¹

Srautai procesų pradžioje ir pabaigoje:	Vnt.	2021, vnt./m.	2022, vnt./m.	AAI _{s1} , Vnt./t MKA 2022 m.	AAI _{s2} , Vnt./t BSA į BA 2022 m.
Sieros rūgštis	t	1,70	4,40	-	-
Kalcinuota soda	t	0,40	0,38	-	-
Kalkės	t	0,25	0,10	-	-
Pakuotė					
Rulonavimo plėvelė	vnt.	2,50	5,50	<0,01	
Rišamoji viela	t	6,02	8,93	0,46 ¹	
Vanduo	m ³	233,00	432,00	0,02	
Elektros energija	MWh	163,62	231,56	0,01	
Dyz. kuras (vartytuvams, krautuvams, kitai technikai)	l	9 150,00	8 070,00	0,42	
Dyz. kuras (katilinei)	l	437,36	477,12	0,02	
Išvediniai					
Išskirtos antrinės žaliavos, pakuotė (bendrai), įsk.:	t	194,74	262,70	13,65 ¹	
<i>Metalinė pakuotė</i>	t	108,76	106,02	5,52 ¹	
<i>Aliuminis</i>	t	4,14	9,37	<0,01 ¹	
<i>Plastikinė pakuotė</i>	t	80,46	125,24	0,49 ¹	
<i>Elektronikos atliekos</i>	t	1,38	0,60	<0,01 ¹	
<i>Stiklas</i>	t	0,00	21,47	6,51 ¹	
Išskirta degių atliekų (į KKJ)	t	4 375,84	6 055,82	0,03 ¹	
Išskirta BSA frakcija į BA	t	9 458,36	9 616,21	1,12 ¹	1
Pagaminta stabilato (sąvartyno sluoksnių perdengimui)	t	6 158,03	6 067,50	314,77 ¹	630,97 ¹
Šalinamos atliekos	t	3 392,82	3 304,44	499,82 ¹	
Skirtumas: nuotekos, oro tarša, išgaravimas, kiti praradimai	t	3 300,33	3 548,71	315,37 ¹	
Nuotekos (buitinės)	m ³	233,00	432,00	171,76 ¹	
Nuotekos (filtratas)	m ³	neapskaitomos			
Oro tarša po valymo įrenginių (bendrai), įsk.:	t	10,90	9,12	0,47¹	0,95¹
Amoniakas	t	2,10	0,33	0,02 ¹	0,03 ¹
NMLOJ	t	8,61	8,60	0,45 ¹	0,89 ¹
Kietosios dalelės (C)	t	0,20	0,19	0,01 ¹	0,02 ¹
² ŠESD (dėl dyz. kuro sąnaudų)	t CO _{2e}	25,56	22,43	1,17 ¹	
³ ŠESD (dėl BSA kompostavimo)	t CO _{2e}	540,56	549,59		57,15 ¹
⁴ ŠESD (netiesioginis dėl elektros sąnaudų)	t CO _{2e}	68,72	97,25	5,06 ¹	

¹AAIs reikšmės pateikiamos kg/t BSA

²Poveikis klimato kaitai dėl dyzelinio kuro sąnaudų nustatomos pagal formulę 7: $((477,12l + 8\,070l) \times 0,84 \div 1000) \times 0,04291\,TJ/t \times 72,8\,tCO_{2e}/TJ = 22,43\,tCO_{2e}/m$.

³Netiesioginis poveikis klimato kaitai dėl elektros sąnaudų pagal formulę 10: $231,56\,MWh/m. \times 0,42\,tCO_{2e}/MWh = 97,25\,tCO_{2e}/m$.

⁴ŠESD emisijos dėl kompostavimo: pirma įvertinamos CH₄ ir N₂O emisijos į aplinką po biofiltro, kai CH₄ išvalymo efektyvumas 50 proc., N₂O – 90 proc. (žr. 2.4 lentelę), kompostuojamas kiekis 9616,21 t/m.: $4\,kg/t \times 9616,21\,t/m. \div 1000 \times 0,5 = 19,23\,tCH_4/m$. Ir $0,24\,kg/t \times 9\,616,21\,t/m. \div 1000 \times 0,1 = 0,23\,tN_2O/m$. Pagal formulę 9 apskaičiuojamas visuotinio atšilimo potencialo (VAP) vertės: $25 \times 19,23\,tCH_4 + 298 \times 0,23\,tN_2O = 549,59\,tCO_{2e}/m$.

Tolimesnei analizei svarbu aptarti BSA tvarkymo sistemą Zabieliškio MAR įrenginiuose. Pagal taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimą Nr. T-K.6-7/2015 [67] BSA atskirtos iš MKA

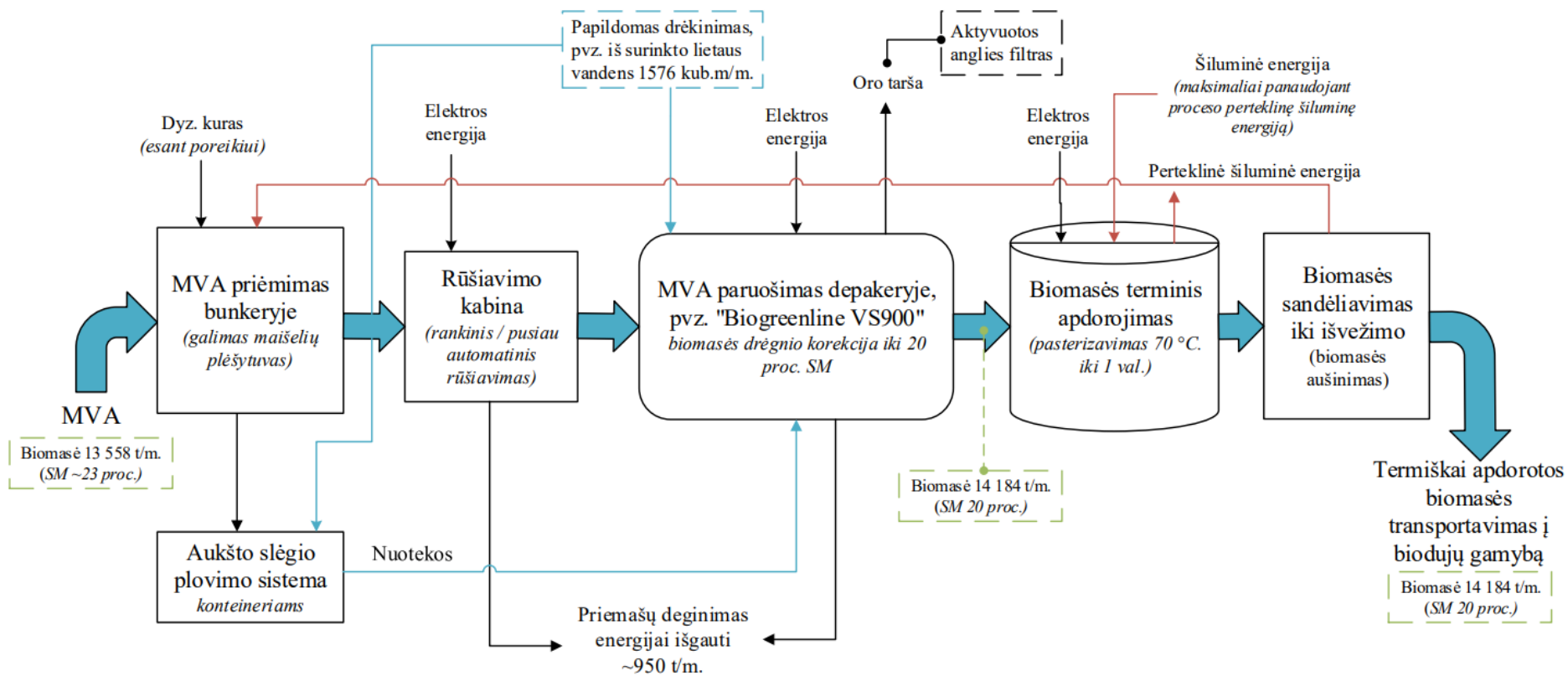
srauto Zabieliškio MAR įrenginiuose yra tvarkomos BA pastate bei brandinamos, sijojamos teritorijoje po stoginę. BSA apdorojimas vyksta aerobiniu būdu, vienu metu gali būti kompostuojama iki 6 kaupų, kurių aukštis iki 1,4 m, plotis iki 2,7 m ilgis iki 55 m. Kiekvieno kaupo įvertintas preliminarus tūris – iki 170 m³. Kaupų formavimui naudojami krautuvai, kurie yra nuomojami kartu su operatoriaus paslaugomis. Per vieną kompostavimo ciklą (3 savaitės) sukompostuojama apie 663 t / 1 020 m³ BSA. Metiniai pajėgumai – iki 17 ciklų, iki 11 271 t / 17 340 BSA m³. Po kompostavimo BSA yra brandinamos atviroje teritorijoje (po stogine) šalia BA pastato. Čia vienu metu gali būti brandinama iki 4 kaupų stabilato. Stabilato sijojimui (siekiant pašalinti priemaišas) naudojamas sijotuvas („Kompotech“). Brandinimas vyksta nuo 2 savaitių iki 1 mėnesio (rekomenduojama trukmė 1 mėn.). Intensyvaus kompostavimo metu susidarantys teršalai ir kvapai nukreipiami per ventiliacijos sistemą (našumas – 25 400 m³/val.) į biofiltrą valymui (biofiltro plotas iki 169 m², gylis H=3 m, teorinis bio-įkrovos poreikis iki 169 m³), pro kurį išvalytas oras išmetamas į aplinką. Zabieliškio MAR įrengta katilinė, kurioje deginamas dyzelinis kuras, ir gaminama šilumos energija, kuri naudojama BA pastato šildymui šaltuoju sezono metu. Katilo instaliuota šiluminė galia – 485 kW.

Apibendrinant MKA centralizuoto tvarkymo sistemą, galima išvelgti keletą problemų. Visų pirma, didžioji dalis MKA yra BSA, kurios yra kompostuojamos ir naudojamos kaip stabilatas sąvartynų perdengimams (44 proc. MKA). Įvertinus tai, kad nuo 2027 m. tik atskirai surenkamos arba atskiriamos susidarymo vietoje biologinės KA patenkančios į aerobinį arba anaerobinį apdorojimą galės būti laikomos perdirbtomis (žr. 1.1 poskyrį) galima pastebėti problemą, kurios sprendimui reikalingos idėjos susijusios su BSA tvarkymu, pvz. MVA atskiras surinkimas. Įdiegus atskirą MVA surinkimą iš MKA srauto būtų pašalinta apie 14 000 t/BSA, o tai reikštų mažesnę techninio komposto kiekį bei mažesnes ŠESD emisijas kompostuojant. Taip pat pastebima, kad iš MKA srauto išrūšiuojama tik 1,5 proc. AŽ – pradėjus atskirą MVA surinkimą tikėtinas mažesnis MKA užterštumas organinėmis medžiagomis, kas padidintų AŽ rūšiavimo įrenginių efektyvumą ir atskirtų AŽ kiekį.

3.2. Kauno regione planuojama situacija, įgyvendinus maisto ir virtuvės atliekų surinkimą ir išgryninimą: analizė ir problemų identifikavimas

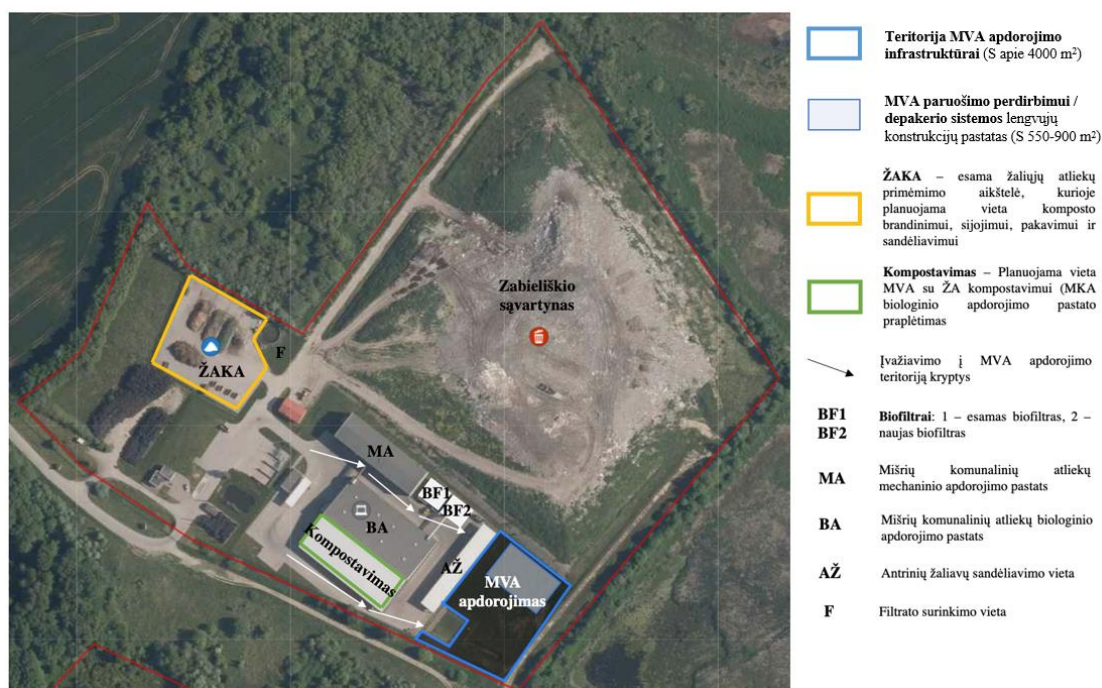
Šiuo metu Kauno regione MVA tvarkomos kartu su MKA srautu, tačiau vadovaujant ES ir nacionaliniais reikalavimais nuo 2024 m. turės būti įdiegtas atskiras MVA surinkimas ir apdorojimas Kauno regione. Šiam uždaviniui įgyvendinti buvo parengta galimybių studija „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ [6]. Studijoje priimta išvada, kad palankiausias sprendimas rūšiuojamuoju būdu iš gyventojų surenkamų MVA tvarkymui Kauno regione yra MVA centralizuoto apdorojimo pajėgumų sukūrimas Zabieliškio MAR teritorijoje. Remiantis studijos išvadomis ir regione esamomis galimybėmis iš studijoje analizuojamų alternatyvų buvo išrinkta tinkamiausia – MVA paruošimas perdirbimui depakeryje (angl. depacker), terminis apdorojimas pagal ŠGP tvarkymo reglamentą ir perdavimas perdirbimui kitoms MVA tvarkymo įmonėms (pvz. biodujų gamyba UAB „Tvari energija“ ir kt.).

Kadangi ši alternatyva bus įdiegta artimiausiu metu, toliau baigiamojo magistro projekto tyrime analizuojama „esama situacija po 1 projekto įdiegimo“ – situacija, kai bus įdiegta minėta alternatyva. MVA paruošimo perdirbimui medžiagų ir energijos srautų diagrama pateikiama 3.2 pav. MVA paruošimo perdirbti technologinių proceso etapų analizė ir aprašymai pateikiami žemiau šiame poskyryje, srautų teorinis vertinimas, įsk. planuojamos įrangos našumo parinkimą, pateiktas 1 priede.



3.2 pav. Rūšiuojamuoju būdu surinktų MVA valdymo Zabieliškio MAR schema, įgyvendinus planuojamą projektą (esama situacija po 1 projekto įdiegimo)

Zabielišio MAR teritorijoje būtų pastatytas naujas lengvųjų konstrukcijų pastatas (plotas nuo 550–900 m²) skirtas MVA apdorojimui (žr. 3.3 pav.).



3.3 pav. Planuojama vieta naujam lengvųjų konstrukcijų pastatui Zabielišio MAR teritorijoje, skirtam MVA apdorojimui

MVA priėmimas bunkeryje. Iš Kauno regiono rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA (13 558 t/m., arba apie 50 t/d.d.) bus atvežamos specialiomis transporto priemonėmis į MVA priėmimo pastatą esančią MVA priėmimo zoną / bunkerius. Konteineriai gali būti plaunami naudojant lietaus vandenį, kuris vėliau būtų naudojamas biomasės drėgnio korekcijai.

Rūšiavimo kabina. Iš priėmimo bunkerio MVA šnekinio transporterio pagalba bus kraunamos ant pusiau uždaro juostinio konvejerio, kur rankinio ar pusiau automatinio rūšiavimo būdu vizualiai aptinkamos priemaišos (stiklinė, metalinė pakuotė ir pan.) bus atskiriamos į atskirą konteinerį. Rankinis rūšiavimas turi būti atliekamas įrengtoje rūšiavimo kabinoje su oro ventiliacija. Tai leistų sumažinti priemaišų kiekį biomasėje, patenkančiai į depakerį, taip apsaugant įrangą nuo strigimų ir gedimų bei užtikrinant stabilų darbo eigą.

MVA paruošimas depakeryje. Depakeryje mechaniniu būdu iš MVA bus atskiriami du srautai: pakuočių atliekos ir biomasė. Pagal „Biogreenline VS900“ depakero charakteristikas¹, >99 proc. priemaišų yra atskiriama iš MVA biomasės ir tik <1proc. priemaišų patenka į pulpą (žr. 3.4 pav.). Svarbu paminėti, kad depakeriai yra jautrūs kai kurioms priemaišoms, pvz. metalinei ar stiklinei pakuotei, tekstilei (drabužiams, džinsams ir pan.) bei žaliosioms atliekoms, todėl labai svarbu užtikrinti, kad tokio tipo priemaišos į depakerį nepapultų. Priemaišos mažina biomasės kokybę, todėl biodujų gamintojai gali atsakyti priimti užterštą biomasę. Drėgnio korekcijai nuo 22,5 proc. iki 20 proc. SM planuojama dalinau naudoti siurblinėje surinktą lietaus vandenį (1 576,00 m³/m.).

¹ <https://biogreenline.ch/separators/>



3.4 pav. Depakerio sistema, skirta priemaišų atskyrimui iš MVA, pvz. „Biogreenline VS900“¹

Biomasės terminis apdorojimas. Toliau biomasę (iki 14,2 tūkst. t/m., iki 56 t/d.d., iki 75 m³/d.d.) bus transportuojama į terminio apdorojimo padalinį pasterizavimui reaktoriuje ($\geq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 val.) pagal Komisijos reglamente (ES) NR. 142/2011 pateiktus reikalavimus (žr. 1.1 lentelę), su tikslu sumažinti biomasės mikrobiologinę taršos riziką ir didinti produkto pridėtinę vertę. „BioChop Hygenisation System (Landia)“¹ terminio apdorojimo įrenginys nereikalauja papildomo šiluminės energijos šaltinio, kadangi jame maksimaliai panaudojama perteklinė šiluminė energija, tačiau šiame darbe vertinama pesimistinė prielaida, kad dėl riboto elektros energijos įvado Zabieliškio MAR, pasterizavimo temperatūrai ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) užtikrinti bus įrengti dyzelinio kuro degikliai (2x50 kW).



3.5 pav. Terminio apdorojimo (pasterizavimo) sistema, skirta patogenų sunaikinimui biomasėje, pvz. „BioChop Hygenisation System (Landia)“¹

Biomasės aušinimas ir sandėliavimas iki išvežimo. Pasterizuota biomasė bus nukreipta į specialius aušinimo sandėlius (trukmė 1–2 val.). Proceso perteklinė šiluminė energija bus pilnai panaudota: žiemos laikotarpiu MVA priėmimo bunkerio šildymui, Zabieliškio MAR patalpų šildymui kitu laiku – į pasterizavimo procesą. Ataušinta biomasė iš sandėlio bus kraunama į specialias cisternas ir transportuojama biodujų gamybos įmonėms.

Atskirtos pakuočių ir kitų atliekų priemaišos bus surenkamos konteineriuose ir vežamos į KJ energijos gamybą. Siekiant padidinti AŽ vertę, galima įrengti aukšto slėgio plovimo sistemą su reciklo sistema ir naudojant šiluminę energiją iš biomasės termininio apdorojimo AŽ nudžiovinti šiltu oru. Tokias AŽ galima būtų atiduoti perdirbėjams.

Oro teršalų valymas. Iš MVA apdorojimo pastato pagrinde susidarys organinės ir neorganinės kilmės teršalai: NH_3 , H_2S , KD, LOJ [15]. Zabieliškio MAR esantis oro valymo įrenginys (biofiltras)

¹ <https://www.landia.co.uk/products/biogas/biochop-hygenization-system>

yra pritaikytas pagrinde neorganinių teršalų valymui (NH_3 , H_2S todėl naujoje sistemoje planuojami nauji valymo įrenginiai su aktyviosios anglies filtrais, kadangi būtent jie efektyviai sugeria teršalus angliavandenilius ir dezodoruoja orą (planuojamas išvalymo efektyvumas – iki 90 proc.) [68].

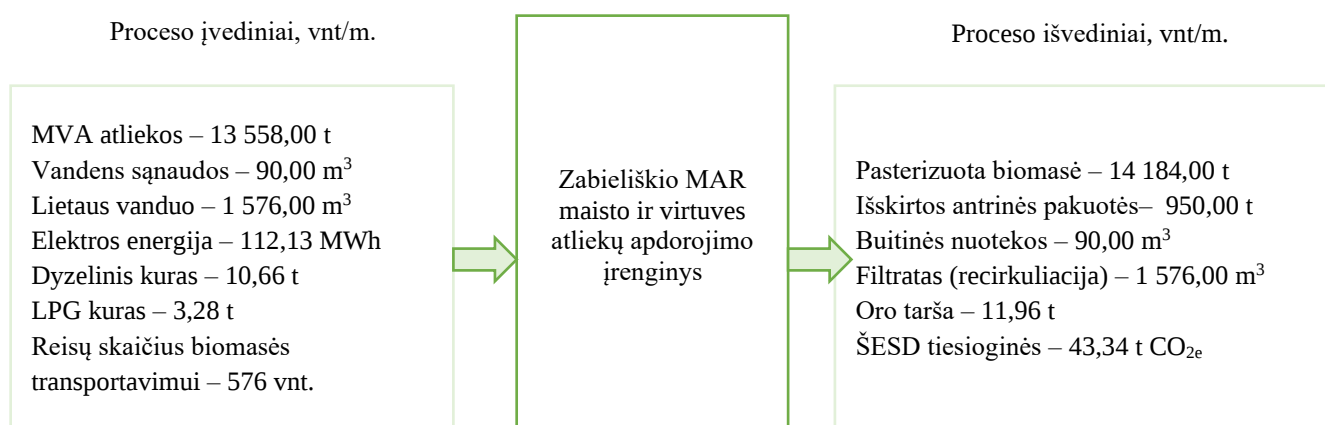
Nuotekos. Proceso metu susidarys tik buitinės nuotekos, nes gamybinės nuotekos (po konteinerių plovimo) bus naudojamos reciklui, siekiant palaikyti pakankamą drėgmės kiekį depakeryje (pagal techninius reikalavimus – iki 80 proc.). **Patalpų šildymui** siūloma gamybos plote įdiegti du oro šildytuvus pramoninėms patalpoms, kaip pvz. LPG kaloriferius „Robur G30“¹ (našumas 15–30 kW, n.k. 105,3–97,3 proc., oro srautas: 2300–2700 m³/val.).

Zabielišio MAR MVA apdorojimo procesų medžiagų ir energijos srautai pateikti 3.6 paveiksle ir 3.3 lentelėje, skaičiavimai pateikiami 1 priede.

Įvediniai. Planuojama, kad per metus į Zabielišio MAR MVA apdorojimo įrenginius pateks 13 558 t MVA (7 proc. priemaišų, biomasės SM 22,5 proc.). Buitinėms reikmėms dėl trijų papildomų darbuotojų bus sunaudota 90 m³ vandens iš bendrų tinklų. Konteinerių plovimui ir biomasės drėgnio korekcijai iki 80 proc. planuojama sunaudoti 1 576 m³ lietaus vandens. Gamybinėms reikmėms bus sunaudota 110,38 MWh elektros energijos bei 10,662 t dyzelinio kuro. Šiluminės energijos gamybai patalpų apšiltinimui bus sudeginta iki 3,28 t suskystintų (LPG) dujų. Srautų teorinis vertinimas pateiktas darbo 1 priede.

Išvediniai. Pagrindinis proceso produktas – pasterizuota biomasė, tinkama tolimesniam anaerobiniam apdorojimui ir biodujų išgavimui. Planuojama, kad per metus bus paruošta 14 184,00 t/m. pasterizuotos biomasės (SM 20 proc.). Iš MVA bus atskirta apie 7 proc. priemaišų, t.y. 950 t/m. Gamybos proceso metu į aplinką pateks 11,98 t oro teršalų (NH_4 , NMLOJ ir KD). ŠESD susidarymas dėl planuojamos įdiegti sistemos:

- Tiesioginis poveikis dėl dyzelinio kuro sąnaudų – 33,31 t CO_{2e}/m., dėl LPG sąnaudų – 10,03 t CO_{2e}/m.
- Netiesioginis poveikis dėl elektros energijos sąnaudų – 46,36 t CO_{2e}/m., dėl pasterizuotos biomasės transportavimo biodujų gamintojams – 49,1 t CO_{2e}/m.



3.6 pav. MVA paruošimas perdirbimui Zabielišio MAR prieš perdavimą tolimesniam apdorojimui (esama situacija po 1 projekto įdiegimo)

¹ <https://www.orfejas.lt/sildymo-iranga/dujiniai-kalorifieriai-sildytuvai/kondensacinis-ir-moduliacinis-g-robur/g-30>

3.3 lentelė. MVA paruošiamo perdirbti Zabieliškio MAR proceso įvediniai ir išvediniai („esama situacija po 1 projekto įdiegimo“)

Proceso įvediniai	vnt.	Kiekiai, vnt./m.
Rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA	t	13 558,00
Vandens sąnaudos (buitinėms reikmėms)	m ³	90,00
Lietaus vanduo	m ³	1 576,00
Aktyvuotos anglies filtro užpildas	vnt.	4,00
Elektros energija		
<i>Depakerio sistema</i>	MWh	103,50
<i>Terminis apdorojimas / pasterizavimas</i>	MWh	4,13
<i>Konteinerių plovimas</i>	MWh	2,75
Dyzelinis kuras		
<i>Dyz. kuras (vartytuvams, krautuvams, kt. technikai)</i>	t	4,03
<i>Dyz. kuras (pasterizavimui)</i>	t	6,63
LPG (patalpų apšildinimui)	t	3,28
Reisų skaičius (pasterizuotos biomasės transportavimas kt. įmonėms)	vnt.	567
Proceso išvediniai		
Pasterizuota biomasė	t	14 184,00
Išskirtos antrinės pakuotės	t	949,06
Buitinės nuotekos	m ³	90,00
Oro tarša (po aktyvuotos anglies filtro)		
<i>Amoniakas</i>	t	0,44
<i>NMLOJ</i>	t	11,27
<i>Kietosios dalelės (C)</i>	t	0,25
ŠESD (bendrai), įsk.	t CO _{2e}	140,47
<i>ŠESD (dėl dyz. kuro sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	33,89
<i>ŠESD (dėl LPG dujų sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	10,27
<i>ŠESD (netiesioginis dėl elektros sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	46,36
<i>ŠESD (netiesioginis dėl produkto transportavimo)</i>	t CO _{2e}	49,96

Pasterizuota biomasė būtų perduodama kitoms biodujų įmonėms, todėl svarbu įvertinti ŠESD emisijų į aplinką sumažėjimą dėl energijos pagamintos iš AEI naudojimo. Darome prielaidą, kad iš 14 184 t/m. pasterizuotos biomasės bus pagaminta 1 442 355,2 m³/m. biodujų, kurių sudėtyje iki 60 proc. – CH₄ (žr. 3.3.1 poskyrį). Remiantis mokslinė ir praktinė literatūra (žr. 1.4.1 poskyrį) vertinama, kad bus pagaminama iki 40 proc. elektros (3 205,23 MWh/m.) ir 45 proc. šilumos (3 605,89 MWh/m.) energijos (*įvertinta pagal 5 formulę*). Naudojant elektros ir šilumos energiją vietoje iškastinio kuro, pvz. gamtinių dujų, VAP dėl ŠESD (*vertinama pagal 5, 7 formules*):

- sumažėtų 1 358,40 t CO_{2e}/m., nes būtų išvengiama tokiam pačiam kiekiui energijos (6 811,12 MWh) pagaminti sudeginamas gamtinių dujų kiekis (709,14 tūkst. m³/m.);
- padidėtų 3,81 t CO_{2e}/m., dėl sudegintų 1 442 355,2 m³/m. biodujų.

CO₂ kompensavimas dėl AEI naudojimo vietoje iškastinio kuro lygus 1 354,59 t CO_{2e}/m.

Proceso analizuojamų srautų aplinkosauginio vertinimo metu identifikuotos problemos ir išvelgtos optimizavimo galimybės pateikiamos 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Identifikuotos MVA paruošiamo perdirbti Zabieliškio MAR proceso problemos ir proceso optimizavimo galimybės

Identifikuota problema	Priežastis	Sprendimo būdas
Pasterizuota biomasė yra vežama perdirbimui į kitas biudųjų gamybos įmones. Įvertintas poveikis VAP dėl ŠESD iš mobilių šaltinių – iki 49,1 t CO _{2e}	Dėl finansavimo trūkumo neįgyvendinta galimybė gaminti didesnės pridėtinės vertės produktus	Analizuoti galimybę biomasę naudoti didesnės pridėtinės vertės produktų gamybai, taikant pramoninės simbiozės metodus įmonės ir regiono lygmeniu bei švaresnės gamybos principais paremtus taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodus gamybos lygmeniu.
VAP dėl ŠESD, naudojant neatsinaujinančius energijos išteklius (dyzelinis ir LPG kuras, elektros energija iš tinklo). VAP dėl ŠESD – iki 90,51 t CO _{2e}	Dėl finansavimo trūkumo neįgyvendinta galimybė paruoštą biomasę naudoti atsinaujinančių išteklių energijos gamybai	Energijos sistemų restruktūrizavimas įdiegiant atsinaujinančios energijos gamybos šaltinį, naudojant energiją saviems tikslams bei perduodant atliekamą energiją kitiems fiziniams ir/arba juridiniams asmenims

Pagrindinis siūlomas sprendimas abejose alternatyvose yra gaminio pakeitimas – vietoje pasterizuotos biomasės būtų gaminami pridėtinės vertės produktai, pvz. bio-CH₄, bio-CO₂ ir biokompostas (1-oji alternatyva) arba elektros ir šilumos energija bei biokompostas (2-oji alternatyva). Siūlymams įgyvendinti būtų vadovaujamasi pramoninės ekologijos principais – srautų dematerializavimo taikant taršos prevenciją, ir pramoniniu metabolizmu taikant pramoninę simbiozę:

- Visų pirma būtų optimizuojamas gamybos procesas, siekiant sumažinti pirminių medžiagų ir energijos naudojimą gamybos procese: susidaranti perteklinė šiluminė energija ir filtratas būtų panaudojamas kituose procesuose, vietoje vandens iš vandentiekio tinklų būtų surenkamas lietaus vanduo (paviršinės nuotekos).
- Valdymo sprendimai būtų paremtas artumo principu, nes didesnės pridėtinės vertės produktų gamyba būtų vykdoma toje pačioje teritorijoje, todėl būtų mažinamas poveikis aplinkai dėl ŠESD iš mobilių šaltinių.
- 1-osios alternatyvos atveju, pagamintas suskystintas bio-CH₄ galėtų būti naudojamas transporto sektoriuje (vietoje iškastinio kuro naudojimo) bei pramonės sektoriuose (įmonių dujų degikliuose). Suskystintas bio-CO₂ galėtų būti naudojamas apdirbamosios ir kitos pramonės įmonėse bei būtų išvengiama CO₂ patekimo į aplinkos orą.
- Gamybos procese susidaranti perteklinė elektros ir šilumos energija (2-osios alternatyvos atveju) gali būti perduota į tinklus ir toliau naudojama namų ūkio ar pramonės sektoriuose, vietoje neatsinaujinančios energijos šaltinių.
- Remiantis pramoninės simbiozės principu, biokomposto gamybos procese būtų naudojamos ŽA iš fizinių / juridinių asmenų, taip formuojant sinergiją tarp įmonių – nereikalingi šalutiniai produktai būtų perduodami kaip žaliava kitoms įmonėms, o tai lemia abipusę ekonominę naudą, skatina tvarumą ir žiedinę ekonomiką, nes resursai yra ilgiau išlaikomi naudojimo cikle, ir yra mažinamas susidarančių atliekų kiekis. Taip pat kompostuojant ŽA kartu su MVA optimizuojamas procesas ir gerėja gaminamo komposto rodikliai, todėl bendradarbiavimas tarp įmonių kuria pridėtinę ekologinę vertę, išvengiant mineralinių trąšų naudojimo.

- Pakankamos organinės anglies kiekio fermentuojamoje biomasėje užtikrinimui, ateityje siūloma analizuoti galimybę kartu su MVA fermentuoti kitas BSA iš šalia esančių maisto pramonės įmonių.

3.3. Siūlomos alternatyvos ir jų įvykdomumo analizė

Atlikus aplinkosauginį vertinimą, remiantis pramoninės pramonės koncepcija bei mokslinė, praktinė literatūra, buvo parinktos dvi alternatyvos, kurios leis optimizuoti planuojamą MVA tvarkymo procesą, taikyti pramoninį metabolizmą įmonės ir regiono lygmeniu bei padidinti ekonominį ir aplinkosauginį veiksmingumą.

1 alternatyva: MVA biomasės anaerobinis apdorojimas (termofilinės sąlygos) gaminant biodujas, jas gryninant ir skystinant į bio-CH₄ ir bio-CO₂, gauto anaerobinio digestato / raugo nusausinimas ir kompostavimas kartu su ŽA iš Zabieliškio ŽAKA, Kauno m. ŽAKA ir / arba kitų įmonių ŽA.

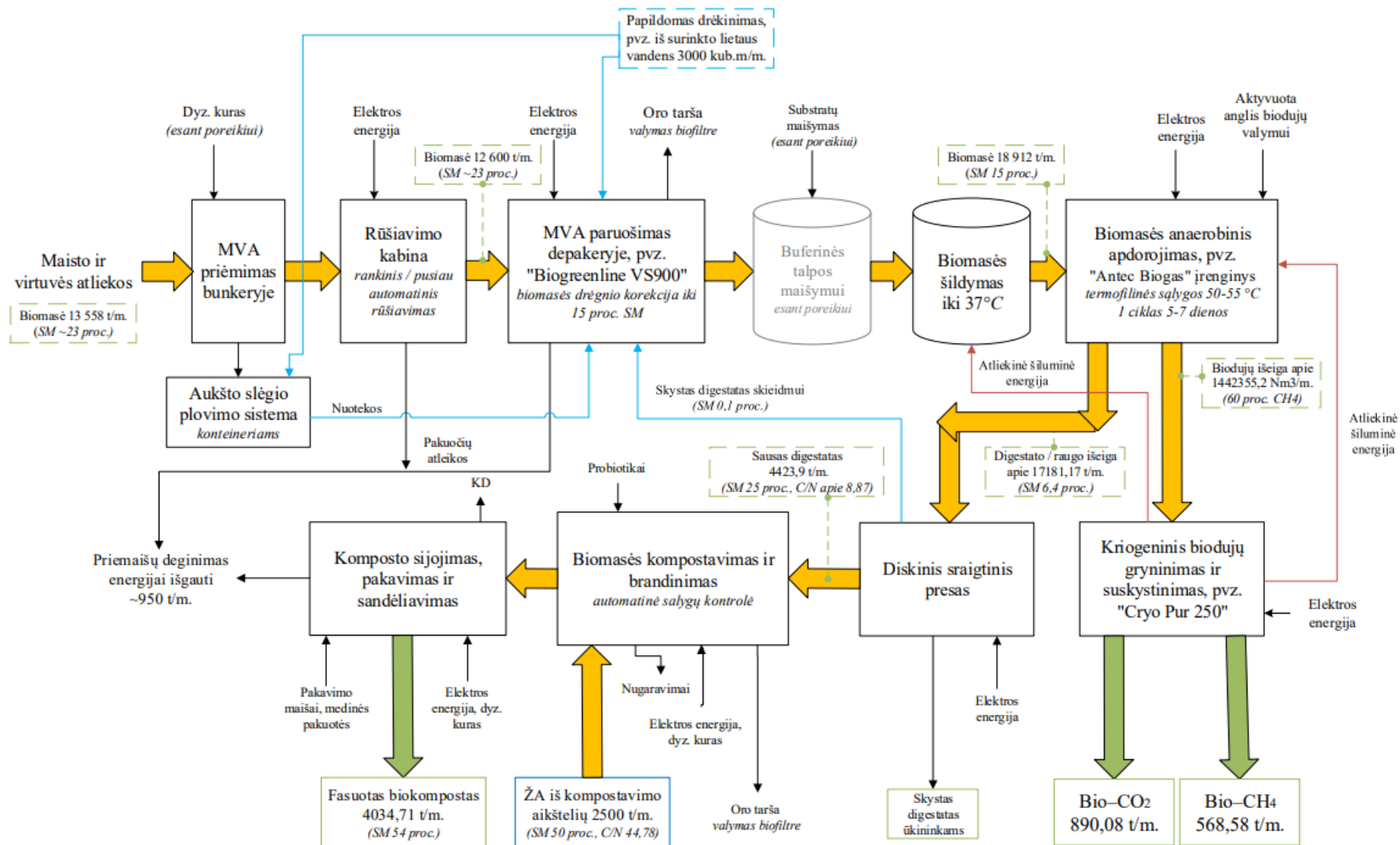
2 alternatyva: MVA biomasės anaerobinis apdorojimas (termofilinės sąlygos) gaminant biodujas, jas deginant KJ ir gaminant elektros ir šilumos energiją, gauto anaerobinio digestato / raugo nusausinimas ir kompostavimas kartu su ŽA iš Zabieliškio ŽAKA, Kauno m. ŽAKA ir / arba kitų įmonių ŽA.

3.3.1. Išskirtų maisto ir virtuvės atliekų anaerobinis apdorojimas gaminant suskystintą bio-metaną ir bio-anglies dioksidą bei biokompostą (1 alternatyvos įvykdomumo analizė)

Pasiūlymo tikslas – vietoje atskirtos ir pasterizuotos biomasės perdavimo kitoms įmonėms (esama situacija po 1 projekto įdiegimo), biomasę apdoroti Zabieliškio MAR teritorijoje ir gaminti suskystintą bio-CH₄ ir bio-CO₂ bei biokompostą (digestatas / raugas kompostuojamas kartu su ŽA).

Techninio įvertinimo rezultatai.

Gamybos etapų medžiagų ir energijos srautų diagrama pateikta 3.7 paveiksle, planuojamų gamybos patalpų išsidėstymas Zabieliškio MAR teritorijoje nurodytas 3.3 pav. Procesų įvedinių ir išvedinių kiekybinis vertinimas atliktas darbo 2 priede.



3.7 pav. 1 alternatyvos medžiagų ir energijos srautų diagrama, kai MVA perdirbamos į bio-CH₄, bio-CO₂ ir biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje

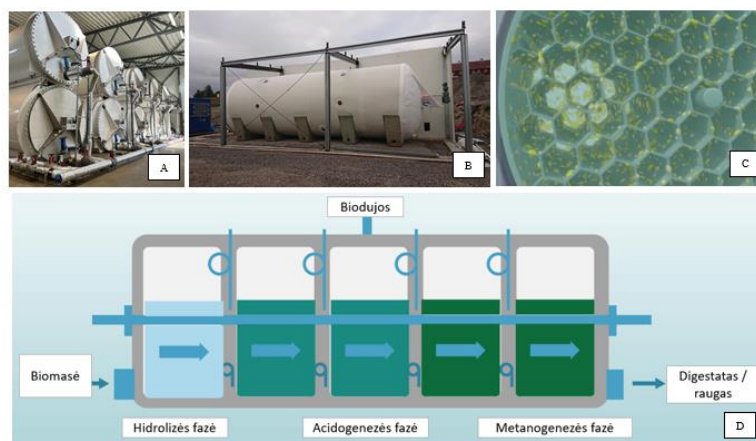
Planuojamo įdiegti rūšiuojamuoju būdu išskirtų MVA paruošimo tolimesniam apdorojimui procesas būtų identiškas aprašytam 3.2 poskyryje. Vienintelis skirtumas – po depakerio išskirta biomasė nebus termiškai pasterizuojama, kadangi šioje alternatyvoje siūloma įdiegti anaerobinį apdorojimą termofilinėmis sąlygomis (žr. 3.7 pav.). Į MVA apdorojimą pateks 13 558 t/m. MVA (SM 22,5 proc.). Visų pirma iš MVA būtų atskiriamos priemaišos (iki 7 proc. MVA) – rankinio rūšiavimo kabinoje bei mechaninio atskyrimo įrenginiuose (pvz. „Biogreenline VS900“ depakeryje). Atskirtos priemaišos (iki 950 t/m.) būtų vežamos deginimui ir energijos išgavimui KJ. Depakerio sistemoje bus vykdomas **biomasės drėgnio koregavimas**, nes įdiegiant šlapią anaerobinį apdorojimą sausos medžiagos dalis biomasėje turi siekti 20–15 proc. [35]. Norimam biomasės drėgniui pasiekti siūloma naudoti lietaus vandenį (iki 2 800 m³) ir dalį skysto digestato po anaerobinio fermentavimo (3 500 m³). Skystas digestatas gali pasižymėti aukšta ištirpusių druskų koncentracija, todėl maišymas / skiedimas su lietaus vandeniu patartinas. Sumaišius 6 304 t/m. vandens (67 proc. bendroje masėje) su 12 609 t/m. MVA (be priemaišų, 33 proc. bendroje masėje) gaunama 18912 t/m. biomasės (SM 15 proc.) kuri yra tiekiamą į bioreaktorių. Prieš biomasės patekimą į reaktorių gali būti įrengiamos **buferinės talpos**, skirtos substratų sinergijos tikslams – siekiant padidinti biodujų išeigą dažnai MVA maišomos su kt. BSA srautais (žr. 1.5 skyrių). **Biomasės pašildymo talpose** iš buferinių talpių siurbliais atpumpuota biomasė yra šildoma iki 37 °C prieš paduodant jį į termofilinius reaktorių, kuriuose temperatūra pakeliama iki 50–55 °C.

Reaktoriai. Anaerobinio apdorojimo procesui vykdyti siūloma įrengti „Antec biogas“ reaktorių dėl naujos technologijos privalumų¹:

1. Įranga užima mažai vietos dėl horizontalių reaktorių išdėstymo (žr. 3.8 pav. A–B). Taip pat yra galimybė esant poreikiui įrenginius išplėsti prijungiant prie sistemos papildomus 35 m³ reaktorių. Pagal preliminarinius skaičiavimus, vertinant kad biomasė praskiesta iki 15 proc. SM, tankis 0,83 t/m³, o reaktorių 1 ciklo darbinis tankis iki 94,5 m³ įvertinta, kad 1 reaktoriaus tūris turi siekti 105 m³. Įrangos tiekėjo duomenimis vienas reaktorių apdoroja apie 5 500 t biomasės [69].
2. Anaerobinis apdorojimas vykdomas termofilinėmis sąlygomis trijų stadijų reaktoriuje, kur hidrolizės, acidogenezės / acedogenezės ir metanogenezės fazės yra atskiriamos – tai leidžia optimizuoti biodujų gamybos procesą, užtikrinti stabilumą, proceso greitį ir biodujų išeigą (žr. 3.8 pav. C) [44];
3. Reaktoriuje esančios pertvaros padidina paviršiaus plotą (640–1560 m²), kas leidžia formuotis bioplėvelei, kuri sumažina cheminę riziką mikroorganizmams ir leidžia jiems lengviau plisti ir daugintis (žr. 3.8 pav. D) [42, 69];
4. Ši technologija pasižymi daug greitesniu anaerobinio apdorojimo proceso. Ciklų skaičius per metus gali svyruoti nuo 52 iki 73 (vertinimui priimta 67), kadangi tiekėjų duomenimis fermentavimas praktiškai pilnai įvykdomas per 3–5 dienas, vertinant pastovumą / užkrovimą per 5–7 dienas [69].
5. Pageidaujamas biomasės drėgnis apie 75–85 proc. Lyginant su kitomis technologijomis, kur optimalus drėgnis yra iki 90 proc., šiai technologijai reikalingas mažesnis vandens kiekis, kas leidžia sumažinti vandens sąnaudas skiedimui bei energijos sąnaudas vandens šildymui [42];

¹<https://www.antecbiogas.com/>

6. Pagal reaktorių tiekėjų informaciją, biodujų išeiga siekia apie 150 m³/t MVA ir išnaudojamas 80–95 proc. biocheminio metano potencialas.



3.8 pav. Biodujų gamybos bioreaktoriai „Antec Biogas“ (A–B – horizontaliai išsidėstę reaktoriai; C – reaktorių pertvaros leidžiančios formuotis bioplėvelėi; D – atskirų trijų stadijų anaerobinis apdorojimas) [69]

Remiantis mokslinė literatūra (žr. 1.5 poskyrį) buvo priimta pesimistinė prielaida, kad anaerobinio apdorojimo metu biodujų išeiga bus 114,4 m³/t MVA, t.y. fermentuojant iki 12 608 t/m. nuo priemaišų išskirtų MVA, bus pagaminta 1 442 355,2 m³/m. biodujų, kurių sudėtyje iki 60 proc. – CH₄, iki 33 proc. – CO₂. Tikslu biodujas išvalyti nuo H₂S priemaišų (vandenilio sulfidas sukelia įrangos koroziją ir SO₂ emisijas į aplinką), planuojama naudoti aktyvuotą anglį – 1,76 kg/1000 m³ biodujų [51].

Biometano gryninimui siūloma įrengti **kriogeninį biodujų valymo, gryninimo ir suskystinimo įrenginį** „Cryo Pur 250“¹, kuriame biodujos transformuojamos į skystą bio-CH₄ ir bio-CO₂. Įrenginio našumas 250 m³/val., galia 0,7 kWh/CH₄ m³. Biodujų gryninimo procesas susideda iš trijų etapų (žr. 3.9 pav.): 1) paruošimas apdoroti – šio etapo metu biodujos atšaldomos iki –75 °C ir pašalinamas H₂S, H₂O, LOJ ir siloksanai.; 2) dekarbonizacija – šio etapo metu biodujos atšaldomos iki –120 °C su tikslu atskirti bio-CO₂; 3) biometano suskystinimas – šio etapo metu temperatūra atšaldoma iki –160 °C ir slėgis sumažinamas iki 15 barų, kas leidžia suskystinti ir atskirti bio-CH₄. Proceso metu gaunama **568,58 t** arba 1352,41 m³ suskystinto bio-CH₄ bei **890,08 t** bio-CO₂ (skaičiavimai 2 priede).



3.9 pav. Kriogeninio biodujų valymo, gryninimo ir skystinimo proceso principinė schema¹

¹ <http://www.cryopur.com/la-technologie/>

Gamintojų teigimu, atliekinė šiluminė energija gali būti panaudojama kitiems procesams, pvz. temperatūros palaikymui reaktoriuose ar biomasės šildymo talpose. Suskystintas bio-CH₄ gali būti panaudojamas transporto ar energetikos sektoriuose vietoje iškastinio kuro, o suskystintas bio-CO₂ (99,5 proc. grynumas) įvairiose apdirbamosios ir kitos pramonės įmonėse (žr. 1.6 poskyrį).

Po anaerobinio apdorojimo susidarantis digestatas (17 181,17 t/m., SM 6,4 proc.) turi būti **nusausinamas – nuvandenijamas** bent iki 25 proc. SM. Siūloma įrengti diskinių sraigtinę presą. Nusausintas digestatas (4 423,9 t/m., C/N – 7,7) transportuojamas į stoginę tolimesniam apdorojimui – kompostavimui kartu su ŽA. Dalis skysto digestato (apie 9 300 m³) gali būti atiduodama kaip skysta trąša ūkininkams – šiame skystyje yra iki 2 proc. SM, kur didžioji dalis vandenyje tirpių azoto, kalio ir fosforo bei humino rūgščių [15]. Digestate gali būti didelė dalis amoniakinio azoto, todėl tręšti augalus tiesiogiai yra rizikinga ir patariama trąšas praskiesti (norma 50 t/ha) [15]. Kita dalis skysto digestato (apie 3 500 m³) gali būti nukreipiama biomasės drėgnio korekcijai proceso pradžioje.

Komposto kokybei pagerinti siūloma **digestatą kompostuoti maišant kartu su ŽA** iš Kauno regione esančių ŽAKA – tai padės užtikrinti tinkamą C/N santykį komposte (žr. 1.5 poskyrį). Reikalingas ŽA kiekis apskaičiuojamas remiantis teorine MVA raugo ir ŽA sudėtimi – SM kiekiu, drėgniu ir C/N santykiu (žr. 3.5 lentelę). Kompostavimui bus reikalinga iki 2500 t/m. ŽA (C/N ~44,8), kurių dalis bus naudojama iš Zabieliškio ŽAKA (pvz. 2022 m. 904,79 t/m.), o likusi dalis (1 600 t/m.) bus vežama iš Kauno ŽAKA. Į kompostavimą patenkančios ŽA turi būti susmulkintos iki 12 mm dydžio (pakankamai deguonies užtikrinimui), todėl siūloma įsigyti medienos smulkintuvą, pvz. „FORST ST6P“, kurio našumas iki 5 t/val., naudojamas kuras – benzinas)¹.

Nusausinto digestato kompostavimui su ŽA reikalinga rekonstruoti esamą stoginę į lengvųjų konstrukcijų pastatą su oro ventiliacija ir ištraukimu ir nukreipimu į naujai įrengtą biofiltrą (žr. 3.3 pav.). Į intensyvų kompostavimą patektų apie 6 923,9 t/m. sumaišytos biomasės – skaičiavimai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Kompostuojamos MVA digestato ir ŽA masės C/N santykio nustatymas ir tankio įvertinimas [15, 70]

Nusausintas MVA digestatas – 4 423,90 t (43 proc. pagal masę) - SM: 1 150,98 t (25 proc.) - C – 294,19 t (26,6 proc. SM); - N – 33,18 t (3,0 proc. SM); - H₂O: 3 317,93 t (75 proc.) Tankis: 0,75 t/m³	Sumaišymas	Biomasė į kompostavimą (teorinis vertinimas): BSA: 6 923,90 t - H₂O: 4 567,93 t (66 proc.) - SM: 23 565,98 t (34 proc.) - C – 669,19 t (28,4 proc. SM); - N – 41,55 t (1,76 proc. SM); - C/N – 16,1 Tankis: 0,5 t/m³
ŽA – 2 500 kg¹ (57 proc. pagal masę) - SM: 1 250,0 t (50 proc.) - C – 375,0 t (30 proc. SM); - N – 8,38 t (0,67 proc. SM); - H₂O: 250,0 t (50 proc.) Tankis: 0,3 t/m³		

¹Jei tarp ŽA pasitaikytų didesnis kiekis medžių ir krūmų kirtimo atliekų (C > 30 proc. SM), tai ŽA poreikis sumažėtų

¹ <https://forstglobal.com/woodchippers/forst-st6p>

Naudojant vartytuvą būtų suformuojami kompostavimo kaupai – iki 4 kaupų per ciklą (1 ciklas 3 savaitės) arba iš viso 17 kompostavimo ciklų per metus. Siekiant pagerinti komposto kokybės kriterijus, sumažinti kaupų vartymo skaičių (iki 3 kartų per ciklą), kvapus ir patogeninį užterštumą galima naudoti **mikrobiologinius preparatus (probiotikus)** [29]. Reikalavimuose dėl BSA kompostavimo [13] nurodomos privalomos kompostuojamos masės **temperatūros sąlygos** (nuo 20 iki 65 °C) bei **drėgnio sąlygos** (nuo 60 iki 50 proc.). Siekiant vykdyti privalomą nuolatinę kontrolę, siūloma įsigyti temperatūros daviklius su duomenų perdavimu atsakingam asmeniui. Pagaminto **komposto kokybės** (SM kiekis, OM kiekis, pH, N_b ir P_b) ir **užterštumo rodikliai** (sunkieji metalai, mikrobiologinis užterštumas ir priemaišos) turi būti tiriami ne mažiau kaip keturis kartus per metus. Rodiklių ribinės vertės pateikiamos Reikalavimuose dėl BSA kompostavimo [13] ir plačiau aptariamose 1.3–1.4 lentelėse. **Pirminio komposto minimalus brandinimo laikas** – iki 1 mėn., tad per metus gali būti vykdoma iki 12 pilnų kompostavimo ciklų. Pagal mokslinę literatūrą, masės nuagaravimai (nuostoliai) pilno kompostavimo metu gali siekti iki 80 proc. nuo drėgnio ir iki 20 proc. nuo sausos medžiagos masės [70]. Šios alternatyvos atveju imama prielaida, kad drėgmės nuagaravimas siekiai iki 70 proc., o sausos masės nuostoliai 7 proc. – sijojimo, sandėliavimo ir kt. sausos masės nuostoliai 1–5 proc. (priimama vertė 2 proc.) lygūs 138,48 t/m., o likusi dalis oro tarša – prieš valymą oro filtre 25,33 t/m. (NH₃, LOJ, KD) (žr. 2 priedą). Tai reiškia, kad iš viso būtų **pagaminama 4 034,71 t/m. biokomposto** (SM 54 proc.). Remiantis mokslinės literatūros rezultatais, pagamintas kompostas bus vertingas ir labai vertingas pagal daugelį kokybės rodiklių, kurie pateikti darbo 1.4 lentelėje [13, 52].

Oro valymui iš MVA pastato ir kompostavimo vietos siūloma įrengti „Hartmann“ dviejų pakopų biofiltrą (S – 100 m², našumas – iki 1 800 m³/val.; išvalymo efektyvumas: KD <5 g/m³, NH₃ >80 proc., kvapų – <5 000 OUE)¹. Įdiegus biofiltrą, oro srauto nereiktų praleidinėti pro skruberį, todėl būtų sunaudojama mažiau cheminių medžiagų. Oro tarša apskaičiuojama remiantis 2.4 lent. pateiktais emisijų faktoriais, kai išvalymo efektyvumas NH₃ atveju siekia 90 proc., LOJ – 50 proc., KD – 99 proc. Įvertinta, kad **prieš valymą** – NH₃ siekia iki 1,66 t/m., LOJ – iki 1,66 t/m., KD – iki 25 t/m; **po valymo** – NH₃ siekia iki 0,166 t/m., LOJ – iki 0,083 t/m., KD – iki 0,25 t/m. (žr. 2 priedą).

Pirminio komposto sijojimas, pakavimas ir sandėliavimas vyktų buvusioje Zabieliškio ŽAKA teritorijoje (žr. 3.3 pav.). Biokomposto sijojimui būtų naudojamas turimas sijotuvas „Komptech Primus“ (našumas – 70 m³/val., galia – 10 kW, d – iki 14 mm)². Pridėtinės vertės didinimui kompostą siūloma pakuoti į maišus (apie 50 kg) ir šiam tikslui įsigyti komposto dozavimo ir pakavimo sistemą (našumas iki 5 t/val., dirbant 6 val./d.d.). Įvertinta, kad komposto užterštumo ir kokybės parametrai tyrimai privalomi 4 kartus į metus [13].

Šildymas. Lyginant su esama situacija po 1 projekto įdiegimo, šiluminės energijos poreikis padidės dėl poreikio šildyti kompostavimo plotus šaltojo sezono metu. Papildomai siūloma įsigyti du 93–100 kW, n.k. 97 proc. LPG dujas naudojančius kaloriferius (pvz. „Robur G100“).

¹ <https://www.hartmann-biofilter.de/>

² <https://www.komptech.com/en/products/primus/#/>

Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatai

Aplinkosauginė ir ekonominė nauda įvertinama lyginant esamos situacijos po 1 projekto įdiegimo procesą įvedinių / išvedinių srautus su situacija po planuojamos 1 alternatyvos įdiegimo (žr. 3.6 lent.).

Aplinkosauginė nauda pastebima dėl šių priežasčių:

1. po alternatyvos įgyvendinimo, atsisakius biomasės pasterizavimo, gamybos procese būtų sunaudojama 3,794 t/m. mažiau dyzelinio kuro. Dėl šios priežasties į aplinką išsiskiriančios **ŠESD sumažėtų 11,91 t CO_{2e}/m**;
2. sumažėjusio sunkiasvorio transporto reisų skaičiaus ir su transportavimu susijusių netiesioginių ŠESD emisijų sumažėjimo. Pasterizuotos biomasės transportavimui iki Elektrėnų (apie 110 km) būtų reikalingi 567 reisai per metus ir į aplinką būtų išmetama 49,96 t CO_{2e}/m. ŠESD emisijų dėl dyzelinio kuro sąnaudų (*įvertinta pagal formulę 7*). 1 alternatyvos realizavimo atveju ŽA transportavimui iki biodujų gamyklos ir gautų produktų transportavimui iki Kėdainių m. (apie 10 km) būtų reikalinga iš viso 348 reisai/m. ir į aplinką būtų išmetama iki 5,21 t CO_{2e}/m. ŠESD emisijų (**ŠESD emisijų sumažės 44,75 t CO_{2e}/m.**). Taip pat pastebimas teigiamas pokytis transportuojant suskystiną biometaną, nes tūris sumažėja iki 644 kartų – dujinėje fazėje bio-CH₄ tūris 865 413,12 m³, o skystoje fazėje – 1 344,79 m³ (skysto metano tūris V = 422,8 kg/m³) (žr. 2 priede pateiktus skaičiavimus). Bio-CH₄ galėtų būti naudojamas Kėdainių mieste, pakeičiant iškastinį kurą (gamtines dujas ar dyzelinį kurą) naudojančius autobusus (produkto transportavimo atstumas iki 10 km). Pavyzdžiui, biometaną vietoje gamtinių dujų nuo 2022 m. viešojo transporto kurui pradėjo naudoti Klaipėdos mieste – šiam pokyčiui nereikėjo papildomų investicijų, nes gamtinės dujos ir biometanas panašūs chemine formule ir gali būti naudojamas tuose pačiuose varikliuose¹. Vokietijoje įmonė „CM Fluids“ vietoje dyzelinio kuro autobusuose naudoja bio-CH₄ – tai lemia iki 90 proc. mažesnes KD ir N₂O emisijas [53];
3. bio-CH₄ naudojimo vietoje dyzelinio kuro arba gamtinių dujų (*vertinimas atliktas naudojant metodikoje pateiktas 5, 7 ir 9 formules*):
 - 3.1. deginant 568,58 t/m. bio-CH₄ arba 7 675,83 MWh/m. (bio-CH₄ šilumingumo vertė Q_z = 48,6 GJ/t), VAP dėl ŠESD siektų tik 44,48 t CO_{2e}/m., kadangi į aplinką išsiskiriantis CO₂ yra biogeninės kilmės, todėl VAP skaičiuojamas tik dėl CH₄ ir N₂O;
 - 3.2. pagaminti tokiam pačiam kiekiui energijos (7 675,83 MWh) būtų reikalinga sudeginti 643,98 t dyzelinio kuro (dyz. kuro Q_z = 42,91 GJ/t), VAP dėl ŠESD siektų 2 046,49 t CO_{2e}/m.;
 - 3.3. pagaminti tokiam pačiam kiekiui energijos (7 675,83 MWh) būtų reikalinga sudeginti 799,17 tūkst. m³/m. gamtinių dujų (Q_z = 34,577 GJ/tūkst. m³), VAP dėl ŠESD siektų 1 617,61 t CO_{2e}/m.
 - 3.4. Tokiu būdu daroma išvada, kad VAP dėl bio-CH₄ naudojimo vietoj iškastinio kuro sumažėtų nuo 1 573,13 iki 2 002,01 t CO_{2e}/m.
4. bio-CO₂ aplinkosauginė nauda pastebima dėl išvengtų ŠESD emisijų pramonės srityse, kur yra naudojami papildomi resursai išgaunant gryną CO₂, pvz. žemės ūkio, maisto, chemijos, statybos pramonė [29, 50]. Taip pat, pakartotinai panaudojant CO₂ jis yra užfiksuojamas produkte ir yra

¹ <https://klaipeda.diena.lt/naujienos/klaipeda/miesto-pulsas/ekologija-klaipedos-autobusu-parkas-gamtines-dujas-miesto-autobusuose-pakeite-biometanu-1102307>

- išvengiama emisijų patekimo į aplinką¹ – globaliu mastu iki 5–10 proc. arba 200 Mt CO₂ emisijų yra pašalinama iš atmosferos dėl bio-CO₂ naudojimo²;
5. pastebimas oro taršos sumažėjimas dėl naujai įrengto biofiltro – 11,46 t/m. (NH₃, LOJ ir KD);
 6. biokomposto aplinkosauginę naudą įvertinti galima lyginant ŠESD emisijas, kurios susidaro šio biokomposto bei cheminių / mineralinių trąšų gamyboje:
 - 1.1. alternatyvos atveju bus pagaminta 4 034,71 t/m. vertingo biokomposto (SM 58 proc.) (žr. 1.4 lentelę), kuriame bus iki 2 proc. SM suminio azoto (N) (46,80 t), iki 0,8 proc. SM suminio fosforo (P) (18,72 t) ir iki 2,1 proc. SM suminio kalio (K) (49,14 t);
 - 1.2. mineralinių trąšų naudojimo žemės ūkyje metu į aplinką išmetama³:
 - 1.2.1. 7,8 t CO_{2e}/t N; 46,80 t N pagaminti VAP dėl ŠESD siektų 365,04 t CO_{2e}/m.;
 - 1.2.2. 0,56 t CO_{2e}/t P; 18,72 t P pagaminti VAP dėl ŠESD siektų 10,48 t CO_{2e}/m.;
 - 1.2.3. 0,43 t CO_{2e}/t K; 49,17 t P pagaminti VAP dėl ŠESD siektų 21,13 t CO_{2e}/m.
 - 1.3. tokiu būdu daroma išvada, kad naudojant 4034,17 t/m. biokomposto vietoj cheminių trąšų, būtų **išvengiama 396,68 t CO_{2e} ŠESD emisijų**, kurios susidarytų cheminių trąšų naudojimo metu.

Tačiau 1 alternatyvoje sunaudojama 805,67 MWh/m. daugiau elektros energijos, todėl į aplinką išmetama **338,38 t CO_{2e}/m. daugiau ŠESD emisijų** dėl elektros sąnaudų iš tinklų. Didžioji dalis elektros energijos sąnaudų yra dėl kriogeninio biodujų gryninimo ir skystinimo įrenginio (605,79 MWh/m.). Energijos sąnaudų poveikį aplinkai kompensuoti galima būtų išplečiant biodujų valymą iš šalia Zabieliškio MAR esančio Zabieliškio regioninio nepavojingų atliekų sąvartyno taip padidinant bio-CH₄ ir bio-CO₂ produkcijos kiekį. Taip pat galima būtų įvertinti galimybę sąvartyno teritorijoje įrengti saulės modulius ir sukauptą energiją naudoti MVA perdirbimo reikmėms.

Ekonominė nauda pastebima dėl šių priežasčių:

1. gaminamų produktų rinkos analizės rezultate parodė, kad suskystinto bio-CH₄ rinkos kaina iki 2 300 Eur/t, bio-CO₂ – iki 320 Eur/t, supakuoto biokomposto – iki 120 Eur/t, be PVM [6]. Skaičiavimo metu priimama pesimistinė prielaida, todėl produktų kainos yra mažesnės (2020–2021 m. lygio) (žr. 3.6 lentelę): bio-CH₄ iki 1 500 Eur/t, bio-CO₂ – iki 250 Eur/t, biokomposto – iki 60 Eur/t. Iš viso planuojamas minimalus pelnas už produktų pardavimą – 1 340 817,98 Eur/m.
2. taip pat sutaupymai pastebimi dėl mažesnių dyzelinio kuro sąnaudų – 6 963,84 Eur/m., dėl sumažėjusios oro taršos – 3 699,09 Eur/m., kai taršos tarifai lygūs NH₃ 20 Eur/t, KD 225 Eur/t, LOJ 330 Eur/t⁴
3. svarbu paminėti, kad elektros sąnaudos išauga 8 kartus dėl kriogeninio biodujų valymo, gryninimo ir skystinimo įrenginio – dėl šios priežasties išlaidos už elektros sąnaudas išauga iki 263 187,87 Eur (88 proc. pokytis)

Bendros planuojamos pajamos lygios **814 725,54 Eur/m. arba 60,09 Eur/t MVA**

¹ https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/10/Biogenic-CO2-from-the-biogas-industry_Sept2022-1.pdf

² <https://www.energy-transitions.org/wp-content/uploads/2022/08/ETC-CCUS-Report-V1.9.pdf>

³ <https://cordis.europa.eu/project/id/673023/results>

⁴ <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/aplinkosauginiai-mokesciai/mokestis-uz-aplinkos-tersima-is-stacionariuju-tarsos-saltiniu>

3.6 lentelė. 1 alternatyvos (MVA perdirbamos į bio-CH₄, bio-CO₂ ir kompostą Zabieliškio MAR teritorijoje) įvedinių ir išvedinių lyginamosios analizės bei tiesioginių kaštų ir planuojamų pajamų įvertinimo rezultatai

Proceso sratai		Esama situacija po 1 projekto įdiegimo			Po 1 alternatyvos įdiegimo			Sutaupoma(+) / sumažėja(-)	
	vnt.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/m.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Proceso sratai pradžioje (įvediniai)									
Rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA	t	13 558,00	-	-	13 558,00	-	-	0	-
Žaliosios atliekos	t	0	-	-	2 500,00	-	-	-2500	-
Cheminės medžiagos ir kt.									
<i>Probiotikai</i>	t	0	0	0	1,58	9 000,00	14 198,40	-1,58	-14 198,40
<i>Aktyvuota anglis biodujų valymui</i>	t	0	0	0	2,54	3 000,00	7 620,00	-2,54	-7 620,00
Aktyvuota anglis (filtrui)	t	4	150,00	600,00	4	150,00	600,00	0	0
Medžio skiedra	t	0	0	0	10,00	45,00	450,00	-10,00	-450,00
Pakuotė									
<i>Pakavimo maišai kompostui</i>	vnt.	0	0	0	80 694	0,25	20 173,55	-80 694	-20 173,55
<i>Medinė pakuotė</i>	vnt.	0	0	0	5 043	10,00	50 433,90	-5 043	-50 433,90
Vandens sąnaudos (buitinėms reikmėms)	m ³	90,00	0,98	88,20	300,00	0,98	294,00	-210,00	-205,80
Lietaus vanduo	m ³	1 576,00	0	0	2 800,00	0,00	0,00	-1 224,00	-
Elektros energijos sąnaudos	MWh	110,38	287,31	31 711,84	916,04	287,31	263 187,87	-805,66	-231 476,03
Dyzelinis kuras	l	12 693,00	1,56	19 801,08	8 229,00	1,56	12 837,24	4 464,00	6 963,84
LPG (patalpų apšiltinimui)	t	3,28	1 068,00	3 503,04	19,50	1 068,00	20 826,00	-16,22	-17 322,96
Benzinas (smulkintuvui)	l	0	0	0	3 026,67	1,85	5 599,34	-3 026,67	-5 599,34
Reisų skaičius	vnt.	567	-	-	348	-	-	219	-
Darbuotojų etatai (bruto)	vnt.	3	22 800,00	68 400,00	10	22 800,00	22 800,00	-7	-159 600,00
Proceso sratai pabaigoje (išvediniai)									
Kiti sratai – poveikis aplinkai:									
Priemaišos (AŽ / pakuotės)	t	949,06	44,00	41 758,64	1 087,06	44,00	47 830,64	-138,00	-6 072,00
Buitinės nuotekos	m ³	90,00	1,20	108,00	300,00	1,20	360,00	-210,00	-252,00
Oro tarša (po filtro)	t	11,96	316,48	3785,14	0,50	316,48	86,05	11,46	3 699,09
¹ ŠESD (bendrai), įsk.:	t CO _{2e}	140,47	-	-	517,23	-	-	-376,76	-
<i>ŠESD (dėl dyz. kuro sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	33,88	-	-	21,97	-	-	11,91	-
<i>ŠESD (dėl benz. kuro sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	0	-	-	7,29	-	-	-7,29	-
<i>ŠESD (dėl LPG sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	10,27	-	-	61,09	-	-	-50,82	-
<i>ŠESD (dėl kompostavimo)</i>	t CO _{2e}	0	-	-	36,93	-	-	-36,93	-
<i>ŠESD (netiesioginis dėl elektros sąnaudų)</i>	t CO _{2e}	46,36	-	-	384,74	-	-	-338,38	-
Proceso sratai		Esama situacija po 1 projekto įdiegimo			Po 1 alternatyvos įdiegimo			Sutaupoma(+) / sumažėja(-)	

	vnt.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/m.
<i>ŠESD (netiesioginis dėl transportavimo)</i>	t CO _{2e}	49,96	-	-	5,21	-	-	44,75	-
Sumažėja (+) / padidėja (-) tiesioginiai MVA apdorojimo procesų kaštai (be PVM), tūkst. Eur/m.:									-502,74
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
²Produktų gamyba ir pajamos (P) dėl produktų pardavimo:									
Pasterizuota biomasė	t	14 184,94	0,00	0,00 (P)				-14 184,94 <i>negaminamas</i>	0,00 (P)
Pagaminta biokomposto	t				4 034,71	60,00	242 082,60 (P)	4034,71	242 082,60 (P)
Pagaminta suskystinto bio-CH ₄	t				568,58	1500,00	852 864,63 (P)	568,58	852 864,63 (P)
Pagaminta suskystinto bio-CO ₂	t				890,08	250,00	222 519,35 (P)	890,08	222 519,35 (P)
Projekto įdiegimo pajamos (be PVM), tūkst. Eur/m.:									1 317,47
1 alternatyvos įdiegimo ekonominė nauda (be PVM), tūkst. Eur/m.:									814,73

Pastabos:

¹ šioje lentelėje neįvertintos CO₂ kompensavimo priemonės:

- ŠESD sumažėjimas esamos situacijos po 1 projekto įdiegimo atveju, dėl AEI naudojimo vietoje iškastinio kuro iki 1 354,59 t CO_{2e}/m. (žr. 3.2 poskyrį)
- ŠESD sumažėjimas 1 alternatyvos atveju, naudojant suskystinta bio-CH₄ vietoj iškastinio kuro (įvertintas VAP sumažėjimas nuo 1 573,13 iki 2 002,01 t CO_{2e}/m.);
- ŠESD sumažėjimas 1 alternatyvos atveju, naudojant biokompostą vietoj cheminių medžiagų, kurių gamybai sunaudojama nemažai elektros ir šiluminės energijos (įvertintas VAP sumažėjimas iki 396,68 t CO_{2e}/m.)

² analizuojant pajamas, buvo priimta pesimistinė prielaida, t.y. vertinamos minimalios kainos, tačiau visų planuojamų gaminti produktų kainą turi didėjimo tendenciją.

Bendras 1 alternatyvos įdiegimo poveikio VAP sumažėjimas dėl ŠESD, įvertinus tiesioginį ir netiesioginį poveikį bei CO₂ kompensavimo priemones – nuo 238,43 iki 667,70 t CO_{2e}/m. arba nuo 18 iki 49 kg CO_{2e}/t MVA, priklausomai kokio tipo iškastinį kurą (atitinkamai gamtines dujas ar dyzelinio kurą) pakeičia bio-CH₄ transporto sektoriuje.

Projekto investicinė analizė

3.7 lentelė. Gamybos proceso optimizavimui reikalingos investicijos, kai MVA perdirbamos į bio-CH₄, bio-CO₂ ir biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje

Pavadinimas	Paskirtis	Vnt.	tūkst. Eur/vnt.	tūkst. EUR (iš viso)
¹ Zabieliškio MAR stoginės šalia BA pastato rekonstrukcija	Teritorijos skirtos MVA digestato ir ŽA kompostavimui	1	302,18	302,18
² Biofiltras	„Hartmann“ 2-jų pakopų biofiltras oro iš digestato ir ŽA kompostavimo patalpos valymui	1	85,00	85,00
³ Anaerobinio apdorojimo sistema	Biodujų gamybos sistema, įsk. keturis 105 m ³ talpos „Antec Biogas“ reaktorius, buferines talpas substratų maišymui ir biomasės šildymui.	1	2 940,00	2 940,00
⁴ Kriogeninio biodujų gryninimo ir skystinimo įrenginys „Cryo Pur“	Biodujų gryninimo ir skystinimo įrenginys, talpos produktų laikymui iki transportavimo.	1	2 500,00	2 500,00
⁵ Raugo / digestato nusausinimo įrenginys	„Biogreenline“ sausinimo įrenginys (našumas iki 12 t/val., nusausinimas iki 30 proc. SM)	1	80,00	80,00
⁶ Oro šildytuvai pramoninėms talpoms	LPG dujų šildytuvai (93 kW) „Robur G100“	2	0,60	1,20
¹ Smulkintuvas	Medienos atliekų smulkinimui prieš maišymą su raugu ir kompostavimą	1	60,00	60,00
⁷ Teleskopinis krautuvai	Kaupų formavimui komposto brandinimo teritorijoje, buvusioje ŽAKA aikštelėje	1	90,00	90,00
⁸ Konteineriai	10 m ³ konteineriai skirti išrūšiuotų pakuočių laikymui	3	4,00	12,00
¹ Komposto parametrų matavimo daviklis	Temperatūros, drėgmės ir kitų parametrų matavimo daviklis	30	0,150	4,50
¹ Aplinkosauginių dokumentų paruošimas	PŪV dokumentų atranka dėl PAV, PVSV (SAZ ribų patikslinimui), TIPK leidimo koregavimas	1	25,00	25,00
¹ Komposto dozavimo / pakavimo įrenginys	Komposto pakavimas į 50 kg maišus	1	50,00	25,00
Iš viso projekto bendros investicijos (be PVM), tūkst. Eur				6 124,88

¹ Pagal informaciją pateiktą 2022 m. galimybių studijoje „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ [6]

² Pagal tiekėjo teikiamą informaciją <https://www.hartmann-biofilter.de/en/>

³ Pagal tiekėjo teikiamą informaciją – vienos sistemos apdorojančios 5500 t biomasės kaina lygi 1,5 mln. Eur, papildomi reaktoriai po 480 tūkst. Eur <https://www.antecebiogas.com/product>

⁴ Pagal tiekėjo teikiamą informaciją <http://www.cryopur.com/en/>

⁵ Pagal tiekėjo teikiamą informaciją <https://biogreenline.ch/separators/>

⁶ Pagal informaciją teikiamą interneto svetainėje <https://www.orfejas.lt/sildymo-iranga/dujiniai-kalorifieriai-sildytuvai>

⁷ Pagal informaciją teikiamą interneto svetainėje <https://www.statybutechnika.eu/>

⁸ Pagal informaciją teikiamą interneto svetainėje <http://www.modul.lt>

Projekto atsipirkimo trukmė apskaičiuojama remiantis metodikoje pateikta 3 formulę, kai įdiegus projektą planuojama sutaupyti 814,73 tūkst. Eur/m., o projekto investicijos siekia 6 124,88 tūkst. Eur

$$AT = 6\,124,88 \text{ tūkst. Eur} \div 814,73 \text{ tūkst. Eur} = 7,5 \text{ m.}$$

3.3.2. Išskirtų maisto ir virtuvės atliekų anaerobinis apdorojimas gaminant elektros ir šilumos energiją bei biokompostą (2 alternatyvos įvykdomumo analizė)

Šioje alternatyvoje siūloma biomasę anaerobiškai apdoroti biodujų reaktoriuose ir kogeneracinėje jėgainėje gaminti elektros ir šilumos energiją, o gautą digestatą kaip ir 1-oje alternatyvoje nusausti ir kompostuoti kartu su ŽA iš šalia esamos Zabieliškio ŽAKA ir / arba kitų įmonių ŽA.

2 alternatyvos techninio įvertinimo rezultatai

MVA apdorojimo procesų medžiagų ir energijos srautų diagrama pateikta 3.12 paveiksle. Teoriniai skaičiavimai pateikiami 3 priede. Patalpų išsidėstymas teritorijoje 3.3 paveiksle. Šios alternatyvos realizavimui reiktų įrengti anaerobinio apdorojimo įrenginius (pvz. „Antec Biogas“ reaktorius), biodujų saugyklą, dujų valymo ir deginimo įrenginius bei digestato kompostavimui su ŽA reikalingą infrastruktūrą. Kaip ir esamos situacijos po 1 projekto įgyvendinimo atveju, į MVA apdorojimą pateks 13 558 t/m. MVA. Visų pirma iš MVA būtų atskiriamos priemaišos (iki 7 proc. MVA) – rankinio rūšiavimo kabinoje bei mechaninio atskyrimo įrenginiuose („Biogreenline VS900“ depakeryje). Išgryninta biomasė toliau būtų anaerobiškai apdorojama „Antec Biogas“ reaktoriuose (termofilinės sąlygos) gaminant biodujas ir digestatą. Biodujos būtų deginamos KJ, gaminant elektros ir šilumos energiją, o digestatas būtų kompostuojamas su ŽA, kaip ir 1 alternatyvoje.

Kaip ir 1 alternatyvoje į anaerobinio apdorojimo reaktorius (keturi reaktoriai po 105 m³) pateks 18 912 t/m. biomasės (SM 15 proc.) Anaerobinio apdorojimo ciklas trunka 5–7 dienų (apie 67 ciklus/m.), biodujų išeiga 114,4 m³/t MVA arba 164,7 m³/val. – per metus būtų pagaminama 1 442 355,2 m³ biodujų, kurių sudėtyje iki CH₄ 60 proc.

Biodujų saugyklos reikalingos, nes reaktoriuose biodujos gaminamos netolygiai. Taip pat avariniu atveju (sugedus kogeneratoriui, sutrikus skirstomųjų elektros tinklų darbui), biodujos naudojamos iš biodujų saugyklų [15]. Jei biodujos talpoje bus laikomos iki 24 val., o biodujų išeiga 164,7 m³/val., tai per dieną susidarytų 3 953 m³ biodujų (darbinis tūris). Vertinant biodujų saugyklų talpą, siūloma įsigyti 10 proc. didesnio tūrio biodujų saugyklas – 4 400 m³. Pavyzdžiui, „Sattler“¹ siūlo 4 560 m³ talpos biodujų saugyklas (skersmuo 22,0 – m, h – 16,5 m) arba dvi talpyklas po 2 150 m³ (skersmuo – 17,2 m, h – 12,9 m).

Avariniame fakele / žvakėje būtų sudeginamas biodujų gamybos procesu metu susidarantis biodujų nuotėkis.

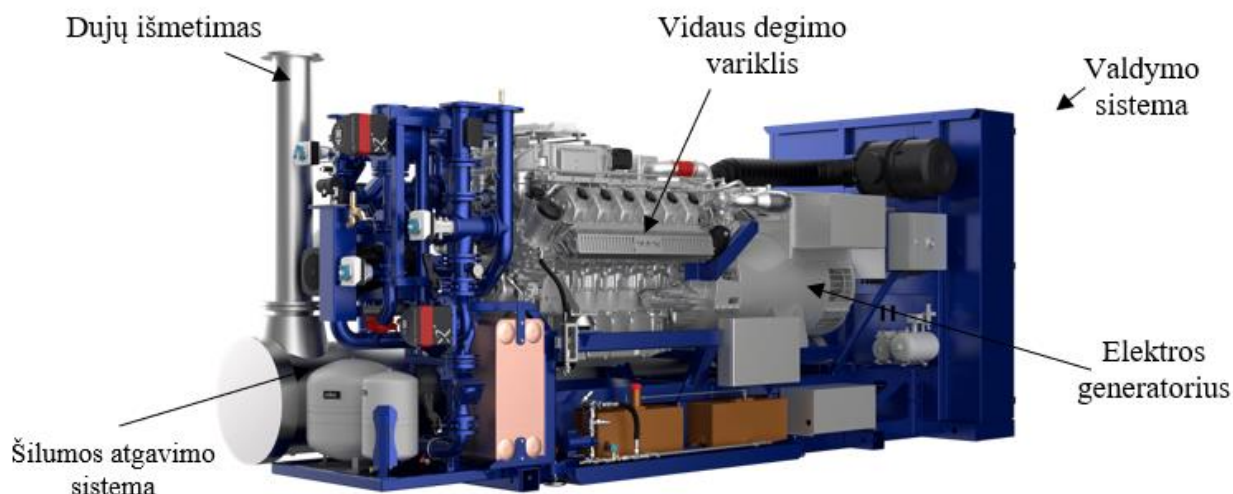
Dujų filtravimas / valymas bus vykdomas naudojant aktyvuotą anglį (1,76 kg/1000 m³ biodujų), siekiant pašalinti H₂S priemaišas [51].

Į kogeneracinį bloką dujų perdavimo linija pateks iki 1 442 355,2 m³ biodujų (114,4 m³/t MVA, CH₄ 60 proc.) per metus. Elektros ir šilumos energijai gaminti siūloma įrengti otto ciklu veikiantį stūmoklinį vidaus degimo variklį / generatorių, pvz. „Tedom Flexi 350“ (elektros galia 354 kW, šilumos 397 kW)². Šis dujinis generatorius pasižymi dideliu efektyvumu (iki 85,3 proc.), mažesnėmis montavimo išlaidomis dėl inovatyvių sprendimų ir kompaktiškos konstrukcijos, optimalia valdymo koncepcija ir lanksčiu pritaikomumu. Vidaus degimo variklyje biodujos yra uždegamos kibirkštimi

¹ <https://utileengineering.co.uk/wp-content/themes/Utile/pdf/bio-gas-sattler-brochure.pdf>

² <https://www.tedom.com/en/chp-units/biogas/>

ir degimo energija yra transformuojama į mechaninį darbą, kuris suka generatorių ir gamina elektros energiją, o šiluminė energija išgaunama iš variklio aušinimo sistemos ir dujų išmetimo sistemos (žr. 3.10 pav.) [45].



3.10 pav. Kogeneracinis blokas skirtas elektros ir šilumos energijos gamybai iš biodujų, pvz. „Tedom Flexi 350“ (bendra galia iki 1 MW)¹

Remiantis mokslinė ir praktinė literatūra (žr. 1.4.1 poskyrį) bei tiekėjų informacija, daroma prielaida, kad bus pagaminama iki 40,2 proc. elektros ir 45,1 proc. šilumos energijos (nuostoliai – 14,7 proc.). Biodujų energetinė vertė lygi 20 MJ/m³ [62], todėl planuojama, kad bus generuojama iki **3 221,22 MWh/m.** elektros ir **3 613,85 MWh/m.** šilumos energijos. Toks pagaminamos elektros energijos kiekis sutampa su pateikiamu literatūroje, pvz. 0,277 MWh/t MVA [38], mūsų atveju – 0,255 MWh/t MVA.

Dalis **elektros energijos** bus naudojama savoms reikmėms, pakeičiant neatsinaujinančių išteklių energijos šaltinius – iš viso 737,75 MWh/m (žr. 3.8 lent.). Įdiegus biodujų KJ, energija tiekama iš tinklų bus pakeista į atsinaujinančią energiją ne tik MVA apdorojimo pastate, bet ir MKA apdorojimo įrenginiuose (231,56 MWh/m. žr. 3.2 lent.). Taip pat dalis energijos galėtų būti panaudojama kompensuojant papildomas elektros energijos sąnaudas kompostavimo procese – 8,6–48 kWh/t BSA [15]. Energijos perteklius gali būti atiduodamas / parduodamas šalia teritorijos esančioms įmonėms, taikant pramoninės simbiozės principą arba parduodamas į elektros tinklus.

3.8 lentelė. Kogeneracinėje jėgainėje pagamintos elektros energijos naudojimas (po 2 alternatyvos įdiegimo)

Naudojimo paskirtis		MWh/m.
Pagamintas elektros energijos kiekis		3 221,22
Elektros energijos naudojimas savoms reikmėms	Elektros sąnaudos MVA apdorojimui (depakerio sistema, anaerobinio apdorojimo reaktoriaus sistema, kontenerių plovimo sistema, biokomposto pakavimo įrenginys ir digestato nusausinimo įrenginys) (pagal 2 priedą)	310,25
	Papildomos elektros sąnaudos kompostavimui, pvz. srautų nukreipimas, apšvietimas ir t.t. (žr. 3 priedą)	195,94
	Elektros sąnaudos MKA apdorojimo procesui (žr. 3.2 lentelę)	231,56
Perteklinis elektros energijos kiekis perduodamas į tinklus		2 483,51

Kaip buvo minėta, **šiluminė energija** bus išgaunama iš variklio aušinimo sistemos ir dujų išmetimo sistemos karšto vandens pavidalu, kuris turi būti nukreipiamas į skirstomąjį tinklą, pvz. radiatorius, grindų šildymo sistemas ar karšto vandens rezervuarus. Pavyzdžiui, šiluminė energija gali būti

nukreipiama į anaerobinį reaktorių, nes fermentavimas termofilinėmis sąlygomis (55–60 °C) reikalauja didelių elektros sąnaudų tinkamai temperatūrai palaikyti. Taip pat šiluminė energija gali būti naudojama patalpų šildymui vietoje LPG kuro (MVA apdorojimo patalpose) ir vietoje dyzelinio kuro katilinėje (MKA apdorojimo pastate). Taip pat šiluminė energija gali būti panaudojama Zabieliškio MAR teritorijoje esančio priešgaisrinio tvenkinio šildymui (20x15x1,5 arba apie 450 m³) šaltojo sezono metu. Daroma prielaida, kad šaltasis sezonas trunka 3 mėn. arba 2 190 val., o vidutinė lauko temperatūra iki –5 °C¹. Šiluminės energijos kiekis, kuris reikalingas pašildyti 450 m³ vandenį rezervuare nuo t₁ iki t₂ temperatūros vertinamas pagal 4 formulę:

$$Q = (4200 \times 450\,000 \times (1 - (-5))) = 12,348 \text{ GJ/val.}$$

11,34 GJ/val. apytiksliai lygu 3,15 MWh/val. arba 6,8 tūkst. MWh per šildymo sezoną (2 190 val./m.).

Toks šilumos energijos kiekis nėra gaminamas, todėl daroma prielaida, kad į vandens rezervuarą bus nukreipiama naudingai nepanaudota šilumos energija, t.y. apie 83 proc.

3.9 lentelė. Kogeneracinėje jėgainėje pagamintos šilumos energijos naudojimas (po 2 alternatyvos įdiegimo)

Naudojimo paskirtis		MWh/m.
Pagamintas šilumos energijos kiekis		3 613,85
Elektros energijos naudojimas savoms reikmėms	MVA apdorojimo pastato šildymas (pakeičiant LPG dujas) (žr. 1 priedą)	40,43
	MKA BA pastato šildymas (pakeičiant dyzelinį kurą katilinėje) – pagal 3.2 lentelę dyz. kuro sąnaudos 2021 m. – 437,36 l, 2022 m. – 477,12 l (pagal formulę 5)	4,78
	Papildoma šilumos energija tiekama į kompostavimo pastatą šaltojo sezono metu (žr. 3 priedą)	585,33
Perteklinis šilumos energijos kiekis, pvz. gali būti naudojamas priešgaisrinio tvenkinio šildymui šaltojo sezono metu.		2 983,31

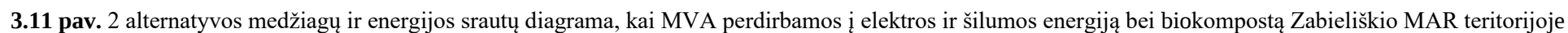
Didžioji dalis šilumos energijos nebus panaudojama naudingai, nes šalia Zabieliškio MAR teritorijos esančioms įmonėms ir Kėdainių miestui šiluminę energiją teikia AB „Lifosa“². Taip pat aplink Zabieliškio MAR teritoriją (1 km spinduliu) nėra šilumos perdavimo tinklų, o tinklų įrengimas reikalauja didelių investicijų ir turi būti derinamas Kėdainių r. savivaldybės tarybos lygmenyje.

Oro tarša. Kaip ir 1 alternatyvos atveju, oro valymui iš MVA pastato ir kompostavimo patalpų siūloma įrengti „Hartmann“ dviejų pakopų biofiltrą kurio išvalymo efektyvumas NH₃ atveju siekia iki 90 proc., LOJ – iki 50 proc., KD – iki 99 proc. Į aplinką patektų NH₃ – 0,166 t/m., LOJ – 0,083 t/m., KD – 0,25 t/m. (žr. 2 priedą). Deginant biodujas į aplinkos orą išmetami NO_x (A), CO (A), SO_x (A), KD (C) ir NMLOJ. Sudėginus 1 442 355,2 m³ biodujų į aplinką pateks 0,096 t CO, 0,398 t NO_x, 0,042 t SO_x, 0,005 t NMLOJ ir 0,006 t KD (žr. 3 priedą).

Biokompostas. Po anaerobinio apdorojimo susidaręs digestatas (17 181,17 t/m., SM 6,4 proc.), kaip ir 1 alternatyvos atveju bus nusausinamas prese iki 25 proc. SM: apie 92 500 m³ skysto digestato bus atiduodama ūkininkams kaip trąša, o likusi dalis (apie 3 500 m³/m.) grąžinama atgal į sistemą pulpos drėgnio korekcijai iki 15 proc. SM. Digestato SM (4 423,90 t/m., C/N 8,87, SM iki 25 proc.) bus maišoma su ŽA (iki 2 500 t/m. C/N 44,78, SM 50 proc.) ir aerobiškai apdorojama, pagaminant iki 4034,71 t/m. (SM 54,3 proc.) biokomposto (žr. 3.5 lent.).

¹ <http://www.meteo.lt/oro-temperatura>

² <https://www.lifosa.com/energetine-veikla/elektros-ir-silumos-energija/32>



Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatai

Aplinkosauginė ir ekonominė nauda vertinama lyginant esamos situacijos po 1 projekto procesų įvedinių / išvedinių srautus su situacija po planuojamos 2 alternatyvos įdiegimo (žr. 3.10 lent.).

Aplinkosauginė nauda bus pasiekta, nes:

1. Gamybos procese būtų sunaudojama 4 464 l/m. mažiau dyzelinio, kadangi kaip 1 alternatyvos atveju, būtų atsisakyta biomasės pasterizavimo proceso – dėl šios priežasties į aplinką išsiskiriančios **ŠESD sumažėtų 11,91 t CO_{2e}/m.**
2. Su transportavimu susijusios ŠESD emisijos susidarytų gabenant ŽA iki Zabieliškio MAR teritorijos bei pagaminto biokomposto transportavimui iki Kėdainių m. – iš viso 269 reisai per metus ir 4,57 t CO_{2e}/m. ŠESD emisijų. **VAP sumažėja 45,39 t CO_{2e}/m.**
3. Oro tarša iš MVA apdorojimo pastato sumažėtų 11,46 t/m. (NH₃, LOJ ir KD) dėl naujai įrengto biofiltro, tačiau padidėtų 0,547 t/m. (NO_x, SO_x, CO, LOJ, KD) dėl biodujų deginimo kogeneraciniame bloke. Bendras **oro taršos sumažėjimas 10,91 t/m.**
4. Gamykloje naudojant iš AEI pagamintą šilumos energiją būtų išvengiama 3,28 t/m. LPG dujų (atsisakant MVA apdorojimo pastato šildymui) ir 477,12 l/m. dyzelinio kuro naudojimo (atsisakant katilinės naudojimo) – **VAP sumažėjimas 12,18 t CO_{2e}/m.**
5. ŠESD emisijos į aplinką sumažėtų dėl energijos pagamintos iš AEI tiekimo į tinklus (*vertinama pagal formulę 10*). Iš viso į tinklus tiekama 2 483,51 MWh/m., todėl poveikio VAP sumažėjimas **iki 1 043,07 t CO_{2e}/m.**
6. Biokompostas būtų naudojamas vietoje cheminių / mineralinių trąšų (įvertinta 1 alternatyvoje). **VAP sumažėjimas siektų 396,65 t CO_{2e}/m.**

Ekonominė nauda pastebima dėl:

1. Sutaupymų dėl atsisakytos elektros energijos sąnaudų iš tinklų – **211 962,95 Eur/m.**, dėl dyzelinio kuro – **6 963,84 Eur/m.**, dėl LPG kuro – **3 504,04 Eur/m.**
2. Pajamų už pridėtinės vertės produkto gamybą (biokomposto) gamybą: priimama optimistinė prielaida, kad 1 t komposto kaina lygi 60 Eur dėl jo įpakavimo ir aukšto vertingumo. Iš viso pajamos siektų **242 082,6 Eur/m.**
3. Perteklinės elektros energijos iš AEI pardavimo į tinklus: parduodant 2483,31 MWh/m. elektros energijos pajamos – iki **162 695,32 Eur/m.**, kai 1 kWh kaina lygi 0,651 ct. pagal Valstybinės energetikos reguliavimo tarnybą¹. Atsiradus techninėms galimybėms ir parduodant šilumos energiją į tinklus papildomos pajamos siektų 384 846,99 Eur/m., kai 1 kWh kaina lygi 1,29 ct. (pagal šilumos (produkto) gamybos galutinę vienanarę kainą, nurodomą Kėdainių r. savivaldybės aptarnaujančio AB „Panevėžio energija“ tinklalapyje²)
4. Sutaupymų dėl oro taršos sumažėjimo – **3 585,25 Eur/m.**

Bendros planuojamos pajamos (be pajamų už šiluminės energijos perdavimą) lygios **364 312,64 Eur/m. arba 26,87 Eur/t MVA**

¹<https://www.regula.lt/elektra/Puslapiai/tarifai/elektros-energijos-perdavimo-paslaugos-kainos.aspx?fbclid=IwAR27JctO0qzNti6yRRE1bAM2iNjkT0jABvhQtFYWJTpi23WBHi5mHFSGCis>

² https://www.pe.lt/uploads/pdf/apie_bendrove/Silumos%20bazine%20kaina%20nuo%202020%20m.pdf

3.10 lentelė. 2 alternatyvos (MVA perdirbamos, gaminant elektros ir šilumos energiją bei biokompostą Zabieliškio MAR teritorijoje) įvedinių ir išvedinių lyginamosios analizės bei tiesioginių procesų kaštų ir planuojamų pajamų įvertinimo rezultatai

Proceso įvediniai		Esama situacija po 1 projekto įdiegimo			Po 2 alternatyvos įdiegimo			Sutaupoma(+) / sumažėja(-)	
	vnt.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/m.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Proceso srautai pradžioje (įvediniai)									
Rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA	t	13 558,00	0,00	0,00	13 558,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Žaliosios atliekos	t	0	0	0	2 500,00	0,00	0,00	-2 500,00	0,00
Cheminės medžiagos ir kt.									
<i>Probiotikai</i>	t	0	0	0	1,58	9 000,00	14 198,40	-1,58	-14 198,40
<i>Aktyvuota anglis biodujų valymui</i>	t	0	0	0	2,54	3 000,00	7 620,00	-2,54	-7 620,00
<i>Alyva</i>	kg	0	0	0	3,05	15,00	45,67	-3,05	-45,67
<i>Aušinimo skystis</i>	l	0	0	0	315	2,40	756,00	-315	-756,00
Aktyvuotos anglies filtro užpildas	t	4	150,00	600,00	4	150,00	600,00	0	0
Medžio skiedra biofiltro užpildui	t	0	0	0	10	45,00	450,00	-10	-450,00
Pakuotė									
<i>Pakavimo maišai kompostui (50 kg)</i>	vnt.	0	0	0	80 694	0,25	20 173,55	-80 694	-20 173,55
<i>Medinė pakuotė (paletės)</i>	vnt.	0	0	0	5 043	10,00	50 433,90	-5 043	-50 433,90
Vanduo (buitinėms reikmėms)	m ³	90,00	0,98	88,2	300	0,98	294,00	-210	-205,80
Vandens sąnaudos (aušinimo sist.)	m ³	0	0	0	56,00	0,98	54,88	-56,00	-54,88
Lietaus vanduo	m ³	1 576,00	0,00	0,00	2 800,00	0,00	0,00	-1 224,00	0,00
¹ Elektros energijos sąnaudos iš tinklų (MVA apd. / MVA ir MKA apd.)	MWh	110,38 / 737,8	287,31	31 711,84 / 211 962,95	0	0	0	110,38 / 737,8	31 711,84 / 211 962,95
¹ Elektros energijos sąnaudos (iš KJ)	MWh	0	0	0	737,80	0,00	0,00	-737,80	0,00
Dyzelinis kuras	l	12 693,00	1,56	19 801,08	8 229,0	1,56	12 837,24	4 464,00	6 963,84
LPG (patalpų apšildinimui)	t	3,28	1 068,00	3 503,0	0,00	1 068,00	0,00	3,28	3 503,04
² Šiluminės energijos sąnaudos (iš KJ)	MWh	0	0	0	630,5	0,00	0,00	-630,54	0
Benzinas (smulkintuvui)	l	0,0	1,85	0,0	3 026,7	1,85	5 599,34	-3 026,67	-5 599,34
Reisų skaičius	vnt.	567	-	-	269	-	-	298	-
Darbuotojų etatai (bruto)	vnt.	3	22 800,0	68 400,0	10	22 800,00	22 800,00	-7	-159 600,00
Proceso srautai pabaigoje (išvediniai)									
Priemaišos	t	949,06	44,00	41 758,64	1 087,06	44,00	47 830,64	-138,00	-6072,00
Energijos nuostoliai	MWh	0	-	-	1 177,92	-	-	-1 177,92	-
Buitinės nuotekos	m ³	90,00	1,20	108,00	300,00	1,20	360,00	-210,00	-252,00
Proceso įvediniai		Esama situacija po 1 projekto įdiegimo			Po 2 alternatyvos įdiegimo			Sutaupoma(+) / sumažėja(-)	
	vnt.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.	Vnt./m.	EUR/m.

Oro tarša (po filtro)	t	11,96	316,48	3785,14	0,5	316,48	86,05	11,46	3 699,09
Oro tarša (iš kogeneracinės)	t	0,00	238,40	0,00	0,6	238,40	113,84	-0,55	-113,84
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
³ ŠESD (bendrai), įsk.:	t CO _{2e}	140,47	-	-	74,57	-	-	65,90	-
ŠESD (dėl dyz. kuro sąnaudų)	t CO _{2e}	33,88	-	-	21,97	-	-	11,91	-
ŠESD (dėl benz. kuro sąnaudų)	t CO _{2e}	0,00	-	-	7,29	-	-	-7,29	-
ŠESD (dėl LPG sąnaudų)	t CO _{2e}	10,27	-	-	0,00	-	-	10,27	-
ŠESD (dėl biudujų deginimo KJ)	t CO _{2e}	0	-	-	3,81	-	-	-3,81	-
ŠESD (dėl kompostavimo)	t CO _{2e}	0,00	-	-	36,93	-	-	-36,93	-
ŠESD (netiesioginis dėl elektros sąnaudų)	t CO _{2e}	46,36	-	-	0,00	-	-	46,36	-
ŠESD (netiesioginis dėl transportavimo)	t CO _{2e}	49,96	-	-	4,57	-	-	45,39	-
Sumažėja (+) / padidėja (-) tiesioginiai MVA apdorojimo procesų kaštai (be PVM), tūkst. Eur/m.:									-39,45
³ Produktų gamyba ir pajamos (P) dėl produktų pardavimo:									
Pasterizuota biomasė	t	14 184,94	0,00	0,00 (P)	0,00	0,00	0,00	-14 184,94 negaminamas	0,00 (P)
Pagaminta biokomposto	t	0	0	0	4 034,71	60,00	242 082,60 (P)	4 034,71	242 082,60 (P)
Perteklinė elektros energija į tinklus	MWh	0	0	0	2 483,51	65,10	161 676,50 (P)	2 483,51	161 676,50 (P)
Perteklinė šilumos energija	MWh	0	0	0	2 983,31	0,00	0,00 (P)	2 983,31	0,00 (P)
Projekto įdiegimo pajamos (be PVM), tūkst. Eur/m.:									403,76
1 alternatyvos įdiegimo ekonominė nauda (be PVM), tūkst. Eur/m.:									364, 31

Pastabos:

¹ Elektros energijos sąnaudos MVA apdorojimo procesui 310,25 MWh/m., papildomos sąnaudos kompostavimui – 195,94 MWh/m., MKA apdorojimui – 231,56 MWh/m. (žr. 3.8 lentelę)

² Šilumos energijos sąnaudos MVA apdorojimo pastatui 40,43 MWh/m., papildomos sąnaudos kompostavimui – 585,33 MWh/m., MKA BA pastato šildymui 4,78 MWh/m. (žr. 3.9 lentelę)

³ šioje lentelėje neįvertintos CO₂ kompensavimo priemonės:

- ŠESD sumažėjimas esamos situacijos po 1 projekto įdiegimo atveju, dėl AEI naudojimo vietoje iškastinio kuro iki 1 354,59 t CO_{2e}/m. (žr. 3.2 poskyrį)
- ŠESD sumažėjimas 2 alternatyvos įdiegimo atveju, dėl AEI tiekimo į tinklus (įvertintas VAP sumažėjimas nuo 1 043,07 t CO_{2e}/m.);
- ŠESD sumažėjimas 2 alternatyvos įdiegimo atveju, naudojant biokompostą vietoj cheminių medžiagų, kurių gamybai sunaudojama nemažai elektros ir šiluminės energijos (įvertintas VAP sumažėjimas iki 396,65 t CO_{2e}/m.).

Bendras 2 alternatyvos įdiegimo poveikio VAP sumažėjimas dėl ŠESD, įvertinus tiesioginį ir netiesioginį poveikį bei CO₂ kompensavimo priemones – 151,04 t CO_{2e}/m. arba 11 kg CO_{2e}/t MVA.

Projekto investicinė analizė

3.11 lentelė. MVA perdirbimo procesų optimizavimui reikalingos investicijos, įgyvendinant 2 alternatyvą

Pavadinimas	Paskirtis	vnt.	tūkst. Eur/vnt.	tūkst. EUR (iš viso)
¹ Zabielišio MAR stoginės šalia BA pastato rekonstrukcija	Teritorija digestato ir ŽA kompostavimui	1	302,18	302,18
² Biofiltras	„Hartmann“ 2-jų pakopų biofiltras oro iš digestato ir ŽA kompostavimo patalpos valymui	1	85,00	85,00
³ Anaerobinio apdorojimo sistema ir biodujų kogeneracinė jėgainė (KJ)	Biodujų gamybos sistema (4 vnt. x 105 m ³ „Antec Biogas“ anaerobinio apdorojimo reaktoriai, buferinės talpos substratų maišymui ir biomasės šildymui). Konteinerinė KJ su vidaus degimo varikliu (bendra galia iki 1 MW, n.k. 85,3 proc.). Biodujų nusausinimo sistema, biodujų nusierinimo įrenginys, stacionarus biodujų analizatorius (H ₂ S; CH ₄ ; O ₂). Biodujų saugykla: V –4560 m ³ (d – 22,0 m, h – 16,5 m) arba 2 vnt. x 2150 m ³ (d – 17,2 m, h – 12,9 m).	1	6 000,00	6 000,00
⁴ Raugo / digestato nusausinimo įrenginys	„Biogreenline“ sausinimo įrenginys (našumas iki 12 t/val., nusausinimas iki 30 proc. SM)	1	80,00	80,00
¹ Smulkintuvas	Medienos atliekų smulkinimui prieš maišymą su raugu ir kompostavimą	1	60,00	60,00
⁵ Teleskopinis krautuvai	Kaupų formavimui komposto brandinimo teritorijoje, buvusioje ŽAKA aikštelėje	1	90,00	90,00
⁶ Konteineriai	10 m ³ konteineriai skirti išrūšiuotų pakuočių laikymui	3	4,00	12,00
¹ Komposto parametrų matavimo daviklis	Temperatūros, drėgmės ir kitų parametrų matavimo daviklis	30	0,15	4,500
¹ Aplinkosauginių dokumentų paruošimas	PŪV dokumentų atranka dėl PAV, PVSV (SAZ ribų patikslinimui), TIPK leidimo koregavimas	1	25,00	25,00
¹ Komposto dozavimo / pakavimo įrenginys	Komposto pakavimas į 50 kg maišus	1	25,00	25,00
Iš viso projekto bendros investicijos (be PVM), Eur				6 683,68

¹ Pagal informaciją pateiktą 2022 m. galimybių studijoje „Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse“ [6]

² Pagal tiekėjo teikiamą informaciją <https://www.hartmann-biofilter.de/en/>

³ Pagal įdiegto projekto pavyzdį, 3100 t biomasės anaerobinio apdorojimo, biodujų valymo, KJ įdiegimo sistemos kaina 1 mln. Eur – mūsų atveju apdorojant ~18 900 t biomasės kaina skaičiuojama atitinkamai iki 6 mln. Eur. [71]

⁴ Pagal tiekėjo teikiamą informaciją <https://biogreenline.ch/separators/>

⁵ Pagal informaciją teikiamą interneto svetainėje <https://www.statybutechnika.eu/>

⁶ Pagal informaciją teikiamą interneto svetainėje <http://www.modul.lt>

Projekto atsipirkimo trukmė apskaičiuojama remiantis 3 formule, kai įdiegus projektą planuojama sutaupyti 364,31 tūkst. Eur/m., o projekto investicijos siekia 6 683,68 tūkst. Eur:

$$AT = 6\,683,68 \text{ tūkst. Eur} \div 364,31 \text{ tūkst. Eur} = 18,4 \text{ m.}$$

4. Rekomendacijos rūšiuojamuoju būdu surinktų maisto ir virtuvės atliekų apdorojimo technologijų įdiegimui Kauno regione

Apibendrinti MVA tvarkymo alternatyvų techninio, aplinkosauginio ir ekonominio vertinimo rezultatai pateikiami 4.1 lentelėje. Rezultatai vertinami kaip rekomendacijos Kauno RATC optimizuojant MVA valdymo procesą – pereinant nuo paruošimo perdirbimui iki perdirbimo gaminant aukštesnės pridėtinės vertės produktus.

4.1 lentelė. MVA apdorojimo alternatyvų techninės, aplinkosauginės ir ekonominės analizės rezultatų palyginimas

	Pasterizuotos biomasės perdavimas (esama situacija)	Bio–CH ₄ , bio–CO ₂ ir biokomposto gamyba (1 alternatyva)	Biodujų deginimas KJ, alternatyvios energijos ir biokomposto gamyba (2 alternatyva)
Techninis įvertinimas			
Reikalinga įsigyti nauja įranga	-	Biofiltras, anaerobinio apdorojimo, biodujų valymo, gryninimo ir skystinimo sistema, diskinis sraigtinis presas, smulkintuvas, krautuvas, komposto parametų davikliai, komposto dozavimo ir pakavimo įrenginys, oro šildytuvai, konteineriai.	Biofiltras, anaerobinio apdorojimo, biodujų saugyklos, KJ su energijos paskirstymo sistema, diskinis sraigtinis presas, smulkintuvas, krautuvas, komposto parametų davikliai, komposto dozavimo ir pakavimo įrenginys, konteineriai.
Infrastruktūra	-	Stoginės šalia BA pastato rekonstrukcija	
¹ Aplinkosauginis įvertinimas			
² Pagamintas produkcijos kiekis	Pasterizuota biomasė: 14 184,0 t/m. arba 1,1 t/t MVA	Bio–CH ₄ : 568,58 t/m. arba 45,1 kg/t MVA Bio–CO ₂ : 890,08 t/m. arba 70,6 kg/t MVA Biokompostas: 4034,71 t/m. arba 320,0 kg/t MVA	Elektros energija 3 221,22 MWh/m. arba 255,5 kWh/t MVA Šilumos energija 3 613,85 MWh/m. arba 286,6 kWh/t MVA Biokompostas: 4 034,71 t/m. arba 320,0 kg/t MVA
Tiesioginis poveikis VAP dėl ŠESD (dėl procesų)	44,15 t CO _{2e} /m.	127,28 t CO _{2e} /m.	69,99 t CO _{2e} /m.
Netiesioginis poveikis VAP dėl ŠESD (dėl elektros sąnaudų)	46,36 t CO _{2e} /m.	384,74 t CO _{2e} /m.	0 t CO _{2e} /m.
Netiesioginis poveikis VAP dėl ŠESD (dėl transportavimo)	49,96 t CO _{2e} /m.	5,21 t CO _{2e} /m.	4,57 t CO _{2e} /m.
Poveikio klimato kaitai sumažėjimas dėl CO ₂ kompensavimo	1 354,59 t CO _{2e} /m.	Nuo 1 969,78 iki 2 399,05 t CO _{2e} /m.	1 439,72 t CO _{2e} /m.
³ Aplinkosauginis veiksmingumas (dėl poveikio klimato kaitai)	-	18–49 kg CO _{2e} /t MVA	11 kg CO _{2e} /t MVA

Ekonominis įvertinimas			
Pajamos	0 Eur/t MVA	60,9 Eur/t MVA	26,87 Eur/t MVA
Atsipirkimo trukmė	-	7,52 metai	18,35 metai
Investicijos	-	6 124 883,00 Eur arba 452,00 Eur/t MVA arba 9 173,11 Eur/t CO _{2e} sumažinti	6 683 683,00 Eur arba 493,00 Eur/t MVA arba 44 251,08 Eur/t CO _{2e} sumažinti

Pastabos:

¹ Žalia spalva žymi VAP dėl ŠESD sumažėjimą, o raudona spalva – padidėjimą, lyginant su esama situacija po 1 projekto įdiegimo;

² Pateikti santykiniai aplinkosauginiai indikatoriai (AAIs) apskaičiuojami pagal formulę 2 ir nurodo, kiek produkcijos pagaminama iš 1 t MVA (kai MVA kiekis be priemaišų 12 609 t/m.);

³ Aplinkosauginis veiksmingumas klimato kaitos mažinimo srityje apskaičiuojamas 1 t MVA, kai MVA kiekis 13 558 t (vertinama pagal formulę 1.2).

1-oji alternatyva vertinama kaip palankesnė ir yra rekomenduojama įdiegti dėl:

- 37–77 proc. didesnio poveikio klimato kaitai sumažėjimo – VAP dėl ŠESD 1 alternatyvos atveju sumažėja 238,43–667,70 t CO_{2e}/m. arba 18–49 kg CO_{2e}/t (priklausomai kokio tipo iškastinį kurą, atitinkamai gamtines dujas ar dyzelino kurą, pakeičia bio-CH₄ transporto sektoriuje), o 2 alternatyvos atveju sumažėja 151 t CO_{2e}/m.;
- 55 proc. didesnių pajamų už pridėtinės vertės produktų pardavimą: 1 alternatyvos atveju – 60,9 Eur/t MVA, 2 alternatyvos atveju – 26,87 Eur/t MVA;
- 2,4 karto trumpesnės atsiperkamumo trukmės: 1 alternatyvos atveju – 7,5 metai, 2 alternatyvos atveju – 18,4 metai;
- 8 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant apdoroti 1 toną MVA: 1 alternatyvos atveju – 452,00 Eur/t MVA, 2 alternatyvos atveju – 493,00 Eur/t MVA;
- 79 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant sumažinti klimato kaitą apdorojant MVA (t.y. sumažinti 1 toną CO_{2e}): 1 alternatyvos atveju – 9 173,11 Eur/t CO_{2e}, 2 alternatyvos atveju – 44 251,08 Eur/t CO_{2e}.

Išvados

1. Atlikus mokslinės, praktinės literatūros ir teisės aktų analizę galima teigti, kad tinkamas maisto ir virtuvės atliekų (MVA) valdymas mažina neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai, skatina tausų, efektyvų ir racionalų gamtos išteklių valdymą. Planuojant rūšiuojamuoju būdu surenkamų MVA infrastruktūrą, svarbu atsižvelgti į jos patogumą gyventojui, nustatyti konkrečius reikalavimus, didinti gyventojų sąmoningumą ir komunikuoti infrastruktūros įdiegimo priežastis ir privalumus. Pirmenybė tvarkant maisto ir virtuvės atliekas turi būti teikiama biodujų gamybai bei likutinio substrato kompostavimui užtikrinant darnų ir kokybišką pridėtinių vertės produktų gamybą. Pramoninės ekologijos metodų (srautų dematerializavimo ir pramoninės simbiozės) taikymas lemia taršos ir atliekų prevenciją bei didina išteklių atgavimo potencialą.
2. Kauno regione Zabieliškio MAR teritorijoje šiuo metu yra planuojama įdiegti rūšiuojamuoju būdu surinktų MVA paruošimui apdoroti infrastruktūrą. Visų pirma, MVA bus išgryninamos, t.y. iš jų bus pašalinamos priemaišos (apie 7 proc.), toliau biomasė bus pasterizuojama iki 1 val. 70 °C temperatūroje, aušinama ir perduodama kitoms biodujų gamybos įmonėms. Įdiegus atskirą MVA surinkimą ir planuojamą paruošimą perdirbimui, iš mišraus komunalinių atliekų srauto būtų pašalinta apie 14 tūkst. t/m. biologiškai skaidžių atliekų. Tai lemtų nevertingo stabilato kiekio sumažėjimą ir mažesnę mišrių komunalinių atliekų užterštumą organinėmis medžiagomis, dėl ko galima būtų tikėtis geresnių antrinių žaliavų išrūšiavimo rezultatų.
3. Siekiant sumažinti poveikį klimato kaitai dėl transportavimo ir vietoje išnaudoti išskirtą MVA energetinį ir medžiaginį potencialą, darbe pasiūlytos ir detalios išnagrinėtos 2 alternatyvos, kuriose taikomi pramoninės ekologijos metodai: dematerializavimas per taršos prevenciją ir pramoninis metabolizmas, realizuojant pramoninę simbiozę. Abiejose alternatyvose siūloma išskirtas MVA nukreipti į MAR teritorijoje įdiegtą anaerobinį apdorojimą termofilinėmis sąlygomis, taip gaminti biodujas, o gautąjį raugą toliau tvarkyti su Kauno regione arčiau MAR surenkamomis žaliosiomis atliekomis (ŽA) ir gaminant iki 4 tūkst. t/m. biokomposto, kuris praktiškai pagal visus šio produkto kokybės kriterijus yra žymiai didesnio vertingumo, palyginti su ŽA kompostu.
4. Pirmosios alternatyvos realizavimo atveju siūloma įrengti kriogeninį biodujų išgryninimo ir suskystinimo sistemą ir kasmet gaminti iki 0,6 tūkst. t bio-CH₄ ir iki 0,9 tūkst. t bio-CO₂. Pagamintas suskystintas bio-CH₄ gali būti naudojamas kaip transporto sektoriuje (vietoje iškastinio kuro), taip ir pramonės sektoriuose (įmonių dujų degikliuose). Suskystintas bio-CO₂ gali būti naudojamas apdirbamosios ir kitos pramonės įmonėse. Šios alternatyvos įdiegimas leistų sumažinti poveikį klimato kaitai dėl ŠESD, kurios tiesiogiai ir netiesiogiai susidaro MVA apdorojimo ir alternatyvios energijos gamybos procesuose bei transportuojant tarpinius ir galutinius produktus. Laukiamas minimalus VAP sumažėjimas – 283,43 t CO_{2e}/m. arba 18 kg CO_{2e}/t MVA, maksimalus – 667,70 t CO_{2e}/m. arba 49 kg CO_{2e}/t MVA. Projekto investicijų (6,12 mln. Eur arba 452,00 Eur/t MVA) atsiperkamumo trukmė – 7,5 metai.
5. Antros alternatyvos įdiegimo atveju siūloma MAR teritorijoje gaminti alternatyvią elektros ir šilumos energiją, biodujas deginant kogeneracinėje jėgainėje, pagamintą energiją visų pirma panaudoti nuosaviems reikmėms (iki 23 proc. elektros ir iki 17 proc. šiluminės energijos). Ekonominė nauda pastebima tik dėl perteklinės elektros energijos ir biokomposto pardavimo, kadangi atsiranda sunkumai dėl perteklinės šiluminės energijos realizavimo. Būtent todėl projekto investicijų (6,68 mln. Eur arba 493,00 Eur/t MVA) atsiperkamumo trukmė – 18,4 metų, o šios

alternatyvos aplinkosauginė nauda mažinant VAP yra mažesnė, palyginti su 1–ąja alternatyva: laukiamas ŠESD sumažėjimas 151,04 t CO_{2e}/m. arba 0,011 t CO_{2e}/t MVA.

6. Tyrimo rezultatai parodė, kad MVA valdymas be pramoninės simbiozės yra sunkiai įgyvendinamas. Šiuo atveju pramoninės simbiozės metodai taikomi kaip MVA apdorojimo procesuose, taip ir realizuojant gaminamus produktus. Optimizuojant MVA valdymo procesą, Kauno RATC rekomenduojama realizuoti 1-oje alternatyvoje siūlomus sprendimus dėl 37–77 proc. mažesnio poveikio klimato kaitai dėl ŠESD, 55 proc. didesnių pajamų už pridėtinės vertės produktų pardavimą, 2,4 kartus trumpesnės atsiperkamumo trukmės, 8 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant apdoroti 1 toną MVA ir 79 proc. mažesnio investicijų poreikio siekiant sumažinti klimato kaitą apdorojant MVA (t.y. sumažinti 1 toną CO_{2e}).

Literatūros sąrašas

1. THAKALI, A., MACRAE, J.D., ISENHOUR, C. and BLACKMER, T. Composition And Contamination Of Source Separated Food Waste From Different Sources And Regulatory Environments. *Journal Of Environmental Management*. Interaktyvus. 314 (2022), 115-125. ISSN 0301-4797. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115043>. [žiūrėta 2023-03-23].
2. EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. *Bio-Waste In Europe: Turning Challenges Into Opportunities*. Interaktyvus. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-9480-223-1. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe> [žiūrėta 2023-03-23].
3. TRABOLD, T. and C.W. BABBITT. *Sustainable Food Waste-To-Energy Systems: Environmental Aspects Of Food Waste-To-Energy Conversion* Interaktyvus. United States: Elsevier Science Technology, 2018. ISBN 978-0-12-811157-4. Prieiga per: http://ebookcentral.proquest.com/lib/SITE_ID/reader.action?docID=5510598&ppg=192 ISBN 9780128111574. DOI 10.1016/B978-0-12-811157-4.00010-3. [žiūrėta 2023-03-23].
4. EUROPOS PARLAMENTAS IR TARYBA. *Direktyva (ES) 2018/851 2018 m. gegužės 30 d., kuria iš dalies keičiama direktyva 2008/98/EB dėl atliekų*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2018-05-30. Prieiga per: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>. [žiūrėta 2023-03-23].
5. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Nutarimas Nr. 519 dėl valstybinio atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 metų plano patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2022-06-02., TAR 2002 Nr. 40-1499; 2022 Nr. 573. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.164386/asr>. [žiūrėta 2022-06-02].
6. MULIUOLĖ, I., ir kt. *Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse*. Galimybių Studija. 2022. [žiūrėta 2023-03-23].
7. EUROPOS KOMISIJA. *Komisijos komunikatas Europos Parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui COM (2014) 398 žiedinės ekonomikos kūrimas. Europos be atliekų programa*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2014-09-25. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52014DC0398> [žiūrėta 2023-03-23].
8. EUROPOS KOMISIJA. *Komisijos komunikatas Europos Parlamentui, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui COM (2017) 33 dėl žiedinės ekonomikos veiksmų plano įgyvendinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2017-01-26. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:52017DC0033> [žiūrėta 2023-03-23].
9. EUROPOS PARLAMENTAS IR TARYBA. *Direktyva (ES) 2018/2001 2018 m. gruodžio 11 d. dėl skatinimo naudoti atsinaujinančiųjų išteklių energiją*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2018-12-11. Prieiga per: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2022-06-07> [žiūrėta 2023-03-23].
10. EUROPOS KOMISIJA. *Reglamentas (ES) Nr. 142/2011 2011 m. vasario 25 d., kuriuo įgyvendinami Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (EB) Nr. 1069/2009, kuriuo nustatomos žmonėms vartoti neskirtų šalutinių gyvūninių produktų ir jų gaminių sveikumo taisyklės, ir Tarybos direktyva 97/78/EB dėl tam tikrų mėginių ir priemonių, kuriems netaikomi veterinariniai tikrinimai pasienyje pagal tą direktyvą tekstas svarbus EEE*. Interaktyvus. Prieiga per: <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/142/2022-04-17> [žiūrėta 2023-03-23].

11. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Nutarimas Nr. 519 dėl valstybinio atliekų tvarkymo 2014-2020 metų plano patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2002-04-12. Žin., 2002 Nr. 40-1499; TAR 2014 Nr.04989, 2018 Nr. 12013. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/8a7c3ca0cfa811e39b2ab5bbcc4f49fb?jfwid=-aspkd2bh5> [žiūrėta 2023-03-23].
12. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. *Įsakymas Nr. 217 dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2023-01-31. Žin., 1999 Nr. 63-2065; 2012 Nr. 16-697; TAR 2014 Nr. 02422; 2018 Nr. 19783. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302/asr> [žiūrėta 2023-03-23].
13. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. *Įsakymas Nr. D1-57 dėl biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2007-01-25. Žin., 2007 Nr. 23-902; TAR 2016 Nr.0488, 2020 Nr. 24830. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.292658/asr> [žiūrėta 2023-03-23].
14. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŽEMĖS ŪKIO MINISTRAS. *Įsakymas Nr. 3D-292 dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų tręšimo produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų tręšimo produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2019-05-10. TAR, 2019-05-10, Nr. 7514. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/5f775de0735a11e99ceae2890faa4193?jfwid=i3h7wd9cb> [žiūrėta 2023-03-23].
15. STAUGAITIS, ir kt.. *Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas*. Mokslinio tiriamojo darbo galutinė ataskaita. Interaktyvus. (2016). Prieiga per <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/TYRIMAI%20IR%20ANALIZES/0_184367001489675205.pdf>. [žiūrėta 2023-03-23].
16. E. FAVOINO, M. GIAVINI ir M. RUPP. *Bio-waste generation in the EU: current capture levels and future potential*. Interaktyvus. (2020). Prieiga per: <https://zerowasteeurope.eu/library/bio-waste-generation-in-the-eu-current-capture-levels-and-future-potential/> [žiūrėta 2023-03-23].
17. EUROPEAN COMPOST NETWORK. *Guidance on separate collection: the untapped potential and steps forward for separate collection of household food waste for high-quality recycling*. Interneto puslapis. Prieiga per: www.ecn-qas.eu [žiūrėta 2023-05-06].
18. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Mišrių komunalinių atliekų sudėties tyrimai ir biologiškai skaidžių atliekų vertinimas*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/atlieku-apskaita/misriu-komunaliniu-atlieku-sudeties-tyrimai-ir-biologiskai-skaidziu-atlieku-vertinimas> [žiūrėta 2023-03-23].
19. KLIPOVA, I. Evaluation of Green Waste Composting Possibilities. *Environmental Research, Engineering and Management*. Interaktyvus. (2013), 65, 6-19. ISSN: 2029-2139. Prieiga per: doi: 10.5755/j01.erem.65.3.4680. [žiūrėta 2023-03-23].
20. VŠĮ "ŠIAULIŲ REGIONO ATLIEKŲ TVARKYMO CENTRAS". *Ruošiantis 2024 metams, sėkmingai funkcionuojantys 8 maisto atliekų konteineriai Šiauliuose mieste*. Interneto puslapis. Prieiga

per: <https://www.sratc.lt/naujienos/ruosiantis-2024-metams-sekmingai-funkcionuojantys-8-maisto-atlieku-konteineriai-siauliu-mieste/> [žiūrėta 2023-03-23].

21. OFICIALIOSIOS STATISTIKOS PORTALAS. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/> [žiūrėta 2023-03-23].

22. PHAM, T.P.T., et al. Food Waste-to-Energy Conversion Technologies: Current Status and Future Directions. *Waste Management (Elmsford)*. Interaktyvus. (2015), 38. 399-408. ISSN-:0956053X. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wasman.2014.12.004.[žiūrėta 2023-03-26].

23. DROSG, B., BRAUN, R., BOCHMANN, G. and SAEDI, T. *The Biogas Handbook: Analysis and Characterisation of Biogas Feedstocks*. Interaktyvus. Soston: Woodhead Publishing, 2013. ISBN 9780857094988. Prieiga per: Science Direct, doi 10.1533/9780857097415.1.52. [žiūrėta 2023-03-23].

24. YUKESH KANNAH, R., et al. Food Waste Valorization: Biofuels and Value Added Product Recovery. *Bioresource Technology Reports*. Interaktyvus. (2020), 11, 14-24. ISSN 2589-014X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100524>. [žiūrėta 2023-03-26].

25. SHARMA, P., GAUR, V.K., KIM, S. and PANDEY, A. Microbial Strategies for Bio-Transforming Food Waste into Resources. *Bioresource Technology*. Interaktyvus. (2020), 299, 122-180. ISSN 0960-852. Prieiga per: doi: 10.1016/j.biortech.2019.122580. [žiūrėta 2023-03-26].

26. SRIDHAR, A., et al. Conversion of Food Waste to Energy: A Focus on Sustainability and Life Cycle Assessment. *Fuel (Guildford)*. Interaktyvus. (2021), 3, 35. ISSN 0016-2361. Prieiga per: doi: 10.1016/j.fuel.2021.121069. [žiūrėta 2023-03-26].

27. GUVEN, H., WANG, Z. and ERIKSSON, O. Evaluation of Future Food Waste Management Alternatives in Istanbul from the Life Cycle Assessment Perspective. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. 239 (2019), 117-199. ISSN 0959-6526. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117999. [žiūrėta 2023-03-23].

28. AZIM, K., et al. Composting Parameters and Compost Quality: A Literature Review. *Organic Agriculture*. Interaktyvus. 8 (2018), 2, 141-158. ISSN 1879-4246. Prieiga per: doi: 10.1007/s13165-017-0180-z. [žiūrėta 2023-04-02].

29. CHOZHAVENDHAN, S., et al. Current and Prognostic Overview on the Strategic Exploitation of Anaerobic Digestion and Digestate: A Review. *Environmental Research*. Interaktyvus. 216 (2023), 114-526. ISSN ISSN-:00139351. Prieiga per: doi: 10.1016/j.envres.2022.114526. [žiūrėta 2023-04-02].

30. KASINATH, A., et al. Biomass in Biogas Production: Pretreatment and Codigestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Interaktyvus. 150 (2021), 8, 111-509. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2021.111509. [žiūrėta 2023-04-02].

31. PARITOSH, K., et al. Food Waste to Energy: An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling. *BioMed Research International*. Interaktyvus. 217 (2017), 29-27. ISSN 2314-6133. Prieiga per: doi: 10.1155/2017/2370927. [žiūrėta 2023-03-26].

32. CHEW, K.R., et al. Effects of Anaerobic Digestion of Food Waste on Biogas Production and Environmental Impacts: A Review. *Environmental Chemistry Letters*. Interaktyvus. 19 (2021), 4, 2921-2939. ISSN 1610-3653. Prieiga per: doi: 10.1007/s10311-021-01220-z. [žiūrėta 2023-03-26].

33. SHI, X., et al. A Comparative Study of Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Wheat Straw: Process Stability and Microbial Community Structure Shifts. *Waste Management (Elmsford)*. Interaktyvus. 75 (2018), 3, 261-269. ISSN 0956-053X. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wasman.2018.02.004. [žiūrėta 2023-03-26].
34. BENYAHYA, Y., FAIL, A., ALALI, A. and SADIK, M. Recovery of Household Waste by Generation of Biogas as Energy and Compost as Bio-Fertilizer: A Review. *Processes*. Interaktyvus. 10 (2022), 1, 22. ISSN 2227-9717. Prieiga per: doi: 10.3390/pr10010081. [žiūrėta 2023-03-26].
35. ANGELONIDI, E. and SMITH, S. A Comparison of Wet and Dry Anaerobic Digestion Processes for the Treatment of Municipal Solid Waste and Food Waste. *Water and Environment Journal*. Interaktyvus. 29 (2015), 549-557. Prieiga per: doi: 10.1111/wej.12130. [žiūrėta 2023-04-02].
36. LI, L., PENG, X., WANG, X. and WU, D. Anaerobic Digestion of Food Waste: A Review Focusing on Process Stability. *Bioresource Technology*. Interaktyvus. 248 (2018), 20-28. ISSN 0960-8524. Prieiga per: doi: 10.1016/j.biortech.2017.07.012. [žiūrėta 2023-03-26].
37. F.G. FONTANALS. *The Best Way to Optimize Bio-Waste Collection in My City*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://zerowasteurope.eu/kiel2019/en/> [žiūrėta 2023-03-23].
38. SLORACH, P.C., JESWANI, H.K., CUÉLLAR-FRANCA, R. and AZAPAGIC, A. Environmental Sustainability of Anaerobic Digestion of Household Food Waste. *Journal of Environmental Management*. Interaktyvus. 236 (2019), 798-814. ISSN 0301-4797. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.001>. [žiūrėta 2023-04-02].
39. MORALES-POLO, C., CLEDERA-CASTRO, M. and MORATILLA SORIA, B.Y. Reviewing the Anaerobic Digestion of Food Waste: From Waste Generation and Anaerobic Process to its Perspectives. *Applied Sciences*. Interaktyvus. 8 (2018), 10. ISSN 2076-3417. Prieiga per: doi: 10.3390/app8101804. [žiūrėta 2023-04-02].
40. ELGARAHY, A.M., et al. Sustainable Management of Food Waste, Pre-Treatment Strategies, Techno-Economic Assessment, Bibliometric Analysis, and Potential Utilizations: A Systematic Review. *Environmental Research*. Interaktyvus. 225 (2023), 115-158. ISSN 0013-9351. Prieiga per: doi: 10.1016/j.envres.2023.115558. [žiūrėta 2023-03-15].
41. CHEN, X., YAN, W., SHENG, K. and SANATI, M. Comparison of High-Solids to Liquid Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Green Waste. *Bioresource Technology*. Interaktyvus. 154 (2014), 4, 215-221. ISSN 0960-8524. Prieiga per: doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.054. [žiūrėta 2023-03-26].
42. ZHANG, L., et al. Highly Efficient Anaerobic Co-Digestion of Food Waste and Horticultural Waste using a Three-Stage Thermophilic Bioreactor: Performance Evaluation, Microbial Community Analysis, and Energy Balance Assessment. *Energy Conversion and Management*. Interaktyvus. 223 (2020), 3, 113-290. ISSN 0196-8904. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enconman.2020.113290. [žiūrėta 2023-03-26].
43. GALLIPOLI, A., et al. Kitchen Waste Valorization through a Mild-Temperature Pretreatment to Enhance Biogas Production and Fermentability: Kinetics Study in Mesophilic and Thermophilic Regimen. *Journal of Environmental Sciences*. Interaktyvus. 89 (2020), 167-179. ISSN 1001-0742. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jes.2019.10.016. [žiūrėta 2023-03-26].

44. RABII, A., ALDIN, S., DAHMAN, Y. and ELBESHBISHY, E. A Review on Anaerobic Co-Digestion with a Focus on the Microbial Populations and the Effect of Multi-Stage Digester Configuration. *Energies*. Interaktyvus. 12 (2019), 11-16. Prieiga per: doi: 10.3390/en12061106. [žiūrėta 2023-04-02].
45. WOON, K.S., LO, I.M.C., CHIU, S.L.H. and YAN, D.Y.S. Environmental Assessment of Food Waste Valorization in Producing Biogas for various Types of Energy use Based on LCA Approach. *Waste Management*. Interaktyvus. 50 (2016), 290-299. ISSN 0956-053X. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wasman.2016.02.022. [žiūrėta 2023-04-02].
46. STUNZENAS, E. and KLIPOVA, I. Optimizing Municipal Biodegradable Waste Management System to Increase Biogas Output and Nutrient Recovery: A Case Study in Lithuania. *Energy Procedia*. Interaktyvus. 147 (2018), 641-648. ISSN 1876-6102. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2018.07.083. [žiūrėta 2023-04-02].
47. SLORACH, P.C., JESWANI, H.K., CUÉLLAR-FRANCA, R. and AZAPAGIC, A. Assessing the Economic and Environmental Sustainability of Household Food Waste Management in the UK: Current Situation and Future Scenarios. *The Science of the Total Environment*. Interaktyvus. 710 (2020), 135-180. ISSN 0048-9697. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135580>. [žiūrėta 2023-04-02].
48. HUTTUNEN, S., MANNINEN, K. and LESKINEN, P. Combining Biogas LCA Reviews with Stakeholder Interviews to Analyse Life Cycle Impacts at a Practical Level. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. 80 (2014), 5-16. ISSN 0959-6526. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.081>. [žiūrėta 2023-04-02].
49. FEIZ, R., et al. Key Performance Indicators for Biogas Production – Methodological Insights on the Life-Cycle Analysis of Biogas Production from Source-Separated Food Waste. *Energy (Oxford)*. Interaktyvus. 200 (2020), 117-462. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117462>. [žiūrėta 2023-04-02].
50. ORECCHINI, F., SANTIANGELI, A. and ZUCCARI, F. Biomethane use for Automobiles Towards a CO₂-Neutral Energy System. *Clean Energy*. Interaktyvus. 5 (2021), 1, 124-140. ISSN 2515-4230. Prieiga per: doi: 10.1093/ce/zkab001. [žiūrėta 2023-04-02].
51. OU, H.W., et al. Long-Term Evaluation of Activated Carbon as an Adsorbent for Biogas Desulfurization. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Interaktyvus. 70 (2020), 6, 641-648. ISSN 1096-2247. Prieiga per: doi: 10.1080/10962247.2020.1754305. [žiūrėta 2023-04-02].
52. STUNŽENAS, Edgaras. *Pramoninės ekologijos metodų taikymas maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu*. Daktaro Disertacija. Interaktyvus. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, 2022. Prieiga per: <http://ktu.edu>. [žiūrėta 2023-04-02].
53. C. WELSCH. *A Cleaner Way to Get Around Town: German Biogas Transport Company Envisions Fleets of City Buses Powered by Liquid Biomethane*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.eib.org/en/stories/german-biogas-transport>. [žiūrėta 2023-04-02].
54. ZERO EMISSION NETWORK. *Briefing on Carbon Dioxide Specifications for Transport. 1st Report of the Thematic Working Group on CO₂ Transport, Storage and Networks*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://ccuszen.eu/> [žiūrėta 2023-05-12].

55. ZHANG, Y., BANKS, C.J. and HEAVEN, S. Anaerobic Digestion of Two Biodegradable Municipal Waste Streams. *Journal of Environmental Management*. Interaktyvus. 104 (2012), 166-174. ISSN 0301-4797. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jenvman.2012.03.043. [žiūrėta 2023-04-02].
56. TONG, H., et al. A Comparative Life Cycle Assessment on Four Waste-to-Energy Scenarios for Food Waste Generated in Eateries. *Applied Energy*. Interaktyvus. 225 (2018), 1143-1157. ISSN 0306-2619. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.062>. [žiūrėta 2023-04-02].
57. DI MARIA, F., MICALE, C., CONTINI, S. and MORETTINI, E. Impact of Biological Treatments of Bio-Waste for Nutrients, Energy and Bio-Methane Recovery in a Life Cycle Perspective. *Waste Management (Elmsford)*. Interaktyvus. 52 (2016), 86-95. ISSN 0956-053X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.009>. [žiūrėta 2023-04-02].
58. STANIŠKIS, J.K., KLIPOVA, I. ir STASIŠKIENĖ, Ž. *Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris Monografija*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2002. ISBN 9955-09-312-9.
59. STANIŠKIS, J.K., STASIŠKIENĖ, Ž., KLIPOVA, I. ir VARŽINSKAS, V. *Darnios inovacijos Lietuvos pramonėje: kūrimas ir diegimas. Monografija*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas, 2010. ISBN 978-9955-25-815-5.
60. LOWE, E.A., EVANS, L.K. and GÜLER, M. Industrial Ecology and Industrial Ecosystems. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. 3 (1995), 1, 47-53. ISSN 0959-6526. Prieiga per: doi: 10.1016/0959-6526(95)00045-G.[žiūrėta 2023-05-09].
61. LI, X. Industrial Ecology and Industry Symbiosis for Environmental Sustainability: Definitions, Frameworks and Applications. *Industrial Ecology and Industrial Symbiosis – Definitions and Development Histories*. Interaktyvus. Palgrave Pivot Cham, 2017. ISBN 978-3-319-67501-5. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67501-5> [žiūrėta 2023-04-02].
62. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Lietuvoje taikomos kuro grynosios šiluminės vertės ir išmetamų teršalų faktoriai*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/klimato-kaita/es-atl-prekybos-sistema/informacijos-mainu-centras> [žiūrėta 2023-03-23].
63. EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. *EMEP-EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook: Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories*. Interaktyvus. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-9480-098-5. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>. [žiūrėta 2023-03-23].
64. IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change Volume 2 (Energy)*. Interaktyvus. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2006. ISBN 4-88788-032-4. Prieiga per: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. [žiūrėta 2023-03-23].
65. IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change Volume 5 (Waste)*. Interaktyvus. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2006. ISBN 4-88788-032-4. Prieiga per: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html> [žiūrėta 2023-03-23].
66. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. *Įsakymas Nr. D1-275 dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo*. Interaktyvus. Nauja redakcija

- nuo 2019-05-08. Žin., 2010 Nr. 42-2040; 2013 Nr. 70-3560; TAR 2014 Nr.04916; 2020 Nr. 114515. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.369461?jfwid=> [žiūrėta 2023-03-23].
67. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimas Nr. T-K.6-7/2015*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/tipk-ir-tarsos-leidimai/tarsos-integruotos-prevencijos-ir-kontroles-tipk-leidimai/isduoti-tipk-leidimai>. [žiūrėta 2023-03-28].
68. SORBTECH. *Aktyvuota Anglis*. Interneto puslapis. Prieiga per: https://www.sorbotech.lt/4,aktyvuota_anglis [žiūrėta 2023-04-06].
69. Antec Biogas. *Innovative Biogas Technology*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairwesteuprod/production-gyroconference-public/cfffb4504e164b51927c23de60139433>. [žiūrėta 2023-05-06].
70. KLIPOVA, I. and MAKARSKIENĖ, K. Improving Material and Energy Recovery from the Sewage Sludge and Biomass Residues. *Waste Management*. 36 (2015), 269-276. ISSN 0956-053X. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wasman.2014.10.030. [žiūrėta 2023-03-23].
71. Antec Biogas. *Business Norway*. Interneto puslapis. Pareiga per: <https://businessnorway.com/solutions/antec-biogas-plants-are-a-game-changer-for-biogas-production>. [žiūrėta 2023-03-23].

Priedai

1 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (esama situacija po 1 projekto įgyvendinimo)

Įvedinys / išvedinys	Aprašymas	Šaltinis
Rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA	Į MVA apdorojimo įrenginį pateks rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA atliekos iš Kauno regiono: 13558 t/m. MVA, kur 12608 t biomasė (93 proc.) ir 950 t priemaišos (7 proc.).	[6, 17]
Vandens sąnaudos buitiniams reikmėms	Planuojama, kad bus reikalingi trys darbuotojai: 1 operatorius ir 2 krautuvo darbuotojai, todėl buitinės vandens sąnaudos apie 90 m ³ /m., kai per dieną 1 darbuotojas suvartoja 120 l (įsk. dušą).	[6]
Lietaus vanduo	Į sistemą patenkančios MVA drėgnis 77,5 proc. (SM 22,5 proc. arba 2836,8 t), o pagal biodujų gamintojų reikalavimus pasterizuotos biomasės (produkto) drėgnis turi siekti 80 proc.: $(2836,8 \text{ t} \times 80 \div 20) - 9771,2 \text{ t} = 1576 \text{ t/m}$. Biomasės drėgnio koregavimui reikalingas vandens kiekis – apie 1576 m ³ /m. Planuojama vandenį rinkti lietaus surinkimo sistema (šis vanduo bus naudojamas ir konteinerių priėmimo bunkeryje plovimui).	Žr. poskyrį 1.4
Anglies filtras	Oro teršalų valymui iš MVA apdorojimo / depakerio pastato būtų naudojama ištraukiamoj ventiliacinė sistema (našumas – iki 3600 m ³ /val.), su aktyvuotos anglies filtrais, pavyzdžiui, „OFDA“ (OFD filtrų dėžėms) ¹ – iki 4 vnt./m.	[6], išnaša 1
Elektros energijos sąnaudos	Depakerio sistemos „Biogreenline VS900“ (našumas $\leq 12 \text{ t/val.}$, galia $< 75 \text{ kW}$ be nusausinimo) ² su konvejeriais (17 kWh) elektros energijos sąnaudos: $(75 \text{ kW} + 17 \text{ kW}) \times 250 \text{ d. d./m.} \times 6 \text{ val./d. d.} \times 0,75 = 103500 \text{ kWh/m}$. Depakerio sistemos „Mavitec Martinanther 700“ (našumas 7,5 – 20 m ³ /val., galia $< 45 \text{ kW}$ be nusausinimo) ³ su konvejeriais (17 kWh) elektros energijos sąnaudos: $45 \text{ kW} + 17 \text{ kW} \times 250 \text{ d. d./m.} \times 6 \text{ val./d. d.} \times 0,75 = 69750 \text{ kWh/m}$. Depakerio sistemos „Tiger“ (našumas 10 t/val., galia 6 kWh/t be nusausinimo) ⁴ . su konvejeriais elektros energijos sąnaudos: $6 \text{ kWh/t} \times 13365 \text{ t/m.} = 80190 \text{ kWh/m}$. Kadangi vertinama blogiausia situacija, tai analizei buvo pasirinkta depakerio sistema „Biogreenline VS900“	Išnašos 2–4
	Terminis apdorojimas / pasterizavimas – higienizavimo įrenginys su padavimo siurbliais ir kt. „BioChop Hygenisation System (Landia)“ (galia $< 5,5 \text{ kW}$) ⁵ : $5,5 \text{ kW} \times 250 \text{ d. d./m.} \times 6 \text{ val./d. d.} \times 0,7 = 4125 \text{ kWh/m}$.	Išnaša 5
	Konteinerių plovimo sistema – aukšto slėgio plovykla „Karcher“ (galia 5,5 kW) ⁶ : $5,5 \text{ kW} \times 250 \text{ d. d./m.} \times 2 \text{ val./d. d.} = 2750 \text{ kWh/m}$.	Išnaša 6
Dyzelinio kuro sąnaudos	Papildomos dyzelinio kuro sąnaudos krautuvui dėl MVA priėmimo bunkeryje, išskirtų priemaišų / pakuočių atliekų bei biomasės pakrovimui į konteinerius ar transporto priemones (standartinio krautuvo kuro sunaudojimas $\sim 6,4 \text{ l/val.}$): $6,4 \text{ l/val.} \times 250 \text{ val./d. d.} \times 3 \text{ val./d. d.} = 4800 \text{ l/m}$. Arba $4800 \text{ l/m.} \times 0,84 \div 1000 = 4,032 \text{ t/m}$.	Formulė 5

¹ <https://www.el-vent.com/lt/aktyvuotos-anglies-ir-kietuju-daleliu-oro-filtru-komplektas-ofda>

² <https://biogreenline.ch/>

³ <https://mavitecgreenenergy.com/solutions/depackaging/paddle-depacker/>

⁴ <https://www.tigerdepac.com/en/tiger-depack/hs10-unit.html>

⁵ <https://www.landia.co.uk/solutions/biogas/biochop-hygenization-system>

⁶ <https://www.kaercher.com/lt/professional/auksto-slegio-plovimo-irenginiai/salto-vandens-auksto-slegio-plovimo-irenginiai/vidutine-klase.html>

	Papildomos dyzelinio kuro sąnaudos dėl terminio pasterizavimo naudojant kuro degiklius (galia 50 kW) ¹ : $50 \text{ kW} \times 2 \times 250 \text{ val./d.} \times 4 \text{ val./d.} \times 0,75 \div 1000 = 75 \text{ MWh/m.}$ arba $75 \text{ MWh/m.} \times 3,6 \div (42,91 \text{ GJ/t} \times 0,95) = 6,63 \text{ t/m.}$ arba $6,63 \text{ t/m.} \div 0,84 \times 1000 = 7893 \text{ l/m.}$	Išnaša 1, Formulė 5
Dujų (LPG) sąnaudos (patalpų apšiltinimui)	Planuojamo MVA pastato patalpų ventiliacinės sistemos našumas iki 3600 m ³ /val. (esant S – 900 m ² ir H – 4 m, oro apykaita apie 1 kartą/val., oro temp. 10 °C). Maksimalus šiluminės energijos poreikis per metus (žiemos sezono metu – 2160 val./m.) $1040 \times 1,2 \times 3600 \times (10 - (-5)) \div 10^{-9} = 0,067 \text{ GJ/val.}$ t.y. 0,067 GJ/val. arba 0,067 GJ/val. / 3,6 = 0,019 MWh/val. arba 0,019 MWh/val. x 2160 val./m. = 40,43 MWh/m. Planuojamos maksimalios LPG dujų sąnaudos pagaminti 40,43 MWh/m. šiluminės energijos: $40,43 \text{ MWh/m.} \times 3,6 \div (45,79 \text{ GJ/t} \times 0,97) = 3,28 \text{ t/m.}$	Formulė 4,5
Reisų skaičius	Standartiniu atveju vienu reisu būtų vežama apie 25 t biomasės, tai reiškia, kad 14184 t/m. pasterizuotos biomasės transportavimui bus reikalingi 567 reisai/m.	[6]
Pasterizuota biomasė	Į depakerį patenkančių MVA srauto (13558 t/m.) pašalinus priemaišas (950 t/m.) ir sumaišius su drėgnio koregavimui naudotu lietaus vandens kiekiu (1575 m ³ /m.) gaunamas biomasės po pasterizavimo (SM 20 proc.) kiekis: $13558 \text{ t/m.} - 950 \text{ t/m.} + 1576 \text{ m}^3/\text{m.} = 14184 \text{ t/m.}$	-
Išskirtos antrinės žaliavos / pakuotės	MVA paruošimo perdirbti metu iš biomasės bus atskirta apie 950 t/m. pakuočių atliekų / antrinių žaliavų, t.y. apie 7 proc. MVA srauto. Daroma prielaida, kad šis kiekis bus transportuojamas į deginimo įrenginius, kadangi net ir po plovimo pakuočių atliekų kokybė galimai neatitiks aukštų perdirbimo standartų.	[6, 17]
Buitinės nuotekos	Buitinės nuotekos dėl darbuotojų lygios vandens sunaudojimui – 90 m ³	-
Oro tarša	Oro tarša po anglies valymo filtro skaičiuojama remiantis 2022 m. MKA santykiniais aplinkos apsaugos indikatoriais AAI _{S2} (oro tarša 1 t BSA, nukreiptos į BA). Jei Zabieliškio MAR biologiškai apdorojant 1 toną BSA susidaro 0,035 kg NH ₃ , 0,894 kg NMLOJ ir 0,02 kg KD, tai apdorojant 12603 t MVA į aplinką išsiskirs 0,44 t NH ₃ , 11,27 t NMLOJ ir 0,25 t KD.	Pagal AAI _{S2} 3.2 lentelėje
Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos	Poveikis klimato kaitai dėl dyzelinio kuro sąnaudų: CO₂ : $10,652 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 72,8 \text{ t/TJ} = 33,31 \text{ tCO}_2/\text{m.}$ CH₄ : $10,652 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 0,0039 \text{ t/TJ} = 0,002 \text{ tCH}_4/\text{m.}$ N₂O : $10,652 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 0,0039 \text{ t/TJ} = 0,002 \text{ tN}_2\text{O}/\text{m.}$ Visuotinio atšilimo potencialo (VAP) vertės taikant ŠESD išmetamo perskaičiavimo į CO ₂ ekvivalentą koeficientus: CH ₄ – 25 t CO _{2e} ir N ₂ O – 298 t CO _{2e} : $33,31 \text{ tCO}_2/\text{m.} + 25 \times 0,002 \text{ tCH}_4 + 298 \times 0,002 \text{ tN}_2\text{O} = 33,88 \text{ tCO}_{2e}/\text{m}$	Formulė 7, 9
	Poveikis klimato kaitai dėl LPG sąnaudų CO₂ : $3,28 \text{ t/m.} \times 0,04575 \text{ TJ/t} \times 66,81 \text{ t/TJ} = 10,03 \text{ tCO}_{2e}/\text{m.}$ CH₄ : $10,652 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 0,062 \text{ t/TJ} = 0,009 \text{ tCH}_4/\text{m.}$ N₂O : $10,652 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 0,0002 \text{ t/TJ} = 0,00003 \text{ tN}_2\text{O}/\text{m.}$ VAP : $10,03 \text{ tCO}_2/\text{m.} + 25 \times 0,009 \text{ tCH}_4 + 298 \times 0,00003 \text{ tN}_2\text{O} = 10,27 \text{ tCO}_{2e}/\text{m}$	Formulė 7, 9
	Netiesioginis poveikis klimato kaitai dėl elektros sąnaudų iš tinklų $110,38 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ tCO}_{2e}/\text{MWh} = 46,36 \text{ tCO}_{2e}/\text{m.}$	Formulė 10
	ŠESD emisijos dėl pasterizuotos biomasės transportavimo iki biodujų gamybos įmonių, pvz. iki UAB „Tvari energija“ gamyklos esančios Elektrėnų sav. (apie 110 km) apskaičiuojamos pagal dyzelio kuro sąnaudas. Kai 567 reisai/m., dyzelinio kuro sąnaudos 30 l/100 km arba 18 711 l/m. arba 15,72 t/m., tai VAP : $49,098 \text{ tCO}_2/\text{m.} + 25 \times 0,003 \text{ tCH}_4 + 298 \times 0,003 \text{ tN}_2\text{O} = 49,96 \text{ tCO}_{2e}/\text{m}$	Formulė 7, 9

¹ <https://www.danrita.lt/produkto-zyma/skysto-kuro-degiklis/>

2 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (1 alternatyva)

Įvediniai	Skaičiavimai	Šaltinis
MVA	Kaip ir esamoje situacijoje, tai ir 1.1 alternatyvoje į MVA apdorojimo įrenginį pateks rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA atliekos iš viso Kauno regiono: 13558 t/m. MVA, kur 12608 t biomasė ir 950 t priemaišos.	[6, 17]
Žaliosios atliekos	Biokomposto gamybai digestatas / raugas turi būti sumaišomas su ŽA su tikslu gauti vertingą kompostą. Iš Zabieliškio ŽAKA bus naudojama visos į aikštelę priimamos ŽA (pvz. 2022 m. 904 t/m. ŽA), likęs reikalingas kiekis būtų transportuojamas iš Kauno ŽAKA (apie 1600 t/m. ŽA).	Žr. 3.5 lentelę
Cheminės medžiagos	Kvapų kontrolei, būtų naudojami probiotikai, pavyzdžiui, SCD „Odor Away“ ¹ mikrobiologinis preparatas. Kompostuojant 1 m ³ MVA kartu su ŽA reikia 0,2–0,5 l probiotinės kompozicijos: $0,651 \text{ t/m}^3 \times 6923,9 \text{ t/m} \times 0,35 \text{ l/m}^3 = 1577,6 \text{ l/m}$.	3.3.1. poskyris, Išnaša 1
Anglies filtras	Oro teršalų valymui iš MVA apdorojimo pastato bus naudojami anglies filtrai – iki 4 vnt./m.	1 priedas
Aktyvuota anglis	Biodujų valymui (pagrindė nuo H ₂ S) naudojama aktyvuota anglis: $1,76 \text{ kg/1000 m}^3 \text{ biodujų}$, tai $1,76 \text{ kg} \times 1442355,2 \text{ Nm}^3/\text{m} = 2,54 \text{ t/m}$.	[51]
Biofiltro užpildas	Siūlomam įrengti „Hartmann“ ² 2-jų pakopų biofiltrui medžio drožlių sluoksnis papildomas 10 m ³ /m.	Išnaša 2
Pakuotė	Kompostas bus pakuojamas į 50 kg maišus. Proceso metu bus sukompostuojama apie 4034,71 t/m. biokomposto, todėl bus reikalinga 80694 vnt. maišų/m. Komposto maišai bus pakuojami ant medinių pakuočių po 800 kg arba po 16 vnt. maišų, todėl bus reikalinga 5043 vnt.	[6]
Vandens sąnaudos.	Planuojama, kad bus reikalinga 10 darbuotojų: 4 operatoriai MVA apdorojimo pastate, 2 krautuvo darbuotojai, 2 technologai, 1 komposto pakuotojas, 1 sijotuvo darbuotojas, todėl būtines vandens sąnaudas apie 300 m ³ /m., kai per dieną 1 darbuotojas suvartoja 120 l (įsk. dušą).	-
	Pagal biodujų gamintojų reikalavimus, kai vykdomas šlapias fermentavimas, drėgnis iki 85 proc. – papildomam vandens poreikiui bus naudojamas skystas digestatas, gaunamas po raugo nusausinimo – apie 3500 m ³ /m. Taip pat lietaus vanduo – apie 2800 m ³ /m.	[35]
Elektros energijos sąnaudos	Kaip ir esamoje situacijoje po projekto įdiegimo bus naudojama depakerio sistema „Biogreenline VS900“ – 10350 kWh/m., aukšto slėgio konteinerių plovimo sistema – 2750 kWh/m.	1 priedas
	Biokomposto pakavimo įrenginys, pvz. „ZIAPACK“ ³ (galia 3 kW): $3 \text{ kW} \times 250 \text{ d. d./m} \times 3 \text{ val./d. d.} \times 0,75 = 1687,5 \text{ kWh/m}$.	Išnaša 3
	Anaerobinio apdorojimo įrenginys „Antec Biogas“ ⁴ (galia 67–68 kWh/t SM), kai į reaktorių patenka 18912,00 t/m. biomasės (SM 15 proc.): $68 \text{ kW} \times (18921,00 \text{ t/m} \times 0,15) \times 0,99 = 191060 \text{ kWh/m}$.	Išnaša 4
	Biodujų gryninimo ir skystimo įrenginys „Cryo Pur“ ⁵ (įrenginio našumas 250 m ³ /val., galia 0,7 kWh/CH ₄ m ³ , CH ₄ kiekis biodujose 60 proc.): $0,7 \text{ kW/Nm}^3 \times 1442355,2 \text{ Nm}^3 \times 0,6 = 605790 \text{ kWh/m}$.	Išnaša 5
	Digestato nusausinimo sistema (galia – 10 kW): $10 \text{ kW} \times 250 \text{ d. d./m} \times 6 \text{ val./d. d.} \times 0,75 = 11250 \text{ kWh/m}$.	[6]
	Papildomos dyzelinio kuro sąnaudos krautuvui dėl MVA priėmimo bunkeryje kaip ir esamoje situacijoje – 4800 l/m. arba 4,03 t/m.	1 priedas

¹ <https://probiotikai.net/?did=80649>

² <https://www.vsd.nl/hartmann-biofilter> ir www.hartmann-biofilter.de

³ <https://www.ziapack.com/>

⁴ <https://www.antecbiogas.com/>

⁵ <http://www.cryopur.com/la-technologie/>

Dyzelinio kuro sąnaudos.	Papildomos dyzelinio kuro sąnaudos komposto sijojimui (sijotuvas „Komptech“, galia 55 kW, našumas 70 m ³ /val., nuostoliai 60 proc., maks. apkrovimas 50 proc.) $55 \text{ kWh} \times 250 \text{ val./d.} \times 3 \text{ val./d.} \div 0,6 \times 0,5 = 34375 \text{ kWh/m.}$ arba $42,91 \text{ GJ/t} \times 1 \text{ MWh/t} \div 3,6 \text{ GJ/t} = 11,92 \text{ MWh/t}$ arba $34,375 \text{ MWh/m.} \div 11,92 \text{ MWh/t} = 2,88 \text{ t/m.}$ arba $2,88 \text{ t/m.} \times 1000 \div 0,84 = 3429 \text{ l/m.}$ dyz. kuro.	Kauno RATC duomenys, formulė 5
Dujų (LPG) sąnaudos (patalpų apšiltinimui)	Kaip ir planuojamoje, MVA apdorojimo pastato apšiltinimui maksimalios LPG dujų sąnaudos lygios 3,28 t/m. Rekonstruotos stoginės patalpų ventiliacinės sistemos našumas iki 18000 m ³ /val. (S – 1742 m ² , V – 9860 m ³ , oro apykaita apie 1 kartą/val., oro temp. 10 °C). $1040 \times 1,2 \times 18000 \text{ m}^3 \times (10 - (-5)) \div 10^{-9} = 0,337 \text{ GJ/val.}$ arba $0,337 \text{ GJ/val.} / 3,6 = 0,094 \text{ MWh/val.}$ arba $0,094 \text{ MWh/val.} \times 2160 \text{ val./m.} = 202,18 \text{ MWh/m.}$ Planuojamos maksimalios LPG dujų sąnaudos pagaminti 202,18 MWh/m. šiluminės energijos: $202,18 \text{ MWh/m.} \times 3,6 \div (45,79 \text{ GJ/t} \times 0,97) = 16,22 \text{ t/m.}$	1 priedas, formulės 4-5
Benzino sąnaudos	ŽA smulkinimui siūloma įsigyti smulkintuvą, pvz. „FORST ST6P“ ¹ (galia 37 kW, našumas iki 5t/val., naudojamas kuras – benzinas, smulkinimas iki 15 mm). $37 \text{ kWh} \times 250 \text{ val./d.} \times 3 \text{ val./d.} = 27750 \text{ kWh/m.}$ arba $43,95 \text{ GJ/t} \times 1 \text{ MWh/t} \div 3,6 \text{ GJ/t} = 12,21 \text{ MWh/t}$ arba $27,76 \text{ MWh/m.} \div 12,21 \text{ MWh/t} = 2,27 \text{ t/m.}$ arba $2,27 \text{ t/m.} \times 1000 \div 0,75 = 3026,67 \text{ l/m.}$ dyz. kuro.	Formulė 5, išnaša 1
Reisų skaičius	Nuo Kauno ŽAKA (Nemajūnų g. 15A, Kaunas) iki Zabieliškio MAR atstumas apie 55km. Standartiniu atveju vienu reisų būtų vežama apie 24 t ŽA (ŽA poreikis 1600 t/m.), tai reiškia, kad reikalingi 67 reisai/m.	[6]
	Biokomposto transportavimas iki Kėdainių m. (apie 10 km) – standartiniu atveju vienu reisų būtų vežama apie 20 t biokomposto (iš viso biokomposto 4034,71 t/m.), tai reiškia, kad reikalingi 202 reisai/m.	[6]
	Bio–CH ₄ transportavimas iki Kėdainių m. (apie 10 km) – standartiniu atveju vienu reisų būtų vežama apie 18,5 t bio–CH ₄ (iš viso bio–CH ₄ 568,58 t/m.), tai reiškia, kad reikalingi 31 reisai/m.	[6]
	Bio–CO ₂ transportavimas iki Kėdainių m. (apie 10 km) – standartiniu atveju vienu reisų būtų vežama apie 18,5 t bio–CO ₂ (iš viso bio–CO ₂ 890,08 t/m.), tai reiškia, kad reikalingi 48 reisai/m.	[6, 54]
Atskirtos antrinės žaliavos ir pakuotės	Kaip ir esamoje situacijoje, iš biomasės bus atskirta apie 950 t/m. pakuočių atliekų (apie 7 proc. MVA srauto). Šis srautas bus transportuojamas į deginimo įrenginius. Komposto sijojimo metu bus atskirta dalis priemaišų (pvz. stiklas, akmenys ir pan.) – manoma, kad tai sudarys iki 138 t/m. ir bus vežama į deginimo įrenginius arba šalinama sąvartyne.	[6, 17]
Sausas digestatas	Po anaerobinio apdorojimo likęs digestatas (17181,17 t/m., SM 6,4 proc.) yra sausinamas prese iki 75 proc. drėgmės ir gaunamas nusaustas raugas – 4423,90 t/m. (SM 25 proc.), kuris yra naudojamas biokomposto gamybai.	[70]
Skystas digestatas	Po raugo sausinimo susidaro skystas digestatas – 12757,28 t/m. Iki 9300 t/m. skysto digestato gali būtų atiduoti ūkininkams kaip trąša, o likusi dalis (3500 m ³) gali būti recirkuliuojama atgal į gamybos procesą biomasės drėgnio koregavimui.	[15]
Biokompostas	Į aerobinį apdorojimą patenka 6923,9 t/m. MVA digestato (43 proc. pagal masę) ir ŽA (57 proc. pagal masę) maišytos biomasės (SM 34 proc.). Biomasė yra drėkinama probiotikais dėl kvapų kontrolės (1577,6 l/m.). Mūsų atveju drėgmės nugravimas 70 proc., o sausos masės nuostoliai 7 proc. Tai reiškia, kad iš viso būtų pagaminama 4034,71 t/m. biokomposto (SM 54 proc. C/N 16,1). Sijojimo, sandėliavimo ir kt. sausos masės nuostoliai 1–5 proc. (mūsų atveju 2 proc.) lygūs 138,48 t/m., o likusi dalis oro tarša – prieš valymą oro filtre 25,33 t/m. (NH ₃ , LOJ, KD)	[70], 3.3.1 poskyris; 3.5 lent.

¹ <https://forstglobal.com/woodchippers/forst-st6p>

Pagaminta bio-CH₄	Imama prielaida, kad iš 1 t MVA pagaminama 114,4 m ³ biudujų, tai iš 12608 t MVA bus pagaminta 1442355,2 m ³ biudujų. Biudujas sudaro 60 proc. arba 865413,12 m ³ CH ₄ . 25 °C temp. ¹ CH ₄ tankis 0,657 kg/m ³ , tai 865413,12 m ³ CH ₄ lygu 568,58 t bio-CH ₄ . Skystinant bio-CH ₄ keičiasi jo tūris ² – V = 422,8 kg/m ³ , todėl 568,58 t bio-CH ₄ lygu 1344,79 m ³ suskystinto bio-CH ₄ (tūris sumažėja 644 kartus)	Išnaša 1,2; 3.3.1 poskyris
Pagaminta bio-CO₂	Biudujas sudaro 33 proc. arba 481054,46 m ³ CO ₂ . 15 °C temp. ³ CO ₂ tankis 1,87 kg/m ³ , tai 481054,46 m ³ CO ₂ lygu 899,57 t bio-CO ₂ .	Išnaša 3
Buitinės nuotekos	Buitinės nuotekos dėl darbuotojų lygios vandens sunaudojimui – 300 m ³	-
Oro tarša	Naujai įrengto biofiltro NH ₃ išvalymo efektyvumas 90 proc., LOJ – 50 proc., KD – 99 proc., kompostuojamas kiekis 6923,9 t/m. (digestatas su ŽA). Dėl kompostavimo prieš valymą susidarys : 6923,9 t/m. × 0,24 kg NH ₃ /t ÷ 1000 = 1,66 t NH ₃ /m. ir 6923,9 t/m. × 24 kg LOJ/t ÷ 1000 = 0,166 t LOJ/m. po valymo į aplinką pateks : 1,66 t NH ₃ /m. × 0,1 = 0,166 t NH ₃ /m. ir 0,166 t LOJ/m. × 0,5 = 0,083 t LOJ/m. Dėl sijojimo prieš valymą susidarys 25 t KD/m., po valymo : 25 t KD/m. × 0,01 = 0,25 t KD	[15], 2.4 lentelė
Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos	Poveikis klimato kaitai dėl dyzelinio kuro sąnaudų: 6,922 t/m. × 0,04291 TJ/t × 72,8 t/TJ = 21,62 tCO _{2e} /m. VAP : 21,62 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,001 tCH ₄ + 298 × 0,001 tN ₂ O = 22,00 tCO _{2e} /m	Formulė 7,9
	Poveikis klimato kaitai dėl benzino sąnaudų: 2,27 t/m. × 0,04391 TJ/t × 70,13 t/TJ = 6,99 tCO _{2e} /m. VAP : 6,99 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,002 tCH ₄ + 298 × 0,0008 tN ₂ O = 7,29 tCO _{2e} /m	Formulė 7,9
	Poveikis klimato kaitai dėl LPG sąnaudų: 19,5 t/m. × 0,04575 TJ/t × 66,81 tCO _{2e} /TJ = 59,66 tCO _{2e} /m. VAP : 59,66 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,06 tCH ₄ + 298 × 0,0001 tN ₂ O = 61,09 tCO _{2e} /m	Formulė 7,9
	Netiesioginis poveikis klimato kaitai dėl elektros sąnaudų iš tinklų: 916,04 MWh/m. × 0,42 tCO _{2e} /MWh = 384,74 tCO _{2e} /m.	Formulė 10
	Į aplinką po naujai įrengto biofiltro, kai CH ₄ išvalymo efektyvumas 80 proc., N ₂ O – 90 proc., kompostuojamas kiekis 6923,9 t/m. (digestatas su ŽA) į aplinką pateks: 0,411 kg/t × 6923,9 t/m. ÷ 1000 × 0,2 = 0,569 tCH ₄ /m. Ir 0,11 kg/t × 6923,9 t/m. ÷ 1000 × 0,1 = 0,076 tN ₂ O/m. VAP : 25 × 0,569 tCH ₄ + 298 × 0,076 tN ₂ O = 36,93 tCO _{2e} /m.	Formulė 8,9 2.4 lentelė
	ŠESD emisijos dėl ŽA transportavimo į Zabieliškio ŽAKA iš Kauno ŽAKA (apie 55 km) – kai 67 reisai/m., dyzelinio kuro sąnaudos 30 l/100 km, tai iš viso 3685 km/m., lygu 1105,5 l/m. dyz. arba 0,93 t/m. dyz. ŠESD dėl kuro sąnaudų: 0,93 t/m. × 0,04291 TJ/t × 72,8 t/TJ = 2,91 tCO _{2e} /m. VAP : 2,91 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,0002 tCH ₄ + 298 × 0,0001 tN ₂ O = 2,96 tCO _{2e} /m	Formulė 5,7,9
	ŠESD emisijos dėl biokomposto transportavimo iki Kėdainių m. (apie 10 km) – kai 202 reisai/m., dyzelinio kuro sąnaudos 30 l/100 km, tai iš viso 2020 km/m., lygu 605,3 l/m. arba 0,51 t/m. dyz.; VAP : 1,59 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,0001 tCH ₄ + 298 × 0,0001 tN ₂ O = 1,62 tCO _{2e} /m	Formulė 5,7,9
	ŠESD emisijos dėl bio-CH ₄ transportavimo iki Kėdainių m. (apie 10 km) – kai 31 reisas/m., dyzelinio kuro sąnaudos 30 l/100 km, tai iš viso 310 km/m. arba lygu 93 l/m. arba 0,08 t/m. dyz. VAP : 0,24 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,00001 tCH ₄ + 298 × 0,00001 tN ₂ O = 0,25 tCO _{2e} /m	Formulė 5,7,9
	ŠESD emisijos dėl bio-CO ₂ transportavimo iki Kėdainių m. (apie 10 km) – kai 48 reisai/m., dyzelinio kuro sąnaudos 30 l/100 km, tai iš viso 480 km/m., lygu 144 l/m. arba 0,12 t/m. dyz. VAP : 0,39 tCO _{2e} /m. + 25 × 0,00002 tCH ₄ + 298 × 0,00002 tN ₂ O = 0,39 tCO _{2e} /m	Formulė 5,7,9

¹ https://cdm.unfccc.int/methodologies/inputsconsmeth/MGM_methane.pdf

² <https://en.wikipedia.org/wiki/Methane>

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide

3 priedas. Papildoma informacija medžiagų ir energijos srautų analizei (2 alternatyva)

Įvediniai	Skaičiavimai	Šaltinis
Rūšiuojamuoju būdu surenkamos MVA	Kaip ir esamoje situacijoje, tai ir 1.1 alternatyvoje į MVA apdorojimo įrenginį pateks rūšiuojamuoju būdu surinktos MVA atliekos iš viso Kauno regiono: 13558 t/m. MVA, kur 12608 t biomase ir 950 t priemaišos.	2 priedas
Žaliosios atliekos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje iš Zabieliškio ŽAKA 900 t/m. ŽA, iš Kauno ŽAKA –apie 1600 t/m. ŽA.	2 priedas
Cheminės medžiagos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje kvapų kontrolei, būtų naudojami probiotikai – 1577,6 l/m.	2 priedas
	Pagal tiekėjo informaciją, alyvos sąnaudos $0,19-0,38 \text{ g/kWh}^1$: $8012,98 \text{ kW} \times 0,38 \text{ g/kW} \div 1000 = 3,04 \text{ kg}$	Išnaša 1
	Kogeneraciniame bloke šilumos atgavimui naudojamas aušinimo skystis – 315 dm ³ (papildymas tik pagal poreikį) ¹	Išnaša 1
Anglies filtras	Kaip ir 1.1 alternatyvoje oro teršalų valymui būtų naudojami anglies filtrai – iki 4 vnt./m.	2 priedas
Aktyvuota anglis	Kaip ir 1.1 alternatyvoje biodujų valymui (pagrindė nuo H ₂ S) naudojama aktyvuota anglis – 2,54 t/m.	2 priedas
Biofiltro užpildas	Kaip ir 1.1 alternatyvoje papildomas medžio drožlių sluoksnis biofiltrui – 10 m ³ /m.	2 priedas
Pakuotė	Kaip ir 1.1 alternatyvoje bus reikalinga 80694,2 vnt./m. maišų ir 5043 vnt. medinių pakuočių.	2 priedas
Vandens sąnaudos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje planuojama, kad bus reikalinga 10 darbuotojų, todėl būtinės vandens sąnaudos apie 300 m ³ /m., kai per dieną 1 darbuotojas suvartoja 120 l (įsk. dušą).	-
	Kaip ir 1.1 alternatyvoje drėgnio korekcijai bus naudojamas skystas digestatas–3500 m ³ /m. ir lietaus vanduo – 2800 m ³ /m.	1.1 alternatyva
	Kogeneraciniame bloke šilumos atgavimui naudojamas vanduo – 56 dm ³ (papildymas tik pagal poreikį)	Išnaša 1
Elektros energijos sąnaudos	Kaip ir esamoje situacijoje po projekto įdiegimo ir 1.1 alternatyvoje, bus naudojama depakerio sistema „Biogreenline VS900“– 103500 kWh/m, konteinerių plovimo sistema – iki 2750 kWh/m., biokomposto pakavimo įrenginys – 1687,5 kW/m., anaerobinio apdorojimo įrenginys „Antec Biogas“– 191060 kWh/m., digestato nusausinimo sistema – 11250 kWh/m.	1.1 alternatyva
	Papildoma elektros energija sunaudojama kompostavimo metu (pvz. apšvietimas ir kt.) vertinama pagal literatūroje pateiktą TIPK, TL ir apklausos duomenų analizės informaciją apie BSA iš MKA srauto intensyvų kompostavimą tuneliuose ar konteineriuose – elektros sąnaudos 8,6–48 kWh/t BSA. Mūsų atveju: $6923,9 \text{ t/m.} \times 28,3 \text{ kWh/t BSA} \div 1000 = 195,94 \text{ MWh/m.}$	[15]
Šilumos energijos sąnaudos	Papildoma šilumos energija sunaudojama kompostavimo metu vertinami pagal literatūroje pateiktą TIPK, TL ir apklausos duomenų analizės informaciją apie BSA iš MKA srauto intensyvų kompostavimą tuneliuose ar konteineriuose – šilumos sąnaudos 20–150 kWh/t BSA. Mūsų atveju: $6923,9 \text{ t/m.} \times 85 \text{ kWh/t BSA} \div 1000 = 588,53 \text{ MWh/m.}$	[15]
Dyzelinio kuro sąnaudos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje dyzelinio kuro sąnaudos krautuvui dėl MVA priėmimo bunkeryje– 4800 l/m. arba 4,032 t/m., komposto sijojimui – 3437 l/m. arba 2,89 t/m.	1.1 alternatyva
Benzino sąnaudos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje ŽA smulkinimui benzino sąnaudos 3026,67 l/m. arba 2,27 t/m.	1.1 alternatyva
Reisų skaičius	Nuo Kauno ŽAKA (Nemajūnų g. 15A, Kaunas) iki Zabieliškio MAR atstumas apie 55km – 67 reisai/m.	1.1 alternatyva
	Biokomposto transportavimas iki Kėdainių m. (apie 10 km) – 202 reisai/m.	1.1 alternatyva

¹ https://www.shentongroup.co.uk/wp-content/uploads/2021/09/Flexi_350-Datasheet_MAN_BIO_OM_SE_C_LB_50Hz_S_500_EN_04_2021-1.pdf

Atskirtos priemonės	Kaip ir 1.1 alternatyvoje – 950 t/m. pakuočių atliekų iš MVA vežama į KJ ir 138 t/m. iš biokomposto sijojimo šalinama sąvartyne	1.1 alternatyva
Sausas digestatas	Kaip ir 1.1 alternatyvoje gaunama 4423,90 t/m. (SM 25 proc., C/N 8,87) nusausinto raugo	1.1 alternatyva
Skystas digestatas	Kaip ir 1.1 alternatyvoje po raugo sausavimo susidaro skystas digestatas – 12757,28 t/m. Iki 9250 t/m. skysto digestato atiduodama ūkininkams kaip trąša, o likusi dalis (3500 m ³) recirkuliuojama atgal į gamybos procesą biomasės drėgnio koregavimui.	1.1 alternatyva
Pagaminta biokomposto.	Kaip ir 1.1 alternatyvoje iš viso būtų pagaminama 4034,71 t/m. biokomposto	1.1 alternatyva
Biodujos	Imama prielaida, kad iš 1 t MVA pagaminama 114,4 m ³ biodujų, tai iš 12608 t MVA (be priemonių) bus pagaminta 1442355,2 m ³ biodujų.	3.3.1 poskyris
Elektros energija	Pagamintas elektros energijos kiekis: 3221,26 MWh/m., kai biodujų šiluminė vertė lygi 20 GJ/t ir elektros energijos gamybos potencialas 40,2 proc.	3.8 lentelė
	Panaudota savoms reikmėms – 737,75 MWh/m.	
	Likutinės elektros energijos perdavimas į tinklus – 2483,51 MWh/m.	
Šilumos energija	Pagamintas šiluminės energijos kiekis – 3613,90 MWh/m., kai biodujų šiluminė vertė lygi 20 GJ/t ir šilumos energijos gamybos potencialas 45,1 proc.	3.9 lentelė
	Panaudota savoms reikmėms: 845,16 MWh/m.	
	Likutinės šilumos energijos nuostoliai: 2768,69 MWh/m.	
Energijos nuostoliai	Kogeneracinės jėgainės naudingumo koeficientas lygus 85,3 proc., todėl prarandama apie 1177,92 MWh/m.	Tiekėjo inform.
Buitinės nuotekos	Buitinės nuotekos dėl darbuotojų lygios vandens sunaudojimui – 300 m ³	-
Oro tarša (po biofiltro)	Kaip ir 1.1 alternatyvoje apdorojant 12603 t MVA į aplinką išsiskirs 0,44 t NH ₃ , 11,27 t NMLOJ ir 0,25 t KD.	1.1 alternatyva
Oro tarša (iš kogeneracinio bloko)	Sudeginus 1442355,2 m ³ biodujų remiantis mokslinė literatūra į aplinką išsiskirs 0,096 t CO, 0,398 t NO _x , 0,042 t SO _x , 0,005 t NMLOJ ir 0,006 t KD.	2.2 lentelė, Formulė 6
Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos	Kaip ir 1.1 alternatyvoje VAP dėl dyzelinio kuro sąnaudų 21,97 t CO _{2e} /m., dėl benzino sąnaudų 7,29 t CO _{2e} /m., dėl kompostavimo 36,93 t CO _{2e} /m., dėl ŽA transportavimo į gamyklą – 2,96 t CO _{2e} /m., dėl biokomposto transportavimo iki Kėdainių m. – 1,62 t CO _{2e} /m	1.1 alternatyva
	ŠESD dėl biodujų deginimo kogeneracinėje jėgainėje apskaičiuojama remiantis mokslinėje literatūroje pateikiamais EF – CH ₄ lygu 1 kg/TJ, o N ₂ O lygu 0,1 kg/TJ. Sudeginus 1442355,2 m ³ biodujų (n.k 85,3 proc.) į aplinką patektų 0,123 t CH ₄ /m ir 0,0025 t N ₂ O/m. VAP: $25 \times 0,123 \text{ tCH}_4 + 298 \times 0,0025 \text{ tN}_2\text{O} = 3,81 \text{ tCO}_{2e}/\text{m}$. CO ₂ yra biogeninės kilmės, todėl nėra vertinamas.	2.3 lentelė Formulė 7,9