

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

EDGARAS STUNŽĖNAS

PRAMONINĖS EKOLOGIJOS METODŲ
TAIKYMAS MAISTO ATLIEKŲ VALDYMUI
REGIONO LYGMENIU

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija (T 004)

Kaunas, 2022

Disertacija rengta 2016–2021 metais Kauno technologijos universiteto Aplinkos inžinerijos institute. Doktorantūros teisė Kauno technologijos universitetui suteikta kartu su Vytauto Didžiojo universitetu ir Lietuvos energetikos institutu.

Mokslinis vadovas:

Dr. Irina KLIPOVA (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija, T 004).

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:
<http://ktu.edu>

Redagavo:

Violeta Meiliūnaitė (leidykla „Technologija“)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	9
IVADAS	10
I. MAISTO ATLIEKŲ SRAUTAI, JŲ SAVYBĖS, VALDYMO METODAI IR REIKALAVIMAI: MOKSLINĖS IR PRAKTINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ BEI TEISĖS AKTŲ APŽVALGA	15
1.1 Pramoninė ekologija ir jos elementai	15
1.2 Maisto atliekų srautai ir prevencinės priemonės	16
1.2.1 Maisto atliekų apibrėžimas	16
1.2.2 Maisto atliekų kiekiai tiekimo grandinėje	16
1.2.3 Vaisių ir daržovių praradimų valdymas auginimo stadijoje	17
1.2.4 Augalinio maisto praradimai transportuojant ir sandėliuojant	19
1.2.5 Gyvulinės kilmės maisto praradimai bei prevencinės priemonės.....	19
1.2.6 Maisto atliekos kepinių pramonėje ir prevencinės priemonės.....	21
1.2.7 Maisto praradimai ir prevencija pramonėje: gėrimų, alaus, daržovių, aliejaus gamyba	22
1.2.8 MA susidarymas ir prevencija viešojo maitinimo įstaigose	22
1.2.9 Maisto praradimai ir prevencija prekyboje.....	24
1.2.10 Maisto praradimai ir prevencinės priemonės namų ūkiuose	25
1.2.11 Prevencijos reikšmė maisto atliekų valdyme.....	25
1.3 Pridėtinė vertės produktų gamybos galimybės iš MA	26
1.3.1 Pridėtinė vertės produktų gamybos galimybės iš MA	26
1.3.2 Galimybės atgauti energijos nešiklius iš maisto atliekų	28
1.4 Pramoninės simbiozės galimybės maisto atliekų tvarkyme	29
1.4.1 Anaerobinio proceso optimizavimas maišant skirtingas BSA.....	29
1.4.2 Kompostavimo optimizavimas maišant MA su kitomis BSA	30
1.5 MA anaerobinis apdorojimas pramoninės ekologijos kontekste	31

1.6	Maisto atliekų aerobinis apdorojimas pramoninės ekologijos kontekste .	38
1.7	Atliekų valdymo modeliai	39
1.7.1	Maisto atliekų valdymo modeliai	40
1.7.2	Pramoninės ekologijos koncepcija maisto atliekų valdyme	41
1.7.3	Regioninis atliekų valdymas.....	42
1.8	Teisės aktų apžvalga biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo srityje	42
1.8.1	BSA valdymo politika Europos Sąjungos teisės aktuose	42
1.8.2	BSA tvarkymo kryptis Lietuvos Respublikos teisės aktuose	44
1.8.3	Reikalavimai šalutinių gyvūninių produktų valdymui.....	45
1.8.4	Reikalavimai iš BSA pagamintiems tręšimo produktams	46
1.8.5	Atsinaujinančios energijos gamyba ir jos realizavimo galimybės....	49
1.9	Pirmojo skyriaus išvados ir apibendrinimai (problematika ir galimybės)	50
II.	METODIKA.....	53
2.1	Sprendimų priėmimo paramos modelio bei jo taikymo algoritmo sukūrimo metodika	53
2.2	Eksperimentiniai tyrimai: maitinimo įstaigų ŠGP ir ŽA valdymas	55
2.2.1	Dematerializavimo taikymo ŠGP tvarkymui metodika	56
2.2.2	Pramoninės simbiozės taikymo ŠGP ir ŽA valdymui metodika	57
2.3	Būvio ciklo įvertinimo metodika	60
2.3.1	Naminių gyvūnėlių ėdalo ir biodujų bei komposto gamybos alternatyvų įvertinimo ribos, funkcinis vienetas ir duomenys vertinimui	61
2.3.2	KMA valdymo alternatyvų sistemos ribos, funkcinis vienetas ir duomenys vertinimui	62
2.3.3	Kavinių ŠGP valdymo alternatyvų įvertinimo ribos ir funkcinis vienetas	63
2.4	Faktoriai ir formulės panaudoti atliekant esamų ir siūlomų alternatyvų inventorinę analizę bei modelio pritaikymą	64
III.	INTEGRUOTO MAISTO ATLIEKŲ VALDYMO SPRENDIMŲ PARAMOS MODELIS REGIONO LYGIU.....	68
3.1	Teorinių tyrimų rezultatai: PE metodų integravimas į modelį	68

3.1.1	Prevencinių MA valdymo priemonių apžvalgos sąlygotas modelio vystymas	68
3.1.2	Pridėtinės vertės produktų gamybos iš MA apžvalgos sąlygotas modelio vystymas.....	69
3.1.3	Pramoninės simbiozės galimybių apžvalgos MA tvarkymui sąlygotas modelio kūrimas	69
3.1.4	MA anaerobinio apdorojimo apžvalgos sąlygotas modelio formavimas	70
3.1.5	MA aerobinio apdorojimo apžvalgos sąlygotas modelio formavimas	70
3.2	Praktinių pramoninės ekologijos elementų taikymo tyrimų rezultatai	71
3.2.1	Praktiniai dematerializavimo elemento taikymo kavinių ŠGP valdymui eksperimentai.....	71
3.2.2	Praktiniai pramoninės simbiozės elemento taikymo kavinių ŠGP ir ŽA valdymui eksperimentai	74
3.3	Taikymo algoritmas: pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelis integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygiu	77
3.4	Pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelis integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygiu.....	79
3.5	Modelio aprobavimas reikšmingiems regiono maisto atliekų srautams...	85
3.5.1	ŠGP valdymo optimizavimas gaminant pridėtinės vertės produktus	85
3.5.2	Komunalinių maisto atliekų valdymo optimizavimas	94
3.5.3	Kavinių ŠGP valdymo optimizavimas tvarkant jas arčiau šaltinio ir gaminant produktą	103
3.5.4	Aprobavimo rezultatų sąlygotas sprendimų priėmimo paramos modelio vystymas	109
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI		111
LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS		113
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS DISERTACIJOS TEMA		133

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė.	MA kiekiai ir prevencinės priemonės auginimo stadijoje	17
2 lentelė.	Augalinės kilmės MA praradimai transportuojant ir sandėliuojant	19
3 lentelė.	Gyvulinės kilmės maisto praradimai, jų priežastys ir prevencija	19
4 lentelė.	Maisto praradimai kepinų pramonėje ir prevencinės priemonės	21
5 lentelė.	MA kiekiai ir prevencija gėrimų, alaus, daržovių ir aliejaus pramonėje	22
6 lentelė.	MA susidarymo mastai ir prevencija viešajame sektoriuje	22
7 lentelė.	Maisto praradimai ir prevencija prekybos sektoriuje	24
8 lentelė.	Maisto praradimai ir prevencinės priemonės namų ūkiuose	25
9 lentelė.	Pridėtinės vertė produktų gamyba iš MA	26
10 lentelė.	Energijos nešiklių gamybos potencialas iš MA srautų	28
11 lentelė.	Anaerobinio apdorojimo optimizavimas maišant skirtingas MA	29
12 lentelė.	Aerobinio apdorojimo optimizavimo maišant skirtingas MA	31
13 lentelė.	Anaerobinio MA apdorojimo optimizavimo būdai	31
14 lentelė.	Aerobinio MA apdorojimo optimizavimo priemonės	38
15 lentelė.	Pagamintų kompostų ir raugų galimi užterštumo parametrai	46
16 lentelė.	Iš BSA pagamintų tręšiamųjų produktų kokybės parametrai	48
17 lentelė.	Sunkiųjų metalų koncentracijos KBSA ir KMA srautuose	63
18 lentelė.	Faktoriai medžiagų balanso sudarymui ir emisijoms įvertinti	65
19 lentelė.	Optimalios medžiagų koncentracijos anaerobiškai apdorojant BSA	70
20 lentelė.	„Oklin“ įrenginyje pagaminto pirminio ir brandinto komposto kokybės rodyklių palyginimas su vertingų kompostų vertėmis	72
21 lentelė.	„Oklin“ įrenginyje pagaminto pirminio komposto užterštumo rodyklių palyginimas su vertingų kompostų užterštumo vertėmis	73
22 lentelė.	Kompostavimo proceso parametrai ir jų ribinės vertės modelyje	74
23 lentelė.	ŽA ir ŠGP pirminių kompostų maistinių medžiagų ir sunkiųjų metalų koncentracijos	75
24 lentelė.	Brandinto ŽA ir ŠGP pirminių kompostų mišinio ir centralizuoto ŠGP komposto kokybės ir užterštumo tyrimai	76
25 lentelė.	Biodujų išeigos įvertinimas bei LKM transformavimas į biodujas ..	86
26 lentelė.	Sunkiųjų metalų koncentracijos ŠGP anaerobinio apdorojimo raugė ir emisijos į dirvožemį ir vandenį	88
27 lentelė.	Žaliavos, naudojamos ėdalo gamyboje bei jų priimti atitikmenys ...	91
28 lentelė.	Naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyvos palyginimas su ŠGP anaerobiniu apdorojimu	92
29 lentelė.	ŠGP valdymo alternatyvos skirtingose poveikio aplinkai kategorijose vidurio taškuose	93
30 lentelė.	Sunkiųjų metalų pasiskirstymas tarp komposto ir filtrato.	96
31 lentelė.	Sunkiųjų metalų koncentracijos KBSA ir KMA kompostuose ir pasiskirstymas tarp filtrato ir komposto.	100
32 lentelė.	2016 metų Utenos komunalinių maisto atliekų valdymo poveikio aplinkai palyginimas su alternatyviu valdymu žalos kategorijose, būvio cikle	101

33 lentelė.	Esamos ir planuojamos KMA valdymo alternatyvų poveikių aplinkai palyginimas 18-oje poveikio aplinkai kategorijų.	102
34 lentelė.	Esamos (2016 metų duomenimis) ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikis aplinkai žalos kategorijose	107
35 lentelė.	Esamos ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikių aplinkai palyginimas 18 poveikio aplinkai kategorijų.....	108

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav.	Maisto atliekų tvarkymo hierarchija (Davis & Wunder, 2019)	26
2 pav.	Bangladešo maisto atliekų valdymo modelis (Ananno et al., 2021)	40
3 pav.	Pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelio integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu ir taikymo algoritmo sukūrimo metodika	54
4 pav.	Dematerializavimas kavinių ŠGP valdyme. Tyrimų eigos schema	57
5 pav.	Pramoninė simbiozė kavinių ŠGP ir ŽA valdyme. Tyrimų eigos schema	59
6 pav.	BCĮ ribos analizuojant naminių gyvūnėlių ėdalo gamybą vietoje biodujų ir komposto	61
7 pav.	BCĮ ribos analizuojant esamą ir siūlomą KMA valdymo sistemas	62
8 pav.	BCĮ ribos analizuojant esamą kavinių ŠGP valdymo sistemą ir siūlomą	64
9 pav.	Modelio diegimo etapai MA valdymo sistemos optimizavimui	78
10 pav.	MA integruoto valdymo sprendimų priėmimo paramos modelis regiono lygmeniu	82
11 pav.	Susidariusių mėsos perdirbimo ŠGP tvarkymas anaerobiniu būdu	87
12 pav.	Naminių gyvūnėlių ėdalo principinė gamybos linija	90
13 pav.	Grafinis analizuojamų alternatyvų poveikio aplinkai atvaizdavimas vidurio taškuose	93
14 pav.	Esamo Utenos biologinio apdorojimo įrenginio srautų diagrama	95
15 pav.	Planuojama situacija Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginyje pritaikius siūlomą valdymo sistemą	98
16 pav.	Esamos ir planuojamos komunalinių maisto atliekų valdymo alternatyvų poveikis aplinkai įvairiose poveikio aplinkai kategorijose	101
17 pav.	Esamos kavinių ŠGP valdymo sistemos srautų diagrama	104
18 pav.	Alternatyvios kavinių ŠGP valdymo sistemos srautų diagrama	106
19 pav.	Esamos (2016 m. duomenimis) ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikis aplinkai vidurio taškuose	108

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;
APINI – Aplinkos inžinerijos institutas;
APVP – aukštesnės pridėtinės vertės produktai;
AT – atsipirkimo trukmė;
ATĮ – atliekų tvarkymo įstatymas;
BCĮ – būvio ciklo įvertinimas;
BCĮ_n – poveikis būvio cikle prieš modelio taikymą;
BCĮ_{n+1} – poveikis būvio cikle po modelio taikymo;
BK – bendras kalis;
BMP – biocheminis metano potencialas;
BN – bendras azotas;
BP – bendras fosforas;
BSA – biologiškai skaidžios atliekos;
CFC11 – trichlorofluorometanas;
HIT – hidraulinė išbuvimo trukmė (angl. *hydraulic retention time*);
KA – komunalinės atliekos;
KAK – kietasis atgautasis kuras;
KBSA – komunalinės biologiškai skaidžios atliekos;
LAMMC – Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras;
LKM – lakiosios kietosios medžiagos (angl. *volatile solids*);
LRR – lakios riebalų rūgštys;
MA – maisto atliekos;
MTEP – mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros projektas;
NDM – natūralios drėgmės medžiaga;
NPK – azotas, fosforas, kalis;
OM – organinė medžiaga;
OV – optimali vertė;
PE – pramoninė ekologija;
POT – patvari organinė tarša;
PS – pramoninė simbiozė;
RV – ribinė vertė;
RR – riebalų rūgštys;
SM – sausa medžiaga;
SPM – specifinis metano potencialas;
ŠG – švaresnė gamyba;
ŠGP – šalutiniai gyvūniniai produktai;
ŽA – žaliosios atliekos;
ŽAKA – žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelės.

IVADAS

Darbo aktualumas

Maisto atliekos ir maisto švaistymas – problemos, kurios niekaip nesitraukia iš globalių organizacijų darbotvarkės dėl sukuriama poveikio aplinkai bei rizikos maisto tiekimui ateityje. Maisto atliekų problemos mastas nemažėja, kadangi lygiagrečiai didėjant žmonijos populiacijai, auga ir maisto poreikis, o kartu ir įtampa visai tiekimo grandinei bei atliekų tvarkymo sistemai. Verta pabrėžti, kad maisto atliekų augimo mastų nepadeda mažinti ekonominis šalių išsivystymas, vis dar nepavyksta atskirti maisto atliekų susidarymo nuo ekonominio augimo. Naujausi Europos Sąjungos institucijų tyrimų rezultatai siūlo naudoti platesnį maisto atliekų apibrėžimą įtraukiant nevalgomas maisto dalis ir apimant visą tiekimo grandinę. Tokiu atveju maisto atliekų problema tampa dar ryškesnė, nes išsiplečia sistemos ribos. Galiausiai, tikrasis problemos mastas atskleidžiamas analizuojant ją holistiniu požiūriu. Įvertinus gamtinius ir technosferos išteklius, darbo jėgą bei intensyvios žemdirbystės naikinamą dirvožemį, akumuliuojamas didžiulis poveikis aplinkai bei sukuriamą riziką ateityje sumažinti žmonijos gebėjimą apsirūpinti maistu. Sutrikus ekosistemų paslaugoms ir jų sąlygojamai maisto gamybai, žmonija pirmiausia susidurtų su labiausiai vargstančių grupių badu, o galiausiai net su karo dėl išteklių stygiaus grėsme. Apibendrinant pasakytina, kad maisto atliekos neigiamai veikia visas tris darnaus vystymosi dedamąsias, todėl problema kompleksinė ir jos sprendimui reikia skirtingų disciplinų įsitraukimo siekiant suvaldyti situaciją.

Žiūrint į šią problemą tik per atliekų tvarkymo prizmę, iš pirmo žvilgsnio jos mastas neatrodytų itin reikšmingas, kadangi šiuo metu pasaulyje yra sukurti pakankami atliekų tvarkymo pajėgumai. Vis dėlto, mokslinių straipsnių gausa kertinių maisto atliekų tvarkymo technologijų srityje atspindi, kad šie procesai nėra gerai valdomi ir turi aibę optimizavimo galimybių. Įvairūs sprendimai gali būti priimami valdant atliekų užterštumą sunkiaisiais metalais bei patogenais, optimizavimo galimybės turėtų leisti atgauti daugiau energijos, mažinančios azoto emisijas, fosfatų, amoniako, nitratų praradimus, o priemonės – didinti komposto vertingumą pagal azotą, fosforą, kalį ir organinę medžiagą. Tradiciniai atliekų tvarkymo metodai gali būti optimizuojami didinant jų greitį, skaidymo efektyvumą, kvapų išsiskyrimą ir pan. Plačią mokslinių straipsnių duomenų bazę nuolat papildė tyrimai, kurie analizuoja energijos nešiklių gamybos iš biomasės optimizavimą, panaudojant saulės energiją, sukauptą medžiagose. Kita plati mokslinių straipsnių grupė tiria galimybes gaminti pridėtinės vertės produktus iš šalutinių produktų, kurie susidaro tiek augalinės, tiek gyvulinės kilmės produktų tiekimo metu. Nors didžioji dalis pridėtinės vertės produktų atrodo gana sudėtingi, o jų gamyba imli investicijoms, kurti pridėtinę vertę galima tiesiog panaudojant šalutinius gamybos produktus gaminant pašarus, ėdalą ir net maisto produktus.

Be tradicinių „vamzdžio galo“ technologijų, praktinėje literatūroje galima rasti palyginti didelį kiekį prevencinių priemonių, leidžiančių „išgelbėti“ maistą. Dažniausiai tokios priemonės yra įvairios programėlės, leidžiančios iki galo suvartoti maistą ar juo dalintis, kameros šaldytuve, leidžiančios stebėti produktus ir atitinkamai

planuoti maisto ruošimą, etileno adsorberiai, davikliai, iniciatyvos, kurios skatina naudoti nekondicinius produktus, dirbtiniu intelektu grįstos maisto atliekų prevencijos sistemos, programinės sandėlio likučių valdymo įrangos ir pan. Visos prevencinės priemonės bei technologiniai sprendimai, leidžiantys grąžinti maistą į tiekimo grandinę, prisideda prie to, kad būtų mažinamos intensyvios žemdirbystės apimtys, o kartu ir poveikis aplinkai.

Šioje daktaro disertacijoje siekiama pasiūlyti modelį, kuris besiremdamas pramoninės ekologijos koncepcija leistų įgyvendinti minėtų sprendimų integraciją įvairiuose regionuose. Regionu šiame darbe laikomas nagrinėjamos valstybės tam tikros geografinės teritorijos (arba visos valstybės teritorijos) vienetas, kurį vienija tam tikri bruožai, susieti su komunalinių atliekų tvarkymu. Pavyzdžiui, Lietuvoje veikia regioninė komunalinių atliekų tvarkymo sistema (įkurta 10 regiono atliekų tvarkymo centrų), t. y. kiekvienoje iš 10 Lietuvos apskričių veikia sistema, paremta šio regiono atliekų tvarkymo planu.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – maisto atliekų optimaliam valdymui regiono lygmeniu sukurti sprendimų priėmimo paramos modelį, paremtą pramoninės ekologijos koncepcija.

Uždaviniai:

- 1) atlikti maisto atliekų srautų, savybių ir jų valdymo metodų, sistemų ir modelių srities mokslinės, praktinės literatūros analizę bei taikomų aplinkosaugos ir kitų teisės aktų apžvalgą;
- 2) atlikti teorinius ir praktinius pramoninės ekologijos elementų taikymo maisto atliekų valdymui tyrimus siekiant apibrėžti modelio kūrimo gaires;
- 3) maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu pasiūlyti integruoto maisto atliekų tvarkymo modelį, besiremiantį pramoninės ekologijos koncepcija;
- 4) aprobuoti siūlomą modelį pasirinktam regionui atrinktiems reikšmingiems maisto atliekų srautams.

Ginamieji teiginiai

- 1) Maisto atliekos turi būti analizuojamos visame maisto produktų būvio cikle bei išplečiant sistemos ribas iki regiono.
- 2) Maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu siūlomas sprendimų priėmimo paramos modelis, kuriame integruoti pramoninės ekologijos elementai. Šio modelio taikymas leistų optimaliai naudoti maisto atliekų medžiagines (maistines) ir / arba energetines savybes su minimaliu poveikiu aplinkai.

Tyrimo objektas

Tyrimų objektas – maisto atliekos ir jų valdymo sistema.

Metodika

Sprendimų priėmimo paramos modelis ir jo taikymo algoritmas buvo kuriamas remiantis teoriniais ir praktiniais tyrimais bei aprobavimo rezultatais (analizuojant

pasirinktą regioną). Pirmiausia teorinių tyrimų pagrindu buvo sudaromas modelio prototipas, kuris galutinai išstbulintas ir koreguojamas pasiremiant praktinių tyrimų bei aprobavimo rezultatais. Modelio taikymo algoritmo vystymas vyko priimant, kad pradinę jo struktūrą sudaro esamos ir alternatyvios maisto atliekų valdymo sistemų lyginimo pagrindas.

Teorinių tyrimų metu mokslinėje ir praktinėje literatūroje buvo ieškoma MA valdymo sprendimų, kurie atitinka pramoninės ekologijos koncepciją ir jos elementus (dematerializavimas, pramoninis metabolizmas, sąveika su biosfera, energijos sistemų restruktūrizavimas, politikos formavimas, pramoninių ekosistemų kūrimas (ekologiniai parkai)). Suakumuliuoti paieškos kriterijus atitinkantys šaltiniai suskirstyti į 5 grupes. Toliau buvo mąstoma, kaip šiose 5 grupėse išdėstytas maisto atliekų valdymo priemonės tarpusavyje integruoti, sujungti realizuojant pramoninės ekologijos koncepciją regioniniam maisto valdymui.

Praktiniai tyrimai modelio ir jo taikymo algoritmo kūrimo metodikoje atsiranda siekiant sugeneruoti papildomą informacijos šaltinį, kuris būtų grįstas praktišku bandymu diegti pramoninės ekologijos koncepcija paremtas valdymo alternatyvas pasirinktame regione. Tokių tyrimų pridėtinė vertė – atsižvelgimas į faktorius, retai įvertinamus mokslinėje literatūroje, pvz., teisinį reguliavimą. Vykdam praktinius tyrimus įsigilinama į alternatyvų diegimo žingsnius, reikalingą informaciją, metodus, o tų duomenų reikia taikymo algoritmo kūrimui. Praktiniai tyrimai pasirenkami taip, kad gauti duomenys būtų panaudojami modelio aprobacijoje.

Darbo mokslinis naujumas

Siūlomas integruoto maisto atliekų valdymo modelis stipriai išplečia šių atliekų valdymo sistemos ribas. Visų pirma ribų išplėtimas atsiranda dėl regioninio požiūrio į maisto atliekų tvarkymą, todėl viena priežasčių yra paprasčiausiai nagrinėjama teritorija. Nors regioninis požiūris į atliekų valdymą yra privalomas Europos Sąjungos narėms (kuriami ir taikomi regioniniai ir valstybiniai atliekų tvarkymo planai), maisto atliekos įtraukiamos tik kaip dalis komunalinių atliekų srauto, o šiame darbe tai vienintelis srautas, kuriam sutelktas visas dėmesys. Kitas aspektas, išplečiantis sistemos ribas, yra platesnio maisto atliekų apibrėžimo taikymas palyginti su apibrėžtu Europos Sąjungos teisinėje bazėje. Šiame darbe prie maisto atliekų priskiriami biologiškai skaidžių atliekų srautai, kurie susidaro maisto produktų būvio cikle. Kitaip tariant, papildomai įtraukiami agroindustriniai atliekų srautai.

Darbo mokslinis naujumas taip pat yra pramoninės ekologijos taikymas tokiam biogeniniam atliekų srautui, kaip maisto atliekos, neapsiribojant tik pramoninės simbiozės elemento taikymu, plačiai taikant dematerializavimą su nuorodomis į likusius pramoninės ekologijos elementus (pvz., sąveiką su biosfera, ekoindustrinių parkų kūrimą ar energijos sistemų restruktūrizavimą). Toks taikymas išsiskiria, nes didžiojoje dalyje publikuotų mokslinių straipsnių pramoninės ekologijos koncepcija taikoma sunkiajai pramonei bei akcentuojamas ekoindustrinių parkų kūrimas.

Reikšmingas darbo išskirtinumas yra pramoninės simbiozės elemento taikymas platesniu požiūriu negu konvencinis. Tradiciniu atveju pramoninės simbiozės elementas įgyvendinamas, kai vienos įmonės atlieka (šalutinis produktas) tampa

žaliava kitai įmonei. Šiame darbe papildomai, be tradicinio pavyzdžio, pramoninė simbiozė įgyvendinama maišant skirtingus maisto atliekų srautus (įskaitant kitas biologiškai skaidžias atliekas), norint pasiekti optimalias cheminių medžiagų koncentracijas substrate prieš jas panaudojant fermentavimo procese ar apdorojant aerobiškai.

Kitas išskirtinumas – tai žemės ūkio, kaip neatsiejamos maisto atliekų valdymo dalies, integravimas į modelį. Kadangi dirvožemis yra maisto medžiagų priimtuvas (ekosistema, į kurią pramonė turi integruotis), išskirtinai daug dėmesio skiriama saugiam (patogenų, taršos sunkiaisiais metalais ir patvariais organiniais junginiais atžvilgiu) ir efektyviam (fitotoksiškumo kontrolės, agronominės vertės atžvilgiu) medžiagų antriniam panaudojimui.

Mokslinis naujumas atsiranda ir dėl modelyje išskiriamų maisto atliekų srautų, kuriems galioja šalutinių gyvūninių produktų reglamento reikalavimai. Todėl valdant maisto atliekas regione pagal modelį, tuo pačiu užtikrinama ir ligų plitimo kontrolė.

Dėl sprendimų paramos modelyje taikomų šalutinių gyvūninių produktų reglamento reikalavimų modelis išskirtinai tinka Europos Sąjungos šalims narėms. Vis dėlto modelio taikymas nėra apribotas tik Europos Sąjunga. Modelyje atvaizduojami tvarkymo principai leistų pasiekti optimalų maisto atliekų tvarkymą bet kuriame pasaulio regione. Autoriaus žiniomis, toks modelis pasaulyje dar nebuvo publikuotas ir taikomas.

Praktinė darbo vertė

Siūlomas modelis gali būti taikomas formuojant biologiškai skaidžių atliekų politiką, ypač regiono lygmeniu. Remiantis modelio rezultatais, nacionaliniu lygmeniu, būtų galima keisti tam tikras įstatymų dalis sudarant galimybes taikyti naujoviškas maisto atliekų valdymo alternatyvas, kurios pagal dabartinį reguliavimą negali būti taikomos. Be to, šis modelis gali būti naudojamas atliekų tvarkymo administracinių vienetų, veikiančių šalyje (pvz., regionų atliekų tvarkymo centrų), ar pačios šalies formuojant regionų (tam tikrų šalies teritorijų) atliekų tvarkymo planus ar veiksmų planus. Išplečiant regiono ribas iki valstybės, toks modelis padėtų kurti nacionalinius atliekų valdymo planus. Remiantis modeliu, būtų galima suformuoti regiono administracinį vienetą, kuris kauptų informaciją apie maisto atliekų srautus ir tiesiogiai būtų atsakingas už šių srautų valdymą.

Siūlomas integruotas maisto atliekų valdymo modelis regiono lygmeniu būtų tinkamas naudoti įmonėms. Modelis įmonėms padėtų pirmenybę teikti atliekų medžiaginių ir energetinių savybių išnaudojimui. Tuo tarpu atliekų tvarkytojai galėtų optimizuoti atliekų tvarkymo procesus pasitelkdami modelyje pateiktas ribines vertes, atliekų valdymo schemas.

Mokslinio darbo rezultatų viešinimas

Mokslinio darbo rezultatai paskelbti 4 publikacijose, iš kurių 2 straipsniai Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą. Darbo rezultatai taip pat buvo paviešinti 3 tarptautinėse konferencijose.

Darbo apimtis ir struktūra

Ši disertacija susideda iš įvado, 3 pagrindinių skyrių, išvadų ir literatūros sąrašo. Pirmame skyriuje pateikiama teisės aktų, praktinės ir mokslinės literatūros apžvalga. Šiame skyriuje nagrinėjamos maisto atliekų valdymo optimizavimo galimybės, ieškoma kokybės rodiklių ir verčių, parametrų, kuriuos reikėtų kontroliuoti, būdų iš šalutinių gamybinių produktų (potencialų atliekų) gaminti aukštesnės pridėtinės vertės produktus ir / ar aukštos agronominės vertės kompostą, regeneruoti energiją. Daug dėmesio skiriama prevencinių priemonių apžvalgai nuo pirminės produkcijos iki vartojimo. Tolesniame skyriuje pateikta tyrimo metodika, įskaitant mokslinius metodus, naudojamus apibūtinant ir taikant modelį. Trečiame skyriuje pristatomi teorinių ir praktinių tyrimų rezultatai bei integruotas regioninis maisto atliekų valdymo modelis, kuris remiasi pramoninės ekologijos koncepcija kartu su modelio taikymo algoritmu. Be to, šiame skyriuje atliekama trijų reikšmingų Utenos regiono maisto atliekų srautų analizė. Sudaromos esamų ir planuojamų situacijų inventorinės analizės, o gauti rezultatai palyginami tarpusavyje, remiantis būvio ciklo įvertinimo metodika, siekiant pagrįsti teigiamą alternatyvos poveikį aplinkai. Galiausiai, darbo pabaigoje pateikiamos išvados. Pagrindinė medžiaga išdėstyta 112 puslapiuose, įskaitant 35 lenteles ir 22 paveikslus. Disertacijoje iš viso išanalizuotas 241 literatūros šaltinis.

I. MAISTO ATLIEKŲ SRAUTAI, JŲ SAVYBĖS, VALDYMO METODAI IR REIKALAVIMAI: MOKSLINĖS IR PRAKTINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ BEI TEISĖS AKTŲ APŽVALGA

Šiame skyriuje pateikiama mokslinės ir praktinės literatūros, teisės aktų bei strateginių dokumentų, susijusių su biologiškai skaidžiomis atliekomis (BSA), apžvalga. Kai kurie teisės aktai apžvelgti nuodugniau, kadangi juose nurodami tam tikri technologiniai parametrai, reikalingi valdant poveikį aplinkai. Mokslinės literatūros apžvalgoje pateikiami moksliniai ir praktiniai šaltiniai, kuriuose analizuojamos maisto atliekų (MA) (susidarančių visame maisto produktų būvio cikle) valdymo efektyvumo didinimo priemonės, siejamos su pramoninės ekologijos (PE) elementų įgyvendinimu.

1.1 Pramoninė ekologija ir jos elementai

PE – koncepcija, dėl kurios apibrėžimo kyla daug diskusijų. Nors mokslinėje literatūroje pateikiami skirtingi PE apibrėžimai, juose randama bendrų bruožų, kaip antai sisteminis požiūris į pramoninės ir ekosistemų sąveiką, medžiagų ir energijos srautų analizė ir transformacija, daugiadisciplinis požiūris, orientacija į ateitį, perėjimas nuo tiesinių (atvirųjų) į ciklinius (uždaruosius) procesus, pastangos sumažinti pramoninių sistemų poveikį natūralioms ekosistemoms, harmoningas pramonės veiklos integravimas į ekologines sistemas, efektyvesnių ir tvaresnių gamtinių sistemų pamėgdžiojimas pramoninėse sistemose. Diskusijoje, kas yra PE – strategija ar metodas, prieinama prie pasiūlymo vadinti koncepciją schema, kuri leidžia valdyti ir pertvarkyti pramonines sistemas, kad būtų atsižvelgiama į ilgalaikius žmonijos poreikius griežtai laikantis harmoningos ekologinės, socialinės ir ekonominės plėtros (Staniškis et al., 2010). Galiausiai pateikiamas PE apibrėžimas, kuris priimtinas tiek pramonei, tiek akademinei bendruomenei: „Pramoninė ekologija – tai atskaitos taškas, pagal kurį žmonija apgalvotai ir racionaliai gali remti bei plėtoti pageidaujamas veiklos sritis, vykdydama ekonominę, kultūrinę ir technologinę evoliuciją“ (Staniškis et al., 2010). Pramoninės ekologijos apibūdinimą palengvina įsigilinimas į atskirų terminų reikšmę. Pats žodis „pramonė“ asocijuojamas su plėtra, investicijomis, augimu, o terminas „ekologija“ akcentuoja idėją, kad viskas tarpusavyje susiję. Sujungę pramonę ir ekologiją, gauname koncepciją, kurios esminis tikslas ekonomiškai pagrįstai valdyti pramonės poveikį aplinkai negriaunant ekosistemų, nuo kurių industrija, žiūrint holistiniu požiūriu, visiškai priklauso.

Praktiniam PE įgyvendinimui naudojami 6 PE elementai, kurie tapatinami su metodais. Tai materialijų srautų dematerializavimas, pramoninis metabolizmas, sąveika su biosfera, energijos sistemų restruktūrizavimas, politikos formavimas, pramoninių ekosistemų kūrimas (ekologiniai parkai). Materialijų srautų dematerializavimas tai ekonominėms funkcijoms atlikti reikalingų medžiagų kiekio sumažinimas. Dematerializavimas įgyvendinamas per taršos prevenciją. Svarbu paminėti, kad dažnai taršos prevencijos tikslų siekiama taikant Švaresnės gamybos koncepciją. Ši koncepcija PE propaguotojų netgi iškelia kaip centrinę (Staniškis et al., 2010). Pramoninis metabolizmas tai medžiagų ir energijos virsmų bei tarpusavio

sąveikos analizės pabaigoje suformuotas gamybos procesų optimizavimas. Įmonės lygmenyje pramoninis metabolizmas realizuojamas naudojant procesų integravimą, o pramonės lygmenyje – pasitelkiant pramoninės simbiozės būdą. Sąveikos su biosfera tikslas, kad ūkinė veikla specifinėje teritorijoje harmoningai įsiliėtų į esamą įmonių tinklą bei ekosistemą. Tai pasiekama optimizuojant gamybos apimtis, vietas ir laiko sąlygas (Staniškis et al., 2010). Energijos sistemų restruktūrizavimo metu į pramonės ekosistemas integruojami atsinaujinantys, antriniai energijos šaltiniai, saulės energija bei saulės energija, sukaupta biomasės pavidalu. Politikos formavimo tikslas valdyti teisinę bazę taip, kad būtų lengviau įgyvendinama PE koncepcija. Pramoninių ekosistemų kūrimas (ekologiniai parkai) yra per visų PE elementų taikymą suformuota valdymo sistema.

1.2 Maisto atliekų srautai ir prevencinės priemonės

1.2.1 Maisto atliekų apibrėžimas

Strateginiuose dokumentuose bei mokslinėje literatūroje pabrėžiamas vieningo MA apibrėžimo trūkumas (Vittuari et al., 2016). Nors daugelis šalių turi studijų, vertinančių MA visoje tiekimo grandinėje, jų lyginimas kelia problemų, kadangi vieni vertina tik valgomas dalis, kiti ir valgomas, ir nevalgomas, tretieji vertina, kad gyvūnų pašarui nukreipiami MA srautai nelaikomi atlieka, o kiti atvirkščiai. Visgi, ateityje siūloma peržiūrėti ir suderinti apibrėžimą, kadangi pirmenybė turėtų būti teikiama valgomoms dalims (Caldeira et al., 2019). Pavyzdžiui, kai kurios studijos pirmenybę teikia maistinių medžiagų nukreipimui gyvulių pašarams, o ne naminių gyvūnėlių ėdalui, tokiu būdu mažėja medžiagų netekimas maisto tiekimo sistemoje. Tokiu atveju valgomos dalys nukreiptos gyvulių pašarui nėra laikomos MA, o maistas, nukreiptas naminių gyvūnėlių ėdalui, būtų laikomas maisto pradimu (Redlingshöfer et al., 2017). FUSIONS projekto metu identifikavus MA apibrėžimo problemą, buvo pasiūlytas naujas paaiškinimas: MA yra bet koks maistas, įskaitant nevalgomas maisto dalis, pašalintas iš maisto tiekimo grandinės tam, kad būtų atgaautos ar pašalintos vienu iš toliau išvardytų būdų: kompostuojant, paliekant derlių lauke ar įariant jį į dirvožemį, apdorojant anaerobiniu būdu, bioenergijos gamybai, kogeneracijai, deginimui, pašalinimui su nuotekomis į sąvartyną ar jūrą. Tikslus MA apibrėžimas leistų suvokti, kiek ir kokių MA susidaro tiekimo grandinėje, identifiкуoti karštuosius taškus bei skatintų verslą ir mokslą ieškoti mažinimo alternatyvų (Vittuari et al., 2016). Suvokus MA sistemos ribas, šalių ataskaitos būtų tarpusavyje palyginamos. Vis dėlto iki šiol ne visos šalys tokias ataskaitas rengė, tarp jų ir Lietuva (Caldeira et al., 2019).

1.2.2 Maisto atliekų kiekiai tiekimo grandinėje

FUSIONS publikavo atnaujintus duomenis apie MA susidarymą šalyse narėse. Studijoje buvo įvertinta, kad apytiksliai 88 milijonai tonų maisto, skirto žmonių vartojimui, yra prarandama kiekvienais metais visoje maisto tiekimo grandinėje. Pagal FUSIONS skaičiavimus, gyventojui tenka 173 kg per metus atliekų

(įtraukiant nevalgomas dalis), kas yra lygu 20 % viso pagaminto maisto ES. Apytiksliai 50 % šio maisto iššvaistoma namų ūkiuose (Stenmarck et al., 2016).

Išplėtus MA apibrėžimo ribas, didelis kiekis atliekų, susijusių su maisto tiekimu, randamas visoje tiekimo grandinėje. Pavyzdžiui, žemės ūkyje susidaro didžiuliai kiekiai kviečių ir ryžių šiaudų, gyvulininkystėje – gyvulių mėšlas, skerdyklose – šalutiniai gyvūniniai produktai (ŠGP), daržininkystėje ir perdirbime – įvairių daržovių bei vaisių BSA arba tiksliau šalutiniai gamybiniai produktai.

1.2.3 Vaisių ir daržovių praradimų valdymas auginimo stadijoje

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiami auginimo stadijos MA šaltiniai, jų mastas bei prevencinės priemonės (žr. 1 lent.).

1 lentelė. MA kiekiai ir prevencinės priemonės auginimo stadijoje

Vaisių ir daržovių praradimų mastai	
Bendrai ūkininkai teigia, kad laukuose lieka apie 57 % tinkamo vartoti maisto, prastos išvaizdos daržovių, kurios vadinamos nekondicinėmis.	(Johnson et al., 2018)
Vidutiniškai, 16,8 % „iceberg“ tipo salotų (apytiksliai 3200 kg / ha valgomos ir nevalgomos kokybės salotų) buvo palikta Švedijos laukuose.	(Strid et al., 2014).
Olandijoje nekondiciniai produktai sudarė 2 % šiltnamiuose auginamų pomidorų, o atviruose laukuose auginamų salotų ir kopūstų net 25 %. Vokietijoje, auginant daržoves atvirame lauke, neatitikčių kiekis dar didesnis – 40 %.	(de Hooge et al., 2018)
Šviežių bulvių praradimai tiekimo grandinėje varijuoja 53–55 % ribose, 15–24 % šių praradimų atsiranda ūkiuose, 12–24 % didmeninėje prekyboje, 1–3 % pas prekeivius ir 15 % namų ūkiuose.	(Willersinn et al., 2015)
Ūkininkams bijant neįvykdyti kontrakto sąlygų, auginamas perteklinis vaisių ir daržovių kiekis, kuris sąlygoja 10 % maisto praradimus.	(Beausang et al., 2017)
Vaisių ir daržovių praradimų valdymas auginimo stadijoje	
Įmonės „Multicraft“ mikrobiologiniai preparatai „Effective microorganisms“ padeda pagerinti derliaus skonį, laikymo laiką, trąšų pasisavinimą, kuris leidžia mažinti tręšimo intensyvumą, didina atsparumą ligoms ir kenkėjams.	(Multicraft, n.d.)
Pomidorų derlius, tenkantis augalui, išaugo nuo 5889 g iki 6630 g 2006 m. atliktame tyrime. 2007 metais, pakartojus tyrimą, pomidorų derlius abiem sąlygomis buvo mažesnis, bet eksperimentas su mikrobiologiniais preparatais parodė didesnį produktyvumą. Pomidorų derlius išaugo nuo 2243 g iki 3107 g (28 % derliaus padidėjimas). Įdomu tai, kad naudojant mikrobiologinius preparatus geležies kiekis pomidorų lapuose išaugo 3–5 kartus palyginti su kontrole.	(Ndona et al., 2011).
Naudojant sterilizuotą dirvožemį buvo sudaryti keturi mėginiai. Kiekvieno mėginio savybės buvo pagerintos mėšlu, <i>Trifolium alexanrinum</i> L. likučiais, pusė rekomenduojamos azoto, fosforo ir kalio (NPK) dozės ir visa NPK dozė. Bandiniuose su mėšlu, augalų likučiais ir visa NPK doze derlius išaugo, atitinkamai, 24 %, 15 % ir 84 % naudojant mikrobiologinius preparatus. Tyrimo metu bandinys su 1/2 NPK ir mikrobiologiniais preparatais teigiamų rezultatų neparodė.	(Javaid & Bajwa, 2011)

Probiotikų įtraukimo efektas buvo stebimas auginant svogūnus (28 % padidėjimas), žirnelius (31 % padidėjimas) ir javus (48 % padidėjimas).	(Olle & Williams, 2013)
Techninėje ataskaitoje probiotikas „SCD Bio Ag“ vertinamas kaip priemonė kovoti su šakniniais nematodais, kurie pomidorų derlių gali sumažinti nuo 42 % iki 54 %, o baklažanų – net 30–60 %. Ataskaitoje palyginus pesticidų „Inferno“ ir „SCD Bio Ag“ nematodų šalinimo efektyvumą buvo gauti labai panašūs rezultatai: 92,73 buvo pasiekta su „Inferno“ pesticidu (dozė 1500 ml / ¼ akro), kai naudojant probiotiką – 91,11 (dozė 2000 ml / ¼ akro).	(SCD Probiotics, 2012)
Dozuojant „SCD Bio Ag“ du kartus per sezoną (mėnuo po pasodinimo 15 l / ha ir 10 l / ha dar po mėnesio), pomidorų derlius padidėjo 22 %.	(SCD Probiotics, 2015)
Braškių ūkiuose „SCD Bio Ag“ padidino derlių 4–6 %, tuo tarpu kitame tyrime braškių dydis išaugo 9,8 % (nors kituose bandymuose jis išaugo nežymiai arba net sumažėjo). Naudojant „SCD Bio Ag“ 2016-10-19 pažeistų uogų kiekis sumažėjo nuo 27 iki 12 % (lyginant su kontrole), o 2017-10-01 nuo 52 iki 37 %.	(SCD Probiotics, 2016)
Kompanija „Apeel“ vaisius ir daržoves padengia plona lipidų ir glicerolipidų mišinio plėvele, kuri sumažina vandens išgaravimą ir oksidaciją, kurie yra laikomi pagrindiniais veiksniais lemiančiais produktų sugedimą. „Apeel“ teigia, kad produkcija, padengta šia plėvele, išlieka šviežia nuo dviejų iki trijų kartų ilgiau.	(SCD Probiotics, 2016) (Apeel, 2018)
„Hazel Technologies“ tam, kad sumažintų sugedusių produktų kiekį, į kiekvieną daržovių ir vaisių dėžę deda priemonę, kuri transportavimo metu skleidžia medžiagų mišinį, atidedantį puvimo procesą. Viena skleidžiamų medžiagų yra 1-metilciklopropenas (1-MCP), kuris padidina atsparumą etilenui.	(Hazel Technologies, n.d.)
„ISA-Pack“ startuolis teigia, kad nesočiojo polihidroksibutirato kopolimero medžiagas aktyviam pakavimui MA, susidarančias dėl pakavimo, galima sumažinti 75 %.	(ISA-PACK, 2014)
„Camouflage“ kompanija, nustačiusi, kad kai kurie vaisiai yra labai ilgai transportuojami, kol pasiekia parduotuvių lentynas, sukūrė vaisių formos daviklius šnipus, kurie laikomi kartu su produkcija tam, kad būtų galima nustatyti temperatūrą vaisių viduje juos transportuojant. Technologijos esmė, kad dabar naudojami temperatūros sensoriai matuoja temperatūrą konteineryje, bet ne vaisių viduje, o naudojami invaziniai temperatūros matavimo metodai gali pateikti netikslius duomenis paprasčiausiai dėl to, kad ėminiai imami nuo viršaus, kur temperatūra geriausiai kontroliuojama.	(Defraeye, 2017)
Susidarančių atliekų valdymui labai svarbus ir kitas matavimas, tai neinvazinis sunokimo lygio nustatymą naudojant įvairias vaizdo apdorojimo priemais, optinius įtaisus ar elektronines nosis.	(Leverenz et al., 2019a)
Palaikant 0–2 °C temperatūra ir 90–98 % santykinį drėgnį galima užtikrinti optimalias laikymo sąlygas vaisiams ir lapinėms daržovėms. Esant 7–10 °C temperatūrai ir 85–95 % santykiniam drėgniui optimalios sąlygos pasiekiamos citrusiniams ir subtropiniai vaisiams bei vaisinio tipo daržovėms. Palaikant 13–18 °C ir 85–95 % santykinį drėgnį	(Porat et al., 2018)

optimalios sąlygos sukuriamos šakninėms daržovėms ir didžiajai daliai tropinių vaisių.	
Kompanijos „Imperfect food“ ir „Hungry Harvest“ rinkai pasiūlė nekondicinių daržovių ir vaisių tiekimą gyventojams tiesiai iš ūkių, kaip būdą mažinti maisto švaistymą.	(Hungry Harvest, n.d.; Imperfect Food, n.d.)

1.2.4 Augalinio maisto praradimai transportuojant ir sandėliuojant

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiamas MA susidarymo mastas ir jų susidarymo priežastys transportavimo bei sandėliavimo metu (žr. 2 lent.).

2 lentelė. Augalinės kilmės MA praradimai transportuojant ir sandėliuojant

Besivystančiose šalyse javų (bei ankštinių augalų) prarandama net iki 50–60 %, kai vidutiniškai pasaulyje prarandama apie 10 %.	(Kumar & Kalita, 2017) (Magan & Aldred, 2007)
Sandėliuojant kukurūzus 90 dienų, jų praradimai gali pasiekti 59,48 %. Net 25–40 % praradimų atsiranda dėl pelėsių mitotoksinų (tokių kukurūzų nebegalima naudoti kaip pašaro). Šie pelėsiai susidaro esant 20–40 °C temperatūrai ir 70 % santykiniam drėgnumui.	(Kumar et al., 2017)
Vabzdžiai atsakingi už 0,2–11,8 % praradimų sandėliuojant kukurūzus ilgiau nei 6 mėnesius, tuo tarpu dėl šių kenkėjų iš tiekimo grandinės pašalinama 30–40 % javų.	(Kumar et al., 2017)
Prastos sandėliavimo sąlygos gali lemti iki 30 % vaisių ir daržovių praradimų.	(Santos et al., 2020)
20–30 % vaisių ir daržovių prarandama dėl nepakankamai išvystos sandėliavimo infrastruktūros (trūksta sunkvežimių ir patalpų, kuriose būtų galima kontroliuoti temperatūrą).	(Raut et al., 2019)

1.2.5 Gyvulinės kilmės maisto praradimai bei prevencinės priemonės

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama gyvulinės kilmės MA šaltiniai, jų mastas ir galimos prevencinės priemonės šių MA valdymui (žr. 3 lent.).

3 lentelė. Gyvulinės kilmės maisto praradimai, jų priežastys ir prevencija

Maisto praradimų mastas paukštininkystėje	
Kiaušinių praradimai dėl sudužimo gali siekti iki 10 % vištų dedeklių fermose.	(Takahashi et al., 2009)
Mėšinių broilerių mirštamumas fermose siekia 4,8 %.	(X. Zhang et al., 2018)
Transportuojant vištas dedekles daugiau nei 200 km atstumu jų mirštamumas siekia 1,892 %.	(Voslářová et al., 2007)
Prevencinės priemonės paukštininkystės sektoriuje	
Kompanijos „SCD Probiotics“ siūlomas preparatas „SCD Bio Livestock“ leidžia sumažinti pašaro ir mėsos prieaugio santykį nuo 1,34 iki 1,31.	(SCD Probiotics, n.d.)

Naudojant probiotikus (<i>Pediococcus acidilactici</i> ir <i>Lactobacillus plantarum</i>) visomis tyrimui pasirinktomis sąlygomis pašaro ir prieaugio santykis palyginti su kontrole buvo mažesnis (vidutinė reikšmė naudojant probiotikus – 1,41, o kontrolė 1,44).	(Almeida Paz et al., 2019)
Naudojant probiotikus sudužusių kiaušinių kiekis sumažėja 39 %, o padidinus dozę iki 100 mg/kg pašaro, rezultatai dar reikšmingesni – net 52 % sudužusių kiaušinių redukcija.	(Mikulski et al., 2012)
Maisto praradimų dydis žuvininkystėje	
Brazilijoje 15 % žuvų praradimų yra susieta su patogeniniais mikroorganizmais.	(Tavares-Dias & Martins, 2017)
Jungtinės Karalystės žuvų ūkiuose prarandama apie 5,8–16,5 % žuvų išteklių.	(SHINN et al., 2015)
Maisto atliekų prevencinės priemonės žuvininkystėje	
Mikroorganizmai <i>L.mesenteroides</i> CLFP196 ir <i>L.plantarum</i> 2708 CLFP 238 įraskti į žuvų ėdalą 10^7 KSV(Kolonijas sudarantys vienetai) / g padėjo sumažinti žuvų mirtingumą nuo 78 % (kontrolė) iki 46–54 %.	(Vendrell et al., 2008)
Probiotinių mikroorganizmų <i>E. faecium</i> įtraukimas į žuvų (<i>Niliné tilapia</i>) dietą padidino svorio prieaugį nuo 84,51 g (kontrolė) iki 88,96 g, o ėdalo konversijos į žuvų masę koeficientas sumažėjo nuo 1,17 iki 1,11.	(Tachibana et al., 2020)
Krevečių ūkiuose su mikrobų mišinio koncentracija (<i>Bacillus subtilis</i> (BSB, Be12G, C10LtaG, ir ATCC 6051), <i>Bacillus pumilus</i> (CbLta), <i>Bacillus tequilensis</i> (C10LtaCh), <i>Bacillus sp.</i> (Be12Ch) ir <i>Enterococcus faecalis</i> (rūšis 2)) galutinis krevečių svoris išaugo nuo 10,80 g iki 15,00 g, o išgyvenusių krevečių skaičius išaugo nuo 75 (kontrolė) iki 88 %, kai probiotikų dozė buvo $H; 1,6 \times 10^9$ KSV/ml.	(Guzmán-Villanueva et al., 2020)
Prevencinės priemonės gyvulininkystėje	
Probiotinės medžiagos, slopinančios kvapų susidarymą, padeda mažinti gyvulių mirštamumą kartu pasiekiant ir emisijų mažinimą (CO ₂ emisijos sumažėja 57 %, NH ₃ – 43 %, N ₂ O – 9 %, o CH ₄ – 4 %).	(Amon et al., 2005)
Įtraukus probiotiką „Actisaf®“ į avių ėdalą, sudėtyje esantys mikrobai (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) sumažino streso hormono kortizolio koncentraciją nuo 53,4 ng / ml iki 34,7 ng / ml per 30 dienų laikotarpį. Streso hormono koncentracija siejama su greitesniu skerdienos gedimu.	(Naglaa & Ghada, 2014)
Prevencinės priemonės mėsos ir žuvies pramonėje	
Sumažinti somatinių ląstelių skaičių galima palaikant geresnę mitybą bei aukšto lygio higieną, kuriai užtikrinti „FutureCow“ siūlo spenių skruberį, kuris pagal kompanijos atliktą tyrimą vienoje iš fermų padėjo sumažinti somatinių ląstelių skaičių nuo 302 000 iki 90 000. Didesnė somatinių ląstelių koncentracija skatina greitesnį pieno produktų sugedimą.	(FutureCow, 2017)
„Len-Don“ fermoje vidutinis primelžiamo pieno kiekis išaugo 5 % per ketverių metų laikotarpį (2013–2017) dėl sumažėjusių somatinių ląstelių.	(FutureCow, 2017)
Naudojant komercinius probiotikus „Great Land“ („Terragen Biotech Pty Ltd“) gerinti ganyklose esančių augalų produktyvumą ir gyvybingumą kartu padidėjo pieno baltymų kiekis (0,03 kg/d) karvių, maitinamų šia žole, piene.	(Olchoway et al., 2019)

Pieno produktų praradimo mastai	
Pieno pramonėje su išskirtiniais maisto medžiagų praradimais susiduriama brandintų sūrių gamyboje, kur nuostoliai gali siekti 11 %, dažniausiai dėl nuopjovų (problemos sprendimas: siūloma nupjautas dalis pardavinėti sumažinta kaina).	(Bilska & Kolożyn-Krajewska, 2019)
Mikrobiologinė tarša grybeliais atsakinga už 5 % visų sugedusių pieno produktų, o <i>Penicillium commune</i> sudaro 10 % visų grybelių, randamų sugedusiuose produktuose.	(Bernardi et al., 2019)
Prevenčinės priemonės pieno pramonėje	
Pieno pramonėje naudojant sprendimų priėmimo modelius su planavimu susijusias atliekas galima sumažinti 20 %.	(Akkerman & van Donk, 2008)
Prevenčinės priemonės mėsos pramonėje	
Kompanija „Bluwrap“ siūlo prietaisą, kuris dėl deguonies valdymo technikų sukuria natūralią atmosferą, kuri leidžia mėsą ir žuvį transportuoti neužšaldytą, o galiojimo laiką prailginti net 40 dienų.	(Bluewrap, n.d.)
Keletas medžiagų, susidedančių iš želatinos, išrūgų baltymų, chitozano, krakmolo plėvelių ir antimikrobinų medžiagų, pvz., raudonėlių, cinamono, monardų eterinių aliejų, greipfrutų ekstrakto, citrinų, arbatos polifenolių bei kitų medžiagų, leidžia padidinti šviežios žuvies ir mėsos galiojimo laiką nuo 5 iki 21 dienos.	(Umaraw et al., 2020)
11 % gyvo svorio (skerdimo ŠGP) gali būti panaudojama aukštesnės pridėtinės vertės produkto (APVP) gamybai (naminių gyvūnėlių ėdalo gamybai).	(Woodgate, 2005)

1.2.6 Maisto atliekos kepinų pramonėje ir prevenčinės priemonės

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama kepinų pramonės MA šaltiniai, jų mastas ir prevenčinės priemonės (žr. 4 lent.).

4 lentelė. Maisto praradimai kepinų pramonėje ir prevenčinės priemonės

Maisto praradimai kepinų pramonėje	
Grūdų apdorojimo metu susidaro iki 1,5 % bendro jų kiekio, tuo tarpu perdirbant miltus BSA susidarymas siekia 0,2 % perdirbamų grūdų kiekio.	(Staugaitis et al., 2011)
Gijiniai grybeliai yra atsakingi už 71 % sugedusių miltinių produktų.	(Snyder et al., 2019)
Austrijos prekybos centrai grąžina vidutiniškai apytiksliai 20 % visų tą dieną pristatomų keptų miltinių gaminių, o Švedijoje šis dydis gali siekti net 54,3 %.	(Ghosh & Eriksson, 2019)
Prevenčinės priemonės kepinų pramonėje	
„NanoPack“ siūlo aktyvaus pakavimo sprendimus kepinams bei kitiems produktams ir teigia, kad dėl haluazito nanovamzdelių kartu su antimikrobiniais aliejais produktus nuo mikrobus galima apsaugoti net iki 25 % ilgiau.	(NanoPack, 2018)
Duona su konservantais išbuvo nesugedusi 6 dienas, etanolio emiteriai šį laiką prailgino iki 24 dienų, o sujungus etanolio emiterius su deguonies surišikliais šis terminas pailgėjo net iki 30 dienų.	(Latou et al., 2010)

Įtraukus pieno rūgšties bakterijas <i>L. bulgaricus</i> ir <i>L. plantarum</i> į fermentavimo procesą kartu su mielėmis, šios probiotinės bakterijos sumažino grybelių skleidžiamą aflatoksiną 99,9 ir 99,4 % bei pailgino „lentynos laiką“ 3–4 dienomis.	(Saladino et al., 2016)
---	-------------------------

1.2.7 Maisto praradimai ir prevencija pramonėje: gėrimų, daržovių, aliejaus gamyba

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama gėrimų, daržovių ir aliejaus pramonės MA susidarymo mastas ir prevencinės priemonės (žr. 5 lent.).

5 lentelė. MA kiekiai ir prevencija gėrimų, daržovių ir aliejaus pramonėje

Maisto atliekos gėrimų pramonėje	
Kietų dalelių kiekis (potencialių BSA) salykle yra 25–30 % ribose. 1–2 % alaus gamybos yra mielės, kurios susidaro greitai atšaldžius alų. Antroje fermentacijos ir brandinimo stadijoje perteklinės mielės yra nusodinamos gravitaciniais nusodintuvais, šis šalutinis produktas sudaro 1,5–3 % visos alaus gamybos.	(Fillaudeau et al., 2006)
Pagaminti 1 m ³ alaus apytiksliai reikia 200 kg grūdų. Po fermentavimo proceso šie grūdai tampa šalutiniu gamybinio produktu, kuris gali būti panaudotas kaip pašaras arba tapti netgi atlieka.	(Klemes et al., 2008)
Prevencinės priemonės gėrimų ir aliejaus gamyboje beidaržovių perdirbime	
Į <i>Catla catla</i> ir <i>Labeo rohita</i> pašarą įtraukus 30 % alaus pramonėje panaudotų grūdų, <i>Catla catla</i> žuvų galutinis svoris pasiekė 270 g, kai kontrolinio eksperimento metu vidutinis žuvų svoris buvo 214 g, tuo tarpu <i>Labeo rohita</i> svoris pasiekė 262 g palyginti su kontrole – 250 g.	(Kaur & Saxena, 2004)
Dėl didelio kiekio skaidulų 30–50 % ir baltymų 19–30 % alaus gamyboje panaudotus grūdus galima pritaikyti kepinių pramonėje gaminant sausainius, duoną, javinius batonėlius, blynus, pyragėlius.	(K. M. Lynch et al., 2016)
Kompanija „ReGrain“, panaudojusi 10–15 % alaus gamyboje dalyvavusių grūdų, šiuo metu tiekia į rinką batonėlius, kurių kaina 25 doleriai už 480 g.	(ReGrained, 2016)
Apelsinų žievelės panaudojamos marmelado gamyboje.	(Vittuari et al., 2016)
Aliejaus spaudimo šalutiniai produktai panaudoti gaminti jautienos pakaitalus vegetarams.	(PLANETARIANS', n.d.).

1.2.8 MA susidarymas ir prevencija viešojo maitinimo įstaigose

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama virtuvės atliekų susidarymo mastas ir prevencinės priemonės viešojo maitinimo įstaigose (žr. 6 lent.).

6 lentelė. MA susidarymo mastai ir prevencija viešajame sektoriuje

Maisto praradimai viešojo maitinimo sektoriuje	
8 veiksniai, įtakojantys maisto praradimus maitinimo sektoriuje: visuomenės kultūra, verslo tipas, produktų vystymas ir įsigijimas,	(Heikkilä et al., 2016)

valdymas, darbuotojų įgūdžiai, pietaujantys asmenys, konkurentai ir komunikacija. Visuomenės įtaka MA susidarymui remiasi normomis, vertybėmis, vietine teisine baze. Šie veiksniai toliau formuoja jų elgseną ir požiūrį į atliekų susidarymą. Verslo modelio įtaką galima išreikšti švediško stalo pavyzdžiu, kur neįmanoma prognozuoti maisto suvartojimo. Produktų vystymo ir įsigijimo įtaka nesuvaldomam maistui buvo paaiškinta šaldytos ir šviežios duonos pavyzdžiu (šaldyta duona būdavo nesuvaldoma lankytojų daug dažniau negu šviežia duona). Tuo tarpu konkurencinė aplinka gali įtakoti maisto švaistymą.	
Teigiama, kad Jungtinėje Karalystėje net 75 % MA priskiriama išvengiamoms, tai kasmet sugeneruojamų 920 000 tonų MA.	(Oakdene & WRAP, 2013)
Lenkijoje ir Švedijoje dėl įstatymų kaltės, atitinkamai, tik 32,3 % ir 17,4 % kavinių maisto yra paaukojama.	(Bohdanowicz, 2006)
Jungtinėje Karalystėje atlikta studija atskleidė, kad restoranuose 23 % ir baruose 22 % nupirkto maisto yra išmetama, o viešbučiuose, ligoninėse ir mokyklose šis skaičius kiek mažesnis, atitinkamai 19 %, 18 % ir 17 %.	(Oakdene et al., 2013)
Kaip efektyviausia maitinimo forma MA atžvilgiu buvo darbuotojų maitinimas, tik 3 % nupirkto maisto buvo išmetama, po to sekė greito maisto restoranai su 8 % MA įsigytų produktų. Neefektyviausias maisto produktų naudojimas buvo pastebėtas valstybės finansuojamose maitinimo įstaigose (kalėjimai, kariuomenės maitinimas, policininkų ir gaisrininkų maitinimas, valstybės departamentų ar agentūrų maitinimas) – 28 % įsigyjamų maisto produktų buvo išmetama. Šiek tiek mažesnis maisto švaistymas (25 % įsigyjamų maisto produktų) buvo stebimas maitinant klientus laisvalaikio praleidimo metu (kinas, kelionės, transportas, muziejai, galerijos ir t. t.). Papildomos WRAP studijos metu buvo nustatyta, kad viešojo maitinimo sektoriuje 45 % atliekų susidarė ruošiant patiekalus, 34 % buvo nesuvaldomi lankytojų patiekalai, o 21 % – sugedę produktai. Jungtinėje Karalystėje greitojo maisto restoranai ir valstybės finansuojamos maitinimo įstaigos atitinkamai 36 ir 33 % susidarantių maisto atliekų nukreipia į kompostavimą ar anaerobinį apdorojimą, likusios įstaigos tik 4–18 % maisto atliekų tvarko biologiškai jas apdorojant. Tuo tarpu restoranai, barai, mokyklų valgyklos, viešbučiai, maitinimas pramogų metu apie 80 % susidarantių maisto atliekų nukreipia centralizuotam tvarkymui, todėl dalis maisto medžiagos keliauja į sąvartyną ar yra deginamos. Trečioji maisto atliekų tvarkymo alternatyva maitinimo sektoriuje – maisto likučių susmulkinimas ir nukreipimas į nuotekų tinklus, kur šios medžiagos tvarkomos kartu su dumbliu. Tokia valdymo alternatyva labiausiai naudojosi ligoninės (42 %), darbuotojų maitinimo įstaigos (28 %) ir valstybės finansuojamos valgyklos (50 %) (išskyrus mokyklas ir ligonines).	(Wrap, 2013)
Prevenčinės priemonės viešojo maitinimo įstaigose	
Viešbučių restoranuose galima išvengti 20 % atliekų paprasčiausiai sumažinus fizinį lėkščių dydį.	(Kallbekken & Sælen, 2013)
Viename Jungtinės Karalystės viešbutyje pritaikius išmanią stebėsenos sistemą („Winnow“) buvo identifikuoti maisto atliekų šaltiniai bei 31 % sumažintos MA per 8 savaites trukusį bandymą.	(WRAP, 2012)

Išmanioji maisto atliekų kiekio nustatymo sistema „Winnow“ padėjo įvertinti, kad net 70 % maisto atliekų susidaro gaminant patiekalus prieš jiems patenkant ant vartotojų stalo.	(Filimonau et al., 2020)
--	--------------------------

1.2.9 Maisto praradimai ir prevencija prekyboje

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama maisto praradimų mastas ir prevencinės priemonės didmeninėje ir mažmeninėje prekyboje (žr. 7 lent.).

7 lentelė. Maisto praradimai ir prevencija prekybos sektoriuje

Maisto praradimai didmeninėje ir mažmeninėje prekyboje	
Šio šaltinio duomenimis, tiekėjai, gamintojai ir didmenininkai išvengė maisto atliekų skirdami atitinkamai 10,9 %, 35,3 % ir 35 % labdarai ar maisto bankams, tuo tarpu mažmeninė prekyba tik 4,6 % (95,4 % nukreipta į sąvartyną) visų maisto praradimų nukreipė labdaroms. Pagal studiją, praktika panaudoti maisto perteklių pašarų gamybai naudojasi tik tiekėjai (ūkininkai) – 54,7 % visų maisto praradimų, o didmenininkai 10 % potencialių maisto atliekų panaudojo tiesioginiam gyvulių šėrimui.	(Giuseppe et al., 2014)
Teigiama, kad net 35 % parduotuvės maisto atliekų tinka vartoti žmonėms.	(Cicatiello et al., 2017)
Vaisių ir daržovių atliekų susidarymas, imant kaip sistemos ribas prekybos centrą, yra sąlyginai mažas – iš viso tik 4,3 % visų vaisių daržovių. Net 3,01 % iš 4,3 % vaisių ir daržovių atliekų susidarė priimant produkciją iš vežėjų.	(Eriksson et al., 2012)
Prevencinės priemonės didmeninėje ir mažmeninėje prekyboje	
Programėlė FOOD COWBOY padeda surasti artimiausią labdaros organizaciją tam, kad į prekybos centrą nepriimtas maistas būtų nukreipiamas nepasiturintiems vietoje to, kad būtų išmestas į sąvartyną	(FOOD COWBOY, n.d.)
Be programėlių ir maisto skyrimo labdaroms, yra įmanoma tiesiog riboti produkcijos atmetimą (prekybos centrai gali fiziškai nepriimti produkcijos arba vėliau susigrąžinti pinigus už kontrakto sąlygų neatitikusius produktus). Galimybės prekybos centrams atmesti maisto produktus ribojimas galėtų leisti sumažinti maisto atliekų susidarymą nuo 4,2 iki 2,3 %.	(Eriksson et al., 2017)
Kadangi tarp prekybos centrų ir tiekėjų yra nusistovėjusi praktika, kad neparduoti produktai yra grąžinami tiekėjui, atsiranda rizika, kad prekybos centro darbuotojai piktnaudžiaus tokia sistema, nesistengs prognozuoti produktų poreikio, nes už perteklinį tiekimą sumoka tiekėjas.	(Bos-Brouwers et al., 2014)
Nyderlanduose įsikūrusi įmonė „de Verspillingsfabriek“ surenka perteklinį maistą (daržoves) ir iš jo gamina sriubas.	Verspillingsfabriek, s.a.)
Didžiuosiuose prekybos centruose pradėjusias gesti daržoves ar vaisius galima panaudoti vietoje kepant bandeles ar gaminant mišraines, tuo tarpu iš duonos ar batono galima gaminti džiovėsius.	(Samray et al., 2019)

Kompanija „Wasteless“ siūlo kainą diferencijuoti pagal produktų galiojimo laiką, tokiu atveju pirkėjas žinodamas, kad produktus suvartos artimiausiu metu, galėtų dėl to sutaupyti. Tai sumažintų ne tik maisto produktų atliekas parduotuvėse, bet ir paskatintų vartotojus atsakingiau planuoti pirkinius.	(Wasteless, n.d.)
Startuolis „NoFoodWasted“ skatina produktų, artėjančių prie galiojimo pabaigos ir nukainuotų, realizavimą paprasčiausiai perduodami šią informaciją programėle.	(NoFoodWasted, n.d.)
Sumažinus temperatūrą mėsos skyriuje nuo 4 iki 2 laipsnių, galiojimo laikas gali prailgėti 16–30 %. Svarbiausia, kad įvertinus išvengtų maisto atliekų kainą bei padidėjusias energijos sąnaudas šaldymui sutaupymai per metus vienai parduotuvei būtų 56 kronos (5,6 euro).	(Eriksson et al., 2016)
Komunikuojant autentiškumą per natūralumo dimensiją, 51 % apklaustųjų esant vienodai kainai rinkęsi nekondicinius produktus, o komunikuojant darnumą, tokius produktus rinkęsi tik 23 %. O sujungus 30 % nuolaidą ir autentiškumo žinutę, šis skaičius išaugo net iki 64 %.	(van Giesen & de Hooge, 2019)

1.2.10 Maisto praradimai ir prevencinės priemonės namų ūkiuose

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama maisto praradimų mastas ir prevencinės priemonės didmeninėje ir mažmeninėje prekyboje (žr. 8 lent.).

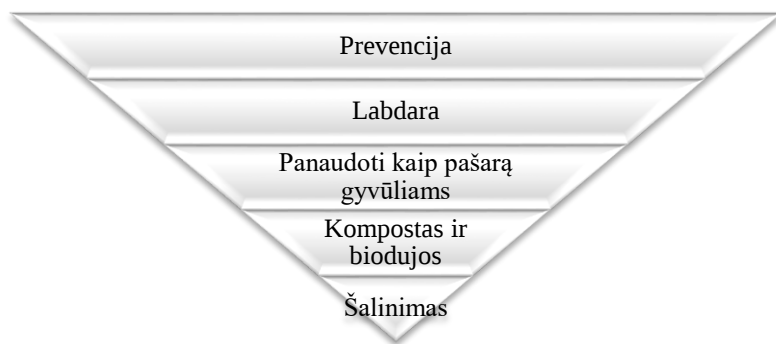
8 lentelė. Maisto praradimai ir prevencinės priemonės namų ūkiuose

Maisto praradimai namų ūkiuose	
Maisto atliekų prevencija namų ūkiuose galėtų būti reikšmingesnė, jeigu teikiama informacija būtų susijusi su tuo, kaip efektyviau naudoti maisto produktus, o ne kaip mažėja poveikis aplinkai dėl neišmestų maisto produktų.	(Shaw et al., 2018)
Naudojant savarankiškų ataskaitų teikimo būdą, išvengiamas maisto atliekas galima sumažinti daugiau negu 50 %, mokant dalyvius tiek gyvai, tiek nuotoliniu būdu.	(Leverenz et al., 2019b)
Švedijos namų ūkiuose, net 20–25 % susidarančių atliekų susidarė dėl pakuočių, kurios buvo per didelės ar sunkiai ištuštinamos.	(Wikström et al., 2019)
Prevencinė priemonė namų ūkiuose	
Kompanijos „Smarter“ siūloma šaldytuvo kamera gali sekti esamus produktus ir taip palengvinti planavimą, todėl nebūtų perkami jau turimi maisto produktai.	(Smarter, n.d.)
Programėlė „MyFoodWays“ dar viena priemonė užkirsti kelią susidaryti MA panaudojant šaldytuve esančius produktus naujų patiekalų gamybai.	(MyFoodsWay, n.d.)
„BlueApple“ etileno adsorberis pailgina daržovių ir vaisių sandėliavimo laiką šaldytuvuose net 14–24 dienomis.	(BlueApple, n.d.)

1.2.11 Prevencijos reikšmė maisto atliekų valdyme

Prevencijos svarba yra išskirtinai komunikuojama tiek mokslinėje literatūroje, tiek teisinėje bazėje dėl ekonominių, aplinkosauginių ir socialinių aspektų.

Direktyvoje dėl maisto atliekų prevencija apibrėžta kaip priemonės, kurių yra imamasi tam, kad medžiagos nevirstų atliekomis, ir ši priemonė užima prioritetinę vietą atliekų tvarkymo hierarchijoje. Pastaruoju metu tradicinė atliekų tvarkymo hierarchija buvo pritaikyta MA, kurios viršuje tipinė prevencija, po to nukreipimas vartojimui nepasiturintiems žmonėms, o prevencinių priemonių paketą užbaigia maisto panaudojimas gyvuliams šerti (Papargyropoulou et al., 2014). Visos prevencinės priemonės ateityje gali tapti dar reikšmingesnės, kadangi gali atsirasti papildomų veiksnių, įtakančių maisto gamybos sumažėjimą. Pavyzdžiui, UNEP įvertino, kad dėl klimato pokyčių, vandens trūkumo ir kenkėjų per artėjančią šimtmetį galima netekti apie 25 % pasaulio maisto gamybos (Papargyropoulou et al., 2014).



1 pav. Maisto atliekų tvarkymo hierarchija (Davis & Wunder, 2019)

Rekomendacijų dėl veiksmų maisto atliekų prevencijos srityje ataskaitoje teigiama, kad kompanijos maisto atliekų prevenciją turėtų laikyti prioritetu, aiškiai nurodant veiksmingumo rodiklius ir mokymų programas darbuotojams (Davis & Wunder, 2013).

1.3 Pridėtinės vertės produktų gamybos galimybės iš MA

1.3.1 Pridėtinės vertės produktų gamybos galimybės iš MA

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama pridėtinės vertės produktai ir prevencinės priemonės didmeninėje ir mažmeninėje prekyboje (žr. 9 lent.).

9 lentelė. Pridėtinės vertės produktų gamyba iš MA

Pridėtinės vertės produktai iš žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų		
Iš polisacharidų galima gaminti maistines skaidulas, saldiklius, biodegalus ar bioplastikus.		(Bilal & Iqbal, 2019)
<i>Burkholderia sacchari</i> DSM 17165 gali efektyviai versti polisacharidus į polihidroksilesterius bei poli-3-hidroksibutirata ir sukaupti ląstelėse iki 70 % šių medžiagų.		(Cesário et al., 2014)
Ryžių sėlenos, šalutinis apdirbimo produktas, savo sudėtyje turi baltymų, skaidulų, vitaminų mineralų, taip pat specifinių junginių, pvz., tokoferoliai ir polifenoliai. Nustatyta, kad šios medžiagos		(Narra et al., 2012)

mažina rizikas susirgti vėžiu bei širdies ir kraujagyslių ligomis, mažina cholesterolį. Kviečių apdirbimo šalutiniai gamybiniai produktai gali būti žaliava gaminant fruktanus, avižų malimo atliekos – antioksidantus, o alaus žliaugtai – ferulo rūgštį. Iš aliejinių augalų MA galima atgauti pektinus, fenolius, fitosterolą. Vaisiai ir daržovės gali tiekti apokarotinoidus, limonenus, likopenus, karotenoidus tuos pačius polifenolius.	
Iš žemės ūkio BSA galima gaminti fermentus, pvz., celiulazes, amilazes, ksilazes, fitazes ir lipazes.	(Narra et al., 2012)
Pridėtinės vertės produktai iš komunalinių maisto atliekų	
Naudojant <i>Bacillus coagulans</i> iš virtuvės atliekų prie 50 °C temperatūros galima išskirti 34,5 g/l pieno rūgštis.	(Tashiro et al., 2013)
Iš KMA kaip pridėtinės vertės produktą galima gaminti ksantano gumą, kuri yra naudojama naftos išgavime, maisto ir vaistų pramonėje.	(P. Li et al., 2017)
Žuvies ir jūrų gėrybių perdirbimo maisto atliekų panaudojimas	
Chitozano biopolimeras, sujungtas su glutaraldehidu, gali adsorbuoti manganą 278 mg/g našumu, o chitozano ir citrinų rūgštis darinys gali sujungti apie 101,7 mg švino gramui medžiagos.	(Negm et al., 2020)
Krevetės, krabai, omarai, krilis turi apie 20–30 % chitino, vis dėlto moksliniai tyrimai atskleidžia, kad palyginti daug šios medžiagos galima išgauti iš žuvies perdirbimo įmonių atliekų – apie 14–25 %.	(Kumari et al., 2015)
Pridėtinė vertė iš skerdyklų šalutinių gyvūninių produktų	
Kiaulių oda dažnai yra naudojama maisto produktų gamyboje maišant ją į mėsos produktus, tokius kaip dešros, dešrelės ir pan. (šių produktų sudėtyje odos būna nuo 7–10 %).	(Irshad & Sharma, 2015)
Dešrelių gamybai taip pat naudojamos kiaulių žarnos, kaip ingredientas į dešreles dedamas plaučių audinys (1,2 % paskersto gyvulio masės), kuris kaip ir kepenys (1,2 % paskersto gyvulio masės) dar naudojamas tiesioginiam vartojimui. Tiesioginiam vartojimui taip pat tinka širdys, inkstai, liežuviai, blužnys, trachėjos, skrandžiai, kaklai ir pan.	(Alao et al., 2017)
Iš ŠGP išgautų riebalų gaminamas margarinas, kramtomoji guma ar tiesiog panaudojami kepimo tikslams.	(Irshad et al., 2015)
Ispanijoje iš kraujo gaminamos morcilos dešros, Jungtinėje Karalystėje juodasis pudingas, o Vokietijoje tirštojo kraujo dešra.	(Toldrá et al., 2012)
Iš galvijų gaunama 12 % šalutinių gyvūninių produktų, tinkamų vartojimui, o iš kiaulių ir avių 14 % viso jų svorio.	(Irshad et al., 2015)
ŠGP kaip kiaulių oda, galvijų kailis bei kaulai turi atitinkamai 46 %, 29,4 % ir 23,1 % kolageno, kuris gali būti realizuojamas kaip pridėtinės vertės produktas.	(Gómez-Guillén et al., 2011)
Kolageną sujungus su chitozanu gaunama bioplėvelė, kuri pasižymi antimikrobinėmis savybėmis.	(Bhuimbar et al., 2019)
Kanopos ir ragai savo sudėtyje turi didžiulį kiekį keratino, kuris yra labai plačiai taikomas plaukų priežiūros kosmetikoje. Iš tų pačių kanopų ir ragų gali būti išgaunama želatina ir klėjai.	(Alao et al., 2017).
Iš kraujo įmanoma išgauti amino rūgštis, pvz., leuciną, histidiną ir liziną.	(S. A. Lynch et al., 2017)

Pridėtinės vertės produktai iš pieno pramonės šalutinių gamybinių produktų	
Valdant pieno pramonės išrūgas pažangios filtracijos technologijos leidžia išskirti baltymus (0,6–0,8 g/100 ml) bei laktozę (4,5–5 g/100 ml) ir panaudoti jas tiekiant į rinką maisto papildus.	(Das et al., 2016)
Išrūgas galima naudoti prebiotikų (maistinių skaidulų) gamybai. Iš išrūgų naudojant β -galaktosidazę galima pasiekti maksimalų galakto-oligosacharidų gamybos našumą, lygų 39,3 %, o laktozės konversija 56,4 %.	(Eskandarloo & Abbaspourrad, 2018)
β -galaktosidazę galima naudoti ir gaminant saldiklius iš laktozės, nes šis fermentas katalizuoja hidrolizės reakciją ir padeda laktozę transformuoti į gliukozę (74 % lyginamasis saldumas) ir galaktozę (30 % lyginamasis saldumas).	(Bilal et al., 2019)
Trašų, kaip pridėtinės vertės produktų, atgavimas iš maisto atliekų srautų	
Vienas būdų išgauti $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ iš azoto turtingo skysto substrato yra naudojant dujoms pralaidžias membranas, per kurias cirkuliuojanti sieros rūgštis suriša amoniaką. Naudojant tokias membranas galima atgauti iki 55 % amoniako, amoniako sulfato forma.	(Garcia-González & Vanotti, 2015a)
Labiausiai paplitęs ir netgi techniškai gyvendinamu bei ekonomiškai naudingu būdu šiuo metu laikomas struvito kristalizavimas. Nors ši technologija labiausiai taikoma nuotekų dumblo anaerobinio apdorojimo įrenginiuose, „NuReSys“ yra įdiegusi struvito kristalizavimo technologiją pieno perdirbimo pramonėje, bulvyčių perdirbimo įmonėse ir kitose įmonėse, kuriose susidaro nuotekos, turinčios pakankamą fosforo kiekį.	(NuReSys, n.d.)

1.3.2 Galimybės atgauti energijos nešiklius iš maisto atliekų

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiama tokių energijos nešiklių kaip APVP gamybos potencialas iš skirtingų MA srautų (žr. 10 lent.).

10 lentelė. Energijos nešiklių gamybos potencialas iš MA srautų

Biovandenilio atgavimas iš maisto atliekų	
Biovandenilio išgavimo technologijos tobulinamos su siekiu atgauti kuo daugiau medžiaginių ir / ar energetinių savybių. Siūlomos technologijos leidžia maksimaliai išgauti biovandenilį ir biodujas arba biovandenilį ir polibeta butiratą (bioplastikas).	(Ghimire et al., 2016)
Vien tik vandenilio gamyba dėl mažos išeigos yra komerciškai nenaudinga, todėl siūloma sujungti tamsiąją fermentaciją (ar kitus procesus) su anaerobiniu apdorojimu tam, kad būtų galima maksimaliai atgauti energiją iš biomasės bei padidinti sistemos atsiperkamumą.	(Ghimire et al., 2016)
MA tinkamu substratu laikomos dėl to, kad turi daug greitai yrančių angliavandenių, visgi nepaisant to, siekiant išgauti maksimalią vandenilio išeigą būtina užtikrinti pH kontrolę, tinkamai parinkti pirminį apdorojimą, pradinį substrato pH, fermentavimo temperatūrą.	(G De Gioannis et al., 2013)
Iš visų nagrinėjamų atskirų pirminio apdorojimo metodų (terminio, apdorojimo rūgštimi, bazėmis) apdorojimas ultragarsu leidžia	(Elbeshbishy et al., 2011)

pasiekti didžiausias vandenilio išeigas (97 ml/g LKM). Taip pat šis procesas nereikalauja papildomų medžiagų, skirtingai nuo apdorojimo rūgštimi ar šarmais. Kitas ultragarsinio apdorojimo privalumas – aukštas acto ir butirato rūgšties santykis. Siekiama didesnio šio santykio dėl didesnės H ₂ išeigos.	
Apdorojant MA pasitelkiant tamsiąją fermentaciją, fotofermentaciją ir anaerobinį apdorojimą energijos išeiga lygi 5,55 MJ/kg pridedamų LKM iš maisto atliekų, kai naudojant tik anaerobinį apdorojimą energijos išeiga lygi 3,55 MJ/kg pridedamų LKM.	(Ghimire et al., 2015)
Biometanolis iš maisto atliekų	
Biomasės panaudojimas biodegalų gamyboje yra apribotas trūkumu technologijų, leidžiančių efektyviai skaidyti lignoceliuliozę iki cukrų. Turint lignoceliuliozės turtingą medžiagą vykdoma fermentinė hidrolizė, kurios metu biopolimerai suskaidomi iki paprastųjų cukrų, o šie fermentuojami į alkoholius. Bet hidrolizuojant lignoceliuliozę susidaro ligninas ir kristalinė hemiceliuliozė, keičiasi tarpinių produktų struktūra (ligninas, hemiceliuliozė), kurie toliau trukdo plačiai naudoti lignoceliuliozę APVP gamybai.	(Ravindran & Jaiswal, 2016)
Globaliai imant, biometanolio gamyba gali būti vykdoma naudojant lignoceliuliozines agroindustrines atliekas, pvz., cukranendrių viršūnes, cukranendrių išspaudas, ryžių ir kviečių šiaudus, bambukų apdorojimo atliekas, medvilnės stiebus ir t. t.	(Gupta & Verma, 2015)
Naudojant CRUDE technologiją MA, be pirminio apdorojimo, pasitelkiant anaerobines bakterijas termofilinės temperatūros režimuose galima gaminti biometanolį.	(Dhiman et al., 2017)
Biobutanolis iš maisto atliekų	
Butanolis gali būti gaminamas skirtingais biocheminiais keliais (per acetono, butanolio ar etanolio fermentaciją) pasitelkiant tokias bakterijų rūšis kaip <i>Clostridium acetobutylicum</i> EA 2018 ir <i>Clostridium beijerinckii</i> BA101.	(M. Guo et al., 2015)
Biodyzelinas iš maisto atliekų	
Biodyzelinas taip pat gali būti gaminamas iš MA įskaitant kepimo aliejų, paukščių plunksnų miltus.	(Gameiro et al., 2015)
Naudojant MA gaminti biodyzeliną vykdoma riebalų ekstrakcija (galima pasitelkti nepolinius tirpiklius heksaną ar dietilo esterį), vėliau mišinys paliekamas išsisluoksniuoti ir riebalai atskiriami, galiausiai jie esterifikuojami.	(Karmee, 2016)

1.4 Pramoninės simbiozės galimybės maisto atliekų tvarkyme

1.4.1 Anaerobinio proceso optimizavimas maišant skirtingas BSA

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiami anaerobinio proceso optimizavimo pavyzdžiai, kuriuose optimalios sąlygos sukuriamos dėl skirtingos prigimtės MA srautų maišymo (žr. 11 lent.).

11 lentelė. Anaerobinio apdorojimo optimizavimas maišant skirtingas MA

Nors MA srautas yra labai perspektyvus substratas anaerobiniam apdorojimui, dėl biocheminio proceso metu susidarančių tarpinių produktų, taip pat dėl pačių MA charakteristikų susidaro tokios sąlygos, kurios slopina anaerobinį procesą ir metano išėigą.	(J. Zhang et al., 2017)
Maišant MA su kitomis BSA pavyksta padidinti ne tik CH ₄ išėigą, bet ir įrenginio našumą, stabilizuoti digestatą, padidinti sistemos buferines savybes bei išvengti proceso sutrikdymo apdorojant tik MA.	(C. Zhang et al., 2014)
Pavyzdžiui, MA maišymas su mėšlu gali padidinti metano išėigą 44 %. Tai siejama su tuo, kad proceso metu susidarančios rūgštys toliau skaido mėšle esančias skaidulas ir taip didina metano išėigą. Bendras atliekų apdorojimas formuoja balansą sistemoje ir terpę mikroorganizmams, kuri leidžia netgi papildomai įvesti riebalus ir taip padidinti metano išėigą, nesutrikdant proceso.	(C. Zhang et al., 2014)
Papildžius MA srautą nuotekų dumbliu, užterštu sunkiaisiais metalais, santykiu 7 : 1, anaerobinio apdorojimo metu galima pasiekti aukštą 89 % cheminio deguonies suvartojimo ir 74 % lakių kietųjų medžiagų (LKM) sumažėjimą (tarp srautų sudaroma sinergija).	(Ratanatamskul et al., 2015)
MA sumaišymas su kitos prigimties BSA leidžia efektyviai sunaudoti lakias organines rūgštis, nebereikia papildomos pH kontrolės. Sumaišę MA su kiaulių mėšlu mokslininkai pasiekė 0,396 m ³ /kg LKM _{pridėto} biodujų išėigą ir 75,6 % lakiųjų organinių rūgščių sunaudojimą, kai vienos stadijos reaktorius su MA net neveikė.	(L. Zhang et al., 2011)
Vieni geriausių rezultatų buvo pasiekti MA maišant su geležies chlorido flokulantu apdorotu pirminiu dumbliu. Tokio dumblo naudojimas turi keletą privalumų, jis elgiasi kaip buferis ir padeda reguliuoti pH, pagreitina hidrolizės ir acidogenezės reakcijas, aprūpina geležimi, kuri yra būtina fermentinėms reakcijoms, pagerina riebalų irimą, sumažina sulfido kiekį išgaunamose dujose.	(Chakraborty et al., 2018)
Maišant MA (15 %) su prieš tai flokuliutu dumbliu (85 %) (geležies koncentracija 1350 mg/l) galima ne tik padidinti metano išėigą, bet ir gauti neblogos kokybės kompostą. Biodujų išėiga mezofilinėmis ir termofilinėmis sąlygomis buvo atitinkamai 1,15 ir 1,12 l/l per dieną, kai apdorojant tik MA, našumas buvo 0,45 l/l per d., nepaisant to, kad papildomai buvo dedama mikroelementų. Kontrolinio reaktoriaus našumas buvo 0,3 l/l d.	(De Vrieze et al., 2013)
Maišant atliekas atsižvelgiant į angliavandenių, baltymų, riebalų santykį galima maksimaliai padidinti biodujų išėigą. Palaikant angliavandenių kiekį, aukštesnį negu 8,9 %, baltymų mažiau negu 5 %, riebalų mažiau negu 5,6 %, metano išėigą galima padidinti 385–627 mg/LKM ir sutrumpinti maisto atliekų išlaikymą bioreaktoriuje iki 196–409 valandų.	(Yangyang Li et al., 2017)

1.4.2 Kompostavimo optimizavimas maišant MA su kitomis BSA

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiami aerobinio proceso optimizavimo pavyzdžiai, kuriuose optimalios sąlygos sukuriamos dėl skirtingos prigimties MA srautų maišymo (žr. 12 lent.).

12 lentelė. Aerobinio apdorojimo optimizavimas maišant skirtingas MA

Mokslinėje literatūroje beveik kiekvienas maisto atliekų kompostavimo eksperimentas atliekamas panaudojant kitas medžiagas siekiant reguliuoti C/N santykį, poringumą, drėgnį bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir oro teršalų emisijas. Pavyzdžiui, maisto atliekas sumaišius su polietileno vamzdeliais (drėgmės ir poringumo reguliavimui) nustatyta, kad CH ₄ (0,0185 kg/t), N ₂ O (0,0211 kg/t), NH ₃ (0,612 kg/t) ir lakių organinių junginių (0,688 kg/t) emisijos buvo žymiai mažesnės negu kompostuojant MA su mediena ar per organinę komunalinių atliekų frakciją.	(Maulini-Duran et al., 2014)
Kompostuojant virtuvės atliekas atskirai su kukurūzų stiebiais, pjuvenomis, panaudotu grybų substratu buvo nustatyta, kad būtent mišinys su pjuvenomis išskyrė mažiausiai CO ₂ (33 kg CO ₂ -eq/t sausos medžiagos (SM)), po to sekė kukurūzų stiebai (63 kg CO ₂ -eq/t SM) ir panaudotas grybų substratas (84 kg CO ₂ -eq/t SM).	(F. Yang et al., 2013)
Kompostavimas optimizuojamas papildomai įvedant dugno pelenus. Bene svarbiausia priežastis, kodėl reiktų rinktis dugno pelenus, yra didelės MgO (5,50 mg/kg) ir P ₂ O ₅ (3,10 mg/kg) medžiagų koncentracijos, kurios kompostavimo metu gali padėti surišti NH ₄ ⁺ į struvitą druską (NH ₃ praradimai gali sumažėti 45–53 %), tokiu būdu mažinant elektrinį laidumą bei neleidžiant azotui pašalinti dujine forma kaip oro teršalai.	(Jiang et al., 2016)
Kompostavimui ir pH korekcijai užtenka 6 ar 12 % pelenų tam, kad pradinėje stadijoje būtų palaikomas pH > 6, efektyviau šalinami patogenai (<i>Listeria</i> ir <i>Clostridium</i> sumažėjo per 2 dienas bandyme su 12 % pelenų), greičiau stabilizuojamas kompostas (subrandinamas) ir mažinamas komposto elektrinis laidumas.	(Fernández-Delgado Juárez et al., 2015)

1.5 MA anaerobinis apdorojimas pramoninės ekologijos kontekste

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiamos MA anaerobinio proceso optimizavimo galimybės naudojant technologines priemones (pirminio apdorojimo technologijas ar anaerobinio proceso modifikacijas), proceso parametrų kontrolę, cheminių medžiagų koncentracijų valdymą (žr. 13 lent.).

13 lentelė. Anaerobinio MA apdorojimo optimizavimo būdai

Pirminio apdorojimo įtaka anaerobinio apdorojimo procesui	
Anaerobinio proceso hidrolizės stadijos proceso pagreitinimui galimi šie metodai: mechaninis smulkinimas, veikimas ultragarsu, mikrobangomis, terminis apdorojimas, naudojant sušaldymą-atšildymą, slėgį, rūgštį, bazes, biologinį tirpinimą, taip pat kombinuojant paminėtus pirminio apdorojimo metodus.	(C. Zhang et al., 2014)
MA pirminis apdorojimas naudojant mikrobangas nėra tinkamas šiam substratui, kadangi aukštų temperatūrų poveikio metu susidaro tarpiniai produktai, kurie slopina metanogenezės procesą.	(Shahriari et al., 2013)
Apdorojimas ultragarsu yra vienas efektyviausias metodų, naudojant šią technologiją beveik nebelineka poreikio jį kombinuoti su kitu pirminio	(Elbeshbishy et al., 2011)

apdorojimo metodu, tuo labiau, kad tokie metodai kaip apdorojimas rūgštimis ar bazėmis reikalauja papildomų medžiagų.	
Apdorojant ultragarsu lignoceliuliozinę biomasę biodujų išeigą galima padidinti iki 71 %, kai apdorojant substratą, kuriame daug baltymų, biodujų išeiga didėja tik 3–23 %, priklausomai nuo apdorojimo režimo.	(Cesaro et al., 2014)
Kitas efektyvus pirminio apdorojimo metodas yra apdorojimas aukštos įtampos impulso iškrova. Apdorojant atliekas šiuo metodu, buvo stebimas biodujų išeigos padidėjimas 134 %, palyginti su kontrole. Palyginus šį metodą su kitais pirminio apdorojimo būdais, buvo nustatyta, kad biodujų išeiga buvo vidutiniškai apie 50 % didesnė.	(Zou et al., 2016)
Kitas energetiškai efektyvesnis apdorojimo metodas yra hidroterminis apdorojimas. Šis aplinkai draugiškas apdorojimo metodas yra sėkmingai pritaikytas įvairiuose pramonės procesuose bei anaerobiniame apdorojime. Šio pirminio apdorojimo metu vyksta ląstelių membranų skaidymas, kuris palengvina sunkiai skaidomos biomasės tirpinimą ir toliau palengvina hidrolizę, kas sąlygoja biodujų išeigos didėjimą iki 22,2 %. Terminis apdorojimas taip pat prisideda prie patogenų šalinimo, padidina nusausinimo efektyvumą, sumažina digestato klampumą, kas veda lengvesnio digesto tvarkymo link.	(Ariunbaatar et al., 2014)
Pirminis nuotekų dumblo ir MA mišinio apdorojimas lėmė pH, lygų 5, kai atskiras dumblo ir MA pirminis apdorojimas sąlygojo pH, lygų 8,7 ir 3,5 atitinkamai. Tyrimo pabaigoje buvo nustatyta, kad dumblo ir MA mišinio pirminis apdorojimas leido pasiekti 24,6 % didesnę biodujų išeigą.	(J. Zhang et al., 2017)
Anaerobinio apdorojimo technologijos	
Atskirus hidrolizės ir metanogenezės procesus, galima padidinti apkrovą organine medžiaga, padidinti lakių organinių medžiagų sunaudojimą palyginus su vienos stadijos įrenginiu.	(Aslanzadeh et al., 2014)
Kombinuojant mezofilines ir termofilines sąlygas acidogeniniame ir metanogeniniame reaktoriuje nustatyta, kad naudojant schemą su mezofiliniu acidogenezės reaktoriumi ir termofiliniu metanogenezės reaktoriumi galima pasiekti maksimalų cheminio deguonies suvartojimo šalinimą iki 86,6 %.	(Ventura et al., 2014)
Didelis dviejų stadijų anaerobinio apdorojimo įrenginio privalumas yra tas, kad gaminama tiek vandenilio, tiek metano dujos, kurios vėliau gali būti atskirtos arba maišomos taip formuojant biohitaną, kuris dar pasižymi ir geru pritaikymu vidaus degimo varikliuose.	(Giorgia De Gioannis et al., 2017)
Kietos būsenos anaerobinio apdorojimo reaktorių privalumas yra tas, kad jie gali naudoti žaliavą, kurios sausų medžiagų dalis viršija 15 %, kai skystos fazės reaktoriai naudoja biomasę, kurios sausų medžiagų kiekis yra nuo 0,5 iki 15 %. Didelis sausų medžiagų kiekis leidžia parinkti mažesnio tūrio reaktorių, todėl sunaudojama mažiau energijos reaktoriaus šildymui, taip pat išvengiama išsiloksniavimo, nereikalingas papildomas maišymas.	(Yebo Li et al., 2011)
Anaerobinio apdorojimo optimizavimas ir kontroliuojami parametrai	
Temperatūros įtaka anaerobiniam procesui	
Yra trys pagrindinės temperatūros stadijos: psichrofilinė (10–30 °C), mezofilinė (30–40 °C) ir termofilinė (50–60 °C). Didėjant temperatūrai, didėja medžiagų apykaita, organinio azoto skaidymas, geriau skaidoma	(C. Zhang et al., 2014)

propiono rūgštis, efektyviau naikinami patogenai, greičiau auga mikroorganizmai. Vis dėlto termofilai yra labai jautrūs temperatūros kitimui, net menkiausi temperatūros pakitimai ($>1\text{ }^{\circ}\text{C}$ per dieną) gali lemti proceso sutrikdymą.	
Apdorojant atliekas $50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje sumažėja neigiamas susidarančio amoniako poveikis, kuris veikia kaip proceso inhibitorius, nors kitos studijos teigia, kad NH_3 daro termofilinį procesą nestabiliu.	(Nkemka & Hao, 2018)
Apdorojant lignoceliuliozę kietos frakcijos termofiliniuose anaerobinio apdorojimo įrenginiuose pasiekiamas efektyvesnis celiuliozės ir hemiceliuliozės konvertavimas per pirmąsias 12 dienų, palyginus su mezofiliniu reaktoriu. Didesnė temperatūra įtakoja ir mikroorganizmų kultūras, termofilinėmis sąlygomis veikiančiame reaktoriuje celiulolitinį ir ksilanolitinį kultūrų buvo 10–50 kartų daugiau.	(Lin et al., 2017)
Lakiosios riebalų rūgštys ir jų sąsajos su biodujų išeiga bei kontrolė	
Normaliomis sąlygomis susidariusios lakiosios riebalų rūgštys (LRR) turėtų būti transformuojamos į CH_4 ir CO_2 acetogenų ir metanogenų, bet dėl padidėjusios apkrovos jos gali pradėti kauptis, mažinti pH ir galų gale sustabdyti procesą. Didžiausią įtaką procesui turi acto ir propiono rūgštys, šių rūgščių santykiui pasiekus 1,4 anaerobinis procesas sustoja, procesas taip pat stoja acto rūgšties koncentracijai nukritus iki $0,8\text{ g/l}$.	(C. Zhang et al., 2014)
Stiprus anaerobinio proceso stabdymas buvo pasiektas esant 30 g/l lakiųjų riebalų rūgščių koncentracijai.	(Wanqin Zhang et al., 2015)
Rūgštėjimo įtaka	
Rūgštėjimas tai procentinė lakiųjų organinių rūgščių išraiška. Šis parametras apskaičiuojamas lakiųjų organinių rūgščių kiekį dalinant iš tirpus cheminio deguonies suvartojimo. Šis parametras neigiamai veikia anaerobinio apdorojimo procesą, kadangi didėjanti rūgščių koncentracija sumažina terpės pH ir sutrikdo metanogenezės procesą.	(Moeller & Zehnsdorf, 2016)
Rūgštėjimo reiškiniiui kontroliuoti siūloma naudoti nulinio valentingumo geležį, kuri leidžia padidinti pH iki $7,8\text{--}8,2$, lakiųjų organinių rūgščių ir šarmingumo santykį sumažinti iki $<0,1$, metano išeigą pakelti iki 360 ml/g LKM ir sumažinti sviesto rūgšties koncentraciją nuo $30\text{--}40\%$ iki 0% .	(Kong et al., 2016)
pH įtaka anaerobiniam procesui ir kontrolė	
Fermentuojančių bakterijų augimui tinkamas gana platus pH intervalas $4,0\text{--}8,5$, o metanogenams daug siauresnis $6,5\text{--}7,2$.	(Mpofu et al., 2020)
Kituose šaltiniuose patikslinama, kad pH, žemesnis negu $6,79$, jau pradeda riboti metanogenų veiklą, o acetogenams palankus pH yra $5\text{--}6$.	(Siddique & Wahid, 2018)
Paprastai, pirminė anaerobinio stadija (pH $5\text{--}6$) tęsiasi $1\text{--}3$ dienas (išbuvimo trukmė reaktoriuje), o antroji fazė (pH $6,79\text{--}7,19$) – $14\text{--}28$ dienas.	(Muha et al., 2013)
Biodujų recirkuliacija per anaerobinio apdorojimo reaktorių leido sumažinti pH reaktoriuje nuo $8,3$ iki $6,6$ (biodujos labai rūgštinės, CO_2 40 kartų labiau tirpus vandenyje negu CH_4), kai recirkuliacijos intensyvumas buvo 2000 ml/min ($0,25\text{--}0,92\text{ L/g LKM}$ pašalintų). Taip ši optimizavimo strategija leidžia padidinti metano koncentraciją iki 88% , geresnę amoniako koncentracijų kontrolę (esant žemesnio pH amoniakas būna amonio formoje), kai substratas buvo MA, sumaišytos su nuotekų dumbly santykiu $3:1$.	(Latha et al., 2019)

C/N santykio reikšmė anaerobiniam apdorojimui	
Dauguma atliktų tyrimų pažymi, kad optimalus C/N santykis yra tarp 20–30.	(Siddique et al., 2018)
MA atveju, optimalus C/N santykis yra 20,19.	(Deepanraj et al., 2017)
Fosforo koncentracijos reikšmė anaerobiniam apdorojimui	
Fosforo koncentracijos palaikymas taip pat gali lemti efektyvesnę energetinių savybių išnaudojimą. Buvo nustatyta, kad didžiausia biodujų išeiga pasiekama esant 0,414 kg P-PO ₄ ³⁻ /m ³ .	(R. Wang et al., 2015)
Dalelių dydžio įtaka anaerobiniam procesui	
Tyrimai rodo, kad MA atveju, dalelių dydį sumažinus nuo 8 iki 2,5 mm, biodujų išeiga gali padidėti 10–29 %.	(Agyeman & Tao, 2014)
Kituose tyrimuose nurodama, kad optimalus dalelių dydis apdorojant maisto atliekas yra 0,6 mm (biodujų išeiga 320 ml/g LKM).	(Izumi et al., 2010)
Amonio įtaka anaerobiniam procesui	
Susidaręs laisvasis amonias NH ₃ prasibrauna pro bakterijos sienelę ir suardo kalio ir protonų balansą.	(C. Zhang et al., 2014)
NH ₃ koncentracijai pasiekus 1,7–14 g/l, metano išeiga gali sumažėti netgi 50 %. Studijoje, kurioje buvo analizuojami pramoniniai dviejų stadijų biorektoriai, 3 g/l amonio koncentracija neįtakojė metanogenų veiklos.	(K. Li et al., 2020)
Membraninio kontaktoriaus pagalba įmanoma pastoviai šalinti NH ₃ iš reaktoriaus. Tokios technologijos pritaikymas leistų mažinti proceso inhibitoriaus NH ₃ koncentraciją ir tuo pačiu atgauti amonio salietrą, kurios vertė rinkoje 440 €/t (pagal 2012 metų duomenis). Sistema leidžia iš substrato, kuriame NH ₃ yra tarp 1070 ir 2290 mg/l be pH korekcijos, atgauti 55 % amonio.	(Garcia-González & Vanotti, 2015b)
Apdorojant nuotekų dumblą su terminės hidrolizės pirminio apdorojimo ranga galima padidinti reaktoriaus apkrovą NH ₃ iki 2500–3000 mg/l, o apdorojant nuotekų dumblą be terminės hidrolizės, toleruojamos ribos siekia tik 600–1000 mg/l.	(Cambi AS, n.d.)
Vandenilio sulfido įtaka anaerobiniam procesui	
H ₂ S toksiškumas mikroorganizmams IC50 tyrime buvo 125–250 mg/l, ir H ₂ S koncentracijų visai neįtakojė mikroelementų dozavimas.	(Ariunbaatar et al., 2016)
Apibendrinus kitų autorių tyrimus, buvo nustatyta, kad procesą slopinančios koncentracijos svyravo tarp 100 ir 800 mg/l ištirpusio sulfido arba tarp 50 ir 400 mg/l netirpusio H ₂ S.	(Y. Chen et al., 2008)
Šarmingumo įtaka anaerobiniam procesui	
Įmaišius 1000 mg/l NaHCO ₃ į maisto atliekas, specifinė metano gamyba išaugo 48,5 % palyginti su kontrole.	(Gao et al., 2015)
Kiti eksperimentai rodo, kad palaikant 1490–1750 mg/l CaCO ₃ (naudojant NaHCO ₃), sukuriamos pakankamos terpės buferinės savybės.	(Siddique et al., 2015)
Anaerobinio apdorojimo kontrolei galima naudoti tokius išvestinius dydžius, tokius kaip lakiųjų riebalų rūgščių ir šarmingumo santykis, kurį rekomenduojama palaikyti žemiau už 0,5.	(Zuo et al., 2015)
Nesočiųjų ir sočiųjų riebalų rūgščių įtaka anaerobiniam procesui	
Riebalų rūgštys susideda didžiąja dalimi iš oleino, linolo, palmitoleino rūgšties ir yra pagrindiniai riebalų irimo produktai. Toliau šios rūgštys gali	(N. N. Nguyen et al., 2017)

būti konvertuojamos į metaną ir CO ₂ . Vis dėlto konversijos procesas užtrunka labai ilgą laiką, o tais atvejais, kai pradinė rūgščių koncentracija yra labai didelė, anaerobinio apdorojimo įrenginys gali sustoti. Tai aiškinama tuo, kad esant didelėms riebalų rūgščių koncentracijoms, jos pradeda adsorbuotis ant bakterijų sienelių ir taip pažeidžia metabolinius procesus, susijusius su medžiagų pernašą per membraną, taip pat jos gali sukelti putojimą.	
Lauro ir miristo rūgštys laikomos labiausiai procesą slopinančiomis, vis dėlto tyrimai rodo, kad didžiausią efektą turi riebalų rūgščių mišiniai, o ne atskiros riebalų rūgštys.	(C. Zhang et al., 2014)
Eksplloatuojant įreginį mezofilinėmis sąlygomis, mikroorganizmų gyvybingumui sumažinti 50 % (IC50) užtenka 50–75 mg/l oleato, 1100 mg/l palmitato, 1500 mg/l stearato riebalų rūgščių (RR) mezofilinėmis sąlygomis.	(Dasa et al., 2016) (Palatsi et al., 2009)
Eksplloatuojant reaktorių termofilinėmis sąlygomis šios reikšmės gerokai išauga, iki 1,5 g/l sterato, 3,0 g/l palmitino ir 4,5 g/l oleato.	(Dasa et al., 2016)
Siekiant sumažinti neigiamą riebalų rūgščių poveikį anaerobiškai apdorojant MA, būtų galima naudoti pirminį MA atliekų apdorojimą, kurio metu naudojant garą galima pasiekti 3–4 % riebalų regeneravimo našumą tonai MA, tuo pačiu šios atliekos būtų termiškai apdorotos ir sunaikinti kenksmingi patogenai, o riebalus būtų galima nukreipti biodyzelino gamybai.	(K. Li et al., 2020)
Metalų įtaka anaerobiniam procesui	
Lengvieji metalai (Na, K, Mg, Ca, Al) ir sunkieji metalai (Cr, Co, Cu, Zn, Ni ir kt.) reikalingi anaerobinėms bakterijoms, kadangi šių metalų jonai dalyvauja fermentų sintezėje, palaiko fermentų aktyvumą, bet per didelės koncentracijos slopina procesą.	(C. Zhang et al., 2014)
Per didelės sunkiųjų metalų koncentracijos veda prie fermentų funkcijos trikdymų struktūros pakeitimų, vis dėlto sunkiųjų metalų poveikis gali kisti priklausomai nuo cheminės formos, pH, oksidacijos redukcijos potencialo.	(Božym et al., 2015)
Kobalto, nikelio, molibdeno ir geležies vaidmuo anaerobiniame procese	
Palaikant nikelio koncentraciją žemesnę negu 0,06 mg/kg, biodujų išeiga sumažėjo net iki 25 %, lyginant jį su kontroliniu reaktoriumi, kuriame nikelio koncentracija buvo 0,8 mg/kg. Tuo tarpu bioreaktoriuje palaikant kobalto koncentraciją 0,02 mg/kg biodujų išeiga sumažėjo 10 %.	(Pobeheim et al., 2011)
Rekomenduojama nikelio ir kobalto koncentraciją atitinkamai palaikyti 0,024–0,62 mg/l ribose ir 0,024–10 mg/l ribose.	(Pobeheim et al., 2010)
Kinijos įmonėje, dviejų stadijų anaerobinio apdorojimo pramoniniame reaktoriuje (atskirta acetogenezės ir metanogenezės stadija) proceso kontrolei išlaikyti prieš pasiekiant acetogenezės stadiją į maisto atliekas buvo dedama 0,2 kg/t geležies, 0,04 kg/t kobalto, o nikelio 0,04 kg/t.	(K. Li et al., 2020)
Pagal mokslinės literatūros analizės rezultatus, labai sunku nustatyti optimalias geležies koncentracijas anaerobinio apdorojimo metu. Vienuose šaltiniuose, Fe optimalios koncentracijos nurodytos labai plačiame intervale 0–4000 mg/l, kituose šis rėžis drastiškai sumažėja – nuo 0 iki 1000 mg/l (>1000 mg/l stebimas akivaizdus), trečiuose šaltiniuose šis intervalas dar siauresnis, nuo 0,28–200 mg/l.	(Q. Guo et al., 2019) (Wanli Zhang et al., 2015a) (Molaey et al., 2018)

Įdomu, kad kombinuojant sunkiuosius metalus, geležies poreikis optimaliam valdymui gali būti dar mažesnis ir siekti 100 mg/l. Esant tokiai dozei geležies, papildomai įvedus Co (1 mg/L) + Mo (5 mg/L) + Ni (5 mg/L), laboratorinio tyrimo metu buvo stebimas 35,5 % biodujų prieaugis (nuo 372 iki 504 ml/g LKM).	(Wanli Zhang et al., 2015a)
Molibdenas svarbus mikroelementas, kurį būtų galima įtraukti į apdorojamą dozę, svyruojančiomis nuo 0,005 iki 50 mg/l.	(Molaey et al., 2018)
Metallų įvedimas ne tik padidino metano išėigą 352–450 ml CH ₄ /g LKM _{pridėto} , bet taip pat tyrimo metu nebuvo stebima lakiųjų organinių rūgščių akumuliacijos. Tyrimui buvo naudojami geležies, kobalto, molibdeno, nikelio metalai. Metano išėiga tame pačiame lygyje laikėsi netgi palaipsniui atsisakant kobalto, nikelio, molibdeno metallų, visgi kai liko tik geležis buvo stebimas biodujų išėigos sumažėjimas 8 %.	(L. Zhang & Jahng, 2012)
Geležis (50 μg/l) iš visų tirtų mikroelementų turėjo didžiausią įtaką biodujų išėigos didinimui 39,2 %, po to sekė selenas (34,1 ± 5,6 %), kai dozė buvo 25–50 μg/l, nikelis (26,4 %) ir kobaltas (23,8 %).	(Ariunbaatar at al., 2016)
Natrio, kalcio, magnio ir kalio įtaką anaerobiniam maisto atliekų apdorojimui	
Optimali natrio koncentracija yra 350 mg/l mezofiliniams metanogenams, o palaikant kalio koncentraciją, mažesnę negu 400 mg/l, galima netgi padidinti CH ₄ išėigą, tiek mezofilinėmis, tiek termofilinėmis sąlygomis.	(C. Zhang et al., 2014)
Natrio koncentracija turėtų būti ribojama, nes esant 6000–30 000 mg/l CH ₄ formavimasis yra stabdomas.	(Božym et al., 2015)
Optimalios kalcio koncentracijos mokslinėje literatūroje dar nėra apibrėžtos. Vieni teigia, kad 7000 mg/l kalcio koncentracija nesukėlė slopinimo efekto, o pasiekus 8000 mg/l šis efektas stipriai pasireiškė, kiti autoriai rašo, kad esant 2500–4000 mg/l koncentracijai buvo stebimas vidutiniškai slopinamas efektas. Toksiškumas mikroorganizmams susidaro pasiekus 2800 mg/l kalcio koncentraciją.	(Božym et al., 2015)
Didesnės negu 2400 mg/l Mg koncentracijos slopina metano susidarymą.	(Božym et al., 2015)
Kalio koncentracijos, slopinančios metanogenezės procesą, panašios į magnio, bet šiek tiek didesnės ir siekia 3000 mg/l.	(Božym et al., 2015)
Seleno įtaką anaerobiniam maisto atliekų apdorojimui	
Į MA papildomai įvedus seleno, kuris skatina propiono rūgšties oksidaciją ir yra naudingas metanogenams, susidaro sąlygos dirbti didesniais organinės medžiagos apkrovimo tempais.	(Banks et al., 2012)
Papildant maisto atliekų substratą Se 2 mg/kg SM, metano gamyba didėtų iki 60–70 %.	(Facchin, Cavinato, Pavan, et al., 2013)
Dar viena įdomi seleno savybė, kad seleno dozavimas leidžia anaerobinio apdorojimo renginiui dirbti esant didelėms NH ₃ koncentracijoms. Įvedant 0,2 g/m ³ seleno įrenginys generuodavo 0,26 m ³ /kg LKM biodujų esant 7200 mg/l NH ₃ koncentracijai, o nenaudojant šios medžiagos apdorojant vištų dedeklių mėšlą biodujų išėiga kito perpus – iki 0,12 m ³ /kg LKM (daugiausia dėl acto ir propiono rūgšties akumuliacijos).	(Molaey, 2018)
Kitų mokslininkų tyrimai taip pat parodė, kad mikroelementų įvedimas anaerobiškai apdorojant maisto atliekas turi teigiamą įtaką biodujų išėigai (384,1 padidėjo iki 456,5 ml/g LK _D _{pridėto}), bet taip pat padidina substrato	(Wanli Zhang et al., 2015b)

pH (nuo 6,9 iki 7,4) ir drastiškai sumažina propiono rūgšties koncentraciją (nuo 899,0 iki 10,0 mg/l).	
Įdomu, kad tuo atveju, kai MA turėjo didesnius kiekius sunkiųjų metalų, biodujų išėigos didėjimui įtakos turėjo tik pusmetalis selenas.	(Ariunbaatar et al., 2016)
Gyvsidabrio, chromo ir kadmio įtaka anaerobinio apdorojimo procesui	
Chromo koncentracijai esant 0,012 g/l, buvo stebimas 50 % metanogenų ląstelių skaičiaus sumažėjimas, kur <i>Methanothrix</i> mikrobai buvo jautriausi.	(Jha & Schmidt, 2017)
Didinant gyvsidabrio koncentracijas nuo 0,025 iki 0,125 mg/kg SM lakių kietųjų organinių dalelių skaidymą galima sumažinti 21 %, o biodujų gamybą – 60 %. Tuo tarpu didinant kadmio koncentracijas nuo 3,4 iki 17,0 mg/kg (DM) biodujų gamyba mažėja 55 %, o didinant chromo koncentracijas nuo 15,5 iki 77,5 mg/kg DM lakių kietųjų organinių medžiagų šalinimas buvo sumažintas 50 %, o biodujų gamyba – 52 %.	(Abdel-Shafy & Mansour, 2014)
Kituose tyrimuose teigiama, kad toksinė chromo ir kadmio koncentracija yra atitinkamai 130 mg/l ir 180 mg/l.	(Božym et al., 2015)
Studijose, nagrinėjančiose sunkiųjų metalo mišinio įtaką, buvo nustatyta, kad palaikant Cu(II), Zn(II), Cr(VI) ir Pb(II) koncentracijas 80 mg/l ribose biodujų išėiga mažėja nuo 30 iki 36 %.	(Q.-M. Nguyen et al., 2019)
Cinko, vario, švino ir volframo įtaka anaerobinio apdorojimo procesui	
Atskirai analizuojant cinką, teigiama, kad jo koncentracija anaerobinio apdorojimo metu neturėtų viršyti 100 mg/kg SM arba 0,4 mg/l.	(Božym et al., 2015)
Pagal atliktą mokslinių straipsnių apžvalgą, cinkas gali varijuoti plačiame intervale net nuo 0 iki 5 mg/l.	(Q. Guo et al., 2019)
Vario atveju, rekomenduojamas optimalių sąlygų režis 0–100 mg/l.	(Q. Guo et al., 2019)
Visgi kiti autoriai siūlo kiek siauresnį optimalių vario koncentracijų intervalą nuo 0,06 iki 64 mg/l.	(Božym et al., 2015)
Švino optimalios koncentracijos taip pat plačiame intervale nuo 0,02 iki 200 mg/l.	(Schattauer et al., 2011)
Volframo režis kiek siauresnis – nuo 0,018 iki 18,3.	(Facchin et al., 2013)
Anerobinio proceso slopinimas dėl chlorfenolių	
Chlorfenoliai – patvarūs organiniai junginiai, kurie buvo ir yra plačiai taikomi pesticidų, incenkticidų gamyboje, turi kritinę reikšmę metanogenezei (jautriausiam anaerobinio apdorojimo procesui). Chlorfenoliai dėl savo didelio hidrofobiškumo lengvai prilimpa prie bakterijų sienelių ir trukdo energijos pernašą, stabdo mikroorganizmų augimą.	(Puyol et al., 2012)
Palaikant 125 mg/l herbicidų koncentraciją reaktoriuje, biodujų gamyba gali mažėti 90–100 %. Poveikį turi net mažos koncentracijos, pvz., 20 mg/l, kurios gali procesą slopinti nuo 10 % iki 30 % priklausomai nuo herbicido tipo.	(Czarny et al., 2019)
Putojimo įtaka anaerobiniam apdorojimui ir jo kontrolė	
Kai kuriais atvejais, vykstant intensyviai putojimui bioreaktoriuje biodujų išėiga gali sumažėti iki 50 %.	(Moeller & Görsch, 2015)

Rapsų aliejus stabdo putojimą, dozėmis nuo 0,05 % iki 0,1 % V/V maitinimo, tai taip pat leidžia padidinti biodujų išeigą nuo 273 gCH ₄ /g LKM iki 306 gCH ₄ /g LKM (kai dozė buvo 0,05 % V/V maitinimo).	(Kougias et al., 2014)
--	------------------------

1.6 Maisto atliekų aerobinis apdorojimas pramoninės ekologijos kontekste

Šiame skyriuje lentelės forma pateikiamos MA aerobinio proceso optimizavimo galimybės naudojant technologines priemones (pavyzdžiui, mikrobiologinius preparatus), proceso parametrų kontrolę bei cheminių medžiagų koncentracijų valdymą (žr. 14 lent.).

14 lentelė. Aerobinio MA apdorojimo optimizavimo priemonės

Azoto praradimai kompostavimo metu	
Bendro azoto (BN) praradimai gali būti sumažinti 31,4 %, o atitinkamai NH ₃ ir N ₂ O – 35,4 % ir 35,8 %. Tuo tarpu, N ₂ praradimai kompostavimo metu gali svyruoti 0–41 % ribose, o viso azoto praradimai gali siekti ir 76 %.	(S. Zhao et al., 2020) (Zeng et al., 2012)
Naudingų mikroorganizmų įtraukimas kompostuojant maisto atliekas	
<i>Bacillus stearothermophilus</i> , <i>Candida utilis</i> ir <i>Bacillus subtilis</i> mišiniuose, santykiu 1 : 2 : 1 ir 1 : 1 : 1, sumažino amoniako emisijas atitinkamai 53,11 ir 46,23 % palyginti su kontrole, kai BN pašalinimas sumažėjo nuo 38,66 iki atitinkamai 22,16 ir 25,66 %.	(Zhou et al., 2019)
Paprastai N praradimai kompostavimo metu svyruoja tarp 19 % ir 77 % dėl NH ₃ ir N ₂ išgaravimo, kai 0,2–9,9 % pradinio N kiekio gali būti išskirta kaip N ₂ O.	(Maeda et al., 2011)
Įtraukus <i>Bacillus cereus</i> į kompostavimo procesą, 11,5 % padidėjo celiuliozės skaidymas palyginus su kontrole.	(Ribeiro et al., 2017)
Panaudoti <i>Streptomyces sp.</i> ir <i>Micromonospora sp.</i> mikroorganizmus celiuliozės degradaciją padidino nuo 31,51 % (kontrolė) iki 46,31 % (M2 bandymas, kai probiotikai buvo įmaišomi prie 55 °C), 48,58 % (M1 bandymas, kai probiotikai buvo įmaišomi kompostavimo pradžioje), 49,62 % (M3 bandymas, kai probiotikai buvo įmaišomi prie 45 °C).	(Y. Zhao et al., 2016)
„SCD Bio Ag“ produktas sutrumpina kompostavimo laiką iki 35 dienų bei eliminuoja patogenus <i>E. coli</i> ir <i>Salmonella</i> .	(SCD Probiotics, n.d.)
Tyrėjai, atlikę maisto atliekų, ryžių selenų ir lapų kompostavimo eksperimentą su komerciniais probiotikais „Effective Microorganisms“, nustatė, kad naudingų mikroorganizmų įtraukimo atveju, BN kiekis komposte pasiekė 3,6 %, kai kontrolinio bandymo metu BN buvo tik 2,1 %. Be efektyvesnės azoto koncentracijos buvo stebima aukštesnio laipsnio kvapų kontrolė, riebalų skaidymas ir humifikacija.	(Yee Van Fan et al., 2018)
Panaudojus <i>Bacillus thuringiensis</i> , kaip inokulantą, namų sąlygomis galima pagaminti kompostą, turintį biopesticidinių savybių.	(Porat et al., 2018)
Lyginant kompostavimą vienodai paruoštos statinėse, „Effective Microorganisms“ dalyvavimas procese suformavo daugiau huminių (5,13 kg) bei fulvo (1,24 kg) rūgščių, kai be probiotikų iš viso susiformavo 4,01 kg huminių ir 0,98 kg fulvo rūgščių.	(Manu et al., 2017)
Kaip probiotiką panaudojus <i>Pichia kudriavzevii</i> mieles bei palaikant 40 °C temperatūrą, mikroorganizmai greitai suvartodavo acto rūgštį taip	(Nakasaki & Hirai, 2017)

neleisdami per daug nukristi pH. Galų gale tai lėmė labai stipriai išaugusį termofilų ir mezofilų tankį 10^{10} .	
pH ir temperatūros kontrolė kompostavimo metu	
Kompostavimo metu reikia atidžiai sekti temperatūrą, kad ji nepakiltų daugiau negu 71 °C, nes toks karštis gali sunaikinti termofilus, o temperatūros, didesnės negu 65 °C, gali nuslopinti grybelius, aktinomiseles ir daugumą termofilinių bakterijų. Kaip optimalus temperatūrinis režimas įvardijamas 52–60 °C temperatūrų režis, o siekiant sunaikinti patogenus, temperatūra turi būti palaikoma virš 55 °C.	(Onwosi et al., 2017)
Per žemas pH gali trikdyti mikrobiologinį aktyvumą, kaip optimalios sąlygos įvardijamos pH reikšmės tarp 5,5–8,0, nors pačios palankiausios yra neutralios sąlygos.	(S.-P. Wang et al., 2017)
Bakterijos toleruoja siauresnį pH intervalą – nuo 6 iki 7,5, grybeliai šiek tiek platesnį – nuo 5,5 iki 8,0, o aktinomicetai gyvybingi net nuo 5 iki 9.	(Gómez-Brandón et al., 2008)
Siekiant kuo daugiau azoto išlaikyti komposte, proceso metu pH turėtų būti palaikomas 6,5–7,0 ribose.	(S. Zhao et al., 2020)
Prie aukštos temperatūros (65–70 °C) ir pH (8,4–9,0) $\text{NH}_3\text{-N}$ forma labai greitai konvertuojama į dujas, kas lemia medžiagos pašalinimą ir kokybės prastėjimą.	(Cáceres et al., 2018)
Degunies koncentracija turėtų būti tarp 15–20 %, tinkama aeracija turėtų leisti užtikrinti proceso temperatūrą 60–65 °C ribose. Biodegraduojančių atliekų mišinio drėgnis turėtų būti tarp 50–60 %, drėgniui viršijus 60 %, degunies judėjimas yra sutrikdomas ir procesas linkęs tapti anaerobiniu.	(Bernal et al., 2009)
Jeigu optimalaus tvarkymo kriterijus būtų azoto praradimai, C/N santykį reikėtų palaikyti tarp 25–30, drėgnį 60–65 % ribose, o pH tarp 6,5–7,0.	(S. Zhao et al., 2020)
C/N santykio reguliavimas optimizuojant kompostavimo procesą	
Mažiausios NH_3 ir N_2O emisijos tarp išanalizuotų straipsnių buvo stebimos, kai C/N santykis buvo apytiksliai 30 (tiek mažėjant, tiek didėjant santykiui didėjo NH_3 ir N_2O emisijos). C/N santykis tarp 10–20 nėra palankus mikroorganizmams, nes tokiu atveju azoto tiekimas jiems būna perteklinis.	(S. Zhao et al., 2020)
Aeracija ir jos įtaka kompostavimo procesui	
Ištyrus 4 parametrų įtaką kompostavo stabilumui, aeracija buvo parametras, labiausiai prisidedantis prie komposto brandumo.	(Z. Li et al., 2015)
Aeracijos našumas 0,24 l/kg DM/min gali paspartinti humuso formavimosi greitį.	(S. Li et al., 2017)
Virtuvės atliekoms 0,2 l/min/kg OM aeracijos našumas yra optimalus NH_3 ir lakių sieros junginių atžvilgiu.	(Onwosi et al., 2017)
Drėgmės kiekis kompostuojant	
Tarp mokslininkų bendrai yra sutarta, kad optimalus drėgmės kiekis kompostavimo metu turi būti apie 55–60 %. Drėgmės kontrolė ypač aktuali kompostuojant šaltinyje išrūšiuotas maisto atliekas, kurios dažniausiai turi apie 80 % drėgmės.	(S. Zhao et al., 2020)

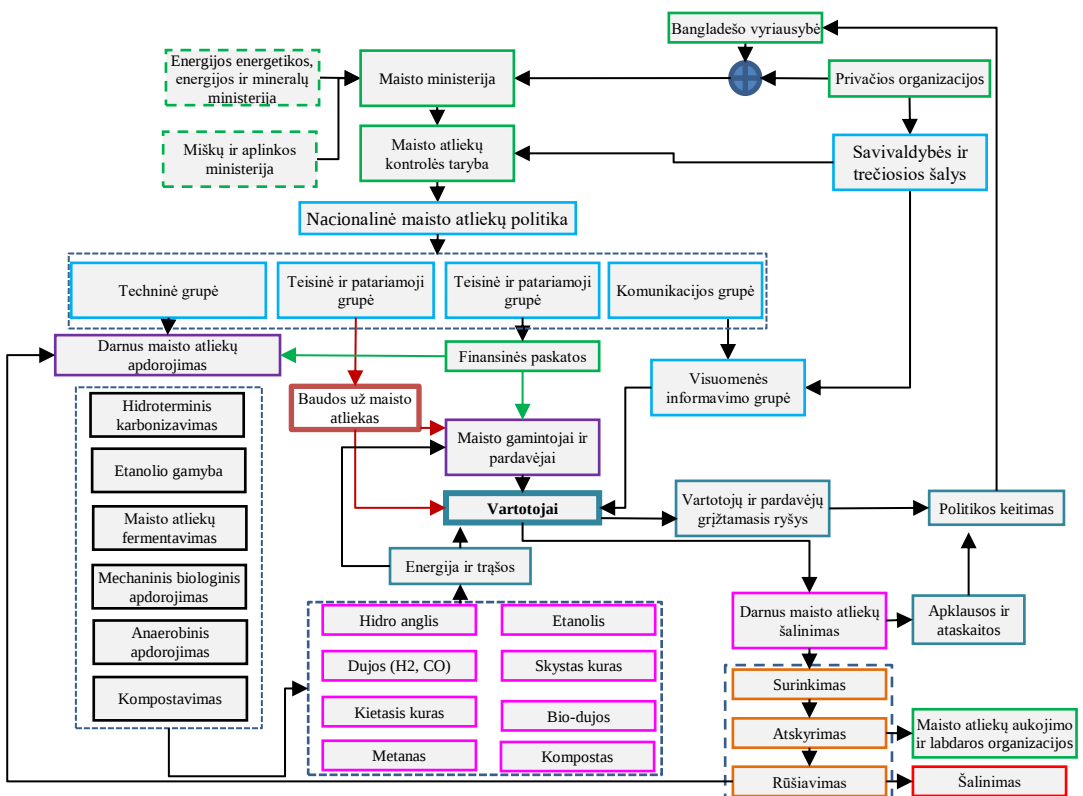
1.7 Atliekų valdymo modeliai

Pagrindinis modelio tikslas – kuo tikslesnis realybės atvaizdavimas, leidžiantis ją geriau paaiškinti, suvokti, prognozuoti jos raidą arba padidinti sistemos efektyvumą

(Staniškis et al., 2017). Visais atvejais modeliai paremti tam tikrais metodais, kurie palengvina sprendimų priėmimą. Aplinkos inžinerijos instituto mokslininkai išskiria kaštų naudos analizę, kaštų efektyvumo analizę, rizikos vertinimą, medžiagų srautų analizę, daugiafaktorinę analizę, kaip metodus vertinant aplinkos apsaugos ir ekonominius aspektus. Be to, KTU mokslininkų monografijoje išsiskiria būvio ciklo įvertinimo (BCI) metodika, atskiras skyrius skiriamas ir būvio ciklo kaštų vertinimo metodui. Ši metodika akcentuojama dėl jos holistinio požiūrio į produktus, sistemas, kuris leidžia įvertinti tikrąjį, dažnai sunkiai pastebimą, poveikį aplinkai. Vienas didžiausių privalumų – standartizuotos ir nuolat pildomos duomenų bazės (Staniškis et al., 2017).

1.7.1 Maisto atliekų valdymo modeliai

Nors maisto atliekų modeliai mokslinėje literatūroje yra sutinkami, juose valdomas tik vienas iš maisto atliekų srautų, arba valdymo sistemos ribos labai siauros, kaip pavyzdžiui, Bartocci ir kt. (2020) prekybos centrų maisto atliekų surinkimo ir anaerobinio apdorojimo optimizavimo modelis (Bartocci et al., 2020).



2 pav. Bangladešo maisto atliekų valdymo modelis (Ananno et al., 2021)

Kiek įdomesnį maisto atliekų valdymo modelį pasiūlė Ananno et al. (2021). Jame aprėpiama didesnė dalis tiekimo grandinės. Mokslininkai analizavimo MA, susidarančias nuėmus derlių iki vartojimo stadijos Bangladeše. Įdomu, kad modelio autoriai analizavo politines priemones, kas PE koncepcijoje yra išreikšta kaip vienas iš 6 atskirų elementų. Vis dėlto modelyje stipriai akcentuojamas tradicinis susidariusių atliekų tvarkymas, labai mažai dėmesio skirta stipriausiai priemonei – prevencijai bei APVP gamybai (žr. 2 pav.).

Chen et al. (2021) siūlo modelį, orientuotą ir darnų vartojimą. Modeliu bandoma identifikuoti, kodėl vartotojų intencijos neatitinka elgsenos (C.-C. Chen et al., 2021). Labai artimas idėjas PE komunikuoja Kowalski & Makara (2021). Nors autoriai akcentuoja žiedinės ekonomikos taikymą maisto produktų būvio cikle, priemonės, kurios yra taikomos, naudojamos ir PE. Pavyzdžiui, prevencija, atliekų mažinimas ir pakartotinis naudojimas, perdirbimas ir medžiagų bei energijos atgavimas (Kowalski et al., 2021). Vis dėlto studija nėra konkretus modelis su aprobavimo rezultatais, o labiau žiedinės ekonomikos taikymo pavyzdys agroindustrijoje. MA valdymo modelį taip pat pasiūlė (Fami et al., 2019). Studijos tikslas buvo sukurti modelį tam, kad nustatytų ryšį tarp maisto vartojimo valdymo ir namų ūkių maisto atliekų kiekio Tehrano mieste (Fami et al., 2019). Šis modelis apima tik MA iš namų ūkių (MA analizuojamos siauresniu požiriu neatsižvelgiant į praradimus ar šalutinius produktus) bei tiesiog juo siekiama surasti ryšį, o ne valdyti šių atliekų poveikį aplinkai. Kiek siauresnių sistemų ribų maisto atliekų valdymo modelį pasiūlė (Aka & Akyüz, 2021). Šie autoriai sukūrė *Fuzzy* modelį, skirtą valdyti maisto atliekas maitinimo paslaugų sektoriuje. Modeliu analizuojama, kaip maisto atliekų susidarymą veikia tam tikri pokyčiai.

Apibendrinant maisto atliekų valdymo modelių paieškos rezultatus, galima teigti, kad tokių modelių pateikimas mokslinėje literatūroje yra labai ribotas. Vyrauja komunalinių atliekų valdymo modeliai, bet atskiram maisto atliekų srautui jų ypač trūksta. Be to, publikuotuose modeliuose dominuoja tik MA, neatsižvelgiant į visus šalutinius produktus, kurie susidaro tiekiant maisto produktus į rinkas. Tuo tarpu PE taikymas maisto atliekų valdymui yra beveik neanalizuojamas arba analizuojamas itin siauru požiriu. Daugelio mokslininkų darbuose PE yra tapatinama su pramonine simbioze, todėl nėra atsižvelgia į kitus koncepcijos elementus.

1.7.2 Pramoninės ekologijos koncepcija maisto atliekų valdyme

Pramoninės ekologijos koncepcija mokslinėje literatūroje dažnai apsiriboja tik pramoninės simbiozės taikymu (Mirabella et al., 2014). Pavyzdžiui (Simboli et al., 2015) studijoje, analizuojamas šalutinių gamybos produktų panaudojimas tarp regione esančių agroindustrijos įmonių. Vis dėlto (Simboli et al., 2015) atkreipia dėmesį į regioninį atliekų valdymą, nors studijoje neaptariamas dematerializavimo elemento potencialas. Mirabella ir kt. (2014) taip pat teigia, kad pramoninės simbiozės koncepcijos įgyvendinimas stipriai remiasi regiono charakteristika, nes nuo jo priklauso medžiagų prieinamumas (Mirabella et al., 2014).

Panašiai PE koncepciją pateikė Fernandez-Mena ir kt. (2016), tik šį kartą buvo akcentuota maistinių N ir P medžiagų cirkuliacija visoje maisto produktų tiekimo

grandinėje (Fernandez-Mena et al., 2016). (Yu et al., 2015) taip pat pateikė PE kaip pramoninę simbiozę ir tuo pačiu išdėstė, kad Kinijoje tokie industriniai parkai kuria daugiau nei trečdaliu didesnę bendrąją vidaus produktą. Taip pat PE pateikė ir (Yupeng Fan et al., 2017), kurie paantrino, kad pramoninė simbiozė Kinijoje 33 % gerina sistemos darnumą. Visgi pastarosios studijos analizuoja sunkiąją pramonę, o ne maisto atliekų valdymą regione.

Maisto atliekų valdymo modelių, kurie remiasi PE, pateikimas mokslinėje literatūroje taip pat labai ribotas. Pavyzdžiui, (Raabe et al., 2017) pasiūlė modelį, kuriuo vertinamos techninės galimybės diegti pramoninę simbiozę tam tikroje teritorijoje. Įvertinamas atliekų (potencialių žaliavų) kiekis, jų prigimtis, transportavimo distancijos ir siūlomas sprendimų priėmimo pagalbos įrankis (Raabe et al., 2017). Vis dėlto šis modelis neakcentuoja maisto atliekų, nors gali būti joms taikomas, be to, čia vėl analizuojamas tik pramoninės simbiozės elementas. Tuo tarpu Smith ir kt. (2015) naudodami PE koncepciją atliko energijos gamybos iš atliekų analizę (Smith et al., 2015). Nors autorius nepateikia valdymo modelio, jis analizuoja gana sudėtingą komunalinių atliekų srautą. Vis dėlto, autorius pateikia pramoninę ekologiją kaip būdą konvertuoti atliekas į energiją ir produktus. Tuo tarpu (Kuo et al., 2005) studijoje analizuojamas PE taikymas maisto ir maisto dėžučių atliekų valdyme. Vis dėlto šioje studijoje nors ir komunikuojama PE koncepcija, daugiausia remiamasi ekologiniu projektavimu – bandoma įvertinti skirtingų pakuočių poveikį aplinkai.

PE koncepcijos elementų galima rasti daugelyje darnios plėtros strategijų. Pavyzdžiui, žiedinė ekonomika remiasi net dviem pramoninės ekologijos elementais: pramonine simbioze ir ekoindustrinių parkų kūrimu (Saavedra et al., 2018). Dar daugiau, Saavedra ir kt. (2018) bibliometrinės analizės rezultatai rodo, kad žiedinė ekonomika būtų negalima be PE (Saavedra et al., 2018).

1.7.3 Regioninis atliekų valdymas

Regioniniai atliekų valdymo modeliai dažniausiai buvo taikomi komunalinių atliekų valdymui. Pavyzdžiui, (Rigamonti et al., 2013) pasiūlė komunalinių maisto atliekų valdymo modelį Lombardijos (Italija) regionui, o tai galėtų būti bet kurio iš Lietuvos regionų atitikmuo. Šioje studijoje komunalinių atliekų valdymas buvo gerinamas remiantis būvio ciklo vertinimo įrankiu. Tuo tarpu (Safar et al., 2021) pasiūlė komunalinių atliekų valdymo modelį visai Pakistano valstybei. Visgi šis modelis buvo akcentuotas tik į energijos regeneravimą iš atliekų, visai neanalizuojant prevencijos potencialo. Apibendrinus pasakytina, kad komunalinių maisto atliekų valdymo modelių mokslinėje literatūroje yra iš ties daug, priešingai negu modelių, skirtų valdyti tik MA.

1.8 Teisės aktų apžvalga biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo srityje

1.8.1 BSA valdymo politika Europos Sąjungos teisės aktuose

Europos Sąjungoje (ES) atliekų susidarymo ir tvarkymo problemos buvo pradėtos spręsti dar 1975 m., kai pirmasis atliekų tvarkymo reglamentavimas buvo pateiktas direktyvoje 75/442/EEB „Dėl atliekų“. Jau po 14 metų, 1989 m., buvo

išryškinta prevencijos svarba – patvirtinta Europos Bendrijos atliekų tvarkymo strategija. Ši strategija remiasi atliekų tvarkymo hierarchija, kurios viršūnėje – atliekų prevencija. Ši hierarchija įpareigoja, kad neišvengiamų atliekų atveju, jų tvarkymas būtų atliekamas pirmiausia atsižvelgiant į pakartotinį medžiagų ir energijos panaudojimą, šalinimą sąvartyne taikant tik kraštutiniais atvejais.

Konkrečiai BSA teisės aktuose buvo paminėtos 2002 m. Šeštojoje aplinkosaugos veiksmų programoje. Šiuo dokumentu buvo numatyta parengti BSA tvarkymui skirtą ES teisinę bazę, o šiuo metu BSA tvarkymo reguliavimas yra išdėstytas net keliose direktyvose. Taip pat yra išskiriamas dirvožemis, kaip išsenkantis išteklis, kuris nėra pakankamai saugomas ekologiniu požiūriu. Dokumente labai stipriai akcentuojamas išteklių efektyvumas. 2005 m. teminėje strategijoje dėl atliekų vėl kartojama idėja apie atliekų prevenciją bei susidariusių atliekų perdirbimą. Dokumente akcentuojama į atliekas žiūrėti kaip į resursus.

Dar labiau išreikšti reikalavimai BSA tvarkymui yra pateikti direktyvoje 2008/98/EB „Dėl atliekų“. Šalys narės iki šiol tebėra skatinamos vystyti infrastruktūrą atskiro BSA surinkimui, o surinktas BSA perdirbti. Taip pat pageidaujama, kad BSA esančios bendrume KA sraute, būtų išskiriamos ir pakartotinai panaudojamos ar perdirbamos. Šioje direktyvoje išdėstomi Europos Sąjungos BSA tvarkymo reikalavimai, tarp kurių skatinimas naudoti išvardytas priemones ir siekti išvardytų tikslų:

- BSA aerobinis (kompostavimas) ir anaerobinis (fermentavimas) apdorojimas;
- biologinis atliekų apdorojimas generuojant kuo mažesnę poveikį aplinkai;
- visapusiškai saugių produktų gamyba iš BSA.

Be to, šioje direktyvoje pateikiami komposto kokybės rodikliai iš BSA pagamintiems produktams. Papildomai nurodomi kitiems apdorojimo procesams keliami reikalavimai, priklausomai nuo BSA prigimties. Direktyvoje 2008/98/EB aiškiai apibrėžiamas atliekų deginimas. Jeigu nepasiekiamas užduotas atliekų deginimo efektyvumas, jų deginimas negali būti naudojamas energijos gamybai.

Žaliojoje knygoje (IP/08/1879) antrinamos idėjos apie atliekų medžiaginių ir energetinių savybių panaudojimą. Šiame dokumente publikuojami svarstymai pateikti naujus teisės aktus, įpareigojančius mažinti šalinamų sąvartyne atliekų kiekį, jas perdirbti ir regeneruoti energiją.

Europos Sąjungos planai BSA valdymo srityje pristatyti 2010 m. Komisijos komunikate Tarybai ir Europos Parlamentui KOM(2010)235. Šiame dokumente pateikiami pagrindiniai veiksmai BSA tvarkymo srityje, tarp jų BSA tvarkymo politika, pateikiami atliekų valdymo pasiūlymai. Vis dėlto komunikate akcentuojamas finansinis atliekų tvarkymo pagrindumas (Europos Komisija, 2010).

2015 m. Europos Komisija priėmė veiksmų planą, kuriuo siekiama paspartinti Europos perėjimą prie žiedinės ekonomikos, didinti konkurencingumą pasaulyje, skatinti tvarų ekonomikos augimą ir kurti naujas darbo vietas. Veiksmų plane numatytos 54 priemonės produktų gyvavimo ciklo ratui uždaryti – nuo gamybos ir vartojimo iki atliekų tvarkymo ir antrinių žaliavų rinkos. Jame taip pat nustatyti penki prioritetiniai sektoriai siekiant paspartinti perėjimą jų vertės grandinėse (plastiko, maisto atliekų, svarbiausių žaliavų, statybos ir griovimo, biomasės ir biologinių

medžiagų). Jame itin akcentuojama, kad reikia sukurti tvirtą pagrindą investicijoms ir naujovėms klestėti.

2015 m. lapkričio 18 d. Komisijos reglamento (ES) 2015/2009, kuriuo nustatomi ekologiniai kriterijai, taikomi suteikiant ES ekologinį ženklą auginimo terpėms, dirvožemio gerinimo medžiagoms ir mulčiui, priede „ES ekologinio ženklinimo kriterijai“ pateiktas 2.2 kriterijus, pagal kurį medžiagos, visiškai arba iš dalies gautos iš komunalinių nuotekų valymo įrenginių dumblo, negali įeiti į organinių trąšų sudėtį. Pagal šį reglamentą minėtiems produktams gaminti leidžiama naudoti tik nuotekų valymo jų susidarymo vietoje dumblą iš maisto pramonės įmonių.

1.8.2 BSA tvarkymo kryptis Lietuvos Respublikos teisės aktuose

Pagal Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymą (ATĮ) „biologiškai skaidžiomis atliekomis laikomos medžiagos, kurios gali skaidytis ar būti suskaidytos aerobiniu ar anaerobiniu būdu“ (Lietuvos Respublikos Seimas, 1998). Tokios BSA, kaip ŽA, įskaitant sodų ir parkų atliekas (šakos, lapai, žolė), nuotekų dumblą, MA, priskiriamos prie biologinių atliekų.

Pagal ATĮ atliekų tvarkymo prioritetai prasideda nuo atliekų prevencijos, o jeigu jau atliekos susidaro, jos, visų pirma, turi būti paruoštos naudoti pakartotinai toje pačioje įmonėje (susidarymo šaltinyje), taikant atliekų prevencijos ir mažinimo strategiją arba kitoje įmonėje, prieš tai atskyrus produktus ar jų sudedamąsias dalis, netinkamas pakartotiniam naudojimui. Tolesni žingsniai – atliekų perdirbimas ir kitoks naudojimas, optimaliai išnaudojant jų žaliavines ir / arba energetines savybes, prieš tai atskyrus atliekas, netinkamas perdirbti arba kitaip panaudoti. Šalinti galima tik tas atliekas, kurių neįmanoma perdirbti arba kitaip tinkamai naudoti.

Taip pat labai svarbu paminėti aspektus, kurie yra aktualūs šiame darbe analizuojant atliekų tvarkymo optimizavimo galimybes, kai apdorota medžiaga netenka atliekos statuso. Pagal ATĮ II skirsnio 3 straipsnį, medžiaga nebelaikoma atliekomis, jeigu yra visuotinai naudojama konkrečioms tikslams, jai egzistuoja rinka ar paklausa, tenkina techninius reikalavimus konkrečioms tikslams ir atitinka produktams taikytinus galiojančius teisės aktus ir standartus. Vienas iš reikšmingų reikalavimų, kad naudojant šią medžiagą nebūtų daromas neigiamas poveikis aplinkai ir žmonių sveikatai (Lietuvos Respublikos Seimas, 1998). Pagal ATĮ II skirsnio 3 straipsnį medžiaga nepriskiriama atliekoms, bet laikoma šalutiniu produktu, jeigu:

- 1) gaunama gamybos proceso metu, kurio pirminis tikslas nėra šios medžiagos gamyba arba jos gamyba yra viso gamybos proceso sudėtinė dalis, *ir*
- 2) yra žinomas jos tolesnis naudojimas „tiesiogiai, be jokio papildomo apdirbimo, išskyrus, jeigu tai yra atliekama įprastos pramoninės praktikos būdu“, *ir*
- 3) šis naudojimas yra teisėtas, t. y. pati medžiaga atitinka produkto reikalavimus, jos naudojimas – aplinkos ir sveikatos apsaugos reikalavimus, t. y. nedarys neigiamo poveikio aplinkai ir visuomenės sveikatai.

Valstybiniame atliekų tvarkymo plane (VATP) pirmenybė teikiama tam, kad įstaigose (įskaitant viešojo maitinimo įstaigas), kuriose ūkinės veiklos metu susidaro

BSA, būtų imamas atskiro rūšiavimo ir techninėms galimybėms leidžiant, tvarkyti šias atliekas vietoje. Nesant tokiai galimybei, pageidaujama perduoti BSA atliekų tvarkytojams apdoroti pagal užduotus prioritetus. Tokiu pat principu tvarkomos ir maisto pramonės BSA, nors papildomai jos gali būti naudojamos žemės ūkyje trąšų forma ar gyvuliams šerti, jeigu laikomasi reglamento (EB) Nr. 1069/2009 nuostatų. Kalbant apie komunalines maisto atliekas, VATP numatyta iki 2019 m. sukurti infrastruktūrą atskiram MA išrūšiavimui (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2014).

VATP išskiriamoms MA numatomi ir kiti teisės aktai, kuriuose išdėstomi reikalavimai konkretiems tvarkymo būdams. Vienas pavyzdžių – aplinkosauginiai reikalavimai BSA kompostavimui. Šiame dokumente išdėstomi reikalavimai kompostavimo aikštelių įrengimui, kompostuojamų medžiagų kilmėi, pagaminto produkto užterštumui ir vertingumui.

Tam tikros BSA gali būti panaudojamos žemės ūkyje, kaip trąšos tiesiogiai jas paskirstant ant dirvožemio. Toks BSA naudojimas yra reglamentuojamas Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos teisės akte – „Biologiškai skaidžių atliekų naudojimo tręsimui laikinųjų aplinkosauginių reikalavimų aprašas“. Šiuo dokumentu įpareigojama sudarinėti tręšimo planus, kuriuose detalai pateikiama tokia informacija – tręšiamas plotas, grafikas, žemėlapiai, BSA maistinių medžiagų kiekis bei kiti parametrai, kurie užtikrintų saugų šių BSA (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2014).

1.8.3 Reikalavimai šalutinių gyvūninių produktų valdymui

Europos Parlamento ir Tarybos reglamente (EB) Nr. 1069/2009, kuriuo nustatomos žmonėms vartoti neskirtų šalutinių gyvūninių produktų ir jų gaminių sveikumo taisyklės ir panaikinamas Reglamentas (EB) Nr. 1774/2002, šalyse narėse nustatomos dar griežtesnės tvarkymo taisyklės tiek MA, tiek atliekoms, susidarantioms tiekimo grandinėje (pvz., mėšlas ar skerdyklų atliekos). Europos Parlamento ir Tarybos reglamente (EB) Nr. 1069/2009 nurodoma, kad kavinių, apgyvendinimo įmonių MA patenka į trečią ŠGP kategoriją. O pagal Komisijos reglamento (ES) Nr. 142/2011, kuriuo įgyvendinami Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (EB) Nr. 1069/2009, nuostatas, maisto (virtuvės) atliekos, tiek surenkamos iš viešojo maitinimo įstaigų, tiek iš gyventojų (atskiras surinkimas), yra priskiriamos trečiai ŠGP kategorijai ir jos turi būti valdomos pagal (EB) Nr. 1069/2009 reglamento reikalavimus. Nepaisant sugriežtėjusio reglamentavimo, Komisijos reglamente Nr. 142/2011/EB pateikiamos instrukcijos, kaip valdyti konkrečios kategorijos ŠGP, kokius transformacijos procesus rinktis, kokias sąlygas palaikyti (temperatūros, slėgio palaikymo režimai, dalelių dydis), kuriuos ŠGP naudoti kaip trąšas ir tiesiogiai gyvuliams šerti ar perdirbti į pašarus. Taip pat leidžiama rinktis ir neįvardijamus procesus, jeigu jie leidžia užtikrinti mikrobiologinę kontrolę.

ŠGP reglamentas pasirinktas detaliau panagrinėti dėl pagrindinio šio teisės akto tikslo – užkrečiamųjų ligų kontrolės, kas ypač aktualu COVID pandemijos kontekste. Nors teisės aktas yra skirtas ES, šiame reglamente nurodyti technologiniai parametrai galėtų būti taikomi globaliai kontroliuojant patogeninius mikroorganizmus.

1.8.4 Reikalavimai iš BSA pagamintiems tręšimo produktams

2019 m. buvo patvirtintas Žemės ūkio ministro įsakymas „Dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų tręšimo produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų tręšimo produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo“ (Žemės ūkio ministerija, 2019) (toliau – tręšimo produktų identifikavimo aprašas). Pagal šį įsakymą tręšimo produktai skirstomi į šias kategorijas (Žemės ūkio ministerija, 2019): trąšos (neorganinės; organinės; organinės-mineralinės), kalkinimo medžiagos, dirvožemio gerinimo medžiagos, auginimo terpės, inhibitoriai, augalų biostimuliatoriai, pelenai, tręšimo produktų mišiniai.

15 lentelė. Pagamintų kompostų ir raugų galimi užterštumo parametrai

Parametrai	RV tręšimo produktams				
	¹ Siūlomi mokslininkų (Staugaitis et al., 2016)		Pagal tręšimo produktų identifikavimo aprašą (Žemės ūkio ministerija, 2019)		
1	2	3	4	5	6
	I kl.	II kl.	D.2.1.1.1	D.4.1.1.13	³ F.2.1.1.3.0
Pb	50	100	120	120	120
Cd	1,0	2,0	2	2	1,5
Cr	70	100	70	70	70
Cr (VI)	-	-	2	2	2
Cu	100	200	300	300	200
Ni	40	60	50	50	50
Zn	400	600	800	800	500
Hg	0,4	1,0	1	1	1
As	10	25	40	40	40
Mikrobiologinis-parazitologinis užterštumas					
Fekalinė žarnyno lazdelė, kol. sk./g	≤1000		² ≤1000	≤1000	² ≤1000
Anaerobinės klostridijos, kol. sk./g	≤100000		-	≤100000	-
Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	0		-	0	-
Patogeninės enterobakterijos, kol. sk./g (pvz. <i>Salmonella</i>)	0		0 (25 g mėginyje)	0	0 (25 g mėginyje)
Priemaišos					
Kietos natūralios priemaišos > 100 mm (akmenys, kt.), proc. SM	≤5 <2		≤5	-	-
Kietos nenatūralios priemaišos ≥ 2 mm (plastikai, kt.), g/kg SM	<0,5		≤3	-	-
Piktžolių sėklos, vnt./l	<2		≤2	-	-
Užterštumas organine tarša					
PAA16, mg/kgSM	<4		≤6	-	-
PCB7, mg/kgSM	<0,2		≤0,2	-	-

Pastabos: ¹Sunkiųjų metalų didžiausia leistina koncentracija dirvožemio gerinimo medžiagoje – komposte pagal Staugaitis et al. (2016): 1 klasės – naudojimui žemės ūkyje, 2 klasės – naudojimui rekultivuojamuose plotuose ir miško želdinių plantacijoms bei trumpos rotacijos želdiniams energetinės biomasės auginimui.

²*Escherichia coli* ir *Enterococcaceae* tipų bakterijų koncentracija neturi viršyti 1 000 viename grame ar mililitre.

BSA gali būti naudojamos gaminant dirvožemio gerinimo medžiagas, pavyzdžiui, kompostus, kurių identifikavimo numeriai – nuo D.2.1.1.1 iki D.2.1.1.5; dirvožemio gerinimo medžiagas, gautas apdorojus gamybos ir kitas ūkinės veiklos atliekas ir šalutinius produktus (pavyzdžiui, mėsos miltus (D.4.1.1.1), kaulų miltus (D.4.1.1.2), kraujo miltus (D.4.1.1.3), išspaudas (D.4.1.1.10), pieno išrūgas (D.4.1.1.11), anaerobinėmis sąlygomis fermentuotą biomasę (D.4.1.1.13), kt.); auginimo terpes (pavyzdžiui, kompostus (pūdinius) (F.2.1.1.3), kompostuotas išspaudas (F.2.1.1.5), kompostuotas medžiagas kartu su pašalintomis iš gyvulių organizmo, taip pat išmėsintų gyvulių atliekas (2 ir 3 kategorijos pagal ES reglamentą Nr. 1069/2009) (F.2.1.1.6); kitus tręšimo produktus.

Tręšimo produktų identifikavimo apraše pateikti reikalavimai gaminamų produktų užterštumui: ribinės vertės (RV) sunkiųjų metalų koncentracijoms, mikrobiologiniam-parazitologiniam užterštumui, priemaišų kiekiui, užterštumui organine tarša (žr. 15 lent.); taip pat pateikiami reikalavimai gaminamų produktų kokybei (žr. 16 lent.). Ribinės vertės buvo nustatytos, atliekant keletą mokslinių tyrimų, vykdančią MTEP projektus (Staugaitis et al., 2011, 2016).

Kompostai, priskiriami prie dirvožemį gerinančių medžiagų, jeigu užterštumo rodikliai neviršija nurodytų 15 lentelės 3 stulpelyje ir pasižymi kokybės rodikliais, kurie pateikti 16 lentelės 7 stulpelyje. Kokybės parametrai arba vertingumo kaip trąšos rodikliai pateikti pagal MTEP darbo rezultatus (Staugaitis et al., 2016) ir ilgalaikę LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos mokslininkų patirtį Lietuvoje (Staugaitis et al., 2011). Tai, taip pat, gali būti puikus įrankis vertinant komposto kokybę ir kainą bei būdas lyginti kompostus tarpusavyje.

Kadangi reikalavimai iš BSA pagamintiems produktams tręšimo produktų identifikavimo apraše (teisės akte) buvo apibrėžti pasiremiant moksliniu darbu, šiame dokumente pateikiamais parametrais ir jų RV dalinai būtų galima remtis ir kitose šalyse. Visgi, būtina pabrėžti, kad reikalavimai tręšimo produktų užterštumo rodiklių RV ir kokybei gali skirtis kitose šalyse, kadangi RV turi tiesioginę priklausomybę nuo esamo dirvožemio būklės. Būtent todėl šios kokybės ir užterštumo RV visų pirma nustatomos šalies mokslininkų.

16 lentelė. Iš BSA pagamintų tręšiamųjų produktų kokybės parametrai

Pagrindiniai kokybės rodikliai	Komposto ar anaerobinio raugo kaip trąšos vertingumas (Staugaitis et al., 2016)					Pagal tręšimo produktų identifikavimo aprašą		
	labai mažas	mažas	vidutinis	didelis	labai didelis	D.2.1.1.1	D.4.1.1.13	² F.2.1.1.30
1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH _{KCl}	<5,6	5,6–6,5	6,6–7,5	7,6–8,5	>8,5	³ Pateik. inform.		
SM, %	<21	21–30	31–40	41–50	>50	³ Pateik. inform.		
Organinės medžiagos (OM), % SM	<16	16–25	25–35	36–45	>45	≥25	≥20	≥20
BN,% SM	<0,5	0,5–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	>2,0	³ Pateik. inform.		
Bendras fosforas (BP), % SM	<0,21	0,21–0,40	0,41–0,60	0,61–0,80	>0,80	-	-	-
(perskaičiavus į P ₂ O ₅)	<0,48	0,48–0,92	0,93–1,37	1,38–1,83	>1,83	³ Pateik. inform.		
Bendras kalis (BK), % SM	<0,6	0,6–1,0	1,1–2,0	2,1–2,5	>2,5	-	-	-
(perskaičiavus į K ₂ O)	<0,72	0,72–1,2	1,3–2,4	2,5–3,0	>3	³ Pateik. inform.		
Suminis: N+P ₂ O ₅ + K ₂ O	-	-	-	-	-	≥2,5	≥0,3	-
Vandens sugėrimo laipsnis	-	-	-	-	-	-	-	³ Pateik. inform.
Elektrinis laidumas, mS/cm	<0,6	0,6–1,0	1,1–1,5	1,6–2,0	>2,0 ¹	³ Pateik. inform.	-	³ Pateik. inform.
C:N santykis	<11	11–15	16–20	21–25	>25	-	-	-
Vandenyje tirpus N (N-NH ₄ +N-NO ₃), mg/l NDM	<51	51–100	101–150	151–200	>200	³ Pateik. inform.		-
Vandenyje tirpus P, mg/l NDM	<26	25–50	51–75	76–100	>100	³ Pateik. inform.		-
Vandenyje tirpus K, mg/l NDM	<91	91–160	161–230	231–300	>300	-	-	-
Papildomi rodikliai:								
pH _{H2O}	<6,1	6,1–7	7,1–8,0	8,1–9,0	>9,0	³ Pateik. inform.		
Vandenyje tirpus Ca, mg/l NDM	<101	101–200	201–300	301–500	>500	-	-	-
Vandenyje tirpus Mg, mg/l NDM	<31	31–60	61–90	91–120	>120	-	-	-
Sulfatai (SO ₄), mg/l NDM	<51	51–100	101–150	151–200	>200 (>300 ¹)	-	-	³ Pateik. inform.
Chloridai (Cl), mg/l NDM	<51	51–100	100–200	201–300	>300 ¹	-	-	³ Pateik. inform.
Biologinis skaidumas	Pvz., pagal ištirpusios organinės anglies koncentraciją (≤ 4000 mg/kg)					-	-	-
Piltinis tankis, g/l	Pageidautina, kad kompostai būtų puresni					³ Pateik. inform.	-	-

Pastabos: ¹SO₄ ir Cl koncentracijos, viršijančios 300 mg/l natūralaus drėgnio medžiagoje (NDM), gali kenkti jautriems augalams.

²Pateikiama informacija apie pagrindines sudedamąsias dalis (kurių yra >10% tūrio dalimis) mažėjančia proporcija. Be lentelėje pažymėtų parametrų, gali būti reikalinga informacija apie šioje terpėje esančių augalų augimą veikiančių medžiagų kiekius: kalcio (Ca), magnio (Mg), natrio (Na) ir sieros (S), kurie vadinami antrinėmis augalų maisto medžiagomis (Žemės ūkio ministerija, 2019).

³Pateik. inform. – pateikiama privalomoji informacija apie produktą.

1.8.5 Atsinaujinančios energijos gamyba ir jos realizavimo galimybės

Pagal Europos parlamento ir Tarybos direktyvą 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, iš dalies keičiančią bei vėliau panaikinančią Direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB, „atsinaujinančių išteklių energija“ – atsinaujinančių neišskastinių išteklių energija, įsk. biomasę, nuotekų perdirbimo įrenginių dujas, kt. Šioje direktyvoje „biomasė“ – biologiškai skaidi biologinės kilmės produktų, atliekų ir liekanų, gaunamų žemės ūkyje, miškų ūkyje ir susijusiose pramonės šakose, įsk. žuvininkystę ir akvakultūrą, dalis, taip pat biologiškai skaidi pramoninių ir buitinių atliekų dalis“. Direktyvos 2009/28/EB bendrasis tikslas – pasiekti, kad iki 2020 m. energijos dalis iš atsinaujinančių išteklių sudarytų 20 % Bendrijos energijos suvartojimo bendro galutinio kiekio, Lietuvos atveju – iki 23 % (pagal šios direktyvos I priede pateiktus Bendruosius nacionalinius planinius rodiklius). Jau 2018 m. Lietuvoje atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) dalis bendrame galutiniame energijos suvartojime viršijo 24 %.

Pagal Lietuvos Respublikos **Nacionalinį energetikos ir klimato srities veiksmų planą 2021–2030 m.** (toliau – Energetikos veiksmų planas) iki 2020 metų AEI dalis galutiniame suvartojimo balanse turi pasiekti 30 %, iki 2030 m. – iki 45 % (Aplinkos ministerija, 2020a).

Energetikos veiksmų plane AEI plėtra elektros energetikos sektoriuje bus vykdoma vadovaujantis šiais principais:

- 1) laipsniško atsinaujinančių energijos išteklių integravimo į rinką;
- 2) įperkamumo ir skaidrumo;
- 3) aktyvaus energijos vartotojų dalyvavimo, kai skatinama decentralizuota elektros energijos gamyba, vartotojams suteikiant galimybę iš AEI pasigamintą energiją vartoti savo reikmėms, o už perteklinę energiją, patiektą į tinklą, gauti rinkos sąlygas atitinkantį atlygį.

Siekiant realizuoti numatytus tikslus, planuojamos paramos schemos (Aplinkos ministerija, 2020a):

- 1) elektros energijos iš AEI kainos priedas;
- 2) elektros energijos iš AEI persiuntimas pirmumo teise;
- 3) elektros energijos gamintojų, kurių eksploatuojama elektrinė yra mažesnė kaip 500 kW, atleidimas nuo atsakomybės už pagamintos elektros energijos balansavimą ir (ar) elektrinės gamybos pajėgumų rezervavimą skatinimo laikotarpiu.

Energetikos veiksmų plane AEI plėtra šilumos ir vėsumos sektoriuje bus vykdoma vadovaujantis šiais pagrindiniais principais: skaidrumo, konkurencingumo, efektyvumo ir pažangumo. Planuojamos politikos priemonės AEI šilumos sektoriuje

iki 2030 m. pateiktos Energetikos veiksmų plano 3.1.2.7. lentelėje (Aplinkos ministerija, 2020b). Labai svarbu, kad viena iš siūlomų priemonių (AEI28) – skatinti atliekinės šilumos, susidariusios pramonėje, atliekų sektoriuje ar dėl vėsinimo energijos, panaudojimą centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje. Šiuo atveju prioritetinga kryptis šilumos sektoriuje – surinkti, kaupti ir efektyviai panaudoti aplinkos energiją, taip pat procesų atliekamą energiją iš pramonės objektų ir rekuperuotą energiją iš pastatų.

Nors šioje trumpoje atsinaujinančios energetikos apžvalgoje kaip pavyzdžiai nagrinėjami ES ir Lietuvos teisės aktai, atsinaujinančios energijos uždaviniai yra itin aktualūs visam pasauliui. Šie teisės aktai pasirenkami ir dėl to, kad ES yra aplinkos apsaugos politikos lyderė pasaulyje. Bendrame maisto atliekų kontekste ši tema buvo pasirinkta nagrinėti, nes biomasė – medžiaga, kurioje sukaupiama saulės energija.

1.9 Pirmojo skyriaus išvados ir apibendrinimai (problematika ir galimybės)

1. MA srautų ir prevencinių priemonių skyriuje identifikuojant MA srautus, nustatyti jų susidarymo šaltiniai: maisto pramonė, žemės ūkis, transportavimas, prekyba ir vartojimas. Nustatytos maisto atliekų integruotam valdymui taikomos prevencinės priemonės: informacinės technologijos, technologiniai pakeitimai, naujoviškos valdybos priemonės, biotechnologijos, homogeniškas MA srautų transformavimas į maisto produktus, kai BSA transformuojamos į produktus tos pačios įmonės lygmenyje. Šaltinių identifikavimas rėmėsi pramoninio metabolizmo samprata, kurios metu analizuojamas medžiagų virsmas visame būvio cikle. Tuo tarpu prevencinės priemonės buvo identifiкуotos kaip būdas siekti dematerializavimo. Analizės pabaigoje pastebima, kad reikšmingą aplinkosauginį efektą generuoja sumanūs prevenciniai sprendimai, pagrįsti informacinių technologijų taikymu. Stebima skaitmenizacijos plėtra net ir į atliekų tvarkymo sritį. Kita, pastaruoju metu žymiai iškilusi kryptis – mikrobiologinių preparatų naudojimas žemės ūkyje siekiant sumažinti praradimus šioje gamybos stadijoje, produktyvumui didinti. Nors produktyvumo didinimas nereiškia maisto atliekų mažinimo, tai sąlygoja intensyvumo mažėjimą žemės ūkyje (PE elementas – sąveika su biosfera). Vis dėlto toks mikrobiologinių preparatų taikymo šuolis kyla dėl biologinių procesų efektyvumo. Natūralu, kad mokslininkai ir verslas tampa suinteresuoti panaudoti šį efektyvumą kuriant dar daugiau pridėtinės vertės ir mažinant poveikį aplinkai (tuo pačiu dematerializuojant materialiuosius srautus). Vartotojams reikalaujant daugiau darnumo, matomas iniciatyvų, siekiančių neleisti produktams tapti atlieka, augimas. Vartotojų sąmoningumo didėjimas turėtų skatinti dar spartesnę tokių startuolių plėtrą.
2. Pridėtinės vertės produktų gamybos iš MA skyriuje netiesiogiai ištransliuojama problematika apie silpną medžiaginių savybių išnaudojimą. Skyriuje identifiкуotos technologinės priemonės valdyti MA srautus išgaunant APVP, kurie gali būti naudojami tiek maisto pramonėje ar sveikatingumo sektoriuje, tiek kitose pramonės šakose. Pavyzdžiui, MA

panaudojimas gaminant polihidroksilesterius, poli-3-hidroksibutirata, tokoferoliai, polifenoliai, fermentai, pieno rūgštis, skaidulos, vitaminai, ksantano guma ir t. t.

APVP išgavimas iš biomasės nagrinėjamas jau itin ilgą laiką. Vis dėlto nors galimybių gaminti APVP yra apstu, tokios technologijos nesulaukia investicijų ir didelio susidomėjimo. To priežastis – naftos produktai yra pigesni, o visuomenė kol kas renkasi produkciją pagal kainą. Reikia stipraus vartotojų pareikalavimo produkcijai iš atsinaujinančių biomasės šaltinių, kad tokios technologijos atsirastų rinkoje. Stinga ir tyrimų, kurie paverstų APVP gamybą iš biomasės konkurencinga gamybai iš naftos. APVP gamyba apžvelgiama dėl sąsajų su pramonine simbioze (mainų tarp įmonių atveju) ir dematerializavimu (kai produktai gaminami toje pačioje įmonėje).

3. Pramoninės simbiozės galimybių MA valdymo skyriuje išryškinama atskiro virtuvės atliekų srauto anaerobinio ir aerobinio neoptimalaus apdorojimo problematika. Anaerobinio apdorojimo atveju nustatyta, kad maišant virtuvės atliekas su kitos prigimties biologiškai skaidžiomis atliekomis galima padidinti apdorojimo efektyvumą. Toks pramoninės simbiozės naudojimas subalansuojant substratą prieš apdorojimą daug mokslinėje literatūroje nagrinėtas būdas. Vis dėlto šie tyrimai apsiriboja pasiekiamais proceso optimizavimo rezultatais. Šie rezultatai neatsiranda mokslinėje ar praktinėje literatūroje, kaip būdas pasiekti reikšmingą aplinkosauginį efektą valdant biogeninių atliekų srautus tam tikroje teritorijoje. Matomas potencialas sujungti mokslininkų tyrimus šioje srityje kuriant valdymo modelius. Tuo tarpu aerobinio apdorojimo metu taip pat galima padidinti proceso efektyvumą bei sumažinti poveikį aplinkai ieškant sinergijos su kitais biologiškai skaidžių atliekų srautais.
4. Maisto atliekų anaerobinio ir aerobinio apdorojimo skyriuje išryškinama prasto procesų valdymo problematika, kuri įtakoja procesų efektyvumą ir galiausiai poveikį aplinkai. Stebima, kad mokslinėje literatūroje aerobinis procesas kiek labiau išnagrinėtas negu anaerobinis. Aerobinio proceso mokslinių tyrimų rezultatai gan plačiai atspinti praktikoje (pvz., mikrobiologinių preparatų taikymo atveju). Anaerobinio proceso atveju matoma mokslinių straipsnių didėjimo tendencija pirminio apdorojimo srityje (priežastis – ekonominis pagrįstumas). Ypatingas dėmesys toliau skiriamas lignoceliuliozės pirminiam apdorojimui, nes lignoceliuliozė dominuoja biomasėje. Teigiami rezultatai gaunami atskyrus metanogenezės stadiją, todėl labai tikėtina, kad tokie reaktoriai ateityje pasirodys pramonėje. Tokių reaktorių atsiradimas taip pat koreliuotu su atskirų MA surinkimo plėtra, nes būtent apdorojant MA susiduriama su metanogenezės proceso slopinimu. Energijos nešiklių atgavimą iš biomasės būtų galima padidinti įvedant daugiau matuojamų parametrų ir jais pagrįstą proceso kontrolę. Galiausiai ateityje reikėtų daugiau tyrimų, susijusių su specialiomis mikroorganizmų kultūromis, skirtomis anaerobiniam procesui. Šių procesų optimizavimo apžvalga buvo pasirinkta dėl jų reikšmės įgyvendinant PE koncepciją MA

valdymo sistemose. Fermentavimo metu didinant energijos atgavimą įgyvendinamas energijos sistemos restruktūrizavimo elementas, dematerializuojami srautai, artėjama prie didesnės integracijos su natūraliomis ekosistemomis (sąveika su biosfera).

5. Nustatyta, kad MA valdymo sprendimų pateikimas mokslinėje literatūroje yra labai ribotas. Didžioji dalis modelių sukurti komunalinių atliekų valdymui, o jeigu vertinamos MA, tai tik siaurąja šio apibrėžimo prasme. Tuo tarpu PE taikymas MA organizavimui beveik netaikomas, o jeigu taikomas, tai tik itin siauru požiūriu tapatinant PE su pramonine simbioze.
6. Teisės aktų apžvalgos skyriuje nustatyta išliekanti tendencija išvengti MA susidarymo, o neišvengiamas maisto atliekas valdyti inovatyviomis priemonėmis sudarant galimybes priartėti prie cikliško medžiagų judėjimo. Analizės metu buvo nustatyti reikalavimai tokių MA srautų valdymui, kaip kavinių MA, komunalinės MA, šalutiniai gyvūniniai produktai, susidarantys tiekiant maisto produktus į rinką ir t. t. Be to, išanalizavus teisės aktus, buvo nustatyti užterštumo ir kokybės rodikliai bei vertės iš maisto atliekų pagamintiems kompostams. Teisės aktų apžvalga, PE kontekste, atliekama dėl sąsajos su politikos formavimo elementu.

II. METODIKA

Šios disertacijos metodikos skyrius susideda iš 4 poskyrių. Pirmajame poskyryje pateikiama sprendimų priėmimo paramos modelio bei jo taikymo algoritmo sukūrimo metodika. Antrajame išdėstoma eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika. Trečiajame poskyryje pateikiama būvio ciklo įvertinimo (BCI) metodika, kuri buvo naudota apibūtinant modelį 3 pasirinktiems maisto atliekų srautams. O ketvirtajame poskyryje pateikiamos metodikos, kurios buvo naudotos vertinant pasirinktas alternatyvas apibūtinimo dalyje.

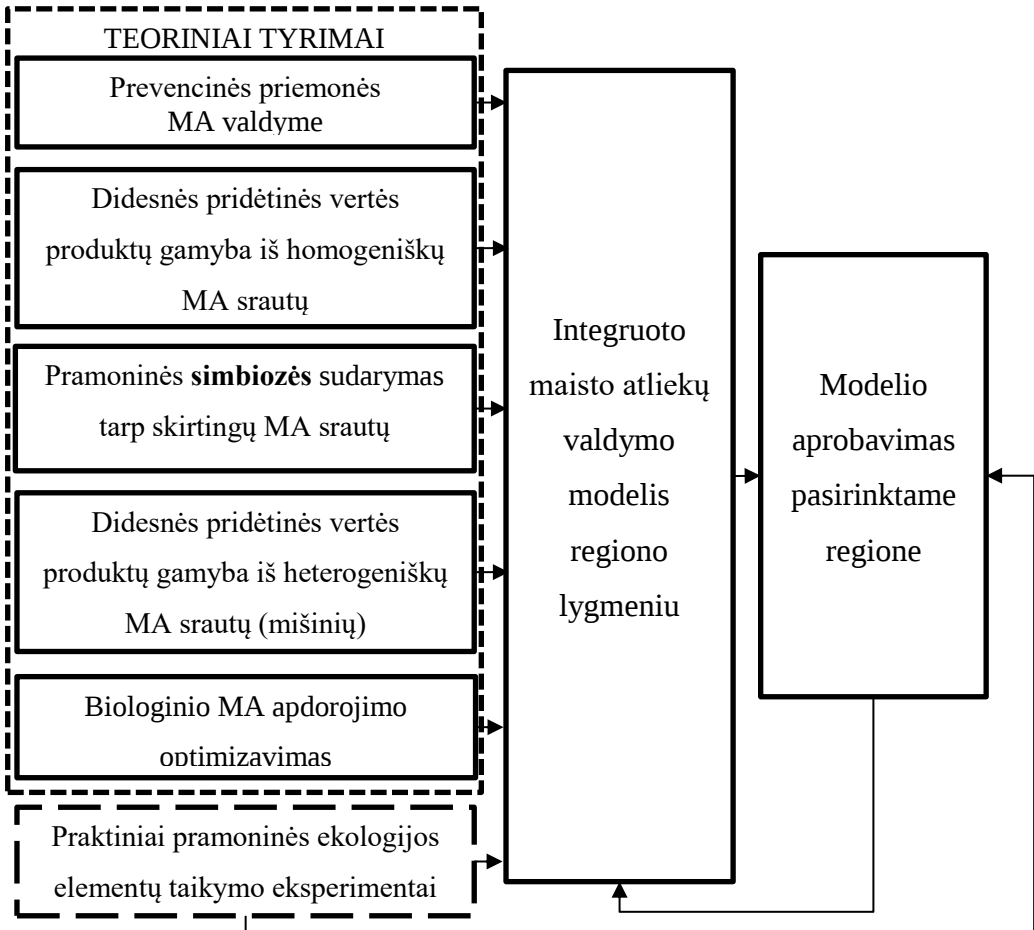
2.1 Sprendimų priėmimo paramos modelio bei jo taikymo algoritmo sukūrimo metodika

Šiame poskyryje pateikiama modelio, kurio tipas – sprendimų priėmimo paramos modelis, metodologija. Sprendimų priėmimo paramos modelis ir jo taikymo algoritmas buvo kuriami remiantis teoriniais ir praktiniais tyrimais bei apibūtinimo rezultatais (analizuojant pasirinktą regioną) (žr. 3 pav.). Pirmiausia teorinių tyrimų pagrindu buvo sudaromas modelio prototipas, kuris galutinai išdėstytas ir koreguojamas pasiremiant praktinių tyrimų bei apibūtinimo rezultatais. Modelio taikymo algoritmo vystymas vyko priimanč, kad pradinę jo struktūrą sudaro – esamos ir alternatyvios MA valdymo sistemų lyginimo pagrindas.

Teorinių tyrimų metu mokslinėje ir praktinėje literatūroje buvo ieškoma MA valdymo sprendimų, kurie atitinka PE koncepciją ir jos elementus. Suakumuliuoti paieškos kriterijus atitinkantys šaltiniai buvo suskirstyti į 5 grupes eiliškumu, atitinkančiu integruoto atliekų valdymo (pradedant prevencija baigiant tradicinių tvarkymu) ir kaskadavimo (didesnės vertės produktų atgavimo prioretizavimas) principus. Pirmoji grupė – prevencinės priemonės MA valdyme, antroji – APVP gamyba iš homogeniškų MA srautų, trečioji – pramoninės simbiozės sudarymas tarp skirtingų MA srautų, ketvirtoji – pridėtinės vertės produktų gamyba iš heterogeniškų MA srautų (mišinių), penktoji – biologinio MA apdorojimo optimizavimas (žr. 3 pav.). Surinkta informacija iš eilės pagal šias grupes yra pateikta literatūros apžvalgos 1.2–1.6 poskyriuose. Toliau buvo mąstoma, kaip šiose 5 grupėse išdėstytas MA valdymo priemonės tarpusavyje integruoti, sujungti realizuojant PE koncepciją regioniniam MA valdymui. Apibendrinant pasakytina, kad visi šaltiniai buvo atrenkami ir analizuojami ieškant juose maisto atliekų valdymo elementų, į kuriuos po to pažvelgus kaip į visumą būtų galima priimti sprendimus dėl modelio ir jo taikymo algoritmo formavimo. Taip pat buvo siekiama surasti kuo daugiau skirtingų valdymo alternatyvų, kurias modelyje sujungus būtų pasiekiami medžiaginių ir energetinių savybių optimalaus išnaudojimo tikslai regione. Dėl šios priežasties buvo akcentuojamas mokslinių ir praktinių šaltinių kiekis, o ne gilesnė jų analizė.

Praktiniai tyrimai modelio ir jo taikymo algoritmo kūrimo metodikoje atsiranda kuriant ir analizuojant pasirinktų MA srautų valdymo sistemas PE kontekste ir siekiant sugeneruoti papildomą informacijos šaltinį, kuris būtų grįstas praktišku bandymu diegti valdymo alternatyvas pasirinktame regione. Tokių tyrimų pridėtinė vertė – atsižvelgimas į faktorius, į kuriuos retai atsižvelgiama mokslinėje literatūroje,

pavyzdžiui, teisinį reguliavimą. Vykdam praktinius tyrimus išigilinama į alternatyvų diegimo žingsnius, reikalingą informaciją, metodus, o tų duomenų reikia taikymo algoritmo kūrimui. Praktiniai tyrimai pasirenkami taip, kad gauti duomenys būtų panaudojami modelio aprobacijoje.



3 pav. Pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelio integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu ir taikymo algoritmo sukūrimo metodika

Taikymo algoritmas buvo kuriamas atsižvelgiant į informacijos poreikį, siekiant parinkti tinkamas valdymo alternatyvas regione. Šis informacijos poreikis buvo nustatytas analizuojant tyrimui pasirinktą objektą – Utenos regioną.

Sprendimų priėmimo paramos modelis ir jo taikymo algoritmas taip pat buvo kuriamas analizuojant MA valdymo problematiką viename iš Lietuvos regionų. Specifinių duomenų rinkimo ir modelio aprobavimo objektu pasirinktas Utenos regionas. Jis parinktas analizei dėl palyginti didelio biologiškai skaidžių maisto ir

virtuvės atliekų kiekio (daugiau negu 32 %, kai Lietuvos vidurkis <14 %) mišrių komunalinių atliekų sraute. Nepaisant to, kad regione jau išplėta rekreacinė infrastruktūra, turizmo sektorius regione nesiliauja augti, kas lemia didėjančią MA susidarymą šioje teritorijoje. Be to, regione veikia keletas stambių maisto pramonės įmonių, kurios papildomai apkrauna vietinę MA valdymo sistemą.

Šiame poskyryje išdėstyta metodika buvo sukurta remiantis literatūros analize. Būtent prie tokios metodikos buvo prieita literatūros apžvalgos metu nustatčius, kad PE koncepcija besiremiančių MA valdymo modelių beveik nėra. Todėl modelis kurtas jungiant skirtinguose modeliuose esančius elementus, integruojant papildomas priemones, išgryninant trūkumus nebuvo galimas.

2.2 Eksperimentiniai tyrimai: maitinimo įstaigų ŠGP ir ŽA valdymas

Kadangi PE koncepcija MA valdymui nebuvo tiesiogiai komunikuojama moksliniuose šaltiniuose, nuspręsta praktiškai (eksperimentiniu keliu) panagrinėti PE elementų realizavimą konkrečiam nagrinėjamo regiono MA šaltiniui. Eksperimentiniam tyrimui buvo pasirinktas kavinių ŠGP srautas. Šis srautas pasirenkamas pagal Utenos regiono specifiką – išvystytas turizmas, kuris toliau sparčiai auga. Be to, regiono mišrių komunalinių atliekų sraute, 2016 metų duomenimis, buvo apie 60 % bioskaidžios frakcijos – dalis jų iš tų pačių kavinių. Kita kavinių ŠGP srauto pasirinkimo priežastis buvo susijusi su kompostavimo proceso svarba PE kontekste. Šiuo procesu užsibaigia MA valdymas ir medžiagos grįžta į natūralų ciklą. Norint užtikrinti efektyvų medžiagų, esančių MA, grąžinimą, eksperimentams pasirenkama ši technologija.

Praktiniai PE elementų taikymo eksperimentai buvo padalinti į dvi atskiras dalis (pirmąjį ir antrąjį eksperimentą). Pirmojo eksperimento metu buvo tiriamas dematerializavimo elemento realizavimas ŠGP tvarkymui vienoje regiono kavinėje. Antrojo eksperimento metu buvo analizuojama pramoninio metabolizmo (pramoninės simbiozės) elemento realizavimo galimybės maitinimo įstaigų ŠGP valdymui. Pirmojo eksperimento metu buvo naudojama „Oklin GreenGood 10s“ intensyvaus kompostavimo technologija vienoje regiono kavinių, o kito eksperimento metu buvo naudota ta pati „Oklin GreenGood 10s“ (kavinės) bei analogiška „Green Service bioreactor bio-10“ (dviejuose vaikų darželiuose). Šie įrenginiai buvo sumontuoti nagrinėjamose kompanijose pagal gamintojo reikalavimus. „Oklin“ kompostavimo įrenginio išmetamosios dujos buvo valomos pačiame įrenginyje sumontuotuose anglies filtruose, o „Green Service“ įrenginys naudoja nanofiltrą kvapams naikinti. „Oklin GreenGood 10s“ atveju išmetamosios dujos buvo pašalinamos per ventiliacijos sistemą, kurios našumas 120 m³/val.

Abiejų tipų kompostavimo įrenginiai sukurti apdoroti ŠGP per 24 valandų ciklą. Per vieną 24 valandų ciklą pagaminama viena partija pirminio komposto. Po kiekvieno ciklo, pagaminta pirminio komposto partija buvo išimama paliekant 10 % pirminio komposto būsimam kompostavimui. „Oklin“ technologija pasitelkia specifinių mikroorganizmų rūšį prekiniu pavadinimu ACIDULO™, o „Green Service“ pateikia „Ecibulo“ mikroorganizmų mišinį, kuris susideda iš halofilinių, eozimofilinių ir termofilinių mikrobus (Bio-10 Manual, n.d.). Šie mikroorganizmai,

intensyvi aeracija, maišymas ir smulkinimas bei temperatūrų režimai yra pagrindiniai veiksniai, skatinantys greitą ŠGP degradaciją, drėgnio išgarinimą ir bendrą masės sumažėjimą 50–90 %. Kompostavimo metu, „Oklin“ įranga palaiko temperatūrą virš 55 °C, bet vienai valandai temperatūra yra automatiškai pakeliama iki 70 °C, kad būtų sunaikinti patogenai. „Green Service“ kompostavimo metu temperatūra palaikoma 54–56 °C ribose, bet kompostavimo pabaigoje, vienai valandai, temperatūra yra pakeliama iki 70 °C.

Analizuojama regiono kavinė ir du vaikų darželiai generavo nuo 9 iki 30 kg/d. (apytiksliai 10 t/m.) trečios kategorijos ŠGP. Darželiuose MA buvo palyginti pastovios sudėties dėl tokioms įstaigos būdingo griežto meniu. Kiekvieną dieną buvo gaminami keli tie patys patiekalai, todėl sugeneruotos palyginti homogeniškos MA. Dominuojančios MA šiuose darželiuose buvo grūdinės kultūros, daržovės, mėsos ir pieno produktų likučiai, bei neišvengiamos MA, kurios susidaro ruošiant šiuos patiekalus (daržovių žievelės, sėklos ir pan.). Tuo tarpu regiono kavinės meniu palyginti su darželių buvo labai įvairus, kas reiškė didelę MA įvairovę, nulemtą klientų pasirinkimų. Šios atliekos buvo skirtingo drėgnio žaliosios atliekos, mėsos ir žuvies likučiai bei jų ruošimo metu susidaranti atliekos, nesuvartotos sriubos, kavos ir arbatos likučiai.

2.2.1 Dematerializavimo taikymo ŠGP tvarkymui metodika

Pirmojo eksperimento metu buvo naudojamas tik „Oklin GreenGood 10s“ intensyvaus kompostavimo įrenginys vienoje regiono kavinėje. Eksperimentas tęsėsi 2 mėnesius: rugpjūtį vyko pirminio komposto gamyba, o rugsėjį pagaminto pirminio komposto brandinimas kavinės teritorijoje. Iš viso rugpjūtį buvo apdorota 750 kg trečios kategorijos ŠGP. Kiekvieno gamybos ciklo metu buvo apdorojama 30 kg ŠGP ir pagaminama apie 8–9 litrus pirminio ŠGP komposto. Iš viso buvo atlikti 25 gamybos ciklai ir gauta 220 litrų pirminio ŠGP komposto. Kiekvieno ciklo metu pagaminta pirminio ŠGP partija buvo kruopščiai sumaišoma su prieš tai pagamintomis partijomis. Po to iš pagamintų 220 litrų pirminio komposto buvo formuojamas kaupas kavinės teritorijoje ir brandinama vieną mėnesį.

Taip pat, pirmojo eksperimento metu buvo atliekami NH₃ ir H₂S matavimai ištraukiamosios ventiliacijos sistemoje. Matavimai buvo atlikti pasitelkiant išorės įmonę. Oro teršalų koncentracijos buvo perskaičiuotos į emisijų faktorius (gramas oro teršalų kilogramui BSA) pagal formulę:

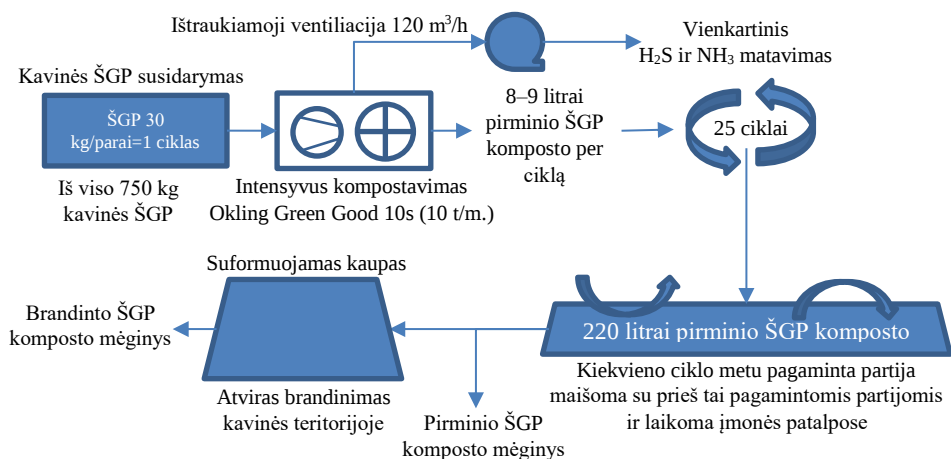
$$EF_{\text{teršalo}} = K_{\text{fakt.}} \times W_v \times T / (AR_{\text{gamybos}} \times 1000); \quad (1)$$

čia: $K_{\text{fakt.}}$ – išmatuota teršalo koncentracija, mg/m³;

W – išmatuotas oro srautas arba nustatytas pagal ištraukiamosios ventiliacinės sistemos, per kurią nukreipiamos išlakos, našumą – 120 m³/val. arba 0,033 m³/s;

T – analizuojamas periodas, pvz., 24 val. arba 86400 s;

AR_{gamybos} – apdorotų ŠGP kiekis, kg per analizuojamą periodą (24–30 kg per parą).



4 pav. Dematerializavimas kaviinių ŠGP valdyme. Tyrimų eigos schema

Iš viso buvo paruošti ir ištirti laboratorijoje du komposto mėginiai. Pirmasis mėginys buvo paimtas po 25 gamybos ciklų, o antrasis – po mėnesį trukusio brandinimo. Kadangi 25 gamybos ciklų metu pagamintos partijos buvo kruopščiai sumaišomos, kiekvienas paimtas mėginys reprezentavo visų 25 partijų vidurkį. Mėginys buvo formuojamas paimant po 1 litrą komposto iš kaupo vidurio, nuo jo viršaus ir šono. Šie 3 litrai buvo kruopščiai sumaišyti ir perduoti į Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Agrocheminių tyrimų laboratoriją komposto kokybei ir užterštumui nustatyti. Duomenų patikimumo analizė nebuvo atliekama, kadangi mėginiai buvo ruošiami iš 25 pirminio komposto partijų, kurių kiekvienos gamybos metu ŠGP agitatoriaus pagalba buvo 24 valandas pastoviai homogenizuojama.

Laboratorijose buvo tiriami šie kompostų parametrai:

- 1) kokybė: NPK kiekis ir tirpios jų formos, organinės ir sausos medžiagos kiekis, organinė anglis, sulfatų ir chloridų koncentracija, elektrinis laidumas, pH, huminės ir fulvo rūgštys, biologini skaidumas, piltinis tankis, dalelių dydis;
- 2) užterštumas: sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni), patvarių organinių medžiagų koncentracija, biologinė tarša bei užterštumas nepageidaujamomis priemaišomis.

Gauti laboratorinių tyrimų rezultatai – kompostų mėginių kokybės rodikliai – buvo palyginti su vertingo komposto rodikliais, kurie pasiūlyti LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos mokslininkų (Staugaitis et al., 2011, 2015, 2016). T. y. kiekvienas iš analizuojamų kokybės parametrų palyginimas su siūlomų, nustatant komposto vertingumą kaip trąšos: labai žemas, žemas, vidutinis, didelis ir labai didelis (žr. 16 lent. 2–6 stulpelius).

2.2.2 Pramoninės simbiozės taikymo ŠGP ir ŽA valdymui metodika

Pramoninės simbiozės taikymo eksperimentas buvo padalytas į dvi dalis. Pirmoje eksperimento dalyje buvo gaminamas pirminis kompostas trijose maitinimo

įstaigose: kavinėje ir dviejuose vaikų darželiuose. Darbe kavinės pirminis kompostas įvardijamas kaip ŠGP1, pagamintas pirmajame darželyje – ŠGP2, o antrajame – ŠGP3. Eksperimentas vykdytas 2018 m. birželio mėnesį, buvo atlikta 20 kompostavimo ciklų. Pirmoji maitinimo įstaiga transformavo vid. 28 kg ŠGP per ciklą (iš viso 560 kg ŠGP per 20 ciklų) į vid. 6,72 kg pirminio komposto (iš viso pagaminta 134,3 kg ŠGP1). Antroji maitino įstaiga (pirmasis vaikų darželis) sukompostavo vid. 14,63 kg per ciklą (iš viso pagaminta 292,6 kg) ir pagamino vid. 3,18 kg per ciklą pirminio komposto (iš viso pagaminta 63,5 kg ŠGP2). Trečioji maitino įstaiga (antrasis vaikų darželis) transformavo vid. 9,83 kg per ciklą (iš viso 196,5 kg) į vid. 2,39 kg pirminio komposto (iš viso pagaminta 47,8 kg ŠGP3) (žr. 5 pav.). Kiekvienoje maitinimo įstaigoje pagamintas kompostas buvo supiltas į švarius polietileno maišus prieš tai pirminį kompostą gerai sumaišius su prieš tai pagamintomis partijomis.

Pirminis ŽA kompostas buvo paruoštas ŽA kompostavimo aikštelėje (ŽAKA). Eksperimentas prasidėjo 2018 m. pirmąją balandžio mėnesio savaitę ir pasibaigė 2018 m. liepos mėnesio pabaigoje. Pirminio ŽA komposto gamybai buvo panaudotos Lietuvai būdingos ŽA: miesto žaliųjų plotų tvarkymo ir medžių genėjimo atliekos: lapai (didžioji dalis surinktų ir likusių po 2017 m. rudens, kurios buvo tiesiog kaupiamos ŽAKA), žolė, medžių šakos.

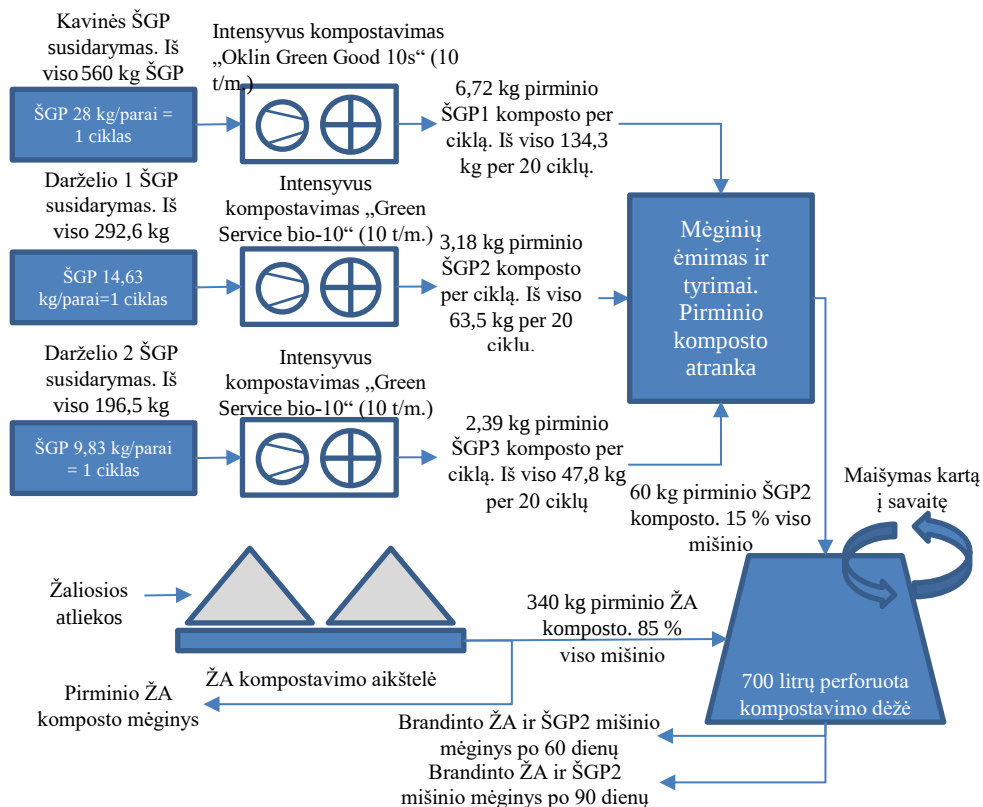
Kavinėje po 20 gamybos ciklų buvo suformuoti tyrimams trys pirminio ŠGP komposto mėginiai. Kiekvienas komposto mėginys buvo paruoštas iš 10 ėminių, kurie buvo paimti iš skirtingų vietų (viršaus, vidurio ir apačios). Ruošiant antrą ir trečią ėminius iš tos pačios maitinimo įstaigos, vėl buvo paimama 10 ėminių iš skirtingų vietų prieš suformuojant vieną mėginį tyrimams. Tokiu pačiu principu ėminių ėmimo procedūra buvo atlikta ir kitose dviejose maitinimo įstaigose bei ŽAKA.

Antra eksperimento dalis buvo ŠGP ir ŽA pirminių kompostų mišinio brandinimas. Eksperimentas prasidėjo 2018 m. rugpjūtį. ŠGP pirminis kompostas iš antros maitinimo įstaigos (ŠGP2) buvo pasirinktas antrajai eksperimento daliai, nes ši medžiaga turėjo didesnę BN ir BP koncentracijas, taip pat šis pirminis kompostas vizualiai atrodė geriau negu likę pagaminti ŠGP pirminiai kompostai. Brandinimui buvo sudarytas mišinys, kuriame pagal masę buvo 15 proc. ŠGP2 ir 85 proc. pirminio ŽA komposto. Brandinimas buvo atliekamas standartinėje komercinėje 700 l tūrio kompostavimo dėžėje. Brandinimo metu mišinys buvo kruopščiai maišomas vieną kartą per savaitę. Ėminiai buvo paimti po 60 (2018 m. spalį) ir 90 dienų (2018 m. lapkritį). Mėginiai laboratoriniams tyrimams buvo formuojami pagal anksčiau pateiktą metodiką.

Siekiant pagrįsti eksperimentų metu tyrinėtos alternatyvios ŠGP valdymo sistemos poveikio aplinkai mažėjimą, ji buvo palyginta su centralizuotų MA, įsk. ŠGP intensyviu kompostavimu po plėvele su priverstiniu oro padavimu. Drėgniui ir C/N santykiui kontroliuoti 55 % ŠGP maišomi su 35 % žaliųjų atliekų ir 10 % biokuro pelenų (iš katilų pakuros). Kompostas pagamintas centralizuoto ŠGP tvarkymo metu buvo taip pat paimtas tyrimams pagal anksčiau aptartą procedūrą.

Kadangi iki tyrimo eksperimentui parinktame Utenos regione kavinių MA (III kategorijos ŠGP) nebuvo atskiriamos, todėl palyginimui buvo naudojami laboratorinių tyrimų mėginių rezultatai, kurie suformuoti imant ėminius iš tuo metu

vienintelės Lietuvoje veikiančios įmonės, kurioje kompostuojamos kavinių MA, įsk. ŠGP. Šioje įmonėje pagamintų maisto atliekų kompostų kokybės ir užterštumo parametrų tyrimai buvo atlikti 2015–2016 m., kartu dalyvaujant LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijos ir KTU APINI mokslininkams vykdytame MTEP projekte „Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas“ (Staugaitis et al., 2016).



5 pav. Pramoninė simbiozė kavinių ŠGP ir ŽA valdyme. Tyrimų eigos schema

Pagaminti pirminiai ŠGP1, ŠGP2, ŠGP3 ir ŽA bei subrandinto ŽA ir ŠGP mišinio mėginiai buvo tiriami akredituotoje vietinėje laboratorijoje, taip pat UAB „Jurby Water Tech“ laboratorijoje. Laboratorijose buvo tiriami šie ŠGP1, ŠGP2, ŠGP3 pirminių kompostų kokybės parametrai: NPK kiekis ir tirpios jų formos, organinės ir sausos medžiagos kiekis, sulfatų ir chloridų koncentracija, elektrinis laidumas bei biologinis skaidumas. ŽA pirminio komposto užterštumas sunkiaisiais metalais buvo paimtas iš Staugaitis et al. (2016) studijos, kadangi sunkieji metalai (Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni) ŽA visada randami mažais kiekiais ir yra labai nutolę nuo ribinių užterštumo verčių (nebuvo pagrindo jų matuoti). ŠGP2 užterštumas sunkiaisiais metalais nebuvo pakartotinai matuotas (buvo panaudoti duomenys, gauti dematerializavimo elemento taikymo metu). Nuspręsta nematuoti, nes šaltinyje

surinktos ŠGP neturi galimybių būti užterštos sunkiaisiais metalais. Subrandinto ŽA ir ŠGP mišinio mėginio atveju papildomai buvo tiriama tarša *E.Coli* bakterijomis (buvo tiriamas tik vienas mėginys).

Kaip dalis antrojo eksperimento buvo komposto, pagaminto centralizuoto ŠGP tvarkymo įrenginyje, laboratoriniai tyrimai. Tyrimų metu nustatyti šie kokybės ir užterštumo parametrai: NPK kiekis ir tirpios jų formos, organinės ir sausos medžiagos kiekis, sulfatų ir chloridų koncentracija, elektrinis laidumas, pH, biologinis skaidumas, sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni) koncentracijos.

Duomenų patikimumui įvertinti šie kokybės parametrai (NPK kiekis ir tirpios jų formos, organinės ir sausos medžiagos kiekis, sulfatų ir chloridų koncentracija, elektrinis laidumas, pH, biologinis skaidumas) buvo matuojami trijuose atskirai suformuotuose ėminiuose ir išvedamas jų vidurkis. Be to, siekiant patikrinti pirminių ŠGP komposto kokybės parametrų verčių patikimumą kompostuojant ŠGP intensyvaus kompostavimo įrenginiuose, kurie montuojami patalpose, buvo pasirinkta tyrimus atlikti naudojant dvi analogiškas technologijas, trijuose skirtinguose objektuose (kavinėje ir dviejuose darželiuose).

Šie praktiniai tyrimai buvo panaudoti tiek kuriant modelį, tiek jį aprobuojant. Išvalgos, susijusios su eksperimentų laboratorinių tyrimų rezultatais bei komposto kokybės analize, buvo panaudotos kuriant modelį. O tie patys laboratoriniai tyrimai ir intensyvaus kompostavimo technologija aprobuojant modelį.

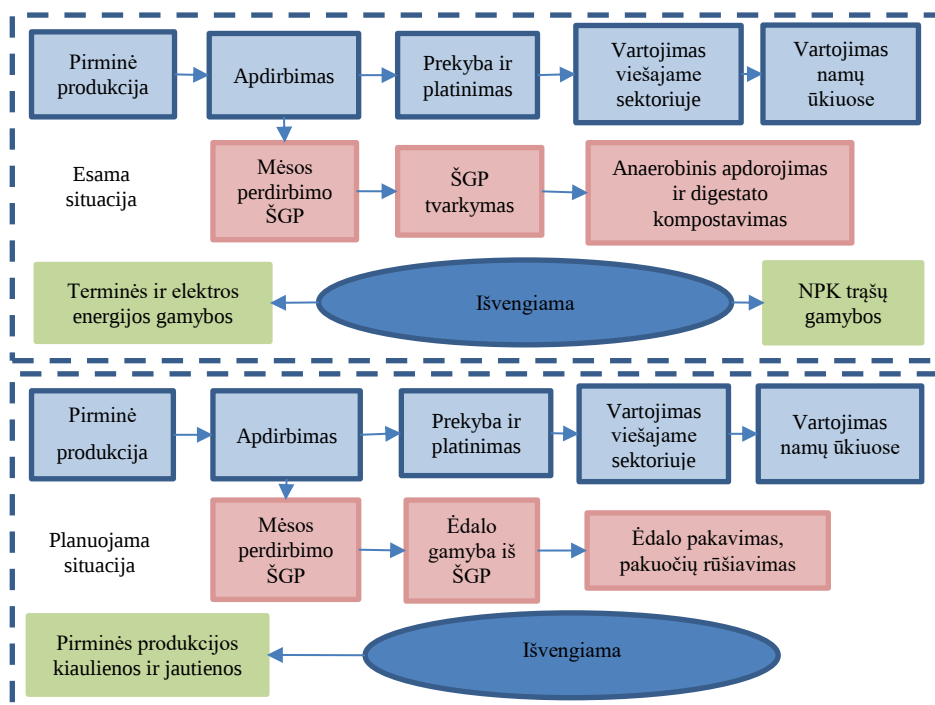
2.3 Būvio ciklo įvertinimo metodika

Dabar taikomų ir siūlomų maisto atliekų valdymo alternatyvų poveikiai aplinkai buvo apskaičiuoti ir palyginti naudojant būvio ciklo įvertinimo (BCĮ) metodiką. Poveikio aplinkai vertinimui buvo naudojami „ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.04“ ir „Endpoint (H) V1.04“ metodai, remiantis Goedkoop et al. (2008) „ReCiPe2008“ bei atnaujinta „ReCiPe2016“ versija, kurią parengė Nacionalinis visuomenės sveikatos ir aplinkos institutas (Huijbregts et al., 2017). Atliekant poveikio aplinkai vertinimą vidurio (angl. *midpoint*) taškuose, buvo vertintos visos 18 poveikio aplinkai kategorijų. Kiekvienos kategorijos poveikis aplinkai įvertinamas naudojant kategorijai priskirtus ekvivalentus. Pavyzdžiui, klimato kaita, ozono sluoksnio retėjimas ar ekotoksiškumas žemei vertinamas perskaičiuojant (pasitelkus koeficientus) inventorinės analizės metu nustatytas medžiagas į CO₂, trichlorofluorometaną (CFC11) ar 1,4-dichlorbenzeną (1,4-DCB). Žemės naudojimo ekvivalentai (m²a javų ekv.) tai žemės plotas, kuris yra užimamas tam tikros kultūros auginimui per apibrėžtą laiko tarpą.

Vertinant poveikį aplinkai galutiniuose (angl. *endpoint*) taškuose buvo apskaičiuotas poveikis trijose žalos kategorijose: žala ekosistemoms, žala žmogaus sveikatai ir žala išteklių išekvojimui. Būvio ciklo įvertinimo „Ecoinvent“ duomenų bazė v3.6. (2019) buvo taikoma kaip pagrindinis duomenų šaltinis vertinimui. Esamų valdymo sprendimų ir siūlymų poveikis aplinkai minėtose poveikio aplinkai ir žalos kategorijose buvo apskaičiuoti naudojant „SimaPro 9.1“ programinę įrangą (PRéSustainability., 2020). Modelio aprobavimo metu kiekvieno srauto valdymui apibrėžiamas funkcinis vienetas ir sistemos ribos.

2.3.1 Naminių gyvūnėlių ėdalo ir biodujų bei komposto gamybos alternatyvų įvertinimo ribos, funkcinis vienetas ir duomenys vertinimui

Mėsos perdirbimo alternatyvų vertinimo metu funkcinis vienetas buvo priimtas ŠGP kiekis, kuris susidaro regione, mėsos perdirbimo įmonėje – 498 t/m. (198 t/m. jautienos ir 300 t/m. kiaulienos). Naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyvos įvertinimo ribos prasideda nuo susidariusių mėsos perdirbimo ŠGP tiek esamoje situacijoje, tiek planuojamoje. Esamoje situacijoje susidarę ŠGP tvarkomi anaerobiniu būdu, o susidaręs digestatas sukompostuojamas ir nukreipiamas į žemės ūkį, kaip dirvožemį gerinanti medžiaga. Tuo tarpu naminių gyvūnėlių ėdalo alternatyva užsibaigia ties aliuminio pakuočių tvarkymu (žr. 6 pav.).



6 pav. BCĮ ribos analizuojant naminių gyvūnėlių ėdalo gamybą vietoje biodujų ir komposto

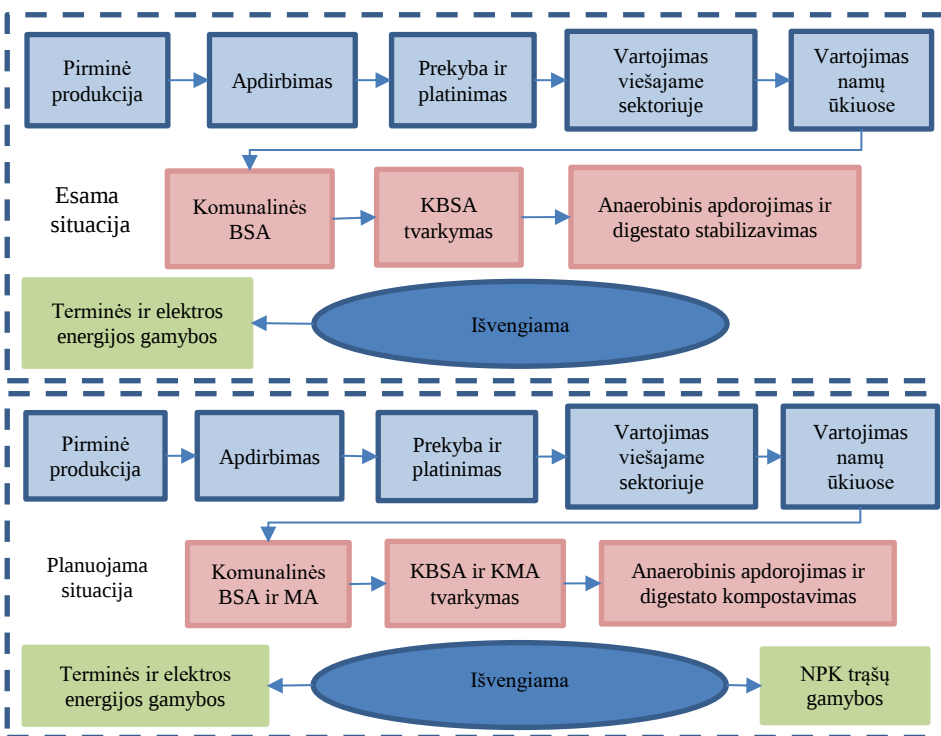
Esamos mėsos perdirbimo įmonės ŠGP anaerobinio valdymo metu priimama, kad ŠGP sudėtis atitiks jautienos ir kiaulienos sudėtį, nes būtent šios medžiagos ir sudaro analizuojamą srautą. Pagal tipinę jautienos ir kiaulienos sudėtį bei procentinę jų dalį mišinyje (40 : 60) nustatoma ŠGP mišinio drėgnis (57 %), sausų medžiagų (SM) (43 %), baltymų (16,2 %), angliavandenių (0 %), riebalų (24,6 %), pelenų (2,2 %), azoto (3,575 %), fosforo (0,2 %), kalio (0,381 %), lakiųjų kietųjų medžiagų (LKM) (90 % SM) kiekiai. Sudarant NPK balansą, pagal tipinę biodujų sudėtį, priimama, kad 0,1 % amoniako ir 2,4 % azoto dujų pasišalins iš sistemos su biodujomis. Vandens sunaudojimas CH₄ ir CO₂ susidarymui anaerobinio proceso

metu įvertinamas pagal riebalų ($C_{16}H_{32}O_2$) ir baltymų ($C_{16}H_{24}O_5N_4$) elementinę sudėtį ir Buswell'o lygtį.

Siekiant atlikti naminių gyvūnėlių ėdalo alternatyvos inventorinę analizę, naudoti eksperimento, atlikto kartu su kitais APINI mokslininkais mėsos gaminių gamybos įmonėje, vykdamą projektą „Maisto pramonės įmonių biologiškai skaidžių atliekų naudojimo galimybių įvertinimas“ (2013–2014), rezultatai. Naudoti duomenys: siūlomos naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos technologinė linija bei pagrindiniai jos parametrai (našumas, instaliuota elektros galia). Analizuojant duomenis, sudarytas medžiagų ir energijos balansas (vnt./m.) planuojamai gamybos apimčiai (498 t/m.). Galiausiai šie duomenys, naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos sistemos ribose, panaudoti BCĮ analizėje.

2.3.2 KMA valdymo alternatyvų sistemos ribos, funkcinis vienetas ir duomenys vertinimui

Komunalinių maisto atliekų valdymo metu esamos situacijos funkcinis vienetas buvo priimtas 15 000 t/m., o siūlomos – 14650 t/m., kadangi buvo vertinama, kad 350 t/m. MA bus pašalinta iš KBSA srauto naudojant intensyvaus kompostavimo sprendimus susidarymo šaltinyje.



7 pav. BCĮ ribos analizuojant esamą ir siūlomą KMA valdymo sistemas

Komunalinių maisto atliekų esamos ir siūlomos alternatyvų vertinimo ribos prasideda vartojimo stadijoje (žr. 7 pav.). Poveikis, sugeneruotas tiekiant produktus vartotojams, nėra vertinimas. Toks sprendimas priimtas, nes lyginami atliekų tvarkymo scenarijai, iš kurių vienas optimaliau išnaudoja medžiagines ir energijos savybes.

Sunkiųjų metalų koncentracijos komunalinių biologiškai skaidžių atliekų (KBSA) ir komunalinių maisto atliekų (KMA) sraute BCĮ analizei buvo nustatytos kartu su APINI mokslininkai vykdant studiją „Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas“ (Staugaitis et al., 2016) (žr. 17 lent.). Šios koncentracijos tai mėginių vidurkiai, kurie buvo paimti iš Lietuvoje veikiančių įrenginių.

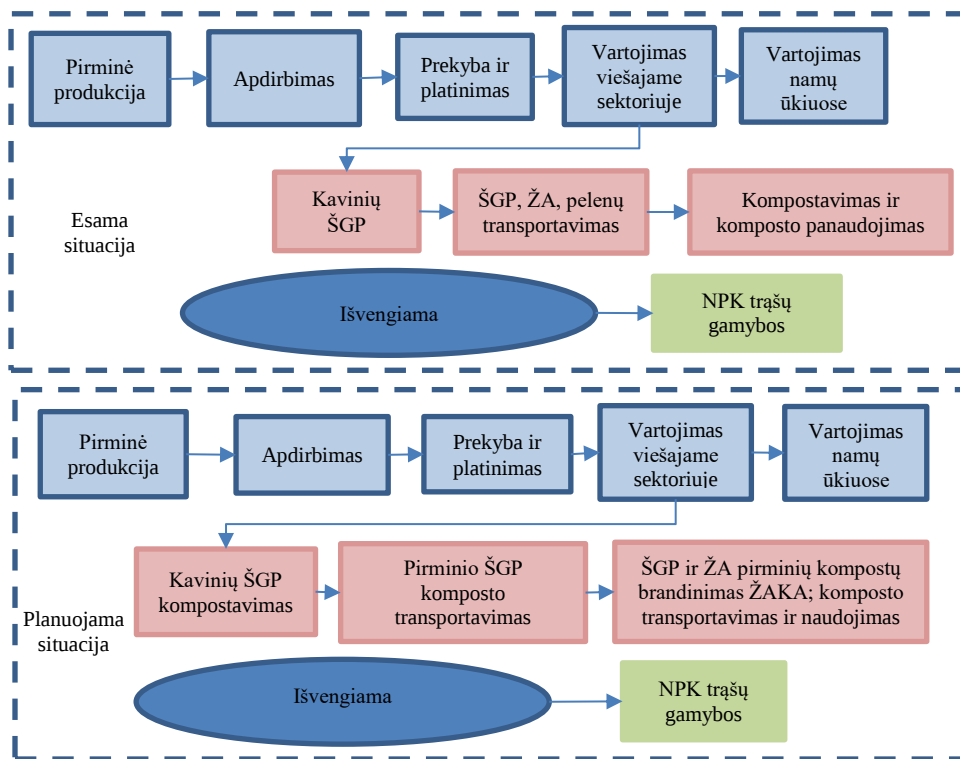
17 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos KBSA ir KMA srautuose

	KBSA	KMA
Sunkieji metalai	Koncentracija, mg/kg SM	Koncentracija, mg/kg SM
Kadmis	0,98	0,22
Švinas	76,8	2,5
Gyvsidabris	0,001	0,422
Chromas	52	3,2
Cinkas	1408	121
Varis	242	51,5
Nikelis	45,3	0,22

BCĮ analizei priimama, kad KBSA sausų medžiagų koncentracija yra 52,83 %, o BN, BP ir BK koncentracija šioms atliekomis yra atitinkamai 1,32 % SM, 0,217 % SM ir 0,426 % SM (Tyagi et al., 2018). Rūšiuotų KMA atveju SM kiekis 23,74 %, BN 3,42 % SM, BP 0,541 % SM, BK 1,43 % SM (Tyagi et al., 2018). Vandens kiekis, panaudojamas biodujų susidaryme, apskaičiuojamas pagal KBSA ir KMA elementinę sudėtį $C_{17}H_{30}O_6N$ (Water Environmental Federation, 2017) ir Buswell'o lygtį. Žinant visų reagentų ir reakcijos produktų molinę masę, pagal biodujų kiekį apskaičiuojamas vandens, kaip reaktyvo, poreikis biodujų susidarymui.

2.3.3 Kavinių ŠGP valdymo alternatyvų įvertinimo ribos ir funkcinis vienetas

Kavinių ŠGP (maisto atliekų) esamos ir siūlomos alternatyvų vertinimo ribos prasideda vartojimo viešajame sektoriuje stadijoje. Iki tol susidaręs poveikis tiekiant maisto produktus iki kavinių nėra vertinimas, nes tiek siūlomu, tiek esamu atveju šis poveikis būtų vienodas. Toliau vertinamas poveikis aplinkai dviejų skirtingų atliekų tvarkymo alternatyvų taikymo metu, o poveikio aplinkai vertinimo pabaiga yra pagaminto komposto naudojimas žemės ūkyje. Kavinių ŠGP alternatyvos funkcinis vienetas yra 10 t/m.



8 pav. BCĮ ribos analizuojant esamą kavinių ŠGP valdymo sistemą ir siūlomą

Kavinių ŠGP alternatyvų inventorinės ir BCĮ analizės metu buvo panaudoti duomenys sukaupiti praktinių tyrimų metu.

2.4 Faktoriai ir formulės, panaudoti atliekant esamų ir siūlomų alternatyvų inventorinę analizę bei modelio pritaikymą

NPK balanso sudarymas

18 lentelėje išvardyti faktoriai, kuriais remiantis sudarytas NPK balansas bei įvertintos tam tikros emisijos. Vertinant NPK balansą buvo atsižvelgta į azoto emisijas (N_2O ir NH_3), nitratų ir amonio pasišalinamą kartu su nuotekomis bei BN nuostolius, kurių nebuvo galima priskirti jokioms emisijoms. Lentelės apačioje (žr. 18 lent.) taip pat nurodyti faktoriai, kuriais remiantis galima įvertinti sunkiųjų metalų judėjimą tarp nuotekų ir kietosios fazės. Pateikti CH_4 ir CO emisijų faktoriai pagal skirtingus procesus.

18 lentelė. Faktorai medžiagų balanso sudarymui ir emisijoms įvertinti

Faktoriai	Šaltinis
Su filtratu kompostavimo metu pasišalina 3 % BP	(Iqbal et al., 2015)
Su filtratu kompostavimo metu pasišalina 12 % BK	(Sommer, 2001)
BN praradimai dėl N ₂ O emisijų 0,24 g N ₂ O /kg	(Eggleston et al., 2006)
17,33 % BN praradimai dėl NH ₃	(X. Yang et al., 2019)
1,49 % BN praradimas su filtratu	(X. Yang et al., 2019)
0,91 % BN neįvertinti praradimai	(X. Yang et al., 2019)
BN praradimai su biodujomis NH ₃ (0,1 %) ir N ₂ (2,4 %)	Pagal biodujų sudėtį
CO emisijos 0,56 kg/t BSA	(EMEP/EEA, 2019)
CH ₄ emisijos 10 kg/t BSA	(Eggleston et al., 2006)
CH ₄ emisijos atviro kompostavimo metu 3,4 kg/t BSA	(Boldrin et al., 2009)
CH ₄ emisijos uždaro kompostavimo metu 0,9 kg/t BSA	(Boldrin et al., 2009)
1 % nuo organinės anglies kiekio į CH ₄	(Yangyang Li et al., 2018)
BN pereina į nusaustiną digestatą 35 %	(Drosg et al., 2015)
BP pereina į nusaustiną digestatą 77,8 %	(Drosg et al., 2015)
BK pereina į nusaustiną digestatą 7 %	(Drosg et al., 2015)
SM perėjimas į fugatą 10–20 %	(Drosg et al., 2015)
CH ₄ praradimai per pralaidas nuo pagaminto CH ₄ kiekio 2,8 %	(Ware & Power, 2016)
2 % sunkiųjų metalų pereina į filtratą	(Ulén, 1997)
Filtrato susidarymas Becon'o anaerobinio apdorojimo įrenginiuose 0,05 m ³ /t BSA	(Waste control, 2005)
Nuotekų susidarymo norma kompostavimo metu (75–100 l/t BSA)	(Siciliano et al., 2019)
Anglies dioksido adsorbcijos geba 0,20 g CO ₂ /g sausų pelenų	(Andersson & Nordberg, 2017)

Medžiagų ir energijos srautų diagramų sudarymas

Siekiant kuo tiksliau įvertinti medžiagų judėjimą ir transformaciją įvairių procesų metu pasitelkiama medžiagų ir energijos balanso sudarymo metodika. Metodika naudojama siekiant išsiaiškinti trūkstamą informaciją, kuri dažai nėra prieinama arba žinoma. Metodika gali būti taikoma, tiek procesų, tiek įmonės, tiek regiono lygmeniu (Staniškis et al., 2010).

$$\check{Z}+M = P1 + P2 + A; \quad (2)$$

čia: $\check{Z}$ – pagrindinių medžiagų (žaliavų) sąnaudos;

M – kitų papildomų medžiagų sąnaudos, t/m.;

P1 – pagaminto pagrindinio produkto kiekis, t/m.;

P2 – pagaminto šalutinio produkto kiekis, t/m.;

A – atliekos, emisijos į aplinkos orą, vandenį, dirvožemį, t/m.

Biodujų gamybos alternatyvų vertinime naudotos formulės.

Elektros ir terminės energijos gamyba įvertinama pagal formulę:

$$BE_n = BP \cdot Q_z \cdot \frac{\eta_n}{100}, \quad (3)$$

čia: BE_n – elektros arba terminė energija, MWh/m³;

BP – kuro sąnaudos, m³;

Q_z – kuro apatinė šilumingumo vertė (kaloringumas), kWh/m³;

η_n – elektros arba šiluminės energijos atgavimo efektyvumas, %.

Biodujų biocheminio potencialo (BMP) įvertinimo formulė (Rodrigues et al., 2019)

$$BMP = 115,302 + 9,371 \times 10^{-1} PT + 2,379 \times 10^{-1} CRB + 5,706 \times 10^{-4} LP2 - 1,505 \times 10^{-3} PT \times CRB, \quad (4)$$

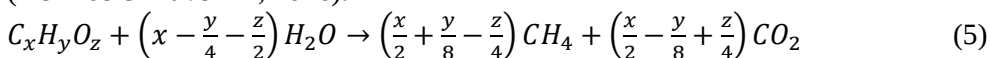
čia: BMP – biocheminis metano potencialas, ml CH₄/g LKM;

PT – baltymų koncentracija, g/kg LKM;

CRB – angliavandenių koncentracija, g/kg LKM;

LP2 – riebalai, g/kg LKM.

Vanduo, kuris pereina į CH₄ ir CO₂, įvertinamas naudojant Buswell'o lygtį (Achinas & Euverink, 2016).



Energijos kiekis, reikalingas pakelti medžiagos temperatūrą nuo T₁ temperatūros iki T₂

$$Q_1 = C \times m \times (t_2 - t_1), \quad (6)$$

čia: C – medžiagos savitoje šiluma, J/(kg °C);

M – medžiagos masė, kg;

T₁ – pradinė temperatūra, °C;

T₂ – galutinė temperatūra, °C.

Projekto ekonominio efektyvumo įvertinimas

Projekto atsipirkimo trukmė (AT) apskaičiuojama įvertinus investicijas į sprendimą, sutaupomas lėšas, papildomus kaštus.

Atsipirkimo trukmė skaičiuojama pagal toliau pateikiamą formulę:

$$AT = \frac{I}{S}; \quad (7)$$

čia: AT – atsipirkimo trukmė, m.;

I – investicijos į sprendimą (projektą), EUR;
S – sutaupyti finansai dėl įdiegto sprendimo, EUR/m.

III. INTEGRUOTO MAISTO ATLIEKŲ VALDYMO SPRENDIMŲ PARAMOS MODELIS REGIONO LYGMENIU

3.1 Teorinių tyrimų rezultatai: PE metodų integravimas į modelį

3.1.1 Prevencinių MA valdymo priemonių apžvalgos sąlygotas modelio vystymas

Literatūros apžvalgos poskyryje „Maisto atliekų srantai ir prevencinės priemonės“ surinkta informacija apie maisto atliekų (MA) valdymą pramoninės ekologijos (PE) kontekste sąlygojo toliau pristatomų modelio elementų suformavimą. Kadangi maisto medžiagų praradimų prevencijos potencialas yra pasiskirstęs nuo pirminės produkcijos iki vartojimo, modelio struktūra sutapatinama su maisto produktų tiekimo grandine. Sprendimų paramos modelyje kaip svarbiausi taškai išskiriami žemės ūkis, transportavimas, perdirbimas (pramonė), prekyba ir vartojimas. Juose galima pasiekti reikšmingą prevencinių priemonių taikymą valdyti MA. Kiekviename taške pritaikytos prevencinės priemonės leidžia kurti akumuliacinį poveikio aplinkai mažėjimą bei leidžia užduoti bendrą MA mažinimo toną regione paprasčiausiai dėl vykdomos plačios prevencijos komunikacijos.

Atlikti teoriniai tyrimai privedė prie išvados, kad šios prevencinės priemonės yra labai įvairios ir sunku surasti bendrą ribojantį parametą, kuris tiktų visiems būdams. Todėl buvo pasirinktas paprastas prevencijos tikslas modelyje – prarandamą maistą (X_n) skirtingose tiekimo grandinės vietose (n) pavaizduoti $X_n \rightarrow 0$ (rodykle pažymėti grįžimą į tiekimo grandinę).

Kadangi prevencinių priemonių poveikio aplinkai mažinimo potencialas yra didžiausias, modelyje tai iškeliamą į pirmą vietą (pirmas pasirinkimas). Kad būtų stengiamasi pritaikyti kuo daugiau prevencinių priemonių, o ne tvarkyti atliekas tradiciniais būdais, įvedamas poveikio aplinkai mažinimo tikslas: poveikių aplinkai regione prieš ir po modelio taikymo skirtumas – kuo didesnis. Konkrečiai poveikio aplinkai mažinimo verte neapsiribojama, nes vykdant technologinę revoliuciją, mažėja priemonių atsipirkimo trukmė, todėl regione kas metai atsirastų naujų tinkamų valdymo alternatyvų, kurios galės pagerinti situaciją.

Prevencinių priemonių taikymo metu daugiau maistinių medžiagų nukeliautų iki vartojimo ir sumažėtų žemės ūkio produkcijos gamybos intensyvumas. Sumažėjus intensyvumui sudaromos palankesnės sąlygos grąžinti maistines medžiagas lėto veikimo organine trąša – kompostu (dematerializuojamas dirbtinių trąšų poreikis). Taip pasiekiamas dematerializavimo ir sąveikos su biosfera elementų tarpusavio integracija į sprendimų priėmimų modelį. Teorinių tyrimų metu išsiaiškinus, kad kompostas yra lėto veikimo organinė trąša palyginti su dirbtinėmis trąšomis, bet suprantant, kad PE koncepcija yra griežtai grindžiama ekonominiu pagrįstumu į žemės ūkio bloką, modelyje įvedami tarpusavyje susieti produkcijos išeigos (išeiga/ha $\rightarrow$ maksimalus) ir komposto NPK grąžinimo tikslai (komposto NPK $\rightarrow$ maksimalus). Šio tikslo esmė didinti NPK grįžimą komposto pavidalu, bet taip pat išlaikant maksimalią žemės ūkio produkcijos išeigą.

3.1.2 Pridėtinės vertės produktų gamybos iš MA apžvalgos sąlygotas modelio vystymas

Apžvelgus poskyrį „Pridėtinės vertės produktų gamybos galimybės iš MA srautų“ buvo padaryta išvada, kad tokios gamybos skatinimas reikšmingai prisidėtų prie pramoninių ekosistemų (ekologinių parkų) ir pramoninės simbiozės elementų įgyvendinimo. Todėl modelyje aukštesnės pridėtinės vertės produktų (APVP) gamyba išskiriama kaip viena pagrindinių. APVP gamybos labiausiai norimas produktas – maisto produktai. Medžiagas nukreipus vartojimui, o ne cheminių medžiagų išskyrimui (kaip APVP), pirmiausia mažinamas žemės ūkio intensyvumas (kaip minėta 3.1.1 poskyryje, sudaromos palankesnės sąlygos grąžinti kompostą į ciklą, realizuojamas sąveikos su biosfera elementas). Maistines medžiagas APVP pavidalu grąžinant vartojimui, išvengiama tiesioginės konkurencijos su naftos produktais, priešingai negu gaminant chemines medžiagas (naftos produktų pakaitalus). Maisto produktai ir maisto papildai iš biogeninių šaltinių taip pat turi daugiau pridėtinės vertės dėl to, kad tai natūralus produktas (kuriam papildoma vertė, kuri greitina investicijų atsipirkimą). Be to, MA būtų galima naudoti ir ne maistui skirtų APVP gamybai, tuo atveju, jeigu tai būtų ekonomiškai naudingas projektas (bet tai paskutinė opcija). Todėl modelyje numatomi APVP gamybos blokai. Tokiu atveju, nepavykus MA srautų suvaldyti prevencinėmis priemonėmis, juos būtų galima valdyti perdirbant produkciją ir taip grąžinant maistines medžiagas žmonių vartojimui. Kita vertus, APVP gamyba leistų gaminti maisto produktus iš šalutinių produktų, kurie nėra skirti žmonių vartojimui.

Dalis APVP aptariamų „Pridėtinės vertės produktų gamybos galimybės iš MA srautų“ skyriuje aspektų yra energijos nešikliai. Šių produktų gamyba modelyje vaizduojama prie galutinio atliekų tvarkymo stadijos – biologinio apdorojimo bloke. Toks sprendimas pasirinktas dėl to, kad energijos nešiklių gamybą, pvz., APVP, optimaliausia vykdyti sumaišant keletą MA srautų (išsamiau žr. 3.1.3 poskyryje). Būtent modelio atliekų tvarkymo bloke bus gaunamas mišrus MA srautas arba srautai bus specialiai maišomi siekiant optimizuoti proceso parametrus.

3.1.3 Pramoninės simbiozės galimybių apžvalgos MA tvarkymui sąlygotas modelio kūrimas

Poskyryje „Pramoninės simbiozės galimybės maisto atliekų tvarkyme“ atlikta aerobinio ir anaerobinio proceso optimizavimo apžvalga maišant skirtingus MA srautus įtakojo pramoninės simbiozės bloko išskyrimą modelyje. Modelyje prieš biologinį fermentavimo procesą ir kompostavimą numatoma stadija, kur visi prieinami regione MA srautai jungsis siekiant subalansuoti substratą prieš toliau einančius biologinio apdorojimo procesus. Prieinama prie išvados, kad atskiras homogeniškų srautų apdorojimas yra neoptimalus.

Ši apžvalga atskleidė, kad pramoninę simbiozę galima sudaryti ne tik su MA srautais, bet su kitomis BSA. Dėl to priimamas sprendimas modelyje naudoti ir kitos prigimties BSA (pvz., nuotekų dumblas, žaliosios atliekos, pelenai ir t. t.), jeigu jos gali padėti subalansuoti substrato biocheminius parametrus, mikroelementų ir sunkiųjų metalų koncentracijas.

3.1.4 MA anaerobinio apdorojimo apžvalgos sąlygotas modelio formavimas

Kadangi anaerobinis apdorojimas yra esminė BSA tvarkymo technologija, modelyje šiam procesui skiriamas didelis dėmesys. Vis dėlto modelyje anaerobinis apdorojimas tapatinamas su fermentavimo procesu, kurio metu gaminami ir kiti energijos nešikliai (biodujos, biovandenilis, alkoholiai) bei APVP (pvz., bioplastikai), kurie gali būti gaunami, kaip substratą naudojant mišrų atliekų srautą. Toks sprendimas priimamas todėl, kad procesai iš esmės panašūs, jie visi paremti mikroorganizmų galimybe skaidyti substratą į APVP arba kaupti APVP ląstelių viduje.

Remiantis atlikta apžvalga, MA tvarkymo bloke buvo priimtas sprendimas įtraukti technologijos adaptavimo stadiją prieš biologinio apdorojimo blokus. Toks sprendimas remiasi technologijų geba stabilizuoti procesus, padidinti medžiagų prieinamumą ar tiesiog jas labiau suskaidyti tokiu būdu greitinant procesą. Technologijos adaptavimo bloke turima omenyje pirminio apdorojimo įranga, anaerobinio apdorojimo technologijos, kompostavimo įranga.

19 lentelė. Optimalios medžiagų koncentracijos anaerobiškai apdorojant BSA.

Parametras	Optimali vertė	Šaltinis
Acto rūgšties koncentracija	>0,8g/l	(C. Zhang et al., 2014)
Propiono / acto rūgšties santykis	>1,4	(C. Zhang et al., 2014)
pH	6,5–7,2	(Mpfu et al., 2020)
C / N	20–30	(Siddique et al., 2018)
prieinamos C ir N santykis	11–15	(M. Wang et al., 2017).
Dalelių dydis	0,6 mm	(Izumi et al., 2010)
NH ₃	<1,7–14 g/l	(K. Li et al., 2020)
H ₂ S	>125 mg/l	(Ariunbaatar et al., 2016)
Lakiosios riebalų rūgštys / Šarmingumas	>0,5	(Zuo et al., 2015)
Oleato rūgštis	<50–75 mg/l	(Dasa et al., 2016)
Palmitato rūgštis	<1100 mg/L	(Palatsi et al., 2009)
Stearato rūgštis	<1500 mg/L	(Palatsi et al., 2009)
Cinkas	0–5 mg/l	(Q. Guo et al., 2019)
Chromas	<12 mg/l	(Jha et al., 2017)
Varis	0–100 mg/L	(Q. Guo et al., 2019)
Kadmis	0,1–0,3 mg/l	(Q. Guo et al., 2019)
Nikelis	0,8–50 mg/l	(Q. Guo et al., 2019)
Geležis	0,28–200 mg/l	(Molaey et al., 2018)
Natris	<350 mg/l	(C. Zhang et al., 2014)
Kalcis	<2800 mg/l	(Božym et al., 2015)
Magnis	<2400 mg/l	(Božym et al., 2015)
Kalis	<3000 mg/l	(Božym et al., 2015)
Chlorfenoliai	→0	(Puyol et al., 2012)

Toliau, pirmajame literatūros apžvalgos skyriuje (1.5 poskyris), seka pagrindinių anaerobinio apdorojimo substrato parametrų analizė. Laikantis jų galima pasiekti maksimalų proceso našumą (pasiekti dematerializavimo tikslus). Taip pat, remiantis šiomis medžiagų koncentracijomis, substratai turi būti parenkami ir maišomi taip, kad atitiktų šias ribines vertes. Technologija irgi turi būti adaptuojama

laikantis šitų užduotų ribojančių parametų. Apibendrinti šios analizės rezultatai pateikiami lentelėje (žr. 19 lent.) ir būtent šios reikšmės, nustatytos ir įvertintos kitų mokslininkų, integruojamos modelyje užduodant optimalias medžiagų koncentracijų vertes.

3.1.5 MA aerobinio apdorojimo apžvalgos sąlygotas modelio formavimas

Pastebėjus aibę kompostavimo proceso optimizavimo galimybių, buvo atlikta šio proceso literatūros apžvalga, kuria remiantis toliau vystyta modelio struktūra. Remiantis atlikta mokslinių tyrimų apžvalga ir įvertinus azoto, fosforo, metano emisijų mažinimo potencialą modelyje, atliekų tvarkymo bloke, užduodami šių emisijų mažinimo tikslai. Siekiamas tikslas – šių emisijų minimizavimas (NH_3 (g), N_2O (g), CH_4 (g), NO_3^- (aq), PO_4^{3-} (aq) $\rightarrow$ min). Emisijų (tiek dujų, tiek filtrato) mažinimo tikslais siekiama lankstesnio kompostavimo technologijų rinkimosi modelio taikymo metu. Nėra apibrėžiami konkretūs technologiniai parametrai, jų vertės, technologija, o verčiau užduodami medžiagų praradimų mažinimo siekiai, pagal kuriuos renkamas sprendimas. Emisijų mažinimo tikslai integruojami ir kaip dar vienas būdas didinti komposto vertingumą pagal azotą, fosforą ir kalį.

1.6 poskyrio apžvalga parodė, kad kompostas nėra ta trąša, kuri gali patenkinti intensyvios žemdirbystės poreikius. Todėl modelio pradžioje, žemės ūkio bloke nurodymas uždavinyms maksimaliai naudoti komposto NPK, bet tuo pačiu palaikant maksimalią žemės ūkio produkcijos išeigą. Toks sprendimas yra pagrįstas 1.6 poskyryje apžvelgtomis studijomis, kuriose maišant kompostą, trąšas ir mikrobiologinius preparatus žemės ūkio produkcija buvo didesnė negu tik naudojant dirbtines trąšas.

3.2 Praktinių pramoninės ekologijos elementų taikymo tyrimų rezultatai

Atliekant siūlomo modelio kūrimą kavinių ŠGP srauto valdymui buvo atlikti praktiniai pramoninės simbiozės ir dematerializavimo elementų taikymo eksperimentai. Dematerializavimo elemento taikymas buvo tiriamas pirmuoju eksperimentu, o pramoninės simbiozės – antruoju. Eksperimentais siekta įsitikinti siūlomų valdymo alternatyvų techniniu pagrįstumu, kurios toliau buvo naudojamos aprobavime. Praktinių tyrimų metu buvo įvertinti gaminamų pirminių ir brandintų kompostų kokybė bei užterštumas. Galiausiai, remiantis tyrimų rezultatų pagrindu susiformavusiomis įžvalgomis buvo vystomas modelio MA tvarkymo blokas.

3.2.1 Praktiniai dematerializavimo elemento taikymo kavinių ŠGP valdymui eksperimentai

Atlikus kavinių ŠGP intensyvaus kompostavimo eksperimentą naudojant „Oklin“ technologiją buvo nustatyta, kad gaunamas aukšto vertingumo pirminis kompostas. „Oklin“ technologija parinkta kaip intensyvių uždaru kompostavimo technologijų atstovas. Tiek „Oklin“, tiek analogiškos technologijos pasitelkia mikrobiologinius preparatus, maišymą ir smulkinimą bei specifinį temperatūrinį režimą.

Gauti pirminis ir brandintas kompostai pasižymėjo aukštu vertingumu net pagal kelis vertingumo rodiklius (žr. 20 lent.). Svarbu atkreipti dėmesį į fulvo ir huminių rūgščių koncentracijas, kurios parodo, kad iš tiesų vyksta kompostavimo procesas, o ne paprasčiausias džiovinimas, nors įrenginyje apdorojama tik 24 valandas.

20 lentelė. „Oklin“ įrenginyje pagaminto pirminio ir brandinto komposto kokybės rodiklių palyginimas su vertingų kompostų vertėmis

Kompostų kokybės rodikliai	Vertingo komposto rodiklių ribos (Staugaitis et al., 2011; Staugaitis & Vaišvila, 2015)	Iš kavinių ŠGP pagamintų kompostų kokybės rodiklių vidutinės reikšmės		
		Pirminis kompostas	1 mėnesį brandintas kompostas	Pastaba dėl komposto vertingumo pagal (Staugaitis et al., 2011, 2015)
SM, %	21→50	94,68	59,03	<i>Labai didelis</i>
OM, % SM	16→45	86,16	77,22	<i>Labai didelis</i>
Organinė C, %		38,25	34,84	<i>Labai didelis</i>
BN, % SM	0,5→2,0	1,90	1,85	<i>Didelis</i>
BP, % SM	0,21→0,8	0,34	0,24	<i>Mažas</i>
BK, % SM	0,6→2,5	1,62	1,85	<i>Vidutinis</i>
Vandenyje tirpus N, mg/l NDM	51→200	840	122,63	<i>Vidutinis</i>
Vandenyje tirpus P, mg/l NDM	26→100	2089	444,60	<i>Labai didelis</i>
Vandenyje tirpus K, mg/l NDM	91→300	15875	4288,78	<i>Labai didelis</i>
Sulfatai (SO ₄), mg/l NDM	51→200; ¹ >300	2800	¹ 521,09	<i>Labai didelis</i>
Chloridai (Cl), mg/l NDM	51→300; ¹ >300	11300	¹ 3104,36	<i>Labai didelis</i>
C:N santykis	11→25	20,13	18,9	<i>Vidutinis</i>
Elektrinis laidis, mS/cm	0,6→2	5,89	¹ 3,24	<i>Labai didelis</i>
Huminių rūgštys, % SM		9,08		<i>Labai didelis</i>
Fulvo rūgštys, % SM		2,99		<i>Labai daug</i>
pH _{KCl}	5,6→8,5	4,5	5,5	<i>Labai mažas. Rūstus.</i>
pH _{H2O}	6,1→9	4,6		
Biologinis skaidumas (pagal ištirpusios organinės anglies kiekį, mg/kg)	≤4000 mg/kg	87264	15513	Stabilus bus tik po 2 mėn. brandinimo; tai būdinga, brandinant Lietuvos sąlygomis
Komposto dalelių dydis (≤10 mm), %	Kuo daugiau, tuo geriau	100	100	<i>Labai didelis</i>
Piltinis tankis, g/l		650	715	<i>Didelis</i>

Pastaba: ¹Dėl didelės koncentracijos gali kenkti jautriems augalams.

Pirminio komposto tyrimų metu buvo ištirtos sunkiųjų metalų, patvarios organinės taršos koncentracijos, įvairios priemaišos bei mikrobiologinė tarša. Tyrimų ir analizės metu nustatyta, kad visi šie parametrai buvo normos ribose (žr. 21 lent.). Sunkiųjų metalų ir priemaišų atitiktis normoms paaiškinama tuo, kad žaliava buvo išrūšiuotos MA (kavinių ŠGP). Matavimų metu buvo svarbu įsitikinti dėl mikrobiologinės taršos kontrolės, nes šis MA srautas priskiriamas ŠGP būtent dėl ligų

plitimo rizikos. Dėl naudojamos technologijos mikrobiologinės tarša mėginyje buvo gerokai mažiau normos.

21 lentelė. „Oklin“ įrenginyje pagaminto pirminio komposto užterštumo rodiklių palyginimas su vertingų kompostų užterštumo vertėmis

Kompostų užterštumo rodikliai	Vertingo komposto rodiklių ribos (Staugaitis et al., 2011, 2015)	Iš įvairių BSA pagamintų kompostų kokybės rodiklių vidutinės reikšmės	
		Oklin įrenginyje pagamintas pirminis kompostas	Pastaba dėl komposto vertinumo
Sunkieji metalai:			
Kadmis (Cd), mg/kg SM	≤1,3 / ≤0,7	≤0,01*	Labai vertingas, kadangi metalų koncentracijos ženkliai mažesnės už ribines vertes žemės ūkyje skirtiems naudoti kompostams.
Švinas (Pb), mg/kg SM	≤130 / ≤45	2,5	
Gyvsidabris (Hg), mg/kg SM	≤1,0 / ≤0,4	0,0	
Chromas (Cr), mg/kg SM	≤100 / ≤70	1,97	
Cinkas (Zn), mg/kg SM	≤400 / ≤200	28,5	
Varis (Cu), mg/kg SM	≤110 / ≤70	9,0	
Nikelis (Ni), mg/kg SM	≤40 / ≤25	1,47	
Patvari organinė tarša (POT):			
PCBs, mg/kg SM	<0,4	<0,035	Labai vertingas
PAAAs, mg/kg SM	<4,0	<1,46	
Nepageidautinos priemonės:			
Stiklo, metalo, plastiko kiekis, kai jų dalelių dydis didesnis nei 2 mm, % SM	≤0,5	<0,007 (<i>rasta tik plastiko</i>)	Labai vertingas
Daigos augalų sėklos (t. sk. gyvybingos piktžolės, šakniastiebiai), vnt./l SM	2	nerasta	Labai vertingas
Akmenys, skaičiuojant sausu svoriu, % SM	≤5	nerasta	Labai vertingas
Mikrobiologinė tarša:			
Fekalinės žarnyno lazdelės (<i>Escherichia coli</i>), kol. sk./kg	≤1000	<10	Labai vertingas (mikrobiologinės taršos nėra)
Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	0	0	
<i>Salmonella</i> bakterijos, vnt./g	0	0	

Pirminio komposto gamybos metu buvo matuojamos NH_3 ir H_2S koncentracijos ištraukiamos ventiliacijos ore (kompostavimo metu susidarantys teršalai nukreipiami ventiliacijos sistema). Matavimų metu NH_3 koncentracijos ore varijavo nuo 0,128 mg/m^3 (0,012 kg/t BSA) iki 0,597 mg/m^3 (0,071 kg/t BSA), kai H_2S nuo 0,002 mg/m^3 (0,0002 kg/t BSA) to 0,003 mg/m^3 (0,0004 kg/t BSA). NH_3 emisijų faktorius vidurkis 0,0416 kg/t BSA, o H_2S 0,0003 kg/t BSA.

Eksperimentų atlikimo metu gilinantis į kompostų kokybės rodiklius buvo prieita prie išvados, kad komposto kokybė turi milžinišką reikšmę valdant MA pagal PE koncepciją. Fitotoksinių parametrų sureguliuavimas, kokybės rodiklių didinimas, patogeninės ir taršos sunkiaisiais metalais valdymas gali užtikrinti naudingą ir saugų medžiagų grįžimą į dirvožemį. Būtent toks valdymas leistų MA tvarkymą įlieti į natūralią ekosistemą taip įgyvendinant PE viziją. Modelyje ši idėja realizuojama

įvedant tokius ribojančius parametrus kaip NPK ir organinės medžiagos kiekis, tarša sunkiaisiais metais, patvari organinė ir mikrobiologinė tarša (žr. 22 lent.).

22 lentelė. Kompostavimo proceso parametrai ir jų ribinės vertės modelyje

Kokybės, fitotoksiškumo, užterštumo parametrai	Vienetai	RV
Kokybės parametrai		
NPK suma	% SM	>2,5
Organinė medžiaga	% SM	>20
Fitotoksiškumo parametrai		
Elektrinis laidumas	mS/cm	<2
Biologinis skaidumas	mg/kg	<4000
Užterštumo parametrai		
PCBs	mg/kg SM	<0,4
PAAAs	mg/kg SM	<4,0
Stiklo, metalo, plastiko kiekis, kai jų dalelių dydis >2 mm	% SM	≤0,5
Fekalinės žarnyno lazdelės (<i>Escherichia coli</i>)	kol. sk./kg	≤1000
Kadmis (Cd)	mg/kg SM	2
Švinas (Pb)	mg/kg SM	130
Gyvsidabris (Hg)	mg/kg SM	1
Chromas (Cr)	mg/kg SM	70
Cinkas (Zn)	mg/kg SM	800
Varis (Cu)	mg/kg SM	300
Nikelis (Ni)	mg/kg SM	50

Šie kokybės, užterštumo ir už fitotoksiškumą atsakingi parametrai bei jų RV integruojami į sprendimų priėmimo paramos modelį (žr. 20 lent.). Šie parametrai ir jų vertės iš esmės parinkti pagal Staugaitis et al. (2011, 2015, 2016) mokslo darbus bei tręšimo produktų įstatymą su mažomis korekcijomis. NPK sumos idėja, o ne atskirų NPK elementų ribinės vertės, paimama iš Lietuvos tręšiamųjų produktų įstatymo (žr. 1.8.4 poskyrį). Visgi šiuo atveju NPK suma kiek griežtesnė negu nurodoma įstatyme, nes sumuojama elementų, o ne jų oksidų (P_2O_5 , K_2O) koncentracija. Organinės medžiagos RV atveju apsiribojama ganėtinai žemu tikslu, bet šios RV gali būti keičiamos. Sunkiųjų metalų RV taip pat paimamos iš šio įstatymo, pakeičiant tik cinko RV, nes planuojama modelyje naudoti kitos prigimties BSA, kaip nuotekų dumblą. Mikrobiologinės taršos atveju pasiekama tik ties *E.Coli*, kaip biologinio markerio, kontrole (kitų atsisakoma). Polichlorintų bifenilų (PCBs) ir poliaromatinių (PAAAs) angliavandenilių kontrolė paliekama siekiant mažinti šių junginių cirkuliavimą natūraliame cikle, kas reiškia šių medžiagų koncentracijų sumažėjimą ir anaerobinio apdorojimo proceso metu (mažinamas anaerobinio proceso slopinimas). Tuo pačiu netiesiogiai užduodamas tikslas mažinti pesticidų kiekį žemės ūkyje.

3.2.2 Praktiniai pramoninės simbiozės elemento taikymo kavinių ŠGP ir ŽA valdymui eksperimentai

Remiantis 3.2.1 poskyrio rezultatais, kaip alternatyva esamai kavinių ŠGP valdymo sistemai siūlomas ŠGP kompostavimas ir pirminio komposto gamyba

šaltinyje bei pagaminto pirminio komposto nukreipimas į artimiausią ŽA kompostavimo aikštelę tolesniam brandinimui. Maišymas su ŽA pirminiu kompostu pasirenkamas siekiant stabilizuoti pirminio ŠGP komposto agronominius parametrus, kurie lemia fitotoksiškumą (pvz., elektrinis laidumas, SO_4^{2-} , Cl^- koncentracija, biologinis skaidumas) ir optimizuoti srauto valdymą pasitelkiant pramoninę simbiozę. Tuo pačiu padidėtų ŽA komposto vertingumas (didinant azoto, fosforo, kalio ir organinės medžiagos kiekį).

23 lentelė. ŽA ir ŠGP pirminių kompostų maistinių medžiagų ir sunkiųjų metalų koncentracijos

	Vienetai	Pirminis ŽA kompostas	Pirminis ŠGP kompostas		
			ŠGP1	ŠGP2	ŠGP3
SM	%	66,18 (64,13–67,21)	88,92 (86,97–91,20)	84,21 (82,08–87,04)	75,77 (72,16–78,21)
OM	% SM	18,31 (16,94–19,23)	83,22 (82,14–84,63)	88,34 (87,48–89,35)	92,89 (91,94–93,85)
BN	% SM	0,72 (0,69–0,75)	1,81 (1,79–1,84)	2,38 (2,35–2,41)	1,92 (1,86–1,98)
BP	% SM	0,71 (0,69–0,75)	0,39 (0,38–0,40)	0,65 (0,60–0,67)	0,54 (0,49–0,53)
BK	% SM	0,62 (0,59–0,64)	1,44 (1,40–1,51)	1,26 (1,23–1,28)	1,02 (1,01–1,04)
Vandenyje tirpus N	mg/l NDM	189 (182–195)	546 (520–566)	1534 (1501–1563)	1015 (967–1045)
Vandenyje tirpus P	mg/l NDM	53,6 (51,0–55,2)	1321 (1302–1349)	1898 (1845–1915)	1917 (1851–1966)
Vandenyje tirpus K	mg/l NDM	854 (812–887)	10319 (10204–10495)	10745 (10406–11008)	11054 (10524–11386)
Laidumas	mS/cm	1,04 (1,02–1,08)	5,77 (5,70–5,81)	5,40 (5,37–5,42)	5,51 (5,47–5,55)
Chloridai	mg/l NDM	471 (428–511)	7155 (7120–7230)	9240 (9028–9484)	9797 (9715–9887)
Sulfatai	mg/l NDM	628 (598–662)	1820 (1773–1858)	1089 (1026–1184)	987 (976–1003)
Bioskaidumas	mg/kg	486 (446–517)	80892 (80506–81508)	42970 (42397–43394)	41190 (41024–41386)
Kadmis	mg/kg SM	0,25	-	0,01	-
Švinas	mg/kg SM	14,6	-	2,5	-
Gyvsidabris	mg/kg SM	0,001	-	0	-
Chromas	mg/kg SM	12,2	-	1,97	-
Cinkas	mg/kg SM	145	-	28,5	-
Varis	mg/kg SM	21,7	-	9	-
Nikelis	mg/kg SM	5,6	-	1,47	-

Pastaba: Pirminio ŠGP2 komposto sunkiųjų metalų koncentracijos paimtos iš 19 lentelės.

ŠGP1 mėginio atveju pakartotinai pagaminus ir ištyrus pirminį ŠGP kompostą, pagamintą „Oklin Green Good 10s“ intensyvaus kompostavimo įrenginyje, bei pagaminus ir ištyrus ŠGP2 ir ŠGP3 pirminius kompostus, pagamintus „Green Service

bioreactor bio-10“ analogiškame įrenginyje, buvo gauti tos pačios eilės komposto kokybės parametrų dydžiai (žr. 23 lent.). Visais atvejais parametrų, asocijuojamų su fitotoksiškumu, vertės buvo virš ribinių verčių. Pavyzdžiui, elektrinis laidumas buvo didesnis negu >5 mS/cm, sulfatų ir chloridų koncentracijos didesnės už 300 mg/l NDM, o bioskaidumas didesnis negu 4000 mg/kg. ŽA pirminis kompostas, palyginus jį su ŠGP pirminiais kompostais, buvo žemos agronominės vertės (žr. 23 lent.).

24 lentelė. Brandinto ŽA ir ŠGP pirminių kompostų mišinio ir centralizuoto ŠGP komposto kokybės ir užterštumo tyrimai

	Vienetai	ŽA ir ŠGP kompostas	Centralizuotai pagamintas ŠGP kompostas
SM	%	58,18 (56,89–59,6)	73,12 (70,45–75,78)
OM	% SM	20,32 (19,81–21,17)	29,58 (29,56–29,6)
BN	% SM	1,36 (1,28–1,42)	1,60 (1,2–1,99)
BP	% SM	0,93 (0,80–1,01)	0,83 (0,27–1,38)
BK	% SM	0,76 (0,70–0,82)	1,35 (1,05–1,64)
Vandenyje tirpus N	mg/l NDM	387 (371–405)	419 (479–358)
Vandenyje tirpus P	mg/l NDM	214 (236–250)	72,6 (117–28,2)
Vandenyje tirpus K	mg/l NDM	832 (809–862)	4000 (5025–2975)
Laidumas	mS/cm	1,1 (1,07–1,14)	2,69 (3,79–1,61)
Chloridai	mg/l NDM	298 (271–328)	622 (975–269)
Sulfatai	mg/l NDM	808 (788–832)	2910 (4635–1184)
Bioskaidumas	mg/kg	82	1413
Kadmis	mg/kg SM	0,3	2,64
Švinas	mg/kg SM	17,7	19,7
Gyvsidabris	mg/kg SM	0,0	0,013
Chromas	mg/kg SM	14,8	24,7
Cinkas	mg/kg SM	176,9	880
Varis	mg/kg SM	27,5	86,2
Nikelis	mg/kg SM	6,9	15,65

Pastaba: ŽA ir ŠGP komposto sunkiųjų metalų koncentracijos įvertintos pagal medžiagų balanso lygtį.

24 lentelėje pateikiami brandinto ŽA ir ŠGP2 pirminių kompostų mišinio bei centralizuotai pagaminto ŠGP komposto tyrimų rezultatai. Šiuo konkrečiu atveju naudojant intensyvaus kompostavimo metu pagamintą ŠGP pirminį kompostą ŽA komposto pagerinimui gaunamas mišinys, kuriame BN koncentracija daugiau negu dvigubai didesnė negu ŽA komposto, BP kiekis didesnis 23 %, o BK – 18 %.

Svarbiausia, kad ŽA kompostas gali būti gerinamas dedant didesnę dalį pirminio ŠGP komposto, pavyzdžiui, 20 ar 25 % (šiuo atveju buvo įmaišyta 15 %). Palyginimui, buvo pamatuoti kokybės ir užterštumo parametrai ŠGP komposto, kuris gaminamas centralizuoto ŠGP tvarkymo įrenginyje (žr. 24 lent.). Šiuo atveju taip pat naudojami papildomi substratai (ŽA ir pelenai) ŠGP drėgmės ir C/N santykio stabilizavimui, todėl gaunami didesnės, bet panašios kokybės parametrų vertės, bet dėl naudojamų pelenų stebimas didesnis užterštumas sunkiaisiais metalais.

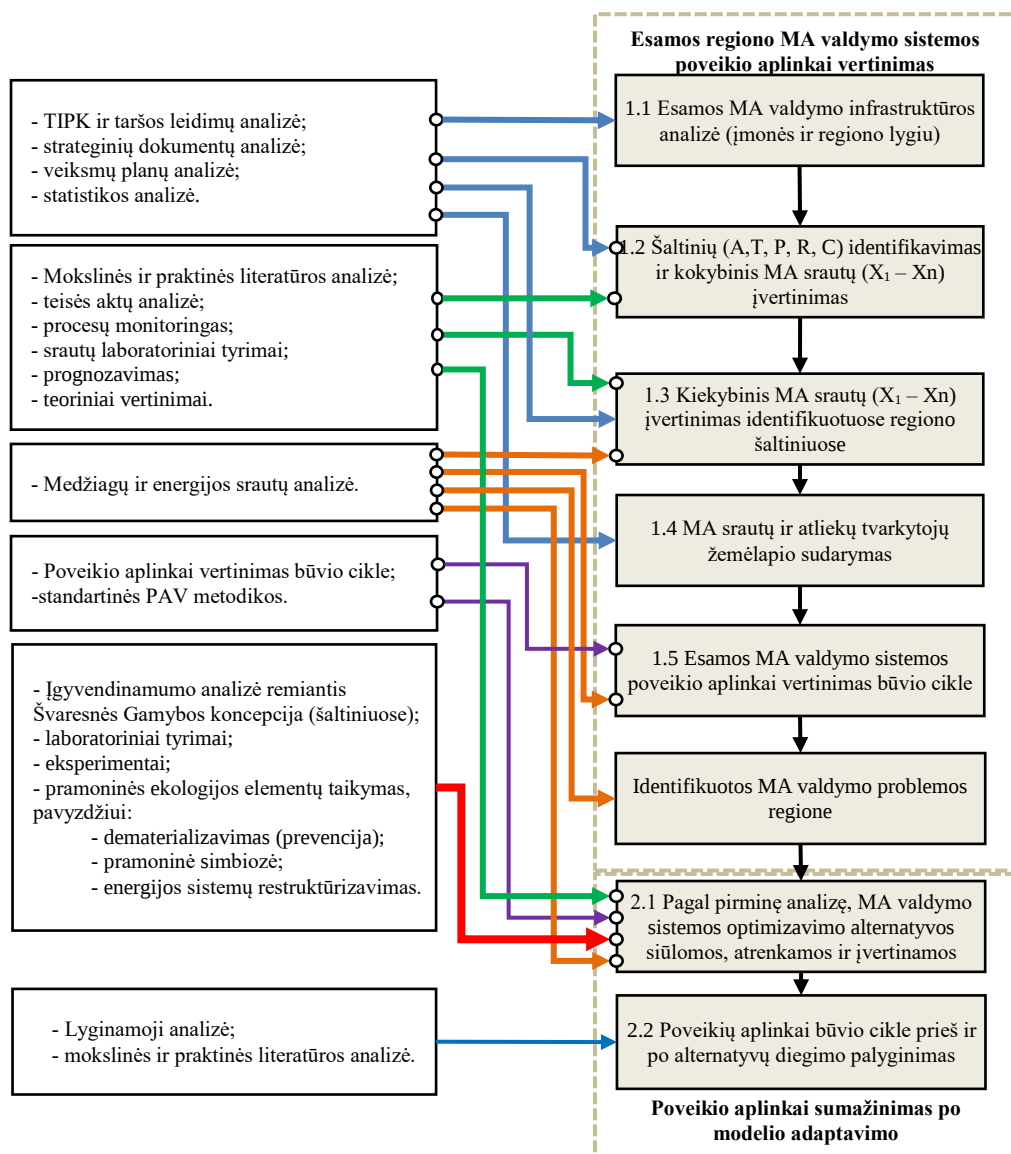
Atlikus mikrobiologinės taršos tyrimus brandinto ŽA ir ŠGP2 pirminių kompostų mišinio mėginyje, buvo nustatytas *E.Coli* padidėjimas. *E.Coli* ribinė vertė (1×10^3) buvo gerokai viršyta $6,4 \times 10^4$ kol. sk./kg. Dėl šios priežasties ateityje siekiant įgyvendinti tokią pramoninės simbiozės sudarymo schemą tarp maitinimo įstaigų ir ŽAKA rekomenduojama papildomai įtraukti mikrobiologinių preparatų.

Šie praktiniai eksperimentai, kaip ir teoriniai tyrimai, parodė, kad optimizuojant MA valdymą paranku įtraukti kitus BSA šaltinius. Todėl modelyje įtraukiami kiti BSA srautai, galintys duoti tam tikrų medžiaginių savybių sistemos optimizavimui.

3.3 Taikymo algoritmas: pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelis integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu

9 paveikslas vaizduoja pagrindinius žingsnius, strategijas, metodus ir įrankius, kurie yra taikomi vertinant esamą situaciją ir parenkant labiausiai tinkamą valdymo alternatyvą maisto atliekų valdymui regione. Žingsnis 1.1 atspindi analizę, kuri yra vykdoma siekiant išsiaiškinti, kaip MA yra valdomos tam tikroje teritorijoje ar įmonėje tam, kad būtų galima pasiūlyti alternatyvas, mažinančias poveikį aplinkai. Tolesnis žingsnis grandinėje (1.2 žingsnis) yra skirtas nustatyti MA šaltinius ir kokybiškai juos charakterizuoti. O žingsnyje 1.3 minėti MA srautai vertinami kiekybiškai. Šioje dalyje įvairūs informacijos šaltiniai yra naudojami siekiant surinkti duomenis. Tais atvejais, jeigu duomenys nėra pateikti, metodai ir įrankiai, pateikti kairėje 4 paveikslo pusėje, yra taikomi siekiant kiekybiškai ar kokybiškai įvertinti srautus. Siekiant atrinkti mažesnio poveikio aplinkai alternatyvas, sudaromas atliekų tvarkytojų ir MA šaltinių žemėlapis (žingsnis 1.4). Po to, kai duomenys yra surenkami ir susistemunami, žingsnyje 1.5 atliekamas esamos valdymo sistemos BCĮ. Surinkti duomenys ir gauti BCĮ rezultatai toliau naudojami problemoms identifikuoti. Visi šie paminėti žingsniai atspindi pagrindinio modelio pradžioje, langelyje „BCĮ_n Dabartinė situacija, Problemos identifikavimas“.

Antroje metodikos dalyje, žingsnyje 2.1, remiantis surinktais duomenimis ir gautais rezultatais pirmoje dalyje, MA valdymo alternatyvos yra parenkamos ir vertinamos. Paskutiniame žingsnyje (2.2) esamos valdymo sistemos poveikis aplinkai yra lyginamas su siūlomos alternatyvos poveikiu aplinkai būvio cikle norint pagrįsti siūlomo sprendimo naudą. Šie du punktai tiesiogiai siejasi su visu likusiu modeliu.



9 pav. Modelio diegimo etapai MA valdymo sistemos optimizavimui

Esamos MA valdymo sistemos gerinimas vyksta pagal modelį, pateiktą 3.4 skyriuje. Siūlomu modeliu (žr. 10 pav.) sufleruojamos atskirų srautų valdymo alternatyvos, užduodami ribojantys parametrai, pagal kuriuos valdoma sistema. 3.4 skyriuje aptariamas bendra modelio struktūra bei srautų paaiškinimai, pateikiami konkretūs valdymo pavyzdžiai.

Analizuojant MA valdymą maisto produktų būvio cikle, regiono lygmeniu bei holistiniu požiūriu (turint plačias sistemos ribas) būtina susirasti ir efektyviai analizuoti (pasitelkiant ir tą pačią medžiagų ir energijos balanso metodiką) esamus informacijos šaltinius, susijusius su dabartiniu bei siūlomu MA valdymu regione, taip

sumažinant fizinių matavimų ar laboratorinių tyrimų poreikį, kurie yra imlūs laikui. Dėl šios priežasties atsiranda modelio taikymo algoritmas, kuriame atsispindi toks analizės principas.

3.4 Pramoninės ekologijos koncepcijos sprendimų priėmimų paramos modelis integruotam maisto atliekų valdymui regiono lygmeniu

Modelyje trys pagrindinės kryptys vaizduoja maisto tiekimo grandinę (žr. 10 pav.). Kryptis nuo viršaus į vidurį vaizduoja augalinį maistą, kai rodyklė iš apačios į viršų – gyvūninės kilmės maistą. Šių rodyklių susikirtimo vieta siekiama parodyti, kad tiek augalinės, tiek gyvūninės kilmės produktai sudaro kompozitinius maisto produktus. Šis augalinės ir gyvūninės prigimties maisto sumaišymas yra išskirtas dėl to, kad MA, susidariusios iš tokio maisto, tam tikrais atvejais turėtų būti tvarkomos pagal šalutinių gyvūninių produktų reglamentą. Šis srautas yra iliustruotas horizontalia rodykle, vedančia vartojimo bloko link. Modelio pradžia yra viršuje, dešiniame kampe. Modelis pradedamas nuo žemės ūkio produkcijos, nes šiuo procesu gaminamas maistas ne tik žmonių vartojimui, bet taip pat gyvulių pašarui. Lygiagrečiai prasideda ir gyvulinės kilmės produktų gamyba, tik šiuo atveju šis tiekimas atvaizduojamas modelio apačioje. Judant rodyklių kryptimis centro link (vartojimo stadijos) produktai, kurie atspindi žemės ūkio produkciją bei gyvulinės kilmės medžiagas, yra gaminami, transformuojami, surenkami, perdirbami, transportuojami ir parduodami, kas atspindi produktų tiekimo grandinę.

Atliekos, šalutiniai gamybiniai bei gyvūniniai šalutiniai produktai, kurie susidaro tiekiant produktus vartojimui, pavaizduoti rodyklėmis kairėje šalia produktų tiekimą reprezentuojančių rodyklių. Žymuo $X_n \rightarrow 0$ ties atliekų bei šalutinių produktų rodyklėmis reiškia, kad tikslas yra šių srautų eliminavimas (prevenciniu priemonių naudojimas). Taip pat, sumažinus ($X_n \rightarrow 0$) pirminės produkcijos pradžią tiekimo grandinėje, daugiau maisto pasiliktų joje, kas leistų mažinti gamybos apimtis ir poveikį aplinkai, susidarantį dėl perteklinės gamybos. Žinoma, ne visi srautai yra prarastas maistas, tai gali būti šalutiniai produktai, kurie susidaro tiekiant produktus į rinką nuo pirminės produkcijos iki galutinio vartojimo stadijos. Vis dėlto šie srautai pirmiausia turėtų būti valdomi remiantis kaskadavimo principu, t. y. pirmiausia turi būti išgaunami APVP. Šiuo modeliu siūloma pirmiausia išgauti APVP, po to gyvulių pašarus ar ēdalus, kaip priešpaskutinis etapas medžiagos likučiai naudojami išgauti energijos nešiklius, o galiausiai regeneravus galimas medžiagines savybes, likęs substratas panaudojamas organinių trąšų gamybai.

Tais atvejais, kai nėra galimybių prevencinėmis priemonėmis išvengti maisto praradimų ar gaminti APVP iš homogeniškų medžiagų srautų, šie srautai nukreipiami į sumaišymo bloką, kur dėl pramoninės simbiozės elemento siekiama optimaliai išnaudoti srautų medžiagines savybes. Šioje stadijoje medžiagos parenkamos ir maišomos tokiais santykiais, kurie leistų fermentavimo ir / arba kompostavimo būdu regeneruoti kuo daugiau vertės, bet tik tuo atveju, jeigu regiono charakteristika (pvz., atliekų srautai yra šalia, o ne pasklidę po visą regioną) leidžia ekonomiškai naudingų kelių jungti skirtingus srautus. Kadangi vien sumaišymas neužtikrins optimalių sąlygų dėl skirtingų substratų charakteristikų (pvz., dideli kiekiai sunkiųjų metalų, per daug

azoto ar lignoceliuliozės), tam tikri pakeitimai naudojamose technologijose ar infrastruktūroje bus būtini. Jeigu mišrus srautas turėtų didelius kiekius azoto ar lignoceliuliozės, turės būti pasirinkta technologija, kuri toleruotų dideles šių medžiagų koncentracijas. Šiame bloke, kur dominuoja pramoninės simbiozės ir dematerializavimo elementai, tam tikri sprendimai turi būti priimami, jeigu poveikio aplinkai skirtumas tarp esamos ir planuojamos situacijos yra teigiamas $BCI_n - BCI_{n+1} \rightarrow$ maksimalus (poveikis aplinkai mažėja). Visų sprendimų taikymo tikslas turėti kuo didesnę $BCI_n - BCI_{n+1}$ skirtumą. Alternatyvų parinkimas taip pat yra ribojamas ir švaresnės gamybos projektų diegimo metodikos (žr. modelio taikymo algoritmą).

Paskutinėse stadijose vyrauja dvi pagrindinės tvarkymo galimybės, kompostavimas (stabilizavimas ir humifikacija) arba mišrių substratų biokonversija siekiant vienu metu gaminti APVP ir / arba energijos nešiklius ir galiausiai uždariant ratą iš likučio pagaminant organines trąšas. Biokonversijos bloke taip pat galima įtraukti technologijas, leidžiančias neorganines trąšas, kaip struvitą ar amonio sulfatą. Procesų optimizavimo prasme, azoto ir fosforo šalinamas iš fermentuojamos masės taip pat gerintų sistemos darbą, nes amoniakas laikomas stipriu biologinių procesų inhibitoriumi, o pertekliniai fosfatų kiekiai dažnai įtakoja netirpių kristalų susidarymą ant įrangos paviršių. Nors ir lėtai, bet sunkiųjų metalų išgavimo technologijos taip pat yra vystomos. Šių medžiagų išgavimas leistų kurti papildomą pridėtinę vertę bei mažinti potencialių inhibitorių kiekį sistemose. Grįžtant prie skirtingos prigimties substratų maišymo siekiant išnaudoti medžiagų sinergiją, būtina pažymėti, kad toks maišymas turi būti atliekamas atsižvelgiant į tolesnes tvarkymo priemones. Pavyzdžiui, substratų kokybės parametrai turėtų būti subalansuoti ne tik taip, kad pagamintų maksimalų biodujų kiekį, bet taip pat iš likusio digestato pagamintų kompostą, kuris tenkintų vietos įstatymų bazėje nustatytus užterštumo sunkiaisiais metalais ir patogenais reikalavimus. Tais atvejais, jeigu digestato užterštumas mikrobiologija ir sunkiaisiais metalais viršija normą, papildomai į kompostavimą reikia įtraukti substratą, kuris nėra užterštas sunkiaisiais metalais ar naudoti mikrobiologinius produktus ir taip suvaldyti patogenų kiekius. Galų gale modelio taikymo rezultatas turėtų būti sumažėję šiltnamio efektą sukeliančių dujų, oro teršalų kiekiai bei minimizuotas maistingųjų medžiagų netekimas tiek su nuotekomis, tiek su oro teršalais.

Kiti BSA srautai, nesusiję su maisto produktų tiekimu, taip pat gali būti įtraukiami į valdymą, jeigu šie srautai prisideda prie sistemos poveikio aplinkai mažinimo ir leidžia optimizuoti MA valdymą regione. BSA (Y_n), kurie gali pagerinti tam tikrus valdymo parametrus (pvz., biodujų išeigą, buferines savybes, lakiųjų kietųjų dalelių destrukciją ir t. t.) ar gaminamo komposto agronominę vertę, palaikant užterštumo rodiklius normos ribose bei didinant koncentracijas medžiagų, kurios leidžia gerinti dirvožemio būklę. Pavyzdžiui, sunkiaisiais metalais užterštas nuotekų dumblas gali praturinti sunkiaisiais metalais maisto atliekas ir taip gerinti biodujų išeigą. ŽA ar popieriaus gamybos pulpa gali pagerinti azoto turtingos medžiagos kompostavimą, o kalcio ir magnio oksidai, esantys biomasės pelenuose, gali sureguliuoti substrato pH tiek anaerobinio, tiek aerobinio apdorojimo metu (žr. pirmą skyrių).

Biokonversijos bloke (fermentacijos stadijoje), pagal atliktą literatūros analizę, energijos nešiklio ir / ar APVP gamybą galima optimizuoti sudarant palankias sąlygas mikroorganizmams. Sąlygos gali būti labai įvairios, bet dažniausiai tai yra sunkiųjų bei šarminių žemės metalų koncentracijos, amonio ir sulfido koncentracijos, riebalų rūgštys ir lakios riebalų rūgštys, šarmingumas ir pan. (žr. 19 lent.). Optimalios šių parametrų vertės (OV) nurodytos 3.1.4 poskyryje 19 lentelėje.

Paskutinis modelio žingsnis yra kompostavimas. Nors šis tvarkymo būdas iš pirmo žvilgsnio atrodo paprastas, daug optimizavimo strategijų gali būti pritaikoma siekiant gaminti APVP bei sumažinant medžiagų emisijas. Toks emisijų mažinimas ne tik mažina tiesioginį poveikį aplinkai, bet produkte išlaiko daugiau maistingųjų medžiagų, kas didina komposto kokybę ir pardavimo kainą. Kompostavimo stadijoje užduodami šie emisijų mažinimo tikslai: NH_3 (g) $\rightarrow$ min., N_2O (g) $\rightarrow$ min., CH_4 (g) $\rightarrow$ min., NO_3^- (aq) $\rightarrow$ min., PO_4^{3-} (aq) $\rightarrow$ min.

Norint sureguliuoti įvedinius ir išvedinius ir taip prisitaikyti prie natūralios gamtos gebėjimo atsistatyti, būtina atsižvelgti į keletą komposto kokybės parametrų. Dominuojantys kokybės parametrai yra N, P, K ir organinė medžiaga, vis dėlto komposto kokybė gali būti vertinama daug plačiau, papildomai vertinant tirpias NPK dalis, sulfatus, chloridus, kalcį ir magnį. Svarbu paminėti, kad būtina kontroliuoti parametrus, kurie lemia komposto fitotoksiškumą (pvz., elektrinis laidumas ir bioskaidumas), nes jie tiesiogiai atsakingi už saugų ir produktyvų komposto naudojimą žemės ūkyje. Modelyje kompostavimo bloke esančių parametrų RV nurodytos 3.2.1 poskyrio 22 lentelėje.

Sprendimų priėmimo paramos modelio taikymo pabaigoje lyginamas poveikis aplinkai būvio cikle tarp dabartinės ir planuojamos situacijos. Galima lyginti pokytį regione pritaikius keletą valdymo patobulinimų arba tiesiog po vienos atskiros alternatyvos. Naujos alternatyvos gali būti pastoviai diegiamos ir taip gerinama regiono maisto atliekų valdymo sistema.

X₁ srautas vaizduoja nesurinktus vaisius ir daržoves iš laukų. Dažna to priežastis – sudėtingas ir ekonomiškai nenaudingas surinkimas. Priežastys gali būti skirtingos, bet dažniausiai taip atsitinka dėl įrangos trūkumo, vandeniui užlietų laukų ar brangios darbo jėgos. Vis dėlto aktualios investicijos į tobulesnę vaisių ir daržovių įrangą, užlietų žemės plotų tvarkymas ar tiesiog likusių lauke daržovių ar vaisių atidavimas susirinkti vargstantiems žmonėms. Šios priemonės leistų daugiau maisto produktų nukreipti atgal į tiekimo grandinę ir proporcingai mažinti pradinę žemės ūkio produkciją.

X₂ srautas yra paprasčiausiai neišvengiama augalinės kilmės medžiaga, kuri susidaro nuimant derlių. Šie srautai gali būti įvairūs ir priklauso nuo auginamos daržovės ar vaisiaus, bet šių medžiagų gausa ir homogeniškumas daro jas puikiu substratu APVP gamybai.

X₃ srautas atitinka maisto produktus, kurie išmetami dėl netaisyklingos jų formos. Toks maisto švaistymas kelia didelį susirūpinimą ir labai daug iniciatyvų buvo sukurta tam, kad nukreiptų kuo daugiau šio maisto žmonių vartojimui.

X₄ srautas – augalinės kilmės atliekos, kurios susidaro transportavimo ar sandėliavimo metu. Šis srautas atspindi ankštinių kultūrų, javų, vaisių ir daržovių atliekas, kurios susidaro transportavimo metu, ypač didmeninėje prekyboje. Šioje tiekimo grandinės dalyje, maisto švaistymas atsiranda dėl neišlaikytų transportavimo sąlygų. Šioje stadijoje tik prevencija turi didžiausią potencialą išlaikyti maisto produktus tiekimo grandinėje, kadangi perdirbimas ne visada galimas dėl pelėsių ir jų gaminamų mikotoksinų, kurie kancerogeniški ne tik žmonėms, bet ir gyvuliams. Vis dėlto grūdus, kurie buvo užkrėsti parazitais, būtų galima panaudoti bent jau bioetanolio gamybai ar kaip pašarą gyvuliams. Taip pat šį atliekų srautą galima naudoti kaip substratą mikroorganizmams, kurie savo ląstelėse gali kaupti tam tikras chemines medžiagas, kurios vėliau gali būti realizuojamos kaip APVP.

X₅ srautas reprezentuoja augalinės kilmės šalutinius gamybinius produktus, kurie susidaro perdirbant žemės ūkio produkciją. Šis srautas tai lupenos, žievelės, sėklos, išspaudos, riešutų kevalai, lukštai ir pan. Kai kuriais atvejais šie šalutiniai gamybiniai produktai, kurie neskirti vartoti žmonėms, gali būti perdirbami į produktus, skirtus žmonių vartojimui.

X₆, X₁₀, X₁₁ srautai pateikia augalinės, gyvūninės ir mišrios prigimties maistą, kuris yra grąžinamas iš prekybos centrų (dėl pasibaigusio galiojimo laiko, netinkamos kokybės, kai krovinyje yra priimamas į prekybos centrą). Būdai užkirsti kelią šiems praradimams yra nuolaidų taikymas, palaikomos temperatūros režimo pakeitimas, pagerintos pakavimo technologijos ir bendros vadybinės priemonės. Tais atvejais, kai matoma, kad produktų nepavyks parduoti iki jų galiojimo termino pabaigos, jie gali būti greitai perdirbami siekiant pailginti jų galiojimo laiką. Tokie veiksmai leidžia maistą, kuris greičiausiai keliautų į tvarkymo įrenginius, grąžinti į maisto tiekimo grandinę, mažinti pirminę žemės ūkio produkcijos gamybą ir tuo pačiu poveikį aplinkai būvio cikle. Vis dėlto tokios priemonės galioja tik augalinės kilmės maisto produktams, nes jiems netaikomi ŠGP reglamento reikalavimai. Jeigu galimybės išnaudoti medžiagų maistines savybes, jas parduoti jau yra pilnai iš eksploatuotos, maistas turėtų būti skiriamas nepasiturintiems žmonėms per įvairias organizacijas. Tokiu būdu maistas liktų tiekimo grandinėje. Galiausiai, kai atliekų susidarymo negali būti išvengta, joms tvarkyti turėtų būti taikoma pramoninės simbiozės sudarymo strategija. Taikant šią koncepciją MA ir šalutiniai gamybiniai produktai būtų maišomi tarpusavyje, taip sudarant palankesnes sąlygas augti mikroorganizmams, kurių veiklos metu susidaro APVP, energijos nešikliai ir galiausiai aukštos agronominės vertės organinė trąša.

X₇ ir X₈ srautai tai atliekos, susidaranti vartojimo stadijoje. Taigi tai atliekos iš namų ūkių ir maitinimo įstaigų. MA čia išskirtos į du srautus, X₇ srautas atitinka

išvengiamas maisto atliekas, o X_8 reprezentuoja neišvengiamus šalutinius produktus, kurie susidaro ruošiant ar vartojant maistą. Nors X_7 srautas gali būti sėkmingai valdomas prevencinėmis priemonėmis, X_8 srautas turi ženkliai žemesnį potencialą, nes sutaupymai galimi tik tais atvejais, jeigu vartotojai yra linkę pagerinti savo maisto ruošimo įgūdžius (pvz., skutimą). X_7 ir X_8 srautai šioje vietoje paskirstomi į du blokus pagal šaltinį. Atliekos iš namų ūkių nukreipiamos į komunalinių atliekų tvarkymo bloką, o MA iš maitinimo įstaigų į ŠGP valdymo bloką. Vis dėlto, jeigu MA iš namų ūkių būtų išrūšiuojamos, joms jau būtų taikomi ŠGP reglamento reikalavimai.

X_9 srautas iliustruoja kompozitinius maisto produktus, kurie susideda iš gyvulinės ir augalinės kilmės medžiagų. Srautas gali būti pakankamai heterogeniškas, bet jeigu skirtingų kompozitinių produktų susimaišymas yra išvengiamas, tokiu atveju šios medžiagos gali būti nukreipiamos pridėtinės vertės produktų gamybai. Kitais atvejais šios medžiagos gali būti nukreipiamos kaip ēdalas naminiams arba kailiniams gyvūnėliams.

X_{12} srautas atspindi ŠGP, kurie susidaro skerdyklose ir mėsos perdirbimo įmonėse, taip pat pieno pramonėje. Šis srautas turi daug potencialo būti panaudojamas tokių APVP gamybai kaip kosmetika ar papildai. Svarbiausia, kad dalį skerdyklų ŠGP galima panaudoti tokių maisto produktų gamybai kaip kraujo dešrelės, pudingas, želatinos produktai, o dalis skerdimo subproduktų panaudota tiesioginiam vartojimui. Galiausiai, maistinės medžiagos yra grąžinamos į tiekimo grandinę, taip mažinant pirminės gyvulinės produkcijos gamybą.

X_{13} srautas atitinka ŠGP, kurie susidaro gyvulių, pieno ir kiaušinių transportavimo metu.

X_{14} srautas parodo ŠGP, susidarančius gyvulių, vištų, žuvų ar jūros gėrybių fermose. Rodyklė reprezentuoja srautas ir mėšlą, kuris pagal modelio struktūrą tinkamas tik pramoninės simbiozės sudarymui su kitais srautais tam, kad būtų gaminama daugiau energijos nešiklio (pvz., biodujos, biovandenilis, bioetanolis, biobutanolis ir pan.), APVP (pvz., pieno rūgštis, poli-β-hidroksibutiratas, ksantanas, ir pan.) ir galiausiai likučius panaudojant aukštesnės kokybės komposto gamybai, kuris atitiktų jam keliamus užterštumo reikalavimus. Kitos rodyklės, kurios nukreiptos į APVP gamybos bloką, yra subproduktai, kurie gali būti panaudoti gaminti produktus, skirtus arba neskirtus žmonėms vartoti bei gyvuliams šerti. Pavyzdžiui, pagal ŠGP tvarkymo reglamentą, kritę gyvuliai gali būti perdirbti į gyvulių pašarą (pvz., baltymus) arba perdirbta medžiaga gali būti naudojama dirvožemiui gerinti. Vištų fermose sudužę kiaušiniai gali būti greitai surenkami ir nukreipiami į vietos įmones, kur šie ŠGP gali būti panaudojami daug kiaušinių reikalaujantiems produktams gaminti (pvz., konditerijai).

Trumpai apie siūlomą maisto atliekų integruoto valdymo modelį regiono lygmeniu.

Tikslo funkcija – optimalus MA medžiaginių ir energetinių savybių išnaudojimas.

Optimizavimo kriterijus – poveikio aplinkai mažėjimas su greičiausia investicijų grąža (projekto atsipirkimo trukmė <3,5 metų vertinant subjekto skiriamas lėšas).

Objektas: Maisto atliekos ir jų valdymo sistema.

Sistemos ribos: maisto atliekos įtraukiant kitus biodegraduojančių atliekų srautus, kurie galėtų elgtis kaip procesus stabilizuojančios, katalizuojančios medžiagos arba tiesiog turi potencialo padidinti maistinių medžiagų grąžinimą į dirvožemį.

Modelio pabaiga: kai duotuoju laiku visos MA valdymo alternatyvos, kurių atsipirkimo trukmė <3,5 metų (vertinant subjekto skiriamas lėšas), yra įdiegtos.

Taikant šį modelį, galima sukurti valdymo sistemą bet kokiam regionui.

Modelio imtis: kietos ir skystos maisto atliekos, jeigu jos nepatenka į nuotekų tinklus.

3.5 Modelio aprobavimas reikšmingiems regiono maisto atliekų srautams

Sprendimų paramos modelis buvo aprobuotas trimis reikšmingiems Utenos regiono MA srautams. Srautai buvo parinkti pagal regiono specifiką bei tai, kad sprendimų priėmimo paramos modelio aprobavimas pasireikštų skirtinguose modelio blokuose. Pavyzdžiui, APVP gamybos, pramoninės simbiozės sudarymo, fermentavimo ir aerobinio apdorojimo blokuose.

Pagal modelio ir jo taikymo algoritmą, aprobavimo metu palyginami du skirtingi valdymo scenarijai remiantis BCĮ analize. Pirmiausia atliekama MA srauto esamo valdymo (regiono ar įmonės lygmeniu) inventorinė analizė, po to – parinktos alternatyvos inventorinė analizė.

3.5.1 ŠGP valdymo optimizavimas gaminant pridėtinės vertės produktus

Šiame poskyryje pateikiami modelio aprobavimo rezultatai vienam iš regiono ŠGP srautų. Pagal sprendimų priėmimo paramos modelį siekiama kuo daugiau medžiagų nukreipti į vartojimą. Kadangi skerdyklos ŠGP susidaro tiekiant medžiagas į rinką (dar prieš vartojimą), kaip alternatyvą esamai valdymo sistemai parenkama APVP gamyba, o būtent naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyva. Tokia alternatyva parenkama, nes ėdalas iš ŠGP keistų pirminę mėsos gamybą (nereiktų žmonių vartojimui skirtos mėsos nukreipti gyvūnėliams). Galimi ir kiti sprendimai, svarbiausia, kad poveikis aplinkai būtų mažesnis negu esamos valdymo sistemos.

3.5.1.1 Esamos ŠGP valdymo sistemos inventorinės analizės rezultatai

Aprobuojant modelį, pradedama nuo modelio taikymo algoritmo – siekiama atlikti išsamią esamos valdymo sistemos analizę siekiant surinkti pagrindinę informaciją tam, kad būtų galima parinkti ir įvertinti alternatyvius valdymo būdus. Kadangi siekiama optimalesnio medžiaginių ir energetinių mėsos perdirbimo ŠGP savybių išnaudojimo, analizuojama esama valdymo infrastruktūra.

Dažniausiai sutinkamas 3 kategorijos ŠGP tvarkymas regione – biodujų ir komposto gamyba. Labiausiai paplitusi tvarkymo technologija yra intensyvus kompostavimas, bet jau yra sukurti pajėgumai ŠGP apdoroti anaerobiniu būdu. Kadangi anaerobinis apdorojimas leidžia efektyviau išnaudoti energetines ir medžiagines savybes, ši technologija parenkama lyginimui.

Remiantis Komisijos reglamentu (ES) Nr. 142/2011, išskirtinių reikalavimų ŠGP laikymui, kai medžiagos naudojamos biodujų gamybai ar kompostavimui, nėra. Pagal VIII priedo I skyriaus 1 skirsnį būtina užtikrinti, kad ŠGP būtų laikomi specialiuose, prieš tai dezinfekuotuose kontaineriuose, kurie toliau bus

transportuojami perdirbimui. Atsižvelgiant į reikalavimus, priimama, kad III kategorijos ŠGP į biodujų išgavimo renginį bus transportuojami 2 kartus per savaitę (104 reisai į metus). Kadangi metinis ŠGP kiekis yra 498 tonų, vieno transportavimo metu bus gabenama 4,11 tonų ŠGP. Atstumas iki anaerobinio apdorojimo įrenginio 85 km. Vertinama, kad yra naudojamas <10 tonų EURO3 standarto sunkvežimis, kuris yra pakraunamas 50 %, o grįžta atgal į vietą tuščias (naudojama „SimaPro“ duomenų bazė).

Priimama prielaida, kad susidarantių ŠGP apdorojimas vyksta anaerobinio apdorojimo įrenginyje, kuriame įdiegta pasterizavimo linija, atitinkanti ŠGP reglamento reikalavimus. Analizuojama, kad įmonė panaudoja turimą, perteklinę terminę energiją, susidarantią kogeneracijos metu, pasterizavimui.

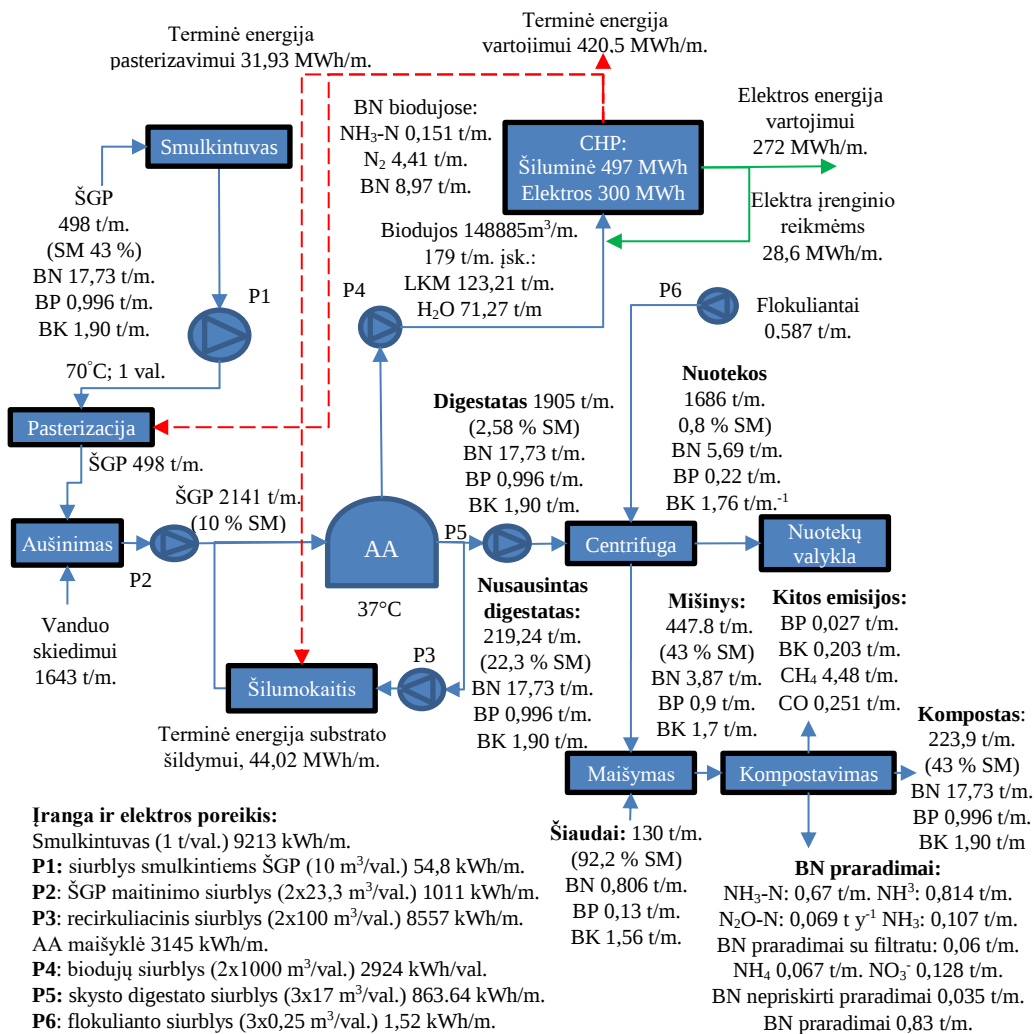
Taip pat šiuo metu diegiami įrenginiai nenaudoja vandens substrato skiedimui, kadangi daug vandens turi pačios MA (drėgmės kiekis svyruoja nuo 20–80 %). Be to, priimamos skystos atliekos, kurios leidžia sureguliuoti paduodamo į bioreaktorių substrato drėgnį. Vis dėlto priimama, kad apdorojant 498 t/m. ŠGP, kurių drėgnis 57 % (palyginti mažas drėgnis), reiks panaudoti papildomai 1643 t/m. vandens tam, kad būtų pasiekta mišinio sausų medžiagų koncentracija apie 10 %.

25 lentelė. Biodujų išeigos įvertinimas bei LKM transformavimas į biodujas

BMP (Biocheminis metano potencialas)	738	ml CH ₄ /g LKM
Hidraulinė išbuvimo trukmė (HIT)	28	d
Metano potencialo išnaudojimas kai HIT 28 d	70	%
Specifinis metano potencialas	517	ml CH ₄ /g LKM
LKM koncentracija	0,387	g LKM/kg WW
Metano išeiga įrenginyje	99563	m ³
Specifinis biodujų potencialas	820,00	ml/g LKM
Metano išgavimas įrenginyje	99563	m ³
Metano praradimai per nesandarumus	2,8	%
Metano praradimai per nesandarumus	2788	m ³ /m.
CH ₄ tankis	0,657	kg/m ³
Metano praradimai per nesandarumus	1832	kg/m.
Metanas energijos gamybai į kogeneracinę	96775	m ³ /m.
Metano biodujose	63	%
Biodujų išeiga	148885	m ³ /m.
Biodujų tankis	1,2	kg/m ³
Biodujų masė	179	t/m.
Vandens kiekis į biodujas prie maksimalaus BMP	91,23	t/m.
Vandens kiekis į biodujas prie 70% BMP	55,45	t/m.
Organinė medžiaga į biodujas	123,21	t/m.
LKM sunaudojimas	63,93	%
Pereina į biodujas	123,21	t/m.

Pagal LKM kiekį (90 % SM) ir SM kiekį (43 %) išskaičiuojama, kiek LKM yra kilograme ŠGP (0,387 kg LKM/kg ŠGP). Tada žinant baltymų ir riebalų kiekį kilograme ŠGP, perskaičiuojama į gramus kilogramui LKM (atitinkamai 418,4 g/kg LKM ir 635,7 g/kg LKM). Įvertinus žaliavos biochemines savybes, toliau įvertinamas biocheminis metano potencialas (BMP) pagal 4 formulę (žr. 4 formulę). Esant 28

dienų hidraulinei išbuvimo trukmei išnaudojama apie 70 % BMP (738 ml CH₄/g LKM) ir gaunamas (517 ml CH₄/g LKM) SMP (žr. 25 lent.). Kadangi susidarant biodujoms sunaudojama ne tik sausa medžiaga, bet ir vanduo, pagal Buswell'o lygtį (žr. 5 formulę) apytiksliai įvertinama, kiek vandens pereis į metaną ir CO₂ (žr. 25 lent.).



11 pav. Susidariusių mėšos perdirbimo ŠGP tvarkymas anaerobiniu būdu

Pagrindiniai procesai, reikalaujantys terminės energijos, yra ŠGP (specifinė ŠGP šiluma (57 % vanduo) 2,931 kJ/kg K) pašildymas nuo 7 iki 70 °C (31,93 MWh/m.) (pasterizacija) bei substrato pašildymas nuo 18,02 iki 37 °C po to, kai pasterizuoti ŠGP (3,90 kJ/kg K) skiedžiami šaltu vandeniu (44,02 MWh/m.).

Dalis energijos prarandama dėl šilumos nuostolių per reaktoriaus paviršius. Įvertinus naudojamas konstrukcines medžiagas, terminės energijos nuostoliai siektų 1,01 MW/m. Taip pat nemažai energijos, metano dujų pavidalu (iki 1832 kg/m.), prarandama dėl nesandarumų.

Kadangi analizuojamo substrato biodujų išeiga yra 820 ml/g LKM, pagaminama daug daugiau energijos negu įrenginio poreikis. Iš viso pagaminama 939 MWh, iš kurių 32 % elektros energija (300 MWh) ir 53 % terminė energija (497), likusi dalis – nuostoliai (140,78 MWh). Analizuojama, kad likusi terminė (420,49 MWh/m.) ir elektros energija parduodama į šilumos ir elektros tinklus (271,75 MWh/m.). Atlikus teorinį vertinimą, nustatyta, kad energijos poreikis įrenginiui (28,51 MWh/m. elektros energijos ir 76,95 MWh/m. terminės energijos) yra gerokai mažiau negu pagaminamos energijos poreikis (žr. 11 pav.).

Toliau priimama, kad nusaustas raugas maišomas su šiaudais tam, kad būtų galima sureguliuoti kompostuojamos masės drėgnį. Maišomas kiekis parenkamas taip, kad mišinio drėgnis būtų tarp 55–60 %. Analizuojamu atveju priimama, kad susidaręs fugatas nukreipiamas į nuotekų tinklus („SimaPro“ duomenų bazėje parenkamas procesas nuotekų tvarkymui).

Toliau remiantis azoto (3,575 %), fosforo (0,2 %) ir kalio (0,381 %) koncentracijomis ŠGP sraute vertinamas šių medžiagų judėjimas anaerobinio apdorojimo metu (žr. 11 pav.). NPK medžiagų pasiskirstymas vertinimas pagal 2.4 poskyryje pateiktą metodiką. Atsižvelgiama, kad dalis BN pasišalins su biodujomis amoniako ir azoto dujų pavidalu. Pagal gautus BN, BP, BK kiekius komposte bus įvertintas poveikio aplinkai sumažėjimas dėl to, kad grąžinus kompostą, kuris turi 3,03 t BN, 0,9 t BP ir 1,505 t BK bus išvengiama azoto, fosforo, kalio trąšų gamybos.

Pagal 2.4 poskyrio metodiką yra įvertinamos emisijos į dirvožemį bei filtratą (žr. 26 lent.). Vertiname, kad sunkieji metalai, esantys komposte, bus priskiriami prie emisijų į dirvožemį, o sunkiųjų metalų emisijos į vandenį bus dėl susidariusio filtrato. Susidaręs kompostas vidutiniškai transportuojamas 60 km aplink susidarymo šaltinį naudojant 10–20 tonų EURO 3 sunkvežimį, kuris apkaunamas 80 % (vertinama, kad grįžta tuščias).

26 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos ŠGP anaerobinio apdorojimo rauge ir emisijos į dirvožemį ir vandenį

Sunkieji metalai	Koncentracija		Visas kiekis		Kiekis komposte		Kiekis filtrate	
Kadmis	0,22	mg/kg SM	0,0424	kg/m.	0,0416	kg/m.	0,001	kg/m.
Švinas	2,5	mg/kg SM	0,482	kg/m.	0,47	kg/m.	0,010	kg/m.
Gyvsidabris	0,42	mg/kg SM	0,081	kg/m.	0,0797	kg/m.	0,0016	kg/m.
Chromas	3,2	mg/kg SM	0,617	kg/m.	0,60	kg/m.	0,012	kg/m.
Cinkas	121	mg/kg SM	23,325	kg/m.	22,86	kg/m.	0,467	kg/m.
Varis	51,5	mg/kg SM	9,928	kg/m.	9,73	kg/m.	0,199	kg/m.
Nikelis	3,2	mg/kg SM	0,617	kg/m.	0,60	kg/m.	0,012	kg/m.

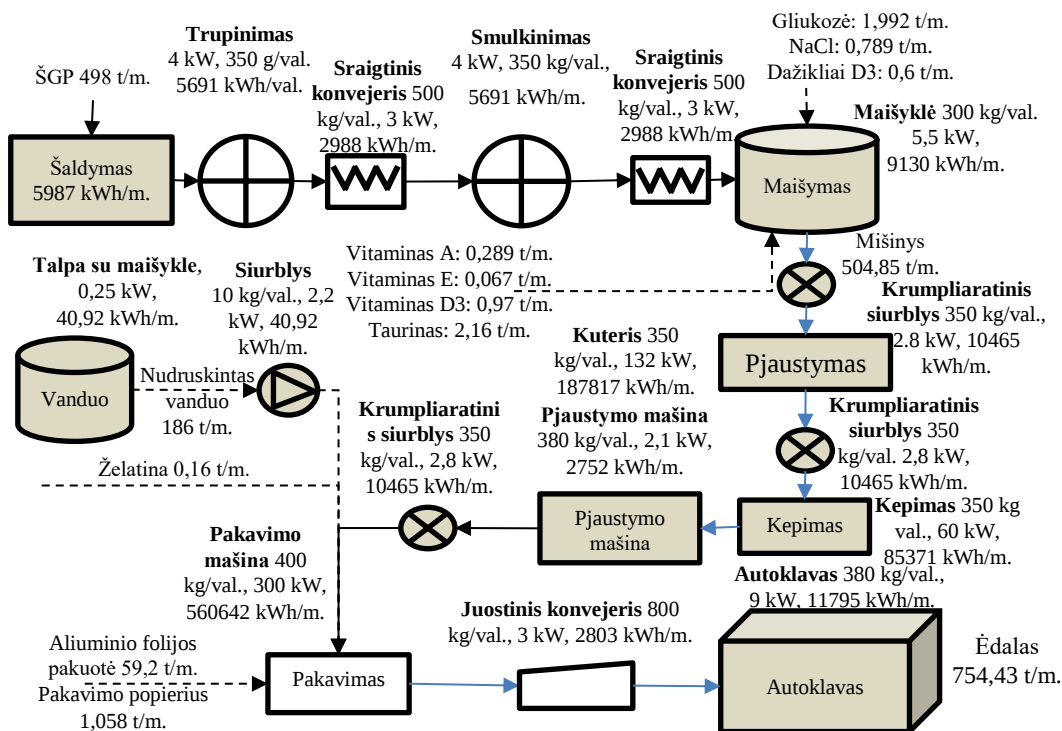
Taip pat įvertinamos dyzelino kuro sąnaudos kompostavimo metu. Priimama, kad bus naudojamas BACKHUS 2800 m³/h našumo vartytuvas, kurio dyzelino kuro sąnaudos yra 16 l/val. Kadangi kompostuojamų medžiagų masė 447,8 t/m., o piltinis tankis 0,7 t/m³, per 1 ciklą įrenginys dirbs 0,23 valandos. Įvertinus, kad reikalingas ciklų skaičius – 14 vnt., iš viso bus sunaudojama 51,18 l dyzelino. Frontalinio krautuvo dyzelino sąnaudos (0,016 l/t) įvertinamos priėmus, kad pakrovimo našumas yra 376 t/val., o kuro sąnaudos pakrauti tokiame kiekiui – 5,6 l/val. Priimama, kad sijotuvą taip pat bus naudojamas BACKHUS prekinio ženklo. Kadangi 60 m³/val. įrenginys suvartoja 4 litrus dyzelino, vienai tonai komposto apdoroti reikės 0,084 l/t. Bendras dyzelino poreikis sutvarkyti 498 t/m. ŠGP yra 67,60 kg.

3.5.1.2 Naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos inventorinės analizės rezultatai

Kadangi mėsos perdirbimo ŠGP srautas homogeniškas, pagal sprendimų priėmimo modelį pirmiausia rekomenduojama APVP gamyba, o tik tada tvarkymas aerobiniu ar fermentavimo procesais. Taip pat pagal modelį pirmiausia svarstomos tos APVP gamybos alternatyvos, kurios leidžia grąžinti maistą atgal į tiekimo grandinę. Mėsos perdirbimo ŠGP pavertus naminių gyvūnėlių ėdalu, būtų išvengiama mėsos gamybos ūkiuose. Pagal modelį siekiama kuo didesnio teigiamo skirtumo tarp esamos ir planuojamos situacijos ($BCI_{\text{prieš}} - BCI_{\text{po} \rightarrow \text{maks.}}$), todėl inovatyvūs sprendimai, galintys sugeneruoti reikšmingą poveikio aplinkai sumažėjimą, keliami į pirmą vietą (tuo grindžiamas ir naminių gyvūnėlių alternatyva). Kadangi PE koncepcija iškelia kapitalo reikšmę, alternatyvos parenkamos atsižvelgiant į projektų atsipirkimo trukmę. Pagal modelį ši atsipirkimo trukmė yra <3,5 metų vertinant subjekto skiriamas lėšas. Naminių gyvūnėlių ėdalo atveju dėl nesudėtingos technologijos tikimasi pasiekti minėtą atsipirkimo trukmę. Žinoma, prieš pridėtinės vertės produktų gamybą turėtų būti vykdomos prevencinės priemonės, kad būtų maksimaliai sumažintas MA srautas, bet tam, kad neišsiplėstume šiuo atveju srauto valdyme pasilieka prie vieno sprendimo.

Siekiant įvertinti naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos poveikį aplinkai, atliekama šios ŠGP valdymo alternatyvos inventorinė analizė. Analizuojamos naudojamos medžiagos, reikalingų įrenginių techniniai parametrai, priimami tam tikri gamybos sprendimai, vertinama teisinė bazė.

Atlikus teisinės bazės apžvalgą matyti, kad ŠGP panaudojimo APVP gamybai metu bus įgyvendami ŠGP reglamento reikalavimai. Pagal ŠGP reglamento VIII priedo I skyriaus 2 skirsnį neperdirbtos 3 kategorijos medžiagos, skirtos gyvūnų augintinių ėdalui, turi būti laikomos ir transportuojamos atšaldytos, nebent būtų perdirbamos per 24 valandas po surikimo. Kadangi kačių ėdalas bus gaminamas atliekų susidarymo vietoje, papildomos įrangos šių ŠGP tvarkymui nereiks. Be to, paties kačių ėdalo gamybos proceso metu žaliavos yra sušaldomos prieš trupinimą, todėl tenkinama net ir antra sąlyga.



12 pav. Naminių gyvūnėlių ėdalo principinė gamybos linija

Įvertinus teisinėje bazėje keliamus reikalavimus, detaliau analizuojama principinė gyvūnėlių ėdalo gamybos linija (žr. 7 pav.). Pirmiausia ŠGP sušaldomi pasiekiant nuo -12 iki -23 °C temperatūrą tam, kad vėliau ŠGP būtų galima smulkinti juos trupinant. Atšaldžius ŠGP sandėliavimo temperatūra palaikoma nuo -12 iki -18 °C. Sušaldyti ŠGP toliau smulkinami dviejuose trupintuvuose (siekiama pasiekti aukštesnį susmulkinimo laipsnį), o po to nukreipiami į maišyklę, kur sutrupinti ŠGP maišomi su priedais (dažikliai, gliukozė, druska, vitaminai A, D3, E), kol medžiagos visiškai susimaišo. Toliau seka kuteriavimas, kurio metu smulkiai supjaustoma žaliava. Po to seka kepimas, kurio pradžioje 80 min. palaikoma 150 °C temperatūra, o vėliau kaitinimo režimas kiek pakinta – kepama 60 min. 110 °C temperatūroje. Iš krosnies ištrauktas gaminys supjaustomas 1 cm gabaliukais. Pakavimo metu aliuminio maišeliai užpildomi ŠGP ir vandens mišiniu. Galiausiai, gauta produkcija autoklavuojama, o po to klijuojamos etiketės.

Žinant principinę gamybos liniją, toliau vertinama medžiagų ir žaliavų poreikis. Beveik 25 % produkcijos sudarys demineralizuotas vanduo (186 t/m.), taip pat apie 14 t/m. demineralizuoto vandens bus sunaudojama plovimo tirpalams iš NaOH (0,3 t/m.) ir HNO₃ (0,4 t/m.) gaminti. Vandens poreikis kitiems tikslams (pvz., plovimo) sieks 486 m³/m., tad galiausiai susidarys apie 500 t/m. vidutinio užterštumo nuotekų, kurios bus tvarkomos miesto nuotekų valykloje.

Kadangi „SimaPro“ duomenų bazėje nėra tokių medžiagų kaip gliukozė, dažikliai, vitaminai A, E, D3, želatina bei taurinas, priimama, kad bus naudojamos kiek įmanoma panašesnės cheminės struktūros medžiagos arba šių medžiagų prekursoriai, esantys duomenų bazėje (žr. 27 lent.). Pavyzdžiui, neradus vitamino D „SimaPro“ programinėje įrangoje įdiegtose duomenų bazėse, kaip atitikmuo buvo parinktas metilcikloheksanas, nes ši medžiaga turi ciklinę struktūrą. Tokiu pat principu parenkami vitamino E ir vitamino D3 atitinkamais, cikloheksanolis ir benzilo alkoholis. Vietoje gliukozės parenkamas paprasčiausias cukrus, kuris yra disacharidas (susideda iš gliukozės ir fruktozės), o vietoje dažiklių, medžiaga, kuri yra naudojama dažų gamyboje – pentaeritritolis. Želatinos atveju parenkama amino rūgštis glicinas.

27 lentelė. Žaliavos naudojamos edalo gamyboje bei jų priimti atitikmenys

Žaliava	Medžiagų poreikis, t/m.	Panašios struktūros medžiagos iš duomenų bazės
Jautiena	198	
Kiauliena	300	
Vitaminas A	0,269	Metilcikloheksanas
Vitaminas E	0,067	Cikloheksanolis
Vitaminas D3	0,97	Benzilo alkoholis
Taurinas	2,16	metano sulfonrūgštis
Gliukozė	1,992	Cukrus
Druska	0,789	
Dažikliai	0,6	Pentaeritritolis
Pakuotė	691007	
Plovimo medžiaga (NaOH)	0,3	
Plovimo medžiaga (HNO ₃)	0,4	
Želatina	0,16	Glicinas
Demineralizuotas Vanduo	186	
Demineralizuotas Vanduo	14	
Vanduo (iš gręžinio) plovimui	486	

Trumpai apibendrinant alternatyvą, jos taikymas leistų panaudoti mėsos perdirbimo ŠGP, kaip APVP, o tai leistų generuoti papildomas pajamas įmonei, kurti darbo vietas (socialinis aspektas) bei mažinti poveikį aplinkai. Būtų tenkinamos visos 3 Darna vystymosi dimensijos, kurios aiškiai pabrėžiamos ir PE koncepcijoje. Nors esamoje situacijoje atgaunamos energetinės ir maistinės medžiagos (kaip kompostas), alternatyviu atveju maistinės savybės būtų išsaugomos kitu lygmeniu – kaip maistinės medžiagos (baltymai, angliavandeniai, riebalai).

Pagal siūlomą modelį, šios alternatyvos taikymas būtų kaip MA panaudojimas APVP gamybai. Kadangi apibrėžti ribojančiais parametrais APVP gamybą yra neįmanoma dėl dažnai inovatyvių sprendimų, kurie tam tikroje laiko projekcijoje gali būti skirtingai reiklūs investicijoms, šių projektų diegimui taikytini tik atsipirkimo trukmės ir kuo mažesnio poveikio aplinkai parametrai. Tokios alternatyvos diegimas pareikalautų didelių investicijų. Vertinama, kad tokios linijos diegimas kainuotų apie 1,5 mln. eurų, o atsipirkimo trukmė būtų apie 4–5 metus. Vis dėlto toks sprendimas

pretenduotų į keletą subsidijavimo fondų (aplinkosauginiai ir regionų plėtros fondai), todėl visiškai realu pasiekti modelyje užduotą atsipirkimo trukmės tikslą (<3,5 metų).

Kaip pakavimo sprendimas priimamas tipinis tokio pobūdžio produkto pakavimo būdas – aliuminio pakuotė (1 kg talpos maišeliai). Vienos pakuotės masė bus 0,08 kg, o iš viso tektų sunaudoti apie 55,281 t/m. aliuminio. Taip pat įvertinamas popierinių etikečių poreikis. Priimama, kad etiketei bus naudojama 115 g^{m2} masės A6 formato popierius, kurio metinis poreikis sieks 1235 kg. Atliekant BCĮ vertinama, kad 90 % sunaudoto aliuminio bus išrūšiuojama. Toks aukštas išrūšiavimo procentas parenkamas dėl to, kad mišrių komunalinių atliekų tvarkymo įrenginiuose plačiai taikoma nemagnetinių metalų atskyrimo įranga.

3.5.1.3 Anaerobinio ŠGP tvarkymo palyginimas su naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyva remiantis BCĮ metodika

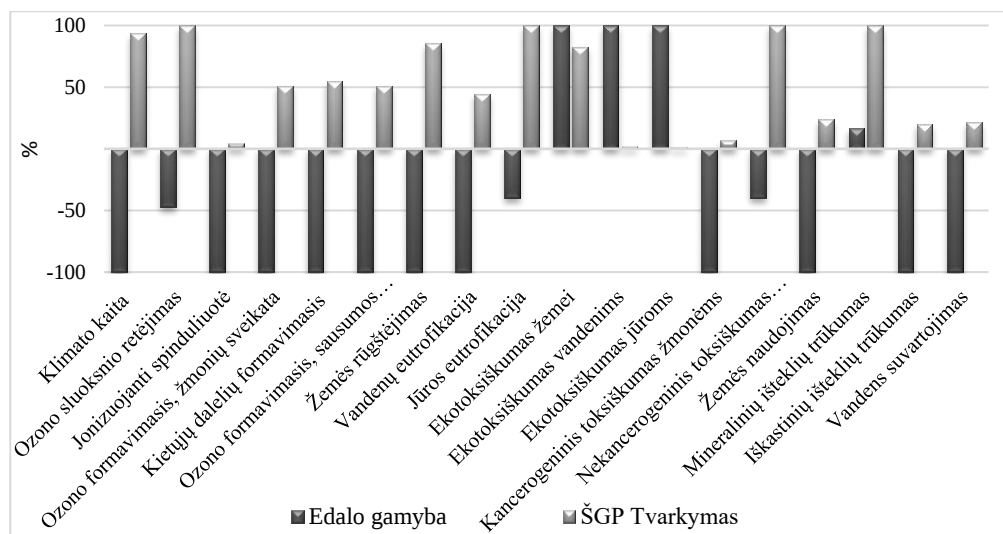
Atlikus naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos ir dabar taikomo ŠGP tvarkymo alternatyvų poveikio aplinkai vertinimą būvio cikle, buvo gauti tokie rezultatai. Kadangi buvo vertinama, kad bus išvengiama 498 t/m. mėsos gamybos – poveikio aplinkai sumažėjimas buvo žymus. Bene didžiausias poveikio aplinkai sumažėjimas buvo stebimas žmonių sveikatos kategorijoje. O visą poveikį aplinkai suvedus į poveikio taškus, gaunama, kad poveikis aplinkai mažėja nuo 4,13 MPt iki -2,62 MPt. (žr. 28 lent.)

28 lentelė. Naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyvos palyginimas su ŠGP anaerobiniu apdorojimu

		Planuojama situacija	Esama situacija
Iš viso	MPt	-2,62	4,13
Žmonių sveikata	MPt	-2,04	3,97
Ekosistemos	MPt	-0,574	0,159
Ištekliai	MPt	0,00435	0,00102

Palyginus anaerobinio ŠGP tvarkymą su siūloma naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyva gana aiškiai skiriasi šių dviejų valdymo būdų poveikis aplinkai klimato šiltėjimo kategorijoje (žr. 13 pav.). Rezultatai atskleidžia, kad naudojant alternatyvią valdymo sistemą, kuri akcentuoja APVP gamybą, t CO₂ ekvivalentas sumažėtų nuo 12550 iki -13381 t CO₂ ekv. (žr. 29 lent.).

Įdiegus naminių gyvūnėlių ėdalo gamybos alternatyvą vietoje anaerobinio apdorojimo, poveikis aplinkai mažėtų 15 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų (žr. 13 pav.). Toks ženklus sumažėjimas poveikio aplinkai kategorijose būtų pasiektas dėl išvengiamos mėsos gamybos (498 t/m.). 11 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų, tarp jų klimato kaitos, jonizuojančios spinduliuotės, iškastinio kuro trūkumo kategorijose, poveikis, esamos valdymo sistemos atžvilgiu, sumažėjo drastiškai (-100 %). Minusinė reikšmė gaunama todėl, kad lyginant esamą ir alternatyvią valdymo sistemą, 100 % prilyginama didesnė vertė nepriklausomai ar ji teigiama ar minusinė. Tada tos didesnės vertės atžvilgiu įvertinama antroji reikšmė. Poveikio aplinkai nesumažėjimas likusiose kategorijose siejamas su dideliu elektros energijos poreikiu produkto gamybai.



13 pav. Grafinis analizuojamų alternatyvų poveikio aplinkai atvaizdavimas vidurio taškuose

29 lentelė. ŠGP valdymo alternatyvos skirtingose poveikio aplinkai kategorijose vidurio taškuose

	Vienetai	Edalo gamyba	ŠGP tvarkymas
Klimato kaita	kg CO ₂ ekv	-13380507	12549789
Ozono sluoksnio retėjimas	kg CFC11 ekv	-46,2	98,6
Jonizuojanti spinduliuotė	kBq Co-60 ekv	-756836	29931
Ozono formavimasis, žmonių sveikata	kg NO _x ekv	-21367	10935
Kietųjų dalelių formavimasis	kg PM _{2.5} ekv	-21514	11781
Ozono formavimasis, sausumos ekosistemos	kg NO _x ekv	-21768	11125
Žemės rūgštėjimas	kg SO ₂ ekv	-72881	62197
Vandenų eutrofikacija	kg P ekv	-3990	1780
Jūros eutrofikacija	kg N ekv	-7518	19005
Ekotoksiškumas žemei	kg 1,4-DCB	14292029	11804452
Ekotoksiškumas vandenims	kg 1,4-DCB	13121516	225823
Ekotoksiškumas jūroms	kg 1,4-DCB	15637906	246681
Kancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	-2917903	201857
Nekancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	-374393355	945447028
Žemės naudojimas	m ² a javų ekv	-110342143	26154189
Mineralinių išteklių trūkumas	kg Cu ekv	4639	27935
Iškastinių išteklių trūkumas	kg naftos ekv	-2205267	444417
Vandens suvartojimas	m ³	-522246	112341

Nagrinėjamu atveju poveikio aplinkai sumažėjimas yra reikšmingas, vis dėlto tokios alternatyvos diegimas pareikalautų didelių investicijų. Vertinama, kad tokios linijos diegimas kainuotų apie 1,5 mln. eurų, o atsipirkimo trukmė būtų apie 4–5 metus.

Nors naminių gyvūnėlių ėdalo alternatyva labiau realizuoja pramoninės simbiozės elementą, kai vienos pramonės įmonės atliekos tampa žaliava kitai kompanijai, iš tiesų šiuo pavyzdžiu buvo siekiama parodyti dematerializavimo elemento įgyvendinimą. Be to, dematerializavimo elemento taikymas labiau tinka nagrinėjamu atveju, nes analizuojamos tos pačios įmonės MA / žaliavos. Pasiekiamą dematerializavimo efektą puikiai iliustruoja ir gauti BCĮ rezultatai, visoje tiekimo grandinėje ženkliai mažėja medžiagų ir energijos poreikis, kuris atspindi poveikio aplinkai kategorijose bei bendrame poveikio aplinkai sumažėjime.

3.5.2 Komunalinių maisto atliekų valdymo optimizavimas

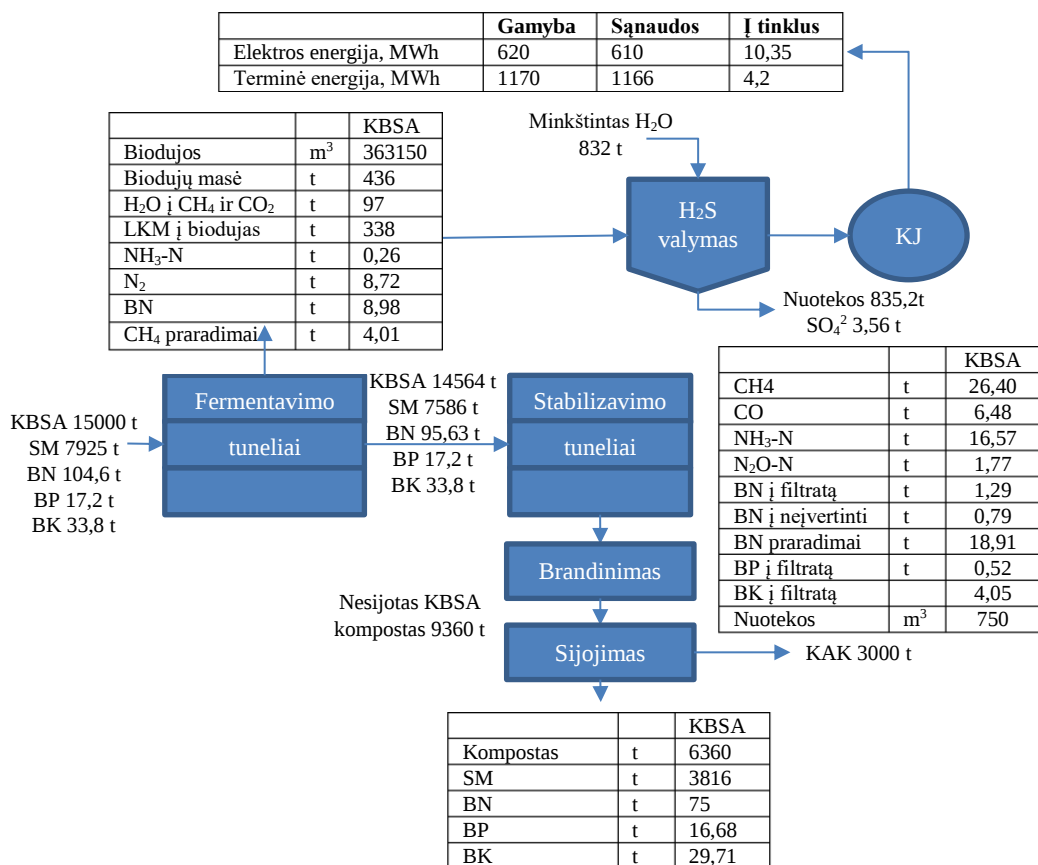
Šiame skyriuje vertinama esama ir planuojama Utenos regiono KMA valdymo sistema, remiantis BCĮ metodika. Pagal modelį, identifikavus dabartinio valdymo problematiką bei toliau taikant modelio atliekų tvarkymo bloke esančius fermentavimo ir aerobinio apdorojimo procesų ribojančius parametrus, parenkama valdymo alternatyva. Atliekama esamos ir alternatyvios valdymo sistemų BCĮ analizė.

3.5.2.1 Esamos KMA valdymo sistemos inventorinės analizės rezultatai

Analizuojant KMA optimizavimo galimybes pagal modelį, pradedama nuo esamos situacijos detalios analizės. Renkama ir įvertinama esamos komunalinių MA valdymo sistemos infrastruktūra, identifikuojamos problemos, sudaromas medžiagų ir energijos balansas, kurio duomenys vėliau naudojami BCĮ.

Atlikus esamo Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginio analizę bei inventorizavus srautus buvo pastebėtos kelios problemos. Pirmiausia, įrenginyje pagaminamos elektros ir terminės energijos vos pakanka patenkinti įrenginio energiniams poreikiams, todėl į tinklus parduodama tik 10,35 MWh elektros ir 4,2 MWh šiluminės energijos, priskiriamos atsinaujinančiai. Antra, gaminamas techninis kompostas, kuris yra užterštas sunkiaisiais metalais, dėl to negalima jo panaudoti žemės ūkyje. 2016 m. techninis kompostas buvo nukreipiamas sąvartyno sluoksnių perdergimui, kas reiškia, kad komposte esantis azotas, fosforas, kalis buvo tiesiog prarandamas be galimybės šias medžiagas pakartotinai naudoti žemės ūkyje.

Siekiant įvertinti Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginio poveikį aplinkai, susidariusį 2016 m., pirmiausia įvertinami medžiagų srautai (žr. 14 pav.). Pagrindinė žaliava šiam procesui yra KBSA mechanškai išskirtos iš mišrių komunalinių atliekų srauto. Kadangi siekiama sužinoti, kiek SM skils į biodujas ar sumažės toliau kompostuojant, kiek vandens bus sunaudojama reakcijoje su biologiškai skaidžia medžiaga bei kiek NPK bus prarandama viso apdorojimo metu, surenkami duomenys apie šių atliekų kokybę.



14 pav. Esamo Utenos biologinio apdorojimo įrenginio srautų diagrama

Remiantis Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginio stebėsenos duomenimis, 2016 m. buvo stebima 24,21 m³/t KBSA biodujų išeiga, remiantis šiuo indikatoriumi buvo vertinta biodujų išeiga per 2016 metus. Vėliau žinant vidutinę metano koncentraciją biodujose (60 %) bei naudojantis Buswell'o lygtimi (žr. 5 formulę) apskaičiuojama, kiek apytiksliai lakių kietųjų medžiagų (LKM) bei vandens pereis iš substrato į biodujas (CO₂ ir CH₄ pavidalu). Azoto balanso sudarymui taip pat vertinama, kiek NH₃-N ir N₂ dujų susidarys ir pašalinis iš sistemos su biodujomis. Tai atliekama remiantis vidutinėmis šių dujų koncentracijomis biodujose, priimama, kad NH₃ yra 0,1 %, o N₂ – 2,4 %. Taip pat, įvertinamos CH₄ emisijos dėl pralaidų. Biodujų biologiniame valyme (H₂S šalinimas) reikia 832 t minkštinto vandens ir susidaro 835,2 t nuotekų, kuriose visas SO₄²⁻ kiekis 3,56 t.

Biodujų deginimo kogeneracinėje jėgainėje (KJ) poveikis aplinkai įvertinamas „SimaPro“ duomenų bazėje pasirinkus kogeneracijos procesą (angl. *Co-generation biogas*). Pagal visą sudeginamų biodujų kiekį (363150 m³) įvertinamas poveikis dėl naudojamų tepalų bei susidarantių degimo produktų.

Žinant, kiek medžiagų pasišalina su biodujomis, apskaičiuojamas digestato kiekis ir likęs NPK kiekis. Toliau stabilizavimo tuneliuose vyksta intensyvus kompostavimas, kur vanduo pasišalina nuotekų ir vandens garų pavidalu, taip pat skyla sausa medžiaga (SM) bei išsiskiria emisijos. Visos kitos emisijos ir medžiagų praradimai vertinami pagal antrame skyriuje pateiktą metodiką. Susidariusios nuotekos „SimaPro“ programinėje įrangoje prilyginamos nuotekoms, kurios susidaro anaerobiškai apdorojant pieno perdirbimo išrūgas (nuotekos turi panašią biocheminio deguonies suvartojimo reikšmę).

Po intensyvaus kompostavimo toliau seka brandinimas, kurio metu stabilizuojasi komposto kokybės parametrai (laidumas, biologinis skaidumas) ir gaunamas produktas. Gautame produkte atsijojamos priemaišos, kurios dažnai siekia net iki 30 % atliekų, šiuo atveju buvo priimta, kad priemaišų kiekis lygus 20 %. Ši frakcijai laikoma kietuoju atgautuoju kuru (KAK), kurio tvarkymo poveikis aplinkai įvertinamas priimant, kad ši frakcija transportuojama 326 km į Klaipėdą deginimui. KAK tvarkymo poveikis įvertinamas „SimaPro“ programine įranga parinkus procesą plastiko atliekų deginimas (angl. *waste incineration of plastic*). Kaip rezultatas gaunamas techninis kompostas, kuriame yra 75 t BN, 16,68 t BP ir 29,71 t BK. Vis dėlto šios medžiagos nukreipiamos sąvartyno sluoksnių perdengimui, nes dėl viršijančių normos ribas sunkiųjų metalų koncentracijų šio komposto negalima naudoti žemės ūkyje (žr. 30 lent.). Kaip ir NPK, taip ir sunkieji metalai lieka įmobilizuoti, todėl jų emisijų į dirvožemį nevertiname.

Analizuojamu atveju dyzelino sąnaudos frontaliniam krautuvui buvo apskaičiuotos priimant, kad per valandą frontalinis krautuvas gali atlikti 277 pakrovimus, priimant, kad krautuvo kaušo tūris $1,9 \text{ m}^3$, medžiagos tankis $0,7 \text{ t/m}^3$, o kaušo pripildymo efektyvumas 0,9, dyzelino sąnaudos pasiekia 0,016 litro tonai BSA (iš viso 677 kg/m.). Kuro sąnaudos komposto vartymui vertinamos priėmus, kad vartytuvo našumas $2600 \text{ m}^3/\text{val.}$ (1960 t/val. , kai medžiagos tankis $0,7 \text{ t/m}^3$), o kuro sąnaudos 16 l/val. (iš viso 128 kg/m.). Priimama, kad kompostas bus vartomas tik du kartus ($0,016 \text{ l/t BSA}$), nes intensyvaus kompostavimo metu priverstinai yra paduodamas oras. Sijotuvo dyzelino poreikis apskaičiuojamas pagal įrenginio našumą (42 t/val.) ir dyzelino sąnaudas 4 l/val. (iš viso 749 kg).

30 lentelė. Sunkiųjų metalų pasiskirstymas tarp komposto ir filtrato

Sunkieji metalai	KBSA					
	Koncentracija			Visas kiekis, kg/m.	Komposte, kg/m.	Filtrate, kg/m.
	mg/kg SM	mg/kg	mg/l			
Kadmis	0,98	0,59	0,44	3,74	3,67	0,075
Švinas	76,8	46,1	34,6	293,1	287	5,86
Gyvsidabris	0,001	0,0006	0,00045	0,004	0,0037	0,00008
Chromas	52	31,2	23,4	198	194	3,97
Cinkas	1408	845	634	5373	5266	107,5
Varis	242	145	109	924	905	18,5
Nikelis	45,3	27,2	20,4	173	169	3,46

Pastaba: Sunkiųjų metalų koncentracijos į mg/kg perskaičiuotos pagal SM kiekį (60 % SM), o koncentracija iš mg/kg į mg/l pagal priimtą piltinį tankį ($0,75 \text{ kg/l}$).

Pagal sprendimų priėmimo paramos modelį MA tvarkymas, kai medžiagos negrįžta į natūralų ciklą, neatitiktų PE koncepcijos (nebūtų grįžtamojo medžiagų srauto į žemės ūkį, kuris modelyje itin reikšmingas). Be to, toks valdymas pagal modelį neatitiktų užduotos cinko koncentracijos kompostavimo procese (800 mg Zn/kg SM pagaminto komposto) (žr. 22 lent.), kai duotuoju atveju cinko koncentracija 1408 mg Zn/kg SM (žr. 30 lent.). Modelio biokonversijos bloke neatitiktų optimalioms sunkiųjų metalų koncentracijoms dar daugiau. Cinko koncentracija (633,6 mg Zn /l) optimalias anaerobinio proceso ribas (0–5 mg Zn /l) viršija daugiau negu 6 kartus, chromas beveik du kartus (<12 mg Cr/l), o štai kadmio (0,1–0,3 mg Cd/l) ir varis (0–100 mg Cu/l) optimalias vertes viršijo nežymiai (žr. 19 lent.).

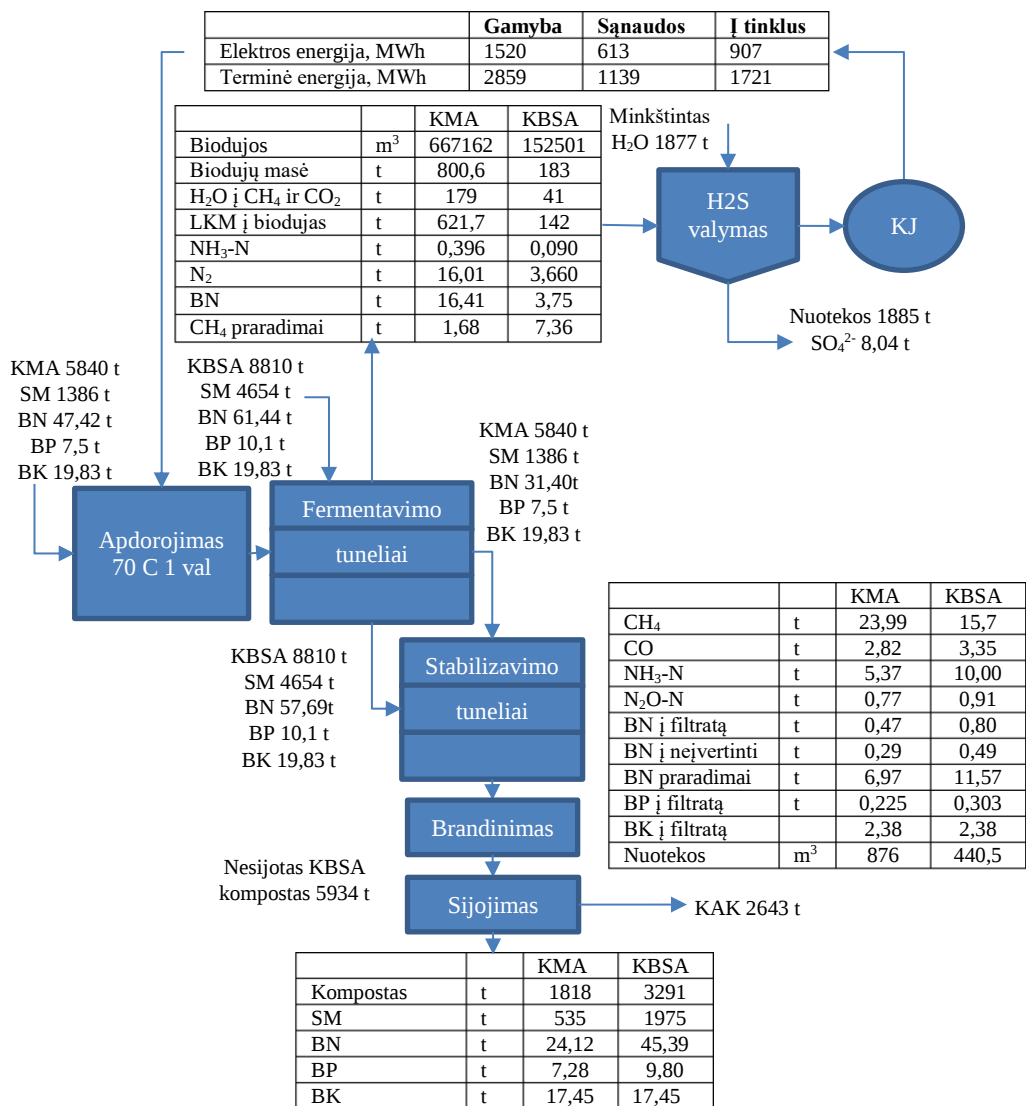
Apibendrinant pastebėtina, kad atlikta esamos valdymo sistemos analizė ir srautų inventorizavimas parodė, kad pagaminamos energijos praktiškai užtenka tik įrenginio poreikiams. Taip pat gaminamas techninis kompostas, kuris dėl užterštumo sunkiaisiais metalais pritaikymo žemės ūkyje neturi, dėl to negalima pakartotinai naudoti 75 t BN, 16,68 t BP ir 29,71 t BK.

3.5.2.2 Planuojamos KMA valdymo sistemos inventorinės analizės rezultatai

Siekiant įgyvendinti modelio tikslo funkciją, parenkama ir įvertinama komunalinių MA alternatyvi valdymo sistema. Pagal modelio taikymo algoritmą išanalizavus esamą KMA valdymą Utenos regione 2016 metais ir identifikavus problemas bei remiantis sprendimų priėmimo paramos modelyje užduotomis sunkiųjų metalų RV kompostavimo ir biokonversijos blokuose siūloma optimizuoti procesą dalinai įdiegus maisto atliekų rūšiavimą. Pagal modelį, siekiama kuo didesnio teigiamo skirtumo tarp esamos ir planuojamos situacijos ($BCI_{\text{prieš}} - BCI_{\text{po}} \rightarrow \text{maks.}$), todėl sprendimas, leidžiantis grąžinti medžiagas į natūralų ciklą bei optimizuoti energijos gamybą, leistų sukurti reikšmingą poveikį aplinkai skirtumą. Dalinio KMA surinkimo priežastis atsiranda dėl ekonominių priežasčių, nes alternatyvų atrankos kriterijus taip pat yra projekto atsipirkimo trukmė (<3,5 metų vertinant subjekto skiriamas lėšas).

Planuojamos situacijos atveju biologinio apdorojimo renginio apkrova BSA šiek tiek mažėja dėl lygiagrečiai diegiamos kavinių MA valdymo alternatyvos. Kavinių MA valdymo alternatyvos diegimas leistų sukompostuoti apie 350 t kavinių MA ir taip sumažinti šių atliekų patekimą į Utenos biologinio apdorojimo įrenginį. Tokiu atveju bendras atliekų kiekis lieka 14650 t (žr. 15 pav.).

Priimama, kad iš pagrindinių regiono taršos šaltinių bus surenkama 80 % MA (iš viso 5840 t). Likęs kiekis – 8810 t KBSA, kurių tvarkymas bus įprastas. Dėl MA surinkimo iš didžiausių regiono miestų ir miestelių bei dėl jau eliminuotų didžiausių kavinių MA (350 t) (dėl intensyvaus kompostavimo taršos šaltinyje) tik nežymiai išaugtų dyzelino sąnaudos – 26,28 t/m. prieš ir 26,58 t/m. po.



15 pav. Planuojama situacija Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginyje pritaikius siūlomą valdymo sistemą

Mokslinėje literatūroje teigiama, kad rūšiuotų MA biocheminis metano potencialas gali siekti 220 m³/t BSA, o įprastai šis dydis svyruoja plačiame intervale 100–200 m³/t BSA (vidurkis 150 m³/t BSA). Tačiau dėl techninių galimybių viso biodujų potencialo išnaudoti negalima. Priimama, kad bus išnaudojama apie 75 % potencialo, kas sąlygotų 114,24 m³/t šaltinyje rūšiuotų KMA biodujų išgavimą. Kadangi beveik 40 % bioskaidžios frakcijos bus surenkama atskirai, numatoma, kad likusi KBSA frakcija turės daugiau priemaišų bei bus labiau užteršta sunkiaisiais

metalais, kurie taip pat mažina biodujų išgavimą, todėl priimama, kad biodujų išeiga kris iki 17,31 m³/t KBSA. 2016 m. duomenimis, Utenos regiono biologinio apdorojimo įrenginyje biodujų išeiga siekia tik 24,21 m³/t KBSA, siūloma dalį KMA surinkti atskirai ir taip padidinti biodujų gamybą visam tvarkomam kiekiui iki 55,95 m³/t KBSA.

Toks ženklus biodujų gamybos išaugimas reikšmingai padidintų energijos gamybą, kas leistų didelį kiekį terminės ir elektros energijos parduoti kaip atsinaujinančią energiją. Skaičiuojama, kad iš viso būtų pagaminama 1520 MWh/m. elektros ir 2859 MWh/m. šiluminės energijos, o sunaudota atitinkamai 613 MWh/m. elektros ir 1139 MWh/m. terminės energijos. Reikšmingas skirtumas tarp gamybos ir sąnaudų leistų parduoti 907 MWh/m. elektros ir 1721 MWh/m. terminės energijos. „SimaPro“ programine įranga vertinama, kad bus sumažinamas elektros energijos poreikis iš kitų šaltinių, o terminės šilumos atveju – kaip sumažės šiluminės energijos tiekimas iš šaltinių, deginančių gamtines dujas.

Pritaikius atskirą MA surinkimą ir tvarkymą, įrenginyje privalėtų atsirasti papildoma įranga. Pagal ŠGP reglamento nuostatas, atskirai surinktos MA priskiriamos 3 kategorijos ŠGP, todėl jos turi būti tvarkomos pagal šio teisės akto reikalavimus. Pagal ŠGP reglamentą, 3 kategorijos atliekos turi būti termiškai apdorojamos (pagal modelį adaptuojama technologija). Higienizacijai atlikti parenkama MAVITEC technologija (instaliuota galia 35 kW), kuri energijos sąnaudas atliekų apdorojimui padidins 44 MWh per metus (elektros poreikis tonai atliekų padidėtų nuo 40,64 iki 43,65 kW). Taip pat papildomai reikėtų iki 39700 vnt. 50–100 l konteinerių. Tiek įrangai, tiek konteineriams reikėtų 676 000 EUR investicijų. Nors tokios alternatyvos įdiegimo atveju dyzelino sąnaudos surinkimui išaugų 0,37 t/m. (-837 EUR), 0,18 t/m. sumažėtų dyzelino sąnaudos biologinio apdorojimo įrenginyje (163 EUR) ir 30 l/m. probiotikų (396 EUR), naudojamų kompostavime, būtų parduodama atitinkamai 870,07 MWh/m. ir 1716,33 MWh/m. daugiau elektros (32 001 EUR) bei terminės (61 788 EUR) energijos ir pagaminama 2930 t/m. agronomiškai vertingo komposto (35 160 EUR), iš viso sutaupant 128 671 EUR. Tokiu atveju, projekto atsipirkimo trukmė būtų apytiksliai 5,3 m., o gavus finansavimą iš aplinkosauginių fondų būtų pasiekiamas užsibrėžta modelyje atsipirkimo trukmė <3,5 m.

Toliau vertinamas abiejų srautų masės balansas. Naudojant Buswell'o lygtį (žr. 5 formulę) vertinamas LKM skilimas į biogujas bei vandens poreikis CH₄ ir CO₂ susidarymui. Analogiškai, kaip ir esamoje situacijoje, įvertinamas vandens poreikis H₂S valymui (1877 t), nuotekų kiekis (1885 t) bei SO₄²⁻ kiekis (8,04 t). Po to, įvertinus KBSA ir KMA digestato kiekį, buvo įvertintos emisijos, kurios susidaro kompostavimo metu, bei bendras NPK balansas apskaičiuojant galutinį NPK kiekį komposte (žr. 2.4 skyrių). Vertinant nuotekų, kurios susidaro stabilizuojant KMA digestatą, kiekį buvo parinkta didesnė nuotekų norma – 0,15 m³/t KBSA. Toks pasirinkimas pagrindžiamas tuo, kad digestato drėgnis yra labai didelis.

Taip pat vertinama, kad išėmus 5840 t KMA iš KBSA srauto, priemaišų kiekis turėtų išaugti. Todėl buvo priimta, kad priemaišų kiekis KBSA sraute išaugs nuo 20 iki 30 %. Vis dėlto bendras priemaišų kiekis vis tiek sumažėtų nuo 3000 t iki 2643 t.

O skirtumas tarp šių kiekių būtų išrūšiuojamas mechaninio apdorojimo įrenginyje. Tai iš viso sudarytų 357 tonų plastiko atliekų, priimama, kad 80 % būtų polietilenas (285,6 t), o 20 % polietilenteraftalatas (71,4 t). „SimaPro“ programinėje įrangoje šie srautai vertinami kaip rūšiuojamieji, dėl to mažėja poveikis aplinkai.

31 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos KBSA ir KMA kompostuose ir pasiskirstymas tarp filtrato ir komposto

	KBSA			
	Koncentracija, mg/kg SM	Visas kiekis, kg/m.	Komposte, kg/m.	Filtrate, kg/m.
Kadmis	0,98	1,94	1,90	0,04
Švinas	76,8	152	149	3,03
Gyvsidabris	0,001	0,002	0,00	0,00004
Chromas	52	102,69	101	2,05
Cinkas	1408	2780	2725	55,61
Varis	242	478	468	9,56
Nikelis	45,3	89,5	87,7	1,79
	KMA			
	Koncentracija, mg/kg SM	Visas kiekis, kg/m.	Komposte, kg/m.	Filtrate, kg/m.
Kadmis	0,22	0,12	0,12	0,002
Švinas	2,5	1,34	1,31	0,027
Gyvsidabris	0,422	0,23	0,22	0,005
Chromas	3,2	1,71	1,68	0,034
Cinkas	121	64,8	63,48	1,295
Varis	51,5	27,6	27,02	0,551
Nikelis	3,2	1,71	1,68	0,034

Proceso išėjimuose gaunamas dviejų tipų kompostas. Vienas jų techninis, o kitas tinkamas naudoti žemės ūkyje dėl atitikties užterštumo sunkiaisiais metalais reikalavimams (žr. 31 lent.). Gaminamo techninio komposto kiekis vertinamas priimant, kad digestato kiekis sumažės 45 %, KMA komposto atveju skaičiuojama, kad vandens kiekis sumažės 70 %, o sausos medžiagos kiekis – 30 %.

Analogiškai atliekamas dyzelino kuro sąnaudų vertinimas alternatyviai KMA valdymo sistemai. Gaunama, kad frontaliniam krautuvui iš viso reiks 615 kg/m. (0,018 l/t BSA), vartytuvui – 187 kg/m. (0,016 l/t BSA), sijotuvui – 620 kg/m. (0,095 l/t BSA). Nagrinėjamu atveju kuro sąnaudos šiek tiek mažėja, kadangi galutinio KMA komposto masė ženkliai sumažėja dėl pašalinančio vandens. Dėl to mažėja dyzelino poreikis jį pakrauti bei sijoti.

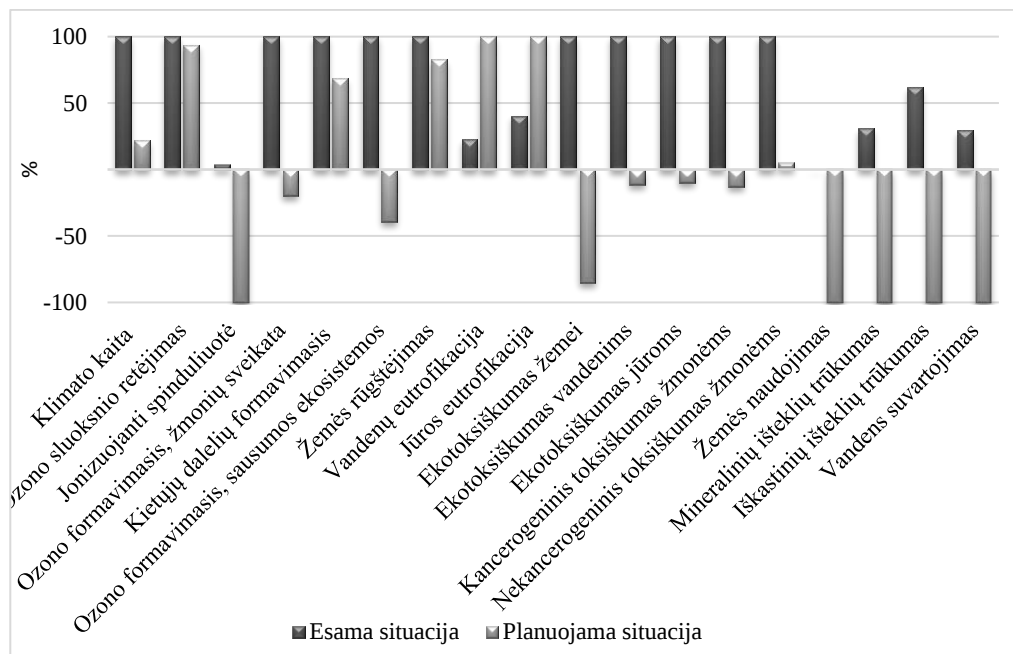
Trumpai apibendrinant, rūšiavimo šaltinyje optimizavimo sprendimas leistų ženkliai padidinti elektros (nuo 620 iki 1520 MWh/m.) ir terminės (nuo 1170 iki 2859 MWh/m.) energijos gamybą. Be to, pavyktų sumažinti techninio komposto gamybą 50 %, o vietoje jo pagaminti agronominę vertę turintį, neužterštą sunkiaisiais metalais, produktą.

3.5.2.3 Esamos ir planuojamos komunalinių maisto atliekų valdymo alternatyvų palyginimas remiantis būvio ciklo vertinimo metodika

Remiantis inventorine analize, buvo atliktas BCĮ Utenos regiono KMA valdymo alternatyvoms. Buvo lyginama situacija, kuri buvo 2016 m. su naujai siūlomu MA valdymo pakeitimu. Atlikus BCĮ analizę žalos kategorijose ir suvedus poveikį į poveikio taškus buvo nustatytas reikšmingas poveikio aplinkai sumažėjimas (nuo 16 Pt iki -350 Pt). Iš trijų vertinamų kategorijų, didžiausias sumažėjimas buvo stebimas ekosistemų kategorijoje (žr. 32 lent.).

32 lentelė. 2016 m. Utenos komunalinių maisto atliekų valdymo poveikio aplinkai palyginimas su alternatyviu valdymu žalos kategorijose, būvio cikle

	Vienetai	Esama situacija	Planuojama situacija
Iš viso	Pt	16	-350
Žmonių sveikata	Pt	14,7	4,83
Ekosistemos	Pt	1,33	-355
Ištekliai	Pt	0,0206	-0,0231



16 pav. Esamos ir planuojamos komunalinių maisto atliekų valdymo alternatyvų poveikis aplinkai įvairiose poveikio aplinkai kategorijose

Tokių sumažėjimą pirmiausiai turime sieti su padidėjusia bioenergijos bei kokybiško komposto gamyba. Dideli kiekiai BN, BP ir BK, taikant alternatyvią valdymo sistemą, būtų grąžinami atgal į dirvožemį palyginti su esama situacija, kai gaunamas techninis stabilatas naudojamas sąvartynų sluoksnių perdengimui.

Palyginus KMA valdymo alternatyvas tarpusavyje, vidurio taškuose, 16-likoje iš 18-likos poveikio aplinkai kategorijų buvo gautas sumažėjimas (žr. 16 pav.). Neigiamas alternatyvos poveikis matomas tik eutrofikacijų kategorijose. Bet tai būtų galima susieti su azotu ir fosforu komposte, kuris, planuojamu atveju, grįžta į dirvožemį ir dėl to susidaro tarša priešingai negu gaminant techninį kompostą, kuris naudojamas tik sąvartynų sluoksnių perdengimui (azotas ir fosforas lieka imobilizuotas sąvartyne).

Įvertinus poveikį aplinkai žalos kategorijose vidurio taškuose gaunami teigiami rezultatai. 8 kartus padidinus atsinaujinančios energijos gamybą, poveikis klimato kaitos kategorijoje sumažėjo 4 kartus. Ženkliai sumažėjo iškastinių išteklių eikvojimas – nuo 7,23 iki -11,67 kg naftos ekvivalento ir išskirtinai žemės naudojimas – nuo 0,66 iki -71703 m²a javų ekv. (žr. 33 lent.).

33 lentelė. Esamos ir planuojamos KMA valdymo alternatyvų poveikių aplinkai palyginimas 18-oje poveikio aplinkai kategorijų

	Vienetai	Esama situacija	Planuojama situacija
Klimato kaita	kg CO ₂ ekv.	612,2	134
Ozono sluoksnio retėjimas	kg CFC11 ekv.	0,0021	0,0020
Jonizuojanti spinduliuotė	kBq Co-60 ekv.	0,53	-14,19
Ozono formavimasis, žmonių sveikata	kg NO _x ekv.	0,34	-0,07
Kietųjų dalelių formavimasis	kg PM _{2.5} ekv.	0,38	0,26
Ozono formavimasis, sausumos ekosistemos	kg NO _x ekv.	0,35	-0,14
Žemės rūgštėjimas	kg SO ₂ ekv.	2,80	2,31
Vandenų eutrofikacija	kg P ekv.	0,01	0,03
Jūros eutrofikacija	kg N ekv.	0,01	0,03
Ekotoksiškumas žemei	kg 1,4-DCB	73,98	-62,78
Ekotoksiškumas vandenims	kg 1,4-DCB	13,92	-1,56
Ekotoksiškumas jūroms	kg 1,4-DCB	17,77	-1,79
Kancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	8,77	-1,14
Nekancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	139,22	7,11
Žemės naudojimas	m ² a javų ekv	0,66	-71703
Mineralinių išteklių trūkumas	kg Cu ekv	0,07	-0,21
Iškastinių išteklių trūkumas	kg naftos ekv	7,23	-11,67
Vandens suvartojimas	m ³	0,24	-0,83

Apibendrinat KMA valdymo alternatyvų BCĮ rezultatus, pasakytina, kad poveikis aplinkai mažėja 16 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų vidurio taškuose. Pavyzdžiui, poveikio aplinkai sumažėjimas klimato kaitos kategorijoje siekia 78 %, nekancerogeninis toksiškumas žmonėms sumažėjo 95 %, o ekotoksiškumas vandenims – 111 %. Vertinant srautus galutiniuose taškuose, poveikis aplinkai mažėja visose 3-ose žalos kategorijose (labiausiai ekosistemų kategorijoje), o poveikis aplinkai, suvestas į vieną vertę, sumažėja 23 kartais lyginant esamą KMA valdymo sistemą su alternatyvia.

Šia alternatyva taip pat įgyvendinamas dematerializavimo elementas. Dėl ženkliai išaugusios atsinaujinančios energijos gamybos ir aukštos agronominės vertės

komposto gamybos efektyviau pradedamos išnaudoti medžiaginės ir energetinės savybės, kas sąlygoja sumažėjusius materialijų srautų kiekius maisto produktų tiekimo grandinėje (žiūrint holistiškai).

3.5.3 Kavinių ŠGP valdymo optimizavimas tvarkant jas arčiau šaltinio ir gaminant produktą

Dar vienu modelio aprobavimo atveju siekiama įrodyti aplinkosauginį potencialą tvarkant kavinių ŠGP arčiau susidarymo šaltinio remiantis PE koncepcija. Identifikavus esamo valdymo problemą (žr. modelio taikymo algoritmą) ir parinkus valdymo alternatyvą atsižvelgiant į problemą bei ribojančius modelio MA tvarkymo bloko parametrus, buvo parinkta ŠGP tvarkymo arčiau susidarymo šaltinio alternatyva. Šia alternatyva įgyvendinami pramoninės simbiozės ir dematerializavimo elementai.

3.5.3.1 Esamos kavinių ŠGP valdymo sistemos inventorinės analizės rezultatai

Šiam MA srautui pradedama analogiška procedūra, kaip ir anksčiau analizuotais atvejais. Modelio taikymas prasideda nuo esamos kavinių ŠGP valdymo situacijos analizės ir problemos identifikavimo.

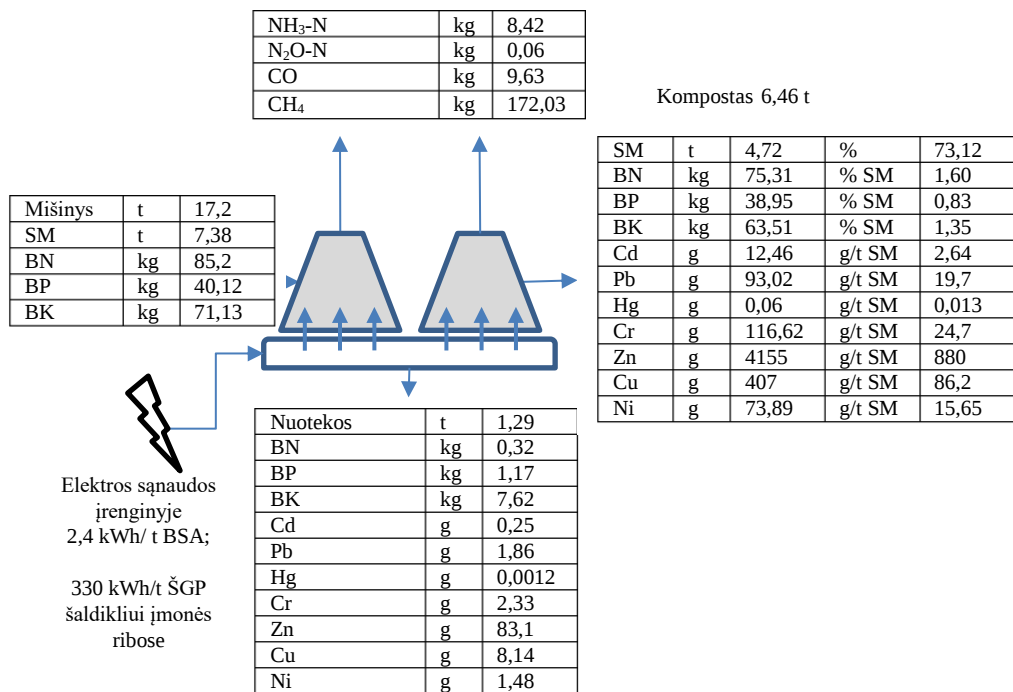
Priimama, kad kompostavimo metu sausos medžiagos sumažės 36 % (SM sumažėjimas nesiekia 50 % dėl pelenų, kuriose didžioji dalis inertinė medžiaga). Atlikus gauto komposto laboratorinius tyrimus, buvo nustatyta, kad produkto SM dalis yra 73,12 %, todėl perskaičiavus sausą medžiagą į šlapią masę iš viso komposto susidaro 6,46 t/m. (kompostuojamų medžiagų kiekis sumažėja daugiau negu dvigubai) (žr. 17 pav.).

Pagal atliktus BN tyrimus komposte ir azoto praradimus gamyboje, įvertinama, kiek BN yra ŠGP, ŽA ir pelenų mišinyje. BP ir BK balansas vertinamas pagal metodiką, pateiktą antrame skyriuje. Tuo tarpu sunkiųjų metalų koncentracijos komposte buvo ištirtos laboratorijoje, o emisijos į nuotekas bei nuotekų kiekis (susidarymo norma 75 l/t BSA) įvertinamas pagal antro skyriaus metodiką.

Siekiant įvertinti poveikio aplinkai šaltinius ir jų dydį, toliau vertinamas energijos ir kuro poreikis kompostavimo operacijoms atlikti. Šie duomenys buvo surinkti atliekant veikiančio įrenginio darbuotojų apklausą. Darbuotojai atskleidė, kad įrenginyje elektros energijos poreikis yra 2,4 kWh/t BSA, todėl iš viso reikia 41,29 kWh energijos 17,2 t BSA sutvarkyti. Tuo tarpu dyzelino sąnaudos įrenginyje, remiantis apklausos rezultatais, yra 1,26 kg/t BSA arba 21,68 kg visam kompostuojam kiekiui. Žymus energijos kiekis yra sunaudojamas pačiose kavinėse, ŠGP laikymui iki tol, kol šie šalutiniai produktai bus perduoti atliekų tvarkytojams. Buvo įvertinta, kad energijos kiekis šaldymui siekia 3300 kWh/t ŠGP.

Viena didžiausių centralizuoto kavinių ŠGP tvarkymo problemų yra transportavimo poreikis. Šios atliekos pagal ŠGP reglamentą priskiriamos prie šalutinių gyvūninių produktų, todėl turi būti tvarkomos specializuotų įmonių. Kadangi atliekų negalima ilgai išlaikyti dėl greito jų biologinio skylimo, jos laikomos vėsioje patalpoje bei priimama, kad tokios atliekos bus išvežamos kartą į savaitę (apie 200 kg). Dėl šios priežasties iš viso per metus bus atliekami 52 reisai, o kai atstumas iki

artimiausia ŠGP tvarkytojo yra 50 km, iš viso susidarys 26000 tkm („SimaPro“ programine įranga vertinama, kad bus naudojamas 10–20 t sunkvežimis, EURO 3 standarto, apkrautas 80 %). Taip pat vertinama, kad pelenai bus surenkami iš artimiausios biokuro katilinės (priimama, kad atstumas buvo 30 km, 54,55 tkm/m.), o ŽA iš ŽAKA (priimama, kad atstumas 20 km, 107,7 tkm/m.). Šie atstumai vertinami, atsižvelgiant į esamą Utenos regiono ŽAKA ir biokuro katilinių išsidėstymą bei kiekį.



17 pav. Esamos kavinių ŠGP valdymo sistemos srautų diagrama

Pagal sprendimų priėmimo paramos modelį kavinių ŠGP tvarkymas pagal esamą sistemą neatitiktų modelyje išskirtų sunkiųjų metalų RV. Toks valdymas neatitintų užduotos cinko (800 mg Zn/kg SM) ir kadmio (2 mg Cd/kg SM) RV kompostavimo procese (žr. 20 lent.), kadangi duotuoju atveju cinko ir kadmio koncentracija atitinkamai yra 880 mg Zn/kg SM ir 2,64 mg Cd/kg SM (žr. 19 pav.).

Trumpai apibendrinant, inventorinė analizė atskleidė, kad potencialiai daugiausiai poveikio aplinkai sukuriama dėl ŠGP transportavimo iki tvarkytojo (26 000 tkm), energijos poreikio ŠGP šaldymui kavinėse (330 kWh/t ŠGP), išaugusios kompostuojamų medžiagų masės (dėl C/N santykio ir drėgnio balansavimo) bei pagaminamo komposto, kuris turi nemažą kiekį sunkiųjų metalų.

3.5.3.2 Planuojamos kavinių ŠGP valdymo sistemos inventorinės analizės rezultatai

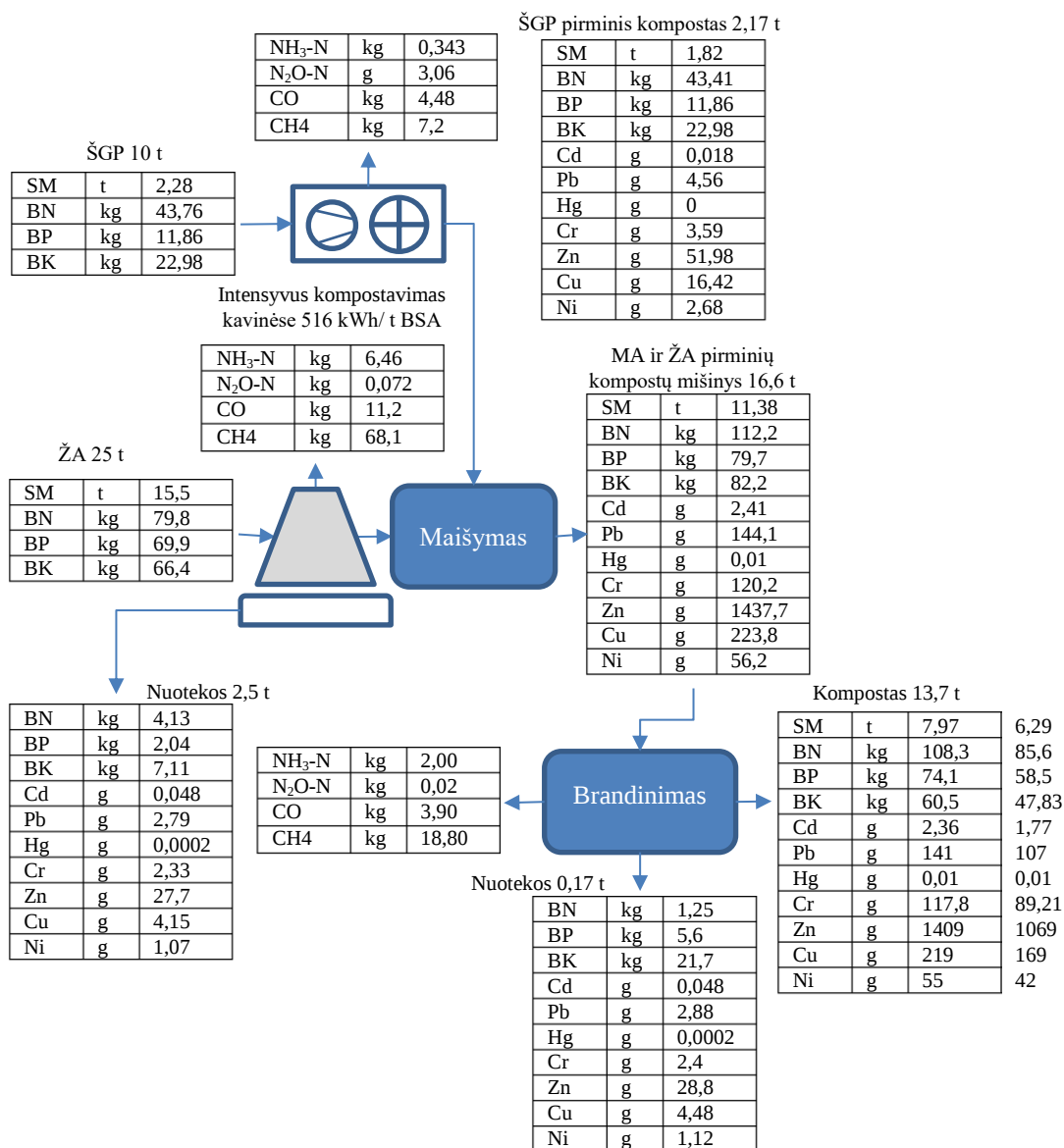
Atlikus esamos kavinių ŠGP valdymo sistemos analizę pagal PE koncepcijos sprendimų priėmimo paramos modelį, parenkama ir įvertinama kavinių ŠGP

alternatyvi valdymo sistema (žr. 18 pav.). Kaip alternatyva esamai kavinių ŠGP valdymo sistemai siūlomas ŠGP kompostavimas ir pirminio komposto gamyba šaltinyje bei pagaminto pirminio komposto nukreipimas į artimiausią ŽAKA tolesniam brandinimui. Toks sprendimas kyla dėl modelyje nustatyto pramoninės simbiozės bloko, kuris atsiranda kaip įrankis valdyti biokonversijos ir aerobinio proceso parametrus, pateiktus atitinkamai 19 ir 22 lentelėse. Šiuo atveju alternatyva parenkama taip, kad komposto organinės medžiagos kiekis būtų >20 % SM, NPK koncentracija >2,5 % SM, bet tuo pačiu kuo didesnė (NPK → maks.) (žr. 22 lent.). Modelyje apibrėžta, kad BSA srautai, kurie stabilizuoja, katalizuoja arba bendrai didina medžiagų grąžinimą, yra tinkami naudoti modelio sistemos ribose. Todėl remiantis tuo yra įtraukiamas ŽA srautas, kuris ne tik stabilizuoja fitotoksiškumą (bioskaidumą, laidumą), bet ir didina bendrą medžiagų grąžimą į žemės ūkį (siūlomos alternatyvos atveju iš viso grįžta 242,9 kg NPK, kai esamos situacijos 177,77 kg NPK) (žr. 19 ir 20 pav.).

Remiantis atliktų laboratorinių tyrimų rezultatais sudaromas siūlomos alternatyvos medžiagų balansas priimant, kad tvarkoma 10 t/m. kavinės ŠGP (žr. praktinių tyrimų skyrių). Pradedant intensyviu kompostavimu kavinės patalpose nustatoma, kad atliekų masė sumažėja beveik 5 kartus. Toks reikšmingas sumažėjimas yra daugiausia dėl vandens išgaravimo, bet taip pat priimama, kad per parą laiko, palaikant iki 70 °C temperatūrą, nuolat maišant ir veikiant probiotinėmis medžiagoms, SM dalis sumažės 20 %. NH₃-N emisijos įvertinamos remiantis matavimų rezultatais 3.2.1 poskyryje, tuo tarpu likusios emisijos pagal faktorius uždaram kompostavimo procesui, pateiktus metodikoje. Vertinama, kad 80 % šių emisijų bus išmesta į aplinkos orą, o likę 20 % – brandinimo metu. Lygiai taip buvo priimta skaičiuojant ŽA kompostavimą. Intensyviai kompostuojant ŠGP uždarame kompostavimo įrenginyje, dėl palyginti aukštos temperatūros ir aeracijos, vanduo išgaruoja, todėl nesusidaro nuotekų, su kuriomis būtų prarandamas BP ir BK (įvedimuose ir išvedimuose šių medžiagų kiekis išlieka toks pat).

Žinant pirminio ŠGP komposto kiekį (2,17 t/m.), pagal jau žinomą maišymo santykį (15 : 85) apskaičiuojamas ŽA pirminio komposto poreikis (14,4 t/m.). Kadangi pirminio ŽA komposto SM dalis yra 66,18 %, apskaičiuojamas SM kiekis (9,56 t/m.). Priimama, kad SM kiekis kompostuojant ŽA tradiciniu būdu sumažės 38,21 %, todėl pradinis SM kiekis lieka 15,5 t/m. Pagal ŽA sausos medžiagos koncentraciją (61,79 %) toliau įvertinamas visas ŽA kiekis (25 t/m.). Žinant pirminio ŽA komposto BN kiekį, atsižvelgus į bendrus BN praradimus kompostuojant atliekas tradiciniu būdu (15,98 % BN kiekio), apskaičiuojamas pradinis azoto kiekis. Emisijos, nuotekų kiekiai vertinami pagal metodiką, pateiktą antrame skyriuje.

Brandinimo metu taip pat buvo stebimas maistinių medžiagų judėjimas. Laboratorinių tyrimų rezultatai atskleidė, kad iš viso 3,88 kg BN, 5,62 kg BP ir 21,69 kg BK buvo prarasti brandinimo metu. Vis dėlto tuo pačiu vyko SM skylimas, kuris siekia 30 % pradinio kiekio, dėl to buvo stebimas net kai kurių maistingųjų medžiagų išaugimas. Kadangi brandinimas vyko retkarčiais mišinį pamaišant, priimama, kad tai lygu atviram kompostavimui. Dėl vizualiai stebimo brandinamo mišinio degradacijos buvo vertinama, kad susidaro apie 10 l/t BSA nuotekų (iš viso 0,17 t/m.).



18 pav. Alternatyvios kavinų ŠGP valdymo sistemos srautų diagrama

Dyzelino sąnaudos buvo įvertintos remiantis veikiančių įrenginių apklausos rezultatais. ŽAKA darbuotojai nurodė, kad dyzelino sąnaudos 1 tonai ŽA yra 0,756 kg (visas kiekis būtų 18,9 kg 25 tonoms ŽA sutvarkyti). Kadangi siūlomos alternatyvos metu tektų maišyti pirminį ŠGP kompostą su pirminiu ŽA kompostu, reikėtų numatyti papildomas dyzelino sąnaudas šiam procesui. Priimama, kad sumaišymui bus naudojamas esamas vartytuvas (našumas 2800 m³/h), kurio kuro

sąnaudos yra 16 l/h arba 0,016 l tonai BSA per ciklą. Buvo vertinta, kad siekiant užtikrinti pakankamą susimaišymo laipsnį, iš viso reiks dviejų ciklų, todėl iš viso reiks 0,23 kg dyzelino 16,6 tonų pirminio komposto sumaišyti.

Vienas didžiausių poveikio aplinkai mažinimo potencialų, valdant kavinių ŠGP pagal siūlomą alternatyvą, slypi poreikio transportuoti ŠGP sumažėjime. Įdiegus intensyvaus kompostavimo įrenginius kavinėje, ŠGP stabilizuojamos, sukontroliuojant mikrobiologinę taršą bei sumažinant ŠGP tūrį. Svarbiausia, kad šios atliekos tampa produkto, o ne ŠGP, todėl šiam srautui jau nebekeliami ŠGP reglamento reikalavimai. Dėl šios priežasties ir siūloma, kad pagamintas pirminis ŠGP kompostas būtų nukreipiamas į artimiausią ŽAKA tam, kad ten toliau būtų brandinamas. Įvertinus, kad iš 10 t/m. ŠGP bus pagaminama 2,17 t/m. pirminio komposto (83,3 kg į dvi savaites) bei transportavimą į artimiausią ŽAKA (15 km), apskaičiuojamas transportavimo poreikis, išreikštas tonkilometrais (iš viso 1,25 tkm).

Apibendrinant alternatyvios kavinių ŠGP valdymo sistemos privalumus, būtina išskirti sumažėjusį transportavimo poreikį iki 1,25 tkm, sumažėjusias elektros sąnaudas bei užterštumą sunkiaisiais metalais ir padidėjusį komposto vertingumą pagal BN. Galiausiai turime medžiaginių savybių optimalų išnaudojimą, kai laikantis komposto kokybės ir užterštumo užduotų ribojančių parametrų, sprendimų priėmimo paramos modelyje ir jų RV, atgal į dirvožemį grąžinamas saugus ir kokybiškas produktas.

Atlikta studija parodė, kad įdiegus intensyvaus kompostavimo technologiją ŠGP tvarkymui susidarymo šaltinyje, galimi sutaupymai kavinei siektų 4203,1 EUR per metus, o investicijos sudarytų 9922 EUR. Tuo tarpu ŽAKA galėtų padidinti savo gaminamo komposto kainą du kartus – nuo 10 EUR/t iki 20 EUR/t dėl išaugančios produkto kokybės. Vertinant alternatyvos diegimą investicijų požiūriu, gaunama, kad toks sprendimas be papildomų subsidijų atsiperka per beveik 2,5 metų. Todėl alternatyva atitinka užduotą modelyje ribojantį parametą – AT per mažiau nei 3,5 metų.

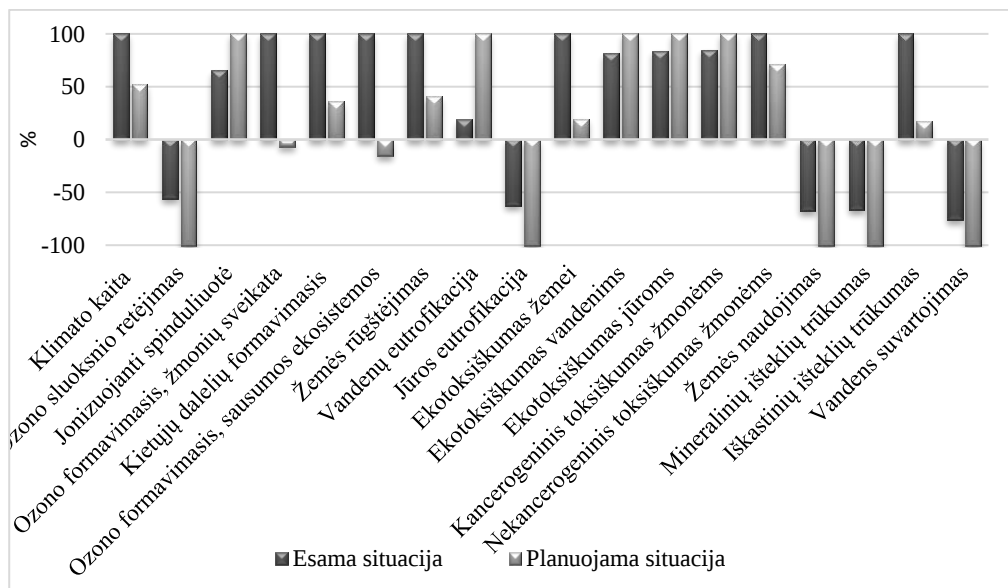
3.5.3.3 Esamos ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų palyginimas remiantis būvio ciklo vertinimo metodika

Siekiant įvertinti aplinkosauginį veiksmingumą įdiegus siūlomą kavinių ŠGP valdymo sistemą, atliekamas inventorinės analizės metu surinktų duomenų interpretavimas naudojantis BCĮ metodika. Pirmiausia siūlomos alternatyvos poveikio aplinkai efektas vertinimas naudojant BCĮ metodiką 3-ose žalos kategorijose. Šios analizės metu taip pat gaunama poveikio aplinkai reikšmė, suvesta į vieną skaitinę vertę – poveikio taškus (angl. *single score*). Atlikus analizę buvo pastebėta, kad siūlomos kavinių ŠGP valdymo alternatyvos poveikis aplinkai žmonių sveikatos, ekosistemų ir išteklių kategorijose buvo 33 % mažesnis negu esamos valdymo sistemos. Didžiausias sumažėjimas buvo stebimas ekosistemų kategorijoje (žr. 34 lent.).

34 lentelė. Esamos (2016 m. duomenimis) ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikis aplinkai žalos kategorijose

	Vienetai	Esama situacija	Planuojama situacija
Iš viso	kPt	-22,3	-33,4
Žmonių sveikata	kPt	0,297	0,134
Ekosistemos	kPt	-22,60	-33,50
Ištekliai	kPt	0,00717	0,000646

Toliau surinkti duomenys vertinami vidurio taškuose apibūdinant juos 18-oje poveikio aplinkai vertinimo kategorijų. Atlikus kavinių ŠGP esamos ir planuojamos valdymo sistemos poveikių aplinkai analizę remiantis BCĮ metodika buvo nustatyta, kad teigiamas poveikis būtų pasiektas tik 12 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų (žr. 19 pav.). Teigiamas efektas pasireiškų klimato kaitos (100 metų), ozono sluoksnio retėjimo, ozono formavimosi (žmonių sveikata), kietųjų dalelių formavimosi, ozono formavimosi (sausumos ekosistemos), žemės rūgštėjimo, jūros eutrofikacijos, ekotoksiškumo žemei, fotocheminio ozono formavimosi, kietųjų dalelių susidarymo, žemės naudojimo, mineralinių ir iškastinių išteklių trūkumo bei vandens suvartojimo kategorijose.



19 pav. Esamos (2016 m. duomenimis) ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikis aplinkai vidurio taškuose

35 lentelė. Esamos ir planuojamos kavinių ŠGP valdymo alternatyvų poveikių aplinkai palyginimas 18 poveikio aplinkai kategorijų.

	Vienetai	Esama situacija	Planuojama situacija
Klimato kaita	kg CO ₂ ekv.	7935	4141
Ozono sluoksnio retėjimas	kg CFC11 ekv.	-0,0087	-0,0156
Jonizuojanti spinduliuotė	kBq Co-60 ekv.	646	988
Ozono formavimasis, žmonių sveikata	kg NO _x ekv.	80,9	-5,48

Kietųjų dalelių formavimasis	kg PM _{2.5} ekv.	14,8	5,32
Ozono formavimasis, sausumos ekosistemos	kg NO _x ekv.	77,0	-11,8
Žemės rūgštėjimas	kg SO ₂ ekv.	57,7	23,6
Vandenų eutrofikacija	kg P ekv.	1,57	8,28
Jūros eutrofikacija	kg N ekv.	-0,40	-0,64
Ekotoksiškumas žemei	kg 1,4-DCB	18236	3572
Ekotoksiškumas vandenims	kg 1,4-DCB	173	212
Ekotoksiškumas jūroms	kg 1,4-DCB	221	263
Kancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	63,7	75,2
Nekancerogeninis toksiškumas žmonėms	kg 1,4-DCB	2969	2129
Žemės naudojimas	m ² a javų ekv.	-4567849	-6760311
Mineralinių išteklių trūkumas	kg Cu ekv.	-7,16	-10,7
Iškastinių išteklių trūkumas	kg naftos ekv.	2364	413
Vandens suvartojimas	m ³	-34,9	-46,2

Apibendrinant nustatyta, kad interpretavus inventorinės analizės rezultatus BCĮ įrankiu buvo stebimas pagerėjimas 12 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų, kas neleido drąsiai teigti, kad siūloma alternatyva sukuria teigiamą poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, poveikis aplinkai klimato kaitos kategorijoje buvo sumažintas 48 %, ozono formavimasis (žmonių sveikata) – 107 %, iškastinių išteklių trūkumas – 83 %. Tuo tarpu suvedus visų kategorijų poveikius aplinkai į vieną vertę, gaunama, kad poveikis aplinkai naudojant intensyvaus kompostavimo įrangą šaltinyje ir sudarant pramoninę simbiozę tarp kavinių ir ŽA kompostavimo aikštelių (pirminį ŠGP kompostą nukreipiant į ŽAKA tolesniam brandinimui ir ŽA komposto kokybės didinimui) sumažėja 33 %.

Priešingai negu anksčiau vertinamos alternatyvos, šia planuojama situacija būtų įgyvendinamas ir pramoninės simbiozės ir dematerializavimo elementas. Dematerializuojami būtų kavinių ŠGP tvarkymo sistemos materialieji srautai, o pramoninė simbiozė būtų sudaroma tarp kavinių ir ŽAKA tinklo regione. Pirminis kavinių ŠGP kompostas tiektų maistines medžiagas, o ŽA pirminis kompostas leistų stabilizuoti fitotoksiškus komposto parametrus, tuo pačiu gaminant daugiau aukštesnės kokybės komposto regione.

3.5.4 Aprobavimo rezultatų sąlygotas sprendimų priėmimo paramos modelio vystymas

Aprobavimo metu buvo prieita prie išvados poveikį aplinkai matuoti naudojant BCĮ metodiką, o ne per atskiras emisijas, medžiagų ir energijos sąnaudas, atliekų ir nuotekų susidarymą. Šis būdas ne tik leidžia atskleisti tikrąjį poveikį aplinkai, bet ir išreikšti jį viena verte. Tai labai palengvina esamos ir planuojamos situacijos palyginimą. Be to, suformuojamas poveikio aplinkai mažinimo tikslas BCĮ_{prieš} – BCĮ_{po} → maksimalus skirtumas.

Kadangi BCĮ galima įvertinti tik su kompostu grįžtančius NPK, todėl tik NPK modelyje ir nurodoma, tirpios jų formos nefigūruoja. Sunkieji metalai irgi įtraukiami, nes jie įsivertina „SimaPro“ programoje.

Aprobavimo metu dviejų iš trijų alternatyvų atsipirkimo trukmė AT buvo daugiau negu treji metai, o tai jau neatitinka Švaresnės gamybos koncepcijos užduotos

<3,5 metų AT. Vis dėlto tokie projektai turi didelį potencialą gauti subsidijas, todėl AT modelyje kaip alternatyvų atranką ribojantis parametras įvardijamas taip: projekto atsipirkimo trukmė <3,5 metų vertinant tik subjekto skiriamas lėšas.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Atlikus mokslinės, praktinės literatūros analizę bei taikomų aplinkosaugos ir kitų teisės aktų analizę maisto atliekų srautų ir savybių bei jų valdymo metodų, sistemų ir modelių srityje nustatyta:
 - 1.1. Identifikavus maisto atliekų šaltinius ir jų kiekybinę išraišką, nustatyta, kad maisto atliekas reikia vertinti visame jų būvio cikle, įtraukiant šalutinius gamybinius ir gyvūninius produktus. Naujausios prevencinės priemonės (dematerializavimas) maisto atliekų valdyme pagrįstos informacinių technologijų taikymu. Kiti sumanūs sprendimai apima maisto atliekų, šalutinių gamybinių ir gyvūninių produktų transformacijas pirmiausia į maisto produktus, maisto papildus, o galiausiai į kitus aukštesnės pridėtinės vertės produktus įskaitant energijos nešiklius. Didelis potencialas optimizuoti anaerobinį ir aerobinį procesą kontroliuojant substrato sudėtį.
 - 1.2. Strateginiuose dokumentuose išlieka bendra tendencija išvengti maisto atliekų susidarymo, o neišvengiamas maisto atliekas valdyti inovatyviomis priemonėmis sudarant galimybes priartėti prie cikliško medžiagų judėjimo. Maisto atliekoms priklausomai nuo jų prigimties taikomi skirtingi tvarkymo reikalavimai. Iš maisto atliekų pagamintiems tręšimo produktams Lietuvoje galioja griežti reikalavimai užterštumui, bet privaloma pateikti tik kelis kokybės parametrus, o jų ribinės vertės palyginti žemos.
 - 1.3. Kitų mokslininkų sukurti atliekų valdymo modeliai yra skirti valdyti tik komunalines maisto atliekas, dažnai įtraukiant ir prekybos centrų maisto atliekas; pramoninės ekologijos taikymas maisto atliekų valdymui neanalizuojamas.
2. Atlikus teorinius ir praktinius pramoninės ekologijos elementų taikymo eksperimentus numatytos tokios modelio kūrimo gairės:
 - 2.1. Teorinių pramoninės ekologijos elementų taikymo tyrimų rezultatų naudojimas modelyje: modelio struktūra sutapatinta su maisto produktų tiekimo grandine. Žemės ūkis, transportavimas, gamyba, prekyba ir vartojimas išskirti kaip pagrindiniai maisto atliekų šaltiniai, kiekvienam iš šių šaltinių priskirti aktualiausi maisto atliekų srautai ir iškelti jų valdymo tikslai. Aukštesnės pridėtinės vertės produktų gamybos įtraukimas išskiriant šaltinius, kuriuose šie produktai gali būti išgaunami iš homogeniškų ir heterogeniškų maisto atliekų srautų. Anaerobinio proceso išplėtimas iki biokonversijos proceso dėl galimybės atgauti skirtingus energijos nešiklius ir / ar gaminti aukštesnės pridėtinės vertės produktus. Skirtingų maisto atliekų srautų maišymas tarpusavyje įtraukiamas kaip būdas optimizuoti biokonversijos ir aerobinio apdorojimo procesus. Integruojami biokonversijos procesą ribojantys parametrai (optimaliai medžiagų koncentracijai).
 - 2.2. Praktinių pramoninės ekologijos elementų taikymo rezultatų naudojimas modelyje: sukurta dematerializavimo ir pramoninės simbiozės elementais paremta kavinių šalutinių gyvūninių produktų valdymo sistema. Taikant ją maisto atliekos gali būti tvarkomos šaltinyje gaminant pirminį kompostą, bet

dar didesnę poveikio aplinkai sumažėjimą ir proceso optimizavimą galima pasiekti pirminį kompostą nukreipus į žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelę sudarant sinergiją su pirminiu žaliųjų atliekų kompostu. Remiantis šių eksperimentų rezultatais, nuspręsta į modelį įtraukti komposto užterštumo ir kokybės parametrus bei jų ribines vertes kaip ribojančius parametrus. Įtrauktas užterštumas priemaišomis, sunkiaisiais metalais, mikrobiologine ir patvaria organine tarša bei šių parametrų ribinės vertės. Pagrindiniai kokybės parametrai ir jų ribinės vertės: organinė medžiaga ($>20\%$ sausos medžiagos), azotas, fosforas ir kalis (NPK suma $>2,5\%$ sausos medžiagos). Taip pat nuspręsta į modelį įtraukti biologiškai skaidžių atliekų srautus, kurie nėra maisto atliekų srautai; atskirti augalinės ir gyvulinės kilmės maisto srautus.

3. Maisto produktų būvio cikle susidarančių maisto atliekų srautų optimaliam valdymui regiono lygmeniu sukurtas sprendimų priėmimo paramos modelis, kuriame integruoti pramoninės ekologijos koncepcijos metodai: nuo dematerializavimo, taikant Švaresnės gamybos taršos prevencijos metodus, iki pramoninės simbiozės, sąveikos su biosfera ir energijos sistemų restruktūrizavimo. Modelio ir jo taikymo algoritmo sprendimų priėmimo paramos principas yra esamos sistemos analize pagrįstas maisto atliekų valdymo gerinimas. Modelyje pirmenybė teikiama maisto išlaikymo tiekimo grandinėje sprendimams, ligų plitimo prevencijos pagrindais išskiriami šalutiniai gyvūniniai produktai, akcentuojama maisto atliekų valdymo integracija su žemės ūkiu, integruoto požiūrio bei kaskadavimo principas. Neišvengiamų maisto atliekų valdymas vyksta jas maišant tarpusavyje arba prijungiant kitos prigimties biologiškai skaidžias atliekas tam, kad pavyktų atitikti biokonversijos ir aerobinio apdorojimo procesuose užduotus ribojančius parametrus ir jų ribines vertes. Maisto prevencijos ir didesnės pridėtinės vertės produktų gamybos sprendimų įgyvendinimo paskata – maksimalus poveikio aplinkai skirtumas tarp esamos ir planuojamos situacijos ($BCI_{\text{prieš}} - BCI_{\text{po}} \rightarrow \text{maks.}$).
4. Aprobavus ir tuo pačiu pritaikius siūlomą modelį, Utenos regione buvo atrinktos 3 maisto atliekų srautų valdymo alternatyvos ir palygintos būvio cikle su esamomis valdymo sistemomis. Pirmosios alternatyvos, mėsos perdirbimo šalutinių gyvūninių produktų valdymo sistemos (įmonės lygmenyje), atveju poveikis aplinkai sumažėjo nuo 4,13 iki -2,62 MPt, o mažėjimas buvo stebimas 15 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų. Antrosios alternatyvos, komunalinių maisto atliekų valdymo sistemos, atveju poveikis aplinkai mažėja 23 kartais, o mažėjimas buvo stebimas 16 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų. Trečiosios alternatyvos, kavinių šalutinių gyvūninių produktų valdymo sistemos, atveju poveikis aplinkai sumažėja 33 %, o mažėjimas buvo stebimas 12 iš 18 poveikio aplinkai kategorijų. Aprobavimo metu ir remiantis jo rezultatais priimta alternatyvų atranką modelyje riboti pagal projekto atsipirkimo trukmę ($<3,5$ metų vertinant subjekto skiriamas lėšas), vertinti tik bendrąjį azotą, fosforą ir kalį bei pasitelkti būvio ciklo įvertinimo metodiką.

LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2014). Biogas production as affected by heavy metals in the anaerobic digestion of sludge. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(4), 409–417. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062114000683>
- Achinas, S., & Euverink, G. J. W. (2016). Theoretical analysis of biogas potential prediction from agricultural waste. *Resource-Efficient Technologies*, 2(3), 143–147. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716300264>
- Agyeman, F. O., & Tao, W. (2014). Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 268–274. Academic Press. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713007573>
- Aka, S., & Akyüz, G. (2021). An inventory and production model with fuzzy parameters for the food sector. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 627–637. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550920314329>
- Akkerman, R., & van Donk, D. P. (2008). Development and application of a decision support tool for reduction of product losses in the food-processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 16(3), 335–342. Elsevier. Retrieved March 20, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652606002848#bib7>
- Alao, B. O., Falowo, A. B., Chulayo, A., & Muchenje, V. (2017). The potential of animal by-products in food systems: Production, prospects and challenges. *Sustainability*, 9(7), 1089. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Almeida Paz, I. C. de L., de Lima Almeida, I. C., de La Vega, L. T., Milbradt, E. L., Borges, M. R., Chaves, G. H. C., dos Ouros, C. C., et al. (2019). Productivity and Well-Being of Broiler Chickens Supplemented With Probiotic. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 930–942. Elsevier. Retrieved March 27, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119322597>
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Fröhlich, M., & Amon, T. (2005). Ammonia, Nitrous Oxide, Methane, and VOC Emissions During Storage of Pig Slurry and Pig Farmyard Manure and Influence of the Additive “Effective Microorganisms (EM)”: Final Report. *University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering (ILT)*.
- Ananno, A. A., Masud, M. H., Chowdhury, S. A., Dabnichki, P., Ahmed, N., & Arefin, A. M. E. (2021). Sustainable food waste management model for Bangladesh. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 35–51. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550920313622>
- Andersson, J., & Nordberg, A. (2017). *Biogas Upgrading Using Ash from Combustion of Wood Fuels: Laboratory Experiments. Energy and Environment Research* (Vol. 7).
- Apeel. (2018). Apeel technologija vaisių ir daržovių padengimų apsaugine plėvele. Retrieved from <https://apeelsciences.com/questions/>
- Aplinkos Ministerija. (2020a). *Nacionalinį energetikos ir klimato srities veiksmų planą 2021–2030 m.* Retrieved from https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/KLIMATO_KAITA/Integruotas_planas/Final_NECP.pdf
- Aplinkos Ministerija. (2020b). *Lietuvos Respublikos Nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021–2030 m.* Retrieved from

- https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Teisinė_informacija/Teisės_aktai/Bendrieji_energetikos_strateginiai_dokumentai/NECP/Lietuvos_Respublikos_nacionalinis_energetikos_ir_klimato_srities_veiksmu_planas.pdf
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Frunzo, L., Esposito, G., Lens, P. N. L., & Pirozzi, F. (2014). Enhanced anaerobic digestion of food waste by thermal and ozonation pretreatment methods. *Journal of Environmental Management*, 146, 142–149. Academic Press. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714003910?via%3Dihub>
- Aslanzadeh, S., Rajendran, K., & Taherzadeh, M. J. (2014). A comparative study between single- and two-stage anaerobic digestion processes: Effects of organic loading rate and hydraulic retention time. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95, 181–188. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830514001875?via%3Dihub>
- Banks, C. J., Zhang, Y., Jiang, Y., & Heaven, S. (2012). Trace element requirements for stable food waste digestion at elevated ammonia concentrations. *Bioresource Technology*, 104, 127–135. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411015562?via%3Dihub>
- Bartocci, P., Zampilli, M., Liberti, F., Pistolesi, V., Massoli, S., Bidini, G., & Fantozzi, F. (2020). LCA analysis of food waste co-digestion. *Science of The Total Environment*, 709, 136187. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719361832>
- Beausang, C., Hall, C., & Toma, L. (2017). Food waste and losses in primary production: Qualitative insights from horticulture. *Resources, Conservation and Recycling*, 126, 177–185. Elsevier. Retrieved March 16, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302355>
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. Elsevier. Retrieved May 1, 2018, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408009917?via%3Dihub>
- Bernardi, A. O., Garcia, M. V., & Copetti, M. V. (2019). Food industry spoilage fungi control through facility sanitization. *Current Opinion in Food Science*, 29, 28–34. Elsevier. Retrieved March 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799319300360#bib0170>
- Bhuimbar, M. V., Bhagwat, P. K., & Dandge, P. B. (2019). Extraction and characterization of acid soluble collagen from fish waste: Development of collagen-chitosan blend as food packaging film. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102983. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371930106X>
- Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2019). Sustainable bioconversion of food waste into high-value products by immobilized enzymes to meet bio-economy challenges and opportunities – A review. *Food Research International*, 123, 226–240. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996919302984>
- Bilska, B., & Kolożyn-Krajewska, D. (2019). Risk Management of Dairy Product Losses as a Tool to Improve the Environment and Food Rescue. *Foods*, 8(10), 481. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Bio-10 Manual. (n.d.). Bioreactor Bio-10 manual. Retrieved November 5, 2018, from

- <http://www.greenservice.lt/images/documents/bio-10-manual.pdf>
- BlueApple. (n.d.). BlueApple etileno adsorberis. Retrieved from <https://theblueapple.com/>
- Bluewrap. (n.d.). Bluewrap prietaisas deguonies kontrolei mėsos ir žuvies transportavimo metu. Retrieved from <http://bluwrap.com/what-we-do/how-it-works/>
- Bohdanowicz, P. (2006). Environmental awareness and initiatives in the Swedish and Polish hotel industries—survey results. *International Journal of Hospitality Management*, 25(4), 662–682. Pergamon. Retrieved April 16, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278431905000708>
- Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., & Favoino, E. (2009). Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 800–812. SAGE Publications Ltd STM. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0734242X09345275>
- Bos-Brouwers, H. E. J., Soethoudt, J. M., Canali, M., Östergren, K., Amani, P., Aramyan, L., Sijtsema, S. J., et al. (2014). *Drivers of current food waste generation, threats of future increase and opportunities for reduction*. FUSIONS N FP7-KBBE-2012-6-311972. Retrieved from <https://www.eu-fusions.org/index.php/download?download=111:drivers-of-current-food-waste-generation-threats-of-future-increase-and-opportunities-for-reduction>
- Bożym, M., Florczak, I., Zdanowska, P., Wojdalski, J., & Klimkiewicz, M. (2015). An analysis of metal concentrations in food wastes for biogas production. *Renewable Energy*, 77, 467–472. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114007253>
- Cáceres, R., Malińska, K., & Marfà, O. (2018). Nitrification within composting: A review. *Waste Management*, 72, 119–137. Pergamon. Retrieved May 1, 2018, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1730795X>
- Caldeira, C., Cobalea, H. B., De Laurentiis, V., & Sala, S. (2019). Review of studies on food waste accounting at Member State level. Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC117458>
- Cambi AS. (n.d.). Parameters comparison TH. Retrieved from <https://www.environmentindex.com/en/article/cambi-thermal-hydrolysis-sludge-treatment-medium-to-large-scale-application-677.aspx>
- Cesário, M. T., Raposo, R. S., de Almeida, M. C. M. D., van Keulen, F., Ferreira, B. S., & da Fonseca, M. M. R. (2014). Enhanced bioproduction of poly-3-hydroxybutyrate from wheat straw lignocellulosic hydrolysates. *New Biotechnology*, 31(1), 104–113. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678413001337>
- Cesaro, A., Velten, S., Belgiorno, V., & Kuchta, K. (2014). Enhanced anaerobic digestion by ultrasonic pretreatment of organic residues for energy production. *Journal of Cleaner Production*, 74, 119–124. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614002510?via%3Dihub>
- Chakraborty, D., Karthikeyan, O. P., Selvam, A., & Wong, J. W. C. (2018). Co-digestion of food waste and chemically enhanced primary treated sludge in a continuous stirred tank reactor. *Biomass and Bioenergy*, 111, 232–240. Pergamon. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417301885?via%3Dihub>
- Chen, C.-C., Sujanto, R. Y., Tseng, M.-L., Fujii, M., & Lim, M. K. (2021). Sustainable

- consumption transition model: Social concerns and waste minimization under willingness-to-pay in Indonesian food industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105590. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921001993>
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407001563>
- Cicatiello, C., Franco, S., Pancino, B., Blasi, E., & Falasconi, L. (2017). The dark side of retail food waste: Evidences from in-store data. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 273–281. Elsevier. Retrieved March 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917301647>
- Czarny, J., Piotrowska-Cyplik, A., Lewicki, A., Zgoła-Grześkowiak, A., Wolko, Ł., Galant, N., Syguda, A., et al. (2019). The Toxic Effect of Herbicidal Ionic Liquids on Biogas-Producing Microbial Community. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 916. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Das, B., Sarkar, S., Sarkar, A., Bhattacharjee, S., & Bhattacharjee, C. (2016). Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, 101, 27–33. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582015000968>
- Dasa, K. T., Westman, S. Y., Millati, R., Cahyanto, M. N., Taherzadeh, M. J., & Niklasson, C. (2016). Inhibitory effect of long-chain fatty acids on biogas production and the protective effect of membrane bioreactor. *BioMed research international*, 2016. Hindawi.
- Davis, M., & Wunder, S. (2013). *DYNAMIX policy mix evaluation*. Retrieved from [https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Food waste_UK.pdf](https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Food%20waste_UK.pdf)
- Davis, M., & Wunder, S. (2019). *DYNAMIX policy mix evaluation*. Retrieved from [https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Food waste_UK.pdf](https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Food%20waste_UK.pdf)
- Deepanraj, B., Sivasubramanian, V., & Jayaraj, S. (2017). Multi-response optimization of process parameters in biogas production from food waste using Taguchi – Grey relational analysis. *Energy Conversion and Management*, 141, 429–438. Pergamon. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416310895?via%3Dihub>
- Defraeye, T. (2017). Sensoriai ‘šnipai’ vaisių temperatūros matavimams jų gabenimo metu. Retrieved from <https://www.empa.ch/web/s604/fruit-sensor>
- Dhiman, S. S., David, A., Shrestha, N., Johnson, G. R., Benjamin, K. M., Gadhamshetty, V., & Sani, R. K. (2017). Simultaneous hydrolysis and fermentation of unprocessed food waste into ethanol using thermophilic anaerobic bacteria. *Bioresource Technology*, 244, 733–740. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241731218X>
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M., & Linke, B. (2015). *Nutrient recovery by biogas digestate processing* (Vol. 2015). IEA Bioenergy Dublin.
- Ecoinvent Database v3.6. (2019). Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.ecoinvent.org/>
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol. 5). Institute for Global Environmental

Strategies Hayama, Japan.

- Elbeshbishy, E., Hafez, H., Dhar, B. R., & Nakhla, G. (2011). Single and combined effect of various pretreatment methods for biohydrogen production from food waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(17), 11379–11387. Pergamon. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319911004216?via%3Dihub>
- EMEP/EEA. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>
- Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P.-A. (2012). Food losses in six Swedish retail stores: Wastage of fruit and vegetables in relation to quantities delivered. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 14–20. Elsevier. Retrieved April 16, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001395>
- Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P.-A. (2016). Food waste reduction in supermarkets – Net costs and benefits of reduced storage temperature. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 73–81. Elsevier. Retrieved April 1, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915301397>
- Eskandarloo, H., & Abbaspourrad, A. (2018). Production of galacto-oligosaccharides from whey permeate using β -galactosidase immobilized on functionalized glass beads. *Food Chemistry*, 251, 115–124. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814618300773>
- Europos Komisija. (2010). KOMISIJOS KOMUNIKATAS TARYBAI IR EUROPOS PARLAMENTUI dėl tolimesnių Europos Sąjungos biologinių atliekų tvarkymo veiksmų. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2010/LT/1-2010-235-LT-F1-1.Pdf>
- Facchin, V., Cavinato, C., Fatone, F., Pavan, P., Cecchi, F., & Bolzonella, D. (2013). Effect of trace element supplementation on the mesophilic anaerobic digestion of foodwaste in batch trials: The influence of inoculum origin. *Biochemical Engineering Journal*, 70, 71–77. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X12002823>
- Facchin, V., Cavinato, C., Pavan, P., & Bolzonella, D. (2013). Batch and continuous mesophilic anaerobic digestion of food waste: effect of trace elements supplementation. *Chem Eng*, 32.
- Fami, H. S., Aramyan, L. H., Sijtsema, S. J., & Alambaigi, A. (2019). Determinants of household food waste behavior in Tehran city: A structural model. *Resources, Conservation and Recycling*, 143, 154–166. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918304968>
- Fan, Yee Van, Lee, C. T., Klemeš, J. J., Chua, L. S., Sarmidi, M. R., & Leow, C. W. (2018). Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management*, 216, 41–48. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303602>
- Fan, Yupeng, Qiao, Q., Fang, L., & Yao, Y. (2017). Emergy analysis on industrial symbiosis of an industrial park – A case study of Hefei economic and technological development area. *Journal of Cleaner Production*, 141, 791–798. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616315001>
- Fernández-Delgado Juárez, M., Prähauser, B., Walter, A., Insam, H., & Franke-Whittle, I. H. (2015). Co-composting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-

- process. *Waste Management*, 46, 155–164. Pergamon. Retrieved April 19, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301240?via%3Dihub>
- Fernandez-Mena, H., Nesme, T., & Pellerin, S. (2016). Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. *Science of The Total Environment*, 543, 467–479. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715310135>
- Filimonau, V., Todorova, E., Mzembe, A., Sauer, L., & Yankholmes, A. (2020). A comparative study of food waste management in full service restaurants of the United Kingdom and the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120775. Elsevier. Retrieved April 26, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620308222>
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., & Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14(5), 463–471. Elsevier. Retrieved March 20, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652605000041>
- FOOD COWBOY. (n.d.). Hate to throw away perfectly good food? Retrieved from http://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/themes/55cbcf38ebad646519000001/attachment/s/original/1444838592/food_cowboy_supplychain_donations.pdf?1444838592
- FutureCow. (2017). *FutureCow spendimas somatinių ląstelių mažinimui piene*. Retrieved from <http://futurecow.com/wp-content/uploads/2018/03/C-Dairy-Case-Study.pdf>
- Gameiro, M., Lisboa, P., Paiva, A., Barreiros, S., & Simões, P. (2015). Supercritical carbon dioxide-based integrated continuous extraction of oil from chicken feather meal, and its conversion to biodiesel in a packed-bed enzymatic reactor, at pilot scale. *Fuel*, 153, 135–142. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236115002628>
- Gao, S., Huang, Y., Yang, L., Wang, H., Zhao, M., Xu, Z., Huang, Z., et al. (2015). Evaluation the anaerobic digestion performance of solid residual kitchen waste by NaHCO₃ buffering. *Energy Conversion and Management*, 93, 166–174. Pergamon. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041500014X>
- Garcia-González, M. C., & Vanotti, M. B. (2015a). Recovery of ammonia from swine manure using gas-permeable membranes: Effect of waste strength and pH. *Waste Management*, 38, 455–461. Pergamon. Retrieved June 29, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000604#>
- Garcia-González, M. C., & Vanotti, M. B. (2015b). Recovery of ammonia from swine manure using gas-permeable membranes: Effect of waste strength and pH. *Waste Management*, 38, 455–461. Pergamon. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15000604#>
- Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, P. N. L., & Esposito, G. (2015). A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. *Applied Energy*, 144, 73–95. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915000616?via%3Dihub>
- Ghimire, A., Valentino, S., Frunzo, L., Pirozzi, F., Lens, P. N. L., & Esposito, G. (2016). Concomitant biohydrogen and poly- β -hydroxybutyrate production from dark fermentation effluents by adapted *Rhodobacter sphaeroides* and mixed

- photofermentative cultures. *Bioresource Technology*, 217, 157–164. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416303029?via%3Dihub>
- Ghosh, R., & Eriksson, M. (2019). Food waste due to retail power in supply chains: Evidence from Sweden. *Global Food Security*, 20, 1–8. Elsevier. Retrieved April 16, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912418300646>
- van Giesen, R. I., & de Hooge, I. E. (2019). Too ugly, but I love its shape: Reducing food waste of suboptimal products with authenticity (and sustainability) positioning. *Food Quality and Preference*, 75, 249–259. Elsevier. Retrieved April 22, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329318305081#b0210>
- De Gioannis, G., Muntoni, A., Polettini, A., & Pomi, R. (2013). A review of dark fermentative hydrogen production from biodegradable municipal waste fractions. *Waste Management*, 33(6), 1345–1361. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13001074>
- De Gioannis, Giorgia, Muntoni, A., Polettini, A., Pomi, R., & Spiga, D. (2017). Energy recovery from one- and two-stage anaerobic digestion of food waste. *Waste Management*, 68, 595–602. Pergamon. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17304543?via%3Dihub>
- Giuseppe, A., Mario, E., & Cinzia, M. (2014). Economic benefits from food recovery at the retail stage: An application to Italian food chains. *Waste Management*, 34(7), 1306–1316. Pergamon. Retrieved March 30, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14000701#b0105>
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A., Struijs, J., & Zelm, R. (2008). *ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Retrieved from https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., & Domínguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70(3), 436–444.
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1813–1827. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11000427>
- Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712–725. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114008302>
- Guo, Q., Majeed, S., Xu, R., Zhang, K., Kakade, A., Khan, A., Hafeez, F. Y., et al. (2019). Heavy metals interact with the microbial community and affect biogas production in anaerobic digestion: A review. *Journal of Environmental Management*, 240, 266–272. Academic Press. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719304074>
- Gupta, A., & Verma, J. P. (2015). Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 550–567. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114007084>
- Guzmán-Villanueva, L. T., Escobedo-Fregoso, C., Barajas-Sandoval, D. R., Gomez-Gil, B., Peña-Rodríguez, A., Martínez-Díaz, S. F., Balcázar, J. L., et al. (2020). Assessment of microbial dynamics and antioxidant enzyme gene expression following probiotic

- administration in farmed Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 519, 734907. Elsevier. Retrieved March 27, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848619321933>
- Hazel Technologies. (n.d.). Hazel Technologies pakeliai išskiriantys nokimą mažinančias medžiagas. Retrieved from <https://www.hazeltechnologies.com/products>
- Heikkilä, L., Reinikainen, A., Katajajuuri, J.-M., Silvennoinen, K., & Hartikainen, H. (2016). Elements affecting food waste in the food service sector. *Waste Management*, 56, 446–453. Pergamon. Retrieved April 4, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16303245?via%3Dihub>
- de Hooge, I. E., van Dulm, E., & van Trijp, H. C. M. (2018). Cosmetic specifications in the food waste issue: Supply chain considerations and practices concerning suboptimal food products. *Journal of Cleaner Production*, 183, 698–709. Elsevier. Retrieved March 18, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261830444X?via%3Dihub>
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., et al. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Hungry Harvest. (n.d.). Hungry Harvest kompanija pristatanti kosmetinių specifikacijų neatitinkančius produktus gyventojams už sumažintą kainą. Retrieved from <https://www.hungryharvest.net/>
- Imperfect Food. (n.d.). Imperfect Food kompanija pristatanti kosmetinių specifikacijų neatitinkančius produktus gyventojams už sumažintą kainą. Retrieved from <https://www.imperfectfoods.com/why-ugly-fruit-imperfect1>
- Iqbal, H., Garcia-Perez, M., & Flury, M. (2015). Effect of biochar on leaching of organic carbon, nitrogen, and phosphorus from compost in bioretention systems. *Science of The Total Environment*, 521–522, 37–45. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715003356>
- Irshad, A., & Sharma, B. D. (2015). Abattoir by-product utilization for sustainable meat industry: a review. *Journal of Animal Production Advances*, 5(6), 681–696.
- ISA-PACK. (2014). *ISA-PACK darnus, išmanus oakavimo sprendimas*. Retrieved from <https://cordis.europa.eu/project/id/289521>
- Izumi, K., Okishio, Y., Nagao, N., Niwa, C., Yamamoto, S., & Toda, T. (2010). Effects of particle size on anaerobic digestion of food waste. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(7), 601–608. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830510001344>
- Javaid, A., & Bajwa, R. (2011). Effect of Effective Microorganism Application on Crop Growth, Yield, and Nutrition in *Vigna radiata* (L.) Wilczek in Different Soil Amendment Systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(17), 2112–2121. Taylor & Francis. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.596240>
- Jha, P., & Schmidt, S. (2017). Reappraisal of chemical interference in anaerobic digestion processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 954–971. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116307961>
- Jiang, T., Ma, X., Tang, Q., Yang, J., Li, G., & Schuchardt, F. (2016). Combined use of nitrification inhibitor and struvite crystallization to reduce the NH₃ and N₂O emissions

- during composting. *Bioresource Technology*, 217, 210–218. Elsevier. Retrieved April 19, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416300657>
- Johnson, L. K., Dunning, R. D., Bloom, J. D., Gunter, C. C., Boyette, M. D., & Creamer, N. G. (2018). Estimating on-farm food loss at the field level: A methodology and applied case study on a North Carolina farm. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 243–250. Elsevier. Retrieved March 16, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918301927>
- Kallbekken, S., & Sælen, H. (2013). ‘Nudging’ hotel guests to reduce food waste as a win-win environmental measure. *Economics Letters*, 119(3), 325–327. North-Holland. Retrieved April 4, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165176513001286?via%3Dihub>
- Karmee, S. K. (2016). Liquid biofuels from food waste: Current trends, prospect and limitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 945–953. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010114>
- Kaur, V. I., & Saxena, P. K. (2004). Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. *Bioresource Technology*, 91(1), 101–104. Elsevier. Retrieved March 20, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852403000737?via%3Dihub>
- Klemes, J., Smith, R., & Kim, J.-K. (2008). *Handbook of water and energy management in food processing*. Elsevier.
- Kong, X., Wei, Y., Xu, S., Liu, J., Li, H., Liu, Y., & Yu, S. (2016). Inhibiting excessive acidification using zero-valent iron in anaerobic digestion of food waste at high organic load rates. *Bioresource Technology*, 211, 65–71. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416303728?via%3Dihub>
- Kougias, P. G., Boe, K., Tsapekos, P., & Angelidaki, I. (2014). Foam suppression in overloaded manure-based biogas reactors using antifoaming agents. *Bioresource Technology*, 153, 198–205. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413018099?via%3Dihub>
- Kowalski, Z., & Makara, A. (2021). The circular economy model used in the polish agro-food consortium: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124751. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620347958>
- Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods (Basel, Switzerland)*, 6(1), 8. MDPI. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28231087>
- Kumari, S., Rath, P., Sri Hari Kumar, A., & Tiwari, T. N. (2015). Extraction and characterization of chitin and chitosan from fishery waste by chemical method. *Environmental Technology & Innovation*, 3, 77–85. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186415000036>
- Kuo, N.-W., Hsiao, T.-Y., & Lan, C.-F. (2005). Tourism management and industrial ecology: a case study of food service in Taiwan. *Tourism Management*, 26(4), 503–508. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517704000470>
- Latha, K., Velraj, R., Shanmugam, P., & Sivanesan, S. (2019). Mixing strategies of high solids anaerobic co-digestion using food waste with sewage sludge for enhanced biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 210, 388–400. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261833244X>

- Latou, E., Mexis, S. F., Badeka, A. V., & Kontominas, M. G. (2010). Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanol emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 457–465. Academic Press. Retrieved March 31, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521010001554?via%3Dihub>
- Leverenz, D., Moussawel, S., Maurer, C., Hafner, G., Schneider, F., Schmidt, T., & Kranert, M. (2019a). Quantifying the prevention potential of avoidable food waste in households using a self-reporting approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104417. Elsevier. Retrieved January 10, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491930312X>
- Leverenz, D., Moussawel, S., Maurer, C., Hafner, G., Schneider, F., Schmidt, T., & Kranert, M. (2019b). Quantifying the prevention potential of avoidable food waste in households using a self-reporting approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104417. Elsevier. Retrieved April 3, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491930312X>
- Li, K., Wang, K., Wang, J., Yuan, Q., Shi, C., Wu, J., & Zuo, J. (2020). Performance assessment and metagenomic analysis of full-scale innovative two-stage anaerobic digestion biogas plant for food wastes treatment. *Journal of Cleaner Production*, 121646. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09595652620316930>
- Li, P., Zeng, Y., Xie, Y., Li, X., Kang, Y., Wang, Y., Xie, T., et al. (2017). Effect of pretreatment on the enzymatic hydrolysis of kitchen waste for xanthan production. *Bioresource Technology*, 223, 84–90. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416314419>
- Li, S., Li, D., Li, J., Li, G., & Zhang, B. (2017). Evaluation of humic substances during co-composting of sewage sludge and corn stalk under different aeration rates. *Bioresource Technology*, 245, 1299–1302. Elsevier. Retrieved November 1, 2018, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417314918>
- Li, Yangyang, Jin, Y., Borrión, A., Li, H., & Li, J. (2017). Effects of organic composition on mesophilic anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*, 244, 213–224. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417310921?via%3Dihub>
- Li, Yangyang, Luo, W., Lu, J., Zhang, X., Li, S., Wu, Y., & Li, G. (2018). Effects of digestion time in anaerobic digestion on subsequent digestate composting. *Bioresource Technology*, 267, 117–125. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418306217>
- Li, Yebo, Park, S. Y., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821–826. Pergamon. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002224?via%3Dihub>
- Li, Z., Huang, G., Yu, H., Zhou, Y., & Huang, W. (2015). Critical factors and their effects on product maturity in food waste composting. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4), 217. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4430-9>
- Lietuvos Respublikos seimas. (1998). *ATLIEKŲ TVARKYMO ĮSTATYMAS*. Retrieved from <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>
- Lin, L., Yu, Z., & Li, Y. (2017). Sequential batch thermophilic solid-state anaerobic digestion

- of lignocellulosic biomass via recirculating digestate as inoculum – Part II: Microbial diversity and succession. *Bioresource Technology*, 241, 1027–1035. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417308982?via%3Dihub>
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568. Wiley Online Library.
- Lynch, S. A., Mullen, A. M., O'Neill, E. E., & García, C. Á. (2017). Harnessing the Potential of Blood Proteins as Functional Ingredients: A Review of the State of the Art in Blood Processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(2), 330–344. John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12254>
- Maeda, K., Hanajima, D., Toyoda, S., Yoshida, N., Morioka, R., & Osada, T. (2011). Microbiology of nitrogen cycle in animal manure compost. *Microbial biotechnology*, 4(6), 700–709. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3815407/>
- Magan, N., & Aldred, D. (2007). Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1), 131–139. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160507003972>
- Manu, M. K., Kumar, R., & Garg, A. (2017). Performance assessment of improved composting system for food waste with varying aeration and use of microbial inoculum. *Bioresource Technology*, 234, 167–177. Elsevier. Retrieved February 9, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417302936>
- Maulini-Duran, C., Artola, A., Font, X., & Sánchez, A. (2014). Gaseous emissions in municipal wastes composting: Effect of the bulking agent. *Bioresource Technology*, 172, 260–268. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414012929>
- Mikulski, D., Jankowski, J., Naczmanski, J., Mikulska, M., & Demey, V. (2012). Effects of dietary probiotic (*Pediococcus acidilactici*) supplementation on performance, nutrient digestibility, egg traits, egg yolk cholesterol, and fatty acid profile in laying hens. *Poultry Science*, 91(10), 2691–2700. Elsevier. Retrieved March 28, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119397780>
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613007440>
- Moeller, L., & Görsch, K. (2015). Foam formation in full-scale biogas plants processing biogenic waste. *Energy, Sustainability and Society*, 5(1), 1. Springer.
- Moeller, L., & Zehnsdorf, A. (2016). Process upsets in a full-scale anaerobic digestion bioreactor: over-acidification and foam formation during biogas production. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 30. Springer.
- Molaey, R., Bayrakdar, A., Sürmeli, R. Ö., & Çalli, B. (2018). Anaerobic digestion of chicken manure: Mitigating process inhibition at high ammonia concentrations by selenium supplementation. *Biomass and Bioenergy*, 108, 439–446. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417303665>
- Mpofu, A. B., Welz, P. J., & Oyekola, O. O. (2020). Anaerobic Digestion of Secondary Tannery Sludge: Optimisation of Initial pH and Temperature and Evaluation of Kinetics. *Waste and Biomass Valorization*, 11(3), 873–885. Retrieved from

<https://doi.org/10.1007/s12649-018-00564-y>

- Muha, I., Zielonka, S., Lemmer, A., Schönberg, M., Linke, B., Grillo, A., & Wittum, G. (2013). Do two-phase biogas plants separate anaerobic digestion phases? – A mathematical model for the distribution of anaerobic digestion phases among reactor stages. *Bioresource Technology*, 132, 414–418. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412018871>
- Multicraft. (n.d.). Multicraft probiotikai. Retrieved from <https://www.multikraft.com/en/products-applications/plants-garden/>
- MyFoodsWay. (n.d.). MyFoodsWay programėlė gaminti naujus patiekalus iš turimų maisto produktų. Retrieved from <https://myfoodways.com/>
- Naglaa, M. A. A., & Ghada, M. S. (2014). Turning nervous ewes to calm ones “behavioral and biochemical indicators” by use of *Saccharomyces cerevisiae* probiotic. *Int. J. Adv. Research*, 2(10), 386–393.
- Nakasaki, K., & Hirai, H. (2017). Temperature control strategy to enhance the activity of yeast inoculated into compost raw material for accelerated composting. *Waste Management*, 65, 29–36. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17302489>
- NanoPack. (2018). NanoPack aktyvaus pakavimo sprendimas. Retrieved from <https://www.nanopack.eu/>
- Narra, M., Dixit, G., Divecha, J., Madamwar, D., & Shah, A. R. (2012). Production of cellulases by solid state fermentation with *Aspergillus terreus* and enzymatic hydrolysis of mild alkali-treated rice straw. *Bioresource Technology*, 121, 355–361. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412010280>
- Ndonga, R. K., Friedel, J. K., Spornberger, A., Rinnofner, T., & Jezik, K. (2011). ‘Effective Micro-organisms’ (EM): An Effective Plant Strengthening Agent for Tomatoes in Protected Cultivation. *Biological Agriculture & Horticulture*, 27(2), 189–203. Taylor & Francis. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/01448765.2011.9756647>
- Negm, N. A., Hefni, H. H. H., Abd-Elal, A. A. A., Badr, E. A., & Abou Kana, M. T. H. (2020). Advancement on modification of chitosan biopolymer and its potential applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 681–702. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020304190>
- Nguyen, N. N., Nguyen, A. V., & Dang, L. X. (2017). The inhibition of methane hydrate formation by water alignment underneath surface adsorption of surfactants. *Fuel*, 197, 488–496. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117302120>
- Nguyen, Q.-M., Bui, D.-C., Phuong, T., Doan, V.-H., Nguyen, T.-N., Nguyen, M.-V., Tran, T.-H., et al. (2019). Investigation of Heavy Metal Effects on the Anaerobic Co-Digestion Process of Waste Activated Sludge and Septic Tank Sludge. (D. Ramkrishna, Ed.) *International Journal of Chemical Engineering*, 2019, 5138060. Hindawi. Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2019/5138060>
- Nkemka, V. N., & Hao, X. (2018). Start-up of a sequential dry anaerobic digestion of paunch under psychrophilic and mesophilic temperatures. *Waste Management*, 74, 144–149. Pergamon. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16303270>
- NoFoodWasted. (n.d.). NoFoodWasted reduction supermarkets food waste. Retrieved from

- <http://www.nofoodwasted.com/>
- NuReSys. (n.d.). NuReSys web page. Retrieved from <http://www.nuresys.be/>
- Oakdene, H., & WRAP. (2013). *Overview of Waste in the UK Hospitality and Food Service Sector*. Retrieved from [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Overview of Waste in the UK Hospitality and Food Service Sector FINAL.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Overview%20of%20Waste%20in%20the%20UK%20Hospitality%20and%20Food%20Service%20Sector%20FINAL.pdf)
- Olchowy, T. W. J., Soust, M., & Alawneh, J. (2019). The effect of a commercial probiotic product on the milk quality of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2188–2195. Elsevier. Retrieved March 27, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030219300414>
- Olle, M., & Williams, I. H. (2013). Effective microorganisms and their influence on vegetable production – a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 380–386. Taylor & Francis. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512979>
- Onwosi, C. O., Igbokwe, V. C., Odimba, J. N., Eke, I. E., Nwankwoala, M. O., Iroh, I. N., & Ezeogu, L. I. (2017). Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190, 140–157. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716310349>
- Palatsi, J., Laurenzi, M., Andrés, M. V., Flotats, X., Nielsen, H. B., & Angelidaki, I. (2009). Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acids on anaerobic thermophilic biogas reactors. *Bioresource Technology*, 100(20), 4588–4596. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409004490>
- Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. bin. (2014). The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106–115. Elsevier. Retrieved April 5, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614003680>
- PLANETARIANS'. (n.d.). PLANETARIANS' saulėgrąžų aliejaus išspaudų panaudojimas maisto produktų gamybai. Retrieved from <https://static1.squarespace.com/static/591629a5e58c620d7152b065/t/5e395152d2da280405986f72/1580814743663/PLANETARIANS+Ingredients+with+inherent+nutrition.pdf>
- Pobeheim, H., Munk, B., Johansson, J., & Guebitz, G. M. (2010). Influence of trace elements on methane formation from a synthetic model substrate for maize silage. *Bioresource Technology*, 101(2), 836–839. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409011419>
- Pobeheim, H., Munk, B., Lindorfer, H., & Guebitz, G. M. (2011). Impact of nickel and cobalt on biogas production and process stability during semi-continuous anaerobic fermentation of a model substrate for maize silage. *Water Research*, 45(2), 781–787. Pergamon. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135410006305?via%3Dihub>
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., & Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 135–149. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521417309559>
- PRéSustainabili ty. (2020). SimaPro-LCA Software for Fact-Based Sustainability. Retrieved March 6, 2019, from <https://simapro.com/>

- Puyol, D., Sanz, J. L., Rodriguez, J. J., & Mohedano, A. F. (2012). Inhibition of methanogenesis by chlorophenols: a kinetic approach. *New Biotechnology*, 30(1), 51–61. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678412001446>
- Raabe, B., Low, J. S. C., Juraschek, M., Herrmann, C., Tjandra, T. B., Ng, Y. T., Kurle, D., et al. (2017). Collaboration Platform for Enabling Industrial Symbiosis: Application of the By-product Exchange Network Model. *Procedia CIRP*, 61, 263–268. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116313944>
- Ratanatamskul, C., Wattanayommanaporn, O., & Yamamoto, K. (2015). An on-site prototype two-stage anaerobic digester for co-digestion of food waste and sewage sludge for biogas production from high-rise building. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 143–148. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515000931>
- Raut, R. D., Gardas, B. B., Narwane, V. S., & Narkhede, B. E. (2019). Improvement in the food losses in fruits and vegetable supply chain - a perspective of cold third-party logistics approach. *Operations Research Perspectives*, 6, 100117. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716019300028>
- Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58–69. Elsevier. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Redlingshöfer, B., Coudurier, B., & Georget, M. (2017). Quantifying food loss during primary production and processing in France. *Journal of Cleaner Production*, 164, 703–714. Elsevier. Retrieved March 18, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617313434>
- ReGrained. (2016). ReGrained maistas iš alaus pramonėje panaudotų grūdų. Retrieved from <https://www.regrained.com/products/new-blueberry-sunflower-saison>
- Ribeiro, N. de Q., Souza, T. P., Costa, L. M. A. S., Castro, C. P. de, & Dias, E. S. (2017). Microbial additives in the composting process. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(2), 159–168. SciELO Brasil.
- Rigamonti, L., Falbo, A., & Grosso, M. (2013). Improving integrated waste management at the regional level: The case of Lombardia. *Waste Management & Research*, 31(9), 946–953. SAGE Publications Ltd STM. Retrieved from <https://doi.org/10.1177/0734242X13493957>
- Rodrigues, R. P., Rodrigues, D. P., Klepacz-Smolka, A., Martins, R. C., & Quina, M. J. (2019). Comparative analysis of methods and models for predicting biochemical methane potential of various organic substrates. *Science of The Total Environment*, 649, 1599–1608. Elsevier. Retrieved June 26, 2019, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971833242X>
- Saavedra, Y. M. B., Iritani, D. R., Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514–1522. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617321728>
- Safar, K. M., Bux, M. R., Faria, U., & Pervez, S. (2021). Integrated model of municipal solid waste management for energy recovery in Pakistan. *Energy*, 219, 119632. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220327390>
- Saladino, F., Luz, C., Manyes, L., Fernández-Franzón, M., & Meca, G. (2016). In vitro

- antifungal activity of lactic acid bacteria against mycotoxigenic fungi and their application in loaf bread shelf life improvement. *Food Control*, 67, 273–277. Elsevier. Retrieved March 31, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516301177>
- Samray, M. N., Masatcioglu, T. M., & Koksel, H. (2019). Bread crumbs extrudates: A new approach for reducing bread waste. *Journal of Cereal Science*, 85, 130–136. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521018306349>
- Santos, S. F. dos, Cardoso, R. de C. V., Borges, Í. M. P., Almeida, A. C. e, Andrade, E. S., Ferreira, I. O., & Ramos, L. do C. (2020). Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. *Waste Management*, 101, 161–170. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19306385>
- SCD Probiotics. (2012). *Biological Efficiency of SCD Bio Ag Against Root-knot Nematodes in Tomatoes*. Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0079/9912/7607/files/Biological_Efficiency_of_SCD_Bio_Ag_Against_Root-knot_Nematodes_in_Tomatoes_CSS-034-12.pdf?6727
- SCD Probiotics. (2015). *Case Study Summary – Tomato Trial with SCD Bio Ag*. Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0079/9912/7607/files/Tomato_Trial_with_SCD_Bio_Ag_CSS-001-15.pdf?6733
- SCD Probiotics. (2016). *Case Study Summary – Strawberry Yield and Quality Improvement with SCD Bio Ag® (3 trials)*. Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0079/9912/7607/files/Strawberry_Yield_and_Quality_Improvement_with_SCD_Bio_Ag_3_trials_CSS-056-17.pdf?6731
- SCD Probiotics. (n.d.). *SCD Probiotics paukštynams*. Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0079/9912/7607/files/Effect_of_SCD_Probiotics_Products_to_Poultry_Outputs_Compared_with_Control_Treatment_Applications_CSS-036-2015.pdf?6745
- SCD Probiotics. (n.d.). *Case Study Summary – SCD Bio Ag® Used to Accelerate Composting Time*. Retrieved from https://cdn.shopify.com/s/files/1/0079/9912/7607/files/SCD_Bio_Ag_Used_to_Accelerate_Composting_Time_CSS-022-07.pdf?6729
- Schattauer, A., Abdoun, E., Weiland, P., Plöchl, M., & Heiermann, M. (2011). Abundance of trace elements in demonstration biogas plants. *Biosystems Engineering*, 108(1), 57–65. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511010002217>
- Shahriari, H., Warith, M., Hamoda, M., & Kennedy, K. (2013). Evaluation of single vs. staged mesophilic anaerobic digestion of kitchen waste with and without microwave pretreatment. *Journal of Environmental Management*, 125, 74–84. Academic Press. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713002144?via%3Dihub>
- Shaw, J. P., Smith, M. M., & Williams, D. I. (2018). On the Prevention of Avoidable Food Waste from Domestic Households. *Recycling*.
- SHINN, A. P., PRATOOMYOT, J., BRON, J. E., PALADINI, G., BROOKER, E. E., & BROOKER, A. J. (2015). Economic costs of protistan and metazoan parasites to global mariculture. *Parasitology*, 142(1), 196–270. Cambridge University Press. Retrieved from <https://www.cambridge.org/core/article/economic-costs-of-protistan-and->

- Siciliano, A., Limonti, C., Curcio, G. M., & Calabrò, V. (2019). Biogas Generation through Anaerobic Digestion of Compost Leachate in Semi-Continuous Completely Stirred Tank Reactors. *Processes*.
- Siddique, M. N. I., Abdul Munaim, M. S., & Zularisam, A. W. (2015). Feasibility analysis of anaerobic co-digestion of activated manure and petrochemical wastewater in Kuantan (Malaysia). *Journal of Cleaner Production*, 106, 380–388. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614008257>
- Siddique, M. N. I., & Wahid, Z. A. (2018). Achievements and perspectives of anaerobic co-digestion: A review. *Journal of Cleaner Production*, 194, 359–371. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618314951>
- Simboli, A., Taddeo, R., & Morgante, A. (2015). The potential of Industrial Ecology in agri-food clusters (AFCs): A case study based on valorisation of auxiliary materials. *Ecological Economics*, 111, 65–75. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091500018X>
- Smarter. (n.d.). FridgeCam išmani kamera šaldytuve. Retrieved from <https://www.smarter.am/fridgecam>
- Smith, R. L., Sengupta, D., Takkellapati, S., & Lee, C. C. (2015). An industrial ecology approach to municipal solid waste management: II. Case studies for recovering energy from the organic fraction of MSW. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 317–326. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915001147>
- Snyder, A. B., Churey, J. J., & Worobo, R. W. (2019). Association of fungal genera from spoiled processed foods with physicochemical food properties and processing conditions. *Food Microbiology*, 83, 211–218. Academic Press. Retrieved March 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002018308244#bib29>
- Sommer, S. G. (2001). Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 123–133. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030100000873>
- Staniškis, J. K., Kliopova, I., Jūratė, M.-P., Jolita, K., Kliaugaitė, D., Rasa, U., & Visvaldas, V. (2017). *Darni atliekų vadyba: mokslo monografija*. Kaunas: Technologija.
- Staniškis, J. K., Stasiškienė, Ž., Kliopova, I., & Varžinskas, V. (2010). *Innovations in Lithuania Industry Development and Implementation. Darniosios inovacijos Lietuvos pramonėje: kūrimas ir diegimas: mokslo monografija*. Kaunas: Technologija.
- Staugaitis, G., Kliopova, I., Mažeika, R., Gvildienė, K., & Jurovickaja, E. (2016). *Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas. MTEP projekto galutinė ataskaita*. Retrieved from https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/TYRIMAI_IR_ANALIZES/0_184367001489675205.pdf
- Staugaitis, G., Mažeika, R., Antanaitis, A., & Antanaitis, Š. (2011). Komposto, naudojamo žemės ūkyje, kokybės reikalavimų analizė ir įvertinimas. *Kaunas: Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro agrocheminių tyrimų laboratorija*.
- Staugaitis, G., & Vaišvila, Z. (2015). *Inovatyvūs dirvotyros ir agrochemijos mokslo*

sprendimai.

- Stenmarck, Å., Jensen, C., Qusted, T., Moates, G., Buksti, M., Cseh, B., Juul, S., et al. (2016). *Estimates of European food waste levels*. IVL Swedish Environmental Research Institute. Retrieved from [https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates of European food waste levels.pdf](https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf)
- Strid, I., Eriksson, M., Andersson, S., & Olsson, M. (2014). Losses of iceberg lettuce during primary production and whole sale in Sweden (in Swedish), report 146. *Swedish Board of Agriculture, Jönköping, Sweden*.
- Tachibana, L., Telli, G. S., de Carla Dias, D., Gonçalves, G. S., Ishikawa, C. M., Cavalcante, R. B., Natori, M. M., et al. (2020). Effect of feeding strategy of probiotic *Enterococcus faecium* on growth performance, hematologic, biochemical parameters and non-specific immune response of Nile tilapia. *Aquaculture Reports*, 16, 100277. Elsevier. Retrieved March 27, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513419301462>
- Takahashi, H., Yang, D., Sasaki, O., Furukawa, T., & Nirasawa, K. (2009). Mapping of quantitative trait loci affecting eggshell quality on chromosome 9 in an F2 intercross between two chicken lines divergently selected for eggshell strength. *Animal genetics*, 40(5), 779–782. Wiley Online Library.
- Tashiro, Y., Matsumoto, H., Miyamoto, H., Okugawa, Y., Pramod, P., Miyamoto, H., & Sakai, K. (2013). A novel production process for optically pure l-lactic acid from kitchen refuse using a bacterial consortium at high temperatures. *Bioresource Technology*, 146, 672–681. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241301170X>
- Tavares-Dias, M., & Martins, M. L. (2017). An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms. *Journal of Parasitic Diseases*, 41(4), 913–918. Springer.
- Toldrá, F., Aristoy, M.-C., Mora, L., & Reig, M. (2012). Innovations in value-addition of edible meat by-products. *Meat Science*, 92(3), 290–296. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174012001179>
- Tyagi, V. K., Fdez-Güelfo, L. A., Zhou, Y., Álvarez-Gallego, C. J., Garcia, L. I. R., & Ng, W. J. (2018). Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 380–399. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118303976>
- Ulén, B. (1997). Leaching of plant nutrients and heavy metals during the composting of household wastes and chemical characterization of the final product. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 47(3), 142–148. Taylor & Francis. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/09064719709362454>
- Umaraw, P., MuneKata, P. E. S., Verma, A. K., Barba, F. J., Singh, V. P., Kumar, P., & Lorenzo, J. M. (2020). Edible films/coating with tailored properties for active packaging of meat, fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 10–24. Elsevier. Retrieved April 2, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419307265>
- Vendrell, D., Balcázar, J. L., de Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Gironés, O., & Múzquiz, J. L. (2008). Protection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from lactococcosis by probiotic bacteria. *Comparative immunology, microbiology and infectious diseases*, 31(4), 337–345. Elsevier.

- Ventura, J.-R. S., Lee, J., & Jahng, D. (2014). A comparative study on the alternating mesophilic and thermophilic two-stage anaerobic digestion of food waste. *Journal of Environmental Sciences*, 26(6), 1274–1283. Elsevier. Retrieved April 23, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074213605999?via%3Dihub>
- Vittuari, M., Azzurro, P., Gaiani, S., Gheoldus, M., Burgos, S., Aramyan, L., Valeeva, N., et al. (2016). *Recommendations and guidelines for a common European food waste policy framework*. FUSIONS. Retrieved from [https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/D3.5 recommendations and guidelines food waste policy FINAL.pdf](https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/D3.5%20recommendations%20and%20guidelines%20food%20waste%20policy%20FINAL.pdf)
- Voslářová, E., Janáčková, B., Rubešová, L., Kozak, A., Bedáňová, I., Steinhäuser, L., & Večerek, V. (2007). Mortality rates in poultry species and categories during transport for slaughter. *Acta Veterinaria Brno*, 76(8), 101–108. University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences.
- De Vrieze, J., De Lathouwer, L., Verstraete, W., & Boon, N. (2013). High-rate iron-rich activated sludge as stabilizing agent for the anaerobic digestion of kitchen waste. *Water Research*, 47(11), 3732–3741. Pergamon. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413003497?via%3Dihub>
- Wang, M., Li, W., Li, P., Yan, S., & Zhang, Y. (2017). An alternative parameter to characterize biogas materials: Available carbon-nitrogen ratio. *Waste Management*, 62, 76–83. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17301034>
- Wang, R., Li, Y., Wang, W., Chen, Y., & Vanrolleghem, P. A. (2015). Effect of high orthophosphate concentration on mesophilic anaerobic sludge digestion and its modeling. *Chemical Engineering Journal*, 260, 791–800. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714012364>
- Wang, S.-P., Zhong, X.-Z., Wang, T.-T., Sun, Z.-Y., Tang, Y.-Q., & Kida, K. (2017). Aerobic composting of distilled grain waste eluted from a Chinese spirit-making process: The effects of initial pH adjustment. *Bioresource Technology*, 245, 778–785. Elsevier. Retrieved May 1, 2018, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417316000>
- Ware, A., & Power, N. (2016). Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. *Renewable Energy*, 97, 541–549. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116304785>
- Waste control. (2005). Nuotekų susidarymas apdorojant bioloiškai skaidžias atliekas naudojant Bekon technologiją. Retrieved from <http://www.epem.gr/waste-control/database/html/AD-05.htm>
- Wasteless. (n.d.). Wasteless kainų diferencijamas pagal galiojimo laiką. Retrieved from <https://www.wasteless.com/>
- Water Environmental Federation. (2017). Prezentacijos medžiaga apie anaerobinį apdorojimą. Retrieved from <https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/3---resources/online-education/webcasts/presentation-handouts/presentation-handouts---advanced-digestion-from-operators-perspective-11-2-17.pdf>
- Wikström, F., Verghese, K., Auras, R., Olsson, A., Williams, H., Wever, R., Grönman, K., et al. (2019). Packaging Strategies That Save Food: A Research Agenda for 2030. *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 532–540. John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jiec.12769>
- Willersinn, C., Mack, G., Mouron, P., Keiser, A., & Siegrist, M. (2015). Quantity and quality

- of food losses along the Swiss potato supply chain: Stepwise investigation and the influence of quality standards on losses. *Waste Management*, 46, 120–132. Pergamon. Retrieved March 20, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301008?via%3Dihub>
- Woodgate, S. L. (2005). Animal by-product use in foods for companion animals: the European rendering industry-a critical review. *Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Proceedings of Alltech's 21st Annual Symposium, Lexington, Kentucky, USA, 22-25 May 2005* (pp. 399–407). Alltech UK.
- Wrap. (2013). Where Food Waste Arises within the UK Hospitality and Food Service Sector: Spoilage, Preparation and Plate Waste. Wrap Banbury, UK. Retrieved from http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/HaFS_sector_spoilage_preparation_and_plate_waste_FINAL.pdf
- WRAP. (2012). *Large buffet savings at Crieff Hydro*. Retrieved from http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Crieff_Hydro_case_study.pdf
- Yang, F., Li, G. X., Yang, Q. Y., & Luo, W. H. (2013). Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere*, 93(7), 1393–1399. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513009594>
- Yang, X., Liu, E., Zhu, X., Wang, H., Liu, H., Liu, X., & Dong, W. (2019). Impact of Composting Methods on Nitrogen Retention and Losses during Dairy Manure Composting. *International journal of environmental research and public health*, 16(18), 3324. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6765887/>
- Yu, F., Han, F., & Cui, Z. (2015). Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production*, 87, 339–347. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614011019>
- Žemės Ūkio Ministerija. (2019). *Dėl Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų tręšiančiųjų produktų įtraukimo į identifikavimo sąrašą ir išbraukimo iš šio sąrašo tvarko aprašo ir Lietuvos Respublikos rinkai pateikiamų ir tiekiamų tręšiamųjų produktų identifikavimo sąrašo patvirtinimo*. Retrieved from <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/5f775de0735a11e99ceae2890faa4193/asr>
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383–392. Pergamon. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003633?via%3Dihub>
- Zhang, J., Li, W., Lee, J., Loh, K.-C., Dai, Y., & Tong, Y. W. (2017). Enhancement of biogas production in anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge by biological co-pretreatment. *Energy*, 137, 479–486. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217303468>
- Zhang, L., & Jahng, D. (2012). Long-term anaerobic digestion of food waste stabilized by trace elements. *Waste Management*, 32(8), 1509–1515. Pergamon. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12001250?via%3Dihub>
- Zhang, L., Lee, Y.-W., & Jahng, D. (2011). Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, 102(8), 5048–5059. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411001751?via%3Dihub>
- Zhang, Wanli, Zhang, L., & Li, A. (2015a). Enhanced anaerobic digestion of food waste by trace metal elements supplementation and reduced metals dosage by green chelating agent [S, S]-EDDS via improving metals bioavailability. *Water Research*, 84, 266–277. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135415301135>
- Zhang, Wanli, Zhang, L., & Li, A. (2015b). Anaerobic co-digestion of food waste with MSW incineration plant fresh leachate: process performance and synergistic effects. *Chemical Engineering Journal*, 259, 795–805. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714010936?via%3Dihub>
- Zhang, Wanqin, Wu, S., Guo, J., Zhou, J., & Dong, R. (2015). Performance and kinetic evaluation of semi-continuously fed anaerobic digesters treating food waste: Role of trace elements. *Bioresource Technology*, 178, 297–305. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414011535>
- Zhang, X., Tsuruta, S., Andonov, S., Lourenco, D. A. L., Sapp, R. L., Wang, C., & Misztal, I. (2018). Relationships among mortality, performance, and disorder traits in broiler chickens: a genetic and genomic approach. *Poultry Science*, 97(5), 1511–1518. Elsevier. Retrieved March 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911931020X>
- Zhao, S., Schmidt, S., Qin, W., Li, J., Li, G., & Zhang, W. (2020). Towards the circular nitrogen economy – A global meta-analysis of composting technologies reveals much potential for mitigating nitrogen losses. *Science of The Total Environment*, 704, 135401. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971935394X>
- Zhao, Y., Lu, Q., Wei, Y., Cui, H., Zhang, X., Wang, X., Shan, S., et al. (2016). Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. *Bioresource Technology*, 219, 196–203. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416310963>
- Zhou, S., Zhang, X., Liao, X., Wu, Y., Mi, J., & Wang, Y. (2019). Effect of Different Proportions of Three Microbial Agents on Ammonia Mitigation during the Composting of Layer Manure. *Molecules*, 24(13), 2513. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/13/2513/htm>
- Zou, L., Ma, C., Liu, J., Li, M., Ye, M., & Qian, G. (2016). Pretreatment of food waste with high voltage pulse discharge towards methane production enhancement. *Bioresource Technology*, 222, 82–88. Elsevier. Retrieved April 24, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416313712?via%3Dihub>
- Zuo, Z., Wu, S., Qi, X., & Dong, R. (2015). Performance enhancement of leaf vegetable waste in two-stage anaerobic systems under high organic loading rate: Role of recirculation and hydraulic retention time. *Applied Energy*, 147, 279–286. Elsevier. Retrieved April 25, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915002858>

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS DISERTACIJOS TEMA

Moksliniai straipsniai:

Stunžėnas, E., Kliopova, I. (2018). Optimizing municipal biodegradable waste management system to increase biogas output and nutrient recovery: A case study in Lithuania. *Energy Procedia*, 147, 641–648.

Kliopova, I., Staniškis, J.K., Stunžėnas, E., Jurovickaja, E. (2019). Bio-nutrient recycling with a novel integrated biodegradable waste management system for catering companies. *Journal of Cleaner Production*, 209, 116–125.

Stunžėnas, E., Kliopova, I. (2021). Industrial ecology for optimal food waste management in a region. *Environmental Research, Engineering and Management*, 77(1), 7–24.

Stunžėnas, E., Kliopova, I., Kliaugaitė, D., Budrys, R.P. (2021). Industrial symbiosis for optimal bio-waste management and production of a higher value-added product. *Processes*, 9, 22–28.

Mokslinės konferencijos:

Stunžėnas, E., Kliopova, I. (2018). Optimizing municipal biodegradable waste management system to increase biogas output and nutrient recovery: A case study in Lithuania. In *Energy Procedia: International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2018, May 16–18, 2018, Riga, Latvia*, 147 (pp. 641–648).

Kliopova, I., Stunžėnas, E. (2018). Application of industrial ecology methods for sustainable agriculture development. In *International Scientific and Practical Conference “Digitalization of the Agro-Industrial Complex”, October 10–12, 2018, Tambov* (pp. 67–69).

Kliopova, I., Stunžėnas, E. (2019). Integrated industrial biodegradable waste management on regional level. In *Sustainable Development of the Region: Architecture, Construction, Transport: Materials of the 6th International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 40th Anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU, May 22–25, 2019, Tambov* (pp. 401–406).

Kliopova, I., Stunžėnas, E. (2019). Integrated municipal biodegradable waste management model for minimization of environmental impact and alternative energy production in Utena region, Lithuania. In *Biosphere Compatible Technologies of Energy Saving* (pp. 123–147). Yekaterinburg: Арпаф.

SL 344. 2022-*, *, * leidyb. apsk. 1. Tiražas 14 egz. Užsakymas * .
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas