VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Rasa Tumaševičiūtė

BIOSKAIDŽIŲ ATLIEKŲ TVARKYMAS ĮGYVENDINANT ŽIEDINĖS EKONOMIKOS PRINCIPUS
BIOWASTE TREATMENT ACCORDING CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004
Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija
Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Aplinkos inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4 (aplinkos apsaugos inžinerija)

Pavadinimas	**Bioskaidžių atliekų tvarkymas įgyvendinant žiedinės ekonomikos principus**
Autorius	**Rasa Tumaševičiūtė**
Vadovas	**Aušra Zigmontienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Pagrindinis šio baigiamojo darbo tikslas – panaudojant žiedinės ekonomikos principus biologinių atliekų sektoriaus potencialą išnaudoti maisto medžiagoms atgauti, grąžinti ir energijai taupyti. Baigiamajame magistro darbe apžvelgti įvairių šalių mokslininkų atliktų tyrimų rezultatai žiedinės ekonomikos srityje ir suformuoti žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijai. Praktiškai identifikuotas neįtrauktas į biologinių atliekų tvarkymo sistemą, tačiau lengvai atskiriamas susidarymo šaltinyje, biologinių atliekų srautas. Identifikuojant geriausius aplinkos apsaugos požiūriu biologinių atliekų tvarkymo metodus pritaikyta būvio ciklo vertinimu pagrįsta programinė įranga ir daugiakriteriai metodai. Įvertinti 2016 m. Lietuvos regionų biologinių atliekų tvarkymo sistemų rezultatai ir pasiūlytas rodiklis, skirtas regionų žiediškumui įvertinti, kuris leidžia identifikuoti prastai atliekas tvarkančius regionus, pateiktos darbo išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, tyrimo objekto ir problemos aptarimas, tyrimo metodika, tyrimo rezultatai ir jų analizė, išvados, rekomendacijos, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 78 p. teksto be priedų, 15 iliustr., 17 lent., 75 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: biologinės atliekos, būvio ciklo vertinimas, maisto ir virtuvės atliekos, tvarus medžiagų valdymas, žiedinė atliekų vadyba, žiedinė ekonomika.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environment Protection and Water Engineering

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Environmental Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4 (Environmental Engineering)

Title	**Biowaste Treatment According Circular Economy Principles**
Author	**Rasa Tumaševičiūtė**
Academic supervisor	**Aušra Zigmontienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The main aim of this Master thesis is to exploit the potential of the biowaste sector by using circular economy principles for nutrients recovery, their return and energy saving. In the final Master's thesis, the results of researches made by different countries in the field of circular economy are reviewed and the criteria of the circular waste management system are formed. Identified biowaste stream which is not included in the biowaste management system, but can be easily separated at source and collected. Based on life cycle assessment software and multi-criteria methods, the best environmental practices in biowaste management techniques were identified. 2016 biowaste management systems in the regions of Lithuania were estimated and indicator, which allows identification of poorly managed waste systems, for assessing the regional circularity was proposed. A conclusions and recommendations was adduced.

Structure: introduction, discussion of the object and problem of the research, methodology, research results and their analysis, conclusions, recommendations, references.

Thesis consist of: 78 p. text without appendixes, 15 pictures, 17 tables, 75 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: biowaste, circular economy, circular waste management, food and kitchen waste, life cycle assessment, sustainable material management.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 4

LENTELIŲ SĄRAŠAS 5

SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS 6

ĮVADAS 7

1. BIOLOGIŠKAI SKAIDŽIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO IR TVARKYMO TENDENCIJOS IR PROBLEMOS SPRENDIMAS ŽIEDINĖS EKONOMIKOS KONTEKSTE 9

1.1. Biologiškai skaidžios medžiagos žiedinėje ekonomikoje 9

1.1.1. Biologinės mimikrijos samprata 13

1.1.2. Beatliekė visuomenė ir jos vaidmuo žiedinėje ekonomikoje 16

1.2. Biologinių atliekų susidarymo šaltiniai 16

1.2.1. Atliekų susidarymo ir tvarkymo proceso dalyviai 17

1.2.2. Korporacijų biurų virtuvės atliekų sudėties natūrinis tyrimas 21

1.3. Žiedinė ekonomika ir biologinių atliekų tvarkymas 23

1.3.1. Medžiagų, susidarančių po atliekų sutvarkymo, kokybė ir kaina 23

1.3.2. Žiediškumo apibrėžimas atliekų tvarkyme 24

1.4. Biologinių atliekų tvarkymo būdai 27

1.5. Scenarijų sudarymu ir jų analize paremta vertinimo metodika 31

1.5.1. Būvio ciklo vertinimo (BVC) principai 32

1.5.2. Pagrindinės prielaidos BCV paremtiems scenarijams modeliuoti 34

1.5.3. Beatliekės visuomenės indekso skaičiavimo principai 36

1.5.4. Medžiagų ir energijos balanso sudarymas 36

1.6. Pirmojo skyriaus išvados 37

2. TYRIMO METODIKA 38

2.1. Tyrimo objektas, tikslas, uždaviniai ir metodo esmė 38

2.2. Tyrimo atlikimo eiga 38

2.2.1. Tinkamų technologijų ir funkcinio vieneto identifikavimas 38

2.2.2. Aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas 44

2.2.3. Rodiklių reikšmingumas ir COPRAS metodas 45
2.2.4. Žiediškumo įvertinimas beatliekės visuomenės indeksu..... 49
2.3. Antrojo skyriaus išvados 55
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ 57
3.1. Skirtingų atliekų tvarkymo scenarijų aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas .. 57
3.2. Žiediškumo įvertinimas regionuose 64
3.2.1. Lyginamoji regionų analizė 66
3.2.2. Lyginamoji regionų analizė pritaikius optimaliausią aplinkosauginiu požiūriu technologiją ir atskirą biologinių atliekų surinkimą 67
3.3. Trečiojo skyriaus išvados 70
IŠVADOS 71
REKOMENDACIJOS 72
LITERATŪROS SĄRAŠAS 73
PRIEDAS A 79
PRIEDAS B 82
PRIEDAS C 83

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Žiedinės ekonomikos koncepcija biologiškai skaidžioms atliekoms 10
1.2 pav. UAB „Nasdaq Vilnius Services“ mišrios komunalinės atliekos 21
1.3 pav. Pagrindiniai žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijai 25
1.4 pav. Biologinių atliekų tvarkymo galimybių schema 28
1.5 pav. Techninė būvio ciklo įvertinimo schema 33
2.1 pav. Aplinkosauginio poveikio įvertinimo schema 39
2.2 pav. Technologinės ir socialinės inovacijos 40
2.3 pav. Pagrindiniai BSA tvarkymo komponentai 41
2.4 pav. Komunalinių atliekų tvarkymo būdai 2016 m., % 54
2.5 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo nuošimčiai 2007-2014 m. 55
3.1 pav. Deginimas po stabilizavimo 59
3.2 pav. Kompostavimas laisvuose biotuneliuose MBAĮ 60
3.3 pav. Anaerobinis apdorojimas ir anaerobinio raugo kompostavimas 60
3.4 pav. Beatliekės visuomenės indekso reikšmės kiekviename regione 66
3.5 pav. Beatliekės visuomenės indeksas veikiančiose ir optimaliose sistemose 68

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Ekologinė sukcesija 14
1.2 lentelė. 2018 m. kovo–balandžio mėn. UAB „Nasdaq Vilnius Services“ mišrių komunalinių atliekų morfologinė sudėtis, % 22
2.1 lentelė. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijų daugiakriterės analizės rezultatai 48
2.2 lentelė. Biologinių atliekų sektoriaus tvarkymo privalumai ir trūkumai 51
2.3 lentelė. Iš viso apdorota BSA t/metus, 2016 m. 52
2.4 lentelė. Informacija apie biodžiovinimo tuneliuose stabilizuotą BSA kiekį 2016 m. 52
2.5 lentelė. BSA perdirbimo pajėgumai 2016 m. 53
2.6 lentelė. Komunalinių atliekų naudojimas energijos gamybai žiedinės ekonomikos veiksmų plane 54
3.1 lentelė. Modeliavime naudojamų technologijų aprašymai ir pagrindinės modeliavimo prielaidos 58
3.2 lentelė. Lietuvos energetinis balansas 2016 m. 61
3.3 lentelė. Funkcinio vieneto (FV) tvarkymo aplinkosauginis įvertinimas 62
3.4 lentelė. Funkcinio vieneto (FV) tvarkymo subjektyvūs reikšmingumai pagal aplinkos poveikio kategorijas 63
3.5 lentelė. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijai ir jų vertinimas COPRAS metodu 64
3.6 lentelė. Žiediškumo įvertinimo kategorijos 65
3.7 lentelė. Beatliekės visuomenės indeksas kiekvienam RATC 65
3.8 lentelė. Beatliekės visuomenės indeksas kiekvienam RATC pritaikius aplinkosauginiu požiūriu darniausią technologiją ir atskirą biologinių atliekų surinkimą 67
3.9 lentelė. Bioskaidžių atliekų infrastruktūra ir gyventojų tankumas kiekviename regione 69

SANTRUMPŲ AIŠKINAMASIS ŽODYNAS

AAA – aplinkos apsaugos agentūra;

AM – Aplinkos ministerija;

APP – aplinkos poveikio pėdsakas;

BCM – būvio ciklu paremtas mąstymas;

BCPV – būvio ciklo poveikio vertinimas;

BCS – būvio ciklo sąnaudos;

BCV – būvio ciklo vertinimas;

BSA – biologiškai skaidžios atliekos;

BVP – bendras vidaus produktas;

C:N – anglies ir azoto santykis;

CO_2 – anglies dioksidas;

DKA – duomenų kaupimo bazė.

ES – Europos Sąjunga;

FV – funkcinis vienetas;

H-BCV – hibridinis būvio ciklo vertinimas;

KNA – kaštų ir naudos analizė;

LR – Lietuva;

MBAĮ – mechaninio-biologinio apdorojimo įrenginiai;

MEB – medžiagų ir energijos balansas;

MKA – mišrios komunalinės atliekos;

NVO – nevyriausybinės organizacijos;

PAA – policikliniai aromatiniai angliavandeniliai;

PCB – polichlorintiejo bifenilai;

RATC – regioninis atliekų tvarkymo centras;

S-BCV – socialinis būvio ciklo vertinimas;

ŠESD – išmetamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos.

ĮVADAS

Problema. Tarptautinis, o tuo pačiu ir Lietuvos, atliekų tvarkymo sektorius susiduria su naujais iššūkiais sprendžiant politinius tvaraus atliekų tvarkymo klausimus, skatinant naujų atliekų apdorojimo technologijų plėtrą ir ruošiant didelio masto pertvarką atliekų sektoriuje. Kilęs susidomėjimas sąlygojamas ne tik atliekų sektoriaus keliamo pavojaus žmonių sveikatai ir aplinkai, bet ir dėl ekonominių priežasčių – žaliavų trūkumo. Atliekos nebėra traktuojamos kaip šalutinis gamybos produktas ar vartojimo grandinės paskutinysis elementas – jos tampa vertingais ištekliais.

Daugelyje šalių jau pasiektas lūžio taškas, nes atliekos priskiriamos prie pradinių žaliavų, o tai reiškia, kad netolimoje ateityje gamtinių išteklių valdymo pramonė turės remtis novatoriškais atliekų tvarkymo metodais. Šie metodai leis biologiškai skaidžių atliekų srautą panaudoti ne tik energetinėms reikmėms, bet ir grąžinant jose esančias biogenines medžiagas atgal į dirvožemio ciklą per įvairias žemės ūkio praktikas.

Ekonomikos perėjimas iš linijinės (klasikinės) į žiedinę atneša daug praktinių iššūkių verslui ir atliekų tvarkymo sektoriui. Nors šis perėjimas prasideda produktų projektavimo stadijoje, kurioje gaminys yra įvertinamas pasinaudojant būvio ciklo vertinimo (toliau – BCV) sistema, tačiau šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas Lietuvos biologinių atliekų perdirbimo, išteklių atgavimo ir energijos atgavimo procesams, analizuojant ir vertinant žiedinės ekonomikos principų diegimą biologinių atliekų tvarkymo sektoriuje.

Darbo aktualumas. Žiedinė ekonomika traktuojama kaip „panacėja“ taupant baigtinius planetos išteklius, nes dabartinė linijinė ekonomika, kuri remiasi „imk–gamink–išmesk“ principu, sukuria didelius atliekų kiekius, kurie yra sudeginami arba išvežami į sąvartynus, tokiu būdu prarandant vertingas medžiagas, kurios gali būti naudingos žmonėms ir aplinkai.

Biologinių atliekų ir kitų atliekų srautų perdirbimo procesai yra imlūs energijai ir paprastai sąlygoja žemesnės kokybės antrinių žaliavų atsiradimą rinkoje, todėl šis būdas nesprendžia planetos išteklių taupymo problemos. Žiedinėje ekonomikoje perdirbimo procesas pagrįstas naujomis pramoninėmis technologijomis, kurios būtų orientuotos į „projektavimo“ iš atliekų galimybes. Biologinių atliekų tvarkymo tikslas yra ne tik atgauti ir grąžinti maistines medžiagas, bet ir sutaupyti energijos.

Darbe išanalizuoti ir identifikuoti nauji biologinių atliekų srautai, tvarkymo būdai, įvertintas Lietuvos regionų žiediškumas ir palygintos regionų galimybės pradėti žiedinės ekonomikos procesus. Žiedinė ekonomika skatina technologinę pažangą, todėl galima numatyti, kad tikslingas biologinių atliekų tvarkymas paskatins naujų komercinių modelių susikūrimą ir apskritai sukurs naują rinką, išstumdamas senąją.

Tyrimų objektas. Darbo tyrimų objektas – biologinių atliekų srautas, susidarantis komunalinių atliekų sraute.

Darbo tikslas – išanalizuoti ir identifikuoti Lietuvoje susidarančius biologinių atliekų srautus, tvarkymo būdus ir įvertinti regionų galimybes optimizuojant biologinių atliekų tvarkymo procesus ir taikant BCV pagrįstą programinę įrangą bei daugiakriterius metodus įvertinti žiedinės ekonomikos procesų įgyvendinimo aplinkosauginį veiksmingumą Lietuvos regionuose.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti įvairių šalių mokslininkų atliktų tyrimų rezultatus žiedinės ekonomikos srityje ir suformuoti žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijus.
2. Praktiškai identifikuoti neįtrauktus į biologinių atliekų tvarkymo sistemą, tačiau lengvai atskiriamus susidarymo šaltinyje biologinių atliekų srautus.
3. Pritaikyti BCV pagrįstą programinę įrangą ir daugiakriterinius metodus identifikuojant geriausius aplinkos apsaugos požiūriu biologinių atliekų tvarkymo metodus.
4. Įvertinti 2016 m. Lietuvos regionų biologinių atliekų tvarkymo sistemų rezultatus ir pasiūlyti rodiklį regionų žiediškumui įvertinti, kuris leistų identifikuoti prastai atliekas tvarkančius regionus.

Darbo hipotezė. Panaudojant žiedinės ekonomikos principus biologinių atliekų sektoriaus potencialas išnaudojamas maisto medžiagoms atgauti, grąžinti ir energijai taupyti.

Praktinė darbo vertė (reikšmė). Pagrindinė praktinė šio darbo rezultatų siekimo kryptis – skatinti biologinių atliekų tvarkymo sektoriaus dalyvius priimti efektyvesnius sprendimus, kurie padėtų optimizuoti pirminių išteklių sutaupymą.

Darbo struktūra. Darbas susideda iš įvado, trijų skyrių, rezultatų apibendrinimo ir išvadų, santraukos (lietuvių ir anglų kalbomis), rekomendacijų, naudotos literatūros sąrašo bei priedų.

Darbo apimtis yra 78 puslapiai (be priedų), kuriuose pateikta: 16 formulių, 15 paveikslų, 17 lentelių. Darbe remtasi 75 literatūros šaltiniais.

1. BIOLOGIŠKAI SKAIDŽIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO IR TVARKYMO TENDENCIJOS IR PROBLEMOS SPRENDIMAS ŽIEDINĖS EKONOMIKOS KONTEKSTE

Augant ekonomikai ir vartojimui, didėjant gamybos mastams, pramonės ir kitos ūkinės veiklos tuo pačiu ir komunalinių organinių atliekų srautų susidarymas auga, o susidarančių atliekų kiekis didėja. Augant pramonei, ekonomikai ir vartojimo tempams yra svarbu išvengti organinių atliekų susidarymo. Didžioji dalis besivystančių šalių siekia pakeisti vyraujančias atliekų tvarkymo praktikas ir pritaikyti žiedinės ekonomikos koncepciją. Europoje žiedinės ekonomikos dokumentų rinkinys buvo pradėtas kurti 2014 m. liepą, tačiau Junkerio Komisija 2014 m. lapkričio mėn. nusprendė atšaukti teisėkūros procesą ir tik 2015 m. gruodžio mėn. po kritikos pakeistas žiedinės ekonomikos dokumentų rinkinys buvo pateiktas visuomenei.

Skyriuje aptarti biologiškai skaidžių atliekų susidarymo šaltiniai ir tvarkymas, sąvokos apimančios žiedinės ekonomikos koncepciją (*drivers to change*) ir biologinių atliekų srauto tvarkymui siūlomos modeliavimo programos.

1.1. Biologiškai skaidžios medžiagos žiedinėje ekonomikoje

Žiedinė ekonomika užtikrina darnų išteklių naudojimą ir nekintamą išteklių vertę, eliminuodama atliekas ir sukurdama teigiamą vertę tiek ekonomikai tiek aplinkai bendrąja prasme. Ši sistema sukuria alternatyvą prieš tai dominavusiai ekonomikai, kuri rėmėsi „imk–gamink–išmesk“ principu. Danijos vyriausybė apibūdina žiedinę ekonomiką taip:

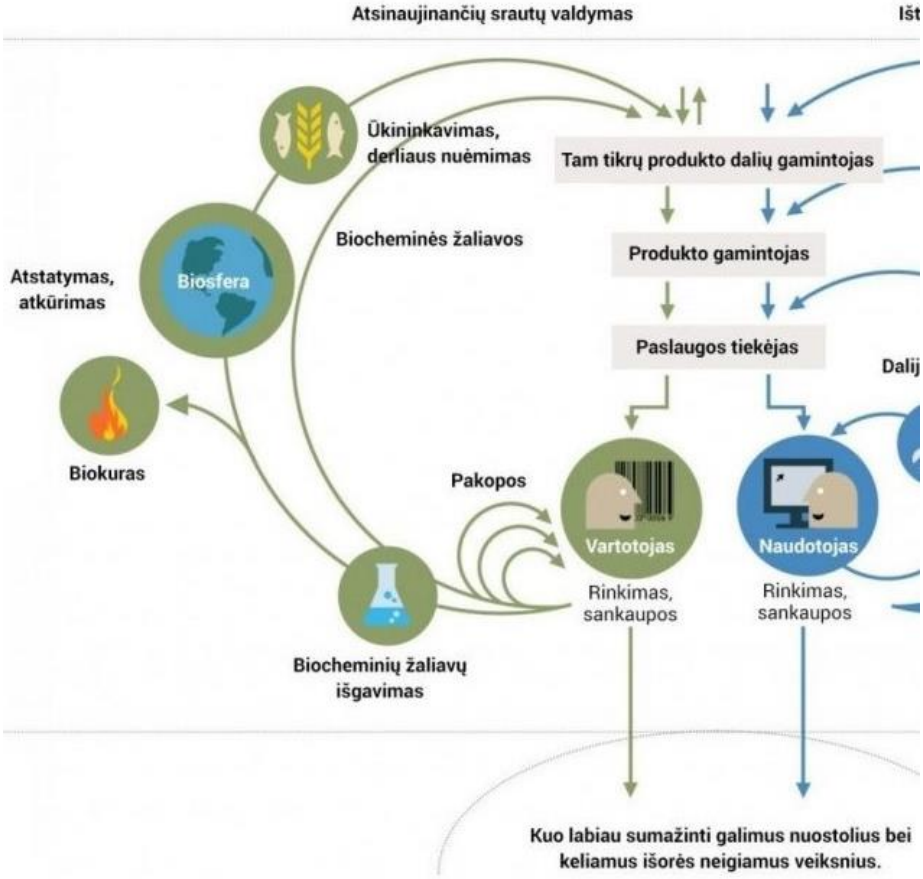
✓ judėjimas tolyn nuo šiuo metu esančios linijinės ekonomikos („imk–gamink–išmesk“) link tokios, kurioje medžiagos, kurios cirkuliuoja ekonomikoje yra pradedamos vertinti kitaip; proceso metu kuriama darnesnė ekonomika.

Žiedinės ekonomikos principų idėja nėra nauja ir ji susijusi su „iš lopšio į lopšį“ projektavimu ir pramonine ekologija, kurios, įkvėptos gamtoje vyraujančios tvarkos ir materijos bei energijos tvarumo dėsnių. Žiedinės ekonomikos sąvoka savyje talpina diferencijuotus procesus arba ciklus, kuriuose resursai yra pakartotinai naudojami ir stengiamasi išlaikyti jų vertę. Europos Komisija, kaip žiedinės ekonomikos politikos formuotuoja (Brennan *et al.* 2015), kalba apie:

✓ medžiagų ir produktų pakartotinį panaudojimą, taisymą, restauravimą ir perdirbimą. Kas buvo traktuojama kaip atlieka, gali būti panaudota kaip žaliava. Visos žaliavos ir resursai turi būti valdomi efektyviau per visą jų gyvavimo ciklą (1.1 pav.).

Pastaraisiais metais Ellen‘os MacArthur‘os rėmimo fondas ir pasaulinė konsultavimo agentūra *McKinsey JK* iškėlė žiedinės ekonomikos idėją. Tai padėjo padėti tvarios ekonomikos pagrindus ir suteikė gaires verslui (Parliament 2014: 43).

Žiedinė ekonomika – tai atsinaujinanti sistema, kurioje išteklių ir atliekų sąnaudos, emisijos ir energijos praradimai yra sumažinami juos teisingai valdant ir sujungiant į uždarą energijos ir medžiagų grandinę (Geissdoerfer *et al.* 2017).



1.1 pav. Žiedinės ekonomikos koncepcija biologiškai skaidžioms atliekoms (adaptuota iš Ellen'os MacArthur'os rėmimo fondo 2015: 19–32)

Žiedinė ekonomika Vokietijoje – tai šalis, kuri yra viena iš pirmaujančių atliekų perdirbimo sektoriuje. Sektoriuje atsispindi simbiozė tarp darnios ekonomikos kūrimo ir šalies politinės sistemos, kuri yra orientuota išsaugoti žaliavas (išteklius) ir pirminę energiją. Biologiškai skaidžios atliekos privalo būti stabilizuojamos, tam dažniausiai panaudojami mechaniniai-biologiniai arba terminiai tvarkymo būdai. Taip siekiama biologiškai skaidžias atliekas paversti inertiškomis ir apsaugoti sąvartynus nuo nuotėkių ir sąvartynų dujų emisijų.

Vokietijoje per metus vienam gyventojui tenkantis atskirai surinkų biologiškai skaidžių atliekų kiekis siekia 107 kg (European Commission 2015: 6). Vokietijoje iš atskirai surinktų biologiškai skaidžių atliekų gaminamas aukštos kokybės kompostas. Anaerobinis pūdymas su energijos išgavimu ir tolesnis fermentuotų atliekų panaudojimas energijai išgauti yra viena iš tinkamiausių strategijų, padedančių išsaugoti išteklius. Tikimasi, kad ateityje biologiškai skaidžios atliekos užims vis didesnę dalį energijos gaminimo sektoriuje. *Atsinaujinančių Energijos Šaltinių Akte* yra numatyta parama toms kompostavimo aikštelėms, kuriose naudojamos fermentuotos

atliekos. Proceso kombinacija suteikia galimybę gauti dvigubą naudą: biodujas ir kompostą (Nelles *et al.* 2016: 6–14).

Liublianai (Slovėnija) sėkmę biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo sektoriuje lėmė įdiegtas atskiras maisto ir virtuvės atliekų ir sodų atliekų rinkimas apvažiavimo būdu. 2014 m. rudenį „Snaga“ išplėtė savo iniciatyvą valstybiniu lygiu. Bendradarbiaujant su *Viešosios ekonomikos rūmais* buvo pradėta programa „Kartu geresnei visuomenei“, kurios pagrindinis tikslas bendradarbiaujant su visuomeninėmis organizacijomis pasiekti darnios ir atsakingesnės visuomenės ir kartu įgyvendinti šiuos tikslus (European Commission 2015: 6):

1. Sumažinti maisto atliekų kiekį.
2. Kritiškai apmąstyti savo pirkinius.
3. Gerti vandenį iš čiaupo, o ne supilstytą.
4. Pirkti daugiau naudotų prekių arba nuomotis jas.

Vienos iš geriausių viešinimo akcijų Europos Atliekų Prevencijos Savaitės metu buvo praktiškai pademonstruotas 15 Slovėnijos miestų sugeneruotos maisto atliekos, kurios vaizdiškai perteikė, kokį didelį maisto atliekų kiekį sugeneruoja vienas slovėnas (vidutiniškai). Vaizdinės instaliacijos buvo patalpintos lankomose vietose, tokiose kaip savivaldybės pastatų prieangiai ir pagrindiniai prekybos centrai. Akcija pritraukė visuomenės dėmesį ir sulaukė žiniasklaidos dėmesio – laikraščiuose, žiniose, radijo stotyse ir lankomiausiuose elektroniniuose dienraščiuose, buvo pranešama apie generuojamus maisto atliekų kiekius.

Šaliai svarbu teisingai pasirinkti vietinėms sąlygoms tinkamiausią biologinių atliekų tvarkymo strategiją, o tam padeda perėjimas prie žiedinės ekonomikos koncepcijos, kuri yra pajėgi atnešti ilgalaikę naudą ir skatinti konversiją link inovatyvesnės, labiau prisitaikančios ir produktyvesnės ekonomikos. Pagrindiniai ilgalaikės naudos bruožai apibūdinami kaip:

✓ žaliavų išsaugojimas ir reguliuojama produktų kainų politika: remiasi išsamiu ir teisingu produktų modeliavimu;

✓ padidėjęs inovacijų naudojimas ir naujų darbo vietų potencialas: žiedinė ekonomika traktuojama kaip „permąstymo procesas“ ir sukuria galimybes skatinti naujus kūrybiškus sprendimus ir aplinkai naudingas inovacijas. Žiedinės ekonomikos modelio struktūra ir darbo rinkos aktyvėjimas skatina atlikti daugiau tyrimų šia tema, bet nepaisant to, atlikti tyrimai demonstruoja šių procesų teigiamą adaptyvumą;

✓ padidėjęs gyvųjų sistemų atsparumas ir kylanti ekonomika: žemės degradacijos procesai (dykumėjimas) kasmet pasauliui kainuoja 40 milijardų dolerių, neįtraukiant į apskaitą tokių procesų kaip padidėjęs mineralinių trąšų naudojimas ir derlingojo dirvožemio sluoksnio praradimai, biologinės įvairovės praradimas ir unikalių kraštovaizdžių netekimas.

Didesnis dirvožemio produktyvumas, sumažėję atliekų kiekiai maisto medžiagų tiekimo grandinėje ir maisto medžiagų grąžinimas į dirvožemį skatina žemės ir dirvožemio vertės didėjimą. Žiedinė ekonomika skatina naudoti biologiškai skaidžias medžiagas jas perdirbant anaerobinio skaidymo ir kompostavimo metodais. Tokiu būdu maisto medžiagos yra grąžinamos į dirvožemį ir yra išvengiama papildomo mineralinių trąšų naudojimo. Tai traktuojama kaip regeneravimo procesas.

Žiedinę ekonomiką galima traktuoti kaip svarbų įrankį, organinių atliekų politikos formavime, kuris skatina ekonomikos augimą, kuria naujas darbo vietas ir sumažina neigiamą poveikį aplinkai. Keletos tyrimų metu buvo pademonstruota kaip žiedinės ekonomikos principų diegimas prisideda prie ekonomikos augimo, naujų darbo vietų kūrimo ir neigiamo poveikio aplinkai sumažinimo nacionaliniu, regioniniu ir tarpvalstybiniu lygiu. Naudojant įvairias metodikas ir atliekant įvairių sektorių ir įvairių geografinių apimčių tyrimus buvo įrodytas teigiamas žiedinės ekonomikos poveikis, toks kaip: kylantis bendrasis vidaus produktas (toliau – BVP) 0,8-7,0 %; 0,2-3,0 padidėjęs darbo vietų skaičius; 8,0-70,0 % sumažėjusios anglies dvideginio (CO_2) emisijos (Ellen MacArthur Foundation 2015: 19–32).

Žiedinės ekonomikos galimybės. Žiedinė ekonomika buvo pasiūlyta kaip tvari alternatyva mūsų dabartinei – linijinei ekonominei sistemai. Linijinės ekonomikos sistema iš esmės remiasi pasiekiamų materialinių išteklių naudojimu kuriant naujus produktus ir gaminius (Singh ir kt. 2016: 342–353). Mes galime pastatyti fabrikus, kurių produkcija ir subprodukcija papildytų ekosistemą biologiškai skaidžiomis medžiagomis ir sukurtų techninių medžiagų recirkuliaciją užkirsdami kelią šių medžiagų laidojimui sąvartynuose, deginimui ar tiesiog išmetimui. Esame pajėgūs sukurti sistemas, kurios gebėtų reguliuotis pačios. Vietoje to, kad betarpiškai naudotumėme gamtą ir jos išteklius savo reikmėms, mes turime stengtis tapti dalimi tos gamtos (McDonough *et al.* 2010). ES šalys narės ir jų pramonė per 15 metų turės persitvarkyti taip, kad produktų gamybai būtų naudojamos beveik tik perdirbtos žaliavos, o gaminiai projektuojami taip, kad būtų ilgaamžiai, nesunkiai pataisomi ir perdirbami. Žiedinė ekonomika siekia atskirai surinkti atliekų srautus ir juos tinkamai perdirbti ar kitaip panaudoti toje pačioje produktų tiekimo grandinėje. Tokia sistema padėtų pasiekti maksimalią naudą (materialinę, ekonominę ir aplinkosauginę) pasidalinant ir tinkamai valdant procesus tarp visų grandinės dalyvių. ES požiūris į atliekų tvarkymą pagrįstas atliekų hierarchija, rodančia, kam teikti pirmenybę formuojant atliekų politiką ir organizuojant atliekų tvarkymą. Tai prevencija, pakartotinis naudojimas (paruošimas pakartotinai naudoti), perdirbimas, kitas naudojimas ir – mažiausiai priimtinas sprendimas – šalinimas, įskaitant šalinimą sąvartynuose ir deginimą negaunant energijos.

Pagrindiniais valstybių narių rezultatų vertinimo rodikliais turėtų būti pažanga siekiant perdirbimo tikslų ir tinkamų komunalinių atliekų tvarkymo ir atliekų prevencijos planų priėmimas.

Šiame skirsnyje aptariamas komunalinių atliekų tvarkymas, kuriam ES teisės aktais nustatyti privalomi atliekų perdirbimo tikslai.

Didžiausius iššūkius kelia žiedinės ekonomikos adaptavimas, nes faktiškai medžiagų surinkimas yra paliktas atliekų tvarkymo sektoriui t. y. savivaldybėms ir vyriausybėms, bet nėra nukreiptas į perdirbimo centrus ar depozitinių sistemų diegimą t. y. į verslo sektorių. Žiedinė ekonomika tai ekonomikos strategija, kuri pateikia inovatyvius būdus, padėsančius „pereiti“ iš linijinės ekonominės sistemos į stabilesnę – ciklinę, kuri padės išsaugoti pradines žaliavas (Stahel 2013). Žiedinės ekonomikos koncepciją galima apibūdinti pasitelkiant industrinę ekologiją, biologinę mimikriją ir „iš lopšio į lopšį“ sampratas (McDonough *et al.* 2010; Pan *et al.* 2014: 409–421). Žiedinė ekonomika – tai sudėtingų procesų visuma (produktų aptarnavimas, perdirbimas ir sutvarkymas) skirta industrinei ekonomikai, kuri yra pajėgi atnaujinti produktus / prekes ir remiasi energijos naudojimu iš atsinaujinančių energijos šaltinių (Lewandowski 2016: 1–28).

Žiedinė ekonomika siekia atskirai surinkti visus atliekų srautus ir juos tinkamai perdirbti ar kitaip panaudoti toje pačioje produktų tiekimo grandinėje. Tokia sistema padėtų pasiekti maksimalią naudą (materialinę, ekonominę ir aplinkosauginę) pasidalinant ir tinkamai valdant procesus tarp visų grandinės dalyvių. Atliekų tvarkymo dalyvių vaidmenys cikle:

- ✓ vietinis lygmuo (įmanomas dalinis ar visiškas kai kurių atliekų perdirbimas): valstybė / savivaldybės modeliuoja ciklą, regioniniai atliekų tvarkymo centrai (toliau – RATC) yra pagrindinė žiedo stebulė (pagal perdirbimo pajėgumus), verslas jungiasi į žiedo grandis (surinkimas, rūšiavimas, vežimas, perdirbimas, antrinių žaliavų naudojimas) pagal savo galimybes;
- ✓ valstybinis lygmuo (įmanomas dalinis arba visiškas kai kurių atliekų perdirbimas): valstybė modeliuoja ciklą, pagal tvarkymo užduotis nustato vietos tvarkymo pajėgumų tipų (perdirbimas, energijos gavyba) skatinimo / eksporto, investicijų paramos prioritetus.

1.1.1. Biologinės mimikrijos samprata

Mūsų aplinkoje daug atsinaujinačių ir neatsinaujinačių išteklių, kurių pagrindinė funkcija – kelti ekonominę gerovę (Andersen *et al.* 2007: 251–277). Efektyviai veikianti ekonominė sistema yra pajėgi planuoti ir valdyti žaliavas aplinkai ir ekonomikai geriausiai prieinamu būdu. Perdirbimo ekonomikos pagrindą sudaro žaliavų naudojimas žiediniu principu. Padidėjęs išteklių naudojimas, traktuojant juos kaip žaliavas, jau dabar turi ir turės didelį poveikį perdirbimo technologijų pažangai ateityje. Šiuolaikinis pasaulis susiduria su dideliu iššūkiu – sukurti efektyviai funkcionuojantį ekologinį ciklą paremtą stiklo, metalo ir popieriaus pakartotiniu naudojimu arba pedirbimu. Žiedinė ekonomika kildinama iš pramoninės ekologijos, kuri veikia tokiu pačiu principu kaip ir natūralios ekosistemos – nekurdamos atliekų, o tik produktus (Preston 2012: 1–20). Natūralias ekosistemas apibūdina *biologinės mimikrijos* sąvoka (Benyus 1997). Kuri reiškia, kad:

✓ *gamta naudojama kaip modelis*. Tai nauja mokslo šaka, kuri analizuoja gyvosios gamtos modelius ir juos pamėgdžioja / arba gamtos modeliai, kurie panaudojami kaip pavyzdžiai naujų dizainų ir (ar) procesų kūrimui, pvz. saulės moduliai, kurie buvo įkvėpti lapijos;

✓ *gamta kaip įvertinimo priemonė*. Biologinė mimikrija naudoja ekologinius standartus tam, kad įvertintų inovacijų „teisingumą“. Po 3,8 milijardų metų žmonių aplinkoje esančios natūralios ekosistemos išmoko prisitaikyti ir išlikti;

✓ *gamta kaip konsultantas*. Biologinė mimikrija tai naujas gamtos stebėjimo ir vertinimo metodas. Apibrėžia naują laikotarpį, kuris remiasi tuo, ką mes galime išmokti iš gamtos, o ne tuo ką galime iš jos gauti / išgauti.

Galima teigti, kad žiedinė ekonomika remiasi biologinės mimikrijos sąvoka, Allenbis ir Cooperis dar 1994 m. sukūrė ekologinės sukcesijos srauto diagramas, kuriose buvo išskirti 3 skirtingi ekologinės sukcesijos tipai:

✓ *I-asis tipas*, tai paprasčiausias įsisavinimo būdas, kai aplinkoje yra neriboti kiekiai gamtinių išteklių, kurie yra lengvai įsisavinami. Vis dėlto didėjant vartotojų skaičiui yra pasiekiama perkrovimo riba.

✓ *II-asis tipas* apibūdina rūšis, kurios sugeba kaupti reikalingas medžiagas ir energiją ir jas panaudoti tik tada, kai jos yra reikalingos.

✓ *III-asis tipas*. Tai rūšys, kurias biologai linkę vadinti K-atrinktomis rūšimis. Joms būdingos stabilios populiacijos ir sąlyginai menkas palikuonių skaičius. Individai dažnai būna didesni ir pasižymi ilga gyvenimo trukme. Gyvena tobuloje sinergijoje su rūšimis esančiomis aplink juos ir skiria savo energiją tarprūšinių ryšių stiprinimui.

I-ojo tipo rūšys yra kolonizavusios mūsų planetą ir pasak Cooperio jos nenustos daugintis tol, kol planetoje bus „ką paimti“, kitaip tariant, kol neišseks planetos ištekliai. Didžiausia problema yra tame, kad *I-ojo tipo* rūšys yra atitrūkusios nuo realybės suvokimo ir vietoje to, kad bandytų kurti uždarą medžiagų / energijos naudojimo ciklą, jos ieško naujos planetos į kurią galėtų persikelti.

1.1 lentelė. Ekologinė sukcesija (Benyus 1997)

Ekosistemos atributas	Plėtros etapas (I-asis tipas)	Brandos etapas (III-asis tipas)
Maisto grandinė	Linijinė	Tinklinė
Rūšių įvairovė	Žema	Aukšta
Kūno dydis	Mažas	Didelis
Būvio ciklai	Trumpi, paprasti	Ilgi, sudėtingi
Dauginimasis	Spartus	Kontroliuojamas
Gamyba (kūno masės ir prieaugio)	Kiekybė	Kokybė
Tarprūšinė simbiozė	Nėra	Yra

Maisto medžiagų išsaugojimas (cikliškumas)	Prastas	Geras
Struktūrų tipas	Paprastas	Sudėtingas
Biocheminės įvairovės lygis	Žemas	Aukštas
Nišų specifika	Plati	Siaura
Mineralinių medžiagų ciklai	Atviri	Uždari
Maisto medžiagų keitimasis tarp organizmų ir aplinkos	Greitas	Lėtas
Negyvosios organinės materijos reikšmė maisto medžiagų regeneracijoje	Nesvarbi	Svarbi
Neorganinės medžiagos	Ekstrabiotinės	Intrabiotinės
Bendras organinės medžiagos kiekis (maisto medžiagos virtusios biomasė)	Didelis	Mažas
Sistemos stabilumas	Prastas	Geras
Sistemos entropija	Didelė	Žema
Grįžtamasis ryšis	Žemas	Aukšas

Ekologinės sukcesijos įvertinimas pateiktas 1.1 lentelėje, kurioje aiškiai apibrėžti svarbiausieji ekosistemos atributai ir jų veiksnumas plėtros ir brandos etapuose. Antrasis stulpelis rodo, kokioje būklėje mes esame dabar, o trečiasis – kokioje galėtume būti (Allenby *et al.* 1994).

Benyus (1997) siūlo pasinaudoti turimais duomenimis apie ekologinę sukcesiją ir pritaikyti šiuos organizmų, kurie jau yra pasiekę brandos stadiją, naudojamus metodus:

1. Naudoti atliekas kaip žaliavas.
2. Diversifikuoti ir bendradarbiauti tam, kad gyvenamoji aplinka būtų pilnai panaudojama.
3. Kaupti ir efektyviai naudoti energiją.
4. Optimizuoti procesus, o ne juos maksimizuoti.
5. Taupiai naudoti žaliavas.
6. Neteršti savo aplinkos.
7. Nešvaistyti išteklių.
8. Palaikyti balansą biosferoje.
9. Informavimas – stabilaus veikimo užtikrinimui.
10. Vietinių žaliavų naudojimas.

1.1.2. Beatliekė visuomenė ir jos vaidmuo žiedinėje ekonomikoje

Vienam gyventojui Europoje tenka didžiausias importuojamų grynųjų išteklių kiekis pasaulyje, o Europos ekonomika yra priklausoma nuo importuojamų žaliavų ir energijos. Todėl susiduriame su nenuspėjamais žaliavų ir mineralų tiekimo pokyčiais. Saugus šių išteklių prieinamumas tapo strategine ES ekonomine problema. Septintajame aplinkosaugos veiksmų plane yra nurodyta, kad privalome gyventi atsižvelgdami į mūsų planetos galimybes, pateikiama 2050 m. vizija ir konkretus veiksmų planas iki 2020 m. Šiais dokumentais ES įsipareigojo efektyviai valdyti išteklius ir siekti ekonominio konkurencingumo. Žiedinės ekonomikos principais remiasi vizija, kuria siekiama atliekas paversti ištekliais ir sukurti tvarią žaliavų ekonomiką.

Atliekų sudėtis – tai pagrindinis veiksnys įtakojantis organinių atliekų tvarkymo emisijas, kadangi emisijos priklauso nuo atliekose esančios organinės anglies kiekio (Zorpas *et al.* 2013: 1047–1056). Adelaidėje veikia *bio-krepšelių* sistema skirta žaliosioms namų ūkiuose susidarančios atliekoms surinkti, o Stokholme biologiškai skaidžių atliekų (toliau – BSA) srautas tvarkomas jį kompostuojant arba anaerobiškai apdirbant. 2004 m. Adelaidėje atsirado *Beatliekės visuomenės įstatymas*, kuriuo buvo uždrausta šalinti biologiškai skaidžias atliekas sąvartyne. Netolimoje ateityje plėtosime tvarias technologijas įkvėptas gamtos, kuriose atliekos yra traktuojamos kaip ištekliai ir organinės atliekos yra naudojamos kaip trąša; naujiems pastatams statyti bus naudojamos perdirbtos medžiagos ir maksimaliai išnaudojamas atsinaujinančios energijos potencialas, išmaniai įsisavinsime vėjo, geoterminę, saulės ir biomasės energijas. Energijos decentralizavimas suteiks galimybę kiekvienam vartotojui tapti gamintoju. Atliekų tvarkymo sistemos progresas įtakojamas vykdomos politikos, nuostatų ir rinkliavų dydžiais. Stokholme dar 2005 m. buvo uždrausta šalinti biologiškai skaidžias atliekas sąvartyne (Zaman *et al.* 2011: 73–93).

Atliekų tvarkymas yra viena iš sudėtingiausių viešojo sektoriaus teikiamų paslaugų, todėl būtina ieškoti efektyviausių atliekų tvarkymo sprendimų. Beatliekė vadybos sistema tai – holistinė atliekų tvarkymo koncepcija, kurioje atliekos yra traktuojamos žaliavomis ir kaip tarpinis produktas vartojimo grandinėje (Zaman *et al.* 2011: 73–93).

1.2. Biologinių atliekų susidarymo šaltiniai

Visos atliekos Europos Sąjungoje turi būti tvarkomos taip, kad apsaugotų aplinką ir žmonių sveikatą, užkertant kelią arba sumažinant gamybos ir atliekų tvarkymo neigiamą poveikį išteklių naudojimui ir optimizuojant išteklių naudojimo efektyvumą. Vykdant teisingą atliekų tvarkymo politiką turi būti laikomasi atliekų tvarkymo hierarchijos principų, kurioje aukščiausia pirmenybė teikiama atliekų prevencijai, paruošimui pakartotiniam naudojimui, perdirbimui, kitokiam panaudojimui (pvz. energijos atgavimui) ir galiausiai šalinimui.

Biologinių atliekų tvarkymas yra vienas iš svarbiausių atliekų tvarkymo uždavinių, nes organinių medžiagų skilimo produktai labai neigiamai veikia aplinką, didina šilumos efektą sukeliančių dujų kiekius. Biologiškai skaidžios atliekos gali būti tvarkomos skirtingais būdais t. y. biodegraduojančias atliekas panaudojant pašarams (reikalinga ypatinga srauto kontrolė); gaminat biodujas ar biodegalus; panaudojant biodžiovinimą, o vėliau ir energijos atgavimą iš gautos įkrovos; kompostuojant; gaminant įvairias chemines medžiagas; tam tikri srautai gali būti tiesiogiai perdirbami į naujus produktus.

Svarbu tiksliai žinoti, ką laikome biologinėmis atliekomis. Dėl Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymo nr. VIII-787 pakeitimo įstatymo projekto nr. XIIP-4355 2017 m. kovo 15 d. Nr. 195 nutarime ir Lietuvos atliekų tvarkymo taisyklėse (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2017 m. spalio 9 d. įsakymo Nr. D1-831 redakcija) biologinės atliekos – biologiškai skaidžios sodų ir parkų atliekos (šakos, lapai, žolė), namų ūkių, restoranų, viešojo maitinimo, mažmeninės prekybos įstaigų maisto ir virtuvės atliekos ir panašios atliekos iš maisto perdirbimo įmonių. Joms nepriskiriamos miškų ar žemės ūkio atliekos, nuotekų dumblas, natūralių audinių, popieriaus ir kartono, medienos atliekos.

1.2.1. Atliekų susidarymo ir tvarkymo proceso dalyviai

Atliekų tvarkymo sektoriaus proceso dalyvių įtaką sistemai kinta visos tvarkymo grandinės metu. Atliekos generuojamos įvairiuose sektoriuose, dalyvius galima suskirstyti į šias kategorijas:

- ✓ gyventojai;
- ✓ komercinės atliekos;
- ✓ viešosios atliekos;
- ✓ verslas (parduotuvės, kavinės / restoranai, turgūs).

Skiriasi dalyvių gebėjimas atskirti biologines atliekas ir jas tinkamai išrūšiuoti. Taipogi skiriasi jų mokami mokesčiai už biologinių atliekų surinkimą ir transportavimą, todėl skiriasi ir dalyvių įtaka srauto surinkimo procesui. Bandymai pakeisti biologinių atliekų tvarkymo sistemą gali pakeisti dalyvių požiūrį į srauto tvarkymą, kadangi didžioji dalis dalyvių netraktuoja savęs kaip atliekų tvarkymo sistemos dalies ir įsivaizduoja, kad atliekos ir jų tvarkymas yra valdžios (vyriausybės, savivaldybės) problema, kurią jos ir privalo išspręsti (Un-habitat 2010).

Savivaldybės užtikrina ir įdiegia racionalią, patikimą, ekonomiškai pagrįstą ir pažangią atliekų tvarkymo sistemą, kuri užtikrintų saugų atliekų tvarkymą, nekeltų pavojaus žmonių sveikatai, tenkintų visuomenės poreikius ir nepažeistų gamtą tausojančio darnaus ekonomikos plėtros principo. Aplinkos apsaugos agentūra (toliau – AAA) užtikrina ir pateikia atliekų apskaitos duomenis gautus iš RATC.

Vyriausybė yra pagrindinė biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo politikos formuotuoja nacionaliniu ir regioniniu lygmeniu atsakinga už procesų įgyvendinimą ir nacionalinių atliekų tvarkymo planų sudarytoja. Pagrindinės institucijos formuojančios atliekų tvarkymo politiką:

- ✓ *Lietuvos Respublikos Seimas* (Aplinkos apsaugos komitetas) kuria bendrąją valstybės aplinkos politiką;
- ✓ *Lietuvos Respublikos Vyriausybė* įgyvendina aplinkos apsaugos politiką aplinkos apsaugos ir gamtos išteklių naudojimo srityje;
- ✓ *Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija* formuoja aplinkos politiką ir koordinuoja jos įgyvendinimą, kontroliuoja ir reguliuoja aplinkai daromą poveikį. Kitos ministerijos prisideda prie to netiesiogiai (Žemės ūkio, Susisiekimo, Energetikos ir pan.);
- ✓ *Vietos savivaldos institucijos* – organizuoja aplinkos apsaugos įstatymų, norminių aktų aplinkos klausimais įgyvendinimą.

Nevyriausybinių organizacijų (toliau – NVO) dalyvavimas yra ypač svarbus siekiant užtikrinti darniai veikiančią atliekų tvarkymo sistemą. Tokiu būdu į sprendimo priėmimo procesus yra įtraukiama ir visuomenė. Aktyvus, sąmoningas visuomenės dalyvavimas sprendimų priėmime leidžia įgyvendinti šiuos visuomenės dalyvavimo sprendimų priėmime tikslus:

- ✓ informacijos pateikimas;
- ✓ nuomonės ir argumentų pateikimas;
- ✓ įtaka veiklos planavimo ir projektavimo procesams;
- ✓ visuomenės pasitikėjimo sustiprinimas;
- ✓ sprendimų priėmimo objektyvumas;
- ✓ konfliktų sumažinimas.

Privatus sektorius užima didelę dalį biologinių atliekų tvarkymo procese. Įmonės atsakingos už atliekų surinkimą iš juridinių asmenų ir komercinio biologinių atliekų srauto tvarkymą. Ekonomikos subjektai, tokie kaip verslo įmonės ir vartotojai, yra labai svarbi Žiedinės ekonomikos varomoji jėga.

Sąlygas pereiti prie Žiedinės ekonomikos sudaro vietos, regioninės ir nacionalinės valdžios institucijos, tačiau ES tenka labai svarbus uždavinys remti šį perėjimą. Jos tikslas – užtikrinti, kad būtų nustatyta Žiedinei ekonomikai bendrojoje rinkoje kurti tinkama reglamentavimo sistema ir ilgalaikiais atliekų tvarkymo tikslais bei konkrečiais plataus masto ir užmojo veiksmų planais, kurie turi būti įgyvendinti iki 2020 m., rodyti aiškią judėjimo kryptį ekonominės veiklos vykdytojams ir plačiajai visuomenei. ES lygmens veiksmais bus skatinamos investicijos ir kuriamos vienodos sąlygos, šalinamos ES teisės aktais arba netinkamu jų vykdymo užtikrinimu sukuriamos kliūtys, kuriama vientisesnė bendroji rinka ir užtikrinamos palankios sąlygos inovacijoms bei visų suinteresuotųjų subjektų dalyvavimui.

Žaliosios atliekos

Žaliųjų atliekų t. y. sodų, parkų ir želdynų tvarkymo biologiškai skaidžios atliekos (šakos, lapai, žolė, velėna, vaisių krituoliai ir kt.). Jas griežtai draudžiama mesti į mišrių komunalinių atliekų konteinerį ir šalinti sąvartynuose. Kadangi šioms atliekoms tvarkyti skirti žaliųjų atliekų surinkimo konteineriai ir kompostavimo dėžės t. y. sukurta tvarkymo infrastruktūra, o šiame darbe analizuojami atskiri srautų surinkimai, tai šis srautas tampa ypatingai vertingu. Tai yra ne maistinės biologiškai skaidžios atliekos, kuriuose gausu lignino ir celiuliozės (Thakur *et al.* 2015: 834–847). Pastaraisiais metais kilo susidomėjimas gaminti biopolimerines medžiagas panaudojant žaliąsias atliekas (Rydzkowski 2011: 135; Chen *et al.* 2013: 112–119), todėl šis srautas ateityje turi būti tvarkomas atskirai, nes turėtų tapti puikiu pakaitalu tradicinėms medžiagoms (Thakur *et al.* 2015: 834–847). Tačiau šio darbo kontekste žaliosios atliekos randamos komunalinių atliekų sraute yra priskiriamos biologinių atliekų tvarkymo analizei.

Namų ūkiai

Aptariant maisto ir virtuvės atliekų srauto surinkimą išskiriami keli prioritetiniai atliekų tvarkymo sistemos principai. Vienas jų tai – principas „teršėjas moka“. Lietuvoje ir Europos Sąjungoje visi atliekų gamintojai privalo padengti visus atliekų surinkimo ir saugaus šalinimo kaštus, įskaitant atliekų šalinimo įrenginių uždarymo ir priežiūros po uždarymo kaštus. Kitas ypatingai svarbus principas – artumo. Atliekos turi būti apdorojamos ir / arba šalinamos kiek galima arčiau atliekų susidarymo vietos, atsižvelgiant į aplinkosauginius, ekonominius ir techninius aspektus. Todėl tam tikrų atliekų rūšių (pvz., žaliųjų atliekų iš parkų ir sodų) klausimą siūloma spręsti vietiniu lygiu, o daugumos kitų atliekų, įskaitant komunalines atliekas, tvarkymą siūloma organizuoti regioniniu lygiu (Vilniaus regiono plėtros taryba 2015). Jei tam tikrų atliekų rūšių, pvz., pavojingųjų atliekų, tvarkymo regioniniu lygiu organizuoti negalima, sprendimai turi būti priimami valstybiniu ar net tarptautiniu lygiu.

Virtuvės ir maisto atliekas daugiabučių gyventojai dabar išmeta į mišrių komunalinių atliekų konteinerius, iš kur ši vertinga žaliava patenka į sąvartynus. Žaliąsias, virtuvės ir maisto atliekas dabar skatinami atskirti ir perdirbti tik individualių namų gyventojai. Patirtis rodo, kad vertingiausias kompostas gaminamas būtent iš atskirai surinktų, išrūšiuotų maisto ir žaliųjų atliekų (LR Aplinkos ministerijos APVA 2014). Savivaldybės teisės aktais įpareigotos per ateinančius metus tik pradėti organizuoti maisto atliekų surinkimą iš daugiabučių gyventojų. Visuotinis jų rūšiavimas ir perdirbimas – tolesnės ateities perspektyva.

Gyventojai skatinami individualiai rūšiuoti maisto ir virtuvės atliekas ir jas kompostuoti. Regioniniai atliekų tvarkymo centrai daliai gyvenamųjų valdų išdalijo specialias kompostavimo dėžes. Jose pagamintą kompostą gyventojai dažniausiai naudoja savo reikmėms, tačiau sutaupo, nes lieka mažiau kitų atliekų, už kurių išvežimą tenka mokėti nustatyto dydžio rinkliavą (Jockus 2014).

Iki 2019 m. sausio 1 d. savivaldybės privalo užtikrinti namų ūkiuose susidarančių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą susidarymo vietoje ir įdiegti rūšiuojamąjį surinkimą miestuose, kuriuose yra daugiau nei 50 000 gyventojų, ir gali užtikrinti namų ūkiuose susidarančių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą vietoje ir įdiegti rūšiuojamąjį surinkimą kitose teritorijose, kuriose vykdyti maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą ekonomiškai naudinga ar techniškai įmanoma. Savivaldybės privalo aprūpinti gyventojus uždaromis, nerūdijančiomis, vandens nesugeriančiomis ir nepraleidžiančiomis, atliekų ir klimato poveikiui atspariomis talpomis, kurios užtikrintų apsaugą nuo vėjo, graužikų, paukščių, vabzdžių ir pan. Iš tokių talpų neturi tekėti skysčiai, sklisti kvapai, dulkės ir pan. Teritorijose, kur organizuotas namų ūkių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimas, gyventojai privalo atskirai surinkti namų ūkiuose susidarančias maisto ir virtuvės atliekas ir atiduoti jas tvarkyti savivaldybės nustatyta tvarka. Tai, kas šiandien atskiriama iš mišraus komunalinių atliekų srauto, neatitinka jokių kompostui keliamų reikalavimų, todėl gali būti naudojama išgaunant dujas bei gaminant energiją. Atskirai surinktos virtuvės atliekos būtų kompostuojamos, arba iš jų būtų gaminama energija, išgaunamos dujos.

Maitinimo paslaugos

Vieni didžiausių maisto atliekų susidarymo šaltinių yra maitinimo ir apgyvendinimo įstaigos. Jos skirstomos į pelno siekiančias ir ne pelno siekiančias. Pastarosios yra valgyklos, bufetai mokyklose ir ligoninėse. Pelno siekiančios – viešbučiai, restoranai, kavinės. Vien Danijoje trečdalis sunaudoto maisto buvo pateikta maitinimo ir apgyvendinimo įstaigose. O Jungtinėje Karalystėje viešojo maitinimo sektoriuje kasmet susidaro 920 000 tonų maisto atliekų, iš kurių 75 % gali būti išvengiamų. Biologiškai skaidžios atliekos viešojo maitinimo įstaigose susidaro maisto paruošimo, maisto pateikimo etapu, taip pat atliekomis tampa ir nesuvalgytas maistas (Pirani *et al.* 2016: 129–145).

Remiantis tyrimu, atliktu Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacijos, apie trečdalis paruošto maisto visame pasaulyje tampa atliekomis ir tai sudaro 1,3 milijardo maisto atliekų kasmet (Stenmarck *et al.* 2016). Maistas, mažas pajamas gaunančiose šalyse, tampa atliekomis pridėtinės vertės grandinės pradžioje, o dideles pajamas gaunančios šalys pagrindinius maisto praradimus patiria pridėtines vertės grandinės pabaigoje. Europoje vienam žmogui per metus yra iššvaistoma 280–300 kg maisto visose pridėtinės vertės grandinės dalyse. Vokietijoje 2015 m. įvertinti maisto praradimai visoje pridėtinės vertės grandinėje, išskyrus žemės ūkio sektorių. Buvo nustatyta, kad maisto praradimai maitinimo sektoriuje yra antri pagal jų dydį – 17 % nuo bendrų maisto praradimų. Panašus tyrimas buvo atliktas 2013 m. Šveicarijoje, kur rezultatai parodė, kad maitinimo sektoriuje susidaro 18 % viso atliekų kiekio ir tai yra trečias didžiausių atliekų susidarymo šaltinių, po maisto pramonės ir atliekų susidarymo namų ūkiuose.

1.2.2. Korporacijų biurų virtuvės atliekų sudėties natūrinis tyrimas

2018 m. kovo–balandžio mėn. buvo vykdomas atliekų rūšiavimo projektas „Žiedinis ofisas“ (užsakovas UAB „Nasdaq Vilnius Services“). Projektas pradėtas likus 9 mėnesiams prieš atskirą maisto ir virtuvės atliekų surinkimo įdiegimą gyventojams Vilniuje. Projekto eigoje buvo tiriama korporacijos darbuotojų generuojamų atliekų morfologinė sudėtis virtuvėse įrengtose K29 pastate ir vertinamos maisto ir virtuvės atliekų atskiro surinkimo galimybės. Pagrindinis projekto tikslas – skatinti darnų vartojimą ir grąžinti visas naudingas medžiagas į ciklą.

1.2 pav. UAB „Nasdaq Vilnius Services“ mišrios komunalinės atliekos (autorės nuotraukos)

Tyrimo metodika. Atskiras maisto ir virtuvės atliekų surinkimas iš korporacijų ofisų virtuvių yra nevykdomas ir nenumatytas Atliekų tvarkymo taisyklėse. Šį srautą yra numatyta surinkti iš namų ūkių, restoranų, viešojo maitinimo, mažmeninės prekybos įstaigų ir maisto perdirbimo įmonių. UAB „Nasdaq Vilnius Services“ yra įsikūrę K29 pastate ir turi 2 virtuves, kuriose apsilanko 266 darbuotojai. Atliekos virtuvėje buvo rūšiuojamos į popieriaus, plastiko ir mišrių komunalinių atliekų srautus. Darbo dienomis, po 16 val. (iš viso – 20 dienų) buvo išverčiama pasirinktoje (visada ta pati) virtuvėje esanti mišrių komunalinių atliekų šiukšliadėžė (tūris – 250 L) ir atskirai sveriamos šios atliekų rūšys:

- ✓ šlapios augalinės kilmės organinės atliekos;
- ✓ šlapios gyvūninės kilmės organinės atliekos;
- ✓ plastikinė, metalinė ir kompozicinė pakuotė (sausos atliekos);
- ✓ stiklas (sausos atliekos);
- ✓ popierius / kartonas (sausos atliekos).

Atliekos buvo surūšiuojamos rankomis. Išrūšiuotos atliekos buvo pasveriamos rankinėmis svarstyklėmis (svarstyklės – *Beurer Living LS06*). Sudėjus visų atliekų rūšių mases m_i gauta suma yra laikoma bendra atliekų ėminio mase. Atliekų rūšies procentinė dalis nustatoma taip:

$$p = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \cdot 100\ \%. \qquad (1.1)$$

Nustatyta bendra procentinė sudėtis yra pateikta 1.2 lentelėje, o vizualus atliekų vaizdas pateiktas 1.2 pav.

1.2 lentelė. 2018 m. kovo–balandžio mėn. UAB „Nasdaq Vilnius Services“ mišrių komunalinių atliekų morfologinė sudėtis, % (sudaryta autorės)

Rodikliai	1 savaitė	2 savaitė	3 savaitė	4 savaitė
Šiukšliadėžės tūris, m^3	0,25	0,25	0,25	0,25
Viso atliekų	100	100	100	100
Viso tinkamų perdirbimui	98,0	96,0	97,0	97,0
Viso tinkamų organinės kilmės atliekų perdirbimui	95,0	96,0	97,0	95,0
Viso netinkamų perdirbimui	2,0	4,0	3,0	3,0
Šlapios augalinės kilmės organinės atliekos	70,0	72,0	68,0	71,0
Šlapios gyvūninės kilmės organinės atliekos	15,0	18,0	20,0	18,0
Plastikinė, metalinė ir kompozicinė pakuotė	3,0	0,0	0,0	2,0
Stiklo pakuotės	0,0	0,0	0,0	0,0
Popieriaus / kartono pakuotės	10,0	6,0	9,0	6,0

Rezultatai. Biurui parengta rūšiavimo programa ir remiantis gautais duomenimis virtuvėje buvo paliktos 2 šiukšliadėžės. Viena iš jų skirta organinėms augalinės kilmės atliekoms, o kita sausoms plastikinėms, metalinėms ir kompozicinėms pakuotėms. Gyvūninės kilmės organinės atliekos ir neperdirbamos atliekos išmetamos tik tam tikru metu, nes šiukšliadėžė bendroms atliekoms atsirada tik 12:00-14:00 val. visu kitu laiku virtuvėje yra tik 2 šiukšliadėžės. Pastebėta, kad organinių atliekų kiekis yra didelis ir atliekos yra neužkrėstos, todėl siūloma keisti Valstybinį atliekų tvarkymo planą ir Atliekų tvarkymo taisykles įtraukiant ofisų pastatuose esančias virtuves į rūšiuojamąjį maisto ir virtuvės atliekų srauto surinkimą.

Tokį didelį organinės kilmės atliekų kiekį mišrių komunalinių atliekų šiukšliadėžėje nulėmė:

- ✓ virtuvėje esančios šiukšliadėžės skirtos pakuočių ir popieriaus atliekoms;
- ✓ nemokamai darbuotojams tiekiami vaisiai;
- ✓ 100 % biodegraduojanti vienkartinė pakuotė karštiems gėrimams;
- ✓ įmonės politika ir švietimas atliekų prevencijos klausimais.

Netinkamos perdirbimui atliekos, tai tokios atliekos, kurių neįmanoma perdirbti Lietuvoje – šiuo atveju nr. 6 pažymėtos ir maisto likučiais užkrėstos pakuotės.

Nuo 2018 m. gegužės 1 d. augalinės kilmės organinių atliekų srautas K29 pradėtas tvarkyti atskirai.

1.3. Žiedinė ekonomika ir biologinių atliekų tvarkymas

Biologinių atliekų tvarkymo sektorius remiantis Direktyvos 2008/98/EB dėl atliekų 22 straipsnis pakeitimu, kuris skamba taip: valstybės narės turi užtikrinti biologinių atliekų atskirą surinkimą ten, kur tai techniškai, aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu įmanoma, užtikrinant komposto, raugo ir kitų perdirbamų produktų ar medžiagų kokybės standartus; privalo siekti žiedinės ekonomikos tikslų. Prireikus valstybės narės imasi priemonių, kad paskatintų:

- ✓ biologines atliekas perdirbti, įskaitant jų kompostavimą, ir fermentuoti;
- ✓ biologines atliekas apdoroti taip, kad būtų išlaikyta aukšto lygio aplinkos apsauga;
- ✓ naudoti aplinkosaugos atžvilgiu saugias, iš biologinių atliekų pagamintas medžiagas.

Ten pat nurodyta:

- ✓ iki 2025 m. surinktų biologinių atliekų perdirbimas turi padidėti iki 50 % pagal svorį;
- ✓ iki 2030 m., surinktų biologinių atliekų perdirbimas turi padidėti iki 65 % pagal svorį.

Biologinių atliekų srauto tvarkymas priklauso nuo to ar srautas:

- ✓ atskiriamas, atliekų susidarymo vietoje. Srautas išskiriamas individualiai ir tiesiogiai panaudojamas perdirbimui;
- ✓ atskiriamas, iš surinkto bendro atliekų srauto. Srautas atskiriamas mechaninio apdorojimo (toliau – MA) įrenginiuose ir vėliau – stabilizuojamas.

Sprendimas, kaip tvarkyti biologinių atliekų srautą, yra svarbus veiksnys savivaldybėms ir atliekų tvarkymo sistemos dalyviams, kadangi tiesiogiai įtakoja atliekų tvarkymo kaštus. Vokietijoje, praktiškai visose savivaldybėse, biologinių atliekų srautas yra atskiriamas jų susidarymo vietoje (Bilitewski *et al.* 2013), o Lietuvoje šis srautas didžiąja dalimi yra išskiriamas iš bendro atliekų srauto. Pasirinkimas suformuotas vyraujančių ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių aspektų. Bendras atliekų surinkimas ir vėlesnis mechaninis frakcijų atskyrimas yra glaudžiai susijęs su mažesniais kaštais ir nekokybiška, atliekas reglamentuojančia, teisine baze. Ieškant mokslinių įrodymų – pateikiamos dviprasmiškos išvados.

1.3.1. Medžiagų, susidarančių po atliekų sutvarkymo, kokybė ir kaina

Cimpanas *et al.* (2015) pateikia apibendrintą informaciją apie dabartinę, po mechaninio apdorojimo atgautų, medžiagų būklę. Šie Jungtinėje Karalystėje ir JAV atlikti empiriniai, masės balanso duomenų analizės, tyrimai rodo, kad šiuo metu atliekų mechaniniai rūšiavimo įrenginiai generuoja mažus galutinių atliekų kiekius, o MA atgaunama apie 95 % perdirbamų medžiagų. Pabrėžiama, kad perdirbamų medžiagų kokybė priklauso nuo atliekų, patenkančių į MA įrenginius, užkrėtimo lygio. Galima daryti išvadą, kad biologinių atliekų srauto atskyrimas susidarymo vietoje, turi teigiamą poveikį po MA atgaunamų perdirbamų medžiagų kokybei.

Tam tikroms medžiagų klasėms, pavyzdžiui, tekstilei, popieriui ar kartonui – būtinas atskyrimas susidarymo vietoje. Popierius negali turėti kontakto su šlapiąja atliekų frakcija. Miranda

et al. (2013) ištyrė, kad 99 % atskirai surinkto popieriaus tinka pakartotiniam naudojimui arba perdirbimui, o popieriaus frakcija, kuri yra sumaišyta su kitomis atliekomis stipriai įtakoja atgaunamų medžiagų kokybę ir tinkamo pakartotiniam naudojimui arba perdirbimui popieriaus kiekis krenta iki 20 %.

Šlapiosios atliekos bendrame atliekų sraute dažniausiai būna priskiriamos biologinių atliekų frakcijai, kurios 2019 m. Lietuvos didžiuosiuose miestuose pradedamos rinkti atskirai. Būtina pažymėti, kad biologinių atliekų grąžinimas į maisto medžiagų grandinę yra susijęs su žiedinės ekonomikos procesų įgyvendinimu. Svarbiausia šioje sistemoje – atskirai surenkamų biologinių atliekų grynumas, nes jis užtikrina našų perdirbimo technologijų panaudojimą.

Analizuojant kaštus, mokslininkų įvertinimai yra įvairalypiai ir priklauso nuo to, kokie duomenys yra naudojami tyrimams. Vano Velzeno (2013) komanda vieningai sutaria, kad atliekų, atskiriamų susidarymo šaltinyje tvarkymo kaina pakyla dvigubai lyginant su atliekų frakcijų atskyrimu MA. Sausų mišrių atliekų surinkimas taupo kaštus, tačiau reikia įsirengti naują MA liniją, todėl net ir padidėjęs surinkimo efektyvumas nepajėgus kompensuoti šių kaštų (Janz *et al.* 2011: 982–990).

Mitchellis *et al.* (2015) pateikia išvadas apie Jungtinės Karalystės atliekų tvarkymo sektorių. Atliekų srautų atskyrimas jų susidarymo vietoje ir atskiras transportavimas yra ekonomiškai efektyvesnis, nei atliekų srautų atskyrimas MA, kadangi MA ar MBA įrenginių „vartų“ mokestis yra didelis. Į šiuos skaičiavimus įtraukiamos ir tos pajamos, kurios yra gaunamos pardavus perdirbamą plastiką (Cimpan *et al.* 2015: 181–199).

Galima daryti išvadas, kad siekiant lanksčios ir optimizuotos žiedinės biologinių atliekų perdirbimo sistemos šį srautą yra būtina atskirti jo susidarymo vietoje, kadangi srauto atskyrimas MA įrenginiuose sąlygoja didesnius aplinkosauginius ir ekonominius kaštus, nes apsunkina likusių perdirbamų frakcijų atskyrimą iš komunalinių atliekų (toliau – KA).

Kiekvienos savivaldybės atliekų tvarkymo sistema yra unikali ir priklauso nuo vietinių sąlygų, tokių kaip surinkimo tarifai, geografiniai atstumai ar korupcijos lygis. Sprendimus priimantys privataus ir viešojo sektoriaus atstovai turėtų atkreipti dėmesį į vietinių sąlygų specifiškumą ir nepamiršti, kad pilietinės visuomenės iniciatyvos, bei socialinės elgsenos veiksmai įtakoja atliekų surinkimo rezultatus. Siekiant įvertinti atliekų tvarkymo sistemas šiuo metu mums yra pasiekiamas vienintelis patikimas būdas t. y. daugiakriterė analizė.

1.3.2. Žiediškumo apibrėžimas atliekų tvarkyme

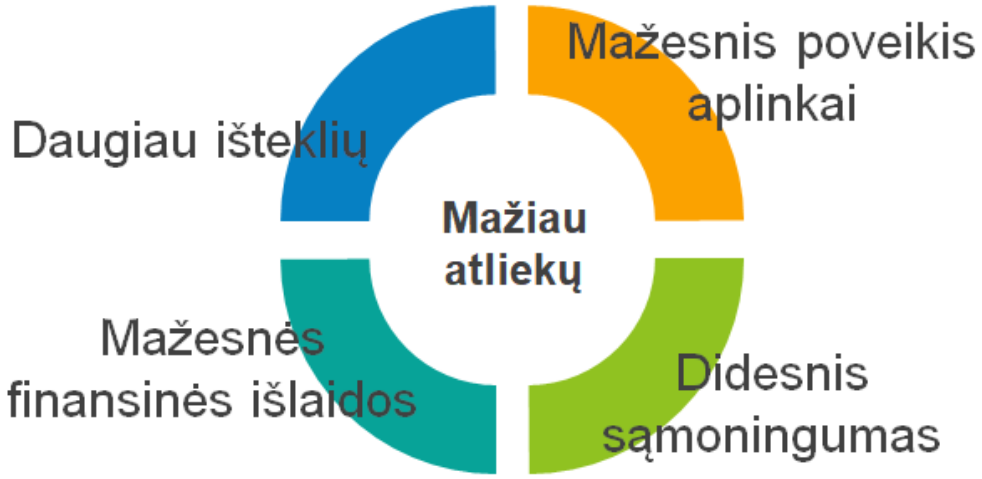
Esanti situacija Lietuvoje yra aiški ir reikalaujanti pokyčių biologinių atliekų tvarkymo sektoriuje, siekiant sukurti socialiai, ekonomiškai ir aplinkosauginiu požiūriu pažangesnę sistemą. Lietuva žengia nedrąsius žingsnius link žiedinės ekonomikos pritaikymo, tačiau šalyje vis dar

nepakanka aukštos kvalifikacijos specialistų, kurie pažabotų netinkamą atliekų sektoriaus apmokestinimą.

Nors Lietuva pritaria ES žiedinės ekonomikos dokumentų rinkiniui ir apskritai poslinkiui link žiedinės ekonomikos, vyriausybė imasi tik pirmųjų priemonių šia linkme. Žiedinės ekonomikos skatinimo ir jos principų diegimo teisės aktai Lietuvoje dar tik pradėti rengti. Be to, pasiūlytų ES žiedinės ekonomikos tikslų atžvilgiu Lietuvos laimėjimai pusėtini, o kai kuriose srityse dar reikia pasitempti.

Kertinis besivystančių ekonomikų tikslas kuriant tvarią plėtrą – prienama, efektyvi ir išties darni atliekų tvarkymo praktika pritaikyta vietos sąlygoms ir pajėgumams. Būtina pabrėžti, kad įgyvendinus teisingą atliekų tvarkymo politiką galima pasiekti naudos aplinkosauginiu, sveikatos ir net energetiniu aspektu. Teisingai parinkta atliekų tvarkymo sistema leidžia sumažinti emisijas į aplinką ir pagerinti gyvenimo kokybę, užtikrinti stabilų visuomenės sveikatos lygį, užkirsti kelią vandens ir dirvožemio užterštumui, išaugoti pirmines žaliavas ir apsirūpinti atsinaujinančiais energetikos šaltiniais (Bogner *et al.* 2007).

Darbo autorė siūlo kriterijus, kurie padėtų sprendimus priimantiems privataus ir viešojo sektoriaus atstovams įdiegti žiedinę atliekų vadybos sistemą. Schematiškai kriterijai pavaizduoti 1.3 pav.



1.3 pav. Pagrindiniai žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijai (sudaryta autorės)

Schemos centre yra nurodytas pagrindinis kiekvienos atliekų tvarkymo sistemos iššūkis – tai prevencija arba minimalus atliekų susidarymo kiekis. Ši atsakomybė didžiąja dalimi tenka gamintojams ir vartotojams. Atliekų tvarkymo sektorius – pagrindinis žiediškumo iniciatorius, kadangi tikslinga atliekų tvarkyba neleidžia medžiagoms pasiekti tokios atliekų būsenos, kai vieninteliu jų tvarkymo būdu tampa atliekų deginimas ir / ar jų laidojimas sąvartynuose. Visi

proceso dalyviai, besilaikantys pagrindinių kriterijų nurodytų schemoje, siekia bendro tikslo – sumažinti atliekų susidarymą.

Atliekos tampa ištekliais (daugiau išteklių). Didinant medžiagų perdirbamumą ir pakartotinį panaudojimą, atliekų tvarkymo sektorius tampa pagrindiniu saugikliu užtikrinančiu pirminių išteklių naudojimo mažinimą. Kuo geresnė iš atliekų atgaunamų išteklių kokybė, tuo lengviau jas perdirbti ir tuo didesnė tikimybė, kad gamintojai vėl integruos šiuos išteklius į pirminį gamybos procesą. Svarbu užtikrinti procesų efektyvų panaudojimą, pavyzdžiui, panaudojant organines atliekas ekologiškų dujų gamybai ir šias dujas naudojant vietinio viešojo transporto kurui.

Mažesnis poveikis aplinkai. Emisijos, susijusios su atliekų tvarkymu, turi būti sumažintos. ES numatyta atliekų tvarkymo hierarchija atspindi atliekų vadybos sistemų emisijų intensyvumą. Tiesioginis pakartotinis naudojimas praktiškai neturi jokio poveikio aplinkai, kaip ir paruošimas pakartotiniam naudojimui, tačiau leidžiantis atliekų hierarchijos laipteliais žemyn, poveikis aplinkai – didėja. Atliekų perdirbimo stadijoje atsiranda šiltnamio efektą sukeliančios dujos (toliau – ŠESD), intensyvus žemės ir vandens naudojimas, o atlliekas deginant ar jas laidojant sąvartyne, šios emisijos pasiekia maksimalias vertes. Šis kriterijus yra susijęs su teisingai vadybiškai suvaldyta atliekų tvarkymo sistema, kurioje yra išvengta neteisėto atliekų šalinimo, šiukšlinimo pavojingomis atliekomis ir kvapų susidarymo.

Mažesnės finansinės išlaidos. Ellen'os MacArthur'os rėmimo fondas (2015) apskaičiavo, kad įsidiegus žiedinę ekonomiką vien ES lygiu bus galima sutaupyti 350 milijardų eurų. Atliekų perdirbėjai gali pagerinti savo finansinę būklę efektyvindami savo veiklas. Pažangus atliekų surinkimas ir didesnis atliekų perdirbėjų lankstumas nulemia trumpesnius vežimo maršrutus, mažesnius kaštus, reikalingus atliekoms apdoroti, ar pajamas, gautas iš MBA atgautų žaliavų. Pinigų srautai sukuriami optimizuojant gautus rezultatus, o ne keliant atliekų tvarkymo mokesčius.

Didesnis sąmoningumas. Tam tikru mastu atliekų surinkimo infrastruktūra gali turėti įtakos atliekų susidarymui namų ūkiuose. Pagrindinė atliekų tvarkymo sistemos sudedamoji dalis – švietimo atliekų klausimais skatinimas ir socialinis poveikis. Teisingos žinutės iškomunikavimas t. y. informacija apie tai, kad atliekos yra ištekliai ir faktinės perdirbimo informacijos pateikimas plačiajai visuomenei. Teigiamas socialinis atliekų tvarkymo poveikis apibūdina atliekų surinkimo organizavimą ir šalinimą piliečiams patogiausiu ir pažangiausiu būdu.

Siekiant sukurti holistinę atliekų tvarkymo sistemą, šie kriterijai turėtų būti įgyvendinami vienu metu. Tačiau reikėtų pažymėti, kad suinteresuotųjų šalių interesai yra prieštaringi. Dažnesnė atliekų išvežimo paslauga gyventojams, neišvengiamai padidina paslaugų teikėjo išlaidas. Neužkrėstų ir aukštos kokybės perdirbimui tinkamų atliekų srautų perdirbimo įmonėms užtikrinimas dažnu atveju sukelia konfliktą su savivaldybių pasirinktais pigiausiais atliekų surinkimo metodais.

1.4. Biologinių atliekų tvarkymo būdai

Šiame poskyriuje pateikiama trumpa naujausių technologinių galimybių, leidžiančių tvarkyti biologines atliekas, apžvalga, neatsižvelgiant į jų aplinkosauginį veiksmingumą. Šios technologijos atstovauja skirtingas pozicijas atliekų hierarchijoje, nustatytoje pagrindinėje 2008/98/EB direktyvoje dėl atliekų. Galima taikyti ir tokią biologinių atliekų tvarkymo sistemą, kurioje yra naudojama kombinacija iš keletos pateiktų technologijų (Vandermeersch *et al.* 2014: 57–64). Toliau pateikiamas trumpas kiekvienos technologijos aprašymas.

Tvarkant biologines atliekas reikia nepamiršti apie surinkimo ir transportavimo kaštus, visuomenės švietimą. Metodologinės rekomendacijos, skirtos padėti politikos formuotojams yra pateiktos kitame skyriuje ir atspindi šio darbo esmę.

Anaerobinio pūdymo proceso analizė

Anaerobinis pūdymas yra biocheminis procesas, kurio metu praktiškai visi biomasės šaltiniai (įskaitant drėgnas medžiagas, tokias kaip organinės atliekos ar gyvūnų mėšlas), gali būti konvertuoti į energiją, kuri yra vadinama biodujomis. Anaerobinio pūdymo procesas susideda iš keturių fazių (hidrolizės, acidogenezės, acetogenezės, metanogenezės), kur mikroorganizmai nuosekliai konvertuoja skirtingus kompleksinius organinius substratus į biodujas, sudarytas iš metano (CH_4) (apie 50–70 %), anglies dioksido (CO_2) (apie 30–50 %) ir vandenilio sulfido (H_2S), taipogi aptinkami ir vandens garų pėdsakai.

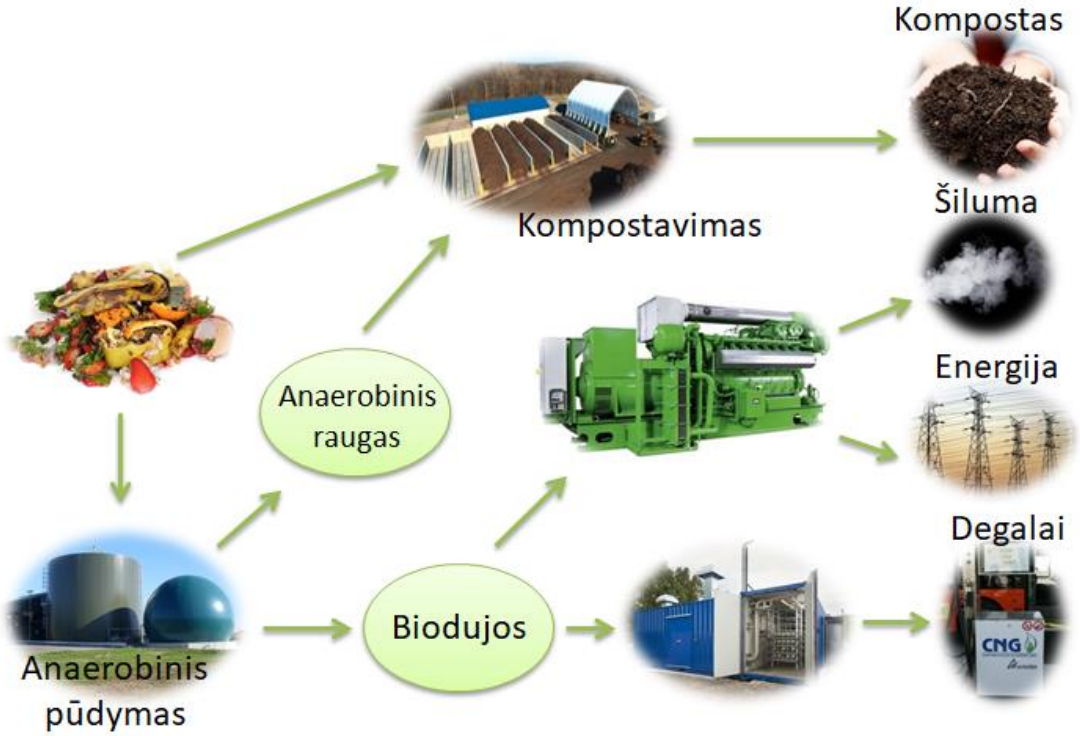
Anaerobinio skaidymo įrenginių konfigūracija ir dizainas priklauso nuo:

- ✓ kietųjų medžiagų įkrovoje kiekio: drėgnas pūdymo įrenginys, tai toks įrenginys, kurio reaktoriuje yra mažiau kaip 15 % kietųjų dalelių palyginus su visu įkrovos kiekiu, ir sausasis pūdymo įrenginys, tai toks įrenginys, kurio reaktoriuje yra 25–30 % kietųjų dalelių palyginus su visu įkrovos kiekiu;
- ✓ darbinės temperatūros: termofiliniai pūdytuvai, veikiantys temperatūros diapazone nuo 50°C iki 65°C ir mezofiliniai anaerobinio pūdymo įrenginiai, veikiantys maždaug 35–40°C temperatūroje;
- ✓ naudojamų reaktorių skaičiaus: dvifaziai anaerobinio pūdymo įrenginiai, kuriuose atskirai veikia du reaktoriai ir juose biodujų gamyba vyksta taip: rūgštinė fazė (organinių rūgščių gamyba) ir metano fazė (metano gamyba), todėl kiekvienoje stadijoje galima optimizuoti eksploatavimo sąlygas arba vienfaziai anaerobinio pūdymo įrenginiai, kuriuose yra tik vienas reaktorius, kuriame visos reakcijos vyksta su visomis pritaikytomis veikimo sąlygomis;
- ✓ įkrovos tiekimo būdo: reakcija vyksta tam tikrą laiką ir įkrova yra tiekiama porcijomis arba nepertraukiamo įkrovos tiekimo reaktoriai.

Įprasta praktika yra dirbti su dviem arba daugiau žaliavų rūšių, t. y. gyvulių mėšlu, kaip pirmine žaliava, papildant organinėmis atliekomis ir tokiu būdu siekiant padidinti biodujų išeigą.

Išgautos biodujos gali būti deginamos šilumos ir elektros energijos gamybai (toliau – ŠEG) arba papildomai perdirbamos gaminant gamtinių dujų pakaitalą, vadinamą biometanu, kuris gali būti tiekiamas į dujų tinklą (turi būti deginamas) arba naudojamas kaip transporto priemonių degalai:

- ✓ biodujos, naudojamos kaip gamtinių dujų pakaitalas, gali būti deginamos vidaus degimo varikliuose (kibirkštinio uždegimo arba uždegimo suspaudimu su dviguba kuro konfigūracija), kurių bendras našumas siekia 77–80 %. Jos taip pat dažnai naudojamos dujų ir mikrogeneratorių turbinose (kurių bendras efektyvumas yra 63–71 %). Jos naudojimas kuro elementuose (bendras efektyvumas iki 80 %) yra ankstyvosiose mokslinių tyrimų ir plėtros stadijose (daugiausia kietojo oksido kuro elementai ir išlydyto karbonato kuro elementai);
- ✓ kalbant apie biodujų gryninimo technologijas, tai jų yra įvairių tipų: absorbcija (fizinė ar cheminė), slėgio pokyčiu paremta adsorbcija, kriogeninė technologija ir membranų atskyrimas (Petersson *et al.* 2009: 20). Dažniausiai naudojama CO_2 kiekio mažinimo priemonė biodujose yra fizinis absorbavimas naudojant vandens valymą dėl didesnio CO_2 ir H_2S tirpumo vandenyje, lyginant šiuos su CH_4 tirpumu.



1.4 pav. Biologinių atliekų tvarkymo galimybių schema (sudaryta autorės)

Anaerobinio pūdymo šalutinis produktas yra anaerobinis raugas, kuris gali būti naudojamas tiesiogai kaip trąša arba kompostuotas, siekiant pagerinti jo savybes. 1.4 paveiksle parodyta biologinių atliekų tvarkymo galimybių schema.

Kompostavimas

Kompostavimas yra natūralus procesas, kai mikroorganizmai ir grybai aerobinėmis sąlygomis suskaido organinę medžiagą iki humusui būdingos medžiagos, vadinamos kompostu. Procesas yra egzoterminis, o šiluma palaikoma termofiliniame (maždaug 50–65°C) režime pakankamai ilgai, kad būtų sunaikinti kenksmingi mikroorganizmai ir kompostas stabilizuotųsi. Kompostas gali turėti didelę pridėtinę vertę agrikultūroje, nes jis gali pagerinti dirvožemio struktūrą ir kokybę, pridedant organinių medžiagų, maistinių medžiagų ir įvairių biologinių mikroorganizmų. Išskiriamos dviejų rūšių technologijos:

- ✓ atviras kompostavimas vykdomas organines atliekas sugrupuojant ilgomis eilėmis (kaupais), kurios reguliariai vartomos, siekiant suvienodinti kaupo temperatūrą, sumaišyti organines atliekas ir pagerinti deguonies kiekį bei kaupo poringumą. Tai gali būti atliekama atvirame ore, kur kyla pavojus sukelti nemalonių kvapų išsiskyrimą ir nekontroliuojamus šiltnamio efektą sukeliančių dujų, tokių kaip metanas, išmetimus. Uždarose patalpose vykdomas kompostavimas leidžia geriau kontroliuoti kvapus ir išmetamus teršalus;
- ✓ uždaras kompostavimas vykdomas tik konteineriuose ar specialiose patalpose, kuriose galima atidžiai stebėti ir reguliuoti oro srautą bei temperatūrą. Proceso metu susidariusios išmetamosios dujos yra surenkamos ir paprastai apdorojamos biofiltru.

Deginimo procesas

Deginimas yra kontroliuojamas atliekų deginimas su oro pertekliumi. Paprastai jis naudojamas nevienalyčių atliekų, tokių kaip mišrios maisto ir pakuočių atliekos, apdorojimui, siekiant sumažinti atliekų kiekį, svorį ir pavojingumą. Didelis drėgmės kiekis biologinėse atliekose (t. y. maždaug 70 % masės) gali būti problema deginimo procesuose, nes jiems reikia mažiau nei 30 % drėgmės, kad jie būtų veiksmingi. Todėl, paprastai, reikia išankstinio džiovinimo etapo. Tam dažniausiai naudojami mechaninio–biologinio apdorojimo įrenginiai ir juose esančios biodžiovinimo kameros. Deginimo įrenginių konfigūracija ir dizainas būna:

- ✓ tam tikro – fiksuoto sluoksnio deginimas yra paprasčiausia ir dažniausiai naudojama technologija, naudojanti grotelines krosnis. Biomasė yra sudeginama fiksuotoje vietoje, esant pirminiam oro tiekimui, o susidariusios dujos paprastai sudeginamos atskiroje zonoje su papildomu antrinio srauto oru;
- ✓ naujesnė technologija yra degimas pseudoverdančiajame sluoksnyje, kuriame biomasė deginama kietoje dugno medžiagoje, pro kurią pumpuojamas oras, skirtas degimo proceso palaikymui.

Deginant gaminamą garą jį galima naudoti šilumos ir (arba) elektros energijos gamybai. Bendrosios šilumos ir elektros energijos gamybos įrenginiai turi didesnį našumą, palyginti su atskiromis šilumos ir elektros energijos gamybos sistemomis. Dažniausiai naudojama technologija yra garo turbinų sistema. Biomasė sudeginama degimo kameroje, tam kad būtų sukurtas aukšto

slėgio vandens garas, kuris suka garo turbiną. Turbinos sukurta galia generatoriumi paverčiama elektra, o garai, išgaunami iš turbinos, naudojami namuose ar pramonėje. Viena iš deginimo problemų yra galimas daugelio dujinių teršalų, įskaitant įvairias NO_2 formas, ir kai kurių toksiškų ir patvarių organinių medžiagų, tokių kaip dioksinai ir furanai, gamyba. Atliekų deginimo metu turi būti laikomasi griežtų išmetimo normų (European Commission 2010: 8–16).

Sausinto / drėkinto pašaro gavimas

Kai kuriais atvejais gyvulių pašarų gamyba yra biologinių atliekų tvarkymo alternatyva (FAO of the United Nations 2004). Kai kurioms biologiškai skaidžioms atliekoms reikia terminio apdorojimo, kad sumažėtų užsikrėčiamų ligų rizika ir būtų pašalinti galimi kenksmingi patogenai. Tai galima pasiekti dviem būdais: pašaro sausinimu arba drėkinimu. Dažniausiai naudojamas biologinių atliekų sausinimas, kurio metu biologinės atliekos yra džiovinamos, taip jas sterilizuojant ir sumažinant drėgnumą. Tradiciškai dehidratuojama naudojant šilumą, tačiau tai taip pat galima padaryti fermentacijos ar kepinimo būdu – biologinės atliekos yra virinamos daržovių aliejuje, esant sumažintam slėgiui santykinai žemoje temperatūroje, pvz. 110°C. Gautas pašaras gali būti naudojamas tiesiogiai arba jis gali būti naudojamas kaip aukštos kokybės ingredientas komercinio koncentrato gavimui.

Drėgnasis būdas paprastai naudojamas didelio drėgnumo biologinėms atliekoms apdoroti. Šiam būdui nereikalingas dehidratacijos etapas, todėl reikalingos mažesnės sąnaudos ir proceso metu prarandama mažai baltymų. Tai taip pat gali apimti fermentacijos žingsnį, naudojamą pH mažinimui, dėl kurio produkto realizavimo laikas tampa ilgesnis. Su šiuo tvarkymo būdu susiję didžiausi rūpesčiai: pašarų produktų tvarkymas, saugojimas ir transportavimas, nes reikalauja daug investicijų ir optimizuotos logistikos.

Pirolizė ir dujinimas

Egzistuoja daugybė terminio apdorojimo būdų, kurie yra gana gerai panaudojami įvairiems anglies pagrindo produktams ir yra perspektyvūs biologinių atliekų tvarkymui, tačiau technologijos dar yra ankstyvame įgyvendinimo etape. Tarp šių technologijų – pirolizė ir dujinimas, kurios turi gerą energijos gamybos iš biomasės potencialą (Ahmed *et al.* 2010: 101–108), tačiau jie vis dar kelia nemažai techninių ir ekonominių problemų.

Pirolizė yra termocheminis procesas, kurio metu degimas vyksta trūkstant deguonies, organinė medžiaga paverčiama atitinkamai kietosiomis, skystomis ir dujinėmis frakcijomis, vadinamomis bio-anglimi, bio-alyva ir biodujomis. Skirtingų produktų gavimas priklauso nuo proceso kintamųjų ir žaliavos savybių. Gavybos metu yra pageidautina, kad bio-alyvos ir bio-anglis būtų gauti kaip biodujų gamybos proceso šalutiniai produktai. Paprastai bio-alyvos naudojamos šilumos ir energijos gaminimui. Jos taip pat gali būti modifikuotos į biodyzeliną per hidrinimo procesą arba dujofikuotos kartu su anglies sintezės produktu. Atsižvelgiant į naudojamas proceso

sąlygas, pirolizės procesai gali būti suskirstyti į įprastus, greitus ir žaibiško vyksmo. Paprastoji pirolizė daugiausia naudojama bioanglies gamybai. Proceso metu temperatūra yra žemesnė (t. y. maždaug 400°C), o garų sulaikymo trukmė yra ilga ir skatinanti kieto rūko ir dujų susidarymą. Greitosios pirolizės temperatūra yra aukštesnė (t. y. apie 500°C), rezorbcija garuose yra žemesnė, o aušinimas yra greitesnis, todėl gaunama didelė skysčio koncentracija (50 %). Žaibiškoji pirolizė yra tolygi greitam pirolizės procesui, kurio apatinė garų sulaikymo trukmė padidina skystosios frakcijos kiekį (75 %).

Dujinimas, kaip ir pirolizė, yra termocheminis procesas, kai anglies turinčios medžiagos yra paverčiamos dujiniu kuru (vadinamu sin-dujomis ar gamybinėmis dujomis), kurį sudaro anglies monoksido (CO), vandenilio (H_2), metano (CH_4) ir anglies dioksido (CO_2) mišinys. Reakcija vyksta aukštoje temperatūroje ir be degimo, naudojant tokias medžiagas kaip oras, deguonis ir garas. Priklausomai nuo naudojamos žaliavos ir dujinimo technologijos, džiovinimo fazė turėtų būti atliekama, siekiant sumažinti drėgmę, nes aukšti drėgmės lygiai (t. y. 45–55 %) gali trukdyti dujofikacijos procesui. Pagrindinė dujinimo paskirtis yra kombinuota šilumos ir elektros energijos gamyba, kai gamybinės dujos yra naudojamos kaip kuras, todėl svarbiausia dujų charakteristika yra jos šiluminė vertė (kuo didesnė, tuo geriau).

1.5. Scenarijų sudarymu ir jų analize paremta vertinimo metodika

Scenarijai yra priemonė padedanti numatyti procesus vyksiančius ateityje ir struktūrizuoti juos. Pavadinimas kilęs iš teatro sąvokos. Scenarijus – grožinis kūrinys, parašytas scenaristo, skirtas kinui, televizijai ar kompiuteriniams žaidimams. Jis gali būti originalus autoriaus kūrinys arba jau esančio darbo adaptacija. Scenarijuje aprašomi veikėjų veiksmai, dialogai ir bruožai. Mokslinių darbų kontekste scenarijai tai – istorijos apie tai, koks pasaulis gali tapti rytoj. Tai istorijos, kurios padeda atpažinti ir prisitaikyti prie besikeičiančios aplinkos. Tai metodas, kuriuo apibūdinami ir įvertinami skirtingi aplinkos pokyčiai, kurie galėtų egzistuoti netolimoje ateityje.

Scenarijų planavimas apibrėžia šiandienos pasirinkimus įvertinat tų pasirinkimų būsimą poveikį ateityje. Remiantis šiuo kontekstu tikslus scenarijaus apibrėžimas būtų toks: tai įrankis, kai viena iš numatytų alternatyvių aplinkos traktuočių yra lemiama ir kritine apsprendžiant aplinkos pokyčius. Paprasčiau, tai galima traktuoti kaip organizuotą metodą, siekiant numatyti ir apibrėžti ateitį. Scenarijai yra kruopščiau ruošiami remiantis turima informacija ir pasirenkant svarbiausius tikslus. Tai gali būti traktuojama kaip disciplinuotas mąstymas, o ne kaip formali metodika (Schwartz 1991).

Atsižvelginat į tai, kad scenarijų analize pagrįsta metodika padeda apibūdinti potencialą galimą tikrovę, tai leidžia numatyti galimus biologinių atliekų ateities tvarkymo metodus. Šio atvejo

analizė grindžiama labiausiai tikėtinu būsimu biologiniu atliekų tvarkymo metodu, kuriam lemtingą poveikį turi aplinkosauginiai aspektai.

Scenarijų analizės metodas – tai didžiausią neapibrėžtumą turinčio veiksmo, veikiančio prognozuojamą objektą (procesą) visumos aprašymas (situacijos modelis). Scenarijų analizės metodas gali būti taikomas įvairiose veiklos sferose: finansuose, įmonių valdymo, procesų analizei, socialinėje, gamtos moksluose, technologinių aplinkų analizei. Dažniausiai scenarijų analizės metodas taikomas sudarant įmonių ilgalaikių investicijų projektų rizikos modelius, smulkaus ir vidutinio verslo įmonių finansavimo modelius. Prognozavimo metodai yra glaudžiai susiję su strateginiu valdymu, o remiantis prognozavimo teorija, galima gauti moksliškai pagrįstas prognozes, kurios reikalingos priimant racionalius strateginius sprendimus. Pažymėtina, kad prognozavimas turi būti metodiškas, sistemiškas, kompleksinis, remtis išsamia nagrinėjamų procesų analize ir įvairiais moksliniais tyrimo metodais. Tinkamiausių sprendimų paieškai gali tarnauti prognozių variantiniai skaičiavimai ir scenarijų analizė (Adomavičienė *et al.* 2008: 1–6).

1.5.1. Būvio ciklo vertinimo (BVC) principai

Būvio ciklo mąstymo (toliau – BCM) metodas gali būti suprantamas kaip konceptualus požiūris, kurio tikslas – nustatyti bet kokių prekių ar paslaugų poveikį jų visuose būvio ciklo etapuose, susijusiuose su tomis prekėmis / paslaugomis, t. y. nuo žaliavų gavybos iki galutinio vartojimo. Naudojant BCM pagrįstą požiūrį, galima išvengti vienos problemos sprendimo būdo, sukuriant kitą, taip vadinamą „naštos perkėlimo“ procesą.

Naudojant BCM atliekų tvarkymo srityje yra nustatomos galimybės, kurios užtikrina aplinkai nekenksmingus rezultatus, ir tai yra patvirtinta keletu teisėkūros dokumentų – visų pirma – Atliekų tvarkymo direktyva 2008/98 EB (Parlamento *et al.* 2008: 3–30).

Seniausiai žinomas BCV tiria produkto ar paslaugos poveikį aplinkai per jo gyvavimo ciklą ir leidžia analizuoti realią naštą, kurią produktas užkrauna aplinkai žaliavų išgavimo, gamybos proceso, vartojimo ir atliekų šalinimo metu. Gyvavimo ciklo išlaidų skaičavimai parodo bendrus produkto ar veiklos kaštus jo gyvavimo metu. Produkto medžiagų srauto analizėje sujungiami produktų sistemoms naudojami medžiagų ir materijos analizės metodai, o produkto energijos analizėje matuojama energija, sunaudojama gaminant produktą ar paslaugą. Integruotam vertinimui priskiriama gausi metodų grupė, pagrįsta sistemų analize ir integruojanti gamtos ir visuomenės aspektus (Drejeris 2015: 189–198).

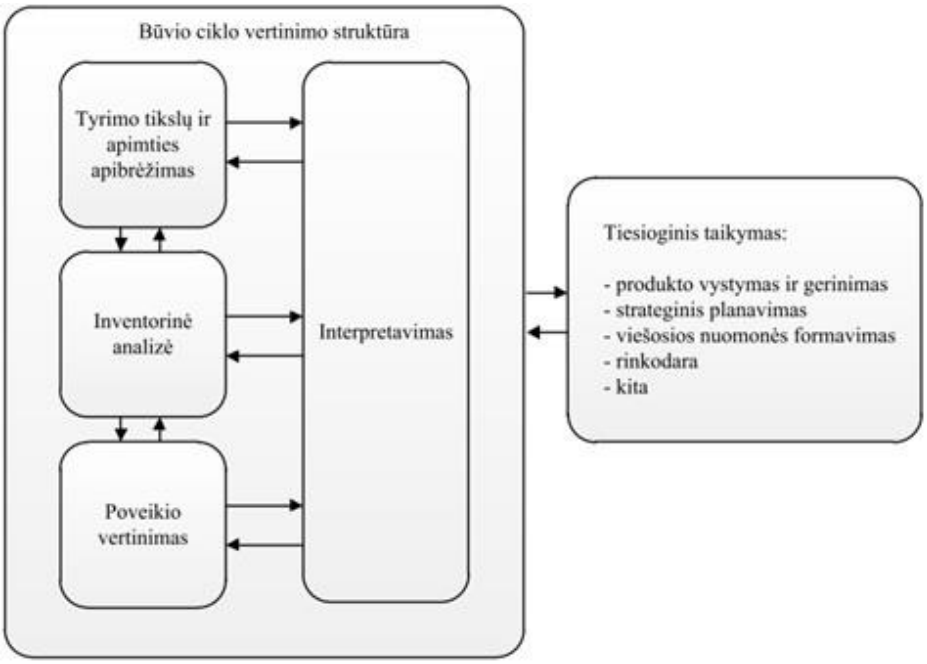
BCV suteikia galimybę kiekybiškai išreikšti BCM. BCV, kaip apibrėžta ISO 14044:2006 ir toliau nurodyta Tarptautiniame etaloniniame gyvavimo ciklo duomenų sistemos vadove (European Commission *et al.* 2010) – sprendimų palaikymo priemonė, plačiai naudojama įvertinti poveikį aplinkai, atsirandantį dėl bet kokių prekių / paslaugų. BCV taip pat yra plačiai naudojamas vertinant atliekų tvarkymo sistemas, scenarijus ir strategijas, siekiant nustatyti svarbiausius būvio ciklo

etapus, pagrindinius medžiagų / energijos srautus iš aplinkosauginės perspektyvos, taip pat tobulinimo galimybes (Manfredi and Goralczyk 2013: 285–291; Manfredi and Pant 2013: 8–16).

Būvio ciklo vertinimas kartu su ekologiniais balansais ir išteklių aplinkos apsaugos profilio analize yra metodas skirtas gaminio ar proceso aplinkos apsaugos pasekmėms įvertinti nuo „lopšio iki lopšio". *Aplinkos toksikologijos ir chemijos asociacija* BCV apibrėžia kaip „procesą, kuris naudojamas įvertinti poveikiui, kurį aplinkai daro gaminys, procesas ar veikla" (Van Dam-Mieras *et al.* 1995: 3–8).

Reikėtų patikslinti, kad be BCV yra keletas kitų sprendimų priemonių, kurių tikslai, tikslinės auditorijos ir standartizacijos lygiai labai skiriasi, o jų konceptualus pagrindas nustatomas BCM, praktiškai leidžiant išsamiai įvertinti tris tvarumo (aplinkosaugos, ekonominės ir socialinės) ramsčius. Tai apima, pvz., būvio ciklo sąnaudų skaičiavimus (toliau – BCS), kaštų ir naudos analizę (toliau – KNA), hibridinį BCV (toliau – H-BCV), socialinį būvio ciklo įvertinimą (toliau – S-BCV), ekologinį pėdsaką, ŠESD skaičiavimus ir Europos Komisijos aplinkos poveikio pėdsako (toliau – APP) metodus.

Šios metodikos rezultatai – naudingi identifikuojant atliekų sektoriaus problemas. Laikantis tam tikrų sąlygų t. y. procesai prieš srauto susidarymą ir srauto susidarymo metu yra lygiaverčiai, tokiu atveju atliekų būvio ciklas prasideda tada, kai šios yra pašalinamos atliekų konteineryje ir baigiasi, kai atliekos yra galutinai sutvarkomos arba naudojantis tam tikrais socialiniais–aplinkosauginiais metodais yra perdirbamos išgaunant energiją, žaliavas arba maisto medžiagas.



1.5 pav. Techninė būvio ciklo įvertinimo schema (Navickas *et al.* 2013)

Būvio ciklo įvertinimo metodika sudaro keturios pagrindinės šios metodikos dalys:

✓ inventorinė analizė – vartojamos energijos, išteklių ir emisijos į orą, vandenį ir žemę kokybinis ir kiekybinis nustatymas;

✓ poveikio analizė – poveikio aplinkai techninis kokybinis ir kiekybinis apibūdinimas ir įvertinimas;

✓ gerinimo galimybių analizė – galimybių, mažinančių aplinkos apkrovą, įvertinimas ir diegimas.

✓ apimties ir tikslo apibūdinimas, arba pradinis etapas, kuris padeda planuoti, kaip bus atliekama analizė.

Vertinant būvio ciklą daugiausia dėmesio skiriama būvio ciklo sistemai. Dauguma tyrimų atliekama pirminiame inventorinės analizės etape. Šiai analizei atlikti sudaroma proceso srautų diagrama, nustatomi ir kiekybiškai įvertinami gaminio sistemos medžiagų ir energijos įėjimai bei išėjimai. Gali būti naudojami įvairūs kontrolinių klausimų sąrašai (Najam 1999: 65–75):

✓ nustatyti, kuria kryptimi turėtų būti plėtojama tolesnė analizė;

✓ apibrėžti sistemos riboms;

✓ surinkti atitinkamai informacijai, apibūdinančiai įėjimus ir išėjimus.

Būvio ciklo vertinimas yra vienas iš aplinkos vadybos metodų, taikomų su gaminiais ar paslaugomis susijusiems aplinkos aspektams ir potencialiems poveikiams identifikuoti ir įvertinti. Lietuvoje naudojami standartai:

✓ Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Reikalavimai ir nurodymai (ISO 14044:2006);

✓ Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2006).

Šio darbo atveju BCV koncepcija bus taikoma siekiant palyginti biologinių atliekų tvarkymo sektoriaus aplinkosauginį efektyvumą ir išteklių atgavimą, bei alternatyvių tvarkymo metodų efektyvumą identifikuojant pažeidžiamiausias sektoriaus sritis ir didžiausią dėmesį skiriant biologinių atliekų tvarkymo sistemos tobulinimui.

1.5.2. Pagrindinės prielaidos BCV paremtiems scenarijams modeliuoti

BCV naudojimas apima keletą sprendimų, prielaidų ir pasirinkimų, kurie daro įtaką galutiniams rezultatams. Dėl to susiduriama su dideliais skirtumais vertinant skirtingų autorių BCV, net jei jie analizuoja tuos pačius (pvz., biologines atliekas) arba panašius srautus. Dažniausiai pasitaikantys BCV pasirinkimai yra susiję su šiais aspektais:

✓ sprendimo kontekstas (t. y. sprendimas, kurį BCV rezultatai gali arba negali palaikyti), kuris turi tiesioginę įtaką tam, koks priskyrimas ar modeliavimas yra naudojamas;

✓ pasirinkimas tarp šių dviejų BCV modeliavimo metodų yra esminis dalykas, nes jis daro įtaką modeliavimo būdui (pvz., naudojamų įvesties duomenų rūšiai ir energijos atgavimo naudingumo apskaitos būdui) bei BCV reikšmę ir jo tinkamumo naudoti rezultatus (visų pirma priimant sprendimus, kurių rezultatai gali padėti pasirinkti naudojamą technologiją);

✓ jei naudojamas nuoseklus modeliavimo metodas, turi būti daromos prielaidos leidžiančios nustatyti bet kokias „pakeistąsias technologijas“ ir (arba) produktus (pvz., kokios rūšies elektros energija bus pakeista sistemoje);

✓ tikslus vertinimo funkcinio vieneto (toliau – FV) apibrėžimas (t. y. funkcija ar paslauga, pagal kurią analizuojama sistema yra tokia, kokia nurodyta); vertinimo riba (t. y. tai, kas yra apskaityta ir kas ne), su FV susijusio orientacinio srauto pasirinkimas (pvz., 1 kg biologinių atliekų);

✓ būvio ciklo poveikio vertinimo (toliau – BCPV) etapo pasirinkimai, visų pirma poveikio vertinimo modelių ir metodų pasirinkimas, kuris, be kita ko, daro įtaką aplinkosauginio įvertinimo išsamumui (pvz., kiek tai susiję su aplinkosauginiu poveikiu skirtingose kategorijose), ir su kiekviena poveikio kategorija susiję rodikliai (taigi, vienetai, naudojami tam tikrai poveikio kategorijai išreikšti);

✓ ŠESD apskaitos būdas; iškastinis ir biogeninis anglies kiekis; kaip traktuojamos išvengtosios emisijos.

Atsižvelgiant į BCV taikymą atliekų sistemoms ir strategijoms, vis dažniau vertinamas biologinių atliekų tvarkymo poveikis aplinkai. Veiksniai ir metodiniai sprendimai, kurie labiausiai įtakoja BCV rezultatus, susijusius su biologinėmis atliekomis, iš principo yra tokie patys kaip ir bet kokios atliekų tvarkymo sistemos BCV. Tačiau BCV, kuris apima biologinių atliekų tvarkymą, vertinimas gali tapti ypač sudėtingu, nes be techninių procesų atliekų tvarkymo grandinėje vyksta ir biologiniai procesai. Šie biologiniai procesai, kurie labai priklauso nuo vietos ir tarpusavyje susijusių veiksnių, tokių kaip dirvožemio profilis, krituliai ir temperatūra, iš esmės turėtų būti kruopščiai modeliuojami ir apskaitomi. Iš tikrųjų jie gali sukelti nepageidaujamą generuojamą teršalų kiekį ir gali sumažinti kitokį energijos ir maistingųjų medžiagų atsinaujinimo potencialą, kurį galima pasiekti tinkamai tvarkant biologines atliekas. Nors tokie veiksniai dažnai įtraukiami į BCV pagrįstą biologinių atliekų tvarkymo vertinimą, specifinis jų apskaitos metodas gali labai skirtis, nes jis priklauso nuo keleto akivaizdžių pasirinkimų ir prielaidų, kurias turėtų atlikti BCV ekspertai (Bernstad *et al.* 2012: 2439–2455).

Toks sudėtingumas lemia labai skirtingus poveikio aplinkai vertinimus, pateiktus atliekant BCV tyrimus susijusius su biologinėmis atliekomis. Tokie skirtumai daugiausia rodo vienodumo trūkumą pagrindinių veiksnių ir prielaidų lygmenyje, o ne faktinius aplinkosauginio veiksmingumo skirtumus. Jautrumo analizės rezultatai patvirtina, kad prielaidos, kurios labiausiai įtakoja BCV rezultatus biologinėms atliekoms yra tokios:

✓ anglies ir kitų maistinių medžiagų praradimas ir išsaugojimas;

✓ kompostavimo proceso ir jo metu generuojamas teršalų išmetimas;

✓ energijos gamyba (pvz., anaerobinis pūdymas).

1.5.3. Beatliekės visuomenės indekso skaičiavimo principai

Beatliekės visuomenės indeksas (*Zero Waste Index (ZWI)*) skirtas suskaičiuoti atliekų tvarkymo sektoriaus galimybes ir esamą atliekų tvarkymo sektoriaus gebėjimą pakeisti pradines žaliavas tiek aplinkos (išteklių) tiek ir ekonominiu požiūriu. Siekiant išsaugoti gamtos išteklius skaičiavimuose naudojama perdirbimo rodiklio sąvoka, tačiau ji neapibūdina atliekų tvarkymo sistemos efektyvumo, pradinių žaliavų išsaugojimo atžvilgiu. *ZWI* yra naujas rodiklis sukurtas Zamano (2013), kuris suteikia galimybę išmatuoti ir palyginti kaip atliekų tvarkymo sistemos sugeba pakeisti pradines žaliavas pakaitinėmis medžiagomis (Zaman *et al.* 2013: 123–132). Supaprastintas modelis aprėpia 6 atliekų kategorijas: organines, plastikus, stiklą, metalą, popierių ir bendrą komunalinių atliekų srautą. Analizuojami atliekų tvarkymo būdai: deginimas, kompostavimas, biodujų gamyba ir t. t. Matematinė lygtis atrodo taip (Zaman *et al.* 2013: 123–132):

$$ZWI = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(WMS_{ij} \cdot SF_{ij}\right)}{\sum_{1}^{n} GWS}, \qquad (1.2)$$

čia: WMS_{ij} – atliekų kiekis generuojamas skirtinguose atliekų srautuose i (i – organinės, plastikai ir kt.), o j – srautui tvarkyti naudojamas atliekų tvarkymo būdas (deginimas, šalinimas į sąvartyną ir kt.);

SF_{ij} – pradinių žaliavų pakeitimo efektyvumas, i – atliekų, virtusių žaliavomis rodiklis (organinės, plastikai ir kt.) ir jų tvarkymas atliekų tvarkymo būdais (deginimas, šalinimas į sąvartyną ir kt.);

GWS – visas susidaręs atliekų srautas.

Atliekų tvarkymas yra viena iš sudėtingiausių viešojo sektoriaus teikiamų paslaugų, todėl būtina ieškoti efektyviausių atliekų tvarkymo sprendimų. Beatliekė vadybos sistema tai – holistinė atliekų tvarkymo koncepcija, kurioje atliekos yra traktuojamos žaliavomis ir kaip tarpinis produktas vartojimo grandinėje (Zaman *et al.* 2011: 73–93).

1.5.4. Medžiagų ir energijos balanso sudarymas

Medžiagų ir energijos (toliau – MEB) srautų analizė tai sistemiškai apibūdintas medžiagų ir energijos judėjimas laike ir erdvėje. Ši metodika yra pramoninės ekologijos dalis, kuri remiasi žaliavų išsaugojimo principais. MEB leidžia įvertinti visus sistemoje esančius medžiagų ir energijos srautus per gamybos, vartojimo procesus bei ekologinį jų pėdsaką ir paslėptuosius srautus.

Struktūrizuojant srautų judėjimą su įvesties ir išvesties duomenimis atsiranda galimybė aiškiai apibrėžti atliekų srautus ir kenksmingas emisijas į aplinką identifikuojant jų šaltinius (Brunner *et al.* 2004). Pagrindinis MEB uždavinys – identifikuoti atliekų srautą ir maksimaliai išnaudoti įvesties duomenis siekiant didžiausios naudos vartotojui. Tai taipogi geriausias metodas siekiant įvertinti įvesties medžiagų ir energijos vartojimo efektyvumą (Bringezu 1997).

Šiuo tyrimo atveju yra analizuojami BSA srautai atsižvelgiant į pradinių žaliavų srautų judėjimą laike ir jų vietą procesuose. Akivaizdu, kad MEB gali būti naudojamas ir atliekant intensyvesnę srauto analizę, todėl turėtų būti apsvarstyta galimybė pratęsti darbą ateityje ir išnaudoti MEB metodą.

1.6. Pirmojo skyriaus išvados

1. Galima teigti, kad Žiedinės ekonomikos koncepcija remiasi biologinės mimikrijos, industrinės ekologijos, beatliekės visuomenės ir „iš lopšio į lopšį“ sąvokomis.

2. Atlikus mišrių komunalinių atliekų tyrimą korporacijos biure buvo pastebėta, kad daugiau, nei ~ 96 % atliekų, patenkančių į komunalinių atliekų srautą – organinės ir gali būti grąžintos į ciklą jas atskiriant susidarymo šaltinyje t. y. biuro virtuvėje.

3. Remiantis mokslinės literatūros analize darbo autorė išskyrė šiuos pagrindinius žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijus: atliekos tampa ištekliais (daugiau išteklių); mažesnis poveikis aplinkai; mažesnės finansinės išlaidos; didesnis sąmoningumas ir mažesnis generuojamų atliekų kiekis.

4. Biologiškai skaidžios atliekos gali būti tvarkomos skirtingais būdais t. y. biodegraduojančias atliekas panaudojant pašarams (reikalinga ypatinga srauto kontrolė); gaminat biodujas ar biodegalus; panaudojant biodžiovinimą, o vėliau ir energijos atgavimą iš gautos įkrovos; kompostuojant; gaminant įvairias chemines medžiagas; tam tikri srautai gali būti tiesiogiai perdirbami į naujus produktus.

5. BCV metodikos rezultatai – naudingi identifikuojant atliekų sektoriaus problemas ir užtikrinant aplinkai ir žmonių sveikatai tinkamiausius atliekų tvarkymo būdus.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Tyrimo objektas, tikslas, uždaviniai ir metodo esmė

Tyrimo objektas – Lietuvos biologinių atliekų tvarkymo sistema.

Tyrimo tikslas yra pateikti pamatinę metodiką, leidžiančią kiekybiškai įvertinti biologinių atliekų tvarkymo būdų aplinkosauginį tvarumą ir procesų žiediškumą.

Tyrimo uždaviniai:

- ✓ identifikuoti tinkamas biologinių atliekų tvarkymo technologijas;
- ✓ atlikti BCV ir įvertinti aplinkosauginį biologinių atliekų tvarkymo technologijų naudingumą;
- ✓ apibendrinti gautus rezultatus pasinaudojant COPRAS metodu nagrinėjamų alternatyvų reikšmingumui ir prioritetiškumui nustatyti;
- ✓ įvertinti kiekvieno regiono žiediškumą ir identifikuoti problemiškiausius RATC.

Metodikos pagrindas yra konceptualus būvio ciklo mąstymo pritaikymas. Tarp daugelio esamų BCM pagrįstų metodų ir standartų, BCV naudojamas vertinant sistemos aplinkosaugį aspektą. Daugiakriteriai arba daugialypiai tyrimo metodai taikomi daugelyje veiklos sričių – tiek inžinerinių, tiek medicininių, tiek finansinių, tiek vadybinių uždavinių sprendimui. Norint parinkti geriausią biologinių atliekų tvarkymo būdą, kuris atitiktų skirtingus kriterijus, tinkamiausias vertinimo metodas yra daugiakriteris sprendimų vertinimo metodas, nes apibūdinti BCV naudojama daug skirtingų kriterijų, kurių tiek matavimo vienetai, tiek jų svarba nėra vienodi.

Atliekant žiediškumo įvertinimą pasinaudota autorės modifikuotu Zamano (2013 m.) sukurtu beatliekės visuomenės indeksu, kuris leidžia įvertinti pirminių žaliavų pakeitimo efektyvumą, energijos regeneravimą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų sumažėjimą ir vandens išsaugojimo rodiklius.

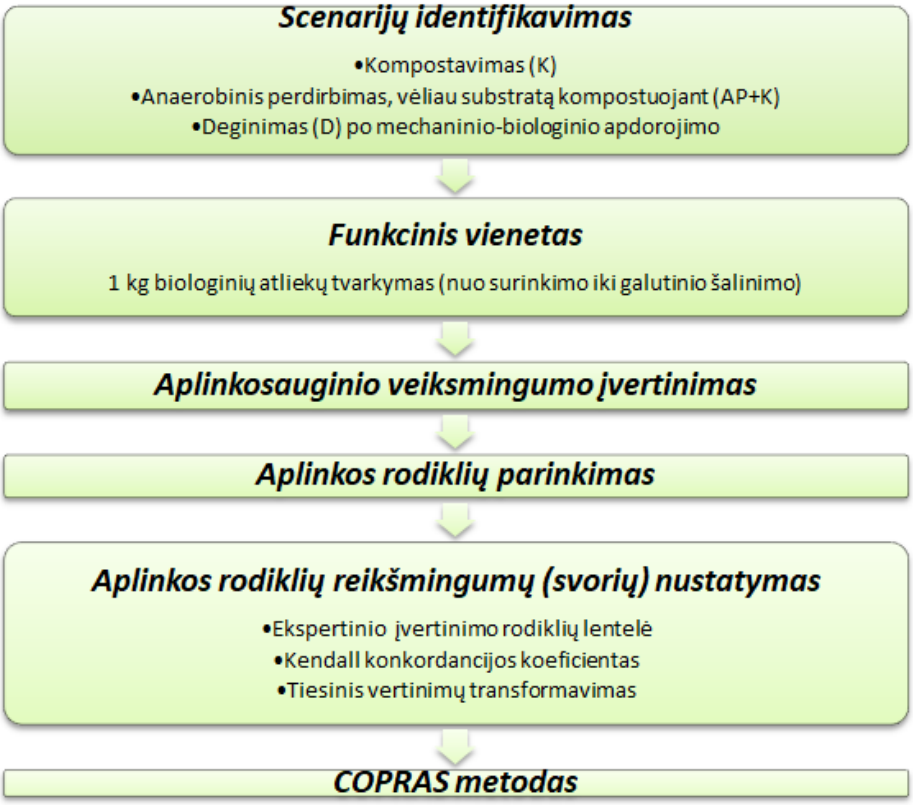
2.2. Tyrimo atlikimo eiga

2.2.1. Tinkamų technologijų ir funkcinio vieneto identifikavimas

Darbe netiesiogiai daroma prielaida, kad pirmieji du prioritetai, nurodyti atliekų hierarchijoje – prevencija ir pakartotinis naudojimas, išlieka geriausiomis galimybėmis biologinių atliekų tvarkymui, t. y. tvariausi. Tačiau darbas tiesiogiai nesusijęs su jais, o dėmesys skiriamas tolesniems atliekų hierarchijos etapams, t. y. biologinių atliekų srautui, kuriam susidaryti negalėjo būti užkirstas kelias ar jis negalėjo būti pakartotinai naudojamas ir jį reikia tvarkyti / apdoroti. Be to, jame taip pat atsižvelgiama į visus būtinus atliekų surinkimo ir transportavimo procesus. Tokia metodika sukuria struktūrizuotą sprendimų priėmimo sistemą, padedančią nustatyti, kokios alternatyvos biologinių atliekų tvarkymo būdams yra optimalios tiek, kiek jos sumažina objektyvias funkcijas, t. y. poveikį aplinkai ir ekonomikai. Tai gali būti naudinga sprendimų priėmėjams ir

politikos formuotojams dirbantiems atliekų tvarkymo srityje. Pritaikant scenarijinę analizę sudėtinga praktiškai įvertinti socialinį ir aplinkosauginį poveikį bendrai pasinaudojant tvarumo paradigma. Ekonominis faktorius vertinamas kiekvienos ūkinės veiklos metu, nes ekonomika yra pagrindinis socialinio gyvenimo variklis, tačiau ekonominiai scenarijų aspektai nebus vertinami šiame darbe. Tačiau galutinis sprendimas visada priklausys nuo tam tikrų aspektų, susijusių su sprendimų kontekstu (pvz., vykdoma valstybės politika), kurie šiame darbe nėra analizuojami, ir apskritai sprendimas priklauso nuo SP asmens pageidavimų.

Bendroji aplinkosauginio poveikio įvertinimo schema pavaizduota 2.1 pav.



2.1 pav. Aplinkosauginio poveikio įvertinimo schema (sudaryta autorės)

Socialiniu ir aplinkosauginiu aspektu teisinga biologinių atliekų vadyba turi remtis pokyčiais visoje grandinėje ir galimu resursu išsaugojimu. Remiantis šiuo požiūriu scenarijų analizės metu bus vertinami medžiagomis paremti proceso ištekliai. Įvesties ir išvesties duomenys apibūdina procesus, kurie vyksta aplinkosauginėje plotmėje ir kiekybiniu požiūriu.

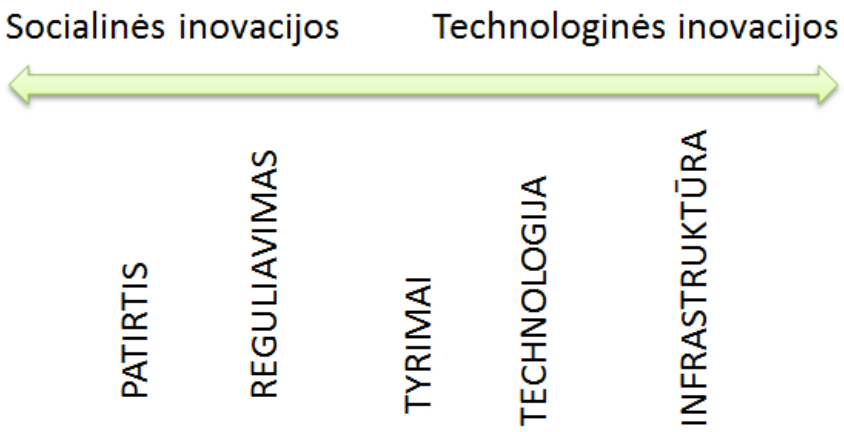
Kuriant biologinių atliekų tvarkymo sistemą remiantis žiedinės ekonomikos principais svarbu tiksliai suvokti Lietuvos atliekų tvarkymo sektoriaus dabartinę būklę. Šiuo metu Lietuvoje biologinės atliekos yra atskirai surenkamos iš komercinių ir industrinių įmonių, dalinai iš žemės ūkio, viešųjų erdvių, tačiau prievolės atskirti srautą susidarymo šaltinyje fiziniams asmenims – nėra. Scenarijų analizės metu pagrindiniai naudoti aspektai:

- ✓ atskiras biologinių atliekų surinkimas;

- ✓ transportavimas;
- ✓ biologinių atliekų tvarkymas (kompostavimas, anaerobinis perdirbimas, MBA, deginimas).

Analizės metu naudota ši informacija (2.2 pav.):

- ✓ įvairi savivaldybių, pramonės ir visuomenės patirtis;
- ✓ standartai, įstatymai, įvairios reguliavimo ir politinės normos (reguliavimas);
- ✓ tyrimų duomenys;
- ✓ techniniai ir technologiniai duomenys;
- ✓ duomenys apie infrastruktūrą.



2.2 pav. Technologinės ir socialinės inovacijos (autorės schema)

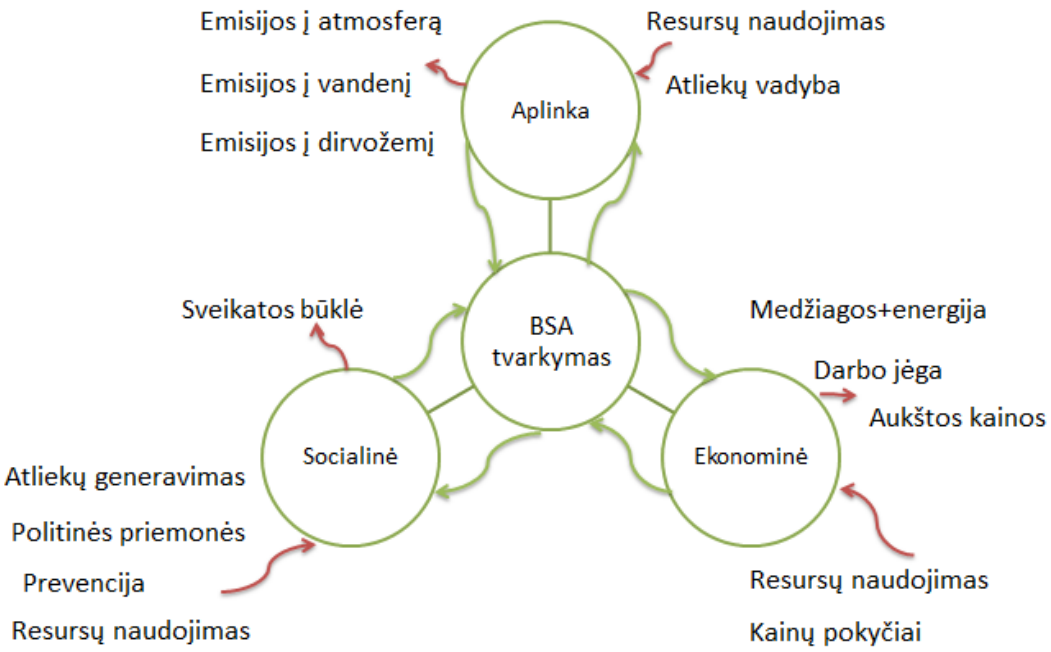
Socialiniu ir aplinkosauginiu požiūriu buvo išskirti stresiniai faktoriai: technologinės inovacijos ir socialinės inovacijos. Šie faktoriai apsprendžia sistemos galimybę stabiliai veikti kokybiškai ir kiekybiškai.

Išanalizavus biologinių atliekų tvarkymo sistemą Lietuvoje, buvo išskirti pagrindiniai scenarijų komponentai. Šie komponentai arba sistemos elementai yra apibūdinami kaip poveikio indikatoriai (2.3 pav.).

Detalizuojant scenarijus buvo numatyti konkretūs tikslai kiekvienu atveju. Šie tikslai apibūdina konkrečias sąlygas ar priemones, kurias būtina panaudoti ir laukiamus kiekvieno scenarijaus poveikio efektus kiekviename adaptavimo etape.

Šio darbo išskirtinumas yra tai, kad siekiant išsiaiškinti, kuris scenarijus yra priimtiniausias Lietuvai analizei yra naudojama kiekybinė ir kokybinė informacija. Scenarijai yra trumpai pristatomi ir aptariami, pateikiamos struktūrizuotos schemos, o galutiniame vertinime scenarijai palyginami aplinkosauginiu požiūriu, įvertinamas jų adaptyvumas žiedinės ekonomikos kontekste.

Kaip jau buvo minėta anksčiau, kiekvienas scenarijus apibūdina kitokį biologinių atliekų srauto tvarkymo sprendimo būdą ir remiantis įvairiais indikatoriais yra nustatomas kiekvieno scenarijaus poveikis aplinkai.



2.3 pav. Pagrindiniai BSA tvarkymo komponentai (sudaryta autorės)

Priklausomai nuo naudojamo biologinių atliekų srauto tvarkymo metodo į atmosferą gali skirtis įvairios emisijos. Nuo 2016 m. Lietuvoje pradėjo veikti MBAĮ skirti stabilizuoti BSA frakciją susidarančią komunalinių atliekų sraute naudojant biodžiovinimo procesą ir taip išvengiant šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų į atmosferą. Pagal veiklos pobūdį MBAĮ vykdoma veikla – mišrių komunalinių atliekų mechaninis – biologinis apdorojimas yra netiesioginė taršą mažinanti technologija, prisidedanti prie sąvartyne šalinamų atliekų (tame tarpe ir biologiškai skaidžių) kiekių mažinimo. MBA įrenginiuose mišrias komunalines atliekas apdorojant mechaniškai (rūšiuojant) ir biologiškai (biodžiovinimo būdu) išsiskiria kietosios dalelės (dulkės), amoniakas ir lakieji organiniai junginiai (kvapai). Kvapai išsiskiria atliekų apdorojimo metu. MBA įrenginių eksploatacijos metu susidaro šios nuotekos:

- ✓ buitinės nuotekos;
- ✓ gamybinės nuotekos (filtratas);
- ✓ neužterštos paviršinės (lietaus) nuotekos (nuo stogų);
- ✓ užterštos paviršinės (lietaus) nuotekos (nuo teritorijos).

MBA įrenginių eksploatacijos metu veiklos sąlygojama dirvožemio tarša ir erozija nenumatoma, nes viso atliekų apdorojimo proceso metu atliekos neturi tiesioginio sąlyčio su gruntu, tuo labiau gruntiniu vandeniu.

Kietas atgautas kuras. Biodžiovinant iš bendro KA srauto mechaniškai atskirtas biologines atliekas gali būti gaunamas aukštą energetinę vertę turintis produktas – kietas atgautasis kuras (toliau – KAK), kuris naudojamas kogeneracinėse jėgainėse pakeičiant iškastinį kurą. Apie 50 % KAK kiekio sudaro biodegraduojanti medžiaga, kuri yra neutrali CO_2 požiūru, taigi jis gali būti laikomas atsinaujinančiu energijos ištekliu. MBA įrenginiuose iš mišrių komunalinių atliekų srauto galima gauti 40–50 % KAK. KAK gali būti sandėliuojamas, prieš transportuojant jį į kogeneracines jėgaines.

2020 m. turėtų būti paruošta *II-oji Atsinaujinančių išteklių direktyva*. *Zero Waste Europe* organizacija siekia patobulinti *I-ojoje Atsiinaujinačių išteklių direktyvoje* numatytus biologinių atliekų tvarkymo reikalavimus, kadangi biologinės atliekos yra traktuojamos kaip biomasė ir tai neatitinka žiedinės ekonomikos keliamų tikslų, kuriuose ši dalis iš atliekų srauto turi būti perdirbama vadovaujantis atliekų hierarchijos tvarkymo principais (prevencija → perdirbimas→ energijos atgavimas).

Atliekant medžiagų ir energijos balansą atliekų vadyba užima vietą tarp antroposferos ir aplinkos. Atliekų vadyba kaip procesas nuolatos kinta. 20-ajame amžiuje dramatiški pokyčiai atliekų kompozicijoje sąlygojo atliekų tvarkymo tradicijų pakitimus. Pirma emisijos iš sąvartynų sąlygojo požeminio vandens užterštumą ir šiltnamio dujų emisijas. Antra sąvartynai užima daug vietos, todėl yra naudojama žemė, kurioje galėtų gyventi žmonės. Net ir įdiegus sanitarinius sąvartynus – problemos išspręsti – neįmanoma.

Šiandien atliekų vadyba tai integruota sistema, kuri remiasi įvairia patirtimi ir tvarkymo technologijomis, kurios kartu su atliekų prevencija ir įvairiomis atskirų srautų surinkimo strategijomis; atskiras perdirbamų atliekų surinkimas ar atliekų srautų tvarkymas naudojant biologinius, cheminius, fizinius ar terminius atliekų tvarkymo metodus; ir skirtingus sąvartynų tipus.

Pagrindiniai šiuolaikinės atliekų vadybos bruožai (kriterijai):

- ✓ apsaugoti žmonių sveikatą ir aplinką;
- ✓ išsaugoti resursus, tokius kaip medžiagos, energija ir erdvė;
- ✓ atliekos yra stabilizuojamos prieš patenkant į sąvartynus.

Medžiagų srauto analizė yra tinkama priemonė sprendžiant medžiagų vadybos klausimus, kadangi leidžia efektyviai įvertinti atliekų kompoziciją.

Siekiant atlikti medžiagų ir energijos balansą, reikia:

1. Numatyti atliekų tvarkymo technologijas ir nuspręsti kokia atliekų vadybinė sistema bus naudojama pasiremiant scenarijine analize.
2. Identifikuoti biologinių atliekų srautą.
3. Apibrėžti MEB schematiškai kuriamoms sistemoms.
4. Identifikuoti pagrindinius kriterijus ir išsirinkti tinkamiausius scenarijų analizės vertinimui.
5. Pagal pasirinktus kriterijus išsirinkti optimaliausią scenarijų, kurio atliekų tvarkymo sistema geriausiai atitinka keliamus reikalavimus.
6. Palyginti veikiančią sistemą su optimalia.

Funkcinio vieneto apibrėžimas ir jo vertinimo ribos. Remiantis nustatytais scenarijais ir sprendimų kontekstu (t. y. specifiniu būdu, kurio metu vertinimo rezultatai turėtų būti naudojami sprendimų priėmimo procesui paremti), turėtų būti apibrėžtas tinkamas funkcinis vienetas, kuris turi būti apibūdintas kiekybiškai ir kokybiškai kaip tiksli funkcija ar paslauga, tinkama numatytiems nagrinėjamiems scenarijams. Remiantis pasirinktu FV, sistemos ribos gali būti apibrėžtos ir turėtų apimti visus svarbiausius pagrindinius ir foninius procesus, reikalingus į FV įtrauktoms funkcijoms ir paslaugoms teikti.

Kiekvieno scenarijaus sistemos ribose, be pagrindinės tvarkymo technologijos(-ų), turėtų būti įtraukti atitinkami procesai, susiję su atliekų surinkimu ir transportavimu. Apskritai jie nėra vienodi visiems scenarijams ir kai kuriais atvejais jie tiesiogiai susiję su konkrečia(-omis) apdorojimo technologija(-omis) (pvz., komposto surinkimo schemos skirsis nuo surinkimo schemos deginimui). Be to, šiame etape turėtų būti identifikuotos visos analizuojamų sistemų pateiktos funkcijos / išvestys ir turėtų būti pasirinkta, kaip išanalizuoti sistemas, kurios naudoja daugiau nei vieną funkciją / produkciją. Reikėtų pažymėti, kad nors FV yra apibrėžtas nedviprasmiškai, tačiau kiekviename tvarkymo scenarijuje gali būti pateikiama daugybė pagalbinių duomenų, kurie nėra įtraukti į visus numatytus scenarijus (pvz., komposto generavimas, elektra, šiluma). Siekiant, kad BC požiūriu būtų galima palyginti skirtingų rezultatų scenarijų našumą, gali būti taikomi du alternatyvūs (bet matematiškai ekvivalentiški) metodai: sistemos išplėtimas arba pakeitimas.

Sistemos išplėtimas reiškia, kad reikia išplėsti sistemos ribinę vertę, įtraukiant papildomas funkcijas / produktų išvestis, kurios naudojamos kitose analizuojamose sistemose. Pavyzdžiui, palyginkime biologinių atliekų deginimą su jų kompostavimu: deginimo scenarijus turės apimti komposto scenarijuje pagamintą komposto tą patį kiekį / kokybę, o komposto scenarijuje reikės atsižvelgti į tą patį elektros energijos kiekį (ir (arba) į šilumą) sugeneruotą deginimo scenarijuje.

Pakeitimas – tai metodas, naudojamas šiame darbe pateiktuose modeliavimo pavyzdžiuose. Tai sukuriamos naudos, atsirandančios dėl tam tikros funkcijos / produkto perkėlimo į kitą lygiavertę funkciją / produktą, sukurtą modeliuojama sistema, apskaita. Paprastas pavyzdys –

atliekų deginimo metu pagaminta elektros energija pakeičia elektros energiją, kuri būtų pagaminta kitais būdais. Pasirinkto tipo funkcija / produktas, kuris yra pakeičiamas, yra labai svarbus BCV rezultatams ir be kitų veiksnių, priklauso nuo to, ar BCV atliekamas taikant priskyrimo metodiką ar atitinkamą modeliavimo metodą.

2.2.2. Aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Remiantis nustatytomis atliekų tvarkymo galimybėmis, pasirinkta FV ir visais procesais, įtrauktais į sistemos ribas, aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas turėtų būti atliekamas naudojant BCV modeliavimą, pvz. BCV pagrįstą programinę įrangą.

Remiantis BCV rezultatais (pvz., kiekvienos iš aptariamų poveikio kategorijų poveikio balais), vienas ar keli kintamieji turėtų būti pasirinkti dar 1-jame etape nurodytų atliekų tvarkymo scenarijų aplinkosauginio veiksmingumo vertinimui. Reikėtų pažymėti, kad tokio(-ų) kintamojo(-ų) pasirinkimas turi esminę reikšmę kadangi jis gali tiesiogiai daryti įtaką tvariausių tvarkymo galimybių nustatymui. Galimi pasirinkimai:

a) atsižvelgti į daugelį kintamųjų, kaip į poveikio aplinkai kategorijas, kurios nagrinėjamos BCV. Tai reiškia, kad, kiekviena poveikio kategorija bus nagrinėjama atskirai (t. y. atskirai nuo kitų);

b) išnagrinėti bendrą poveikį aplinkai (numatytą atskirų poveikio balų sumą po normalizavimo / skaitinių duomenų nustatymo);

c) įvertinti poveikio grupių pogrupio normalizuoto poveikio / skaitinių duomenų poveikio balus.

Pasirinkimas (a) yra objektyviausias ir nešališkas požiūris, nes atsižvelgiama į visas į BCV įtrauktas poveikio kategorijas.

Kadangi biologinės atliekos yra dalis biologiškai skaidžių atliekų, kurios paprastai sudaro 30–40 % (Lietuvoje 2017 m. – 49,26 %, maisto atliekos – 13,31 % , o šiame darbe ir žaliosios – 4,22 %), reikėtų atidžiai ištirti poveikį aplinkai, susijusį su 1 kg biologinių atliekų pirminiu surinkimo etapu, įvertinant visų rūšių namų ūkius. Literatūroje galima rasti daug tyrimų įvertinančių surinkimo (km/t) schemas. Iš tiesų, optimizuotos komunalinių atliekų valdymo sistemos, įskaitant biologinių atliekų surinkimą, nėra papildomos ar naujos atliekų surinkimo schemos (pvz., pridedant naują šios frakcijos rinkimo maršrutą ir paliekant likusią schemą nepakeistą).

Naudojama supaprastinta prielaida, kai scenarijuose, pagal kuriuos biologinės atliekos nėra atskirai surenkamos (t. y. deginamos), yra naudojamos tos pačios transporto priemonės kaip ir mišrių atliekų surinkimo atveju ir naudojant mažiau pažangias sistemas, pvz. didelius dyzelinius sunkvežimius. Patobulinta analizė turėtų būti grindžiama realiais duomenimis apie kilometražą, paimtais iš atvejų tyrimo, kuriame yra sukurta optimizuota surinkimo schema, taip pat atsižvelgiant į atstumą, kurį įveikia transporto priemonės, kai nevykdo surinkimo. Tai yra tie dalykai, kurie gali

būti optimizuoti, kai įdiegus atskirą biologinių atliekų surinkimą sumažėja komunalinių atliekų surinkimo dažnumas.

Nors biologinės atliekos gali būti tvarkomas tokiomis technologijomis kaip kompostavimas ir anaerobinis pūdymas, kitose tvarkymo technologijose, kuriose nėra atskiro biologinių atliekų srauto tvarkymo galimybės, jos paprastai apdorojamos kartu su kitais atliekų srautais. Tai yra, pavyzdžiui, deginimo atvejis, kai išdžiovintos biologinės atliekos yra deginamos kartu su kitomis atliekų rūšimis. Visais šiais atvejais poveikio aplinkai paskirstymas pasirinktam FV nėra paprastas ir gali prireikti daryti prielaidas ir (arba) supaprastinti įvedamus duomenis. Kruopščią BCV paskirstymo variantų analizę pateikia Allacker *et al.* (2014).

2.2.3. Rodiklių reikšmingumas ir COPRAS metodas

Daugiakriterio vertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymas. Dauguma šiuo metu žinomų ir taikomų daugiakriterio vertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymo metodų pagrįsti ekspertiniais vertinimais. Subjektyvų rodiklių reikšmingumų nustatymo pagrindą sudaro specialistų ekspertų vertinimai. Vertinimai priklauso nuo ekspertų kvalifikacijos, darbo specifikos, suinteresuotumo, darbo stažo ir pan.

Taikant ekspertinius metodus svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą, be kurio nustatymo sunku įvertinti tyrimo patikimumą ir alternatyvas. Šio skaičiavimo tikslas nustatyti, ar pakankamas atskirų ekspertų nuomonių sutapimo laipsnis, kad būtų galima remiantis ekspertinio įvertinimo rezultatais atlikti patikimą tyrimą. Ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį nusako konkordancijos koeficientas W.

Konkordancijos koeficiento W skaičiavimai, naudojantis sudaryta ekspertinio įvertinimo rodiklių lentele, atliekami tokia tvarka (Zavadskas *et al.* 1994; Kaklauskas 1999):

1. Pirmiausiai, įvertinus turimus ekspertų vertinimo rezultatus, nustatoma rangų sumą pagal formulę:

$$t_j = \sum_{k=1}^{r} t_{jk}\,, \tag{2.1}$$

čia r – ekspertų skaičius, k – ekspertų autoriteto koeficientas, t_{jk} – eksperto atliktas j rodiklio vertinimas.

2. Kitame etape nustatoma vidutinė rodiklio vertinimo reikšmė:

$$\overline{t_j} = \frac{\sum_{k=1}^{r} t_{jk}}{r}, \tag{2.2}$$

čia r – ekspertų skaičius, k – ekspertų autoriteto koeficientas, t_{jk} – eksperto atliktas j rodiklio vertinimas.

3. Nustatoma rangų kvadratų suma (dispersijos analogas):

$$S = \sum_{k=1}^{n} t_{jk} - \overline{t_j}\,, \tag{2.3}$$

čia n – įvertinamų rodiklių skaičius.

4. Nustatoma kiekvieno rodiklio įvertinimo rezultatų nukrypimo kvadratų suma pagal formules (įvertinama deviacija):

$$S = \sum_{j}^{n} \left(\sum_{k=1}^{r} t_{jk} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{r} t_{jk} \right), \tag{2.4}$$

$$T_k = \sum_{l=1}^{H_k} \left(h_k^3 - h_j \right), \tag{2.5}$$

čia T_k – k rangavime susijusių rangų rodiklis, H_k – lygių rangų skaičius k rangavime, h_k – lygių rangų, l susijusių rangų grupėje skaičius, įvertinant k ekspertui, t_{jk} – k eksperto rodikliui priskiriamas rangas, r – ekspertų skaičius, n – įvertinamų rodiklių skaičius.

5. Nustatomas konkordancijos koeficientas pagal formulę (Kendall 1975):

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)}, \tag{2.6}$$

Šia formule yra nustatomas ekspertų suderinamumas. Koeficientas nusako individualių nuomonių sutapimo laipsnį.

6. Nustatoma konkordancijos koeficiento rodiklio statistika pagal formulę (Kendall 1975):

$$\chi^2 = W \cdot r \cdot (n - 1) = \frac{12S}{r \cdot n \cdot (n + 1)}, \tag{2.7}$$

Jei S didesnis nei χ^2_{krit} pagal lentelę (reikšmė priklauso nuo laisvės laipsnių skaičiaus bei nustatymo tikslumo lygio), ekspertų rangavimo paisoma. Jei $\chi^2 \leq \chi^2_{krit}$, yra manoma, kad ekspertų nuomonė yra nesuderinta.

Galima pasiūlyti keletą kriterijų svorių skaičiavimo algoritmų, kuriuose naudojami kriterijų svorių rangai. Pertvarkymo tikslas yra priskirti svorių dydžius mažėjančia tvarka pagal rangus. Tokiu būdu geriausiam rangui (pirmajam) būtų priskiriama didžiausia reikšmė. Tiksliausią rezultatą suteikia tiesinis vertinimų transformavimas. Šiuo atveju kriterijų svorių reikšmes galima suskaičiuoti pagal formulę:

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^{r} t_{jk}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{r} t_{jk}}. \tag{2.8}$$

COPRAS metodas nagrinėjamų alternatyvų reikšmingumui ir prioritetiškumui nustatyti. COPRAS metodas yra sukurtas VGTU mokslininkų (Zavadskas *et al.* 1994; Kaklauskas 1999). Šiuo metodu nagrinėjamų variantų prioritetas ir reikšmingumas tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo alternatyvas adekvačiai apibūdinančių rodiklių sistemos, rodiklių reikšmių ir reikšmingumų dydžių. Rodiklių sistemą nustato, o rodiklių reikšmes ir pradinius reikšmingumo dydžius apskaičiuoja ekspertai. Visą šią informaciją gali pakoreguoti suinteresuotos grupės (gyventojai, užsakovas, vartotojai ir pan.), atsižvelgdamos į savo siekiamus tikslus ir esamas

galimybes. Todėl alternatyvų įvertinimo rezultatai išsamiai atspindi ekspertų ir suinteresuotų grupių bendrai pateiktus pradinius duomenis (Zavadskas *et al.* 1994; Kaklauskas 1999).

Nagrinėjamų alternatyvų reikšmingumas ir prioritetiškumas skaičiuojami penkiais žingsniais (Zavadskas *et al.* 1994; Kaklauskas 1999).

1 žingsnis. Sudaroma įvertinta normalizuota sprendimų matrica D. Šio etapo tikslas – iš lyginamų rodiklių gauti bedimensius (normalizuotus) įvertintus dydžius. Kai žinomi nedimensiai įvertinti dydžiai, galima palyginti visus skirtingų matavimo vienetų rodiklius. Tam taikoma tokia formulė:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} q_i}{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}, i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}, \tag{2.9}$$

čia x_{ij} – i rodiklio reikšmė j sprendimo variante; m – rodiklių skaičius; n – lyginamų variantų skaičius; q_i – i rodiklio reikšmingumas.

Kiekvieno rodiklio x_i gautų nedimensių įvertintų reikšmių d_{ij} suma visada lygi šio rodiklio reikšmingumui q_i :

$$q_i = \sum_{j=1}^{n} d_{ij}, i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}. \tag{2.10}$$

Kitaip sakant, nagrinėjamo rodiklio reikšmingumo q_i reikšmė proporcingai paskirstoma visiems alternatyviems variantams a_j, atsižvelgiant į jų reikšmes x_{ij}.

2 žingsnis. Apskaičiuojamos j variantą apibūdinančių kaštų (jų mažesnė reikšmė yra geresnė) S_{-j} ir naudos (jų didesnė reikšmė yra geresnė) S_{+j} rodiklių sumos. Jos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^{m} d_{+ij};\ S_{-j} \sum_{i=1}^{m} d_{-ij}, i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}. \tag{2.11}$$

Šiuo atveju S_{+j} (juo didesnis šis dydis (nagrinėjamo objekto „pliusai“), tuo daugiau įgyvendintų nagrinėjamo objekto reikalavimų) ir S_{-j} (juo mažesnis šis dydis (nagrinėjamo objekto „minusai“), tuo labiau pasiekti nagrinėjamo objekto reikalavimai) dydžiai išreiškia kiekvieno alternatyvaus objekto suinteresuotų grupių pasiektų tikslų laipsnį.

Bet kuriuo atveju visų alternatyvių objektų S_{+j} ir S_{-j} sumos visada yra atitinkamai lygios visoms kaštų ir naudos rodiklių reikšmingumų sumoms:

$$S_{+} = \sum_{j=1}^{n} S_{+j} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} d_{+ij},\ S_{-} = \sum_{j=1}^{n} S_{-j} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} d_{+ij},$$
$$i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}. \tag{2.12}$$

3 žingsnis. Lyginamų variantų santykinis reikšmingumas (efektyvumas) nustatomas remiantis juos apibūdinančiomis teigiamomis (objekto „pliusais“) S_{+j} ir neigiamomis (objekto

„minusais“) S_{-j} savybėmis. Kiekvieno objekto a_j santykinis reikšmingumas Q_j nustatomas pagal formulę:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \sum_{j=1}^{n} S_{-j}}{S_{-j} \sum_{j=1}^{n} \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}, j = \overline{1, n}. \quad (2.13)$$

4 žingsnis. Nustatomas objektų prioritetiškumas. Juo didesnis Q_j, tuo didesnis prioritetiškumas. Išanalizavus anksčiau pateiktą metodą galima padaryti išvadą, kad juo remiantis gana paprasta įvertinti biologinių atliekų tvarkymo sistemas, aiškiai matant šio proceso fizinę prasmę. Bet to, juo remiantis suformuotas apibendrintas (redukuotas) rodiklis Q_j tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo lyginamų rodiklių reikšmių x_{ij} ir reikšmingumų q_i santykinės įtakos galutiniam rezultatui (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijų daugiakriterės analizės rezultatai (adaptuota pagal Zavadskas *et al.* 1994: 131–139; Kaklauskas 1999)

Skaitinė informacija									
Nagrinėjami rodikliai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Lyginamosios alternatyvos					
				1	2	...	j	...	n
X_1	$ž_1$	q_1	m_1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1j}	...	d_{1n}
X_2	$ž_2$	q_2	m_2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2j}	...	d_{2n}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_i	$ž_i$	q_i	m_i	d_{i1}	d_{i2}	...	d_{ij}	...	d_{in}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
X_m	$ž_t$	q_t	m_t	d_{m1}	x_{m2}	...	d_{mj}	...	d_{mn}
Naudos rodiklių suma				S_{+1}	S_{+2}	...	S_{+j}	...	S_{+n}
Kaštų rodiklių suma				S_{-1}	S_{-2}	...	S_{-j}	...	S_{-n}
Alternatyvos reikšmingumas				Q_1	Q_2	...	Q_j	...	Q_n
Alternatyvos prioritetiškumas				P_1	P_2	...	P_j	...	P_n
Naudingumo laipsnis				N_1	N_2	...	N_j	...	N_n

* – Ženklas $ž_i(+(-))$parodo, kad atitinkamai didesnė (mažesnė) rodiklio reikšmė labiau atitinka lygmens reikalavimus.

5 žingsnis. Biologinių atliekų tvarkymo sistemų a_j naudingumo laipsnis N_j nustatomas pagal tokią formulę:

$$N_j = (Q_j : Q_{max}) \cdot 100\ \%, \quad (2.14)$$

čia Q_j ir Q_{max} – aplinkos poveikių reikšmingumai apskaičiuoti pagal (2.13) formulę.

Alternatyvų a_j naudingumo laipsnis N_j išreiškia reikalavimų pasiekimo lygį. Juo daugiau ir reikšmingesnių pasiekta tikslų, tuo naudingumo laipsnis didesnis. Kadangi suinteresuotas grupes

labiausiai domina tai, kokiu laipsniu nagrinėjami variantai yra vieni už kitus mažiau žalingesni aplinkai ir žmonių sveikatai, tai praktikoje išrenkant geriausią biologinių atliekų tvarkymo alternatyvą geriau vartoti naudingumo, o ne reikšmingumo sąvoką.

2.2.4. Žiediškumo įvertinimas beatliekės visuomenės indeksu

Per metus (2016 m. duomenys) Lietuvoje susidaro apie 1,272 mln. tonų komunalinių atliekų (2016 m. maisto ir virtuvės atliekos sraute sudarė apie 13,85 %, žaliosios – 6,45 %). Nuo 2019 sausio 1 d. savivaldybės privalo užtikrinti namų ūkiuose susidarančių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą susidarymo vietoje ir įdiegti rūšiuojamąjį surinkimą, išskyrus teritorijas (kaimiškąsias gyvenvietes, vienkiemius, mažus miestelius ar kitas teritorijas), kuriose vykdyti maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą ekonomiškai nenaudinga ar techniškai neįmanoma.

Žaliosioms atliekoms atskirai surinkti yra sukurta infrastruktūra, kurią sudaro 54 kompostavimo aikštelės, kuriose 2015 m. buvo sukompostuota 53 tūkst. t. atliekų ir 2015 m. virš 30 tūkst. t žaliųjų atliekų sukompostuota su nuotekų dumblu. Žaliųjų atliekų kompostavimo konteineriai išdalinti individualioms valdoms taipogi vykdomas kompostavimas aikštelėse ir / arba individualus kompostavimas atliekų susidarymo vietoje.

Gamybos ir kitų ūkinės veiklos atliekų 2015 m. susidarė ≈279 800 t gamybos ir kitos ūkinės veiklos biologiškai skaidžių atliekų (sąvartynuose pašalinta ≈3000 t). Siekiama užtikrinti, kad gamybos ir kitos ūkinės veiklos atliekos būtų sutvarkytos, – ūkio subjektų pareiga, atliekama laikantis bendrųjų atliekų tvarkymo sistemos reikalavimų bei principų ir bendradarbiaujant su veikiančiais atliekų tvarkytojais. Įmonėse, kurių ūkinėje komercinėje veikloje susidaro biologiškai skaidžios gamybos atliekos, biologiškai skaidžios gamybos atliekos išrūšiuojamos ir renkamos atskirai, jų nemaišant su kitomis atliekomis. Išrūšiuotos biologiškai skaidžios gamybos atliekos perdirbamos arba kitaip naudojamos vietoje arba perduodamos kitiems atliekų tvarkytojams. Įdiegus mechaninio biologinio apdorojimo įrenginius į juos 2017 m. (pirmieji pilni kalendoriniai metai) patekęs BSA kiekis siekė 363 108,067 t/metus.

Lietuvoje BSA tvarkymą reglamentuoja:

- ✓ Atliekų tvarkymo įstatymas;
- ✓ Valstybinis atliekų tvarkymo 2014-2020 metų planas;
- ✓ Atliekų tvarkymo taisyklės;
- ✓ BSA kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginiai reikalavimai;
- ✓ BSA naudojimo tręšimui laikinųjų aplinkosauginių reikalavimų aprašas;
- ✓ reikalavimai techninio komposto, techninio raugo ir stabilato kokybei ir naudojimui.

Atliekų tvarkymo įstatymas numato:

- ✓ visiems komunalinių atliekų turėtojams užtikrintas aprūpinimas biologiškai skaidžių atliekų sutvarkymo priemonėmis;

✓ užtikrinti, kad kiekvienoje savivaldybėje ir komunalinių atliekų tvarkymo regione būtų sudarytos sąlygos apdoroti (kompostuoti ir (ar) anaerobiškai pūdyti) komunalines biologiškai skaidžias atliekas.

Valstybinis atliekų tvarkymo planas numato:

✓ sukurti komunalinių biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo pajėgumus;

✓ užtikrinti, kad sąvartynuose šalinamos komunalinės biologiškai skaidžios atliekos iki 2020 m. sudarytų ne daugiau kaip 35 % 2000 m. susidariusių komunalinių biologiškai skaidžių atliekų;

✓ iki 2016 m. gyventojams ir kitiems asmenims (pavyzdžiui, gėlių parduotuvėms, kapinėms ir kita) užtikrinti žaliųjų atliekų surinkimą ir tvarkymą arba tokių atliekų tvarkymą jų susidarymo vietoje;

✓ iki 2016 m. baigti įrengti mechaninio biologinio apdorojimo įrenginius, kuriuose būtų atskiriamos ir apdorojamos biologiškai skaidžios atliekos, arba mechaninio apdorojimo įrenginius, kuriuose biologiškai skaidžios atliekos būtų apdorojamos prieš jas perduodant naudoti energijai gauti;

✓ iki 2019 m. įdiegti maisto / virtuvės atliekų rūšiuojamąjį surinkimą ir įrengti pakankamus pajėgumus atskirai surinktoms maisto / virtuvės atliekoms apdoroti;

✓ BSA tvarkymo infrastruktūros plėtrą pagal galimybes suderinti su komunalinių nuotekų dumblo tvarkymo infrastruktūra.

Darbo autorė siūlo pakeisti punktą apie BSA tvarkymo infrastruktūros derinimą su komunalinių nuotekų dumblo tvarkymo infrastruktūra, kadangi neužkrėsto srauto maišymas su nuotekų dumblu sąlygoja maisto medžiagų švaistymą ir užkrečia srautą, tokiu būdu gautas kompostas tampa netinkamu naudoti žemės ūkyje.

AM užsakė darbą „Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas“, kuris buvo patvirtintas 2016 m. gruodžio 29 d. protokoliniu nutarimu Nr. D4223 ir atliktas Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialo Agrocheminių tyrimų laboratorijoje bendradarbiaujant su UAB „EcoIri Solution“. Darbe yra pateikta ši informacija:

✓ Lietuvoje susidarančių įvairių kompostų ir raugų kokybės ir užterštumo tyrimai;

✓ kompostai, raugai suskirstyti į klases ir kategorijas;

✓ pateikti pasiūlymai, kokiu dažnumu ir kokiais metodais vadovaujantis turi būti atliekami kompostų, anaerobinių raugų užterštumo tyrimai ir įvertinamas jų priskyrimas atitinkamoms klasėms;

✓ pasiūlytos kompostų, anaerobinių raugų naudojimo normos ir naudojimo rekomendacijos, pasiūlyti reikalavimai (kriterijai), kurie kompostai, raugai gali būti priskiriami produktams, o ne atliekoms.

AM, siekdama patikslinti gautus rezultatus užsakė darbą „Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas“. Kuriuo vadovaujantis numatoma rengti BSA tvarkymą reglamentuojančių teisės aktų pakeitimų projektus, patikslinant užterštumo kriterijus bei nustatant kriterijus, kuriais vadovaujantis tam tikri kompostai, raugai būtų laikomi produktais, o ne atliekomis. Prieš įtvirtinant kriterijus kompostams – produktams, raugams – numatoma kreiptis į LR ūkio ministeriją, kuri atsakinga už reikalavimų produktams nustatymą, dėl tokių kompostų, raugų sertifikavimo tvarkos nustatymo.

Atskiras maisto atliekų surinkimas yra dažnai pirmiausiai politiškai motyvuotas sprendimas, ir tik kai kada – skatinamas ekonominiu sumetimu. Ekonominis šio sprendimo patrauklumas priklauso nuo:

- ✓ esamos įstatymų bazės ir bendros politinės strategijos (atliekų, energetikos, transporto, klimato kaitos ir pan.), t. p. subsidijų buvimu atitinkamiems ar gimininingiems projektams;
- ✓ turimų infrastruktūrų (transporto, logistikos, energijos gamybos pajėgumų (pvz. bioreaktorių), energijos perdavimo sistemų (pvz. dujų tinklų), t.t.);
- ✓ pirminių žaliavų ir energijos nešėjų (naftos) ir elektros kainų;
- ✓ galimybių pridėti kitus antrinių žaliavų šaltinius (dumblo, mėšlo, ir žemės ūkio, maisto perdirbimo įmonių, maitinimo įstaigų atliekas (priklauso nuo buvimo vietos ir kiekių)).

2.2 lentelė. Biologinių atliekų sektoriaus tvarkymo privalumai ir trūkumai (sudaryta autorės)

Privalumai	Trūkumai
1. Biologinių atliekų potencialus panaudojimas maisto medžiagų ir/arba energijos atgavimui. 2. Energetinė nepriklausomybė. 3. Didėjančios pirminių žaliavų kainos (pakeičia pirmines žaliavas). 4. Potencialus išteklis. 5. Naujų darbo vietų atsiradimas. 6. Didesnis visuomenės dėmesys aplinkosauginėms problemoms. 7. Visuomenės švietimas. 8. Verslas plačiąja prasme.	1. Sunku pakeisti visuomenės požiūrį. 2. Trūksta specialistų/ekspertų. 3. Prasta vadyba. 4. Korupcija. 5. Trūksta politinės motyvacijos. 6. Sudėtingas surinkimas mažiau urbanizuotose vietovėse.

Lietuvos situacija biologinių atliekų tvarkymo sektoriuje panaši į besivystančių šalių, todėl sąlygas galima traktuoti kaip sudėtingas. Svarbiausios problemos, kurios turi būti sprendžiamos siekiant darnaus biologinių atliekų tvarkymo:

- ✓ žemas darbo jėgos apmokestinimas, kuris iššaukia netinkamų technologijų atliekų srauto valdymui naudojimą, pvz. atvirą kompostavimą;

✓ komunalinių atliekų sraute dominuoja organinė frakcija (2017 m. 46,0 %), kuri užkrečia galimas antrines žaliavas, todėl biologinės atliekos turi būti atskirtos dar jų susidarymo vietoje;

✓ jei biologinių atliekų srautas yra deginamas, tai yra prarandamos vertingos medžiagos, bei deginimo atliekomis ir emisijomis yra užkrečiamos maisto medžiagų tiekimo grandinės.

Biologinių atliekų sektoriaus tvarkymo privalumai ir trūkumai pateikti 2.2 lentelėje.

Žiediškumo įvertinimas kiekvienam regione pritaikius BCV aplinkosauginiu požiūriu darniausią technologiją. Informacija apie sukompostuotus BSA kiekius pagal skirtingus RATC pateikti 2.3 lentelėje (2016 m. duomenys). Galima teigti, kad Kauno regiono gyventojai intensyviai kompostuoja namų ūkiuose ir palyginus su Vilniaus regiono duomenimis, (kuris turi daugiau gyventojų) šis kiekis yra didesnis daugiau nei 3 kartus.

2.3 lentelė. Iš viso apdorota BSA t/metus, 2016 m. (LRATCA duomenys)

RATC	Sukompostuota namų ūkiuose	Sukompostuota įrenginiuose	Viso sukompostuota
ARATC	9 400	24 078	33 478
Kauno RATC	16 500	85 488	101 988
Klaipėdos RATC	6 600	13 550	20 150
MAATC	6 800	24 987	31 787
PRATC	7 650	20 371	28 021
ŠRATC	8 882	40 605	49 488
Tauragės RATC	3 947	8 742	12 688
Telšių RATC	6 500	19 158	25 658
URATC	7 350	14 811	22 161
VAATC	4 900	53 998	58 898
Iš viso	78 529	305 787	384 317

Informacija apie stabilizuoą BSA kiekį, biodžiovinimo įrenginių kiekį MBA įrenginiuose 2016 m. ir regione naudojamą biologinio apdorojimo technologiją nurodyta 2.4 lentelėje. Regionuose naudojama – anaerobinis kompostavimas (4 RATC) ir aerobinis kompostavimas (3 RATC), Klaipėdoje nėra MBA įrenginių, o Vilniaus MBA ruošia KAK.

2.4 lentelė. Informacija apie biodžiovinimo tuneliuose stabilizuotą BSA kiekį 2016 m. (AAA duomenys)

RATC	Biodžiovinimo tuneliai MBAĮ, vnt.	Biologinio apdorojimo technologija	Priimtas BSA kiekis, t/m
ARATC	7	Anaerobinis kompostavimas	15 987
Kauno RATC	TIPK nėra informacijos	Aerobinis kompostavimas	84 173

Klaipėdos RATC	–	–	36 241
MAATC	6	Aerobinis kompostavimas	12 306
PRATC	15	Anaerobinis kompostavimas	17 459
ŠRATC	7	Aerobinis kompostavimas	13 688
Tauragės RATC	–	–	–
Telšių RATC	15	Anaerobinis kompostavimas	17 024
URATC	10	Anaerobinis kompostavimas	16 943
VAATC	16	–	63 175
Iš viso	**66**	–	**276 996**

Informacija apie BSA perdirbimo pajėgumus biodžiovinimo tuneliuose ir žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelėse pateikta 2.5 lentelėje ir leidžia teigti, kad žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelių potencialas nėra pilnai išnaudojimas.

2.5 lentelė. BSA perdirbimo pajėgumai 2016 m. (LRATCA ir AAA duomenys)

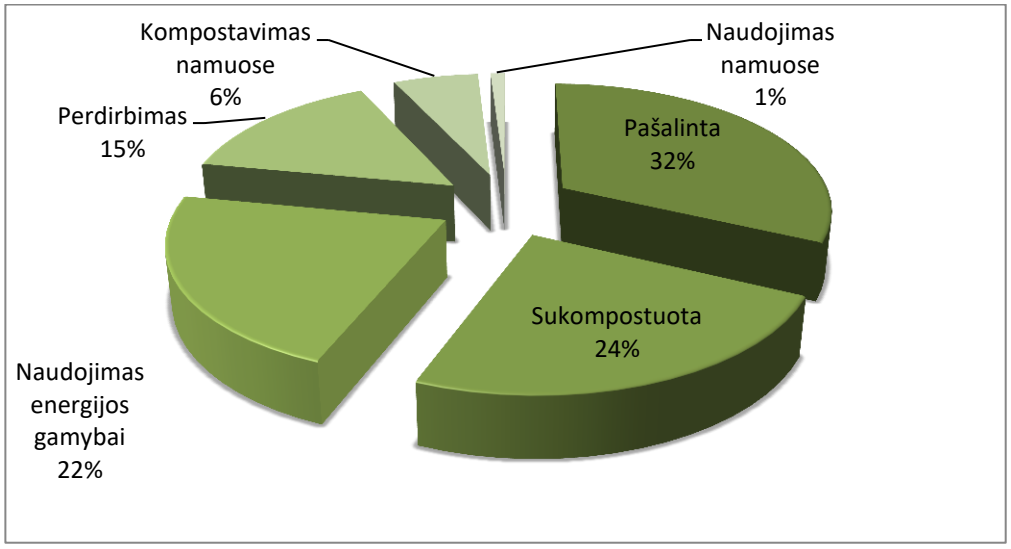
RATC	Biodžiovinimo tunelių pajėgumas, t/m	Priimtas BSA kiekis MBA, t/m	Žaliųjų atliekų kompostavimo pajėgumai, t/m	Priimtas BSA kiekis į ŽAKA ir nuotekų dumblo aikšteles, t/m
ARATC	20 154	15 987	25 500	8 091
Kauno RATC	100 000	84 173	25 000	1 315
Klaipėdos RATC	–	36 241	25 000	13 550
MAATC	23 400	12 306	25 000	12 681
PRATC	22 000	17 459	8 000	2 912
ŠRATC	35 000	13 688	16 000	26 917
Tauragės RATC	–	–	12 000	8 742
Telšių RATC	20 000	17 024	8 000	2 134
URATC	15 000	16 943	20 000	14 811
VAATC	138 600	63 175	40 000	53 998
Iš viso	**374 054**	**276 996**	**204 500**	**145 151**

Komunalinių atliekų naudojimas energijos gamybai ir kitoms technologijoms žiedinės ekonomikos veiksmų plane 2020 m. pateikti 2.6 lentelėje. Planuojamų sutvarkyti komunalinių atliekų kiekių išraiška aiškiai nurodo, kad žiedinėje ekonomikoje yra svarbiausias žaliavų atgavimas t. y. kompostavimas ir medžiagų naudojimas energijos gamybai 22 %.

2.6 lentelė. Komunalinių atliekų naudojimas energijos gamybai žiedinės ekonomikos veiksmų plane (LRATCA duomenys)

Tvarkymo būdas	2016 m.	Žiedinės ekonomikos veiksmų plane 2020 m.	Naudojimas energijos gamybai po procesų
Perdavimas perdirbti	181 906	300 000	80 000
Kompostavimas	384 317	480 000	200 000
Naudojimas energijos gamybai	278 054	300 000	300 000
Šalinimas sąvartyne	394 433	113 000	0
Iš viso	**1 247 631**	**1 193 000**	**580 000**

Komunalinių atliekų naudojimas energijos gamybai ir kitoms technologijoms žiedinės ekonomikos veiksmų plane 2020 m. procentine išraiška pateikti 2.4 pav.



2.4 pav. Komunalinių atliekų tvarkymo būdai 2016 m., % (LRATCA duomenys)

Siekiant, kad atliekos taptų ištekliais, reikia:

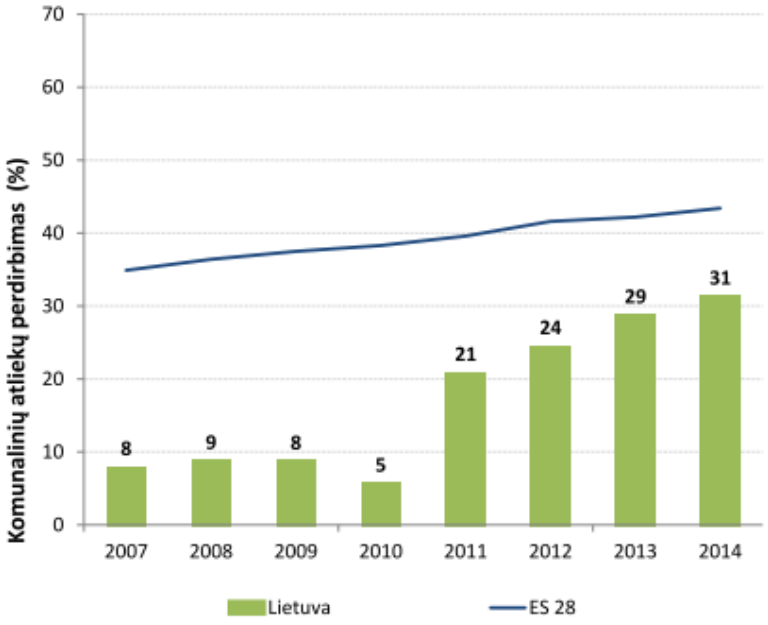
- ✓ visiškai įgyvendinti Sąjungos atliekų teisės aktus, kuriuose numatyta atliekų hierarchija; užtikrinti rūšiuojamąjį atliekų surinkimą; pasiekti atliekų šalinimo sąvartynuose mažinimo tikslus ir kt.;
- ✓ mažinti gyventojui tenkantį atliekų kiekį ir bendrą atliekų kiekį.

Būtina siekti gauti energiją tik iš neperdirbamų atliekų ir atsisakyti perdirbamų ar naudoti tinkamų atliekų šalinimo sąvartynuose. 12-as darnaus vystymosi tikslas skatina šalis iki 2030 m. gerokai sumažinti atliekų kiekį prevencijos, mažinimo, perdirbimo ir pakartotinio naudojimo priemonėmis.

ES požiūris į atliekų tvarkymą pagrįstas atliekų hierarchija, rodančia, kam teikti pirmenybę formuojant atliekų politiką ir organizuojant atliekų tvarkymą. Tai prevencija, pakartotinis

naudojimas (paruošimas pakartotinai naudoti), perdirbimas, kitas naudojimas ir – mažiausiai priimtinas sprendimas – šalinimas, įskaitant šalinimą sąvartynuose ir deginimą negaunant energijos.

Pagrindiniais valstybių narių rezultatų vertinimo rodikliais turėtų būti pažanga siekiant perdirbimo tikslų ir tinkamų komunalinių atliekų tvarkymo ir atliekų prevencijos planų priėmimas.



2.5 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo nuošimčiai 2007-2014 m. (*Eurostat*)

2014 m. komunalinių atliekų Lietuvoje susidarė šiek tiek mažiau už ES vidurkį (433 kg gyventojui per metus, palyginti su vidutiniškai maždaug 474 kg). 2014 m. Lietuva sumažino sąvartynuose šalinamų komunalinių atliekų kiekį (63 % 2013 m., 58 % 2014 m.), palyginti su 2013 m. Tačiau jis vis dar gerokai viršijo ES vidurkį (28 %). Pagrindinis komunalinių atliekų tvarkymo būdas Lietuvoje tebebuvo jų šalinimas sąvartynuose. Kompostavimo dalis išaugo nuo 8 % 2013 m. iki 10 % 2014 m. (ES vidurkis 2014 m. – 16 %).

Nors 2014 m. perdirbamų komunalinių atliekų dalis (31 %) šiek tiek padidėjo, palyginti su ankstesniais metais (2014 m. ES vidurkis siekė 44 %), ši stagnacija gali sukliudyti Lietuvai 2020 m. pasiekti 50 % perdirbimo tikslą, kaip parodyta 2.5 pav. Skaičiuodamos perdirbimo nuošimtį ir vertindamos pažangą siekiant 2020 m. tikslo perdirbti 50 % komunalinių atliekų, valstybės narės gali pasirinkti kitą metodą nei tą, kuris naudojamas *Eurostato.*

2.3. Antrojo skyriaus išvados

1. Identifikuota scenarijų aplinkosauginio poveikio rodiklių sistema leidžia įvertinti nagrinėjamą objektą pritaikant konceptualų būvio ciklo mąstymą. Aplinkosauginio poveikio

vertinimui siūloma taikyti BCV pagrįstą programinę įrangą prieš tai identifikavus scenarijus ir funkcinį vienetą.

2. Aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas ir aplinkos rodiklių parinkimas priklauso nuo nagrinėjamo uždavinio problemos, tikslo, turimos informacijos bei rezultatų gavimo tipo. BCV pagrįsta programinė įranga aiškiai neapibrėžia geriausio pasirinkimo, todėl sudėtingus uždavinius tikslinga spręsti pritaikant ir daugiakriterės analizės metodus, kurie visapusiškai analizuotų iškeltą problemą.

3. Sprendžiant sudėtingus atliekų tvarkymo uždavinius ir siekiant gauti pagrįstą sprendimą, siūloma papildomai nusistatyti aplinkos rodiklių subjektyvius reikšmingumus pagal ekspertinį vertinimą ir taip padidinti BCV pagrįstos programinės įrangos skaičiavimo patikimumą.

4. Biologinių atliekų aplinkosauginiam daugiakriterio vertinimo sprendimų paramos ir rekomendacijų sistemos kūrimui siūloma taikyti COPRAS metodą dėl jo gebėjimo įvertinti kiekybinių ir kokybinių rodiklių visumą, derinant skirtingus suinteresuotų grupių tikslus.

5. Biologinių atliekų tvarkymo sistemos kiekviename regione žiediškumui įvertinti siūloma taikyti Zamano (2013) beatliekės visuomenės indeksą, kuris leidžia įvertinti pirminių žaliavų pakeitimo efektyvumą, energijos regeneravimą, šiltnamio efektą sukeliančių dujų sumažėjimą ir vandens išsaugojimo rodiklius.

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ ANALIZĖ

Remiantis TEBCDS vadovu, esamos situacijos analizė, yra „A“ mikro– lygmens sprendimai. Atsižvelgiant į tai, kad negalima gauti išsamių ir konkrečių duomenų apie visus tyrime nurodytus procesus ir veiklą, duomenų bazė buvo sukurta iš duomenų, gautų iš EcoInvent v2.2 (Hischier et *al.* 2010) ir ELCD 2.0 (Europos Komisija 2008) pateiktų duomenų. Scenarijų ribos buvo išplėstos, įtraukiant pakeitimus ir įvertinant tvarkymo procesų daugialypiškumą. Modeliavimo scenarijai simbolizuoja tipišką Europos padėtį, kai reikia padėti nuspręsti, kaip tvarkyti biologines atliekas. Dauguma naudojamų duomenų yra susiję su laikotarpiu nuo 2010 iki 2017 m.

Modeliavime pasirinktas FV yra 1 kg biologinių atliekų tvarkymas (nuo surinkimo iki galutinio šalinimo), įskaitant visus su šios frakcijos tvarkymu susijusius papildomus duomenis. Šiame darbe FV ir į sistemą įvežtų atliekų kiekis laikomas pastoviu pagal būvio ciklo inventorizaciją (toliau – BCĮ). Pradinių duomenų matrica pateikta priede A.

Nuodugniai ištirtos atliekų tvarkymo aplinkybės, tam kad būtų galima nustatyti visus biologinių atliekų tvarkymo būdus, kurie bus vertinami. Šiuo atveju vertinami kompostavimas (K) laisvuose biodžiovinimo įrenginiuose, anaerobinis perdirbimas, vėliau substratą kompostuojant (AP+K) ir deginimas (D) po MBA (dabartinė situacija). Tai apima tiek jau veikiančias technologijas, tiek tas, kurios gali būti įdiegtos (ateities scenarijai). Darbe įvertinta tai, kad ateityje, privalomai atskiriant biologinių atliekų srautą iš mišrių komunalinių atliekų srauto, jis privalės būti tvarkomas naudojant naują metodiką, nes dabartinė MBA ir tolimesnis deginimas nėra tinkama atskirai surinktam srautui tvarkyti.

3.1. Skirtingų atliekų tvarkymo scenarijų aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Sistemos bendrieji duomenys – tai komunalinės biologinės atliekos, transportavimo duomenys ir įrenginių procesams sunaudojama energija. Visų pirma Lietuvos energetinis derinys buvo priimtas tiek už sunaudotą elektros energiją, tiek ir dėl sunaudotos energijos išvengimo. AP+K scenarijaus atveju, buvo pagaminta atsinaujinanti energija ir grąžintos biologinės atliekos komposto pavidalu, kuris mechaniškai buvo padalintas į skystąją ir kietąją frakcijas. Kietoji anaerobinio raugo frakcija buvo apdorota aerobiniu būdu ir taip organinės trąšos buvo gautos (Di Maria *et al.* 2014: 2382–2392), o skysta frakcija buvo apdorota nuotekų valymo įrenginiuose dėl to, kad Lietuvoje negalima naudoti tokio tipo skysto anaerobinio raugo kaip trąšų. Deginimo metu yra gaminama elektros energija ir sukuriamos išlakos, kurias reikia papildomai tvarkyti. Apdorojant komunalines biologines atliekas mechaninio–biologinio apdorojimo įrenginiuose jos yra stabilizuojamos, bet ne perdirbamos ir vėliau siunčiamos į sąvartyną, surenkant biologinių atliekų srautą atskirai ir panaudojant minėtą technologiją, proceso metu yra atgaunamas kompostas. Remiantis šiais

tvarkymo scenarijais, sistemoje naudojama informacija apibūdina kaip deginimo būdu pagamintos elektros energijos ir AP būdu pagamintos elektros energijos kiekis; skystųjų, kietųjų ir dujinių teršalų išsiskyrimas iš deginimo, AP, kompostavimo ir biodžiovinimo įrenginių; surinkimui skirto transporto priemonių kaštų bei pagamintų organinių trąšų kiekio (priedas A).

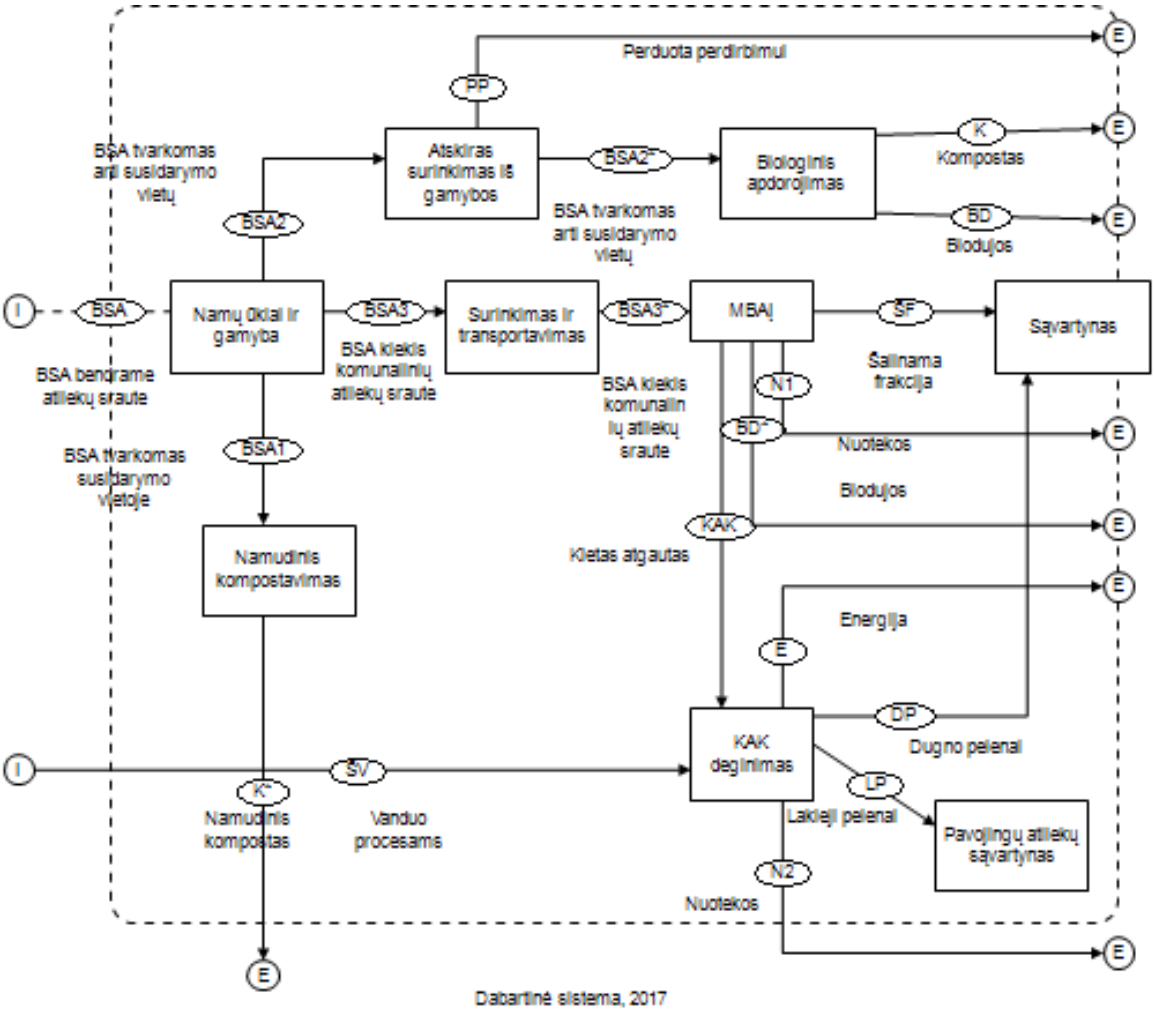
Atsižvelgiant į modeliavimo aprašymą pateikta ankstesniame skyriuje, trys scenarijai yra nagrinėjami ir pateikti lentelėje, remiantis prielaidomis, kad visi tvarkymo įrenginiai jau yra pastatyti ir visiškai veikia. Lentelėje 3.1 taip pat pateikiami pagrindiniai kiekvienos apdorojimo technologijos elementai, taip pat svarbios modeliavimo prielaidos.

3.1 lentelė. Modeliavime naudojamų technologijų aprašymai ir pagrindinės modeliavimo prielaidos (sudaryta autorės)

Akronimas	Pilnas pavadinimas	Trumpas aprašymas ir pagrindinės modeliavimo prielaidos
D	Deginimas po stabilizavimo	Modeliuojama technologija yra grotelinė deginimo krosnis su šlapiu dūmtakių valymu. Degimo metu susidariusią energiją numatyta išgauti generuojant kombinuotą šilumos ir elektros energiją. Energijos išgavimo efektyvumas iš šilumos ir elektros energijos nustatytas nuo 14 % iki 46 % mažos šiluminės vertės (toliau – MŠV) nuo sunaudotų atliekų, atitinkamai. Pateikiamos prielaidos: ✓ šiluma ir elektros energija yra panaudojama vietiniame elektros energijos tiekimo tinkle; ✓ dugno pelenai yra stabilizuojami ir panaudojami kaip grunto užpildymo medžiaga, pakeičianti žvyrą; ✓ lakieji pelenai siunčiami į pavojingųjų atliekų sąvartyną.
AP+K	Anaerobinis pūdymas ir kompostavimas	Pagal šį scearijų sumodeliuota technologija yra šlapias, vienos stadijos skaidymas termofilinėmis sąlygomis. Pagrindinis produktas yra biodujos su numatyta dujų išeiga 150 Nm^3 biodujų/tonai biologinių atliekų, kuriose yra 63 % (pagal tūrį) metano. Biodujos deginamos variklyje gaminant elektrą, kurio efektyvumas yra 25 % MŠV biodujų. Šią elektrą numatyta išsiųsti į tinklą. Pagamintas anaerobinis raugas yra stabilizuojamas ir naudojamas kaip trąša agrikultūrinėms reikmėms. Kompostavimo etape buvo numatyta sunaudoti 3 kWh elektros energijos tonai anaerobinio raugo.

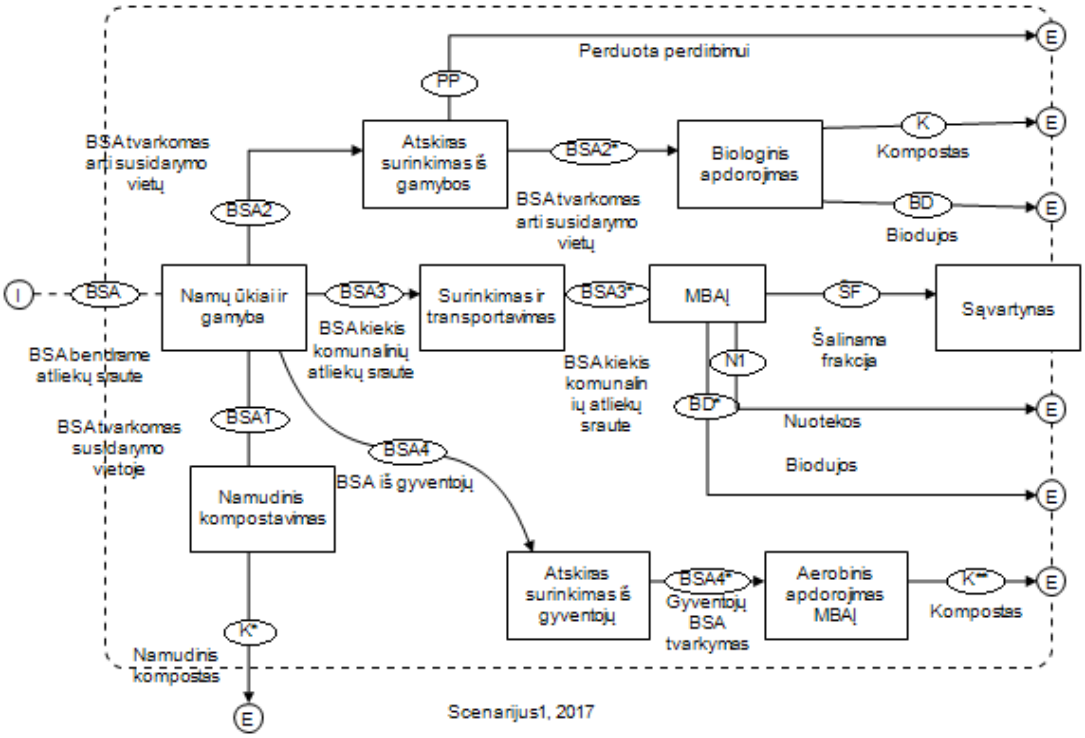
K	Kompostavimas	Čia sumodeliuota technologija yra uždaro kompostavimo sistema su ventiliacija ir išmetamųjų dujų nukreipimu į biofiltrą kvapų kontrolei (panaudojami MBA esantys nenaudojami biodžiovinimo tuneliai). Kompostavimo procese numatyta sunaudoti 3 kWH elektros energijos tonai biologinių atliekų. Pagrindinis produktas yra kompostas, kuris tiesiogiai panaudojamas kaip trąša agrikultūrinėms reikmėms.

Kiekvieno scenarijaus įvertinimo procesai išsamiai aprašyti 3.1, 3.2 ir 3.3 paveiksluose ir kiekybiškai išreikšti priede A, kuriuose yra visi lentelėje nurodyti procesai, visi būtini elektros energijos, degalų, medžiagų, taip pat atliekų transportavimo ir surinkimo etapų duomenys.



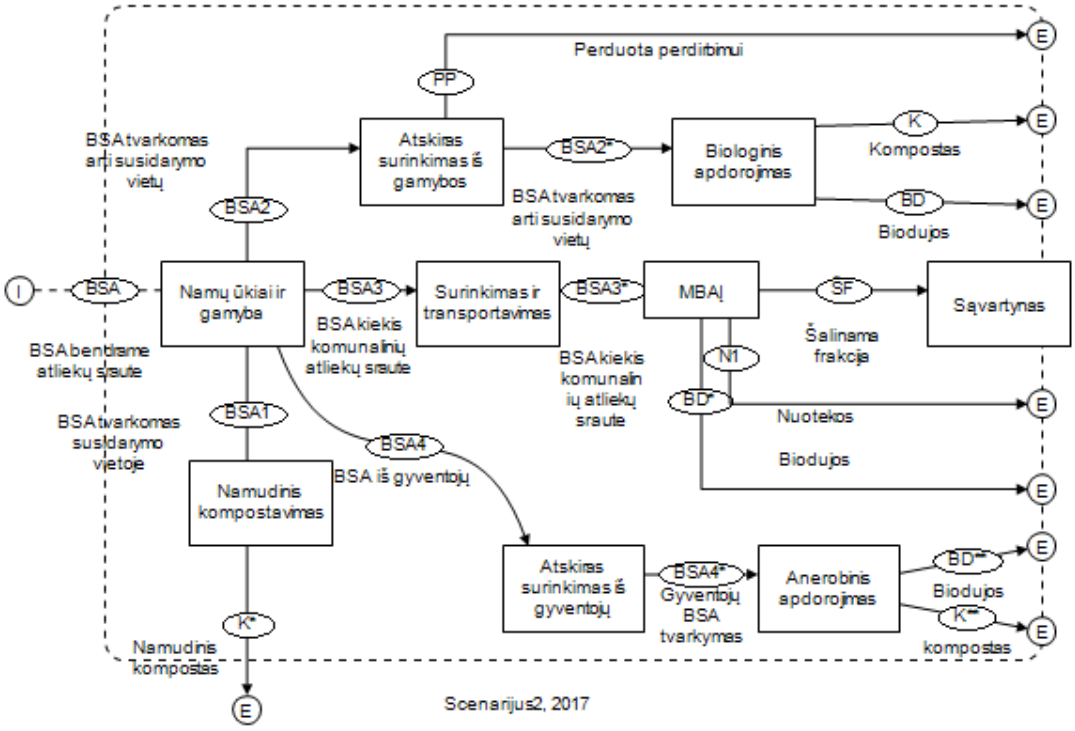
3.1 pav. Deginimas po stabilizavimo (sudaryta autorės)

Kalbant apie transportavimą, visų scenarijų atveju buvo daroma prielaida, kad atliekų tvarkymo įrenginys yra 50 km atstumu nuo surinkimo taško ir kad transporto priemonės taip pat turi grįžti į tą vietą.



3.2 pav. Kompostavimas laisvuose biotuneliuose MBAĮ (sudaryta autorės)

Šitokie scenarijai buvo pasirinkti įvertinus technologines biologinių atliekų srauto tvarkymo galimybes. Šiuo atveju svarbiausia vadovautis atliekų hierarchijos principais ir siekti biologinių atliekų susidarymo prevencijos arba perdirbimo (kadangi šie metodai yra palankiau vertinami nei tik energijos atgavimas). Kokybiškai scenarijai aptarti 3.1 lentelėje.



3.3 pav. Anaerobinis apdorojimas ir anaerobinio raugo kompostavimas (sudaryta autorės)

Darbe aptariami ir atliekų generavimo šaltiniai ir atskiras biologinių atliekų srauto surinkimas. Siūloma vėliau atlikti detalesnę analizę apie biologinių atliekų susidarymo šaltinius ir įvertinti tiekimo grandinėje susidarančias biologines atliekas. Tokiu būdu būtų siekiama darnaus biologinių atliekų tvarkymo visoje tiekimo grandinėje: nuo pagaminimo iki galutinio šalinimo.

Remiantis nustatytomis atliekų tvarkymo galimybėmis, pasirinktu FV ir visais procesais, įtrauktais į sistemos ribas, aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas atliekamas naudojant BCV pagrįstą programinę įrangą. Modeliavimas atliktas remiantis būvio poveikio vertinimo skaičiavimais, atliktais su SimaPro 7.2 ir grindžiami IMPACT 2002+, bei EcoInvent 2.2 duomenų baze.

Siekiant patobulinti analizę į programą buvo suvesti duomenys apie Lietuvos energetinį balansą, kadangi Lietuvoje vyrauja energetiškai neįprasta padėtis. Statistikos departamento duomenys pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Lietuvos energetinis balansas 2016 m. (Statistikos departamento duomenys)

Kuro ir energijos sąnaudos	**Tj**	**%**
Akmens ir rusvosios anglys	6 198	3,93
Durpės kurui	340	0,22
Malkos, kurui skirtos medienos ir žemės ūkio atliekos	50 472	32
Biodujos ir skystasis biokuras (bioetanolis, bio-ETBE (etil-tercijo-butil-esteris), biodyzelinas (metilo esteris)	3 707	2,35
Antrinis kietasis kuras (koksas ir puskoksis, anglių, durpių briketai, medžio anglys, durpių granulės)	1 196	0,76
Pramoninės ir komunalinės atliekos	3 106	1,97
Gamtinės dujos	771 04	48,92
Kita	9 531	6,05
Hidroelektrinės	1 634	1,04
Saulės (fotovoltų) elektrinės	236	0,15
Vėjo jėgainės	4 089	2,59
Viso	**15 7613**	**100**

Surinkimo etapas laikomas specifine technologija, pvz., bendrosios atliekų apdorojimo technologijos, kurios gali būti skirtos tik biologinėms atliekoms, surinkimo tipas apskritai skiriasi nuo to, kuris numato technologijas, kurios tvarko kietąsias atliekas. Tai atsispindi modeliavimo metu priimtose surinkimo ir transportavimo sąnaudose (priedas A).

Naudojama supaprastinta prielaida, kai scenarijuose, pagal kuriuos biologinės atliekos nėra atskirai surenkamos (t. y. deginamos), yra naudojamos tos pačios transporto priemonės kaip ir

mišrių atliekų surinkimo atveju ir naudojant mažiau pažangias sistemas, pvz. didelius dyzelinius sunkvežimius.

Remiantis *JT aplinkos programa* didžiausias poveikis aplinkai ir visuomenei yra siejamas su klimato kaita, gyvenamosios vietos keitimu, eutrofikacija, miestų ir regionų oro užterštumu, patalpų oro užterštumu, neatsinaujinačių išteklių naudojimu ir mažėjančiais žuvų ištekliais.

Remiantis literatūros analize buvo pasirinkti pagrindiniai indikatoriai apibūdinantys BSA srauto poveikį aplinkai (Cherubini *et al.* 2009: 2116–2123).

Darbe analizuojamos šios poveikio kategorijos:

- ✓ galimas pasaulinis klimato atšilimo potencialas per 100 metų – X_1;
- ✓ rūgštėjimo potencialas – X_2;
- ✓ eutrofikacijos potencialas – X_3;
- ✓ fotocheminis ozono susikūrimo potencialas – X_4;
- ✓ ozono sluoksnio mažėjimo potencialas – X_5;
- ✓ abiotinio nykymo potencialas – X_6;
- ✓ toksiškumo žmogui potencialas – X_7;
- ✓ sausumos ekotoksiškumo potencialas – X_8.

Norint įvertinti santykinį galimo poveikio dydį ir išteklių suvartojimo lygį, poveikio kategorijos gali būti normalizuotos naudojant standartinę informaciją. Pateiktos poveikio kategorijos dažniausiai naudojamos atliekų tvarkymo BCV studijose (Laurent *et al.* 2014). Rezultatai gauti pasinaudojant programine įranga yra pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Funkcinio vieneto (FV) tvarkymo aplinkosauginis įvertinimas (sudaryta autorės)

Nagrinėjami rodikliai	Matavimo vienetai	Lyginamosios alternatyvos		
		1	2	3
X_1	*kgCO₂ eq./a*	0,112	0,107	0,0338
X_2	*kgSO₂ eq./a*	$3{,}09 \cdot 10^{-4}$	$3{,}56 \cdot 10^{-3}$	$9{,}17 \cdot 10^{-3}$
X_3	*kgPO₄ eq*	$6{,}44 \cdot 10^{-7}$	$-3{,}66 \cdot 10^{-6}$	$1{,}63 \cdot 10^{-4}$
X_4	*kgC₂H₂ eq./a*	$6{,}81 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}64 \cdot 10^{-5}$
X_5	*kgCFC-11eq./a*	$1{,}52 \cdot 10^{-9}$	$-1{,}12 \cdot 10^{-9}$	$6{,}06 \cdot 10^{-9}$
X_6	*kgSb eq./a*	$1{,}13 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}14 \cdot 10^{-3}$	$5{,}73 \cdot 10^{-5}$
X_7	*kg1,4-DB eq./a*	$2{,}18 \cdot 10^{-5}$	$-2{,}20 \cdot 10^{-4}$	$2{,}28 \cdot 10^{-3}$
X_8	*kg1,4-DB eq./a*	0,155	–0,181	375

Šiame darbe poveikis aplinkai yra vertinamas aštuonių poveikio kategorijų, rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

Remiantis pasirinktomis alternatyvomis bei atrinktais vertinimo kriterijais, sudaroma pradinė uždavinio lentelė su duomenimis, kuria remiantis atliekama analizė ir vertinimas.

Rodiklių reikšmingumų nustatymui ekspertai tiesiogiai įvertino jų svarbumą, t. y. kiekvieno eksperto visų vertinimų reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui (arba 100 %). Subjektyvių reikšmingumų skaičiavimo rezultatai pagal skirtingos rūšies poveikius aplinkai pateikti 3.3 lentelėje.

Sprendžiant biologinių atliekų tvarkymo alternatyvų uždavinį buvo apklausta 40 ekspertų, kurių 10 anketų buvo tinkamos naudoti. Rodiklių reikšmingumams apibrėžti naudojama skalė nuo 1 iki 8. Svarbiausias rodiklis įgyja 8 balų reikšmę, visi kiti rodikliai lyginami su svarbiausiuoju, pavyzdžiui, jei rodiklis mažiau svarbus jam suteikiamas 7 balų įvertinimas, o mažiausiai reikšmingam rodikliui suteikiamas 1 balo įvertinimas. Ekspertų apklausos apskaičiuoti kriterijų reikšmingumai pateikti 3.4 lentelėje, o ekspertų įvertinimo duomenys yra pateikti priede B.

Taikant Kendallo (1970) ranginės koreliacijos teoriją buvo patikrintas ekspertų vertinimo suderinamumas. Vertinimo pagrindą sudaro ekspertų rodiklių rangavimo lentelė. Vertinime nuomonės buvo suderintos. Poveikio aplinkai reikšmingumo vertinimų konkordacijos koeficientas $W = 0{,}299$, atitinkama rodiklio χ^2 statistika $\chi^2 = 20{,}933$ ir yra didesnė už $\chi^2_{krit} = 20{,}278$, paimtą iš χ^2 skirstinio lentelės su $v = 8 - 1 = 7$ laisvės laipsniu ir reikšmingumo lygmeniu $\alpha = 0{,}005$, todėl buvo priimta statistinė hipotezė apie ekspertų vertinimų suderinamumą.

3.4 lentelė. Funkcinio vieneto (FV) tvarkymo subjektyvūs reikšmingumai pagal aplinkos poveikio kategorijas (sudaryta autorės)

Nagrinėjami rodikliai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Lyginamosios alternatyvos		
				1	2	3
X_1	*min*	*0,14722*	*kgCO₂ eq./a*	0,112	0,107	0,0338
X_2	*min*	*0,13610*	*kgSO₂ eq./a*	$3{,}09 \cdot 10^{-4}$	$3{,}56 \cdot 10^{-3}$	$9{,}17 \cdot 10^{-3}$
X_3	*min*	*0,15552*	*kgPO₄ eq*	$6{,}44 \cdot 10^{-7}$	$-3{,}66 \cdot 10^{-6}$	$1{,}63 \cdot 10^{-4}$
X_4	*max*	*0,07225*	*kgC₂H₂ eq./a*	$6{,}81 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$2{,}64 \cdot 10^{-5}$
X_5	*min*	*0,07779*	*kgCFC-11eq./a*	$1{,}52 \cdot 10^{-9}$	$-1{,}12 \cdot 10^{-9}$	$6{,}06 \cdot 10^{-9}$
X_6	*min*	*0,09725*	*kgSb eq./a*	$1{,}13 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}14 \cdot 10^{-3}$	$5{,}73 \cdot 10^{-5}$
X_7	*min*	*0,16942*	*kg1,4-DB eq./a*	$2{,}18 \cdot 10^{-5}$	$-2{,}20 \cdot 10^{-4}$	$2{,}28 \cdot 10^{-3}$
X_8	*min*	*0,14445*	*kg1,4-DB eq./a*	0,155	–0,181	375

Nagrinėjant poveikius aplinkai, toksiškumo žmogui potencialas (0,16942) ir galimas pasaulinis klimato atšilimo potencialas per 100 metų (0,14722) turi didžiausią įtaką biologinių atliekų tvarkymui. Mažiausiai svarbus poveikis – fotocheminis ozono susikūrimo potencialas (0,07225) ir ozono sluoksnio mažėjimo potencialas (0,07779). Toks ekspertų vertinimas galėjo būti

paveiktas ES per pastarąjį dešimtmetį nuveiktų darbų siekiant atkurti ozono sluoksnį ir mažinant medžiagų, ardančių ozono sluoksnį, patekimą į rinką.

Siekiant suvienodinti ženklus ir visus padaryti teigiamais, kiekvienas neigiamas rezultatas (teigiamas aplinkosauginiu požiūriu, nes nesukuria taršos, o atvirkščiai – ją sumažina) įgyja 0 reikšmę, o prie likusiųjų yra pridedamas atitinkamo dydžio poveikis.

3.5 lentelė. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijai ir jų vertinimas COPRAS metodu (sudaryta autorės)

Nagrinėjami rodikliai	*	Reikšmingumas	Matavimo vienetai	Lyginamosios alternatyvos		
				1	2	3
X_1	*min*	*0,14722*	*kgCO₂ eq./a*	0,06522	0,06232	0,01968
X_2	*min*	*0,13610*	*kgSO₂ eq./a*	0,00323	0,03715	0,09572
X_3	*min*	*0,15552*	*kgPO₄ eq*	0,00391	0	0,15161
X_4	*max*	*0,07225*	*kgC₂H₂ eq./a*	0,02192	0,04183	0,00850
X_5	*min*	*0,07779*	*kgCFC-11eq./a*	0,02091	0	0,05688
X_6	*min*	*0,09725*	*kgSb eq./a*	0,04759	0	0,04966
X_7	*min*	*0,16942*	*kg1,4-DB eq./a*	0,01495	0	0,15447
X_8	*min*	*0,14445*	*kg1,4-DB eq./a*	0,01137	0	0,13308
Naudingų poveikių aplinkai rodiklių suma				0,02192	0,04183	0,00850
Žalingų poveikių aplinkai rodiklių suma				0,16718	0,09947	0,66110
Alternatyvos reikšmingumas				0,33817	0,57336	0,08847
Alternatyvos prioritetiškumas				**2**	**1**	**3**
Naudingumo laipsnis				***58,98 %***	***100 %***	***16,58 %***

Atliekant biologinių atliekų tvarkymo alternatyvų analizę remiantis aplinkosauginiu poveikiu aplinkai per BCV ir daugiakritere analize (COPRAS metodu) ir naudojant subjektyvius reikšmingumus, galima teigti, kad aplinkosauginiu požiūriu geriausia biologinių atliekų tvarkymo alternyva yra anaerobinis pūdymas su vėlesniu substrato kompostavimu, kompostavimas įrenginiuose (Lietuvos atveju – laisvuose biodžiovinimo tuneliuose) yra antroji alternatyva, o biologinių atliekų deginimas, šiuo metu veikiančioje kogeneracinėje atliekų deginimo gamykloje aplinkosauginiu požiūriu yra netvariausia alternatyva.

3.2. Žiediškumo įvertinimas regionuose

3.7 lentelėje pateikiama vertinimo rezultatų pagal Zamano (2013) sukurtą ZWI metodą ir autorės adaptuotą biologinių atliekų tvarkymui – suvestinė. Žemiau pateikiami išanalizuoti RATC duomenys pagal žiediškumo kategorijas, nurodytas 3.6 lntelėje.

3.6 lentelė. Žiediškumo įvertinimo kategorijos (adaptuota iš Zamano (2013))

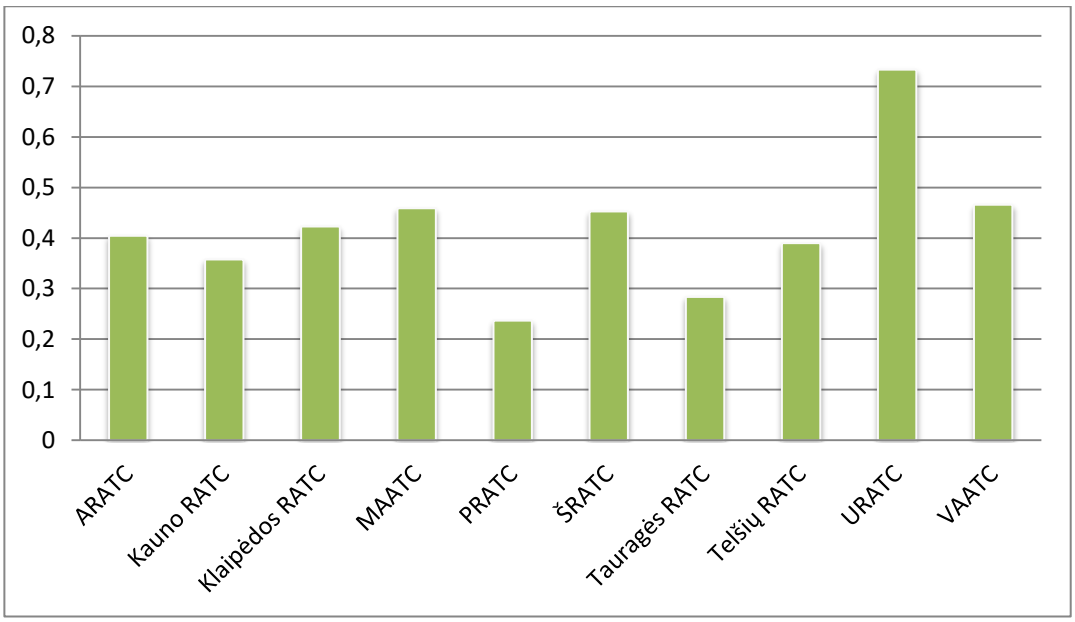
Žiediškumo įvertinimo kategorija	Naudojama technologija		
	AP+K	K	D
Efektyvus medžiagų pakeitimas, t	0,60-0,65	0,60-0,65	0,00
Energijos taupymas, GJLHV/t	0,18-0,47	0,18-0,47	0,972-2,995
ŠESD išmetimų sumažinimas, CO_2e/t	0,25-0,75	0,25-0,75	0,12-0,55
Vandens taupymas, kL/t	0,44	0,44	0,00

Pasinaudojant duomenimis nurodytais 2.5 lentelėje ir kokybine informacija, kuri yra nurodyta 3.1 lentelėje apskaičiuojama kiekvienos žiediškumo įvertinimo kategorijos reikšmė ir pagal 1.1 formulę įvertinamas beatliekės visuomenės indeksas. Gauti duomenys ir duomenys apie atliekų kiekį, susidariusį 2016 m. savivaldybėse nurodyti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Beatliekės visuomenės indeksas kiekvienam RATC (sudaryta autorės)

RATC	Žiediškumo įvertinimo kategorija				Visas atliekų kiekis regione, t	ZWI
	Efektyvus medžiagų pakeitimas, t	Energijos taupymas, GJLHV/t	ŠESD išmetimų sumažinimas, CO_2e/t	Vandens taupymas, kL/t		
ARATC	4 854,6	4 334,04	6 019,50	10 594,32	63 671,383	0,405
Kauno RATC	789,00	15 387,84	21 372	37 614,72	210 077,186	0,358
Klaipėdos RATC	8 130	48 396,85	5 974,92	0,00	147 570,907	0,423
MAATC	7 608,6	4 497,66	6 246,75	10 994,28	63 873,874	0,459
PRATC	1 747,2	3 666,78	5 092,75	8 963,24	82 145,344	0,237
ŠRATC	16 150,2	7 308,90	10 151,25	17 866,20	113 695,706	0,453
Tauragės RATC	5 245,2	1 573,56	2 185,50	3 846,48	45 293,716	0,284
Telšių RATC	1 280,4	3 448,4	4 789,50	8 429,52	45 999,470	0,390
URATC	8 886,6	5 715,72	7 938,50	13 971,76	49 759,766	0,733
VAATC	32 398,8	21 091,14	29 293,25	51 556,12	288 410, 735	0,466

Žinant sutvarkyto ir stabilizuoto BSA kiekius įvertinamas kiekvieno regiono žiediškumas. 3.7 lentelėje nurodyta, kad URATC ZWI yra didžiausias ir siekia 0,733, o tai reiškia, kad buvo sutaupyta 73,3 % pirminių išteklių. Prasčiausi rezultatai – PRATC ir Tauragės RATC – atitinkamai 0,237 ir 0,284. ARATC, Klaipėdos RATC, MAATC, ŠRATC ir VAATC rezultatai siekia daugiau nei 40 % pirminių išteklių sutaupymo ir atitinkamai yra 0,405, 0,423, 0,459, 0,453 ir 0,466.



3.4 pav. Beatliekės visuomenės indekso reikšmės kiekviename regione (sudaryta autorės)

Regionuose naudojamos skirtingos biologinių atliekų tvarkymo technologijos, kurios yra nurodytos 2.4 lentelėje, todėl galima teigti, kad beatliekės visuomenės indeksas nepriklauso nuo pagrindinės regione naudojamos technologijos.

3.2.1. Lyginamoji regionų analizė

Efektyvus medžiagų pakeitimas

Efektyvus medžiagų pakeitimas sudaro beatliekės visuomenės pagrindą, nes šiuolaikiniame pasaulyje pirminės žaliavos yra naudojamos dideliais kiekiais ir yra svarbu užtikrinti jų stabilų tiekimą. Geriausius rezultatus parodė URATC, kur iš biologinių atliekų srauto buvo efektyviai regeneruota 8 886,6 t pirminių medžiagų, kas sudaro net 29,76 % viso atliekų srauto regione 2016 m. Prasčiausi rezultatai nustatyti Kauno ARATC, kur iš biologinių atliekų srauto buvo efektyviai regeneruota 789,00 t pirminių medžiagų, kas sudaro vos 0,63 % viso atliekų srauto regione 2016 m., todėl galima teigti, kad Kauno RATC neregeneruoja medžiagų, nors ZWI ir nėra pats prasčiausias (siekia – 0,358).

Energijos taupymas

Vienas iš svarbiausių išteklių šiuolaikiniame pasaulyje – energija. Palyginus sutaupytą energiją 10-yje Lietuvos regionų geriausius rezultatus demonstruoja Klaipėdos RATC, kur energijos atgavimas siekė 48 396,85 GJLHV/t, antrasis RATC – VAATC, stipriai atsiliko ir regeneravo vos 21 091,14 GJLHV/t, tokie rezultatai buvo įtakoti to, kad vyraujanti atliekų tvarkymo sistema Klaipėdos regione – atliekų deginimas kogeneracinėje jėgainėje. Kiti regionai pasirodė vidutiniškai.

ŠESD išmetimų sumažinimas

Vienas iš svarbiausių atliekų sukuriamų poveikių aplinkai yra šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimai į atmosferą. Šioje kategorijoje išsiskiria 3 regionai – lyderiai t. y. Telšių RATC, kuriame šis kiekis buvo sumažintas 4 789,50 CO_2e/t, Kauno RATC – 21 372 CO_2e/t ir VAATC – 29 293,25 CO_2e/t.

Vandens taupymas

Vanduo nėra gausus išteklius ir jo kiekiai menksta daugelyje pasaulio šalių. Ryšys tarp vandens taupymo ir biologinių atliekų tvarkymo yra reikšmingas, nes mineralinių trąšų gamybai yra sunaudojami dideli gėlo vandens kiekiai. Klaipėdoje nėra MBA įrenginių, o sukompostuojama biologinių atliekų dalis yra menka, todėl šis regionas prasčiausiai įvertintas vandens taupymo kategorijoje. Geriausiai šioje kategorijoje apsirodė URATC, kuris apskritai atliekant skaičiavimus ZWI yra neabejotinas lyderis.

3.2.2. Lyginamoji regionų analizė pritaikius optimaliausią aplinkosauginiu požiūriu technologiją ir atskirą biologinių atliekų surinkimą

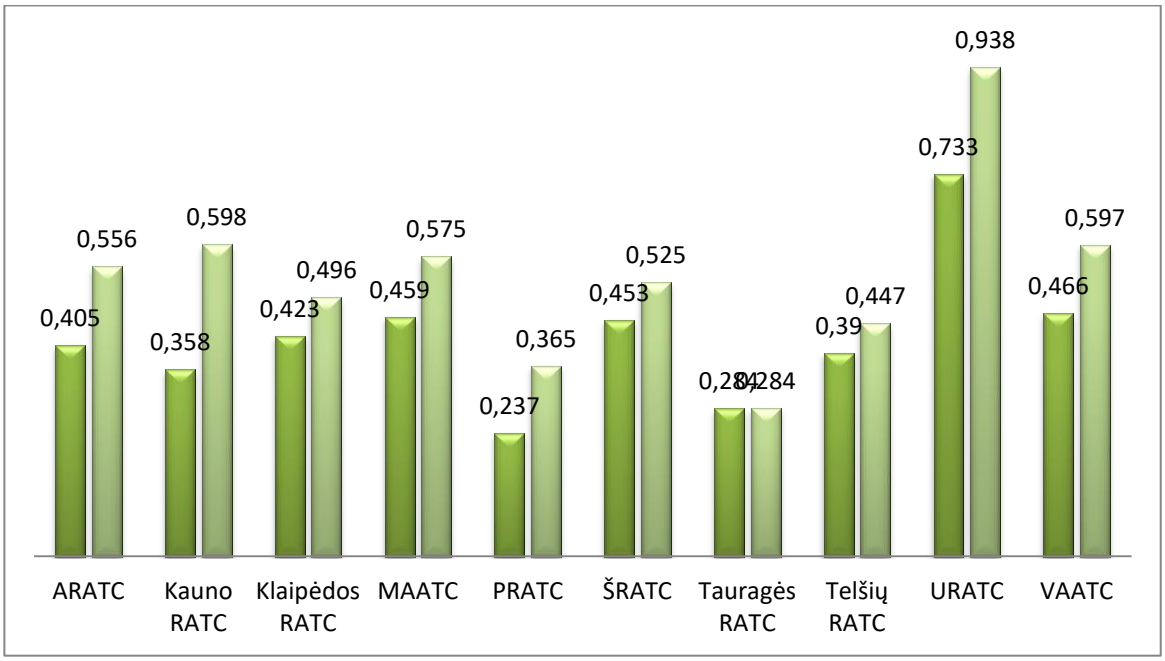
Idealiu atveju, jei techniškai ir (arba) ekonomiškai perspektyvu, tai pasiekiami gerinimo tikslai leistų optimizuoti neoptimalius sprendimus. Nors šis žingsnis nėra aptariamas šiame darbe, tačiau Cristobal *et al.* (2016 m.) pateikia analizę ir rekomendacijas, kaip naudoti ekologinio efektyvumo tyrimus siekiant optimizuoti maisto atliekų tvarkymą.

3.8 lentelė. Beatliekės visuomenės indeksas kiekvienam RATC pritaikius aplinkosauginiu požiūriu darniausią technologiją ir atskirą biologinių atliekų surinkimą (sudaryta autorės)

RATC	Žiediškumo įvertinimo kategorija				Visas atliekų kiekis regione, t	ZWI
	Efektyvus medžiagų pakeitimas, t	Energijos taupymas, GJLHV/t	ŠESD išmetimų sumažinimas, CO_2e/t	Vandens taupymas, kL/t		
ARATC	14 446,8	4 334,04	6 019,50	10 594,32	63 671,383	0,556
Kauno RATC	51 292,8	15 387,84	21 372	37 614,72	210 077,186	0,598
Klaipėdos RATC	29 874,6	8 962,38	12 447,75	21 908,04	147 570,907	0,496
MAATC	14 992,2	4 497,66	6 246,75	10 994,28	63 873,874	0,575
PRATC	12 222,6	3 666,78	5 092,75	8 963,24	82 145,344	0,365
ŠRATC	24 363	7 308,90	10 151,25	17 866,20	113 695,706	0,525
Tauragės RATC	5 245,2	1 573,56	2 185,50	3 846,48	45 293,716	0,284
Telšių RATC	11 494,8	3 448,4	4 789,50	8 429,52	45 999,470	0,447
URATC	19 052,4	5 715,72	7 938,50	13 971,76	49 759,766	0,938
VAATC	70 303,8	21 091,14	29 293,25	51 556,12	288 410, 735	0,597

3.8 lentelėje pateikiama vertinimo rezultatų, pritaikius optimaliausią aplinkosauginiu požiūriu technologiją ir įdiegus atskirą biologinių atliekų surinkimą, pagal Zamano (2013) sukurtą ZWI metodą ir autorės adaptuotą biologinių atliekų tvarkymui – suvestinė.

Svarbu pažymėti, kad biologinių atliekų atskiras surinkimas ir aplinkosauginiu aspektu tvariausios tvarkymo technologijos naudojimas, pagerino visų regionų rezultatus. URATC įsidiegę atskirą biologinių atliekų surinkimą ir sąmoningai identifikavę biologinių atliekų srautus, patenkančius į mišrių komunalinių atliekų srautą, galėtų pasiekti 93,8 % žaliavų atgavimo efektyvumą. Tauragės RATC pakeitimų nepastebėta, nes nėra aiškių duomenų apie mišrių komunalinių atliekų sudėtį ir biologinių atliekų kiekį jame. Lyginamoji regionų analizė pateikta 3.5 pav.



3.5 pav. Beatliekės visuomenės indeksas veikiančiose ir optimaliose sistemose (sudaryta autorės)

Beatliekės visuomenės indeksas leidžia įvertinti regionų žiediškumo procesus ir identifikuoti prasčiausiai besitvarkančius RATC. 2016 m. duomenys ir skaičiavimo rezultatai identifikuoja Tauragės RATC ir PRATC kaip prasčiausiai tvarkančius biologines atliekas (atitinkamai – 0,284 ir 0,237), todėl net ir įdiegus atskirą biologinių atliekų surinkimą šiuose regionuose lieka daug neaiškumų dėl pirminių žaliavų atgavimo kokybės.

Biologinių atliekų tvarkymo sistemų optimizavimas pagerintų urbanizuotų regionų rezultatus, tokių kaip Kauno ar Vilniaus. Kaune išteklių sutaupymas padidėtų daugiau nei 40 % palyginus su 2016 m. veikiančia sistema, o Vilniuje – 22 %. Likę regionai t. y. ARATC, Klaipėdos RATC, MAATC, ŠRATC, Telšių RATC demonstruoja teigiamus optimizavimo rezultatus, atitinkamai – 27 %, 15 %, 20 %, 14 % ir 13 %.

Biologinių atliekų tvarkymas optimaliausiu būdu yra susijęs su atskiru srauto surinkimu ir aplinkosauginiu požiūriu našiausios technologijos naudojimu. Vertinant regionų žiediškumą

URATC – lyderis ir tai galėjo būti nulemta, tokių veiksnių kaip ankstyvas biologinių atliekų kompostavimo aikštelių atsiradimas regione ir (ar) tinkamas jų išsidėstymas (lengvai pasiekiamos, veikiančios be sutrikimų) t. y. patogios infrastruktūros gyventojams sukūrimas.

Tik keturiose MBA gamyklose nėra privataus operatoriaus, t. y. jas valdo regiono atliekų tvarkymo centrai: Kaune, Alytuje, Klaipėdoje ir Utenoje. Kitur gamyklas valdo jas stačiusios įmonės. 3.9 lentelėje nurodyta bioskaidžių atliekų infrastruktūra ir palyginimui yra pateikta informacija apie gyventojų tankumą regione.

3.9 lentelė. Bioskaidžių atliekų infrastruktūra ir gyventojų tankumas kiekviename regione (Statistikos departamento ir AAA duomenys)

RATC	BSAKA, vnt.	Bioskaidžių atliekų vežėjai, vnt.	Gyventojų tankumas regione, žm./km^2
ARATC	7	2	26,14
Kauno RATC	6*	5	70,48
Klaipėdos RATC	7	6	61,34
MAATC	5	3	32,55
PRATC	6	4	28,56
ŠRATC	5	6	31,68
Tauragės RATC	4	2	22,37
Telšių RATC	4	6	31,68
URATC	6	4	18,56
VAATC	6	12	82,75

* Žaliųjų atliekų aikštelės – 6, iš jų mišrių t. y. komunalinių nuotekų dumblo KA ir žaliųjų atliekų – 3.

URATC yra mažiausias gyventojų tankumas (18,56 žm./km^2), tačiau regione yra įrengtos net 6 bioskaidžių atliekų kompostavimo aikštelės, VAATC yra pasirašytos sutartys su 12 bioskaidžių atliekų vežėjų (Kaune ir Klaipėdoje atitinkamai – 5 ir 6 t. y. dvigubai mažiau).

Beatliekės visuomenės indeksas įvertina regionuose atskirai surenkamas biologines atliekas ir našiausią jų tvarkymo technologiją, tačiau neįvertina kompostavimo namuose. Kompostavimo namuose rodikliai (2.3 lentelė) buvo sąmoningai pašalinti, nes nuo 2027 m. tik atskirai surinktos ir anaerobinio pūdymo ar kompostavimo būdu perdirbtos bioskaidžios atliekos bus traktuojamos kaip atgautos, todėl Kauno ir Alytaus RATC bioskaidžių atliekų perdirbimo rodikliai kris.

Koreliacinė analizė parodė, kad ryšis tarp ZWI vertės ir BSAKA kiekio regionuose yra labai silpnas arba silpnas (koreliacijos koeficiento reikšmė, kai vertinama dabartinė bioskaidžių atliekų tvarkymo situacija ir, kai vertinama optimali sistema, atitinkamai – 0,194947 ir 0,380946). Ryšis tarp ZWI vertės ir bioskaidžių atliekų vežėjų kiekio regionuose yra labai silpnas (koreliacijos koeficiento reikšmė, kai vertinama dabartinė bioskaidžių atliekų tvarkymo situacija ir, kai vertinama optimali sistema, atitinkamai – 0,164498 ir 0,147852). Ryšis tarp ZWI vertės ir gyventojų tankumo regionuose yra labai silpnas (koreliacijos koeficiento reikšmė, kai vertinama

dabartinė bioskaidžių atliekų tvarkymo situacija ir, kai vertinama optimali sistema, atitinkamai – $-0{,}8179$ ir $0{,}047787$).

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

1. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijų aplinkosauginė analizė atlika remiantis BCV metodika ir pasitelkiant daugiakriterės analizės metodus, kadangi BCV rezultatų tikslumas yra susijęs su potencialiai reikšmingais netikrumo šaltiniais. Modeliavimas atliktas remiantis būvio poveikio vertinimo skaičiavimais, atliktais su SimaPro 7.2 ir grindžiami IMPACT 2002+, bei EcoInvent 2.2 duomenų baze.

2. Biologinių atliekų tvarkymo scenarijų aplinkosauginis poveikis turi būti analizuojamas holistiškai ir pasitelkiant visus įmanomus duomenis iš visų atliekų tvarkymo etapų ir pritaikant tinkamus matematinės išraiškos būdus.

3. Subjektyvūs reikšmingumai nustatyti remiantis ekspertiniu vertinimu, kuriame dalyvavo 10 ekspertų. Vertinime nuomonės buvo suderintos. Apskaičiuoti biologinių atliekų tvarkymo scenarijų vertinimai pagal COPRAS metodą. Apdorojus rezultatus galima teigti, kad aplinkosauginiu požiūriu geriausia biologinių atliekų tvarkymo alternatyva – anaerobinis pūdymas su vėlesniu substrato kompostavimu.

4. Žiediškumo įvertinimui regionuose naudojant ZWI aplinkosauginio įvertinimo rezultatus, galima:

- ✓ identifikuoti prastai su biologinėmis atliekomis besitvarkančius RATC;
- ✓ optimizuoti sistemą.

5. Lyginamoji regionų žiediškumo analizė parodė, kad Tauragės RATC ir PRATC nevykdo tvaraus biologinių medžiagų valdymo. URATC – žiediškumo lyderis Lietuvoje.

IŠVADOS

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę, nustatyti pagrindiniai žiedinės atliekų vadybos sistemos kriterijai, kurie nulemia mažesnį generuojamų atliekų kiekį:

- ✓ atliekos tampa ištekliais (daugiau išteklių);
- ✓ mažesnis poveikis aplinkai;
- ✓ mažesnės finansinės išlaidos;
- ✓ didesnis sąmoningumas.

2. Identifikuojant biologinių atliekų šaltinius atliktas praktinis galimo atliekų srauto atskyrimo šaltinyje tyrimas, kuris parodė, kad daugiau, nei 96 % atliekų, patenkančių į komunalinių atliekų srautą iš korporacijos biuro – organinės ir gali būti grąžintos į ciklą jas atskiriant susidarymo šaltinyje, t. y. biuro virtuvėje.

3. Biologinių atliekų tvarkymo sistemų vertinimui pritaikyta būvio ciklo vertinimu pagrįsta programinė įranga ir daugiakriteris COPRAS vertinimo metodas. Nusistatyti aplinkos rodiklių subjektyviojo reikšmingumo rodikliai pagal ekspertinį vertinimą ir taip padidintas BCV pagrįstos programinės įrangos skaičiavimo patikimumas.

4. Apdorojus rezultatus galima teigti, kad aplinkosauginiu požiūriu geriausia biologinių atliekų tvarkymo alternatyva – anaerobinis pūdymas su vėlesniu substrato kompostavimu.

5. Autorės pasiūlytas žiediškumo įvertinimas beatliekės visuomenės indeksu leidžia identifikuoti kaip su biologinėmis atliekomis tvarkosi kiekvienas regioninis atliekų tvarkymo centras, o tuo pačiuoptimizuoti tvarkymo sistemą.

6. Lyginamoji regionų žiediškumo analizė parodė, kad Tauragės RATC ir Panevėžio RATC nevykdo tvaraus biologinių medžiagų valdymo, o Utenos RATC – tvaraus biologinių medžiagų valdymo lyderis Lietuvoje. Nustatytas silpnas koreliacinis ryšis tarp beatliekės visuomenės indekso ir BSAKA kiekio regione (0,380946).

REKOMENDACIJOS

1. Žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimui atliekų tvarkymo srityje LR Valstybiniame atliekų tvarkymo plane, Atliekų tvarkymo įstatyme rekomenduojama pakeisti sąvoką „atliekų tvarkymas“ į „tvarus medžiagų valdymas“.

2. Siūloma pakeisti Atliekų tvarkymo taisyklių 61 punktą ir jį išdėstyti taip: „Savivaldybės privalo užtikrinti namų ūkiuose ir *biuruose, kuriuose yra įrengtos virtuvės*, susidarančių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą susidarymo vietoje ir įdiegti rūšiuojamąjį surinkimą miestuose, kuriuose yra daugiau nei 50 000 gyventojų, ir gali užtikrinti namų ūkiuose ir *biuruose* susidarančių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą vietoje ir įdiegti rūšiuojamąjį surinkimą kitose teritorijose, kuriose vykdyti maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimą ekonomiškai naudinga ar techniškai įmanoma. Savivaldybės privalo aprūpinti gyventojus ir *biurų pastatų administratorius* Taisyklių 62 punkto reikalavimus atitinkančiomis talpomis, užtikrinti visuomenės sveikatai ir aplinkai saugų laikinąjį šių atliekų laikymą. Teritorijose, kur organizuotas namų ūkių maisto ir virtuvės atliekų rūšiavimas, gyventojai privalo atskirai surinkti namų ūkiuose ir *biuruose, kuriuose yra įrengtos virtuvės,* susidarančias maisto ir virtuvės atliekas ir atiduoti jas tvarkyti savivaldybės nustatyta tvarka.“

3. Įtvirtinti biologinių atliekų tvarkymo prioritetiškumą LR Valstybiniame atliekų tvarkymo plane, pirmenybę skiriant anaerobiniam pūdymui ir vėlesniam srauto kompostavimui.

4. Parengti ir patvirtinti žiediškumo įvertinimo metodiką regionams ir nustatyti beatliekės visuomenės rodiklius kiekvienam regionui atskirai, atsižvelgiant į jų galimybes atskirai surinkti ir tvarkyti biologines atliekas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Aplinkos apsaugos agentūra [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2018 kovo 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index>.

Adomavičienė, I.; Kraunevičienė, R.; Dirvelis, V. 2008. Scenarijų analizės metodų skaičiuoklėje panaudojimas sudėtingesnių modelių analizei, *Kauno kolegija*: 1–6.

Ahmed, I. I.; Gupta, A. K. 2010. Pyrolysis and gasification of food waste: syngas characteristics and char gasification kinetics, *Applied Energy* 87(1): 101–108. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.08.032.

Allacker, K., *et al.* 2014. Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: proposals for product policy initiatives, *Resources, Conservation and Recycling* 88: 1–12. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.03.016.

Allenby, B. R.; Cooper, W. E. 1994. Understanding industrial ecology from a biological systems perspective, *Environmental Quality Management* 3(3): 343–354.

Amlinger, F.; Peyr, S.; Cuhls, C. 2008. Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment, *Waste Management & Research*, 26(1), 47–60.

Andersen, T. G., *et al*. 2007. Real-time price discovery in global stock, bond and foreign exchange markets, *Journal of International Economics* 73(2): 251–277. DOI: 10.1016/j.jinteco.2007.02.004.

Atliekų sąvartynų direktyva (1999/31/EB) [interaktyvus]. 1999. Europos Sąjunga [žiūrėta 2017 m. spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:62008CA0286>.

Bendroji atliekų direktyva (75/439/EEB) [interaktyvus]. 1975. Teisės aktų registras [žiūrėta 2017 spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.5EF44A438912>.

Benyus, J. M. 1997. *Biomimicry*. New York: William Morrow.

Bernstad, A.; La Cour Jansen, J. 2012. Review of comparative LCAs of food waste management systems – current status and potential improvements, *Waste Management* 32(12): 2439–2455. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.07.23.

Bilitewski, B.; Marek, K.; Härdtle, G. 2013. *Abfallwirtschaft: Handbuch für Praxis und Lehre.* Springer-Verlag.

Bogner, J., *et al.* 2007. Waste management in climate change mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Brennan, G.; Tennant, M.; Blomsma, F. 2015. Business and production solutions: Closing loops and the circular economy.

Bringezu S. 1997. From quantity to quality: materials flow analysis, *Regional and national material flow accounting, from paradigm to practice of sustainability*.

Brunner, P.H.; Rechberger, H. 2004. *Practical handbook of material flow analysis*.

Characterization of food and green waste as feedstock for anaerobic digesters. California Energy Commission [interaktyvus]. 2016. Onsite Power Systems, Inc. [žiūrėta 2016 vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: >http://www.onsitepowersystems.com/files/FoodandGreenWasteCharacterizationReportforCEC.pdf >.

Chen, C., *et al*. 2013. Synthesis of poly (aniline-co-3-amino-4-hydroxybenzoic acid) and its enhanced redox activity under highly basic conditions, *Electrochimica Acta* 97: 112–119.

Cherubini, F.; Bargigli, S.; Ulgiati, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: landfilling, sorting plant and incineration, *Energy* 34(12): 2116–2123.

Cimpan, C., *et al.* 2015. Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: a review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling, *Journal of Environmental Management* 156: 181–199.

Clemens, J.; Cuhls, C. 2008. Greenhouse gas emissions from mechanical and biological waste treatment of municipal waste, *Environmental Technology*, 24:6, 745–754. DOI: 10.1080/09593330309385611.

Colón, J., *et al.* 2009. Performance of an industrial biofilter from a composting plant in the removal of ammonia and VOCs after material replacement, *Journal of chemical technology and biotechnology*, 84(8), 1111–1117.

Di Maria, F.; Micale, C. 2014. A holistic life cycle analysis of waste management scenarios at increasing source segregation intensity: the case of an Italian urban area, *Waste Management* 34(11): 2382–2392. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.06.007.

Di Maria, F.; Micale, C.; Contini, S. 2016. A novel approach for uncertainty propagation applied to two different bio-waste management options, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(10), 1529–1537.

Di Maria, F., *et al.* 2016. Impact of biological treatments of bio-waste for nutrients, energy and bio-methane recovery in a life cycle perspective, *Waste Management*, 52, 86–95.

Drejeris, R. 2015. Įmonių darnios plėtros vertinimo metodinio potencialo analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 7(2): 189–198. DOI: http://dx.doi.org/10.3846/mla.2015.745.

Edwards, J., *et al*. 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impact of seven contemporary food waste management systems, *Bioresource technology*, 248, 156–173.

Ellen MacArthur Foundation. 2015. Why the circular economy matters. Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers, 19–32.

European Commission; Joint Research Centre; Institute for Environment and Sustainability. 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook, *General guide for Life Cycle Assessment. Detailed guidance*. DOI: 10.2788/38479.

European Commission. 2010. Communication from the Commission on the practical implementation of the EU biofuels and bioliquids sustainability scheme and on counting rules for biofuels, *Official Journal of the European Union* 17(443): 8–16. DOI: 10.3000/1977091X.C_2013.068.eng.

European Commission. 2015. Circular Economy Package: Questions & Answers, September 2016: 6.

FAO of the United Nations. 2004. Protein sources for the animal feed industry [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fao.org/docrep/007/y5019e/y5019e00.htm>.

Geissdoerfer, M., *et al*. 2017. The Circular Economy – a New Sustainability Paradigm?, *Journal of Cleaner Production (under review)*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Janz, A.; Günther, M.; Bilitewski, B. 2011. Reaching cost-saving effects by a mixed collection of light packagings together with residual household waste?, *Waste Management & Research* 29(9): 982–990.

Jockus, A. 2014. Ateityje teks rūšiuoti ir maisto atliekas iš *UAB „Lietuvos žinios“* [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://lzinios.lt/lzinios/Ekonomika/ateityje-teks-rusiuoti-ir-maisto-atliekas/187210>.

Kaklauskas, A. 1999. *Multiple criteria decision support of building life cycle*. Vilnius Gediminas Technical University.

Lewandowski, M. 2016. Designing the business models for circular economy – towards the conceptual framework, *Sustainability (Switzerland)* 8(1): 1–28. DOI: 10.3390/su8010043.

Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas [interaktyvus]. 2013. Teisės aktų registras [žiūrėta 2017 spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E2780B68DE62>.

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas [interaktyvus]. 1998. Teisės aktų registras [žiūrėta 2017 spalio 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8D38517814F1>.

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo taisyklės [interaktyvus]. 2017 m. Teisės aktų registras [žiūrėta 2018 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f4e88f50adbf11e79d87b6f526384a70>.

Lietuvos Respublikos valstybinis atliekų tvarkymo 2014–2020 metų planas [interaktyvus]. 2014. Teisės aktų registras [žiūrėta 2018 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/d833b6d0cfa811e3a8ded1a0f5aff0a9>.

Ateityje teks rūšiuoti ir maisto atliekas [interaktyvus]. 2014. LR Aplinkos ministerijos APVA [žiūrėta 2017 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/lt/ateityje-teks-rusiuoti-ir-maisto-atliekas.html>.

Manfredi, S.; Goralczyk, M. 2013. Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management, *Resources, Conservation and Recycling* 81: 8–16. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.09.004.

Manfredi, S.; Pant, R. 2013. Improving the environmental performance of bio-waste management with life cycle thinking (LCT) and life cycle assessment (LCA), *International Journal of Life Cycle Assessment* 18(1): 285–291. DOI: 10.1007/s11367-012-0497-5.

Martínez-Blanco, J., *et al.* 2010. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale, *Waste Management*, 30(6), 983–994.

McDonough, W.; Braungart, M. 2010. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. MacMillan.

Miranda, R.; Monte, M.C.; Blanco, A. 2013. Analysis of the quality of the recovered paper from commingled collection systems, *Resources, conservation and Recycling* 72: 60–66.

Mitchell, P.; James, K. 2015. *Economic Growth Potential of More Circular Economies*. Waste and Resources Action Programme (WRAP): Banbury, UK.

Nabavi-Pelesaraei, A., *et al.* 2017. Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management – a case study in Tehran metropolis of Iran, *Journal of cleaner production*, 148, 427–440.

Najam, A. 1999. World Business Council for Sustainable Development: The Greening of Business or a Greenwash?, *Yearbook of international co-operation on environment and development* 1999/2000: 65–75.

Navickas, K.; Venslauskas, K. 2013. *Biomasės būvio ciklo analizė*. Akademija.

Nelles, M.; Grünes, J.; Morscheck, G. 2016. Waste management in Germany – development to a sustainable circular economy?, *Procedia Environmental Sciences* 35: 6–14. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.07.001.

Pan, S.Y., *et al*. 2014. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: a review, *Journal of Cleaner Production* 108: 409–421. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.124.

Paraiška TIPK leidimui gauti. Vilniaus regiono komunalinių atliekų mechaninio biologinio apdorojimo (MBA) įrenginiai, Jočionių g.13, Vilnius. UAB „Energesman“: 2015, p.72.

Parliament. 2014. Growing a circular economy: Ending the throwaway society, July: 43.

Petersson, A.; Wellinger, A. 2009. Biogas upgrading technologies – developments and innovations, *IEA Bioenergy*: 20. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.09.003.

Pirani, S.I.; Arafat, H.A. 2016. Reduction of food waste generation in the hospitality industry, *Journal of Cleaner Production* 132: 129–145.

Preston, F. 2012. A Global redesign? Shaping the circular economy, *Energy, Environment and Resource Governance* 2: 1–20.

Rydzkowski, T. 2011. Właœciwoœci mieszanin recyklatów otrzymanych w procesie wytłaczania œlimakowo-tarczowego, *Polimery* 56(2): 135.

Schwartz, P. 1991. The art of the long view: planning for the future in an uncertain world. Peter Schwartz.

Stahel, W.R. 2013. The business angle of a circular economy: higher competitiveness, higher resource security and material efficiency. A new dynamic: effective business in a circular economy, *1st ed. Ellen MacArthur Foundation*: Cowes, UK.

Stenmarck, Å., *et al.* 2016. Estimates of European food waste levels.

Thakur, V.K.; Thakur, M.K. 2015. Recent advances in green hydrogels from lignin: a review, *International Journal of Biological Macromolecules* 72: 834–847. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.09.044.

The Potential Contribution of Waste Management to a Low Carbon Economy. Eunomia, 2015. Technical Appendices.

TIPK leidimas. Marijampolės regiono komunalinių atliekų mechaninio biologinio (MBA) įrenginiai, Uosinės k., Marijampolė. UAB „NEG Recycling“: 2015, p. 79.

TIPK paraiška leidimui pakeisti. UAB "Fortum Klaipėda" termofikacinė jėgainė, Klaipėdos m. UAB "Fortum Klaipėda": 2016, p. 96.

TIPK paraiška. Panevėžio regiono komunalinių atliekų mechaninio ir biologinio apdorojimo įrenginys, Dvarininkų k., Panevėžio r. UAB „Ekoatliekos“: 2015, p. 38.

Un-habitat. 2010. State of the world’s cities 2010/2011: bridging the urban divide. EarthScan.

Van Dam-Mieras, M.C.E.; Meester, M.A.M.; Sloep, P.B. 1995. Sustainability, cleaner production and an international learning resource, *Journal of Cleaner Production* 3(1–2): 3–8.

Van Velzen, T., *et al.* 2013. Scenarios study on post-consumer plastic packaging waste recycling, *Wageningen UR Food & Biobased Research*.

Vandermeersch, T., *et al.* 2014. Environmental sustainability assessment of food waste valorization options, *Resources, Conservation and Recycling* 87: 57–64. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.03.008.

Vilniaus apskrities regioninis atliekų tvarkymo 2014–2020 metų planas. Patvirtinta Vilniaus regiono plėtros tarybos 2015 m. birželio 12 d. sprendimu Nr. 51/1S-16.

Zaman, A.U.; Lehmann, S. 2013. The Zero Waste Index: a performance measurement tool for waste management systems in a „zero waste city“, *Journal of Cleaner Production* 50: 123–132. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.11.041.

Zaman, A.U.; Lehmann, S. 2011. Challenges and opportunities in transforming a city into a “zero waste city”, *Challenges* 2(4): 73–93. DOI: 10.3390/challe2040073.

Zavadskas, E.K.; Kaklauskas, A.; Sarka, V. 1994. The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects, *Technological and economic development of economy* 1(3): 131–139.

Zorpas, A.A.; Lasaridi, K. 2013. Measuring waste prevention, *Waste Management* 33(5): 1047–1056. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.12.017.

PRIEDAS A

Bioskaidžių atliekų srauto charakteristikų aprašas ir neapibrėžtumo įvertinimas
FV – 1 kg bioskaidžių atliekų

1 lentelė. Emisijos taikant skirtingus bioskaidžių atliekų tvarkymo scenarijus

Parametras	Matavimo vienetas	Dydis	Dydis literatūroje	Nuoroda į literatūrą	Bazinis neapibrėžtumas (j)
Kompostavimas įrenginiuose					
CO_2 biogeninis	kg/kg	n.d.	0,185	c, d	1,05
CH_4	kg/kg	n.d.	$5 \cdot 10^{-6} - 8{,}62 \cdot 10^{-3}$	a, b, d	1,05
N_2O	kg/kg	n.d.	$9{,}2 \cdot 10^{-5} - 2{,}41 \cdot 10^{-4}$	a, b, d	1,05
NH_3	kg/kg	$1 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	a, b, e	1,05
LOJ	kg/kg	$7 \cdot 10^{-7}$	$1{,}21 \cdot 10^{-3}$	a, b, e	1,05
Anaerobinis pūdymas+kompostavimas					
CO_2 biogeninis	kg/kg	n.d.	1,099	g, h	1,05
CH_4	kg/kg	n.d.	0,015997	g, h	1,05
N_2O	kg/kg	n.d.	$9{,}98 \cdot 10^{-5} - 2{,}79 \cdot 10^{-4}$	f, g, h	1,05
NH_3	kg/kg	n.d.	$3{,}19 \cdot 10^{-4} - 1{,}21 \cdot 10^{-3}$	f, g, h	1,05
H_2S	kg/kg	$4{,}85 \cdot 10^{-5}$	$2{,}45 \cdot 10^{-4} - 6{,}97 \cdot 10^{-4}$	f, g, h	1,05
LOJ	kg/kg	$1{,}45 \cdot 10^{-4}$	$8{,}53 \cdot 10^{-3}$	f, g, h	1,05
Deginimas					
CO_2 biogeninis	kg/kg	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1{,}59 \cdot 10^{-4}$	f, i, m	1,05
CH_4 biogeninis	kg/kg	n.d.	$4{,}55 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
SO_2	kg/kg	$4{,}19 \cdot 10^{-4}$	$4{,}56 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
NO_X	kg/kg	$1{,}88 \cdot 10^{-3}$	$9{,}08 \cdot 10^{-5}$	f, i	1,05
NH_3	kg/kg	$1{,}05 \cdot 10^{-4}$	$2{,}26 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
N_2O	kg/kg	n.d.	$1{,}21 \cdot 10^{-5}$	f, i	1,05
CN^-	kg/kg	n.d.	$2{,}57 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
P	kg/kg	n.d.	$8{,}06 \cdot 10^{-7}$	f, i	1,05
B	kg/kg	n.d.	$8{,}77 \cdot 10^{-7}$	f, i	1,05
HCl	kg/kg	n.d.	$3{,}17 \cdot 10^{-8}$	f, i	1,05
Br	kg/kg	n.d.	$1{,}28 \cdot 10^{-8}$	f, i	1,05
HF	kg/kg	$1{,}05 \cdot 10^{-5}$	$7{,}51 \cdot 10^{-8}$	f, i	1,05
I	kg/kg	n.d.	$4{,}24 \cdot 10^{-13}$	f, i	1,05
As	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$1{,}46 \cdot 10^{-14}$	f, i	1,05
Cd	kg/kg	$5{,}22 \cdot 10^{-7}$	$5{,}42 \cdot 10^{-12}$	f, i	1,05
Co	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$1{,}13 \cdot 10^{-13}$	f, i	1,05
Cu	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$9{,}48 \cdot 10^{-11}$	f, i	1,05
Hg	kg/kg	$2{,}11 \cdot 10^{-7}$	$1{,}73 \cdot 10^{-15}$	f, i	1,05
Mn	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$1{,}67 \cdot 10^{-14}$	f, i	1,05
Mo	kg/kg	n.d.	$5{,}71 \cdot 10^{-10}$	f, i	1,05
Ni	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$1{,}67 \cdot 10^{-13}$	f, i	1,05
Pb	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$4{,}92 \cdot 10^{-10}$	f, i	1,05
V	kg/kg	$5{,}81 \cdot 10^{-7}$	$2{,}14 \cdot 10^{-10}$	f, i	1,05
Zn	kg/kg	n.d.	$6{,}79 \cdot 10^{-10}$	f, i	1,05
Si	kg/kg	n.d.	$6{,}64 \cdot 10^{-5}$	f, i	1,05
Fe	kg/kg	$5{,}55 \cdot 10^{-9}$	$1{,}43 \cdot 10^{-8}$	f, i	1,05
Ca	kg/kg	n.d.	$2{,}59 \cdot 10^{-5}$	f, i	1,05
Al	kg/kg	$1{,}11 \cdot 10^{-11}$	$1{,}11 \cdot 10^{-5}$	f, i	1,05
K	kg/kg	n.d.	$7{,}53 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
Mg	kg/kg	$1{,}11 \cdot 10^{-11}$	$2{,}77 \cdot 10^{-6}$	f, i	1,05
BDS_5	kg/kg	n.d.	$9{,}39 \cdot 10^{-4}*$	f, i	1,05

ChDS	kg/kg	n.d.	$2{,}87 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Bendroji C	kg/kg	n.d.	$1{,}13 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Naftos produktai	kg/kg	n.d.	$1{,}13 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
SO_4^{2-}	kg/kg	n.d.	$3{,}20 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
NO_3^-	kg/kg	n.d.	$1{,}39 \cdot 10^{-4}*$	f, i	1,05
PO_4^{3-}	kg/kg	n.d.	$9{,}46 \cdot 10^{-5}*$	f, i	1,05
B	kg/kg	n.d.	$5{,}96 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
Cl^-	kg/kg	n.d.	$2{,}85 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Br	kg/kg	n.d.	$4{,}28 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
F^-	kg/kg	n.d.	$1{,}38 \cdot 10^{-4}*$	f, i	1,05
I^-	kg/kg	n.d.	$3{,}92 \cdot 10^{-8}*$	f, i	1,05
As	kg/kg	n.d.	$1{,}43 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
Cd	kg/kg	n.d.	$1{,}03 \cdot 10^{-9}*$	f, i	1,05
Co	kg/kg	n.d.	$3{,}12 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
Cr IV	kg/kg	n.d.	$7{,}9 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
Cu	kg/kg	n.d.	$1{,}04 \cdot 10^{-5}*$	f, i	1,05
Mn	kg/kg	n.d.	$2{,}64 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
Mo	kg/kg	n.d.	$2{,}85 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
Ni	kg/kg	n.d.	$3{,}62 \cdot 10^{-6}*$	f, i	1,05
Pb	kg/kg	n.d.	$9{,}43 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
Se	kg/kg	n.d.	$3{,}56 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
V	kg/kg	n.d.	$3{,}68 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
Zn	kg/kg	n.d.	$6{,}52 \cdot 10^{-7}*$	f, i	1,05
Si	kg/kg	n.d.	$2{,}48 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Fe	kg/kg	n.d.	$2{,}01 \cdot 10^{-4}*$	f, i	1,05
Ca	kg/kg	n.d.	$1{,}35 \cdot 10^{-2}*$	f, i	1,05
Al	kg/kg	n.d.	$5{,}28 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
K	kg/kg	n.d.	$2{,}49 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Mg	kg/kg	n.d.	$1{,}86 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Na	kg/kg	n.d.	$1{,}06 \cdot 10^{-3}*$	f, i	1,05
Cr	kg/kg	n.d.	$1{,}82 \cdot 10^{-8}*$	f, i	1,05
Hg	kg/kg	n.d.	$3{,}13 \cdot 10^{-9}*$	f, i	1,05

2 lentelė. Procesui reikalinga energija

Parametras	Matavimo vienetas	Dydis	Dydis literatūroje	Nuoroda į literatūrą	Bazinis neapibrėžtumas (j)
Kompostavimas įrenginiuose					
Elektros energija	kWh/t	n.d.	3	k	1,05
Anaerobinis pūdymas+kompostavimas					
Elektros energija	kWh/t	n.d.	11,8	f	1,05
Deginimas					
Elektros energija	kWh/t	111,67	310	f, i	1,05
Gamtinės dujos	MJ/t	50,2	14,0	f, i	1,05

3 lentelė. Medžiagos, likusios arba sugeneruotos proceso metu

Parametras	Matavimo vienetas	Dydis	Dydis literatūroje	Nuoroda į literatūrą	Bazinis neapibrėžtumas (j)
Kompostavimas įrenginiuose					
N	kg/t	n.d.	2,04-23,0	b, g	1,05
K_2O	kg/t	n.d.	9,0	g	1,05
P_2O_5	kg/t	n.d.	9,5	g	1,05
Anaerobinis pūdymas+kompostavimas					

Biodujos	t	0,15	0,15	f, h	1,05
Energija	kWh/t	562,35	220	f, h	1,05
N	kg/t	n.d.	3,29	f	1,05
K_2O	kg/t	n.d.	4,44	f	1,05
P_2O_5	kg/t	n.d.	1,55	f	1,05
Atliekos deginimui	t	n.d.	0,27	f	1,05
Deginimas					
Energija	kWh/t	77,77	552,77	l, i	1,05
Atliekos į sąvartyną	kg/t	29,0**	29,5	f, i	1,05

*17 000 BSA pajėgumas
**25 % ir 3,5 %
(a) Colón, J., *et al.* 2009. Performance of an industrial biofilter from a composting plant in the removal of ammonia and VOCs after material replacement, *Journal of chemical technology and biotechnology*, 84(8), 1111–1117.
(b) Martínez-Blanco, J., *et al.* 2010. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale, *Waste Management*, 30(6), 983–994.
(c) Amlinger, F.; Peyr, S.; Cuhls, C. 2008. Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment, *Waste Management & Research*, 26(1), 47–60.
(d) Clemens, J.; Cuhls, C. 2008. Greenhouse gas emissions from mechanical and biological waste treatment of municipal waste, *Environmental Technology*, 24:6, 745–754. DOI: 10.1080/09593330309385611.
(e) TIPK leidimas. Marijampolės regiono komunalinių atliekų mechaninio biologinio (MBA) įrenginiai, Uosinės k., Marijampolė. UAB „NEG Recycling“: 2015, p. 79
(f) Di Maria, F.; Micale, C.; Contini, S. 2016. A novel approach for uncertainty propagation applied to two different bio-waste management options, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(10), 1529–1537.
(g) Di Maria, F., *et al*. 2016. Impact of biological treatments of bio-waste for nutrients, energy and bio-methane recovery in a life cycle perspective, *Waste Management*, 52, 86–95.
*suminis poveikis požeminiams ir paviršiniams vandenims
(h) TIPK paraiška. Panevėžio regiono komunalinių atliekų mechaninio ir biologinio apdorojimo įrenginys, Dvarininkų k., Panevėžio r. UAB „Ekoatliekos“: 2015, p. 38.
(i) TIPK paraiška leidimui pakeisti. UAB "Fortum Klaipėda" termofikacinė jėgainė, Klaipėdos m. UAB "Fortum Klaipėda": 2016, p. 96. Didžiausias leidžiamas deginti atliekų kiekis – 180 000 t/m (naudotas skaičius).
(j) Edwards, J., *et al.* 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impact of seven contemporary food waste management systems, *Bioresource technology*, 248, 156–173.
(k) The Potential Contribution of Waste Management to a Low Carbon Economy. Eunomia, 2015. Technical Appendices.
(l) Nabavi-Pelesaraei, A., *et al.* 2017. Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management-A case study in Tehran Metropolis of Iran, *Journal of cleaner production*, 148, 427–440.
(m) Metinių išmetamųjų ŠESD kiekio ataskaitos 2016 m. Prieiga per internetą: http://klimatas.gamta.lt/cms/index?rubricId=34c03171-85e1-4d06-a8b6-7d349724febd

4 lentelė. Skirtingų atliekų surinkimo sistemų duomenys

Surinkimo būdas	Scenarijus	Transporto dydis	Emisijų standartas	Degalų sąnaudų norma (l dyzelino/atliekų t)
Tik maisto atliekos	K ir AP+K	10 t	Euro3	6
KA	D	25 t	Euro3	7,5

PRIEDAS B

Ekspertų įvertinimas ir vertinimo suderinamumas

1 lentelė. Ekspertų apklausos rezultatai, nustatant reikšmingumo svorius, balais

	Ekspertai										
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
$\boldsymbol{x_1}$	5	8	8	1	1	5	4	5	8	8	**53**
$\boldsymbol{x_2}$	6	5	5	2	3	6	5	6	5	6	**49**
$\boldsymbol{x_3}$	7	4	6	6	2	8	6	4	6	7	**56**
$\boldsymbol{x_4}$	2	6	2	3	4	1	2	2	1	3	**26**
$\boldsymbol{x_5}$	1	7	1	5	6	2	1	1	3	1	**28**
$\boldsymbol{x_6}$	3	2	4	4	8	4	3	3	2	2	**35**
$\boldsymbol{x_7}$	4	1	7	8	7	7	8	8	7	4	**61**
$\boldsymbol{x_8}$	8	3	3	7	5	3	7	7	4	5	**52**
										Iš viso	**360**

2 lentelė. Kendall ranginės koreliacijos metodu patikrintas ekspertų vertinimo suderinamumas

Ekspertai $k = 1 \dots 10$	Kriterijai $t_{jk}; j = 1 \dots n; n = 8$							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1	5	6	7	2	1	3	4	8
2	8	5	4	6	7	2	1	3
3	8	5	6	2	1	4	7	3
4	1	2	6	3	5	4	8	7
5	1	3	2	4	6	8	7	5
6	5	6	8	1	2	4	7	3
7	4	5	6	2	1	3	8	7
8	5	6	4	2	1	3	8	7
9	8	5	6	1	3	2	7	4
10	8	6	7	3	1	2	4	5
t_{jk}	53	49	56	26	28	35	61	52
$\overline{t_j}$	0,53	0,49	0,56	0,26	0,28	0,35	0,61	0,52
Rangų S	45	45	45	45	45	45	45	45
S	64	16	121	361	289	100	256	49
W	0,299							
χ^2	20,933							
χ^2_{krit}	20,278							

PRIEDAS C

Tumaševičiūtė, R; Zigmontienė, A. Zero waste MSW management challenges in Klaipėda district. 10th International conference "Environmental Engineering", 27-28 April 2017, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. Vilnius: VGTU Press, 2017, p. 1-7. [M.kr.:04T] [Aut.lankų sk.: 0.500].

2017 m. rugsėjo 12 d. – gruodžio 5 d. 15-oje Vilniaus mokyklų skaitytos paskaitos tema „Žiedinė ekonomika ir beatliekė visuomenė gimnazistams“. Rėmimas gautas iš Vilniaus miesto savivaldybės aplinkos apsaugos rėmimo specialiosios programos lėšų.

Pristatytas stendinis pranešimas. Tumaševičiūtė, R.; Zigmontienė, A. Daugiakriterinės analizės taikymas tvariam biologinių atliekų tvarkymui. Aplinkos apsaugos inžinerija, 21-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“, vykusioje Vilniuje, 2018 metų kovo 20 dieną.

2018 m. gegužės 1 d. pradėtos rinkti augalinės kilmės organinės atliekos iš K29 pastato.