



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**ŠESD mažinimas, taikant pramoninės ekologijos metodus  
biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui Jonavos rajone**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Povilas Beišys**

Projekto autorius

**doc. dr. Irina Kliopova**

Vadovė

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **ŠESD mažinimas, taikant pramoninės ekologijos metodus biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui Jonavos rajone**

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

---

**Povilas Beišys**

Projekto autorius

**doc. dr. Irina Kliopova**

Vadovė

**dr. Edgaras Stunžėnas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2024**

Povilas Beišys. ŠESD mažinimas, taikant pramoninės ekologijos metodus biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui Jonavos rajone. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas; Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: biologiškai skaidžios atliekos (BSA), uždaro ciklo BSA valymo sistema, šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD), žiedinė ekonomika.

Kaunas, 2024. 68 p.

## Santrauka

Priimdamos Europos žaliąjį kursą, ES ir jos valstybės narės įsipareigojo grynąją ES išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį iki 2030 m. sumažinti bent 55 %, lyginant su 1990 m. rodikliais, o ES tikslas iki 2050 m. užtikrinti poveikio klimatui neutralumą.

Tyrimo tikslas – įvertinti pramoninės ekologijos metodų taikymo galimybes, mažinant ŠESD, kurios susidaro Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių biologiškai skaidžių atliekų (BSA) tvarkymo metu.

Darbe atlikta aplinkosauginių teisės aktų ir mokslinės literatūros analizė, siekiant įvertinti ŠESD mažinimo ir pramoninės ekologijos metodų taikymo galimybes BSA tvarkymo srityje.

Siekiant įvertinti Jonavos raj. savivaldybėje esamos BSA tvarkymo sistemos poveikį VAP dėl ŠESD, buvo identifikuoti Jonavos rajono savivaldybėje susidarantys BSA srautai ir esami tvarkymo būdai. Regione į BSA tvarkymo sistemą kasmet patenka iki 4,4 tūkst. t BSA. Esamos BSA tvarkymo sistemos bendras poveikis VAP dėl ŠESD – 731,5 t CO<sub>2e</sub>, įsk. iki 92 % – dėl atviro buitinių nuotekų dumblo sandėliavimo poligone be biologinio apdorojimo. Išanalizavus BSA tvarkymo sistemos sukeltą poveikį VAP dėl ŠESD rezultatus, identifikuotos 4 problemos: netinkamas nuotekų dumblo „apdorojimas“, dideli transportavimo atstumai, biokuro pelenų gabenimas ir šalinimas sąvartyne, neišnaudotas pramoninės simbiozės potencialas.

Problemų sprendimui darbe pasiūlyta sukurti BSA uždaro ciklo valdymo sistemą, kurioje taikyti pramoninės ekologijos metodus: vystyti pramoninę simbiozę tarp Jonavos rajono savivaldybės įmonių, kurių veikloje susidaro BSA (tai padėtų sumažintų transportavimo atstumus ir ženkliai sumažinti VAP dėl ŠESD); taikyti dematerializavimo principus (energetinių ir medžiaginių sruotų efektyvų naudojimą).

Darbe atlikta esamos BSA tvarkymo sistemos optimizavimo alternatyvos techninio įvykdomumo analizė, taip pat aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas. Techniniam įvykdomumo įvertinimui, UAB „Jonavos vandenys“ dumblo kompostavimo aikštelėje atliktas komposto gamybos eksperimentas, kuris įrodė, kad taikant pramoninės simbiozės principus, visos Jonavos rajone susidarančios BSA dėl savo maistingų savybių ir esamo nedidelio užterštumo sunkiaisiais metalais ir priemaišomis galėtų būti aerobiškai apdorojamos kartu. Kasmet būtų galima pagaminti iki 2,2 tūkst. t tręšimo produkto – komposto, kuri naudoti Jonavos raj. savivaldybėje.

Kadangi Jonavos nuotekų valyklos dumblas pasižymi didele bendrojo azoto (N) koncentracija, eksperimento metu nemažas dėmesys buvo skirtas skirtingų BSA srautų maišymo proporcijų nustatymui, siekiant užtikrinti optimalų C/N santykį kompostavimui. Investicijos į esamos dumblo kompostavimo infrastruktūros modernizavimą siektų 210 tūkst. Eur, atsipirkimo trukmė – 5,4 metų.

Darbe nustatyta, kad Jonavos raj. savivaldybėje įgyvendinus siūlomus pramoninės ekologijos sprendimus, BSA valdymo sistemos poveikis VAP dėl ŠESD sumažėtų beveik 85 % (nuo 731,5 iki 111,9 t CO<sub>2e</sub> per metus).

Povilas Beišys. Reducing GHG Emissions by Applying Industrial Ecology Methods for Biodegradable Waste Management in Jonava District. Master's Final Degree Project / supervisor associate professor 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: Biodegradable Waste (BDW), BDW closed – loop control system, greenhouse gases (GHG), Circular Economy.

Kaunas, 2024. 68 pages.

### **Summary**

By adopting the Green Deal, the EU made a commitment to reduce its net greenhouse gas emissions (GHG) by at least 55 % by 2030 compared to 1990 levels and achieve climate neutrality in 2050.

The aim of the study is to assess the possibilities of applying industrial ecology methods, reducing GHG, which are generated during biodegradable waste (BDW) management within Jonava district municipality.

This study conducted an analysis of environmental legal acts and scientific literature to evaluate the potential for applying GHG reduction and industrial ecology methods in the field of BSA management.

To assess the impact of the existing BDW control system on GWP, BDW flows and existing management practises in the Jonava district municipality were identified, it was evaluated that up to 4,400 tonnes of BDW are generated annually. The total impact of the existing BDW control system on GWP due to GHG is 731.5 t CO<sub>2e</sub>, incl. up to 92 % – due to GHG from open storage of sewage sludge in a polygone without biological treatment. After analysis of the results of GWP due to GHG caused by the BDW management, 4 problems were identified: improper “treatment” of sewage sludge, long BDW transportation distances, transportation and disposal of biofuel ash in a dumping site, unused potential of Industrial Symbiosis.

To solve the problems, the paper proposes the development of BDW closed – loop control system, in which Industrial Ecology methods are applied: the creation of an Industrial Symbiosis between the companies of the Jonava district municipality that generate BDW (which would help to reduce transport distances and significantly reduce GWP due to the GHG), and the application of the principles of dematerialization (the efficient use of energy and material sludge).

The study includes a feasibility analysis of an alternative to optimize the existing BDW management system, as well as an environmental and economic assessment. For the technical assessment of feasibility, a composting experiment was carried out at the sludge composting site of UAB "Jonavos vandenys", which demonstrated that, through applying the principles of Industrial Symbiosis, all BDW generated in the Jonava district could be aerobically treated together due to their nutritional properties and existing low contamination with heavy metals and impurities. Up to 2,200 tonnes of compost, a fertiliser product, could be produced annually for use in the municipality of purposes.

As the sludge from the Jonava sewage treatment plant has a high concentration of total nitrogen (N), considerable attention was paid during the experiment to determine the mixing ratios of the different BDW streams to ensure the optimum C/N ratio for composting. The investment in upgrading (modernization) the existing sludge composting infrastructure would amount to 210 thousand Eur with a payback period of 5.4 years.

The investigation has shown that the implementation of the proposed Industrial Ecology solutions in Jonava District Municipality would reduce GWP due to GHGs due to BDW management system by almost 85 % (from 731.5 to 111.9 tonnes CO<sub>2e</sub> per year).

## Turinys

Lentelių sąrašas .....	9
Paveikslų sąrašas .....	10
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	11
Įvadas.....	12
<b>1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sprendimai, naudojamos technologijos, taikomi aplinkosaugos teisiniai reikalavimai .....</b>	<b>14</b>
1.1. Aplinkosaugos ir kokybės ir reikalavimai įvairių biologiškai skaidžių atliekų srautų tvarkymui ir gaminamiems produktams .....	14
1.1.1 Reikalavimai buitinių nuotekų dumblo tvarkymui.....	14
1.1.2 Reikalavimai tręšimo produktui .....	16
1.1.3 Reikalavimai maisto ir virtuvės atliekų tvarkymui .....	16
1.1.4 Reikalavimai kietosios biomasės kuro pelenų tvarkymui ir naudojimui.....	17
1.1.5 Reikalavimai kompostavimo procesui .....	18
1.2. Plačiausiai taikomi biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo būdai ir technologijos .....	20
1.2.1 Buitinių nuotekų dumblo tvarkymui plačiausiai taikomi metodai .....	20
1.2.2 Medienos kuro pelenų tvarkymo metodai .....	20
1.2.3 Plačiausiai taikomi žaliųjų atliekų, maisto ir virtuvės atliekų tvarkymo technologijos ir ŠESD susidarymo šaltiniai .....	21
<b>2. Mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatai biologiškai skaidžių atliekų valdymo srityje .....</b>	<b>23</b>
2.1. Kompostų, pagamintų iš biologiškai skaidžių atliekų, maistinės ir energetinės savybės .....	23
2.2. Pramoninės simbiozės taikymas biologiškai skaidžių atliekų optimaliam tvarkymui .....	26
2.2.1. Nuotekų dumblo kompostavimas su žaliosiomis atliekomis.....	26
2.2.2. Pelenų naudojimas biologiškai skaidžių atliekų kompostavime .....	27
2.2.3. Pelenų naudojimas nuotekų dumblo sausinime.....	28
2.3. Prevencinio požiūrio taikymas biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui.....	28
2.3.1. Žaliųjų atliekų susidarymo prevencija.....	28
2.3.2. Maisto virtuvės atliekų (MVA) prevencija.....	30
2.4. Integruoto atliekų vadybos principų taikymas BSA tvarkyme.....	31
<b>3. Tyrimo metodika .....</b>	<b>34</b>
3.1. Atliekamų tyrimų algoritmas.....	34
3.2. Tyrime naudojamos metodikos srautų identifikavimui, vertinimui, pasiūlymų įvykdomumo analizei.....	35
3.3. BSA kompostavimo eksperimento etapai ir pagrindiniai reikalavimai.....	39
<b>4. Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių BSA tvarkymas: srautų identifikavimas, esamos valdymo sistemos analizė, ŠESD įvertinimas.....</b>	<b>41</b>
4.1. Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių BSA srautų analizė .....	41
4.2. Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių BSA esamos tvarkymo sistemos analizė .....	43
4.3. Jonavos rajono savivaldybės biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, problemų identifikavimas .....	46
4.3.1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos poveikio dėl ŠESD vertinimas.....	46
4.3.2. Jonavos rajono savivaldybės biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos problemų ir priežasčių identifikavimas .....	48

<b>5. Pramoninės ekologijos metodų taikymas Jonavos rajono savivaldybės optimaliam BSA valdymui .....</b>	<b>50</b>
5.1 Techninio įvykdomumo įvertinimas: praktinio eksperimento atlikimas UAB Jonavos vandenys dumblo kompostavimo aikštelėje .....	50
5.2 Uždaro ciklo biologiškai skaidžių atliekų valdymo sistemos aplinkosauginis įvertinimas .....	55
5.3 Uždaro ciklo biologiškai skaidžių atliekų valdymo sistemos ekonominio įvertinimo rezultatai	59
<b>Išvados ir rekomendacijos .....</b>	<b>61</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>63</b>
<b>Priedas Nr. 1. Situacijos žemėlapis: Įrenginio – dumblo apdorojimo įrenginių (kompostavimo aikštelės) teritorija .....</b>	<b>67</b>
<b>Priedas Nr. 2. AB „Achema“ CO<sub>2</sub> pėdsako deklaracija .....</b>	<b>68</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Tręšimo produktai, kurių gamybai gali būti naudojamas nuotekų dumblas kartu su kitomis BSA [3].....	15
<b>2 lentelė.</b> Reikalavimai dėl apdoroto dumblo mikrobiologinio-parazitologinio užterštumo apdorotam ( pagal LAND 20-2005 ir tręšimo produktams pagal aprašą [3, 4] .....	15
<b>3 lentelė.</b> Užterštumo sunkiaisiais metalais reikalavimai, taikomi apdorotam dumblui ir tręšimo produktams [3, 4].....	16
<b>4 lentelė.</b> Medienos biokuro pelenams (tręšimo produkto identifikavimo Nr. G.1.1.1.1) taikomi reikalavimai [3].....	17
<b>5 lentelė.</b> Cheminių medžiagų DLK medienos biokuro pelenuose, naudojamuose miškų ūkyje, žemės ūkyje, pažeistų teritorijų rekultivavimui [7].....	18
<b>6 lentelė.</b> Kompostavimo proceso efektyvumą užtikrinantys parametrai [10] .....	19
<b>7 lentelė.</b> Laboratoriniais tyrimais gautų kokybės rodikliai kompostuose [9].....	23
<b>8 lentelė.</b> Laboratoriniais tyrimais gauti kokybės rodikliai rauguose [9].....	24
<b>9 lentelė.</b> Skirtingų BSA srautų C/N santykis [10; 14] .....	27
<b>10 lentelė.</b> MVA susidarymas (šaltinis – RATC, MKA tyrimų duomenys) Lietuvoje [8].....	31
<b>11 lentelė.</b> ŠESD emisijų faktoriai, deginant kurą [22,23] .....	35
<b>12 lentelė.</b> ŠESD emisijų faktoriai iš BSA apdorojimo procesų [22].....	36
<b>13 lentelė.</b> Jonavos rajone surenkami ir tvarkymui pristatomi BSA srautai, 2022 m. duomenys. ...	41
<b>14 lentelė.</b> UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valyklos medžiagų ir energijos balansas. ....	42
<b>15 lentelė.</b> Nuotekų dumblo užterštumo sunkiaisiais metalais rodiklių palyginimas su kitais Lietuvoje susidariusiais dumblais ir su reikalavimais kompostams. ....	44
<b>16 lentelė.</b> Jonavos rajone surinktų BSA tvarkymo būdai ir logistika, 2022 m. duomenys. ....	45
<b>17 lentelė.</b> Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant ŽA iki ŽAKA.....	46
<b>18 lentelė.</b> Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant biokuro pelenus.....	46
<b>19 lentelė.</b> Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant nuotekų dumblą.....	47
<b>20 lentelė.</b> Poveikis VAP dėl ŠESD surenkant ir transportuojant MVA .....	47
<b>21 lentelė.</b> Nuotekų dumblo tvarkymo (laikymo poligone) sukeliama poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas. ....	47
<b>22 lentelė.</b> Bendro Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas. ....	48
<b>23 lentelė.</b> Kompostavimo eksperimento ir pagamintų kompostų laboratorinių tyrimų rezultatai... 53	
<b>24 lentelė.</b> BSA kompostavimo uždaroje sistemoje su biofiltrais poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas. ....	55
<b>25 lentelė.</b> Poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimo dydžių normalizavimas ir palyginimas. ....	56
<b>26 lentelė.</b> ŽA transportavimo poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, sumažėjus transportavimo atstumams. ....	57
<b>27 lentelė.</b> Pelenų transportavimo poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, sumažėjus transportavimo atstumams. ....	57
<b>28 lentelė.</b> Poveikio VAP dėl ŠESD vertinimas po transportavimo atstumų sumažinimo.....	57
<b>29 lentelė.</b> Investicijų poreikis BSA kompostavimo sistemos uždarymui ir automatizavimui.....	59
<b>30 lentelė.</b> BSA valdymo sistemos tiesioginių kaštų įvertinimas prieš ir po siūlomų priemonių įgyvendinimo.....	60

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> ŽA atviro kompostavimo technologijos pagrindiniai etapai ir ŠESD bei oro taršos šaltiniai [9]. .....	22
<b>2 pav.</b> Atskirai surinktų MVA, įsk. ŠGP, intensyvaus kompostavimo pagrindiniai technologiniai etapai ir ŠESD bei oro taršos šaltiniai [9].	22
<b>3 pav.</b> „Husqvarna“ vejų robotas 550 EPOS .....	29
<b>4 pav.</b> „Mammotion“ vejų robotas Luba 2 AWD 10000.....	29
<b>5 pav.</b> „Oklin“ GG10s greito kompostavimo įrenginys .....	30
<b>6 pav.</b> BSA panaudojimo ir perdirbimo galimybės išnaudojant jų medžiagines savybes ir energetinį potencialą [14] .....	33
<b>7 pav.</b> Tyrimo etapai ir naudoti moksliniai metodai .....	34
<b>8 pav.</b> Siūloma BSA valdymo sistema.....	37
<b>9 pav.</b> Jonavos miesto nuotekų valyklos medžiagų ir energijos srautų diagrama.....	42
<b>10 pav.</b> Jonavos rajono savivaldybės ŽA tvarkymo logistikos schema.....	45
<b>11 pav.</b> Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos procesų sukeliama poveikio VAP dėl ŠESD palyginimas.....	48
<b>12 pav.</b> BSA kompostavimo mišinio receptūros sudarymas.....	51
<b>13 pav.</b> BSA kompostavimo mišinio receptūros sudarymas.....	52
<b>14 pav.</b> Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP, esamos ir siūlomos situacijos palyginimas .....	58

## Santrumpų ir terminų sąrašas

AEI	Atsinaujinantys energijos ištekliai
BSA	Biologiškai skaidžios atliekos
DLK	Didžiausia leidžiama koncentracija
DGASA	Didelių gabaritų atliekų surinkimo aikštelė
LR	Lietuvos Respublika
MAK	Kompostas, pagamintas iš surinktų maisto ir maisto pramonės atliekų
MAKš	Kompostas, pagamintas iš maisto atliekų (kurios susidaro viešojo maitinimo įstaigose), jas apdorojant susidarymo vietose
MAR	Raugai, pagaminti iš surinktų maisto bei maisto pramonės atliekų
NDK	Kompostas, pagamintas iš nuotekų nepūdyto ir pūdyto dumblo
NDR ir	Raugai, gauti iš nuotekų dumblo anaerobinio apdorojimo įrenginių
NDRd	Džiovinti raugai, gauti iš nuotekų dumblo anaerobinio apdorojimo įrenginių
MBA	Mechaninio biologinio apdorojimo įrenginiai
MKA	Mišrios komunalinės atliekos
MVA	Maisto ir virtuvės atliekos
TIPK leidimas	Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimas
RATC	Regiono atliekų tvarkymo centras
RV	Ribinė vertė
SM	Sausoji medžiaga
ŠESD	Šiltnamio efektą sukeliančios dujos
ŠGP	Šalutiniai gyvūniniai produktai
VAP	Visuotinis atšilimo potencialas
VAPTP	Valstybinis atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 metų planas
ŽAK	Kompostas, gaminamas iš žaliųjų atliekų
ŽA	Žaliosios atliekos
ŽAKA	Žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelė

## Įvadas

Priimdamos Europos žaliajį kursą, ES ir jos valstybės narės įsipareigojo grynąjį ES išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį iki 2030 m. sumažinti bent 55 %, lyginant su 1990 m. rodikliais, o ES tikslas iki 2050 m. užtikrinti poveikio klimatui neutralumą. Biologiškai skaidžių atliekų (BSA) atskiras surinkimas ir tvarkymas 2024 m. Lietuvoje tapo ypač aktuali tema, nes Valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 m. plane numatyta prievolė savivaldybėms iki 2024 m. aprūpinti namų ūkius biologinių atliekų surinkimo priemonėmis urbanizuotose vietovėse, kuriose yra daugiau nei 2000 gyventojų. 2020 m. LR Vyriausybės patvirtinto 2021–2030 m. Nacionalinio pažangos plano 6-tas strateginis tikslas – užtikrinti gerą aplinkos kokybę ir gamtos išteklių naudojimo darnumą, saugoti biologinę įvairovę, švelninti Lietuvos poveikį klimato kaitai ir didinti atsparumą jos poveikiui. Siekiant įgyvendinti ES žaliojo kurso ir 2021–2030 m. Nacionalinio pažangos plano tikslus, BSA Lietuvos regionuose turi būti tvarkomos taikant pramoninės ekologijos metodus ir kuo arčiau atliekų susidarymo vietas, taip sumažinant ŠESD emisijas ir atliekų transportavimo metu atsirandantį neigiamą poveikį aplinkai.

**Tyrimo objektas** – biologiškai skaidžios atliekos (BSA) ir jų tvarkymo sprendimai Jonavos raj. savivaldybėje.

**Tyrimo tikslas** – įvertinti pramoninės ekologijos metodų taikymo galimybes, mažinant ŠESD, kurios susidaro BSA tvarkymo metu.

Dirvožemio gerinimo medžiagos (produkto – komposto) gamybos eksperimentas atliktas UAB „Jonavos vandenys“ dumblo kompostavimo aikštelėje.

### **Tyrimo uždaviniai:**

- 1) atlikti taikomų aplinkosaugos teisės aktų ir mokslinės literatūros analizę ŠESD mažinimo, biologiškai skaidžių atliekų (BSA) tvarkymo ir pramoninės ekologijos metodų taikymo srityje;
- 2) identifikuoti Jonavos rajono savivaldybės susidariusių BSA srautus, išanalizuoti jų esamus tvarkymo sprendimus, įvertinti esamos BSA tvarkymo sistemos poveikį visuotinio atšilimo potencialui (VAP) dėl ŠESD;
- 3) taikant pramoninės ekologijos metodus, sukurti uždaro ciklo BSA tvarkymo sistemą, siekiant gaminti aukštesnės pridėtinės vertės produktą (-us); atlikti BSA tvarkymo sistemos optimizavimo alternatyvų įvykdomumo analizę;
- 4) pateikti išvadas ir rekomendacijas Jonavos rajono savivaldybei.

### **Tyrimo rezultatų publikavimas**

Dalis darbo rezultatų pristatyta 4-oje tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Strategies toward Green Deal Implementation. Water, Raw Material & Energy“ 2023 m. gruodžio 14 d.

### **Darbo praktinė nauda**

Taikant pramonės simbiozės principus ir nuotekų dumblą kompostuojant su miesto žaliosiomis atliekomis nuo viešųjų teritorijų, maisto žaliosiomis, taip pat medienos atliekomis ir kietojo biokuro pelenais būtų gaminamas aukštesnės pridėtinės vertės produktas – kompostas. Per metus būtų galima

pagaminti apie 2200 tonų komposto. Šiuo kompostu galima pagerinti Jonavos miesto ir rajono dirvožemį. Siūlomų sprendimų įgyvendinimas prisidėtų prie Jonavos rajono žiedinės ekonomikos tikslų įgyvendinimo ir pramonės ekosistemos kūrimo.

Įgyvendinus siūlomus BSA valdymo sistemos pakeitimus – sumažinus transportavimo atstumus ir pradėjus kompostuoti BSA uždaroje sistemoje, būtų galima BSA tvarkymo metu susidarantį poveikį aplinkai dėl VAP sumažinti apie 85 %, t. y. ŠESD kiekis sumažėtų apie 620 t CO<sub>2e</sub> per metus.

**Darbo mokslinis naujumas** susijęs su Jonavos miesto nuotekų valykloje susidariusio dumblo savybėmis. Dumblas pasižymi didele bendrojo azoto (N) koncentracija (dėl nuotekų iš AB „Achema“) – vienas iš komposto pagrindinių kokybės kriterijų. Tačiau toks azoto kiekis – pagrindinis kompostavimo proceso trikdys (sunku išlaikyti optimalų C:N santykį dėl anglim turtingų medžiagų trūkumo). Todėl darbe pasiūlyta naudoti papildomus BSA srautus (be klasikinių miesto žaliųjų atliekų) – maisto ir virtuvės žaliąsias atliekas bei pelenus. Eksperimento būdu nustatytas jų sumaišymo santykis: kompostuojant be MVA, nuotekų dumblo (N <8,5 % SM) – iki 50 – 57%, kirtimo atliekų (C ≥ 46 % SM) – iki 18 – 20%; kompostuojant kartu su ŽA iš MVA (iki 16 %)(C ≥ 34 %SM), nuotekų dumblo – iki 47 – 50 %, šiame mišinyje gali būti iki 10 % pelenų.

## **1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sprendimai, naudojamos technologijos, taikomi aplinkosaugos teisiniai reikalavimai**

### **1.1. Aplinkosaugos ir kokybės reikalavimai įvairių biologiškai skaidžių atliekų srautų tvarkymui ir gaminamiems produktams**

Vadovaujantis LR aplinkos ministro 1999-07-14 įsakymu Nr. 217 „Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“ biologiškai skaidžioms atliekoms (BSA) priskiriamos – „bet kokios atliekos, kurios gali skaidytis ar būti suskaidytos aerobiniu ar anaerobiniu būdu, pavyzdžiui, maisto ir virtuvės atliekos, žaliosios atliekos, popieriaus ir kartono, medienos, natūralių audinių atliekos, taip pat nuotekų dumblas, biologiškai skaidžios gamybos atliekos“ [6].

Vadovaujantis LR aplinkos ministro 2007-01-25 įsakymu Nr. D1-57 patvirtintais reikalavimais „Dėl biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo“ (toliau – BSA apdorojimo reikalavimai) kompostuoti ir (arba) anaerobiniu būdu apdoroti galima šias nepavojingąsias BSA:

- viešojo maitinimo įstaigose, namų ūkio virtuvėse, maisto gamybos ir prekybos įstaigose susidarantį maisto atliekas;
- atskirai surinktas biologines atliekas, susidarantį buityje ir (ar) kituose šaltiniuose, kai jų sudėtis yra tapati su buityje susidarantiomis biologinėmis atliekomis, arba rūšiuojant atskirtas BSA iš mišrių komunalinių atliekų srauto;
- žaliąsias atliekas (pvz., medžių ir krūmų šakas, lapus, žolę ir kitas augalų liekanas);
- nepavojingąsias žemės ūkio, sodininkystės, daržininkystės atliekas (pvz., šiaudus, bulvienojus, runkelių lapus);
- nepavojingas medienos apdirbimo atliekas;
- nepavojingas gamybos ir kitos ūkinės veiklos BSA;
- popieriaus ir kartono atliekas, kurios netinka perdirbti (jeigu jos nepadengtos ne biologiškai skaidžia dengiamąja medžiaga) [2].

Kompostuoti draudžiama: pavojingąsias atliekas, infekuotas atliekas ir kitas medicininės atliekas, kritusius gyvūnus, fekalijas [2].

Darbe toliau išsamiai nagrinėjami būtent Jonavos rajone susidarantys BSA srautai ir tvarkymui keliami reikalavimai: ŽA (žolė, lapai, šakos, kitos parkuose ir soduose susidarantios augalų atliekos), nuotekų dumblas iš UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valyklų, medienos kuro pelenai iš UAB „Jonavos šilumos tinklai“ biokuro katilinių, maisto ir virtuvės atliekos (MVA).

#### **1.1.1 Reikalavimai buitinių nuotekų dumblo tvarkymui**

Vadovaujantis tvarkos aprašu, kuris buvo patvirtintas LR Žemės ūkio ministro 2019-05-10 įsakymu Nr. 3D-292 „Dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų tręšiamųjų produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų tręšiamųjų produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo“ (toliau – tręšimo produktų aprašas), nuotekų dumblas gali būti naudojamas šių tręšimo produktų gamyboje:

- kompostas (pūdinys) – dirvožemio gerinimo medžiaga ;
- anaerobinėmis sąlygomis fermentuota biomasė – dirvožemio gerinimo medžiaga;
- anaerobiškai paveiktos medžiagos – auginimo terpė (žr. 1 lentelę) [3].

Dirvožemio gerinimo medžiagos – komposto (pūdinio) gamybai taip pat gali būti naudojamos ŽA, MVA ir medienos kuro pelenai (žr. 1 lentelę) [3].

**1 lentelė.** Tręšimo produktai, kurių gamybai gali būti naudojamas nuotekų dumblas kartu su kitomis BSA [3]

Produkto identifikavimo Nr.	Bendrinis tręšiamojo produkto pavadinimas	Gamybos metodai, žaliavos ir pagrindinės sudedamosios dalys
<b>Kategorija – dirvožemio gerinimo medžiagos</b>		
D.2.1.1.1	Kompostas (pūdinys)	Kompostavimas – mėšlo, <u>nuotekų dumblo</u> , žaliųjų atliekų, augalų liekanų, maisto atliekų, organinių atliekų iš maisto pramonės ir / ar kitų panašių medžiagų, tinkančių naudoti kaip dirvožemio gerinimo medžiagas.
<b>Kategorija – dirvožemio gerinimo medžiagos, pagamintos apdorotus atliekas ir šalutinius produktus, susidariusius gamyboje ir / ar kitose ūkinėse veiklose</b>		
D.4.1.1.13	Anaerobinėmis sąlygomis fermentuota biomasė	Biodujų gamybos šalutinis produktas, kuris gaunamas anaerobinėmis sąlygomis fermentuojant biologiškai skaidžias atliekas – vandens biomasę, žieves, <u>nuotekų dumblą</u> , žlaugtus, medienos likučius, gyvulių mėšlą ir kt.
<b>Kategorija – auginimo terpės (skirtos augalų auginimui)</b>		
F.2.1.1.30	Anaerobiškai paveiktos medžiagos	Anaerobinio organinių medžiagų poveikio rezultatas, iš augalinių medžiagų (vandens biomasė, žieves, <u>nuotekų dumblas</u> , medienos likučiai ir gyvulių mėšlas).

Darbe didžiausias dėmesys yra skirtas nuotekų dumblo tvarkymo reikalavimas, nes šių atliekų tvarkymas yra griežčiausiai reglamentuotas dėl potencialaus užterštumo sunkiaisiais metalais ir mikrobiologinio-parazitologinio užterštumo.

Pagal LAND 20-2005 [4] reikalavimus apdorotas dumblas gali būti naudojamas laukų tręšimui arba žemės atstatymo darbams tada, kai dumblo mikrobiologinio užterštumo parametrai neviršija reikalavimų, taikomų A ir B dumblo klasei (žr. 2 lentelę), dumblo užterštumas sunkiaisiais metalais neturi viršyti reikalavimų, taikomų dumblo I ir II kategorijai (žr. 3 lentelę).

**2 lentelė.** Reikalavimai dėl apdoroto dumblo mikrobiologinio-parazitologinio užterštumo apdorotam ( pagal LAND 20-2005 ir tręšimo produktams pagal aprašą [3, 4])

Dumblo klasė	Fekalinė žarnyno lazdelė ( <i>Escherichia coli</i> ), kol.sk./g	Anaerobinės klostridijos ( <i>Clostridium perfringens</i> ), kol.sk./g	Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	Patogeninės enterobakterijos, kol.sk./g
A	≤ 1000	≤ 100 000	0	0
B	1001–100 000	100 001–10 000 000	1–100	0
<b>Tręšimo produktas</b>				
D.2.1.1.1	≤1000	-	-	0 (25 g mėginyje)
D.4.1.1.13	≤1000	≤100 000	0	0
F.2.1.1.30	≤1000	-	-	0 (25 g mėginyje)

**3 lentelė.** Užterštumo sunkiaisiais metalais reikalavimai, taikomi apdorotam dumblui ir tręšimo produktams [3, 4]

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg								
	Pb	Cd	Cr	Cr (IV)	Cu	Ni	Zn	Hg	As
I	<140	<1,5	<140	-	<300	<50	<800	<1,0	-
II	140–150	1,5–5	140–170	-	300–1000	50–70	800–2500	1–1,5	-
<b>Tręšimo produktas</b>									
D.2.1.1.1	120	2	<u>70</u>	2	300	50	800	1	40
D.4.1.1.13	120	2	<u>70</u>	2	300	50	800	1	40
F.2.1.1.30	120	1,5	<u>70</u>	2	200	50	500	1	40

2022 metais reikalavimai apdorotam dumblui dėl sunkiųjų metalų koncentracijų buvo ženkliai sugriežtinti ir priartėjo prie reikalavimų tręšimo produktams pagal aprašą [3] (žr. 3 lentelę). Reikalavimai I kategorijai liko tokie patys, tačiau reikalavimai taikomi II kategorijai yra sugriežtinti, švino leistina koncentracija sumažinta nuo 750 iki 150 mg/kg; chromo leistina koncentracija sumažinta nuo 400 iki 170 mg/kg; kadmio leistina koncentracija sumažinta nuo 20 iki 5 mg/kg; gyvsidabrio leistina koncentracija sumažinta nuo 8 iki 1,5 mg/kg.

Produktas pagamintas naudojant dumblą tampa tręšimo produktu, jeigu jis atitinka reikalavimus organinėms trąšoms pagal minėtą tręšimo produktų aprašą.

### 1.1.2 Reikalavimai tręšimo produktui

Tręšimo produktai (D.2.1.1.1, D.4.1.1.13, F.2.1.1.30) (žr. 1 lentelę) pagal mikrobiologinius – parazitologinius parametrus atitinka dumblo A klasei keliamus reikalavimus (žr. 2 lentelę), o pagal užterštumo sunkiaisiais metalais reikalavimus (žr. 3 lentelę), chromo (IV) koncentracija – 2 mg/kg ir arseno koncentracija – 40 mg/kg, dumblo klasės reikalavimuose neregistruoja. Kitų sunkiųjų metalų ribinės vertės (RV) yra griežtesnės nei I klasės apdoroto dumblo: švino koncentracija – 120 mg/kg, chromo koncentracija – 70 mg/kg, taip pat F.2.1.1.30 tręšimo produktui cinko koncentracija yra 500 mg/kg.

Pagal tręšimo produkto aprašą, kitų sunkiųjų metalų koncentracijų RV atitinka reikalavimus I klasės apdorotam dumblui: kadmio koncentracija – 1,5 mg/kg, vario koncentracija – 300 mg/kg, gyvsidabrio koncentracija – 1 mg/kg bei cinko koncentracija – 800 mg/kg, kaip tręšimui produktų grupių D.2.1.1.1 ir D.4.1.1.13, produktams. F.2.1.1.30 kadmio koncentracija – 1,5 mg/kg. Kompostui ir anaerobinėmis sąlygomis fermentuotai biomasei kadmio koncentracija yra 2 mg/kg ir tai atitinka II klasės apdoroto dumblo reikalavimus.

### 1.1.3 Reikalavimai maisto ir virtuvės atliekų tvarkymui

Vadovaujantis BSA apdorojimo reikalavimais [2], viešojo maitinimo įstaigose, visuomeninėse virtuvėse, namų ūkio virtuvėse, maisto gamybos ir prekybos įstaigose susidarantias maisto atliekas galima naudoti kompostavimui ir (arba) anaerobiniam apdorojimui.

Apdorojant BSA atliekas, kurios nepriskiriamos šalutiniams gyvūniniams produktams (ŠGP), arba apdorojant maisto atliekas, kurios susidaro viešojo maitinimo įstaigose ir virtuvėse, įskaitant visuomenines ir namų ūkio virtuves, taip pat maisto gamybos ir prekybos įstaigose, privaloma laikytis šių reikalavimų [2]:

- kompostuojant BSA turi būti užtikrintas bent vienas iš temperatūros režimų:
  - ne trumpiau kaip 5 dienas išlaikyti temperatūrą  $\geq 65$  °C;
  - ne trumpiau kaip 7 dienas išlaikyti temperatūrą  $\geq 60$  °C;
  - ne trumpiau kaip 14 dienų išlaikyti temperatūrą  $\geq 55$  °C;
- anaerobiškai apdorojant BSA turi būti užtikrinamas bent vienas iš temperatūros režimų:
  - ne trumpiau kaip 24 valandas išlaikyti temperatūrą  $\geq 55$  °C, užtikrinant, kad apdorojamos atliekos įrenginyje bus laikomos ne trumpiau kaip 20 dienų;
  - apdorojus BSA temperatūroje  $\geq 55$  °C, ne trumpiau kaip 1 valandą, turi būti pasterizuojama temperatūroje  $\geq 70$  °C;
  - apdorojus biologiškai skaidžias atliekas temperatūroje  $\geq 55$  °C, jos turi būti kompostuojamos užtikrinant bent vieną iš BSA kompostavimui taikomų temperatūrinių režimų;
  - apdorojus biologiškai skaidžias atliekas 37 – 40 °C temperatūroje ne trumpiau kaip 1 valandą, turi būti pasterizuojama temperatūroje  $\geq 70$  °C ;
  - apdorojus biologiškai skaidžias atliekas 37 – 40 °C temperatūroje, vėliau jos turi būti kompostuojamos užtikrinant bent vieną iš BSA kompostavimui taikomų temperatūrinių režimų.

ŠGP priskiriamos atliekos turi būti tvarkomos vadovaujantis Komisijos reglamentuose (ES) Nr. 1069/2009 ir (ES) Nr. 142/2011 nustatyta tvarka [2]. Šių atliekų tvarkymas darbe nebus nagrinėjamas.

#### 1.1.4 Reikalavimai kietosios biomasės kuro pelenų tvarkymui ir naudojimui

Vadovaujantis trešimo produktų aprašu [3], kietosios biomasės deginimo metu susidariusieji pelenai (toliau – medienos biokuro pelenai) gali būti naudojami tręšimui ir / arba, kaip tręšimo produkto gamybos žaliava, jeigu atitinka 4 lentelėje pateiktus reikalavimus [3].

**4 lentelė.** Medienos biokuro pelenams (tręšimo produkto identifikavimo Nr. G.1.1.1.1) taikomi reikalavimai [3]

Žaliavų prigimtis	Mažiausias augalų augimą veikiančių medžiagų kiekis	Nepageidaujamos priemaišos ir didžiausi leistini jų kiekiai
Produktas gaunamas deginant chemiškai neapdorotą medieną: medžių, energinių augalų kamienų dalis, viršūnes, šakas, pjuvenas ir kt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- organinės anglies <math>\leq 5</math> %;</li> <li>- suminis kiekis (<math>P_2O_5 + K_2O</math>) – 6 %;</li> <li>- minimali neutralizavimo vertė – 10;</li> <li>- pelenuose gali būti durpių ir (arba) šiaudų bei jų gaminių (granulių, briketų ir kt.), bet <math>\leq 5</math> % jų sausosios masės;</li> <li>- jeigu organinės anglies kiekis pelenuose neviršija 5 %, poliaromatinių angliavandenilių kiekį pakanka matuoti kas antrus metus, bet</li> <li>- jeigu nesudegusios organinės anglies kiekis <math>&gt; 5</math> %, poliaromatinių angliavandenilių analizę reikia atlikti kasmet.</li> </ul>	Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų koncentracija mg/kg sausojoje masėje: <ul style="list-style-type: none"> <li>- kadmio (Cd) – 5;</li> <li>- švinas (Pb) – 50;</li> <li>- gyvsidabris (Hg) – 0,2;</li> <li>- chromas (Cr) – 30;</li> <li>- cinkas (Zn) – 1500;</li> <li>- varis (Cu) – 200;</li> <li>- arsenas – 3;</li> <li>- nikelis – 30;</li> <li>- šešiavalentis chromas (Cr VI) – 2;</li> <li>- boras (B) – 250;</li> <li>- vanadis (V) – 150;</li> <li>- benz(a)pirenas, <math>\mu\text{g}/\text{kg}</math> – 0,5.</li> <li>- <math>^{137}\text{Cs}</math> radionuklido savitasis aktyvumas sausuose pelenuose yra 1 ir daugiau Bq/g.</li> </ul>

Vadovaujantis BSA apdorojimo reikalavimais [2], medienos kuro pelenai, kurių cheminės savybės atitinka reikalavimus, pateiktus LR aplinkos ministro 2011 m. sausio 5 d. įsakyme Nr. D1-14 „Dėl Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“ (toliau – medienos pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės), gali būti naudojami komposto gamybai, bet jų turi būti maišoma ne daugiau kaip 20 % nuo bendro apdorojamų biologiškai skaidžių atliekų kiekio [7].

Dirvožemio gerinimo medžiagos – komposto gamyboje gali būti naudojami medienos kuro pelenai, kuriuose cheminių medžiagų kiekis neviršija didžiausių leidžiamųjų cheminių medžiagų koncentracijos pelenuose, naudojamuose žemės ūkyje (žr. 5 lentelę) [7].

**5 lentelė.** Cheminių medžiagų DLK medienos biokuro pelenuose, naudojamuose miškų ūkyje, žemės ūkyje, pažeistų teritorijų rekultivavimui [7]

*Cheminė medžiaga	Miškų ūkyje	Žemės ūkyje / pažeistų teritorijų rekultivavimui
	DLK, mg/kg sausojoje masėje	
Boras (B)	200	250
Vanadis (V)	150	150
Nikelis (Ni)	20	30
Chromas (Cr)	20	30
Kadmis (Cd)	3	5
Švinas (Pb)	40	50
Varis (Cu)	100	200
Cinkas (Zn)	1000	1500
Arsenas (As)	3	3
Gyvsidabris (Hg)	0,2	0,2
Benz(a)pirenas, µg/kg	0,5	0,5

\*Pastaba: nustatyta vadovaujantis Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialo Agrocheminių tyrimų laboratorijos atliktais tyrimų rezultatais (išskyrus vanadį (V) ir benz(a)pireną)

### 1.1.5 Reikalavimai kompostavimo procesui

Vadovaujantis minėtais BSA apdorojimo reikalavimais [2], kompostavimas ir anaerobinis apdorojimas turi būti vykdomi uždaruose statiniuose ir (ar) įrenginiuose, tam, kad būtų užtikrinta kvapų sklidimo prevencija, dujų išvalymas prieš išleidžiant į aplinką, išskyrus aikšteles, kuriose kompostuojamos tik ŽA. Pagal LAND 20-2005 [4], reikalavimas BSA kompostavimo procesą vykdyti uždaruose įrenginiuose, įsigalios tik nuo 2025 sausio 1 d., kompostavimo įrenginiuose apdorojamos BSA turės būti priimamos, laikomos ir kompostuojamos uždaruose patalpose, užtikrinant kvapų prevenciją ir dujų išvalymą prieš išleidžiant į aplinką [4].

Aikštelėse, kur kompostuojamos tik ŽA, turi būti užtikrintos dulkių, atsirandančių smulkinant žaliąsias atliekas, prevencijos priemonės. Efektyviam kompostavimo procesui užtikrinti reikalingi parametrai pateikti 6 lentelėje.

**6 lentelė. Kompostavimo proceso efektyvumą užtikrinantys parametrai [10]**

<b>Kompostavimo proceso parametrai ir sąlygos</b>	<b>Pastabos</b>
<b>Kompostavimo proceso drėgnis</b>	
Atliekų drėgnumas – 50 – 60 %.; -esant drėgniui < 40 %. mikroorganizmų aktyvumas mažėja ir ties 20 %. – praktiškai sustoja; -kai drėgnis > 70 %., vanduo užpildo tuštumas, nepatenka deguonis;	Kai BSA drėgnumas per mažas – BSA turi būti drėkinamos; Kai BSA drėgnumas per didelis – BSA maišomos su sausomis BSA;
<b>Kompostavimo proceso pagrindinės stadijos ir jų trukmė</b>	
Pirminio komposto gamyba: - mezofilinė stadija; - termofilinė stadija ; Pirminio komposto brandimas - stabilizavimas: - mezofilinė stadija ;	Stadijų trukmė: - iki 10 dienų; - nuo 3 savaitių iki 1 mėnesio; - - nuo 1 mėnesio;
<b>Kompostavimo proceso temperatūra</b>	
Pirminio komposto gamyba: -mezofilinė stadija (nuo 15 iki 45 °C; pradeda žūti patogenai); -termofilinė stadija (nuo 50 °C iki 75 °C ir sumažėjimas iki 45 °C; žūva patogenai); Pirminio komposto brandimas - stabilizavimas: -mezofilinė stadija (nuo 45 °C iki 20 °C; organinių medžiagų mineralizacija)	Mikroorganizmai (bakterijos), kurios skaido BSA: - mezofilai; - termofilai. Žiemą, kompostuojant atviru būdu, bakterijos žūsta, ir biocheminiai skaidymo procesai praktiškai nevyksta.
<b>Anglies (C) ir azoto (N) santykis</b>	
Optimalus C:N santykis: nuo 15:1 iki 30:1, t.y. 1 dalis N turi tekti nuo 15 iki 30 dalių anglies (C);	N šaltiniai: žaliosios atliekos (mėšlas, maisto (virtuvės), žolė, dumblas); C šaltiniai: rudosios atliekos (šienas, šiaudai, medžių lapai, medienos atliekos, popieriaus ir kartono atliekos);
<b>Deguonies kiekis</b>	
O <sub>2</sub> optimalus kiekis – 15 – 20 %, nuo BSA tūrio; -kai O <sub>2</sub> kiekis < 10 %, prasideda anaerobinis puvinimas, kompostavimo procesas lėtėja; -kai O <sub>2</sub> kiekis > 20 %., nepasiekama termofilinė stadija, kompostavimo procesas lėtėja.	BSA aeracija (vartymas) privaloma, dažnumas priklauso nuo BSA rūšies ir sumaišymo santykio;
<b>pH (rūgštingumas)</b>	
Kompostavimo pradžioje BSA pH – nuo 6 iki 8; -Mezofilinės stadijos metu pH mažėja iki 5; -Termofilinės stadijos metu pH vėl didėja.	pH reguliavimas: maišant skirtingo pH BSA, pridėdant mineralinių priedų;
<b>BSA dalelių dydis</b>	
Smulkinant BSA, didėja atliekų paviršiaus plotas, jose esančios maisto medžiagos tampa lengviau prieinamos BSA skaidančioms bakterijoms, bet sumažėja tarpeliai O <sub>2</sub> patekimui į kompostuojamą masę	Per daug susmulkinus BSA, gali prasidėti anaerobinis puvinimas. Be smulkinimo neprasideda aerobinis procesas.
<b>BSA kaupo dydis (kompostuojant ne komposteriuose)</b>	
Kaupo maksimalus aukštis: 1,5 – 2 m. - esant didesniai kaupo aukščiui, prasideda anaerobinis procesas - nuo svorio į žemutinius sluoksnius nepatenka O <sub>2</sub> ; - esant per mažam kaupo aukščiui, gali neprasidėti termofilinis procesas.	Kaupo aukštis priklausys nuo BSA rūšies, jų drėgnumo, susmulkinimo laipsnio, pradinio tankio.

Kompostuojant BSA turi būti užtikrinamas nuolatinis pagrindinių parametrų matavimas, stebėseną ir registravimą visu aktyvaus kompostavimo laikotarpiu. Išsami kompostavimo technologija turi būti aprašyta TIPK ir/ar Taršos leidimo prieduose [2].

## **1.2. Plačiausiai taikomi biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo būdai ir technologijos**

### **1.2.1 Buitinių nuotekų dumblo tvarkymui plačiausiai taikomi metodai**

Vadovaujantis atliekų tvarkymo taisyklėmis [6], atliekos yra klasifikuojamos, joms suteikiami atliekų kodai:

- Miesto buitinių nuotekų valymo dumblas – 19 08 05;
- Septinių rezervuarų dumblas – 20 03 04;

Pagal atliekų tvarkymo taisykles [6], nuotekų valymo įrenginių dumblo apdorojimas priskiriamas atliekų tvarkymo (naudojimo) kodui R3, kuris apibrėžia organinių medžiagų, nenaudojamų kaip tirpikliai, perdirbimą (atnaujinimą), įskaitant kompostavimą ir kitus biologinio pakeitimo procesus [6]. Kiti galimi nuotekų dumblo tvarkymo veiklų kodai pagal atliekų tvarkymo taisyklių 2 priedą [6] yra:

- R1 – naudojimas kurui arba energijos gamybai;
- R11 – atliekų, gautų vykdant bet kurią iš R1 – R10 veiklų, panaudojimas;
- R12 – atliekų būsenos ar sudėties keitimas prieš vykdant bet kurią iš R1 – R11 veiklų;
- R13 – atliekų, skirtų R1 – R12 veikloms, laikymas.

Plačiausiai taikomi nuotekų dumblo apdorojimo metodai:

- anaerobinis apdorojimas (fermentavimas);
- aerobinis apdorojimas (kompostavimas);
- cheminis apdorojimas (naudojant šarmus (kalkes), rūgštis (cheminė hidrolizė) ar ozoną);
- pasterizavimas (kai temperatūra mažesnė nei 70°C);
- terminis apdorojimas (kai temperatūra didesnė nei 70 °C), dažnai taikoma prieš anaerobinį apdorojimą;
- džiovinimas (kai temperatūra didesnė nei 100 °C).

Retai taikomi metodai:

- sukietinimas ir imobilizavimas;
- švitinimas  $\alpha$  ir  $\beta$  spinduliais;
- akumuliacija augaluose ir kt. [3].

Apdorojimo būdai parenkami remiantis nuotekų dumblo kiekiu, jo fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis, šalies geografine padėtimi, klimatinėmis sąlygomis, alternatyvių energijos šaltinių situacija, dirvožemio humuso sluoksnio storio šalyse ir pan. [3].

### **1.2.2 Medienos kuro pelenų tvarkymo metodai**

Pagal atliekų tvarkymo taisykles [6] medienos kuro pelenai, kaip atliekos, kodas – 10 01 03 (lakieji durpių ir neapdorotos medienos pelenai).

Medienos pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklėse [7] reglamentuoti šie medienos biokuro pelenų tvarkymo (panaudojimo) būdai:

- naudojimas dirvožemio tręšimui žemės ūkyje ir energinių augalų auginimui;
- naudojimas miškų ūkyje ir pažeistų teritorijų (pvz., uždromų sąvartynų, kelių sankasų ir kt.) rekultivavimui;
- pelenų naudojimas civilinėje inžinerijoje (Pelenai gali būti naudojami statant ir (arba) rekonstruojant civilinės inžinerijos statinius (pvz., kelius, pamatus), kaip statybinę medžiagą arba statybinės medžiagos papildą [7]);

Vadovaujantis minėtais BSA apdorojimo reikalavimais [2], medienos kuro pelenai gali būti kompostuojami kartu su kitomis BSA, tačiau medienos kuro pelenai turi sudaryti ne daugiau, kaip 20 % apdorojamų biologiškai skaidžių atliekų kiekio.

### **1.2.3 Plačiausiai taikomi žaliųjų atliekų, maisto ir virtuvės atliekų tvarkymo technologijos ir ŠESD susidarymo šaltiniai**

Pagal atliekų tvarkymo taisykles [6] žaliųjų atliekų (ŽA) srauto kodas – 0921, po kuriuo patenka atliekų kodai 20 02 01 (biologiškai skaidžios atliekos) ir 02 01 07 (miškininkystės atliekos). Įvairių maisto gaminimo ir maisto produktų atliekų srauto kodas – 0912, po kuriuo patenka atliekų kodai 20 01 08 (biologiškai skaidžios virtuvių ir valgyklų atliekos) ir 20 01 25 (maistinis aliejus ir riebalai).

Atliekų tvarkymo taisyklėse nustatyta, kad biologiškai skaidžios atliekos turi būti tvarkomos pirmenybę teikiant kompostavimui arba biodujų gamybai ir likutinio substrato kompostavimui [6].

Lietuvoje taikomi žaliųjų atliekų, maisto ir virtuvės atliekų apdorojimo būdai:

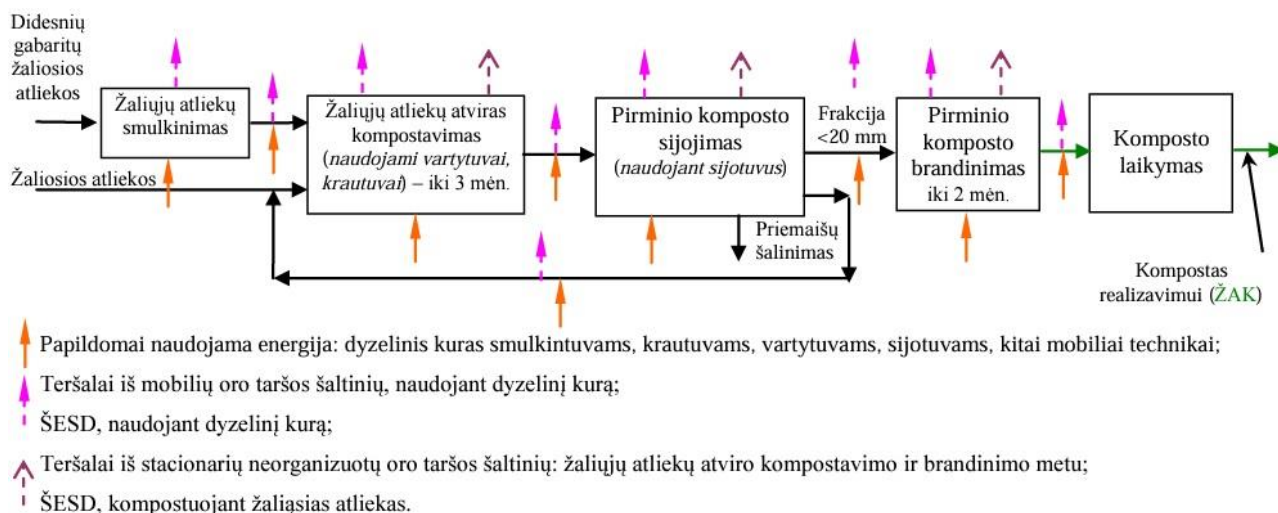
- aerobinis apdorojimas – atviras kompostavimas (tik žaliosioms atliekoms);
- aerobinis apdorojimas – kompostavimas uždaroje sistemoje;
- aerobinis apdorojimas – intensyvus uždaras kompostavimas;
- aerobinis apdorojimas – namūdinis kompostavimas (tik žaliosioms atliekoms);
- anaerobinis apdorojimas (fermentavimas) – biodujų gamyba anaerobinėmis sąlygomis (gali būti prie minėtos mezofilinės temperatūros, bet gali būti ir prie termofilinės);
- deginimas (pvz., medienos atliekų deginimas energijai gauti).

Vienas plačiausiai taikomų ŽA apdorojimo būdų – atviras kompostavimas, naudojant vartytuvus, krautuvus, sijotuvus [9]. Atvirai kompostuojant žaliąsias atliekas poveikis aplinkos oro kokybei ir VAP susidaro dėl oro teršalų ir ŠESD iš stacionariųjų, neorganizuotų ir mobilių šaltinių, naudojat techniką su vidaus degimo varikliais. Kompostavimo pagrindiniai technologiniai etapai, oro taršos ir ŠESD galimi šaltiniai pateikti 1 paveiksle.

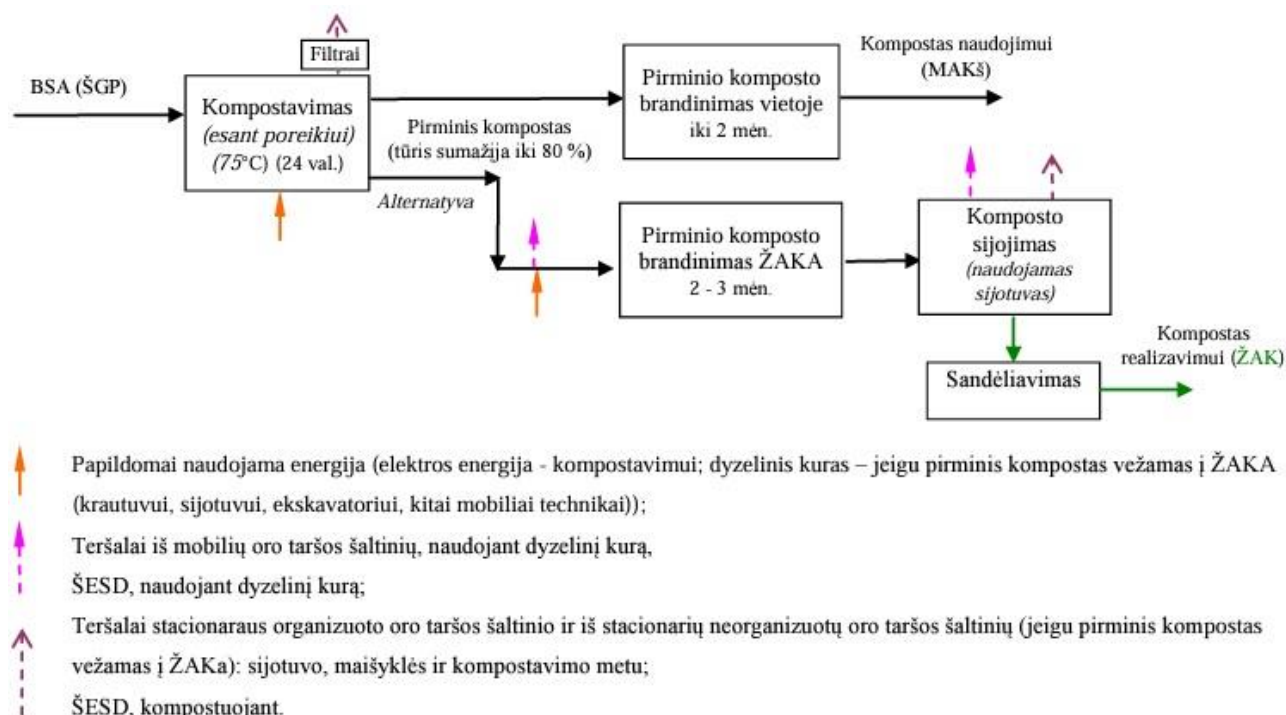
Europoje populiarėja MVA (įsk. ŠGP) intensyvaus kompostavimo įrenginiai. Jie naudojami ne tik įvairiose maitinimo ir apgyvendinimo įstaigose, bet ir prekybos centruose, mokyklose bei šalia daugiabučių gyvenamųjų namų [9]. Intensyvaus kompostavimo pagrindiniai technologiniai etapai, oro taršos ir ŠESD galimi šaltiniai pateikti 2 paveiksle.

Intensyviai uždaram BSA tvarkymui dažniausiai naudojamos tunelinio kompostavimo sistemos, konteinerinio kompostavimo sistemos arba kompostavimas naudojant specialias plėveles. Uždarose sistemose galima kontroliuoti ir valdyti pagrindinius kompostavimo proceso parametrus (drėgmę,

temperatūrą, aeraciją), o pirminis kompostas gali būti pagamintas per 2-3 savaites [10]. Kompostuojant uždaroje, ištraukiamas oras nukreipiamas biofiltrus; todėl sumažinamos dujų emisijos į aplinkos orą, bei eliminuojamas kvapų susidarymas. Po BSA kompostavimo tuneliuose ar konteineriuose, kaip ir atviro kompostavimo atveju, reikalingas BSA stabilizavimas – sendinimas (brandinimas). Sendinimui reikalinga įrengti papildomą kompostavimo – sendinimo aikštelę, kurioje atliekos po intensyvaus kompostavimo būtų išlaikomos 3 – 4 savaites.



1 pav. ŽA atviro kompostavimo technologijos pagrindiniai etapai ir ŠESD bei oro taršos šaltiniai [9].



2 pav. Atskirai surinktų MVA, įsk. ŠGP, intensyvaus kompostavimo pagrindiniai technologiniai etapai ir ŠESD bei oro taršos šaltiniai [9]

## 2. Mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatai biologiškai skaidžių atliekų valdymo srityje

### 2.1. Kompostų, pagamintų iš biologiškai skaidžių atliekų, maistinės ir energetinės savybės

Biologiškai apdorojant BSA, pagrindiniai gautųjų produktų (kompostų, raugų) kokybės kriterijai, apibūdinantys BSA maistines savybes: sausoji medžiaga (SM), organinės medžiagos kiekis sausoje medžiagoje (OM, % SM), suminis azotas (% SM), suminis fosforas (% SM) ir suminis kalis (% SM). Kiti svarbūs kokybiniai rodikliai: anglies – azoto santykis, elektrinis laidumas, pH ir piltinis tankis. [9]. Komposto, pagaminto iš BSA, maistinės ir energetinės savybės skiriasi, jos priklauso nuo to, koks BSA apdorojimo procesas naudojamas, BSA sumaišymo proporcijų ir papildomų medžiagų, kurios naudojamos kompostavime

2016 metais buvo atlikti laboratoriniai tyrimai, kuriuose nustatyti reikalavimai produktams pagamintiems iš biologiškai skaidžių atliekų [9]. Šiame tyrime kokybės rodikliai buvo vertinami atskiroms komposto ir anaerobinių raugų rūšims (nagrinėjami tik su baigiamojo darbo tematika susiję kompostai ir raugai):

- ŽAK – kompostas, pagamintas iš žaliųjų atliekų;
- MAK – kompostas, pagamintas iš surinktų maisto ir maisto pramonės atliekų;
- MAKš – kompostas, pagamintas iš maisto atliekų (kurios susidaro viešojo maitinimo įstaigose), jas apdorojant susidarymo vietoje;
- NDK – kompostas, pagamintas iš nuotekų nepūdyto ir pūdyto dumblo;
- MAR – raugai, gaminami iš surinktų maisto bei maisto pramonės atliekų;
- NDR ir NDRd – raugai, gauti iš nuotekų dumblo anaerobinio apdorojimo įrenginių;

Laboratoriniais tyrimais gauti maistinių medžiagų ir kiti svarbūs kompostų kokybės rodikliai pateikti 7 lentelėje.

**7 lentelė.** Laboratoriniais tyrimais gautų kokybės rodikliai kompostuose [9]

Kompostų kokybės rodikliai	Tirtų kompostų kokybės rodiklių minimalios ir maksimalios vertės, mediana (patamsinta)			
	ŽAK	MAK	MAKš	NDK
<b>Tirtų kompostų skaičius</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>7</b>
Sausosios medžiagos, %	47,7-81,0 <b>61,2</b>	11,4-81,2 <b>67,6</b>	<b>59,03</b>	38,4-56,5 <b>46,1</b>
Organinės medžiagos, % SM	8,5-28,6 <b>20,6</b>	18,4-71,7 <b>29,6</b>	<b>77,22</b>	33,6-66,7 <b>45,8</b>
Suminis azotas (N), % SM	0,23-1,41 <b>0,67</b>	0,99-5,51 <b>1,36</b>	<b>1,85</b>	1,30-3,43 <b>2,43</b>
Suminis fosforas (P), % SM	0,04-0,47 <b>0,14</b>	0,27-3,71 <b>0,40</b>	<b>0,24</b>	0,90-1,77 <b>1,28</b>
suminis kalis (K), % SM	0,16-1,17 <b>0,46</b>	0,29-1,64 <b>0,71</b>	<b>1,85</b>	0,26-2,57 <b>1,18</b>
C/N santykis	10,3-19,7 <b>13,3</b>	4,8-17,2 <b>10,1</b>	<b>18,9</b>	7,0-10,8 <b>7,5</b>
Elektrinis laidis, mS/cm	0,4-4,32 <b>0,87</b>	1,61-3,76 <b>3,11</b>	<b>3,24</b>	1,7-2,09 <b>1,96</b>
pH (KCl)	7,3-7,9 <b>7,5</b>	6,7-8,5 <b>7,8</b>	<b>5,5</b>	5,7-6,0 <b>5,9</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	7,3-8,8 <b>8,1</b>	6,0-8,5 <b>7,8</b>		5,1-8,3 <b>6,6</b>
Piltinis tankis, g/l	625-881 <b>715</b>	549-826 <b>805</b>	<b>715</b>	499-670 <b>602</b>

Laboratoriniais tyrimais gauti maistinių medžiagų ir kiti svarbūs raugų kokybės rodikliai pateikti 8 lentelėje.

**8 lentelė.** Laboratoriniais tyrimais gauti kokybės rodikliai rauguose [9]

Raugų kokybės rodikliai	Tirtų raugų kokybės rodiklių minimalios ir maksimalios vertės, mediana (patamsinta)		
	MAR	NDR	NDRd
Tirtų raugų skaičius	3	4	4
Sausosios medžiagos, %	1,1-25,0 <b>1,4</b>	11,6-30,5 <b>16,6</b>	87,9-97,1 <b>94,3</b>
Organinės medžiagos, %SM	61,0-90,2 <b>69,0</b>	49,3-76,8 <b>65,8</b>	57,6-67,7 <b>64,8</b>
Suminis azotas (N), % SM	1,73-33,30 <b>24,96</b>	4,3-6,2 <b>5,4</b>	4,3-5,4 <b>5,2</b>
Suminis fosforas (P), % SM	0,62-2,79 <b>0,76</b>	2,36-3,31 <b>2,80</b>	1,19-3,76 <b>2,04</b>
suminis kalis (K), % SM	0,64-11,09 <b>9,88</b>	0,29-0,53 <b>0,34</b>	0,22-0,37 <b>0,26</b>
C/N santykis	0,80-17,7 <b>1,01</b>	4,9-6,4 <b>5,4</b>	5,5-7,7 <b>7,4</b>
Elektrinis laidis, mS/cm	1,25-3,34 <b>1,34</b>	<b>1,5</b>	1,52-3,37 <b>2,59</b>
pH (KCl)	8,6-8,9 <b>8,7</b>	7,8-7,9 <b>7,9</b>	6,8-7,2 <b>7,0</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	8,9-9,2 <b>8,9</b>	6,6-8,0 <b>7,7</b>	6,4-7,6 <b>7,3</b>

### Sausosios medžiagos

Kuo daugiau sausųjų medžiagų – tuo vertingesnis kompostas. Pagal sausųjų medžiagų kiekį kompostai skirstomi į turinčius jų mažai – < 30 %, vidutiniškai – 31 – 40 %, daug – 41 – 50 % ir labai daug – > 50 % [9,20]. Tyrimų rezultatai rodo, kad kompostai, pagaminti iš mišrių BSA (ŽAK, MAK ir MAKš) turi labai daug sausųjų medžiagų. Paprastai anaerobiniai raugai pasižymi dideliu drėgniu, todėl sausųjų medžiagų rauguose yra mažai. NDRd ėminiai buvo paimti iš komunalinių nuotekų valyklų po anaerobinio apdorojimo, nusausinimo ir džiovinimo, todėl NDRd sausųjų medžiagų kiekis net – 97,1 %.

### Organinės medžiagos

Tręšimo tikslas yra praturtinti dirvožemį organinėmis medžiagomis, todėl organinių medžiagų kiekis kompostuose yra vienas svarbiausių kokybės rodiklių. Pagal organinių medžiagų kiekį kompostai skirstomi į turinčius jų mažai – < 25 %, vidutiniškai – 26 – 35 %, daug – 36 – 45 %, labai daug – > 45 % [9,20]. Tyrimai parodė, kad kompostuose, pagamintuose iš ŽA ir mišrių BSA, organinių medžiagų buvo mažai arba vidutiniškai, daugiausiai organinių medžiagų buvo MAKš komposte – 77,22 %, NDK komposte taip pat daug – 45,8 %. Tirtuose anaerobiniuose rauguose organinių medžiagų kiekis buvo didesnis nei 60 %.

### Suminis azotas (N)

Pagal suminį azoto (N) kiekį kompostai skirstomi į turinčius jo mažai – ≤1,0 %, vidutiniškai – 1,1 - 1,5 %, daug – 1,6 – 2,0 % ir labai daug – > 2,0 % [9,20]. Kompostams, pagamintiems iš anaerobinių raugų ši vertinimo skalė ne visada tink, nes azoto kiekis juose gerokai viršija 2 % ribą [21]. Mažas suminio azoto kiekis nustatytas ŽAK – 0,67 %, daug azoto turėjo NDK – 2,43 %. Tirtuose anaerobiniuose rauguose suminis azoto (N) kiekis svyravo nuo 1,73 iki 33,3 % ribose, ir šis didelis

svyravimas gautas MAR anaerobiniuose rauguose. Didžiausias suminio azoto (N) kiekis nustatytas MAR rauguose, kuriuose mediana – 24,96 %, ji buvo mažesnė NDR – 5,4 %, NDRd – 5,2 %.

### **Suminis fosforas (P)**

Pagal suminį fosforo (P) kiekį kompostai skirstomi į turinčius jo mažai –  $\leq 0,40$  %, vidutiniškai – 0,41 – 0,60 %, daug – 0,61 – 0,80% ir labai daug –  $> 0,80$  % [9,20]. Kompostuose daugiausiai suminio fosforo (P) nustatyta NDK – 1,28 % (mediana), mažiausiai ŽAK – 0,14 % (mediana). Anaerobiniuose rauguose daugiausiai suminio fosforo (P) nustatyta NDR – 2,8 % (mediana), mažiausiai MAR – 0,76 % (mediana).

### **Suminis kalis (K)**

Pagal suminį kalio (K) kiekį kompostai skirstomi į turinčius jo labai mažai  $< 0,6$  %, mažai – 0,6 – 1,0 %, vidutiniškai – 1,1 – 2,0 %, daug – 2,1 – 2,5 % ir labai daug –  $> 2,5$  % [9,20]. Kompostuose daugiausiai suminio kalio (K) nustatyta MAKš – 1,85 % (mediana), mažiausiai ŽAK – 0,46 % (mediana). Anaerobiniuose rauguose daugiausiai suminio kalio (K) nustatyta MAR – 9,88 % (mediana), mažiausiai NDRd – 0,26 % (mediana).

### **C/N santykis**

C/N santykis lemia komposte esamos organinės medžiagos mineralizacijos eigą, kuri tiesiogiai susijusi su azoto kiekiu. Jei C/N santykis mažesnis nei 10:1, komposto mineralizacija vyksta labai greitai, ir toks kompostas, kaip organinės medžiagos šaltinis ilgam laikotarpiui netinka. Kai komposte C/N santykis didesnis nei 25:1, komposto mineralizaciją vykdančios mikroorganizmai naudos daug komposte esančio azoto. Augalams skirtas azotas bus sunaudotas ir kompostas bus prastos kokybės, pagal N kiekį. Optimalus C/N santykis yra tarp 10:1 ir 20:1 [9,20]. Kompostuose vertinant pagal mediana C/N santykis gautas: NDK – 7,5, MAK – 10,1, ŽAK – 13,3, MAKš – 18,9. Vieną mėnesį brandinto MAKš C/N santykis vertinamas, kaip optimalus ir yra geresnis, nei kituose maisto atliekų kompostuose. Anaerobiniuose rauguose C/N santykis didėjančia tvarka gautas: MAR – tik 1,0, NDR – 5,4, NDRd – 7,4. Visuose rauguose C/N per mažas.

### **Elektrinis laidis**

Elektrinis laidis parodo bendrą tirpių druskų koncentraciją (dirvožemyje, dirvožemio gerinimo medžiagose, auginimo terpėse ir kt. ). Elektrinis laidis kompostuose: mažas, kai nesiekia 0,5 mS/cm, optimalus – 1,1 – 1,5 mS/cm, didelis – daugiau 2,0 mS /m [9,20]. ŽAK druskų koncentracija buvo nedidelė. MAK ir MAKš – labai didelė, todėl gali kenkti augalams. Anaerobiniuose rauguose elektrinis laidis pagal medianos vertes pasiskirstė: MAR – 1,34 mS/cm, NDR – 1,5 mS/cm, NDRd – 2,59 mS/cm.

### **pH**

pH, tai vandenilio ir hidroksilo jonų koncentracijos santykis. Esant didesnei vandenilio jonų koncentracijai – reakcija rūgšti, esant didesnei hidroksilo jonų koncentracijai – šarminė, kai abiejų jonų koncentracija vienoda – reakcija neutrali (7,0) [9]. Dirvožemio pH turi įtakos mikroorganizmų veiklai, organinių medžiagų mineralizacijai, augalams būtinų maisto medžiagų tirpumui ir įsisavinimui, jų tarpusavio ryšiui ir blokavimui. Kompostų pH (H<sub>2</sub>O) pagal mediana: ŽAK – 8,1, MAK – 7,8, NDK – 6,6, šios vertės yra optimaliame intervale. Maža pH verte pasižymėjo vieną

mėnesį brandintas MAKš – 5,5, po pilno brandinimo pH įprastai normalizuojasi. Anaerobiniuose rauguose pH (H<sub>2</sub>O) pagal medianas: MAR 8,9, NDR – 7,7, NDRd – 7,3. Kompostuose pH (KCl) pagal mediana: MAK – 7,8, ŽAK – 7,5, NDK – 5,9. Anaerobiniuose rauguose pH (KCl) pagal medianą: MAR – 8,7, NDR – 7,9, NDRd – 7,0.

### **Piltinis tankis**

Piltinis tankis – tai birių medžiagų, laisvai supiltų į norminių tūrių matavimo indus, tūrio vieneto masė. Kuo kompostas puresnis, tuo puresnė dirva būna po tręšimo, tai teigiamas aspektas. Šio projekto rėmuose tirtuose kompostuose piltinis tankis svyravo 499 – 945 g/l intervale. Puriausias buvo NDK – 602 g/l (mediana), mažiau purūs buvo ŽAK – 715 g/l, MAKš – 715 g/l ir MAK – 805 g/l.

## **2.2. Pramoninės simbiozės taikymas biologiškai skaidžių atliekų optimaliam tvarkymui**

Pramoninė simbiozė – tai koncepcija, pagrįsta žiedine ekonomika ir pramoninės ekologijos idėjomis, t.y. vienas iš pramoninės ekologijos praktinio įgyvendinimo įrankių [28]. Medžiagų ir energijos judėjimas, procesų ir įrenginių optimalus naudojimas, bendradarbiaujant įmonėms, suteikia ekonominius, aplinkos ir socialinius konkurencinius pranašumus visoms dalyvaujančioms šalims. BSA tvarkyme yra daug potencialo taikyti pramoninę simbiozę. BSA medžiaginės savybės suteikia galimybes įvairius BSA srautus tvarkyti (kompostuoti ir / ar tvarkyti, taikant kitus BSA apdorojimo metodus) viename įrenginyje, taip taupant energetinius išteklius jų apdorojimui, gabenimui, ir tuo pačiu mažinant poveikį aplinkai dėl oro teršalų, ŠESD bei gaminant didesnės pridėtinės vertės produktus (pvz. aukštos kokybės kompostą).

### **2.2.1. Nuotekų dumblo kompostavimas su žaliosiomis atliekomis**

Vienas iš pagrindinių parametru, lemiančių kompostavimo proceso sėkmę – kompostuojamo mišinio C/N santykis [14]. Nuotekų dumblo C/N santykis įprastai yra žemas 5-10:1 [14], drėgmė siekia 80 % ir daugiau, didelis tankis, nėra porų deguoniui patekti, todėl dumblo kompostavimas nemaišant jo su kitomis anglimi (C) turtingomis BSA yra praktiškai neįmanomas dėl per mažo C/N santykio, per didelės drėgmės ir blogos aeracijos (žr. 6 lentelę).

ŽA, tokių, kaip lapai ir šakos, charakteristikos yra priešingos – per didelis C/N santykis kompostavimui (šakos 500 – 750:1, medžių lapai 30 – 80:1 [14]), per maža drėgmė ir tankis. Esant žemam C/N santykiui, mikroorganizmai sunaudoja visą C kaip energijos šaltinį sintetinant amino rūgštis ir baltymus bei naudojant azotą. Esant N pertekliui, mikroorganizmai transformuoja jį į amoniaką – susidaro stiprūs nemalonūs kvapai. Kai C/N santykis per aukštas, atliekų irimas sustoja, dėl N trūkumo – mikroorganizmai sunaudoja visą N ir miršta, termofilinė temperatūra nepasiekama, todėl patogenai lieka nenukenksminti [14]. Skirtingas įvairių BSA srautų C/N santykis atveria galimybes kompostavimo procese maišyti įvairius BSA srautus apskaičiuotomis proporcijomis, siekiant palaikyti optimalų kompostavimui C/N santykį. Įvairių BSA srautų C/N santykis pateiktas 9 lentelėje. Nuotekų dumblo maišymas su ŽA taip pat yra palanki galimybė sugerti nuotekų dumblo drėgmę ir užtikrinti tinkamą poringumą aeracijai [17]. Kompostuojamų BSA C/N santykis taip pat turi didelę įtaką ŠESD emisijų kompozicijai kompostavimo proceso metu, tyrimai rodo, kad esant per dideliu C/N santykiui ir nepakankamai aeruojant, išsiskiria daugiau CH<sub>4</sub> dujų, kurios daro didžiausią įtaką VAP, per mažas C/N santykis gali įtakoti didesnius N<sub>2</sub>O emisijų kiekius [18].

**9 lentelė.** Skirtingų BSA srautų C/N santykis [10; 14]

BSA rūšis	C/N santykis	Pastabos
„Žalias“ skystas mėšlas	3 – 5 : 1	<b>Žemesnis nei optimalus C/N santykis</b>
Nuotekų dumblas	3 – 5 : 1	
Naminių paukščių mėšlas	5 – 10 : 1	
Kiaulių mėšlas	5 – 15 : 1	
Nuotekų dublas po anaerobinio pūdymo	5 – 15 : 1	
Maisto/virtuvės atliekos	10 – 15 : 1	
Daržovių/vaisių atliekos	10 – 20 : 1	
Organinė mišrių komunalinių atliekų dalis	10 – 20 : 1	
Karvių mėšlas	10 – 20 : 1	
Šviežiai nupjauta žolė	15 – 20 : 1	
Arklių mėšlas	25 : 1	
Durpės	20 – 30 : 1	
–	30:1	<b>Optimalus kompostavimui C/N santykis</b>
Lapai (švieži)	30 – 40 : 1	<b>Aukštesnis nei optimalus C/N santykis</b>
Šienas (išdžiovintas)	40 – 60 : 1	
Pageltę (seni) lapai	60 – 80 : 1	
Komunalinių atliekų mišinys	50 – 60 : 1	
Šiaudai (išdžiovinti)	50 – 150 : 1	
Medžio žievė	150 – 450 : 1	
Popieriaus atliekos	150 – 600 : 1	
Kartono atliekos	300 – 600 : 1	
Pjuvenos	300 – 600 : 1	
Medienos atliekos	500 – 750 : 1	

### 2.2.2. Pelenų naudojimas biologiškai skaidžių atliekų kompostavime

Vis daugiau miestų šilumą centralizuotam šildymui gamina degindami medienos biokurą, kuris laikomas atsinaujinančios energijos šaltiniu. Degimo metu susidaro dideli medienos kuro pelenų kiekiai, kurių teoriškai didžioji dalis gali būti toliau naudojama, bet praktiškai vis dažniau šalinama sąvartynuose. Medienos kuro pelenai turi daug maistinių medžiagų (C, P, K, Ca, K) ir gali būti efektyviai perdirbami į dirvožemį gerinančias medžiagas, pavyzdžiui, kaip komposto priedą [16]. Tačiau papildomų ingredientų pridėjimas į kompostą gali pakenkti pačiam kompostavimo procesui arba neigiamai paveikti pagaminto komposto savybes, dėl šios priežasties reikia nuodugniai ištirti pelenų kokybę ir išanalizuoti jų įtaką kompostavimo procesui. Pelenų pridėjimas gali žymiai pakeisti cheminę komposto sudėtį ir kitus svarbius parametrus, tokius kaip pH. Tyrimai parodė, kad pridėjus 9 % pelenų į kompostavimo mišinį pH padidėjo nuo 8,2 iki 9,1 [16], tai teigiamas aspektas, nes neapdoroto nuotekų dumblo pH įprastai yra per mažas ir neatitinka 6 lentelėje pateiktų optimalių kompostavimo parametru, todėl apskaičiuoto pelenų kiekio pridėjimas gali padėti sureguliuoti pH. Mokslinių tyrimų rezultatai parodė, kad kompostuojant nuotekų dumblą su žaliosiomis atliekomis galima naudoti iki 9 % biokuro pelenų, neviršijant aukštos kokybės kompostui nustatytą užterštumo sunkiaisiais metalais ribinių verčių [16]. Didžiausią riziką keliantis kriterijus yra kadmio koncentracija pagamintame komposte [16]. Norint nustatyti galimą naudoti pelenų kiekį, reikia įvertinti visų kompostavimo procese naudojamų BSA srautų užterštumą sunkiaisiais metalais ir maišymo proporcijas apskaičiuoti individualiai, kad pagamintame tręšimo produkte nebūtų viršytos tręšimo produktų apraše [4], numatytos užterštumo sunkiaisiais metalais ribinės vertės.

### **2.2.3. Pelenų naudojimas nuotekų dumblo sausinime**

Griežtėjant reikalavimams centralizuotam nuotekų tvarkymui, vis daugiau namų ūkių bus prijungta prie centralizuotų nuotekų tinklų, todėl galima prognozuoti, kad generuojami dumblo kiekiai nuotekų valylose tik didės. Nuotekų valymo įmonės įprastai dumblo sausinimo etape naudoja polimerus (UAB „Jonavos vandenys“ per metus sunaudoja 3,53 t polimerų), tačiau moksliniai tyrimai ir praktiniai eksperimentai įrodė, kad dumblo sausinimui, bakterijų skaičiaus mažinimui ir nuotekų dumblo struktūros stabilizavimui, galima naudoti medienos kuro pelenus [15]. Tyrimų ataskaitose pateiktų rezultatų analizė parodė, kad pridėjus medienos biomasės pelenų, dumblo nusausinimas pagerėja nuo 10 iki 23 %. Pridėti medienos pelenai taip pat sumažino bendrą bakterijų skaičių laboratoriniu mastu 83 – 89 %, o techniniu – 40 – 53 %. Geriausi rezultatai gauti naudojant 30 g pelenų vienam litrui nuotekų dumblo [15]. Į nuotekų dumblą įmaišius medienos kuro pelenų, dumblo struktūra tampa stabilesnė, tas palengvina dumblo transportavimo procesą.

Pramoninė simbiozė tarp energijos gamybai medienos kurą deginančių įmonių ir nuotekų tvarkytojų padėtų sutaupyti lėšų dėl pelenų tvarkymo kaštų eliminavimo (reikia padengti tik transportavimo kaštus), taip pat būtų taupomos lėšos atsisakant cheminių preparatų dumblo sausinime. Naudojant pelenus dumblo sausinimui ženkliai sumažinamas dumblo mikrobiologinis užterštumas ir pagerėja dumblo žaliavinės savybės dėl pelenuose esančių naudingų medžiagų (C, P, K, Ca, K). Naudojant pelenus dumblo sausinimui, atsiranda papildoma tarša sunkiaisiais metalais, todėl reikia kontroliuoti naudojamų pelenų ir į nuotekų valyklą patenkančių nuotekų užterštumą sunkiaisiais metalais (ypatingai gamybinių nuotekų), kad nebūtų viršytos užterštumo sunkiaisiais metalais ribinės vertės.

### **2.3. Prevencinio požiūrio taikymas biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui**

BSA sektoriuje, kaip ir kitų atliekų tvarkyme galioja atliekų tvarkymo hierarchijos principas, kurio pirmas prioritetas – atliekų prevencija [8]. Atliekų prevencijos pamatinė idėja yra sumažinti susidarančių atliekų kiekį. BSA valdymo sistemoje prasingiausia yra dėti pastangas siekiant sumažinti ŽA ir MVA susidarymą. Nuotekų tvarkymo reikalavimai nuolat griežtėja, vartotojų prijungtų prie centralizuotos nuotekų tvarkymo sistemos skaičius didėja, todėl galima prognozuoti, kad susidarančio nuotekų dumblo kiekiai artimiausiais metais tik didės. Medienos kuro pelenų kiekiai taip pat nemažės, nes vis dar vyksta miestų šilumos ūkių transformacija, keičiant iškastinį kurą naudojančius katilus į biokurą naudojančius įrenginius.

#### **2.3.1. Žalųjų atliekų susidarymo prevencija**

Žaliosios erdvės miestuose ir miesteliuose suteikia įvairių privalumų: jos mažina oro, vandens ir triukšmo taršą, apsaugo nuo sausrų bei karščio bangų, atveria verslo galimybes, prisideda prie biologinės įvairovės išsaugojimo ir palaiko ryšį tarp žmonių ir gamtos. Miestų ir priemiestinių teritorijų žalinimas yra vienas iš 2020 m. Europos Komisijos patvirtintos 2030 m. ES biologinės įvairovės strategijos tikslų, todėl tikėtina, kad intensyviai prižiūrimų viešųjų žaliųjų plotų miestuose daugės. Vienas iš svarbiausių 2019 m. Europos Komisijos patvirtinto Žaliojo kurso tikslų yra tvarus išteklių naudojimas ir atliekų kiekio mažinimas. Miestuose didėjant plotui, kurį užima parkai, skverai ir kitos intensyviai prižiūrimos žaliosios erdvės, susidarančių žaliųjų atliekų kiekis taip pat gali padidėti, todėl prevencinio požiūrio taikymas ŽA tvarkymo srityje yra svarbi savivaldybių atliekų tvarkymo strategijų dalis ir gali ženkliai prisidėti prie ekonomikos žiediško gerinimo ir gamtinių išteklių išsaugojimo.

Tobulėjant technikai, miestus prižiūrinčios įmonės ir savivaldybės atsiranda vis daugiau galimybių organizuoti žaliųjų plotų tvarkymą atsisakant žolės ir lapų surinkimo. Tam reikia sisteminių ir technologinių pokyčių, techniką reikia pritaikyti žolės mulčiavimui o viešąsias erdves įrenginėti taip, kad veją būtų galima pjauti naudojant vejos pjovimo robotus. Vejos pjovimo robotai sparčiai tobulėja ir rinkoje kasmet atsiranda vis daugiau įrangos, kuri jau yra pritaikyta didelių viešųjų erdvių priežiūrai. Gamintojo „Husqvarna“ modelis 550 EPOS (žr. 3 paveikslą) skirtas vejoms iki 10 000 m<sup>2</sup>, kurį jau 3 metus sėkmingai naudoja Vilniaus miesto, Kauno miesto, Jonavos raj. ir kitos savivaldybės viešųjų erdvių priežiūrai. Gamintojo „Mammotion“ modelis Luba 2 AWD 10000 (žr. 4 paveikslą), taip pat skirtas vejoms iki 10 000 m<sup>2</sup>. Populiarėjantis vejos robotų naudojimas namų ūkiuose, ženkliai prisideda prie ŽA atliekų susidarymo mažinimo. Savivaldybėms taip pat reikia plačiau naudoti šią įrangą, kuri dirbdama negeneruoja oro teršalų ir ŠESD emisijų, miestų centruose nekelia triukšmo, nepatiriamos žmonių darbo jėgos sąnaudos, nesusidaro ŽA. Maisto medžiagos lieka dirvožemio paviršiuje, biodegraduoja ir praturtina dirvožemį maisto medžiagomis.



**3 pav.** „Husqvarna“ vejos robotas 550 EPOS



**4 pav.** „Mammotion“ vejos robotas Luba 2 AWD 10000

Nešienaujamos pievos yra dar viena galimybė sumažinti susidarančių ŽA kiekį. Kai kuriuose Lietuvos miestuose ši praktika jau taikoma – paliekama vis daugiau nešienaujamų pievų siekiant sumažinti išlaidas žolės pjovimui ir skatinti biologinę įvairovę. Ši praktika yra laikoma veiksminga ŽA susidarymo mažinimo priemone, tačiau būtina atsakingai įvertinti jos poveikį žmonių sveikatai, eisimo dalyvių saugumui ir miesto vizualiniam įvaizdžiui. Kitas galimas ŽA susidarymo mažinimo

būdas yra lapų mulčiavimas. Šis lapų tvarkymo būdas Lietuvoje naudojamas retai, bet moksliniuose tyrimuose ir publikacijose aprašytas jo teigiamas poveikis dirvožemio cheminei, fizinei ir biologinei struktūrai [19]. Savivaldybės miestų žaliųjų plotų priežiūrai turėtų taikyti skirtingus priežiūros lygius ir būdus. Mulčiuojant nupjautą žolę ir lapus jų susidarymo vietoje, būtų mažinamas susidarančių BSA kiekis, mažinamos ŠESD emisijos dingus poreikiui transportuoti ŽA, taupomi atliekų tvarkymo kaštai, dirvožemis praturtinamas maistinėmis medžiagomis.

### 2.3.2. Maisto virtuvės atliekų (MVA) prevencija

Prevencinis požiūris neįmanomas be visuomenės švietimo ir informavimo. Didelis dėmesys turi būti skiriamas visuomenės švietimui ir informavimui apie vartojimo mažinimą, atliekų rūšiavimo svarbą, BSA kompostavimo namuose svarbą ir naudą. Namudinis kompostavimas jau daug metų plačiai taikomas namų ūkiuose, kaip būdas mažinti BSA susidarymą. BSA kompostavimą jų susidarymo vietoje galima taikyti ne tik namų ūkiuose, bet ir valgyklose, restoranuose ir kitose maitinimo įstaigose, naudojant specialią įrangą. Gamintojas „Oklin“ siūlo greito kompostavimo įrenginius tiek namų ūkiams, tiek komerciniam sektoriui generuojančiam BSA [11]. „Oklin“ siūlomų skirtingų gaminių našumas yra nuo 4 kg iki 1350 kg per 24 valandas. Gamintojo deklaruojamas atliekų kiekio sumažėjimas iki 80 – 90 %. 5 paveiksle pateiktas pavyzdys kurio našumas 25 kg per 24 valandas (gaminio aukštis – 103 cm, gaminio ilgis – 116 cm).



5 pav. „Oklin“ GG10s greito kompostavimo įrenginys

Lietuvoje pravešto eksperimento rezultatai parodė, kad naudojant Oklin įrenginį ir jame kompostuojant MVA kartus su ACIDULO™ mikroorganizmais, per parą pagaminamas pirminis kompostas, kuris pasižymi labai aukštu vertingumu pagal visus pagrindinius komposto kokybės kriterijus, pvz., organinių medžiagos kiekis – viš 80 % SM [25]. Bet tokie kokybės rodikliai, kaip sulfatų ir chloridų kiekis, yra labai dideli ir siekia: SO<sub>4</sub> – iki 2800 mg/l, Cl – iki 11300 mg/l [25]. Šiame pirminiame komposte ištirpusios organinės anglies koncentracija gerokai viršija 4000 mg/kg [9], toks kompostas dar nestabilus, t.y. biodegradavimo procesas dar neužbaigtas. Tokio pirminio komposto trešimui naudoti dar negalima.

KTU APINI mokslininkai pasiūlė MVA pirminį kompostą brandinti kartu su žaliųjų atliekų pirminių kompostu, kuris nepasižymi dideliu vertingumu. Pvz., organinių medžiagos kiekis ŽAK siekia tik apie 20,6 % SM [25; 28] (žr. 7 lentelę). Žaliųjų atliekų centralizuotoje kompostavimo aikštelėje (ŽAKA) praveistas eksperimentas parodė, kad tokio brandinimo metu galima pagaminti didelės vertės kompostą pagal daugelis kokybės kriterijų, ypač vandenyje tirpių N, P, K, Mg [25], kuriuos geriau pasisavina augalai [9]. Šiame etape svarbu tiksliai parinkti sumišimo proporcijas.

Tyrimo metu nustatyta, kad, lyginant su MVA centralizuotais kompostavimo metodais, intensyvus kompostavimas vietoje, t.y. šalia maitinimo įstaigų, naudojant Oklin technologiją, leidžia nuo 1,7 iki 7,5 kartu sumažinti poveikį VAP dėl ŠESD emisijų. Tiesioginis poveikis VAP dėl ŠESD gaminant pirminį kompostą ir jį brandinant šalia maitinimo įstaigos – 31,2 kg CO<sub>2e</sub>/t BSA, papildomai vertinant netiesioginį poveikį dėl elektros sąnaudų – 72,5 kg CO<sub>2e</sub>/t BSA. Tuo atveju, jeigu pirminis kompostas bus gabenamas iki artimiausios ŽAKA ir ten brandinamas kartus su pirminiu ŽA kompostu, bendras poveikis padidės iki 76,5 kg CO<sub>2e</sub>/t BSA, bet vis vien išliks minimaliu, lyginant su poveikiu, dėl MVA centralizuoto tvarkymo MBA įrenginiuose [25].

Greito kompostavimo įrenginius taip pat siūlo Norvegijos gamintojas „BioCoTech“ ir Švedijos gamintojas „Joraform“. Greito kompostavimo įrenginiai sparčiai populiarėja visame pasaulyje. Kompostavimas BSA susidarymo vietoje yra efektyvus būdas sumažinti į atliekų tvarkymo sistemą patenkančių BSA kiekį, mažinti išlaidas už MKA tvarkymą ir mažinti ŠESD emisijų kiekį dėl eliminuoto poreikio transportuoti atliekas.

Vadovaujantis Valstybiniu atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021 – 2027 metų plane [8] pateikta informacija, Lietuvoje Mišrių komunalinių atliekų (MKA) sraute MVA atliekų kiekis kasmet didėja (žr. 8 lentelę).

**10 lentelė.** MVA susidarymas (šaltinis – RATC, MKA tyrimų duomenys) Lietuvoje [8]

Metai	Maisto atliekų kiekis MKA sraute, proc.	Maisto atliekų kiekis (atskirai surinktas ir MKA sraute), t (procentas nuo komunalinių atliekų)	Maisto atliekų kiekis vienam gyventojui, kg
2020	15,40	122 000 (6,09)	43,7
2019	14,77	114 539 (8,7)	41,0
2018	12,78	103 744 (7,89)	37,0
2017	13,31	101 591 (7,89)	35,9
2016	13,85	100 572 (7,9)	34,8

Pastaraisiais metais daug dėmesio skiriama visuomenės švietimui ir informavimui, tačiau gyventojų vartojimo įpročiai keičiasi lėtai. Susidarančių komunalinių atliekų kiekis Lietuvoje vis dar auga, susidaro vidutiniškai 2,7 proc. didesnis jų kiekis. MKA kiekis iki šiol nemažėjo ir dėl to, kad daugumoje savivaldybių buvo neįdiegta MVA pirminio rūšiavimo ir atskiro jų surinkimo sistema. Atskirai netvarkant maisto ir virtuvės atliekų, įgyvendinti žaliajo kurso žiedinės ekonomikos tikslų – neįmanoma. Vadovaujantis Valstybiniu atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų planu, savivaldybės privalėjo iki 2024 m. aprūpinti namų ūkius biologinių atliekų surinkimo priemonėmis urbanizuotose vietovėse, kuriose gyventojų – daugiau nei 2000, arba užtikrinti kompostavimą šių atliekų susidarymo vietose [8]. Savivaldybėse šiuo metu vis dar vyksta maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo infrastruktūros įrengimas, todėl pirmas išvadas dėl mišrių komunalinių atliekų kiekių ir morfologijos pasikeitimo, bus galima daryti tik 2026 m. Atliekų susidarymo kiekis vienam gyventojui, turi tiesioginį ryšį su pragyvenimo lygiu ir žmonių perkamosios galios didėjimu, todėl galima prognozuoti, kad artimiausiu metu susidarančių BSA kiekis Lietuvoje nemažės, todėl sėkmingam BSA tvarkymui turi būti sukurta tinkama atskiro BSA surinkimo ir tvarkymo sistema, kuri padėtų išnaudoti visą BSA medžiaginį ir energetinį potencialą.

#### 2.4. Integruoto atliekų vadybos principų taikymas BSA tvarkyme

Integruoto atliekų vadyba, tai sisteminis požiūris, kurio pagrindinė idėja yra, kad visos atliekų tvarkymo sistemos turi būti kuriamos atliekų tvarkymo hierarchijos principo pagrindu – BSA tvarkyme didžiausias dėmesys turi būti skiriamas atliekų prevencijai ir perdirbimui. Valstybiniame

atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 m. plane [8], įtvirtinti atliekų vengimo ir atliekų naudojimo principai.

Vengti atliekų, siekiant mažinti:

- susidarančių atliekų kiekį;
- nepanaudojamų atliekų kiekį;
- atliekų pavojingumą žmonių sveikatai ir aplinkai.

Naudoti atliekas, laikantis šių prioritetų:

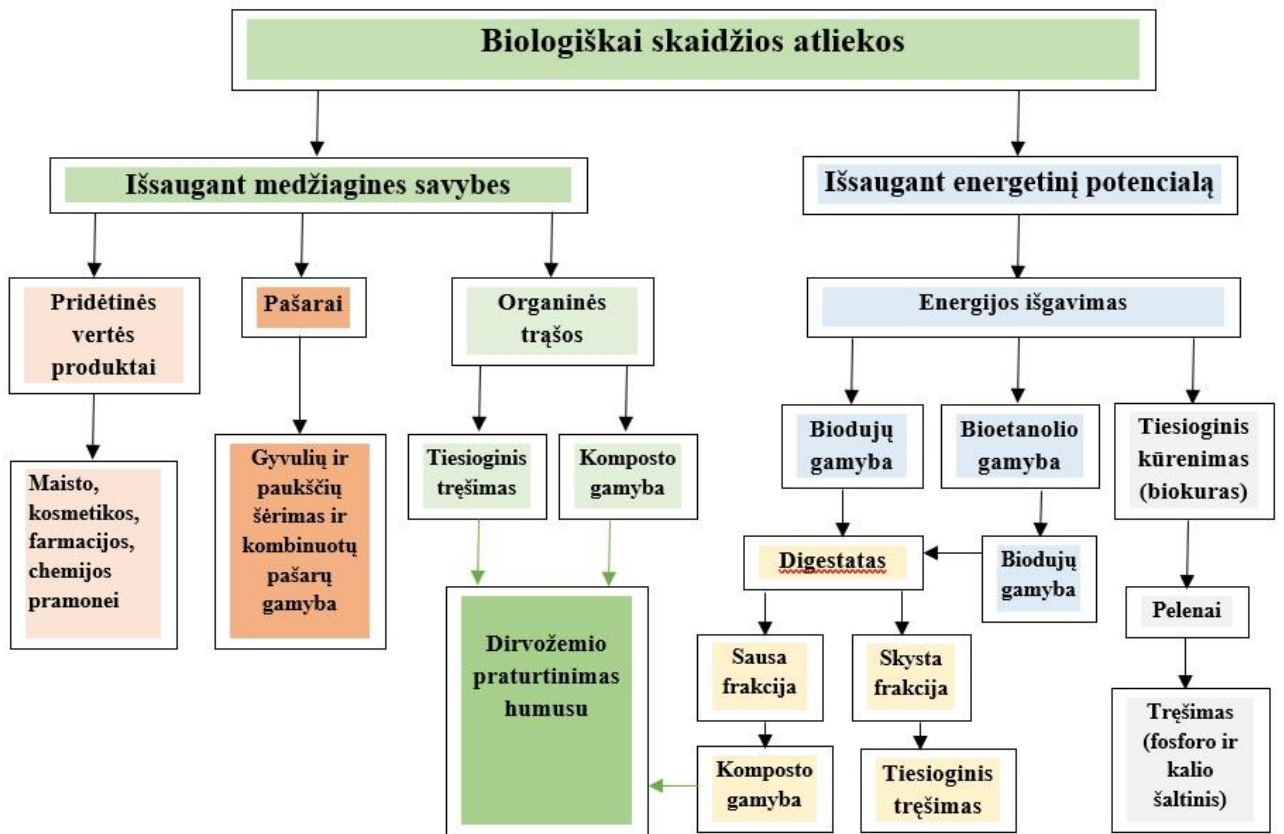
- atliekų perdirbimas;
- energijos gavyba iš atliekų [8].

Atliekų tvarkymo įstatyme [5] yra nustatytas BSA prevencijos ir tvarkymo prioritetų eiliškumas:

- 1) prevencija;
- 2) paruošimas naudoti pakartotinai;
- 3) perdirbimas;
- 4) kitoks naudojimas, pavyzdžiui, naudojimas energijai gauti;
- 5) šalinimas prieš tai atskyrus perdirbti ar kitaip panaudoti tinkamas atliekas [5].

Tinkamas BSA naudojimas – tai atliekų perdirbimas ir/arba naudojimas nedidinant poveikio aplinkai ir žmonių sveikatai, optimaliai panaudojant šių atliekų medžiagines, maistines ir/arba energetines savybes [10]. Siekiant įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus, pirmiausia turi būti išnaudojamos atliekų medžiaginės savybės, jeigu jų regeneravimas nesukelia neigiamo poveikio aplinkai. Poveikis aplinkai turi būti vertinamas naudojant būvio ciklo vertinimo analizės metodus. Išteklių atgavimas iš nuotekų dumblo ir kitų BSA ženkliai prisideda prie tvarių procesų plėtojimo žiedinės ekonomikos požiūriu.

BSA perdirbimo ir panaudojimo galimybės, išnaudojant jų maistinį ir energetinį potencialą, pateiktos 6 paveiksle.



**6 pav.** BSA panaudojimo ir perdirbimo galimybės išnaudojant jų medžiagines savybes ir energetinį potencialą [14]

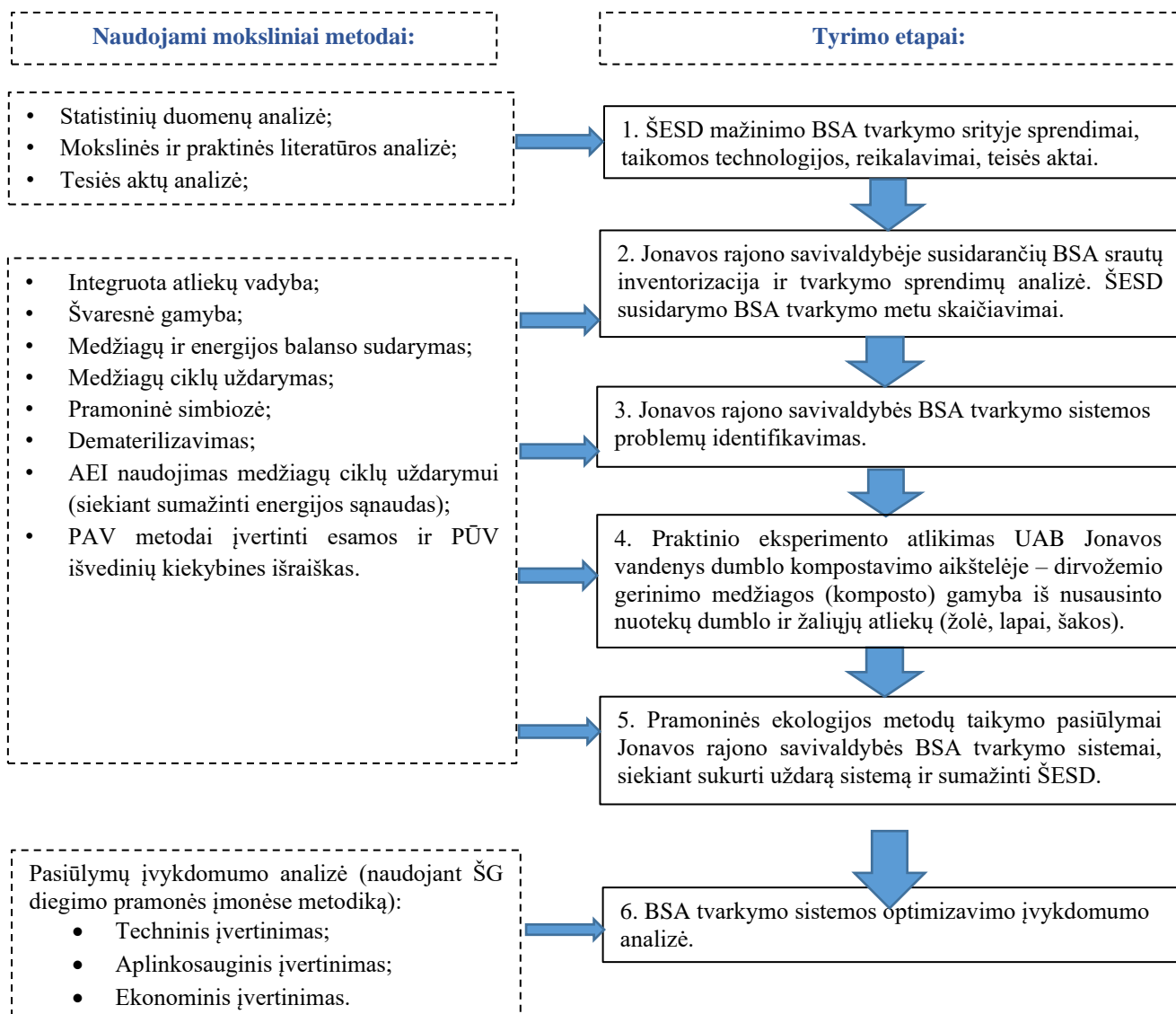
### 3. Tyrimo metodika

#### 3.1. Atliekamų tyrimų algoritmas

**Tyrimo objektas** – biologiškai skaidžios atliekos (BSA) ir jų tvarkymo sprendimai Jonavos raj. savivaldybėje.

Siekiant atlikti detalesnę analizę, dirvožemio gerinimo medžiagos (produkto – komposto) gamybos eksperimentas atliktas UAB „Jonavos vandenys“ dumblo kompostavimo aikštelėje.

Tyrimo pagrindiniai etapai ir naudoti moksliniai metodai pateikti 7 pav.



7 pav. Tyrimo etapai ir naudoti moksliniai metodai

Pirmasis darbo etapas skirtas temos aktualumui pagrįsti. Analizuojami teisės aktai reglamentuojantys BSA tvarkymą Lietuvoje, siekiant nustatyti, kokius kokybinius reikalavimus turi atitikti BSA, patenkančios į atliekų apdorojimo ir perdirbimo procesus. Taip pat analizuojami teisės aktai reglamentuojantys iš BSA pagamintų produktų kokybę, siekiant nustatyti iš BSA pagamintų produktų panaudojimo potencialą. Atlikta Lietuvoje taikomų technologijų BSA tvarkymui apžvalga, išnagrinėtos galimybės taikyti pramoninės ekologijos metodus BSA tvarkyme.

### 3.2. Tyrime naudojamos metodikos srautų identifikavimui, vertinimui, pasiūlymų įvykdomumo analizei

Analizuojant Jonavos rajone susidarancius BSA srautus, buvo atlikta **BSA inventorizacija**, surenkant statistinius duomenis iš Jonavos rajono savivaldybės atliekų tvarkymo sistemos administratoriaus – UAB „Jonavos paslaugos“, centralizuoto šilumos tiekimo ir gamybos įmonės – UAB „Jonavos šilumos tinklai“ ir Jonavos rajono savivaldybės nuotekų tvarkytojo – UAB „Jonavos vandenys“. Vertinant MVA susidarymo potencialą, naudoti duomenys iš Kauno regiono atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 m. plano. Analizės metu nustatyta, kad kiti privačių fizinių ir / ar juridinių asmenų veikloje susidarantys BSA srautai jau tvarkomi efektyviai, naudojant integruotas atliekų vadybos metodus:

- daugumoje individualių namų teritorijose ŽA kompostuojamos uždaruose dėžėse (taikant namudinio kompostavimo metodą);
- maisto pramonės įmonėse generuojami šalutiniai produktai, t.t. ŠGP, perduodami ŠGP tvarkytojams ir tampa antrine žaliava pašarų gamybai; šių įmonių nuotekų valymo įrenginių dumblas arba gabenamas į UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valyklą, arba į Elektrėnų savivaldybėje veikiančią biodujų gamybos įmonę.

Todėl šie srautai toliau nebus vertinami.

Siekiant identifikuoti ŠESD šaltinius ir apskaičiuoti Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos generuojamas ŠESD emisijas, bei įvertinti patiriamas išlaidas BSA tvarkymui – įvertinta susidarancių BSA logistika ir šiuo metu naudojimo BSA tvarkymo metodai, sudaryta UAB „Jonavos vandenys“ dumblo kompostavimo aikštelės **medžiagų ir energijos srautų diagrama** bei **medžiagų ir energijos balansas**.

Sudarant medžiagų ir energijos balansą ir apskaičiuojant ŠESD emisijas buvo naudoti:

- BSA inventorizacijos metu surinkti duomenys;
- metodika įvertinti ŠESD – 2006 IPCC [22].

ŠESD, kurie susidaro deginant kurą, vertinamos pagal žemiau pateiktą formulę 1 [22]:

$$E_{\text{ŠESD}} = FC \times Q \times EF \times 10^{-3}, \text{ t/m.} \quad [1]$$

čia

FC – kuro sąnaudos, t/m.;

Q – kuro žemutinė šilumingumo vertė, TJ/t;

EF – emisijų faktorius, kg/TJ .

Įvertinti ŠESD, kurios susidaro deginant kurą, naudojami emisijų faktoriai (EF) ir kuro šilumingumo vertės (Q) pateikti 11 lentelėje [22,23]

**11 lentelė.** ŠESD emisijų faktoriai, deginant kurą [22,23]

Šaltinis, deginamas kuras	Q, TJ/t	EF <sub>CO2</sub> , kg/TJ	EF <sub>N2O</sub> , kg/TJ	EF <sub>CH4</sub> , kg/TJ
1	2	3	4	5
Dyzelinis kuras (ne kelių transporto)	0,04291	72800	28.6	4.15
Dyzelinis kuras (kelių transporto)	0,04291	72800	3.9	3.9
LPG dujos (ne kelių transportui)	0,04576	66810	0.2	62
LPG dujos (kelių transportui)	0,04576	66810	0.2	62

ŠESD iš BSA apdorojimo procesų vertinamos pagal žemiau pateiktą formulę 2:

$$E_{\text{ŠESD}} = \text{BSA} \times \text{EF} \times 10^{-3}, \text{ t/m.} \quad [2]$$

čia

BSA – apdorojamų BSA sausos medžiagos masė, t SM/m.;

EF – emisijų faktorius, kg/t SM [22] (žr. 12 lentelę).

**12 lentelė.** ŠESD emisijų faktoriai iš BSA apdorojimo procesų [22]

Procesas, emisijų šaltinis	EF <sub>N2O</sub> , kg/t SM	EF <sub>CH4</sub> , kg/t SM
Kompostuojant BSA (atviroje sistemoje)	0,6	10
Kompostuojant BSA (uždaroje sistemoje su biofiltru)	0,06	3,4
Dumblą laikant poligone	1	60

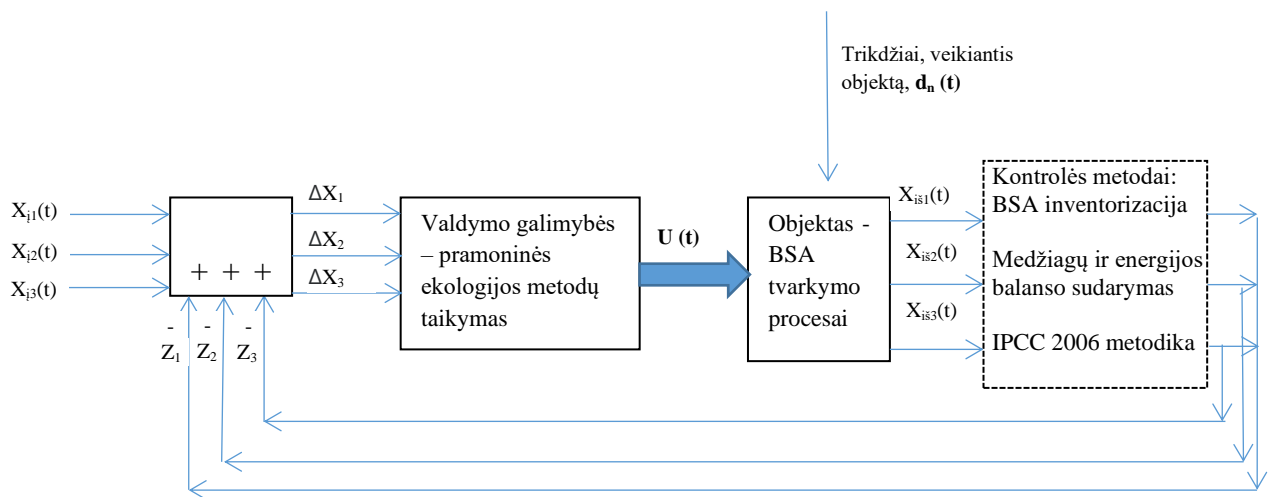
Vadovaujantis LR aplinkos ministro 2010 m. balandžio 6 d. įsakymu Nr. D1 – 275 „Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ (toliau – klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos aprašas), vertinant netiesioginį efektą klimato kaitai dėl elektros energijos sąnaudų iš tinklų, naudotas emisijų faktorius – 0,42 t CO<sub>2e</sub>/MWh. Remiantis ES statistika, Lietuvoje 2022 m. šis EF sumažėjo iki 0,19245 tCO<sub>2e</sub>/MWh (Inf. šaltinis: <https://www.statista.com/statistics/1291750/carbon-intensity-power-sector-eu-country/>). Elektros energijai, gaminamai atsinaujinančių energijos išteklių elektrinėse, taikomas emisijų faktorius – 0,00 t CO<sub>2e</sub>/MWh.

Apskaičiavus Jonavos rajono savivaldybėje susidarantių BSA tvarkymo sistemos generuojamus ŠESD emisijų kiekius, buvo įvertintas jų poveikį visuotinio atšilimo potencialui (VAP) pagal žemiau pateiktą formulę:

$$\text{VAP}(\text{CO}_{2e}) = \text{CO}_2 (\text{t}) + 25 \times \text{CH}_4 (\text{t}) + 298 \times \text{N}_2\text{O} (\text{t}) \quad [3]$$

Nustačius Jonavos rajono savivaldybės BSA valdymo sistemos pagrindinius aspektus, darančius didžiausią poveikį VAP dėl ŠESD, buvo identifikuotos pagrindinės esamos BSA valdymo sistemos problemos.

Atsižvelgiant į teisės aktų analizės rezultatus, įvertinto poveikio VAP dėl ŠESD ir galimybes taikyti pramoninės ekologijos metodus BSA optimaliam apdorojimui, tyrimo metu pasiūlyti Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos optimizavimo sprendimai, padėsiantys sumažinti generuojamą ŠESD emisijų kiekį ir sukurti BSA uždaro valdymo sistemą (Angl. – *Closed loop control system*).



8 pav.. Siūloma BSA valdymo sistema

Sistemos objektas – analizuojamų BSA tvarkymo (apdoravimo) procesai Jonavos miesto savivaldybėje.

Darbe siūloma sistemoje kontroliuoti šiuos išėjimo parametrus:

- $X_{is1}(t)$  – BSA srautai ir jų masė (t/m.), kurie nustatomi inventorizuojant BSA;
- $X_{is2}(t)$  – BSA tvarkymui naudojami energetiniai išteklių (dyzelinio kuro ar kitų degalų sąnaudos, elektros ir šiluminės energijos sąnaudos) (MWh/m.), kurios vertinamos sudarant procesų medžiagų ir energijos balansus;
- $X_{is3}(t)$  – ŠESD, kurios susidaro tiesiogiai, deginant kurą, apdorojant BSA ir netiesiogiai dėl energijos naudojimo iš tinklų (t CO<sub>2e</sub>/m.), kurios vertinamos naudojant aukščiau pateiktas formules.

Iš esmės BSA valdymo sistemoje kontroliuojamų parametrų gali būti daugiau, pvz.,  $X_{is3}$  – kvapų koncentracija aplinkos ore (OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>),  $X_{is4}$  – BSA apdoravimo metu susidariusių nuotekų (gamybinių, paviršinių (lietaus) kiekis (m<sup>3</sup>/m.),  $X_{is5}$  – susidariusių nuotekų tarša (BDS<sub>7</sub>, N, P, SM, naftos produktais) (t/m.), kt. Bet šiame darbe pagrindinis dėmesis skiriamas VAP mažinimui dėl ŠESD susidarymo.

Šioje sistemoje  $X_{in}$  – tai parametrų apribojimai arba sistemos valdymo tikslai:

- $X_{i1}(t)$  – tikslas, kad  $X_{is1} = 0$ , t.y., kad apdorojant BSA, būtų gaminamas produktas, o ne atlieka (pvz., šiuo metu dumblo kompostavimo aikštelėje gaminamas apdorotas dumblas, kuris realizuojamas kaip atlieka);
- $X_{i2}(t)$  – tikslas – padidinti energetinių išteklių ( $X_{is2}$ ) naudojimo technologinėms ir transportavimo reikmėms efektyvumą;
- $X_{i3}(t)$  – tikslas, kad  $X_{is3} = 0$ , t.y. minimizuoti arba net eliminuoti ŠESD, kurios daro poveikį VAP.

Sistemą veikia trikdžiai  $d_n(t)$ , dėl kurių atsiranda nuokrypis nuo nustatytų tikslų:

$$\Delta X(t) = X_{in}(t) - X_{isn}(t), \quad [4]$$

bet realiai, kadangi visą laiką egzistuoja vertinimų (matavimų) paklaidos, tai

$$\Delta X(t) = X_{in}(t) - Z_n(t)$$

[5]

Trikdžiai  $d_n(t)$ , kurie veikia BSA valdymo sistema Jonavos raj. savivaldybėje:

- nuolat keičiantys reikalavimai BSA tvarkymui (technologiniams parametrų, statiniams) ir gaminamam produktui teisės aktuose (kelis kartus per metus);
- griežtėjantys reikalavimai dėl kvapų koncentracijos BSA tvarkytojams (šiuo metu – 8 OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, nuo 2025 m. – 5 OU<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>);
- analizuojamame dumble bendrojo N koncentracija kelis kartus viršija Lietuvos vidurkį (iki 9,59 % SM, tuomet kai vidurkis Lietuvoje – <3 %SM) [9], dėl to neužtenka ŽA ir medienos atliekų, suriktų nuo Jonavos miesto savivaldybės viešųjų teritorijų, tam, kad kompostavimo metu palaikyti tinkamą C/N santykį (dėl to procesas vyksta neefektyviai, sunaudojama daugiau degalų vartymui);
- pakankami dideli atstumai nuo BSA susidarymo iki esamų centralizuoto tvarkymo įrenginių, dėl to sunaudojama daugiau degalų;
- kt.

Darbe siūloma minimizuoti nuokrypius nuo nustatytų tikslų, naudojant pramoninės ekologijos sprendimus:

- dematerializavimą (taikant ŠG prevencinius metodus (procesų optimizavimą, technologijos pakeitimą) padidint energijos išteklių naudojimo efektyvumą);
- pramoninę simbiozę (tarpusavyje maišant įvairius BSA srautus pagal jų mėginių laboratorinių analizių rezultatus tikslu išlaikyti tinkamą C/N santykį ir pagaminti aukštesnės pridėtinės vertės produktą);
- BSA apdorojimo procesuose naudoti AEI.

Siekiant įvertinti Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos optimizavimo pasiūlymų įgyvendinimo galimybes, buvo atlikta BSA tvarkymo sistemos optimizavimo pasiūlymų įvykdomumo analizė. Lyginami BSA tvarkymo procesų įvediniai ir išvediniai prieš ir po optimizavimo pasiūlymų įdiegimo, naudojant 3 formulę:

$$S = AAI_{iki} - AAI_{po}, \quad [6]$$

čia

$AAI_{iki}$  – įvedinio ir / ar išvedinio kokybinė reikšmė iki pasiūlymų įdiegimo (esama situacija), pvz., vnt./m. arba jų ekonominė išraiška – Eur/m.;

$AAI_{po}$  – įvedinio ir / ar išvedinio kokybinė reikšmė po pasiūlymų įdiegimo (planuojama situacija), pvz., vnt./m. arba jų ekonominė išraiška – Eur/m.;

S – sumažėja (kai reikšmė teigiama) arba padidėja (kai reikšmė neigiama) įvedinio ar išvedinio kokybinė reikmė, pvz., vnt./m., arba jų ekonominė išraiška – Eur/m. (vertinama kaip sutaupymai, įdiegus projektą).

Pagrindinis optimizavimo sprendimų ekonominis rodiklis – atsipirkimo trukmė vertinama pagal 6 formulę:

$$AT = \frac{I, Eur}{S, \frac{Eur}{m}} \quad [7]$$

čia:

AT – atsipirkimo trukmė (m.);

I – investicijos, reikalingos įdiegti sprendimus (Eur);

S – sutaupymai (Eur/m.).

Siekiant įvertinti praktines galimybes iš Jonavos rajone susidarantių BSA gaminti didesnės pridėtinės vertės dirvožemio gerinimo medžiagą (produktą – kompostą) – gamybos eksperimentas atliktas UAB „Jonavos vandenys“ dumblo kompostavimo aikštelėje.

### 3.3. BSA kompostavimo eksperimento etapai ir pagrindiniai reikalavimai

Eksperimentui praversti parinkta UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valykloje susidariusio dumblo kompostavimo aikštelę Jonavos rajone.

Kompostavimas UAB „Jonavos vandenys“ vyksta atviru būdu po stogine: naudojant krautuvą ir vartytuvą, formuojami kaupai, kurie periodiškai vartomi, taip kompostuojama masė aeruojama, išvengiant puvimo ir/arba perkaitinimo, kurie stabdytų aerobinį procesą.

Kompostavimo aikštelė įrengta patogioje vietoje, išlaikant reglamentuotą sanitarinės apsaugos zoną (SAZ), kurios dydis – 500 m. t.y. į SAZ nepatenka gyvenamieji namai, rekreacijai skirtos teritorijos. Atstumas nuo Jonavos miesto savivaldybės iki aikštelės – 12 km, nuo nuotekų valyklos, kurioje susidaro dumblas – 12 km.

**Eksperimento tikslas** – įvertinti galimybes iš nuotekų dumblo, nuotekų valykloje nusausinto iki 12 – 16 % SM) ir kitų daugiau C turinčių BSA, gaminti kompostą (dirvožemį gerinančią medžiagą), kuris atitiktų reikalavimus tręšimo produktui [3].

Eksperimentui vykdyti buvo naudoti tokie BSA srautai:

- nuotekų dumblas, susidarantis UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valykloje;
- ŽA atliekos, susidarantioms įmonei UAB „Jonavos paslaugos“ tvarkant Jonavos miesto viešuosius plotus (žolė, lapai, šakos, šiaudai);
- medienos atliekos, susidarantioms įmonei UAB „Jonavos paslaugos“ tvarkant Jonavos miesto viešuosius plotus (medžių ir krūmų kirtimo atliekos);
- ŽA atliekos iš maisto atliekų srauto (specialiai eksperimentui surinktos maisto atliekos iš Jonavos miesto kavinių).

Siekiant parinkti tinkamas skirtingų BSA srautų maišymo proporcijas kompostavimo eksperimentui, buvo atsižvelgta į BSA kokybinius (sausos medžiagos kiekis, C:N santykis) ir užterštumo sunkiaisiais metalais rodiklius.

Siekiant nustatyti pagaminto produkto vertingumą, buvo imami ėminiai, formuojami mėginiai, kurie buvo gabenami į agrocheminių tyrimų laboratoriją tikslu nustatyti šiuos pagrindinius gaminamų kompostų kokybinius rodiklius:

- sausos medžiagos kiekis, % nuo BSA masės;
- organinė medžiaga (OM) sausoje medžiagoje, % SM;
- organinės anglies (C) kiekis sausoje medžiagoje, % SM;
- suminio arba bendro azoto (N) kiekis sausoje medžiagoje, % SM;

- suminio arba bendro fosforo (P) kiekis sausoje medžiagoje, % SM;
- suminio arba bendro kalio (K) kiekis sausoje medžiagoje, % SM;
- C:N santykis;
- pH.

Siekiant nustatyti, ar produktas atitinka reikalavimų, pateiktų tręšimo produktų apraše [3], agrocheminių tyrimų laboratoriją mėginiuose buvo nustatomos žemiau pateiktų sunkiųjų metalų koncentracijos: Cd mg/kg SM; Pb mg/kg SM; Hg mg/kg SM; Cr mg/kg SM; Zn mg/kg SM; Cu mg/kg SM; Ni mg/kg SM; As mg/kg SM.

Kompostavimo eksperimento vykdymo pagrindiniai etapai:

- Atskirų BSA srautų laboratorinė analizė, nustatant SM, C, N kiekį, dumblo atveju – sunkiųjų metalų koncentracijas;
- Teorinis vertinimas, sudarant tinkamą mišinį;
- Kaupų formavimas ir periodinis vartymas;
- Technologinių parametrų (temperatūros, drėgnio) kontrolė (pagal gautus rezultatus atliekamas vartymo poreikio nustatymas);
- Po apytiksliai 3 savaičių: pirminio komposto ėminių paėmimas iš 20 kaupo vietų ir mėginių formavimas;
- Mėginių gabenimas kokybės ir užterštumo parametrų tyrimui į agrocheminių tyrimų laboratoriją;
- Gautų rezultatų lyginamoji analizė: kokybės ir užterštumo parametrų palyginimas su reikalavimais tręšimo produktui [3].

Eksperimento metu buvo bandoma kompostuoti 2 mišinius:

1 – me kaupe:

- nusausintas nuotekų dumblas;
- žaliosios atliekos, suriktos nuo viešųjų teritorijų;
- medžių, krūmų kirtimo atliekos (smulkintos);
- šiaudai.

2 – me kaupe:

- nusausintas nuotekų dumblas;
- žaliosios atliekos, suriktos nuo viešųjų teritorijų;
- maisto žaliosios atliekos (iš kavinių);
- medžių, krūmų kirtimo atliekos (smulkintos);
- šiaudai.

Eksperimento rezultatai pateikti 5 skyriuje ir naudoti nustatyti darbo problematiką BSA tvarkymo sistemos optimizavimo galimybes.

#### 4. Jonavos rajono savivaldybėje susidaranti BSA tvarkymas: srautų identifikavimas, esamos valdymo sistemos analizė, ŠESD įvertinimas

##### 4.1. Jonavos rajono savivaldybėje susidaranti BSA srautų analizė

Jonavos rajono savivaldybėje yra privačių medžio apdirbimo, maisto produktų gamybos įmonių ir ūkių, kurių veikloje susidaro BSA, tačiau privačių įmonių ir ūkių veikloje susidaranti BSA yra perdirbama ir / ar kitaip tvarkoma ir į Jonavos BSA tvarkymo sistemą nepatenka, todėl šiame darbe nenagrinėjamos. 13 lentelėje pateikiami BSA srautai, kurie patenka į Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemą ir yra išsamiai nagrinėjami magistro baigiamajame darbe.

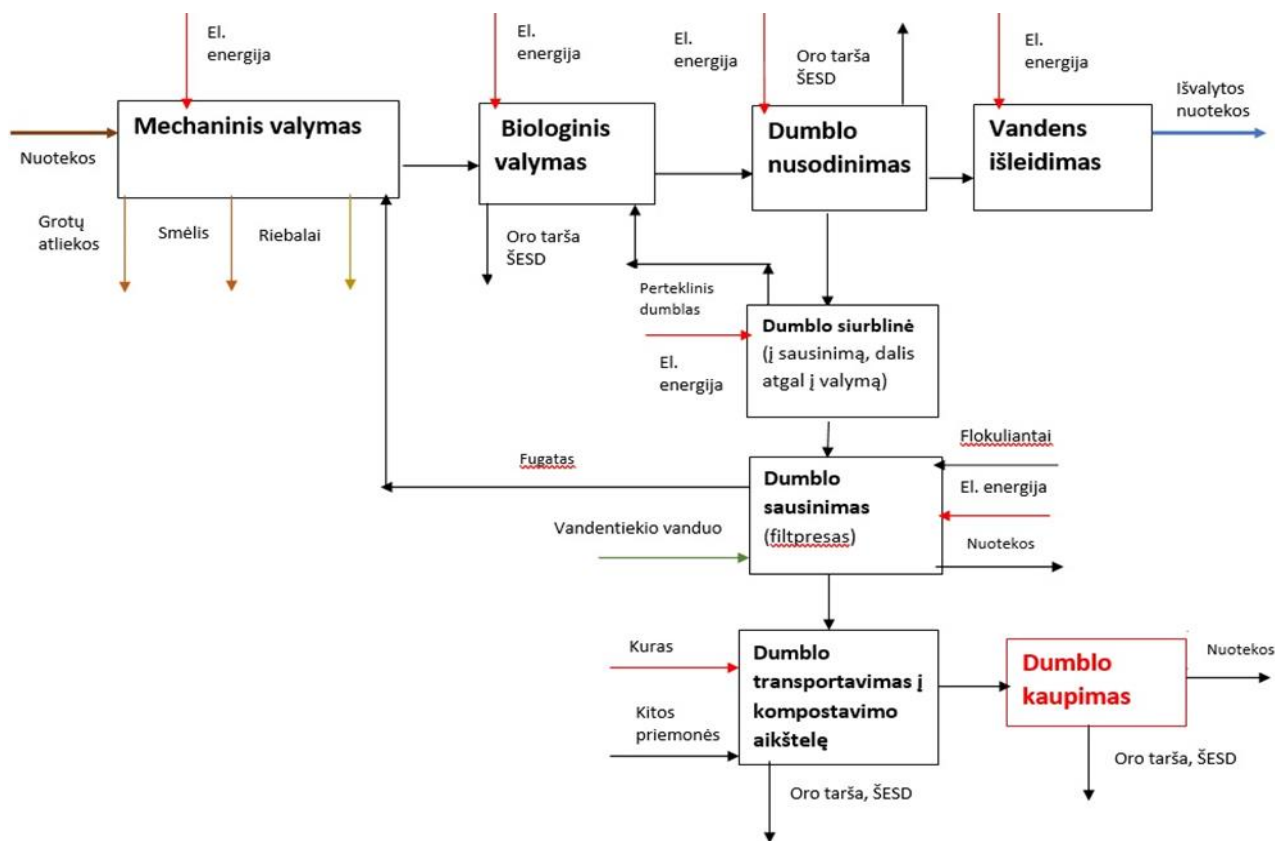
**13 lentelė.** Jonavos rajone surenkami ir tvarkymui pristatomi BSA srautai, 2022 m. duomenys.

BSA srautas	Kiekis, t/m.	Pastabos
Nuotekų dumblas	2494,5	UAB „Jonavos vandenys“ pateikti duomenys
ŽA	1400	UAB „Jonavos paslaugos“ pateikti duomenys
Medienos kuro pelenai	500	UAB „Jonavos šilumos tinklai“ pateikti duomenys
MVA	860	Nurodytas kiekis pateiktas pagal 2022 m. galimybių studijos [29] duomenis: 2020 m. – 1056 t/m. (apyt. 10 % nuo MKA kiekio), 2021 m. – 860 t/m. (apyt. 8,17 % nuo MKA kiekio) arba 25 – 28 kg/gyv./m. Realiai bendras MVA kiekis gali siekti iki 40 kg/gyv./m. [29], todėl šiame darbe priimame prielaidą, kad 860 t – kiekis ŽA ir MVA srauto.
Suma:	5254,50	

Jonavos miesto bendras plotas yra 1367 ha, intensyviai prižiūrimi plotai, kuriuose renkama nupjauta žolė ir nukritę lapai sudaro apie 200 ha, tai yra apie 14,6 % viso Jonavos miesto ploto. Jonavos miesto viešuosius plotus prižiūri savivaldybės įmonė UAB „Jonavos paslaugos“. Pagal įmonės pateiktus duomenis 2022 m. tvarkant Jonavos miestą buvo surinkta 624 t nupjautos žolės, 464 t lapų ir 312 t medžių genėjimo atliekų (šakų). Jonavos mieste nuo 2021 m. žolės pjovimui, jau naudojami vejos pjovimo robotai, tačiau jais šienaujama tik apie 1 % (apie 2 ha) žaliųjų plotų, todėl ženklus ŽA susidarymo mažėjimo kol kas nėra.

2022 m. UAB „Jonavos šilumos tinklai“ pagamino ir perdavė į tinklus 128,4 tūkst. MWh šiluminės energijos. Bendra visų šilumos energiją gaminančių įrenginių galia – 79,8 MW, įsk. 26,4 MW (arba 33,1 proc.) – biokuro ūkio, t.t. 5 MW – kondensacinio ekonomizerio. Daroma išvada, kad kietojo biokuro deginančių įrenginių bendra šiluminė galia – 21,4 MW. Deginant biokurą pagaminta virš 87 proc. energijos. 2022 m. sudeginta apie 45 tūkst. t biokuro, susidarė apyt. 500 t pelenų.

Siekiant nustatyti Jonavos rajono savivaldybėje susidaranti nuotekų dumblo kiekį ir įvertinti nuotekų dumblo tvarkymo technologiją, buvo atliktas nuotekų tvarkytojo UAB „Jonavos vandenys“ aplinkosauginis įvertinimas. Apsilankius nuotekų valykloje, išanalizavus įmonės pateiktus dokumentus, informaciją ir atlikus skaičiavimus buvo sudaryta nuotekų valyklos technologinių procesų srautų diagrama (žr. 9 paveikslą) ir medžiagų ir energijos balansas (žr. 14 lentelę).



9 pav. Jonavos miesto nuotekų valyklos medžiagų ir energijos srautų diagrama

Jonavos miesto nuotekų valykloje 2022 m. susidarė 2288 tonos nuotekų dumblo (žr. 14 lentelę), dar 206,5 nuotekų dumblo susidarė Jonavos rajono Ruklos miestelyje. Iš viso į Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemą pateko 2494,5 t nuotekų dumblo, kuriame SM kiekis svyruoja nuo 14 iki 20 proc.

14 lentelė. UAB „Jonavos vandenys“ nuotekų valyklos medžiagų ir energijos balansas.

Eil. Nr	Srautai, 2022 m.	Mato vnt.	Kiekis, vnt./m.
1	2	3	4
	<b>Įvediniai</b>		
1	Nuotekos	m <sup>3</sup>	2312900
2	Vandentiekio vanduo	m <sup>3</sup>	29565
3	El. Energija (valyklos eksploatavimui)	MWh	876,637
4	El. Energija (administracinio pastato šildymui)	MWh	43,657
5	Polimerai	t	3,53
6	Dyzelinis kuras (dumblo išvežimui)	t	0,988
7	Dyzelinis kuras (atliekų išvežimui)	t	0,4
	<b>Išvediniai</b>		
1	Išvalytas vanduo	m <sup>3</sup>	2339966
2	Smėlis (atlieka)	t	150,4
3	Grotų atliekos	t	58,9
4	Riebalai (atlieka)	t	5

5	Dumblas (14 – 20 proc. sausos medžiagos)	t	2288
6	Pakuotės atliekos (polimerams)	t	0
7	ŠESD emisijos (tiesioginės; dėl dyzelinio kuro sąnaudų)	t	4,416
8	Tiesioginės ŠESD (CH <sub>4</sub> ir N <sub>2</sub> O) dėl dumblo sandėliavimo, jo nekompostuojant	t	7,6839
9	CO <sub>2</sub> emisijos (netiesioginis poveikis dėl elektros sąnaudų iš tinklų)	t	*386,524 **177,111
10	Oro tarša, deginant dyzelinį kurą	t	0,0608
11	Nuotekos (dumblo laikymo)	t	457,62

Pastabos:

\*Vertinimui naudotas emisijų faktorius (EF) – 0,42 tCO<sub>2e</sub>/MWh.

\*\*Remiantis ES statistika, Lietuvoje 2022 m. šis EF sumažėjo iki 0,19245 tCO<sub>2e</sub>/MWh. Inf. šaltinis: <https://www.statista.com/statistics/1291750/carbon-intensity-power-sector-eu-country/>

#### 4.2. Jonavos rajono savivaldybėje susidarantių BSA esamos tvarkymo sistemos analizė

Vadovaujantis LR atliekų tvarkymo įstatymo [5] nuostatomis, savivaldybės organizuoja komunalinių atliekų tvarkymo sistemas, būtinas jų teritorijose susidarantioms komunalinėms atliekoms (tame tarpe ir BSA) tvarkyti, užtikrina tų sistemų funkcionavimą ir administruoja komunalinių atliekų tvarkymo paslaugos teikimą. 2005 m. kovo 2 d. Kauno regiono savivaldybės (Kauno, Kauno rajono, Jonavos, Kėdainių, Kaišiadorių ir Raseinių) ir UAB „Kauno švara“ įsteigė VšĮ Kauno regiono atliekų tvarkymo centrą bei steigimo sutartimi įsipareigojo kurti vieningais principais paremtą regioninę atliekų tvarkymo sistemą. Kauno RATC Kauno regione valdo ir eksploatuoja šią infrastruktūrą:

- Kauno regioninio nepavojingų atliekų (Lapių sąvartynas) ir Zabieliškio regioninio nepavojingų atliekų (Zabieliškio sąvartynas) sąvartynai.
- Mišrių komunalinių atliekų perkrovimo stotys Jonavoje, Kaišiadoryse ir Raseiniuose;
- 14 didelių gabaritų atliekų surinkimo aikštelės (DGASA);
- 3 žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelės (ŽAKA), Jonavos rajono savivaldybėje ŽAKA nėra, artimiausia ŽAKA yra Nemajūnų G. 15A, Kaunas.
- Kauno komunalinių atliekų mechaninio – biologinio apdorojimo įrenginiai (Kauno MBA) ir Zabieliškio komunalinių atliekų mechaninio atskyrimo ir rūšiavimo įrenginiai (Zabieliškio MAR).

Jonavos rajone, Gineikių kaime 2012 m. buvo įrengta nuotekų dumblo kompostavimo aikštelė. Iki 2020 m. šioje aikštelėje buvo kompostuojamas Jonavos rajono savivaldybėje susidaręs nuotekų dumblas, jį maišant kartu su Jonavos miesto tvarkymo metu surinktomis žaliosiomis atliekomis (toliau ŽA), t.y. žole, lapais, šakomis. 2021 m. pradžioje miesto nuotekų valykloje tyrimuose buvo aptikta pakankamai didelė švino koncentracija dumble – virš 18 kartų daugiau, nei buvo nustatyta ankstesniuose tyrimuose [9] ir min. 2,3 kartus didesnės, palyginti su ribine verte (RV), kuri nustatyta reikalavimuose tręšimo produktams [3], todėl kompostavimo veikla buvo sustabdyta (žr. 15 lentelę).

Šiuo metu švino taršos šaltinis yra nustatytas, teršėjas atjungtas nuo centralizuotos nuotekų surinkimo sistemos. Nuo 2021 metų pradžios veiklos vykdytojas (UAB „Jonavos vandenys“) dumblą sandėliuoja dumblo kompostavimo aikštelėje, aktyvaus kompostavimo proceso nevykdo. Šiame

darbe pateiktos išvados ir rekomendacijos bus naudojamos nuotekų dumblo tvarkymo technologijai parinkti.

**15 lentelė.** Nuotekų dumblo užterštumo sunkiaisiais metalais rodiklių palyginimas su kitais Lietuvoje susidariusiais dumblais ir su reikalavimais kompostams.

Kompostų užterštumo sunkiaisiais metalais rodikliai	Užterštumas sunkiaisiais metalais, mg/kg SM			Pagal reikalavimus tręšimo produktams, kg/kg SM [3]	Pagal reikalavimus apdorotam dumblui pagal LAND 20-2005, kg/kg SM [4]	
	Maksimalios (min.), minimalios (maks) reikšmės ir (mediana) [9]		UAB Jonavos vandenys		I kategorija (žemės ūkyje)	II kategorija (rekultivavimui, energetinių augalų tręšimui)
	2015-2016 m. tirti dumblo kompostai iš 7 įrenginių	2015-2016 m. tirti dumblo raugai (džiovinti) iš 4 įrenginių	Tirta: *2015-2021 - 2022 m. (min. – maks.)			
1	2	3	4	5	6	7
Kadmis (Cd), mg/kg SM	0,24-2,19 0,92	0,84-9,47 2,66	0,72 (0,15-0,37)	≤1,5 ≤2	<1,5	1,5-5,0
Švinas (Pb), mg/kg SM	8,27-47,1 14,8	18,2-109 42,2	14,8 (281-627)	≤120	<140	140-150
Gyvsidabris (Hg), mg/kg SM	0,002-0,436 0,013	0,00-0,020 0,004	0,005 (0,05-0,06)	≤1,0	<1,0	1-1,5
Chromas (Cr), mg/kg SM	10,8-37,5 13,2	29,9-89,2 36,9	17,7 (4,67-9,73)	≤70	<140	140-170
Cinkas (Zn), mg/kg SM	287-1330 383	737-1357 878	450 (62,8-118)	≤800	<800	800-2500
Varis (Cu), mg/kg SM	49,3-253,0 107,0	115-299 206	107 (9,77-31,1)	≤300	<300	300-1000
Nikelis (Ni), mg/kg SM	8,6-28,5 12,3	19,1-59,2 25,1	18,9 (3,4-8,07)	≤50	<50	50-70
Arsenas (As), mg/kg SM	netirtas	netirtas		≤40		

\*Informacijos šaltinis: pagal LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos 2015-11-20 protokolą Nr. 755 vykdant mokslinių tyrimų projektą [9]

Nevykdamas nuotekų dumblo kompostavimo kartu su ŽA, miestą tvarkanti įmonė UAB „Jonavos paslaugos“ taip pat susiduria su sunkumais tvarkant ŽA, nes kitos ŽAKA Jonavos rajone nėra. Artimiausia vieta ŽA apdorojimui – ŽAKA Kaune, Nemajūnų g. 15 (atstumas – 33 km). ŽA transportavimas į Kauną generuoja papildomas ŠESD emisijas ir prieštarauja atliekų tvarkymo principui – tvarkyti atliekas, kuo arčiau jų susidarymo vietos, bei didina ŽA tvarkymo kainą Jonavos rajono savivaldybės gyventojams. ŽAKA skaičius Kauno regione yra nepakankamas, ŽAKA Kauno mieste yra perpildyta, kompostavimas vyksta neišlaikant optimalių parametrų, pateiktų 6 lentelėje.

UAB „Jonavos šilumos tinklai“ kietojo biokuro deginimo veikloje susidarius medienos kuro pelenus gabena iki Zabieliškio sąvartyno Kėdainių raj. šalinimui. Tik nedidelė dalis pelenų perduodama Kėdainių rajono ūkininkams, kurie naudoja pelenus laukų tręšimui. Atliekų šalinimas sąvartyne yra paskutinė alternatyva, pagal atliekų hierarchijos principą, o pelenų (atliekos) naudojimas laukų tręšimui yra prastesnė alternatyva, nei pelenų, kaip žaliavos naudojimas produktų gamyboje. Pelenų transportavimas į Kėdainių rajoną prisideda prie poveikio VAP didinimo.

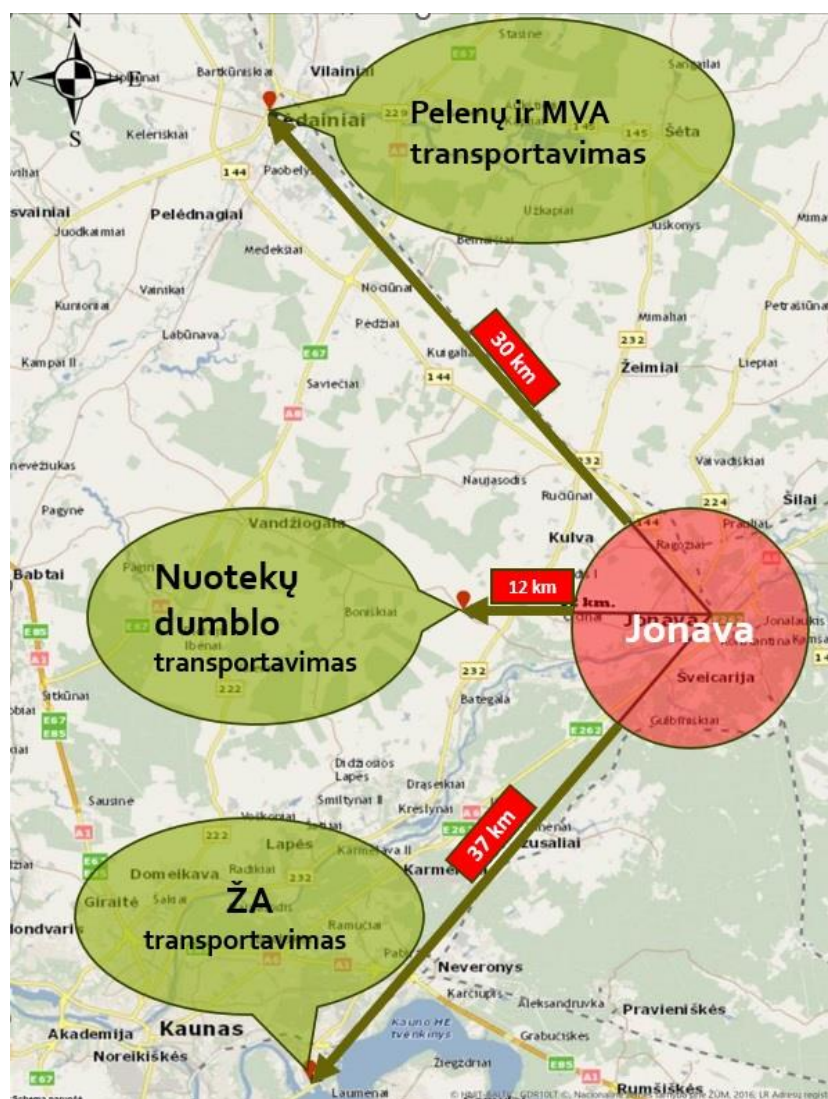
MVA Jonavos rajone bus pradėtos rinkti 2024 m. paskutiniame ketvirtyje. Šiuo metu KRATC dalininkai vertina įvairias alternatyvas Kauno regione atskirai surinktų MVA tvarkymui. Viena iš alternatyvų yra MVA kompostavimas kartu ŽA uždaroje sistemoje, įrenginius planuojama statyti

Kėdainių rajone, Zabieliškio sąvartyno teritorijoje. Antra alternatyva – priduoti atskirai surinktas MVA privatiems biodujų gamintojams Vievyje, Elektrėnuose arba Vilniuje. Abiem atvejais transportavimo atstumai bus dideli, Jonavos atveju mažiausiai 30 km, MVA transportavimas dideliais atstumais generuos papildomas ŠESD emisijas.

Jonavos rajone susidarančių BSA srautų tvarkymo būdai ir transportavimo atstumai pateikti 16 lentelėje ir pavaizduoti 10-me paveiksle.

**16 lentelė.** Jonavos rajone surinktų BSA tvarkymo būdai ir logistika, 2022 m. duomenys.

BSA srautas	Kiekis, t	Tvarkymo būdas	Transportavimo atstumas, km
Nuotekų dumblas	2494,5	Laikymas poligone (nekompostuojant)	12
ŽA	1400	Pasyvus kompostavimas, neišlaikant optimalių parametrų numatytų 6 lentelėje.	37
Medienos pelenai	500	Šalinimas sąvartyne, arba naudojimas laukų tręšimui	30
MVA	860	Planuojama kompostuoti su ŽA arba priduoti privatiems biodujų gamintojams.	30



**10 pav.** Jonavos rajono savivaldybės ŽA tvarkymo logistikos schema.

### 4.3. Jonavos rajono savivaldybės biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, problemų identifikavimas

#### 4.3.1. Biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos poveikio dėl ŠESD vertinimas

Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP dėl ŠESD susidaro BSA surinkimo, transportavimo ir apdorojimo procesuose. ŠESD emisijų kiekis dėl dyzelinio kuro naudojimo BSA surinkimo, transportavimo procesuose skaičiuojamas naudojant tyrimo metodikoje (3 skyriuje) pateiktą [1] formulę ir 11 lentelėje pateiktus emisijų faktorius bei kuro šilumingumo vertes. Kuro sąnaudos transportavimui vertintos pagal savivaldybės įmonių pateiktus duomenis – vidutiniškai 26 l/100 km. MVA planuojamas surinkimo našumas ir vidutinės kuro sąnaudos vertintos pagal UAB „Jonavos paslaugos“ pateiktus duomenis (našumas – 2,8 t atliekų per 1 val., dyzelinio kuro sąnaudos surinkimui – 40 l/val.), MVA surinkimas bus vykdomas naudojant tokią pačią technologiją, kaip MKA. Vienu reisų pervežamų BSA kiekis vertintas kiekvienam BSA srautui individualiai pagal Jonavos rajono savivaldybės įmonių pateiktus duomenis Poveikis VAP apskaičiuotas pagal tyrimo metodikoje pateiktą 3 formulę. Skaičiavimų rezultatai pateikti 17, 18, 19, 20 lentelėse.

**17 lentelė.** Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant ŽA iki ŽAKA

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
ŽA kiekis	t	1400
ŽA kiekis, gabenamas 1-me reise	t	6
Reisų skaičius	Vnt.	233
Transportavimo atstumas	km	37
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	3,77
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	11,780
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0,001
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0,001
<b>Poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>11,984</b>

**18 lentelė.** Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant biokuro pelenus

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
Pelenų kiekis	t	500
Pelenų kiekis, gabenamas 1-me reise	t	8
Reisų skaičius	Vnt.	63
Atstumas	km	30
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	0,819
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	2,55843
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0,00014
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0,00014
<b>Poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>2,603</b>

**19 lentelė.** Poveikis VAP dėl ŠESD transportuojant nuotekų dumblą

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
Nuotekų dumblo kiekis	t	2494,5
Nuotekų dumblo kiekis, gabenamas 1-me reise	t	12
Reisų skaičius	Vnt.	208
Atstumas	km	12
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	1,090
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	3,404
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0,00018
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0,00018
<b>Poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>3,463</b>

**20 lentelė.** Poveikis VAP dėl ŠESD surenkant ir transportuojant MVA

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
MVA kiekis	t	860
MVA kiekis, gabenamas 1-me reise	t	8
Reisų skaičius	Vnt.	108
Atstumas	km	30
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	1,41
Degalų sąnaudos surinkimui (40 l/val., 2,8 t atliekų/val.), tankis 0,84 kg/l	t	10,320
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	36,639
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0,002
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0,002
<b>Poveikis VAP dėl transportavimo</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>4,477</b>
<b>Bendras poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>37,273</b>

ŠESD dėl BSA apdorojimo procesų vertinamas pagal 2 formulę. Taip pat įvertintas BSA apdorojimo metu perkrovimui sunaudoto dyzelinio kuro kiekis (vertinta 3,1 l/t nuotekų dumblo SM [9]) ir dėl to poveikis VAP dėl ŠESD. Kadangi ŽA, medienos kuro pelenų ir MVA srautai Jonavos rajone neapdorjami, vertintas tik nuotekų dumblo laikymas poligone (faktinė situacija). Skaičiavimų rezultatai pateikti 21 lentelėje.

**21 lentelė.** Nuotekų dumblo tvarkymo (laikymo poligone) sukeliama poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
BSA (Nuotekų dumblo) kiekis	t	2494,5
Nuotekų dumblo SM (15 %)	t	374,175
CO <sub>2</sub>	t	–
N <sub>2</sub> O	t	0,374
CH <sub>4</sub>	t	22,451
<b>Poveikis VAP dėl nuotekų dumblo laikymo poligone</b>	<b>t</b>	<b>672,767</b>
Dyzelinio kuro kiekis (3,10 l/t SM)	t	0,97
CO <sub>2</sub>	t	3,044
N <sub>2</sub> O	t	0,0012
CH <sub>4</sub>	t	0,00017
<b>Poveikis VAP dėl kuro naudojimo</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>3,404</b>
<b>Bendras poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>676,171</b>

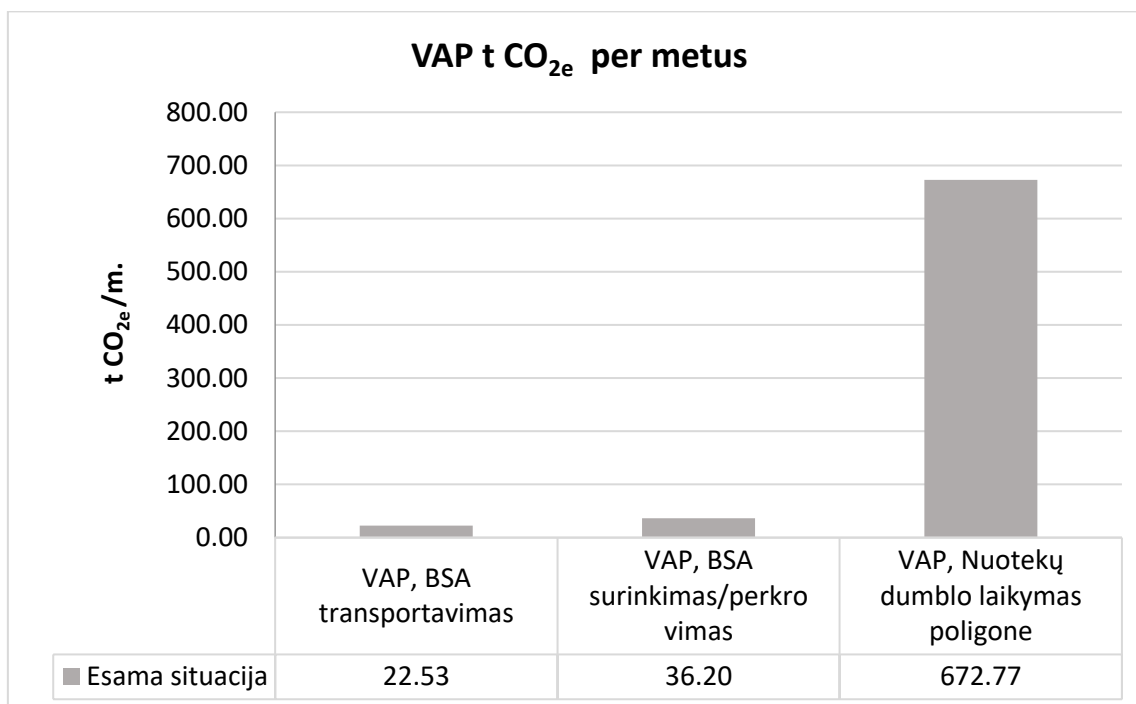
Bendras Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP dėl ŠESD emisijų apskaičiuotas susumavus 18, 19, 20 ir 21 lentelėse gautus rezultatus. Susisteminta informacija pateikta 22 lentelėje.

**22 lentelė.** Bendro Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
ŽA transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	11,984
Pelenų transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	2,603
Nuotekų dumblo transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	3,463
MVA transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	4,477
MVA surinkimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	32,800
Poveikis VAP dėl kuro naudojimo nuotekų dumblo tvarkymui poligone	t CO <sub>2e</sub>	3,404
Nuotekų dumblo laikymo poligone poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	672,767
<b>Bendras poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>731,493</b>

#### 4.3.2. Jonavos rajono savivaldybės biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sistemos problemų ir priežasčių identifikavimas

Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos sukeliamas bendras poveikis VAP dėl ŠESD – 731,493 t CO<sub>2e</sub> (žr. 22 lentelę) arba 0,139 t CO<sub>2e</sub>/ t BSA.



**11 pav.** Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos procesų sukeliama poveikio VAP dėl ŠESD palyginimas

91,97 % viso poveikio VAP sudaroma dėl ŠESD, atvirai sandėliuojant nuotekų dumblą poligone be biologinio apdorojimo, 4,95 % – dėl ŠESD, kurios susidaro deginant dyzelinį kurą vidaus degimo varikliuose surenkant ir perkraunant BSA, 3,1 % – dėl ŠESD, kurios susidaro deginant dyzelinį kurą

transporto vidaus degimo varikliuose gabenant BSA iki apdorojimo / šalinimo vietų (žr. 10 paveikslą).

Išanalizavus Jonavos rajono savivaldybės esamos BSA valdymo sistemos sukeliama poveikio VAP dėl ŠESD rezultatus identifikuotos sistemos problemos ir jų susidarymo priežastys:

- **Netinkamas nuotekų dumblo „apdorojimas“.** Nuotekų dumblas laikomas poligone 1 metus, o vėliau naudojamas laukams tręšti. Sukeliamas poveikis VAP – iki 672,77 t CO<sub>2e</sub>/m. arba 0,270 t CO<sub>2e</sub>/t dumblo, arba iki 1,798 CO<sub>2e</sub>/t dumblo SM. Kaip rodo ankstesni moksliniai tyrimai, nuotekų dumblą laikant poligone, CH<sub>4</sub> emisijos siekia iki 60 kg/t nuotekų dumblo SM [25]. Kompostuojant BSA atviroje sistemoje, CH<sub>4</sub> emisijos mažėja iki 10 kg/t BSA SM [22], o kompostuojant uždaroje sistemoje CH<sub>4</sub> emisijos mažėja iki 3,4 kg/t BSA SM [9]. Nuotekų dumblo laikymas poligonuose yra nesuderinamas su ES žaliojo kurso tikslais, mažinti poveikį VAP ir tapti neutralia klimatui iki 2050 m. Nuotekų dumblo tvarkymui turi būti naudojami tvaresni metodai.
- **Dideli transportavimo atstumai.** BSA transportavimo proceso generuojamas poveikis VAP – iki 22,53 t CO<sub>2e</sub>/m. ES atliekų tvarkymo artumo principas yra perkeltas ir į Lietuvos Valstybinį atliekų prevencijos ir tvarkymo planą [8], artumo principo esmė – atliekos turi būti apdorojamos kuo arčiau jų susidarymo vietos. Jonavos rajono savivaldybės teritorijoje susidarančių BSA vežimas į aplinkines savivaldybes prieštarauja artumo principui.
- **Biokuro pelenų gabenimas ir šalinimas sąvartyne.** Šalinant pelenus sąvartyne neišnaudojamos jų medžiaginės (maistinės) savybės (K, P).
- **Neišnaudoti pramoninės simbiozės potencialai.** Taikant pramoninės simbiozės principus, galima apdoroti visus Jonavos rajone susidarančius BSA srautus, jas neišvežant iš rajono. Šiuo atveju visi BSA srautai būtų analizuojami kaip žaliavos gaminti aukštos pridėtinės vertės kompostą – dirvos gerinimo medžiagą [3], tai prisidėtų prie žiedinės ekonomikos tikslų įgyvendinimo.

## 5. Pramoninės ekologijos metodų taikymas Jonavos rajono savivaldybės optimaliam BSA valdymui

Pramoninės simbiozės taikymas tarp Jonavos rajono savivaldybės įmonių, kurių veikloje susidaro BSA, padėtų ženkliai sumažinti VAP dėl ŠESD, kurias generuoja Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistema.

Šiame skyriuje analizuojama galimybė kartu kompostuoti nuotekų dumblą, ŽA, medienos kirtimo atliekas, taip pat pelenus bei ŽA iš maisto atliekų srauto (MVA Jonavos rajone bus pradėtos rinkti jau 2024 m. pabaigoje). Pagrindinė idėja – šia atliekas naudoti kaip žaliavas gaminant didesnės pridėtinės vertės produktą – kompostą (dirvožemį gerinančią medžiagą).

Pagal LAND 20-2005 [4], nuo 2025 sausio 1 d. BSA apdoroti bus galima tik uždaruose įrenginiuose, užtikrinant kvapų sklidimo prevenciją, dujų išvalymą prieš išleidžiant į aplinką. Tai reikalauja papildomų investicijų, bet kompostuojant uždaroje sistemoje su įdiegtais biofiltrais ŠESD emisijos ženkliai sumažėja [9]:

- CH<sub>4</sub> emisijų kiekis sumažėja nuo 50 iki 82 % (vid. – 66 %),
- N<sub>2</sub>O emisijų kiekis sumažėja iki 90 %.

BSA kompostavimo uždaroje sistemoje su biofiltrais ŠESD emisijų faktoriai pateikti 12 lentelėje.

### 5.1 Techninio įvykdomumo įvertinimas: praktinio eksperimento atlikimas UAB Jonavos vandenys dumblo kompostavimo aikštelėje

#### - Kompostavimo mišinio „receptūros“ sudarymas

Tinkamo BSA mišinio komponentų sumaišymo proporcijų nustatymui analizuojami BSA parametrai: SM, kadangi praktiškai visi parametrai nustatomi sausoje medžiagoje; bendras azotas (N), kadangi dumblas pasižymi labai didele N koncentracija; anglis (C), tam kad išvediniuose gauti kompostavimo procesui tinkamą C:N santykį; švinas – vienintelis sunkusis metalas, kuris yra rizikingas analizuojamo dumblo atveju ir kurio koncentracija gautajame mišinyje yra svarbi.

1 mišinio kompostavimui parinktas receptas pateiktas 12 paveiksle. Dėl didelės bendrojo azoto koncentracijos dumble, siekiant išlaikyti kompostavimui tinkamą C:N santykį (nors minimalią ribinę vertę 15:1) ir tinkamą mišinio drėgnį (< 70 %), kompostuojamo dumblo dalis mišinyje neturi viršyti 50 %.

Tam, kad tinkamai sukompostuoti 2494,5 t dumblo, kurio SM kiekis – iki 13,65 %, reikia turėti dar tiek pat ŽA ir medienos atliekų (pagal 1 mišinio receptūrą – iki 1496,7 t ŽA ir iki 997,80 t kirtimo atliekų).

BSA proporcijos 2 – me mišinyje aprašytos 13 paveiksle. Kadangi Jonavos rajono savivaldybėje nesusidaro pakankamas kiekis ŽA bei medienos atliekų, skirtingai nuo 1 mišinio, 2 – me siūloma papildomai kompostuoti žaliąsias atliekas iš MVA srauto, biokuro pelenus (žr. 13 lentelę). Mišinio C:N santykis yra mažesnis, nei priimta kompostavimui (12:1), todėl siūloma papildomai naudoti pasmulkintus šiaudus, esant poreikiui – probiotines medžiagas (inokuliantus). Ankstesniuose mokslininkų tyrimuose nustatyta, kad 1 tonai nusausinto dumblo sunaudojama nuo 0,3 iki 0,5 l koncentruotų probiotinių medžiagų, kurios efektyvesniam naudojimui skiedžiamos santykiu apyt. 1:50 [37]. Tyrimais nustatyta, kad probiotinių medžiagų naudojimas 1,3 karto sumažina bendras kompostavimo kuro sąnaudas, sumažina poveikį aplinkos oro kokybei (NH<sub>3</sub> emisijos sumažėja 1,37

karto), nedidina poveikio VAP dėl ŠESD, sumažina kvapų intensyvumą, pagerina pagaminto komposto kokybinius parametrus [37].

**Ivediniai:**

<sup>(1)</sup>Nusausintas naujasis dumblas – 30 t (50 %) (SM iki 13,65 %)

- SM: 4,095 t
- H<sub>2</sub>O: 25,901 t
- švinas Pb: 0,790 kg (192,85 mg/kg SM)
- N: 0,346 t (8,461 % SM)
- C: 0,839 t (20,49 % SM)

**ŽA – 18 t (30 %)**

(SM – iki 50 %)

- SM: 9 t
- H<sub>2</sub>O: 9 t
- <sup>(2)</sup>švinas Pb: 0,235 kg (vid. 26,15 mg/kg SM)
- N: 0,120 t (1,33 % SM)
- C: 2,814 t (31,27 % SM)

**Medžių ir krūmų kirtimo atliekos – 12 t (20 %)**

(SM – iki 65 %)

- SM: 7,8 t
- H<sub>2</sub>O: 4,2 t
- <sup>(3)</sup>švinas Pb: 0,252 kg (vid. 32,35 mg/kg SM)
- N: 0,017 t (0,214 % SM)
- C: 3,604 t (46,2 % SM)

**Sumaišymo procesas (kaupo formavimas)**

**Išvediniai:**

<sup>(4)</sup>BSA masė į kompostavimą – 60 t:

- H<sub>2</sub>O: 39,105 t (65,18 %);
- SM: 20,895 t (34,82 %), įsk.
- švinas Pb: 1,277 kg (61,12 mg/kg SM)
- N: 0,483 t (2,31 % SM);
- C: 7,257 t (34,73 % SM).

C:N - 15:1

(optimalus santykis kompostavimui: 15 – 30:1) [10, 13]

**12 pav. BSA kompostavimo mišinio receptūros sudarymas (maišant dumblą, ŽA ir medžių ir krūmų kirtimo atliekas)**

Pastabos:

<sup>(1)</sup>Paimtų dumblo mėginių analizės rezultatas:

Ėminio paėmimo data	2022-07-08	2023-01-12	2023-04-27	3 – jų mėginių vidurkis
Protokolo Nr.	Nr. K666	Nr. K18	Nr.K410	
pH	8,3	7	6,5	7,3
SM, %	11,47	12,61	16,87	13,650
OM, % SM	70,45	78,96	73,7	74,370
N <sub>b</sub> , % SM	9,09	8,192	8,101	8,461
P <sub>b</sub> , % SM	3,871	2,244	2,571	2,895
K <sub>b</sub> , % SM	1,918	1,0563	0,983	1,319
C, % SM	n	n	20,49	20,49
Cd, mg/kg	1,35	0,46	0,8	0,870
Cr, mg/kg	35,1	18,7	39,7	31,167
Pb, mg/kg	48,7	337	*897	192,850
Ni, mg/kg	29,3	19	40,1	29,467
Cu, mg/kg	287	250	394	310,333
Zn, mg/kg	762	493	573	609,333
Hg, mg/kg	0,222	0,02	0,02	0,087

\* neanalizuojama, skaičiuojant vidurkį, nes problema yra išspręsta.

<sup>(2)</sup>Pagal ENERCOM projekto duomenų bazę: vid. 24,2 mg/kg SM [34]; iki 28,1 mg/kg SM pagal [9].

<sup>(3)</sup>Pagal ENERCOM projekto duomenų bazę: vid. 14,7 mg/kg SM [34]; Pb ≤ 20 mg/kg – pagal LR energetikos ministro 2017-12-06 įsakymu Nr. 1-310 patvirtintas Kietojo biokuro kokybės reikalavimas (TAR, 2017 Nr. 19830); Pb ≤ 50 mg/kg – BALTPOOL maksimali leistina šio cheminio elemento vertė naudotoje medienoje (nustatyta pagal natūralią medieną – spygliuočių žievę) [BALTPOOL].

<p><b>Išvediniai:</b>  <b>Nusausintas naujasis dumblas – 28,2 t (47 %)</b>  <b>(SM iki 13,65 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SM: 3,849 t</li> <li>• H<sub>2</sub>O: 24,351 t</li> <li>• švinas Pb: 0,742 kg (192,85 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,325 t (8,461 % SM)</li> <li>• C: 0,789 t (20,49 % SM)</li> </ul>	<p><b>Sumaišymo procesas (kaupo formavimas)</b></p>	<p><b>Išvediniai:</b>  <b><sup>(4)</sup>BSA masė į kompostavimą – 60 t:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>O: 39,141 t (65,23%);</li> <li>• SM: 20,859 t (34,77%), įsk.</li> <li>• švinas Pb: 1,298 kg (62,23 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,461 t (2,21 % SM);</li> <li>• C: 5,460 t (26,18 % SM).</li> </ul> <p>C:N – 12:1</p>
<p><b>ŽA – 12 t (20 %)</b>  <b>(SM – iki 50 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SM: 6 t</li> <li>• H<sub>2</sub>O: 6 t</li> <li>• švinas Pb: 0,157 kg (vid. 26,15 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,080 t (1,33 % SM)</li> <li>• C: 1,876 t (31,27 % SM)</li> </ul>		
<p><b>Medžių ir krūmų kirtimo atliekos – 4,2 t (7 %) (SM – iki 65 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SM: 2,73 t</li> <li>• H<sub>2</sub>O: 1,47 t</li> <li>• švinas Pb: 0,088 kg (vid. 32,35 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,006 t (0,214 % SM)</li> <li>• C: 1,261 t (46,2 % SM)</li> </ul>		
<p><b><sup>(1)</sup>Pelenai - 6 t (10 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SM: 5,4 t</li> <li>• H<sub>2</sub>O: 0,6 t</li> <li>• švinas Pb: 0,27 kg (iki 50 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,0005 t (0,01 % SM)</li> <li>• C: 0,54 t (iki 10 % SM)</li> </ul>		
<p><b><sup>(2)</sup>MVA (tik žaliosios) - 9,6 t (16 %) (SM – iki 30 %)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SM: 2,88 t</li> <li>• H<sub>2</sub>O: 6,72 t</li> <li>• švinas Pb: 0,041 kg (vid. 14,2 mg/kg SM)</li> <li>• N: 0,05 t (vid. – 1,736 % SM)</li> <li>• C: 0,994 t (vid. 34,5 % SM)</li> </ul>		

**13 pav. BSA kompostavimo mišinio receptūros sudarymas**  
*(maišant dumblą, ŽA ir medžių ir krūmų kirtimo atliekas)*

Pastabos:

<sup>(1)</sup>Informacijos šaltinis – Biomasės pelenų sudėties ir panaudojimo galimybių analizė [35].

<sup>(2)</sup>Pagal ENERCOM projekto duomenų bazę ir [9].

### - **Kompostavimo proceso eiga**

Realiai pravešto eksperimento metu praktiškai pavyko suformuoti 2 kaupus. Kompostavimas vyko po stogine A1 sekcijoje (žr. 1 priedą), periodiškai atliekant vartymą pagal klasikinio aerobinio kompostavimo reikalavimus (pirmas 2 savaites – iki 2 – 3 kartų/sav., vėliau – iki 1 karto per savaitę). Kompostavimo pabaigoje buvo suformuoti mėginiai tyrimui Agrocheminių tyrimų laboratorijoje. Pagamintų kompostų ištirtų kokybės ir užterštumo kriterijų palyginimas su reikalavimais (LAND 20-2005 apdorotam dumblui pagal [4] bei tręšimo produktams pagal [3]), pateiktas 23-oje lentelėje.

**23 lentelė. Kompostavimo eksperimento ir pagamintų kompostų laboratorinių tyrimų rezultatai**

<b>Rezultatai 1 – me kaupe</b>				
Kaupo formavimo periodas: 2023-05-22/30		Ėminių paėmimo data: 2023-07-04 (kompostavimo trukmė ≈1,3 mėn.)		
<b>Bendrai: 59,30 t (100 %)</b>  - dumblo – 33,8 t (57 %): - žolė ir lapai – 14,5 t (24,45 %) - medienos atliekų, šiaudų – 11 t (18,55 %)		1-ojo komposto gautų rezultatų lyginamoji analizė		
<b>Tirti parametrai</b>	<b>Reikalavimai pagal LAND 20-2005 [4]</b>		<b>Reikalavimai tręšimo produktui [3] [9]</b>	<b>**Nustatytos parametrų vertės</b>
	<b>I kategorijos</b>	<b>II kategorijos</b>		
Cd, mg/kg SM	<1,5	1,5-5,0	≤1,5	1,13
Pb, mg/kg SM	<140	140-150	≤120	83,2
Hg, mg/kg SM	<1,0	1-1,5	≤1,0	<0,02
Cr, mg/kg SM	<140	140-170	≤70	9,07
Zn, mg/kg SM	<800	800-2500	≤800	190
Cu, mg/kg SM	<300	300-1000	≤300	90,6
Ni, mg/kg SM	<50	50-70	≤50	5,5
IOA, mg/l			<4000	482
pH			>6,6*	8,7
OM, proc. SM			>25*	41,79
SM, proc.			>21*	61,24
N <sub>b</sub> , proc. SM			>1,1*	2,39
P <sub>b</sub> , proc. SM			>0,41*	0,65
K <sub>b</sub> , proc. SM			>0,11*	1,20
*Vidutinio vertingumo komposto kaip trąšos rodikliai pagal [9] **2023-07-17 Agrocheminių tyrimų laboratorijos protokolas (Nr. K709)				
<b>Rezultatai 2 –me kaupe</b>				
Kaupo formavimo periodas: 2023-06-01/08		Ėminių paėmimo data: 2023-07-13 (kompostavimo trukmė ≈1,5 mėn.)		
<b>Bendrai: 60,05 t (100 %)</b>  - dumblo – 28,8 t (47,96 %): - žolė ir lapai – 8,5 t (14,15 %) - medienos atliekų – 8,5 t (14,15 %) - šiaudų – 1 t (1,67 %) -ŽA iš MVA srauto – 8 t (13,32 %) -pelenų – 5,25 t (8,75 %)		2-ojo komposto gautų rezultatų lyginamoji analizė		
<b>Tirti parametrai</b>	<b>Reikalavimai pagal LAND 20-2005 [4]</b>		<b>Reikalavimai tręšimo produktui [3] [9]</b>	<b>**Nustatytos parametrų vertės</b>
	<b>I kategorijos</b>	<b>II kategorijos</b>		
Cd, mg/kg SM	<1,5	1,5-5,0	≤1,5	0,32
Pb, mg/kg SM	<140	140-150	≤120	<b>29,9</b>
Hg, mg/kg SM	<1,0	1-1,5	≤1,0	<0,02*
Cr, mg/kg SM	<140	140-170	≤70	13,7
Zn, mg/kg SM	<800	800-2500	≤800	275
Cu, mg/kg SM	<300	300-1000	≤300	76,3
Ni, mg/kg SM	<50	50-70	≤50	13
IOA, mg/l			<4000	500
pH			>6,6*	8,2
OM, proc. SM			>25*	45,59
SM, proc.			>21*	70,21
N <sub>b</sub> , proc. SM			>1,1*	2,28
P <sub>b</sub> , proc. SM			>0,41*	0,98
K <sub>b</sub> , proc. SM			>0,11*	1,19
*Vidutinio vertingumo komposto kaip trąšos rodikliai pagal [9] **2023-07-17 Agrocheminių tyrimų laboratorijos protokolas (Nr. K711)				

## - **Kompostavimo eksperimento rezultatai ir jų interpretacija**

Eksperimento metu abiejuose kaupuose buvo pagamintas kompostas – produktas, kuris pagal reikalavimus trešimo produktams turi identifikacinį numerį ID Nr. D.2.1.1.1 – Kompostai (pūdiniai) „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“ [3].

Eksperimento pagrindiniai rezultatai:

- Dėl C:N santykio išlaikymo ir žinant, kad Jonavos nuotekų valyklos dumblas pasižymi didele N koncentracija, rekomenduojamas optimalus dumblo kiekis kompostuojamų BSA mišinyje turi sudaryti 47 % nuo bendros masės; dumblo kiekis gali būti padidintas iki 50 %, jeigu kartu kompostuojamos ne tik žaliosios atliekos, bet ir pakankamai didelis kiekis medienos kirtimo atliekų (iki 20 %).
- Įvykdytame eksperimente 1 – me kaupe kompostuojamo dumblo kiekis viršijo rekomenduojamą normą, realiai dumblo masė siekė 57 %. Nepaisant to kompostavimo procesas praėjo sklandžiai, jau pirmos savaitės pabaigoje temperatūra pradėjo didėti ir po 7 dienų buvo pasiekta termofilinei stadijai būdinga temperatūra – 45 – 50 °C).
- Pagal reikalavimus trešimo produktams pagaminti abiejuose kaupuose pagaminti kompostai atitinka šiuos kriterijus pagal [3]:
  - $N + P_2O_5 + K_2O \geq 2,5$  % SM (tirtuose mėginiuose virš 4 % SM);
  - $OM > 20$ % SM (tirtuose mėginiuose virš 40 % SM);
  - organinės C > 7 % SM (tirtuose mėginiuose virš 20 % SM);
  - visų tirtų sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni) koncentracijos neviršija ribinių verčių.
- Pagal Staugaitis ir kt. pasiūlytus komposto vertingumo rodiklius [9]:
  - 1 – me kaupe pagamintas kompostas pasižymi labai dideliu vertingumu pagal šiuos kokybės kriterijus: SM kiekį ir  $N_b$ , dideliu vertingumu pagal  $P_b$ , pagal  $K_b$  – vidutiniu;
  - 2 – me kaupe pagamintas kompostas pasižymi labai dideliu vertingumu pagal šiuos kokybės kriterijus: OM kiekį, SM kiekį,  $N_b$ ,  $P_b$ , pagal  $K_b$  – vidutiniu. Lyginant su 1 kompostu, 2 – me padidėjo  $P_b$  kiekis (nuo 0,65 iki 0,98 %, SM arba 50 %) dėl biokuro pelenų naudojimo.
- ŽA iš MVA srauto gali būti naudojamos kaip C turtinga medžiaga (šių atliekų C:N santykis paprastai iki 20:1), pvz., sumažinant ŽA bei medžių ir krūmų kirtimo atliekų kiekį.
- Visi Jonavos raj. savivaldybėje generuojami BSA srautai (nuotekų dumblas, ŽA, kirtimo atliekos, maisto ŽA, kietojo biokuro pelenai) dėl savo maistinių savybių gali būti naudojami kaip žaliava komposto gamybai taip realizuojant uždaro BSA valdymo sistemą (žr. 8 paveikslą).

## - **Siūloma Jonavos nuotekų valyklos dumblo kompostavimo technologija**

- Kompostavimas uždaroje patalpoje pagal LAND 20-2005 reikalavimus [4]. Šiam tikslui rekonstruoti esamą stoginę į lengvųjų konstrukcijų pastatą su priverstine oro padavimo sistema ir ištraukiamo oro valymu biologinio valymo įrengtinuose).
- Pirminio komposto gamybos ciklą skaičius per metus – iki 13 (uždaroje sistemoje kompostuojama ištisus metus, 1 ciklas – apyt. 3 savaitės [10]); dumblo brandinimas uždaroje patalpoje vyksta iki 1 mėnesio [10]).

- Optimalus nusausinto dumblo kiekis kompostuojamų BSA sudėtyje – 47 % (pagal masę, vertinant natūralioje medžiagoje); didinant dumblo kiekį iki plačiausiai taikomo (50 %) [10; 37], būtina tarp BSA naudoti medienas atliekas, pvz. medžių ir krūmų kirtimo atliekas (iki 20 %).
- Tikslu užtikrinti kompostavimo proceso stabilumą, sumažinti energijos sąnaudas kompostavimui (dėl vartymo skaičiaus sumažėjimo), atitinkamai – sumažinti oro ir tuo pačiu kvapų taršą, taip pat pagerinti gaminamo produkto - komposto kokybės kriterijus (pvz., vandenyje tirpių N, P, K, kt.), eliminuoti mikrobiologinės, parazitologinės taršos atsiradimo riziką, kompostavimui gali būti naudojami mikrobiologiniai preparatai [10; 37]. 1 tonai nusausinto dumblo naudoti nuo 0,3 iki 0,5 l koncentruotų probiotinių medžiagų, kurios efektyvesniam naudojimui skiedžiamos santykiu apyt. 1:50 [37]. Naudojama purškiant ant kaupio prieš pirmą vartymą. Skiedimui galima naudoti surinktas paršines (lietaus) nuotekas.
- Kompostuojant BSA, turi būti užtikrintos šios sąlygos:
  - vartymas – ne rečiau, kaip 1 kartą per savaitę (pirmas 2 savaites – iki 2 kartų; naudojat minėtus mikrobiologinius preparatus – 1 kartą);
  - tikslu išlaikyti tinkamus technologinius parametrus (pagal 10 lentelėje pateiktą informaciją), uždaroje patalpoje automatiškai palaikoma teigiama temperatūra ir apyt. 50-60 % drėgnis; technologiniai parametras (temperatūra, drėgnis, O<sub>2</sub> kiekis) taip pat turi būti nuolat kontroliuojami [4].

## 5.2 Uždaro ciklo biologiškai skaidžių atliekų valdymo sistemos aplinkosauginis įvertinimas

Kompostuojant BSA uždaroje sistemoje atsiranda poreikis naudoti elektros energiją priverstinio oro padavimo sistemos ir biofiltrų veikimo užtikrinimui. Kompostuojant BSA uždaroje sistemoje, energijos sąnaudos siekia iki 29 kWh/t BSA [31, 32, 33], iš kurių elektros energija dėl priverstinio oro padavimo sudaro nuo 8,41 iki 19,7 kWh/t BSA. Oro ištraukimo sistemoje pradėjus naudoti biofiltrus, bendros energijos sąnaudos gali padidėti iki 50 kWh/t BSA, ypač, jeigu kompostuojamos [30].

Toliau darbe elektros sąnaudoms įvertinti priimama prielaida, kad 1 tonos BSA apdorojimui uždaroje sistemoje su biofiltru bus sunaudojama 29 kWh elektros energijos. Vertinant netiesioginį poveikį klimato kaitai dėl elektros energijos sąnaudų iš tinklų, naudotas emisijų faktorius – 0,19245 CO<sub>2e</sub>/MWh (žr. 3.1 poskyrį).

Įvertinus atsiradusį poreikį naudoti elektros energiją BSA apdorojimui, ir dėl biofiltrų naudojimo sumažėjusias emisijų faktorių vertes, buvo apskaičiuotas poveikio VAP dėl ŠESD mažinimo potencialas, Jonavos rajone kartu kompostuojant nuotekų dumblą, ŽA (įsk. iš MVA) ir pelenus uždaroje sistemoje su biofiltrais. Skaičiavimų rezultatai pateikti 24 lentelėje.

**24 lentelė.** BSA kompostavimo uždaroje sistemoje su biofiltrais poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
BSA kiekis	t	4394,5
Nuotekų dumblo kiekis	t	2494,5
ŽA kiekis	t	1400
Pelenų kiekis	t	500
BSA SM	t	1564,175
Nuotekų dumblo SM (15 %)	t	374,175
ŽA SM (50 %)	t	700
Pelenų SM (98 %)	t	490

CO <sub>2</sub>	t	–
N <sub>2</sub> O	t	0,094
CH <sub>4</sub>	t	5,318
<b>Poveikis VAP, dėl BSA kompostavimo</b>		<b>160,922</b>
Dyzelinio kuro kiekis (12 l/t SM)	t	15,767
CO <sub>2</sub>	t	49,253
N <sub>2</sub> O	t	0,019
CH <sub>4</sub>	t	0,003
<b>Poveikis VAP, dėl kuro naudojimo kompostavimui</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>55,090</b>
<b>Poveikis VAP, dėl elektros energijos naudojimo</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>*24,526</b> <b>** 0,00</b>
<b>Bendras poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>216,012</b>

Pastabos:

\*Vertinimui naudotas emisijų faktorius (EF) – 0,19245 tCO<sub>2e</sub>/MWh.

\*\* Elektros energijai, gaminamai atsinaujinančių energijos išteklių elektrinėse, taikomas emisijų faktorius – 0,00 t CO<sub>2e</sub>/MWh, siūlome naudoti elektrą iš AEI, todėl vertiname, kad poveikio VAP nebus.

Palyginus skaičiavimų rezultatus 21 ir 24 lentelėse, matome kad taikant BSA kompostavimo uždaroje sistemoje su biofiltrais metoda, Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos sukiamas VAP dėl ŠESD sumažėtų 68 %. Ženklus bendro poveikio VAP sumažėjimas gautas, net ir daugiau nei 15 kartų padidėjusių dyzelinio kuro sąnaudoms (dėl didesnių kuro sąnaudų pasikeitus apdorojimo procesui ir dėl didesnio apdorojamų BSA kiekio). Kuro sąnaudos kompostavimui (vartymui, krovimui, smulkinimui) vertintos pagal ankstesniuose moksliniuose tyrimuose [12] pateiktą informaciją (nuo 7 iki 12 l/ t SM). Kadangi 21 ir 24 lentelėse buvo vertintas skirtingas BSA kiekis, 25 lentelėje pateikti skaičiavimai, kuriuose įvertinta ir palyginta 1 tonos BSA apdorojimo sukiamas poveikis VAP, laikant poligone ir kompostuojant uždaroje sistemoje su biofiltrais.

**25 lentelė.** Poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimo dydžių normalizavimas ir palyginimas.

Rodiklis	Vnt.	Dumblo laikymas poligone	BSA kompostavimas uždaroje sistemoje	Poveikio VAP sumažėjimas, %
BSA kiekis	t	2494,5	4394,5	–
BSA SM kiekis	t	374,175	1564,175	–
Poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	676,171	216,012	–
Poveikis VAP / t BSA	t CO <sub>2e</sub> /t BSA	0,271	0,049	<b>81,87</b>
Poveikis VAP / t BSA SM	tCO <sub>2e</sub> /t BSA SM	1,807	0,138	<b>92,36</b>

Lyginant 1 tonos BSA apdorojimą kompostuojant uždaroje sistemoje su 1 tonos nuotekų dumblo laikymu poligone, poveikis VAP sumažėja net 81,37 %, vertinant 1 t BSA SM, poveikis VAP sumažėja net 92,36 %.

Valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021 – 2027 m. plane [8] numatyta prievolė savivaldybėms tvarkyti atliekas kuo arčiau atliekų susidarymo vietas. Analizuojant Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemą identifikuotą, kad ŽA, MVA ir medienos kuro pelenai yra tvarkomos arba planuojamos tvarkyti kaimyninėse Kėdainių rajono ir Kauno miesto savivaldybėse. 17, 18, 19 ir 20 lentelėse įvertintas visų šiame darbe nagrinėjamų BSA srautų transportavimo sukiamas poveikis VAP dėl ŠESD, kuris sudaro – 22,53 t CO<sub>2e</sub>/m.

Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemoje pritaikius pramoninės simbiozės metodą ir pradėjus vienoje vietoje (Jonavos rajone, Gineikių k.) kompostuoti nuotekų dumblą, ŽA ir pelenus,

ženkliai sumažėtų ŽA (nuo 37 iki 12 km.) ir pelenų (nuo 30 iki 12 km) transportavimo atstumai. Nuotekų dumblo transportavimo atstumas išliktų toks pats (12 km), MVA tvarkymo arčiau jų susidarymo vietos alternatyvų šiame tyrimo etape nenagrinėjame. Poveikio VAP dėl ŠESD vertinimo skaičiavimai, pasikeitus BSA transportavimo atstumams pateikti 26 ir 27 lentelėse.

**26 lentelė.** ŽA transportavimo poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, sumažėjus transportavimo atstumams.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
ŽA kiekis	t	1400
ŽA kiekis 1-me reise	t	6
Reisų skaičius	Vnt.	233
Transportavimo atstumas	km	12
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	1.22
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	3.821
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0.0002
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0.0002
<b>Poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>3.887</b>

**27 lentelė.** Pelenų transportavimo poveikio VAP dėl ŠESD įvertinimas, sumažėjus transportavimo atstumams.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
Pelenų kiekis	t	500
Pelenų kiekis 1-me reise	t	8
Reisų skaičius	Vnt.	63
Atstumas	km	12
Degalų sąnaudos transportavimui (26 l/100 km), tankis 0,84 kg/l	t	0.328
CO <sub>2</sub> emisijų kiekis	t	1.023
N <sub>2</sub> O emisijų kiekis	t	0.0001
CH <sub>4</sub> emisijų kiekis	t	0.0001
<b>Poveikis VAP</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>1.041</b>

Bendro poveikio VAP dėl ŠESD vertinimas, po BSA transportavimo atstumų Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemoje sumažinimo, pateiktas 28 lentelėje.

**28 lentelė.** Poveikio VAP dėl ŠESD vertinimas po transportavimo atstumų sumažinimo.

Rodiklis	Vnt.	Vnt./m.
ŽA transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	3.887
Pelenų transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	1.041
Nuotekų dumblo transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	3.463
MVA transportavimo poveikis VAP	t CO <sub>2e</sub>	4.477
<b>Bendras poveikis VAP dėl BSA transportavimo</b>	<b>t CO<sub>2e</sub></b>	<b>12.868</b>

Kompostuojant nuotekų dumblą, ŽA ir pelenus Jonavos vandenių dumblo kompostavimo aikštelėje, sumažėtų BSA transportavimo atstumai. Dėl sumažėjusių kuro sąnaudų BSA transportavimui poveikis VAP sumažėtų 42,89 %, nuo 22,530 t CO<sub>2e</sub>/m. iki 12,868 t CO<sub>2e</sub>/m.

Jonavos rajone veikianti azoto trąšų gamykla AB „Achema“ viešai prieinamoje CO<sub>2</sub> pėdsako deklaracijoje (žr. 2 priedą) pateikia informaciją, kad trąšų gamybos poveikis VAP yra – 3,997 t CO<sub>2e</sub> / t N. Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemoje taikant pramoninės simbiozės metodą, komposto gamybos potencialas yra apie 2200 t/m. Pagal eksperimento metu pagaminto pirminio komposto gautus laboratorinių tyrimų rezultatus, matoma, kad bendrojo azoto N<sub>b</sub> kiekis siekia 2,39% SM (vidutiniškai – iki 2,335% SM) (žr. 23 lentelę). Azoto kiekis pagamintame komposte būtų apie 34 t/m. Panaudojus pagamintą kompostą dirvožemio gerinimui, sumažėtų poreikis naudoti atitinkamą kiekį (vertinant pagal N<sub>b</sub>) AB „Achema“ gaminamų trąšų. Poveikis VAP dėl to sumažėtų: 34 t x 3,997 t CO<sub>2e</sub> = 135,898 t/m.

Vertinant moksliniuose literatūros šaltiniuose pateiktą informaciją, trąšų gamybos sukiamas poveikis VAP yra: 3,6 t CO<sub>2e</sub>/ t N; 0,56 t CO<sub>2e</sub>/ t P; 0,43 t CO<sub>2e</sub>/ t K [36].

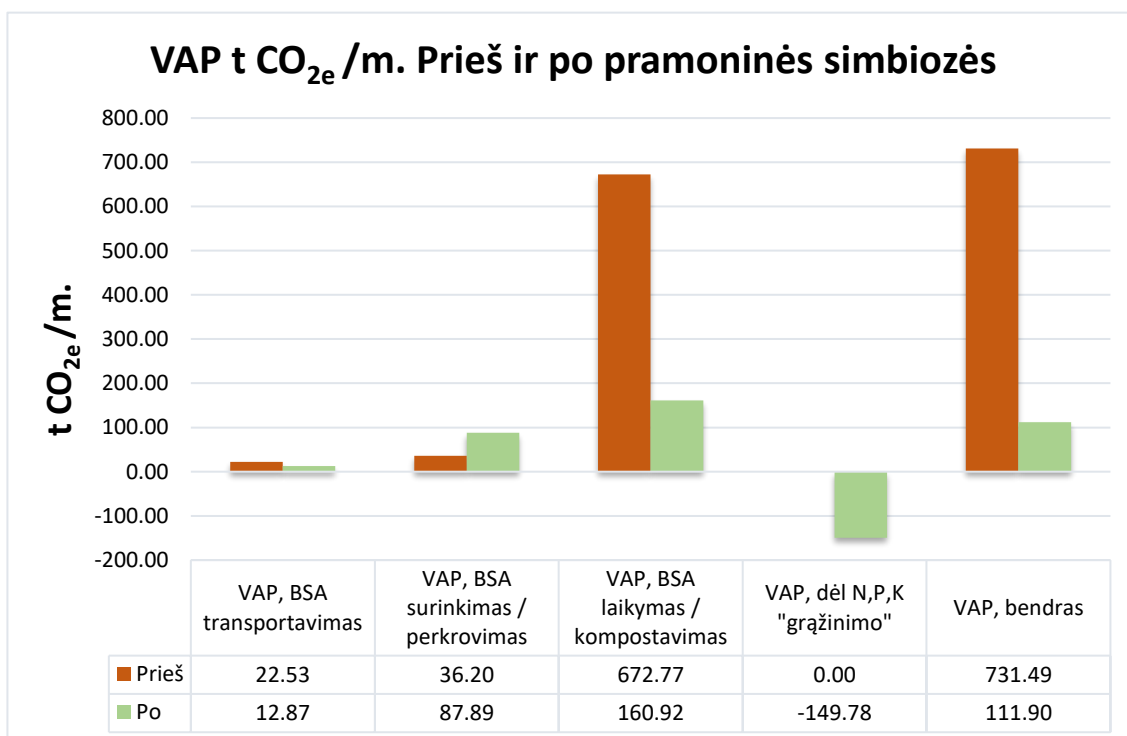
Naudojant pagamintų kompostų laboratorinės analizės rezultatus (žr. 23 lentelę), įvertinta, kad iš Jonavos savivaldybės BSA galima regeneruoti iki 11,65 t/m. P<sub>b</sub>, iki 17,1 t/m. K<sub>b</sub>.

Poveikio VAP sumažėjimas dėl į dirvožemį „grąžinto“ P, panaudojus pagamintą kompostą – 11,65 t/m. x 0,56 t CO<sub>2e</sub>/ t P = 6,524 t CO<sub>2e</sub> /m.

Poveikio VAP sumažėjimas dėl į dirvožemį „grąžinto“ K, panaudojus pagamintą kompostą – 17,1 t/m. x 0,43 t CO<sub>2e</sub>/ t K = 7,353 t CO<sub>2e</sub> /m.

Bendras poveikio VAP sumažėjimas dėl N, P, K „grąžinimo“ į dirvožemį – 149,775 t CO<sub>2e</sub> /m.

BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP (t CO<sub>2e</sub>/m.): esama situacija ir siūloma, įgyvendinus pramoninę simbiozę, pateiktas 14 paveiksle.



**14 pav.** Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP, esamos ir siūlomos situacijos palyginimas

### 5.3 Uždaro ciklo biologiškai skaidžių atliekų valdymo sistemos ekonominio įvertinimo rezultatai

Investicijos, reikalingos optimizuoti esamą BSA kompostavimo sistemą (jos uždarymui pagal LAND 20-2005 reikalavimus, automatiniam technologinių procesų valdymui, pagrindinių parametru kontrolei ir biofiltrų įrengimui), pateiktos 29 lentelėje.

**29 lentelė.** Investicijų poreikis BSA kompostavimo sistemos uždarymui ir automatizavimui.

Pavadinimas	Paskirtis	Vnt	Eur/vnt. be PVM
Aplinkosauginių dokumentų paruošimas	PŪV dokumentų atranka dėl PAV, PVSV (SAZ ribų patikslinimui), taršos leidimo koregavimas	1	20 000,00
<sup>1</sup> Lengvųjų konstrukcijų pastatas (medžiagos + statybos darbai)	Esamos stoginės uždarymas	1	131 775,00
<sup>2</sup> Ventiliacinė sistema su aktyvuoto anglies filtru ir jos įrengimas (įranga + įrengimo darbai)	Ištraukiamoj ventiliacinė sistema (našumas - iki 30 000 m <sup>3</sup> /val.), su aktyvuotos anglies filtru, pvz., OFTA (OFD filtrų dėžei)	1	55 000,00
Temperatūros, drėgmės, matavimai; su parodymų perdavimu per Wi-Fi	Iki 6 matavimų vietų kiekviename kaupe (išviso – iki 62 vnt.). Parოდimai persiunčiami per internetą ir įrašomi kompiuteryje ar kitame kaupiklyje. Maksimalus atstumas parodymų perdavimų – 1 km. Pvz., bevielės dirvožemio temperatūros ir drėgmės bei elektrinio laidumo jutiklis TDSPHE01	1	3 260,00
Iš viso projekto bendros investicijos (be PVM )			210 035,00 Eur

<sup>1</sup>Informacijos šaltinis: vadovaujantis informacija, viešai paskelbta CVP „Pirkimo sutarčių viešinimas“ už 2022-2024 m. [<http://www.cvpp.lt/>, <http://infostatyba.lt> ir <https://www.ekspertai.lt>]

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

Įgyvendinus siūlomus Jonavos rajono savivaldybės BSA valdymo sistemos pakeitimus, siekiant išspręsti tyrimo metu identifikuotas problemas (žr. 4 skyrių) ir sumažinti poveikį VAP dėl ŠESD, pasikeis ir kompostavimo proceso tiesioginiai kaštai UAB Jonavos vandenys: atsiras papildomų išlaidų ir pajamų. Sutaupomų lėšų dėl procesų kaštų sumažėjimo ir pajamų analizės rezultatai pateikti 30 lentelėje.

Siūlomų sprendimų įgyvendinimas padėtų kasmet sutaupyti apie 38884 Eur. Atsižvelgiant į tai, kad investicijų suma reikalinga uždaro ciklo BSA tvarkymo sistemos įdiegimui yra 210 035 Eur, taikant 6 formulę, įvertinta investicijų atsipirkimo trukmė:

$$AT = 210035 \text{ Eur} / 38884 \text{ Eur/m.} = 5,4 \text{ m.}$$

**30 lentelė. BSA valdymo sistemos tiesioginių kaštų įvertinimas prieš ir po siūlomų priemonių įgyvendinimo**

Eil. Nr.	Srautai dumblo kompostavimo procese	Vnt.	Esama situacija			Planuojama situacija			Sutaupoma, sumažėja (+) Padidėja (-)	
			Vnt./m.	Eur/vnt.	Išlaidos (+) Pajamos (-), Eur/m.	Vnt./m.	Eur/vnt.	Išlaidos (+) Pajamos (-), Eur/m.	Vnt./m.	Eur/m.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Buitinių nuotekų dumblas	t	2494,5	<sup>(1)</sup> 10,00	24945,00	-	-	-	2494,5	24945,00
2	ŽA ir kirtimo atliekos iš Jonavos miesto	t	-	-	-	1400	10,00	-14000,00	-1400,00	14000,00
3	ŽA iš MVA srauto	t	-	-	-	860	20,00	-17200,00	-860,00	17200,00
4	Pelenai	t	-	-	-	500	<sup>(2)</sup> 20	-10000,00	-500,00	10000,00
5	Dyzelinis kuras dumblo transportavimui iki aiktelės	t	1,09	1600,00	11342,40	1,09	1600,00	6476,8	0	0
6	Dyzelinis kuras dumblo kompostavimo technikai	t	0,97	1600,00	1552,00	<sup>(3)</sup> 15,767 9,197	1600,00	14715,2	-8,23	-13163,00
7	Elektros energija	MWh	5,21	240,00	1250,88	132,65	240,00	31836,72	-127,44	-30586,00
8	Dumblo laboratoriniai tyrimai	Vnt.	5	152,81	764,05	5	152,81	764,05	0	0
9	Apdoroto dumblo arba komposto laboratoriniai tyrimai	Vnt.	5	255,46	1277,30	5	255,46	1277,30	0	0
10	Darbuotojai	Vnt.	2	16512,00	33024,00	3	16512,00	49536,00	-1	-16512,00
11	Kompostas	t	-	-	-	2200	15,00	-33000,00	2200	33000,00
<b>Sutaupoma, pradėjus kompostavimo procesą:</b>									<b>38884,00</b>	

**Pastabos:**

<sup>(1)</sup>Šiuo metu apdorotas dumblas (teritorijoje laikomas virš 1 metu) atiduodamas ūkininkams tręšimui pagal tręšimo planus. Kainą už pridavimą ir transportavimą – 10 Eur/t, be PVM

<sup>(2)</sup>Šiuo metu Jonavos šilumos tinklai priduoda pelenus į sąvartyną, kaina - 109 Eur/t, įsk. PVM. Projekto įdiegimo atveju UAB „Jonavos šilumos tinklai“ pelenus pristatytų į kompostavimo teritoriją. UAB „Jonavos vandenys“, sumokėdami po 20 Eur/t be PVM.

<sup>(3)</sup>Skaičiuojant poveiki VAP dėl ŠESD, buvo vertintos maksimalios galimos kuro sąnaudos kompostavimui (vartymui, krovimui, smulkinimui) pagal moksliniuose tyrimuose [12] pateiktą informaciją (nuo 7 iki 12 l/ t BSA SM), tačiau uždaroje sistemoje, kontroliuojant kompostavimo proceso parametrus, kuras bus naudojamas optimaliai, todėl kaštų analizėje vertiname 7 l/t BSA SM.

## Išvados ir rekomendacijos

1. Mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatai parodė, kad Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių biologiškai skaidžių atliekų (BSA) (*buitinių nuotekų valymo įrenginių dumblas, žaliosios atliekos (ŽA) ir medžių ir krūmų kirtimo atliekos nuo viešųjų teritorijų, žaliosios atliekos iš maisto virtuvės atliekų (MVA) srauto, kietojo biokuro pelenai*) tvarkymo sistema gali būti uždaro ciklo, taikant tokius pramoninės ekologijos metodus, kaip dematerilizavimas ir pramoninė simbiozė.

2. Atlikus Jonavos rajono savivaldybėje susidarančių BSA inventorizaciją nustatyta, kad į BSA tvarkymo sistemą kasmet patenka iki 4,4 tūkst. t šių atliekų: iki 2,5 tūkst. t nuotekų dumblas, iki 1,4 tūkst. t ŽA ir medžių ir kirtimo atliekų, iki 500 t kietojo biokuro pelenų; prognozuojama, kad nuo 2024 m. pabaigos bus centralizuotai surinkta iki 860 t/m. ŽA iš MVA srauto. Nustatytas BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP dėl ŠESD – 731,493 t CO<sub>2e</sub>/m., įsk. apie 92 % – iš esamos dumblas apdorojimo sistemos).

3. Jonavos nuotekų valykloje pravesto eksperimento rezultatai parodė, kad, taikant pramoninės simbiozės principus, visos Jonavos rajone susidarančios BSA dėl savo maistinių savybių ir esamo užterštumo parametrų galėtų būti kompostuojamos kartu, kasmet būtų pagaminta iki 2,2 tūkst. t komposto (produkto ID Nr. D.2.1.1.1), tinkančio naudoti kaip dirvožemio gerinimo medžiaga.

4. Kadangi Jonavos nuotekų valyklos dumblas pasižymi didele bendrojo azoto (N) koncentracija, teorinio įvertinimo ir pravesto kompostavimo eksperimento metu ypatingas dėmesis buvo skiriamas tinkamai BSA srautų maišymosi proporcijai nustatyti, kad išlaikyti nors minimalų C:N santykį kompostavimo procesui (15:1).

Nustatytas rekomenduojamas maksimalus dumblas kiekis kompostuojamų BSA mišinyje (vertinant pagal masę natūralioje medžiagoje):

- kompostuojant be MVA: dumblas (N < 8,5 % SM) – iki 50 – 57 %, kirtimo atliekų (C ≥ 46 % SM) – iki 18 – 20 %;
- kompostuojant kartu su ŽA iš MVA (iki 16 %)(C ≥ 34 % SM): dumblas – iki 47 – 50 %, šiame mišinyje gali būti iki 10 % pelenų.

5. Realizavus darbe siūlomą BSA uždaro valdymo sistemą (Angl. – *Closed loop control system*), bendras Jonavos rajono savivaldybės BSA tvarkymo sistemos poveikis VAP dėl ŠESD per metus sumažėtų 68 % arba virš 81 % vertinant 1 t BSA (nuo 0,271 iki 0,049 t CO<sub>2e</sub>/t BSA) arba virš 92 %, vertinant visų BSA tik sausos medžiagos kiekį. Sumažėjus atstumams iki BSA tvarkymo vietų, poveikis VAP dėl ŠESD sumažėtų apie 40 % (nuo 22,530 iki 12,868 t CO<sub>2e</sub>/m.). Įvertinus sumažėjusį poreikį naudoti chemijos pramonės įmonių gaminamas trąšas, dėl N,P,K „grąžinimo“ į dirvožemį, naudojant pagamintą kompostą, bendras poveikis VAP sumažėja beveik 85 % (nuo 731,493 t CO<sub>2e</sub>/m. iki 111,90 t CO<sub>2e</sub>/m.).

6. Papildomų investicijų poreikis BSA tvarkymo sistemos optimizavimui Jonavos rajono savivaldybėje, yra 210 tūkst. Eur. Šios investicijos būtų naudojamos kompostavimo patalpų modernizavimui, kontrolės ir valdymo parametrų automatizavimui, oro teršalų valymo sistemos įdiegimui. Tiesioginių procesų kaštų analizė parodė, kad dėl pramoninės simbiozės projekto realizavimo UAB Jonavos vandenys kasmet taupyti iki 38,9 tūkst. Eur, investicijų atsipirkimo trukmė siektų 5,4 metus.

BSA tvarkymo rekomendacijos Jonavos rajono savivaldybei:

1. Jonavos rajono savivaldybėje sukurti BSA uždaro valdymo sistemą (Angl. – *Closed loop control system*), kurioje, naudojant pramoninės ekologijos principus, prevenciškai mažinti BSA susidarymą ir optimizuoti esamą surinkimą ir tvarkymą tikslu mažinti šios sistemos poveikį VAP dėl ŠESD. Siūloma darbe identifikuotus BSA srautus gabenti į Gineikių k., kur aerobiškai apdoroti Jonavos vandenių dumblo kompostavimo aikštelėje ir gaminant didelės pridėtinės vertės produktą – kompostą.
2. Uždrausti Jonavos rajono savivaldybės įmonių veikloje susidarancias BSA šalinti sąvartyne ir/ar naudoti BSA tręšimui, jų neperdirbus.
3. Suformuoti savivaldybės įmonėms lūkesčių raštus, skatinančius investuoti ir diegti inovacijas BSA perdirbimo srityje, siekiant gaminti produktus (tręšimo ir/arba biodujas).
3. Bendradarbiauti su Jonavos rajone veikiančiais verslininkais ir ūkininkais, informuojant juos apie galimybę nemokamai atiduoti anglim (C) turtingas BSA tolimesniam kompostavimui su dumbliu.
4. Bendradarbiauti su Jonavos rajono ūkininkais, realizuojant pagamintą dirvožemio gerinimo medžiagą – kompostą.
5. Organizuoti gyventojų švietimo ir informavimo kampanijas, pranešant apie rūšiavimo svarbą, teisingą BSA tvarkymą ir namudinio kompostavimo naudą. Organizuoti mokymus apie tinkamą kompostavimo procesą ir komposto panaudojimą.
6. Vykdyti aktyvią atliekų rūšiavimo kontrolę, gyventojams, nesilaikantiems BSA tvarkymo taisyklių, taikyti baudas. Gyventojams, kompostuojantiems atliekas, taikyti mažesnę atliekų tvarkymo mokesčių.

## Literatūros sąrašas

### Teisės aktai

1. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006-05-17 įsakymas Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ (Žin., 2006, Nr.59-2103; TAR, 2015, Nr.00074; 2018 Nr. 15266; 2022 Nr. 08300).
2. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007-01-25 įsakymas Nr. D1-57 „Dėl biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo“ (Žin., 2007, Nr. 23-902; 2009, Nr. 88- 3777, TAR 2016, Nr. 04880).
3. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2019-05-10 įsakymo Nr. 3D-292 „Dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų trešiamųjų produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų trešiamųjų produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo“ (TAR, 2019-05-10, Nr. 7514).
4. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001-06-29 įsakymas Nr. 349 „Dėl normatyvinio dokumento LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai“ patvirtinimo“ (Žin., 2001 Nr. 61-2196; TAR 2016 Nr. 21147, 2018 Nr. 10712, 2020 Nr. 14959).
5. Lietuvos Respublikos Atliekų tvarkymo įstatymas (Žin., 1998 Nr. 61-1726; 2002 Nr. 72-3016; TAR 2014 Nr. 00711; 2020 Nr. 03538).
6. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 1999-07-14 įsakymas Nr. 217 „Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“ (Žin., 1999 Nr. 63-2065; 2012 Nr. 16-697; TAR 2014 Nr. 02422; 2018 Nr. 19783).
7. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2011-01-5 įsakymas Nr. D1-14 „Dėl Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“ (Žin. 2011, Nr. 5-168, i.k. 111301MISAK000D1-14)
8. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2022-06-01 nutarimas Nr. 573 „Dėl Valstybinio atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 metų plano patvirtinimo“ (Žin. 2002, Nr. 40-1499; TAR 2022-06-01)

### Mokslinės literatūros sąrašas

9. Staugaitis, G., Kliopova, K., Mažeika, R., Gvildienė, K., Jurovickaja, E., 2016. Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas. Mokslinio tiriamojo darbo galutinė ataskaita. Užsakovas - Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija.
10. Staniškis, J.K., Kliopova, I., Miliūtė-Plepienė, J., Kruopienė, J., Uselytė, R., Varžinskas, V. 2017. Darni atliekų vadyba. Mokslo monografija. 4 skyrius. Kliopova, I. Komunalinių biologiškai skaidžių atliekų vadyba. Kaunas: Technologija, 142-273, 382-412.
11. Kliopova, I.2016. Integrated Waste Management System for Resort Town. Journal of Environmental Research, Engineering and Management Vol. 72 / No. 2 / 2016 pp. 31-55; DOI 10.5755/j01.arem.72.2.16183

12. Stunžėnas, E., Kliopova, I. 2021. Industrial Ecology for Optimal Food Waste Management in a Region. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management* Vol. 77 / No. 1 / 2021 pp. 7–24 DOI 10.5755/j01.erem.77.1.27605
13. Kliopova I., Stanevičiūtė K. 2013. Evaluation of Green waste Composting Possibilities. *Environmental research, engineering and management* No. 3(65) p.6-19
14. Brazas. A. 2011. Bioskaidžių atliekų biologinis apdorojimas: 4 dalis – procesas ir reikalavimai kompostavimui bei kompostui. III Baltijos bioatliekų konferencijos pranešimo medžiaga. Vilnius.
15. Wójcik m., Feliks Stachowicz F., Masłoń A. 2018. The Use of Wood Biomass Ash in Sewage Sludge Treatment in Terms of Its Agricultural Utilization, Waste and Biomass Valorization (2020) 11:753–768
16. Dedina, M., Jarošíková,, A., Plíva,P., Dubský M. 2022. The Effect of Ash Admixture on Compost Quality and Availability of Nutrients, Sustainability, 14, 1640.
17. Grgas, D., Štefanac, T., Barešić,, M., Toromanović, M., Ibrahimpašić J., Vukušić – Pavičić, T., Habuda-Stanić, M., Herceg, Z., Landeka – Dragičević, T. 2021. Co-composting of Sewage Sludge, Green Waste, and Food Waste, *J.sustain. dev. energy water environ. syst.*, 11(1), 1100415, 203, DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0415>
18. Sarah, L. Nordahl, Chelsea V. Preble, Thomas W. Kirchstetter, and Corinne D. Scown. 2023. Greenhouse Gas and Air Pollutant Emissions from Composting, *Environ. Sci. Technol.* 2023, 57, 2235–2247
19. Pamela, H. Templer, Jonathan W. Toll, Lucy R. Hutyra, Steve M. Raciti. 2014. Nitrogen and carbon export from urban areas through removal and export of litterfall, *Environmental Pollution* 197 (2015) 256e261
20. Staugaitis G. , Mažeika R., Gvildienė K., Narutytė I. 2015. Kompostų žaliavos ir kokybės vertinimas. Monografija skirta Agrocheminių tyrimų laboratorijos 50 metų sukakčiai „Inovatyvūs dirvotyros ir agrochemijos mokslo sprendimai“, p. 256–267
21. Gvildienė K. Kompostų kokybė, jų įtaka dirvožemiui ir augalams. 2016. Daktaro disertacija. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras. 129 p.
22. IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change* . Kiyoto Tanabe, et al ed., Hayama-machi (Kanagawa-ken): The Institute for Global Environmental Strategies, 2006 NDL-OPAC. ISBN 4-88788-032-4.
23. LITHUANIA’S NATIONAL INVENTORY REPORT 2023 GREENHOUSE GAS EMISSIONS 1990-2021. [https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/NIR\\_2023\(1\).pdf](https://aaa.lrv.lt/uploads/aaa/documents/files/NIR_2023(1).pdf)
24. Beibei, Liu, Qi Wei, Bing Zhang, Jun Bi, 2013, Life cycle GHG emissions of sewage sludge treatment and disposal options in Tai Lake Watershed, China, *Science of The Total Environment*, Volume 447, Pages 361-369
25. Kliopova, I., Staniškis, J.K., Stunžėnas, E., Jurovickaja, E. Bio-nutrient recycling with a novel integrated biodegradable waste management system for catering companies. *Journal of Cleaner Production*. 209 (2019) 116-125; <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618332013>

26. Stunženas, E., Kliopova, I., Kliaugaitė, D., Budrys, R. P. Industrial Symbiosis for Optimal Bio-Waste Management and Production of a Higher Value-Added Product. *Processes*. 2021, 9(12), 2228; <https://doi.org/10.3390/pr9122228>
27. Staniškis, J.K., Stasiškienė, Ž., Kliopova, I. Varžinskas, V. Darnios Inovacijos Lietuvos Pramonėje: Kūrimas Ir Diegimas. Monografija. Kaunas: Technologija, 2010 ISBN 978-9955-25-815-5. [žiūrėta 2024-05-15].
28. Stunženas, E. Pramoninės Ekologijos Metodų Taikymas Maisto Atliekų Valdymui Regiono Lygmeniu: Daktaro Disertacija. Interaktyvus. Kauno technologijos universitetas, (2022).
29. Muliuilė, I., Kliopova, I., Stunženas, E., Rimkevičius, E., Naujokas, G. Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse. MTEP projekto atskaita. Užsakovas - VšĮ Kauno regiono atliekų tvarkymo centras. P. – 198.
30. Baky, A. & Eriksson. O., 2003. Systems Analysis of Organic Waste Management in Denmark, Environmental Project No. 822, Copenhagen: Danish EPA.
31. Haaren, R., Nickolas, J., Themelis, Morton Barlar, 2010. LCA comparison of windrow composting of yard waste with use as alternative daily cover (ADC). *Waste Management*. No. 30, 2649-2656;
32. Grontmij & IVAM, 2004. A Life Cycle Assessment for Vegetable, Fruit and Garden Waste – Review of the LCA accompanying the 2003 Netherlands National Waste Plan. De Bilt/Amsterdam.
33. Boldrin, A., Andersen, J.K., Moller, J., Christensen, T.H., Favoino, E. 2009. Compost and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*. No. 27, 800-812.
33. Muliuilė, I., Kliopova, I., Stunženas, E., Rimkevičius, E., Naujokas, G. Pasirengimas maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo įdiegimui Kauno regiono savivaldybėse. MTEP projekto atskaita. Užsakovas - VšĮ Kauno regiono atliekų tvarkymo centras. P. – 198.
34. Kliopova, I., K. Makarskienė, K., 2015. Improving material and energy recovery from the sewage sludge and biomass residues. *Waste Management*. 36. P.: 269-276
35. Maldaris, D. Biomės pelenų sudėties ir panaudojimo galimybių analizė. 2017. Antrosios pakopos (magistrantūros) studijų baigiamasis darbas. ASU Aplinkos ir ekologijos institutas. P – 48.
36. VegaAlga. Sustainable agriculture eco-system: business and technological solution for eco-conscious vegetable cultivation using on-site produced algae fertilizer. Report on the sustainability. Grant number: 673023. Ref. Ares(2017)3169954 - 23/06/2017
37. Kliopova, I.; Stunženas, E.; Kruopiene, J.; Budrys, R.P. Environmental and Economic Performance of Sludge Composting Optimization Alternatives: A Case Study for Thermally Hydrolyzed Anaerobically Digested Sludge. *Water* 2022, 14, 4102. <https://doi.org/10.3390/w14244102>

### **Kiti šaltiniai**

Oklin. Kompostavimo įrenginiai. [žiūrėta 2024-05-03]. Prieiga per: <https://oklininternational.com/>

BioCoTech . Kompostavimo įrenginiai. [žiūrėta 2024-05-03]. Prieiga per: <https://biocotech.no/english/>

Joraform. Kompostavimo įrenginiai. [žiūrėta 2024-05-03]. Prieiga per: <https://joraform.se/home/>

Husqvarna. Vejos robotai. [žiūrėta 2024-05-03]. Prieiga per: <https://www.husqvarna.com/lt/>

Mammotion. Vejos robotai. [žiūrėta 2024-05-03]. Prieiga per: <https://mammotion.com/>

Baltpool Prekybos biokuro produktais sąlygos, patvirtintos BALTPPOOL UAB generalinio direktoriaus 2013 m. liepos 31 d. įsakymu Nr. 13-IS-23 ir papildytos bei patvirtintos 2022-01-07 įsakymo Nr. IS-210001 redakcija (nuo 2022-01-14).





## CARBON FOOTPRINT DECLARATION

For AN, CAN, NS 27-5 Fertilizer

- AB Achema declares, that carbon footprint for AN, CAN, NS 27-5 fertilizers manufactured by AB Achema is below 3,997 ton CO<sub>2</sub> equivalent per ton of nitrogen. The carbon footprint comprises the greenhouse gas emissions from the production of the nitrogen content of fertilizers.
- AB Achema carbon emissions are verified by independent third party, DNV GL Business Assurance Finland OY AB.
- AB Achema manufacturing was certified to DEKRA Quality and Environment Protection Management Systems in accordance with ISO 9001 and ISO 14001 international standards.

Jonava,  
14th April 2016  
Juožas Tunaitis  
Technical director  
AB Achema