

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
ŽEMĖS ŪKIO AKADEMIJA

TVIRTINU:

LEP VDU ŽŪA Kanclerė
Aušra Blinstrubienė
2025 m.mėn.d.

**PROJEKTAS ĮGYVENDINTAS PAGAL ŽEMĖS ŪKIO, MAISTO ŪKIO IR
ŽUVININKYSTĖS 2023–2027 METŲ MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS
PLĖTROS FINANSAVIMO TAISYKLES**

**DIRVOŽEMIO HUMUSINGUMO IŠSAUGOJIMO IR DIDINIMO GALIMYBĖS
NAUDOJANT ŪKYJE PAGAMINAMUS AUGALŲ TREŠIMO IŠTEKLIUS**

2025 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Doc. dr. Jūratė Aleinikovienė

Kaunas, Akademija

2025

MTEP projekto
„Dirvožemio humusingumo išsaugojimo ir didinimo galimybės naudojant ūkyje
pagaminamus augalų tręšimo išteklius“ vykdytojai

Eilės Nr.	Vardas, pavardė	Institucija, pareigos
1.	Dr. Vaclovas Bogužas	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausiasis mokslo darbuotojas
2.	Dr. Jūratė Aleinikovienė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja
3.	Dr. Vaida Steponavičienė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja

TURINYS

ĮVADAS	4
1. Alternatyvių trąšų naudojimas šiuolaikiniame žemės ūkyje susidarymo pagrindas ir apskaičiavimas: aplinkosauginiai, tvarumo ir ilgalaikio dirvožemio sveikatos išsaugojimo principai	6
2. Bioskaidžių atliekų eksperimentai VDU ŽŪA bandymų stotyje: biožaliavų kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis eksperimentas ir komposto poveikio humusingumui lauko sąlygomis eksperimentas	15
3. Efektyvus bioskaidžių atliekų naudojimas ruošiant augalų tręšimo išteklius ūkiuose: praktiniai pavyzdžiai iš ūkių Lietuvoje	23
4. Pagrindiniai metodiniai augalų tręšimo išteklių apsirūpinimo ūkyje įsivertinimo ir ruošimo aspektai	31
5. Atsakingą trąšų gamybos ir naudojimo būdą užtikrinantys aplinkosauginiai reikalavimai ir praktinės rekomendacijos	37
IŠVADOS	39
LITERATŪRA	40
PRIEDAI	44

IVADAS

Dirvožemis atlieka daugybę funkcijų, kurios svarbios tiek lokaliai bei nacionaliniu, tiek Europos bei pasauliniu lygmeniu (Borrelli et al., 2021). Pati svarbiausia funkcija – tai dirvožemio produktyvumas / našumas / derlingumas, kuomet dirvožemyje auga augalai, reguliuojamas vandens ir maisto medžiagų įsisavinimas, temperatūra. Kita vertus, dirvožemis atlieka akumuliacijos ir transformacijos funkciją, t. y., geba kaupti vandenį, organines bei mineralines medžiagas, o ir teršalus bei apsaugo nuo jų patekimo į maisto grandinę. Dirvožemis yra labai svarbi įvairios gyvybės buveinė, dėl ko skaidomos organinės medžiagos, keičiasi arba stabilizuojami maistinių medžiagų ciklai, formuojama dirvožemio struktūra ir stabilizuojamos dirvožemio savybės. Išskiriama dar viena labai svarbi dirvožemio funkcija - tai įveiklinimas, kai vykdoma žmogaus veikla, formuojamas kraštovaizdis bei saugojamas kaip paveldo ar žaliavų pagrindas (LR Dirvožemio įstatymo projektas, 2017). Todėl galima teigti, kad dirvožemis yra vienas pagrindinių gamtos išteklių, o nuo jo derlingumo priklauso žmonijos gyvenimo kokybė bei aprūpinimas maistu.

Šiuolaikinis žemės ūkis, siekdamas didelio produktyvumo, patiria aplinkosauginių, tvarumo ir ilgalaikio dirvožemio sveikatos praradimo pasekmių (Montanarella, Panagos, 2021). Intensyvaus ūkininkavimo praktikos, pagrįstos mineralinių trąšų naudojimu, trumpalaikėje perspektyvoje gali užtikrinti derliaus didėjimą derlingumą, tačiau ilgainiui daro neigiamą poveikį dirvožemio biologinei įvairovei, mikrobiologiniams procesams ir struktūrai (Prāvālie et al., 2021). Nuolat naudojant mineralines trąšas, mažėja dirvožemio humusingumas, blogėja jo gebėjimas sulaikyti drėgmę ir maistines medžiagas, o tai ilgainiui gali tapti kliūtimi tvariam žemės ūkio vystymuisi (Montanarella, Panagos, 2021). Šie veiksniai paskatina ieškoti alternatyvių ir tvaresnių dirvožemio tręšimo būdų, kurie mažintų neigiamą žemės ūkio poveikį aplinkai ir prisidėtų prie dirvožemio sveikatos gerinimo (Brempong, Addo-Danso, 2022).

Apskaičiuota, kad Lietuvoje per metus potencialiai sukaupiama iki 130 tūkst. tonų augalinės kilmės atliekų (Lietuvos oficialios statistikos portalas, 2024), kurias perdirbus arba parinkus tinkamą jų paruošimo būdą galima būtų naudoti dirvožemio gerinimui arba paversti kokybiškais organinėmis trąšomis (Ho et al., 2022). Organinės kilmės trąšos gali prisidėti prie dirvožemio struktūros išsaugojimo bei mikrobiologinės veiklos palaikymo (Miyatake, Iwabuchi, 2005). Kompostuojant augalinės ir gyvūninės kilmės atliekas, jos tampa vertingu maistinių medžiagų šaltiniu dirvožemiui (Antil, Raj, 2012). Perėjimas prie tvaraus dirvožemio tvarkymo praktikų, įskaitant organinių trąšų, pagamintų iš žemės ūkio šalutinių produktų, naudojimą, yra ne tik būtinybė dirvožemio sveikatai atstatyti, bet ir žingsnis įgyvendinant platesnius aplinkosaugos ir ekonomikos tikslus žiedinės ekonomikos kontekste. Augalinių liekanų išvežimas iš laukų prisideda prie organinės anglies kiekio dirvožemyje sumažėjimo. Ši situacija išryškina efektyvaus maisto ir kitų bioskaidžių atliekų tvarkymo svarbą, kas yra reikšminga problema ne tik nacionaliniu, bet ir Baltijos jūros regiono bei tarptautiniu lygmeniu (Skrudodys, Jasinskas, 2021).

Projekto tikslas - įvertinti galimybes apsirūpinti ūkyje pagaminamais augalų tręšimo ištekliais.

Numatomi spęsti uždaviniai: (1) įvertinti dirvožemio sveikatą gerinančių kompostų naudojimą; (2) sukurti metodiką, pagal kurią ūkis galėtų įsivertinti galimybes apsirūpinti ūkyje pagaminamais augalų tręšimo ištekliais.

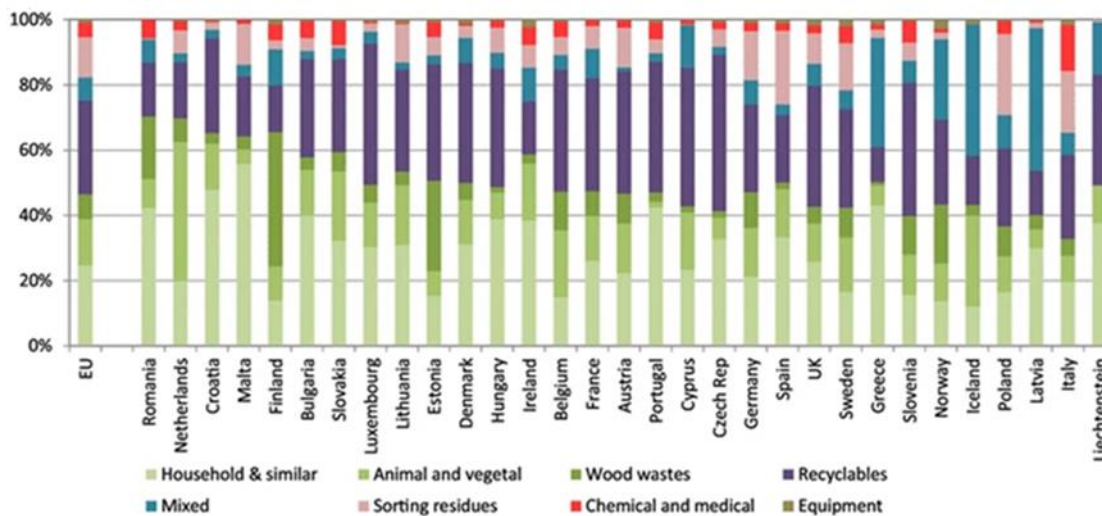
Konkretūs MTEP projekto rezultatai, kurie bus pasiekti įgyvendinus MTEP projektą, ir jų pritaikymas: (1) įvertintas dirvožemio sveikatą gerinančių komposto pagrindu paruoštų produktų naudojimas ir sumodeliuotas dirvožemio humusingumo būklės bei didinimo potencialas, efektyviai naudojant įvairių tipų kompostus (vertinimas padės ūkininkams ir žemės ūkio specialistams geriau suprasti, kaip jų veikla ir naudojamos medžiagos veikia dirvožemio kokybę); (2) remiantis išsamia literatūros ir mokslinių tyrimų analize, atliktas išsamus augalinių tręšimo išteklių

prieinamumo įvertinimas (tyrimas padės nustatyti, kokios ir kiek organinės kilmės medžiagos (pvz., maisto atliekos ar augalinės liekanos) yra prieinamos ir potencialios gaminant alternatyvias trąšas; bus susisteminta ir detalizuota potencialių tręšimui išteklių panaudojimo informacija); **(3)** parengta metodika, leidžianti ūkiams įsivertinti ūkyje pagaminamais augalų tręšimo ištekliais apsirūpinimo galimybes (metodika suteiks praktinių žinių apie esamų išteklių efektyvų ir tvarų naudojimą, siekiant sumažinti ūkių priklausomybę nuo išorinių trąšų tiekėjų); **(4)** supažindinama su aplinkosauginiais reikalavimus, užtikrinančiais atsakingą trąšų gamybos ir naudojimo būdą, skleidžiama informacija apie žiedinės ekonomikos principų taikymą ūkiuose, pabrėžiant atliekų perdirbimo ir išteklių beatliekinio naudojimo svarbą (veiksmai ne tik padės gerinti dirvožemio būklę, didinti dirvožemio humusingumą, bet prisidės ir prie aplinkosaugos bei ekonomikos tikslų, laikantis remiantis žiedinės ekonomikos principų).

1. ALTERNATYVIŲ TRĄŠŲ NAUDOJIMO ŠIUOLAIKINIAME ŽEMĖS ŪKYJE SUSIDARYMO PAGRINDIMAS IR APSKAIČIAVIMAS: APLINKOSAUGINIAI, TVARUMO IR ILGALAIKIO DIRVOŽEMIO SVEIKATOS IŠSAUGOJIMO PRINCIPAI

Žemės ūkyje, maisto pramonėje, nuotekų dumblo valymo įrenginiuose, miesto žaliųjų atliekų tvarkymo įmonėse bei kitos veiklos pasekoje susidaro bioskaidžių atliekų srautai, kurie potencialiai gali būti naudojami alternatyvių trąšų gamybai (Scarlat et al., 2019). Bioskaidžios atliekos LR Aplinkos ministro įsakyme yra apibrėžiamos kaip (1) „...biologinės atliekos – biologiškai skaidžios sodų ir parkų atliekos (šakos, lapai, žolė), namų ūkių, restoranų, viešojo maitinimo, mažmeninės prekybos įstaigų maisto ir virtuvės atliekos ir panašios atliekos iš maisto perdirbimo įmonių (joms nepriskiriamos miškų ar žemės ūkio atliekos, nuotekų dumblas, natūralių audinių, popieriaus ir kartono, medienos atliekos); (2) „...biologiškai skaidžios atliekos – bet kokios atliekos, kurios gali skaidytis ar būti suskaidytos aerobiniu ar anaerobiniu būdu, pavyzdžiui, maisto ir virtuvės atliekos, žaliosios atliekos, popieriaus ir kartono, medienos, natūralių audinių atliekos, taip pat nuotekų dumblas, biologiškai skaidžios gamybos atliekos“ (LR Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo, 2024). Reikia pastebėti, kad LR atliekų tvarkymo taisyklėse žemės ūkyje susidariusios bioskaidžios atliekos kol kas nėra įtrauktos. Tačiau, tikėtina, kad 90 proc. atliekų, susidariusių ne dėl žemės ūkio veiklos, patenka į sąvartynus ir prarandami dideli kiekiai vertingų medžiagų ir energijos (Pajura, 2023).

Atliekų tvarkymas yra svarbus klausimas tiek tarptautiniu mastu, tiek Lietuvoje. Komunalinių atliekų surinkimo sistemos – brangios, o įranga susidėvėjusi. Lietuva yra viena iš dešimties Vidurio ir Rytų Europos šalių, derinančių aplinkosaugos politiką su Europos Sąjunga, siekiančių modernizuoti sąvartynus, kuriuose vyksta nevaldomas organinių medžiagų irimo procesas bei teršiama aplinka dujinėmis ir lakiomis medžiagomis. Be to, sąvartynai užima didelius žemės plotus, kurie galėtų būti naudojami žemės ar miškų ūkyje (Sayara et al., 2020). Tinkamai tvarkant atliekas, galima ne tik sumažinti jų poveikį aplinkai, bet ir išgauti naudos. Visų pirma atliekos gali būti panaudojamos energijai išgauti. Komunalinių biologiškai skaidžių atliekų anaerobinio pūdymo įrenginiuose gali būti išgaunamos biodujos, kurios naudojamos kaip atsinaujinantis energijos šaltinis. Taip būtų išvengta atliekų irimo metu susidarantių nuodingų produktų patekimo į aplinką.



1 pav. Atliekų susidarymas ir pasiskirstymas pagal rūšis Europos šalyse (pagal Scarlat et al., 2019)

Pastebėtina, kad biologinės ir bioskaidžios atliekos Lietuvoje apibūdinamos pagal Europos Sąjungos atliekų tvarkymo direktyvą (EC Directive on Waste and Repealing Certain, 2008). Kaip nurodoma ES valstybių atliekų tvarkymo apskaitos dokumente, Lietuvoje susidaro apie 170 tūkst. t biologinių ir bioskaidžių atliekų (priskiriama (1) gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos bei (2) augalinės atliekos), iš kurių apie 20-30 proc. atliekų kaupiamos sąvartynuose arba kompostuojamos, o beveik tiek pat (iki 30 proc.) - perdirbamos arba kaip žaliava naudojamos pakartotinai (1 pav.).

Tuo tarpu, srutos, šiaudai ir kitos nepavojingos žemės ūkio ar miškininkystės gamtinės medžiagos, kaip nedaranti žalos aplinkai ar nekelianti grėsmės žmogaus sveikatai biomasė į biologinių ir bioskaidžių atliekų apskaitą iki šiol nėra įtrauktos (EC Directive on Waste and Repealing Certain, 2008). Reikia pastebėti, kad paminėta bioskaidžių žaliavų dalis iš žemės ūkio ir miškininkystės sektoriaus buvo apskaičiuota naudojant apsirūpinimo biomase apskaitos ekonominį modelį (apskaitos modelis EW-MFA, Vitunskienė et al., 2022). Kaip teigia tyrėjai, Lietuvoje žemės ir miškininkystės sektorius sukuria per 10 mln. tonų (2020 m. duomenimis) augalinės ir gyvūninės kilmės atliekų (Vitunskienė et al., 2023). Dalis šių atliekų (iki 7,5 mln. tonų) suvartojama žemės ūkio sektoriuje ar žemės ūkio įmonėse. Srutos ir šiaudai šioje atliekų biomasėje sudaro apie 5,6 mln. tonų. Todėl, jei žymiai nesikeis naudojamų žemės ūkio naudmenų plotai (ypač, ariamos žemės, kurioje auginami žemės ūkio pasėliai (1 lentelė)), biologinės ir bioskaidžios biomasės vidutiniškai susidarys nuo 7 iki 8 mln. tonų. Kadangi dalis alternatyvios biomasės gali būti naudojama biodujų gamybai (30 proc. arba 3,3 mln. tonų gyvulių mėšlo; Vitunskienė et al., 2023) bei eksportuojama į kitas šalis, alternatyvių trąšų gamybai potencialios biomasės ūkiuose gali likti apie 4 mln. tonų.

1 lentelė. Naudojamos žemės ūkio naudmenos (pagal Lietuvos oficialios statistikos portalas (žemės ūkio naudmenos), 2024)

Eil. Nr.	Naudmenų tipas	Naudojamos žemės ūkio naudmenos, ha*				
		2019 m.	2020 m.	2021 m.	2022 m.	2023 m.
1.	Naudojamos žemės ūkio naudmenos (iš viso)	2 974 994	2 942 777	2 937 470	2 911 297	2 872 407
2.	Ariama žemė	2 211 931	2 249 350	2 279 052	2 292 471	2 302 993
3.	Pasėliai	2 144 873	2 187 073	2 207 831	2 188 956	2 198 239
4.	Kultūrinės ir natūralios ganyklos, pievos	728 014	657 978	622 598	582 973	536 694
5.	Sodai ir uogynai	29 475	29 522	29 553	29 4672	29 212

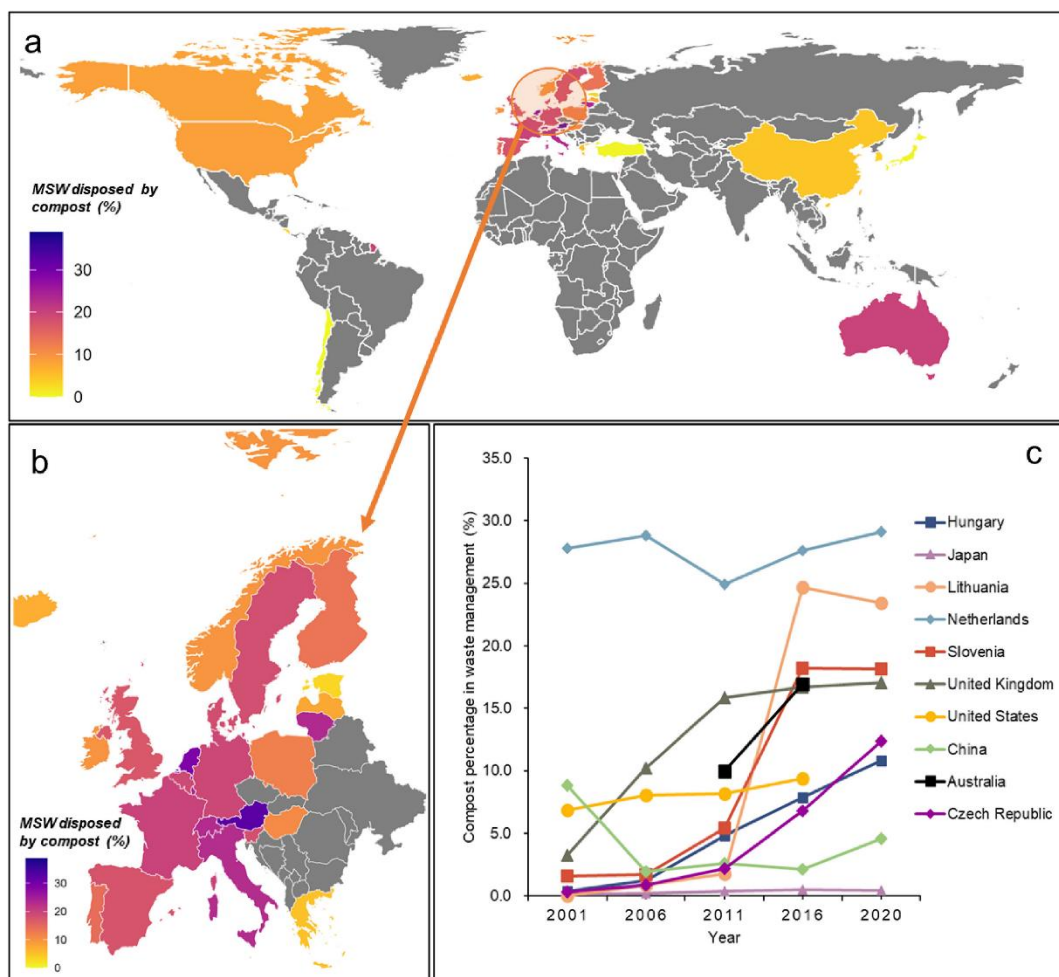
* Įskaitant ūkius, turinčius mažiau nei 1 ha žemės ūkio naudmenų. Nuo 2010 m. – pasėliai įskaitant šiltnamius.

Žemės ūkio sektoriuje sukauptos atliekos ir perdirbtos bioskaidžios atliekos gali būti kompostuojamos, o galutinis produktas – kompostas, naudojamas kaip stabili dirvožemio gerinimo medžiaga, kuri teikia aplinkosaugos ir ekonominę naudą (Hubbe et al., 2010). Todėl, daug atliekų sąvartynuose gali būti sumažinta pasitelkiant kompostavimą ir sukuriant produktą, tinkantį žemės ūkiui (Brock et al., 2013).

Žodis kompostas kilęs iš lotyniško žodžių „compono“ ir „compositum“ ir reiškia: sudėti, sukrauti ar maišyti. Kompostas yra skirtingo mineralizacijos lygio įvairių organinių medžiagų mišinys, o jame esančios ne visai supuvę įvairios organinės liekanos užtikrina dirvožemio struktūringumą ir ilgalaikį trąšumą. Kartu su apirusiomis organinėmis liekanomis komposte yra bakterijų, mielių, mikroskopinių grybų, pirmuonių ir įvairių gyvybės formų, kurios tiesiogiai ar netiesiogiai maitinasi organinėmis liekanomis (Zhang, Sun, 2016). Fermentų pagalba organinės

liekanos mineralizuojamos arba paverčiamos tirpiomis medžiagomis, kurias jau gali iš komposto įsisavinti augalų šaknys. Tuo tarpu, į dirvožemį patekęs kompostas suyra išskirdamas pagrindines augalų maistines medžiagas - azotą, fosforą, kalį ir mikroelementus. Tai natūrali trąša, kuria nepertrešiama, priešingai negu mineralinės trąšos, jis neturi neigiamo šalutinio efekto. Kompostas palengvina sunkios granulometrinės sudėties dirvožemių struktūrą ir pagerina oro laidumą, o smėlinguose dirvožemiuose – padeda sulaukyti drėgmę, atstato maisto medžiagų balansą (Stegenta et al., 2019).

Tarptautiniu mastu vertinant kompostavimo technologijas ir komposto naudojimo dirvožemio kokybei bei pasėlių produktyvumui didinti, o ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas mažinti, nustatyta, kad nuo 2011 m. Lietuva reikšmingai patobulino kompostavimo technologijas (Cao et al., 2023). Apskaičiuota, kad nuo 2011 m. iki dabar šalyje kompostuojama, atitinkamai, vidutiniškai nuo 2,5 proc. iki > 20 proc. skaidžių atliekų (2 pav.). Pavyzdžiui, Airijoje siekiama, kad iki 2030 m. 70 proc. bioskaidžių atliekų būtų perdirbtos arba kompostuojamos.

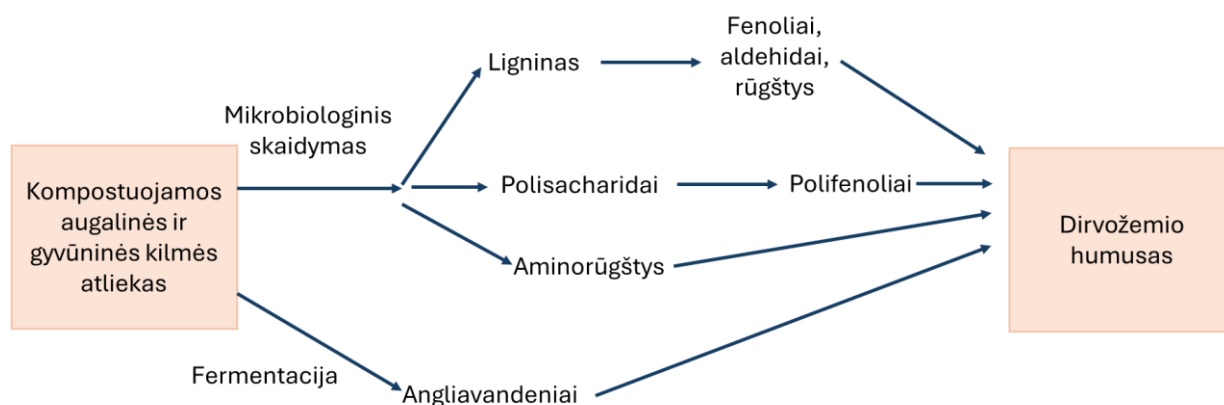


2 pav. Kompostavimo intensyvumo pokyčiai pasaulyje: (a) pasaulinis kompostavimo įvertinimas (2020 m. duomenys); (b) kompostavimo intensyvumo įvertinimas Europos valstybėse (pagal Cao et al., 2023)

Kompostavimas - tai biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo būdas, kai dėl biologinių, biocheminių ir fizinių procesų kompleksinio veikimo, t. y. mikroorganizmų, dirvožemio, gyvūnų ir jų išskiriamų fermentų poveikio, mineralizuojasi biologiškai skaidžios atliekos, išsiskiria cheminiai elementai, būtini organizmams egzistuoti, ir susidaro kompostas (Tran et al., 2021). Kompostavimo

procesas skirstomas į keturias fazes: mezofilinį, termofilinį, aušinimo ir brendimo. Šios fazės turi skirtingą temperatūrą, deguonies poreikį, mikroorganizmų bendrųjų struktūrą, stabilumą, anglies kiekį, azoto kiekį ir pH vertes (Janczak et al., 2017). Paruošus pradinį kompostavimo mišinį, prasideda mezofilinė fazė. Mikroorganizmai, kaip maistinių medžiagų šaltinį naudoja lengvai skaidomas organines medžiagas (3 pav.). Dėl mikroorganizmų veiklos pakyla komposto temperatūra (kompostas iškaista), biochemiškai skaidomos komposto mišinyje esančios organinės jungtys. Šių jungtinių fermentacijos metu gali susidaryti organinės rūgštys, dėl kurių pH rodiklis sumažėja. Tačiau pH šiame diapazone išlieka, nes toliau skyla kompostuojamoje medžiagoje esančios organinės rūgštys, formuojasi amonio junginiai. Ši fazė trunka tol, kol temperatūra pasiekia 55°C, prasideda termofilinė fazė. Šiame etape temperatūra yra aukščiausia viso kompostavimo proceso metu. Kompostuojant organinių medžiagų skaidymo metu masė netenka drėgmės, todėl kompostą reikia drėkinti. Kompostavimo aikštelėse kompostas drėkinama labai smulkiais srovelėmis, kad nebūtų suardyta komposto struktūra.

Kadangi temperatūra yra mikroorganizmų aktyvumo rodiklis, pradinis termofilinės fazės etapas laikomas didžiausio aktyvumo laikotarpiu. Mezofiliniai mikroorganizmai yra jautrūs temperatūrai ir deaktyvuojami termofilinės fazės metu, o termofiliniai mikroorganizmai išgyvena. Mažiau biologiškai skaidžios ir sudėtingos organinės medžiagos, tokios kaip celiuliozė ir hemiceliuliozė, pradeda biologiškai skaidytis šioje fazėje. Amoniakas, susidarantis skaidant azoto turinčias organines medžiagas, padidina komposto pH (FAO, 2002). Mikroorganizmų veikla sulėtėja, kai išsenka maistinių medžiagų šaltiniai, dėl to sumažėja temperatūra ir prasideda substratų stabilizavimo fazė, kurią sudaro aušinimo ir brendimo fazės. Temperatūra aušinimo fazės metu yra panaši į mezofilinės fazės, o mezofiliniai organizmai šioje fazėje intensyviai vystosi. Turimą maistinių medžiagų šaltinį sudaro sudėtingos organinės medžiagos, kurios yra lignoceliuliozės. Aušinimo fazė paprastai trunka kelias savaites ir gali būti lengvai supainiota su brendimo faze – paskutiniu kompostavimo proceso etapu, kai kompostas yra stabilus ir subrendęs. Ruošiant kompostą – svarbus fermentacijos procesas, kuris priklauso nuo organinių atliekų rūšies bei jų fizinių-cheminių savybių. Jis trunka 2-15 mėnesių. Fermentacijos metu turi būti pakankamai drėgmės bei vykti aeracija. Atliekoms užkaitus iki 60 laipsnių, žūsta kenksmingi dumbliai, patogeniniai grybai, piktžolių sėklos, greičiau vyksta mineralizavimasis ir humifikavimasis. Galutinis kompostuojamų atliekų produktas yra humusas (3 pav.). Susiformavusio humuso temperatūra yra panaši į aplinkos temperatūrą, o pH neutralus arba silpnai šarminis. Norint nustatyti komposto brandą ir stabilumą, naudojami keli rodikliai, įskaitant daigumo indeksą ir organinės anglies bei azoto santykį (Wang et al., 2015).



3 pav. Augalinės ir gyvūninės kilmės atliekų kompostavimo biocheminė transformacija (pagal Ho et al., 2023)

Pagal irimo procesų prigimtį, kompostavimą galima suskirstyti į dvi kategorijas: anaerobinį, kai organinės medžiagos ardamos esant deguonies trūkumui, ir aerobinį, kai medžiagos ardamos esant pakankamam deguonies kiekiui (Ho et al., 2023).

Anaerobinis kompostavimas – šiuose organinių medžiagų skaidymosi procesuose pagrindinį vaidmenį atlieka anaerobiniai mikroorganizmai. Tarpiniai jų veiklos produktai – metanas, organinės rūgštys, sieros vandenilis ir kitos medžiagos (Ashokkumar et al., 2022). Dėl deguonies trūkumo junginiai toliau nemetabolizuojami ir kaupiasi ardomoje masėje. Kai kurie šių junginių yra fitotoksiški.

Anaerobinis kompostavimas yra žemos temperatūros procesas (maksimali temperatūra pakyla iki + 40 °C). Jo metu nesunaikinamos piktžolių sėklos ir patogeniniai organizmai, į aplinką išsiskiria nemalonūs kvapai, nesurenkamas susidaręs filtratas, priešingai nei skaidant bioskaidžias atliekas aerobiniu būdu (Ashokkumar et al., 2022). Minėti trūkumai dažnai nusveria anaerobinio kompostavimo privalumus – mažą imlumą darbui ir mažesnius maisto medžiagų nuostolius proceso metu.

Kompostuojant labai svarbu išlaikyti tinkamą anglies ir azoto santykį. Kadangi organinę medžiagą skaidantys dirvožemio mikroorganizmai reikiama energiją ir mitybos medžiagas gauna iš azoto ir anglies turinčių organinių junginių. Kompostavimo procesui palankiausia, kai kompostuojamose žaliavose bendras anglies ir azoto santykis yra 20-30:1. Augalų liekanose C:N santykis yra 30-70:1. Anglies pertekliaus sąlygomis kompostavimosi procesas neprasisdės tol, kol visas anglies perteklius, yrant organinėms medžiagoms, nevirš anglies dvideginio ir neišgaruos iš komposto rietuvės. Analogiška ir azoto pertekliaus neigiama įtaka - perteklinis azotas skiriasi amoniako ir kitų dujų pavidalu. Tinkamą anglies ir azoto santykį turime sudaryti kraudami komposto kaupą (Bareika ir kt., 2022). Kompostuojamos medžiagos, priklausomai nuo jose esančio azoto ir anglies kiekio, skirstomos į turtingas azoto ar turtingas anglies (2 lentelė). Pavyzdžiui, mėšlas, šviežia žolė, žali lapai, grūdai, sėklos, maisto atliekos, pūvantys vaisiai ir daržovės, yra azoto turtingos medžiagos. Jų skaidymasis sušildo kaupą, bet jos turi mažai oro ir yra per daug rūgščios. Daug azoto turinčias medžiagas reikia sluoksniuoti su daug anglies turinčiomis medžiagomis: šiaudais, sausa žole, sausais lapais, pjuvenomis, žieve, durpėmis.

2 lentelė. Bioskaidžių atliekų fizikinės ir cheminės savybės (pagal Luttenberger, 2020)

Atliekos	Drėgmės kiekis, proc.	Organinė C, proc.	Organinis N, proc.	C:N santykis	Tankis, kg l ⁻¹
Žaliosios atliekos	30	50,0	1,0	50:1	0,30
Prekyviečių vaisių atliekos	80	44,5	1,4	32:1	0,95
Smulkinta žolė	82	57,8	3,4	17:1	0,80
Žolė	82	52,3	3,4	15:1	0,18
Lapai	80	48,6	0,9	54:1	0,27
Suslėgti šlapi lapai	38	42,2	0,9	47:1	0,30
Žali lapai	65	48,3	1,3	37:1	0,18
Nukritę sausi lapai	15	42,2	0,9	47:1	0,06
Pjuvenos	39	45,0	0,2	188:1	0,24
Krūmų genėjimo atliekos	15	53,0	1,0	53:1	0,26
Šiaudai	12	14,2	0,4	35:1	0,13
Medžių genėjimo atliekos	70	49,6	3,1	16:1	0,77
Daržovių atliekos	87	34,8	3,2	11:1	0,95
Medžio nuolaužos	40	20,4	0,1	226:1	0,24
Medžio žievė	20	50,0	0,1	500:1 0	0,24

Bendroje masėje į kompostą rekomenduojama dėti 3-4 dalis medžiagų, turinčių daug anglies, ir 1 dalį daug azoto turinčių medžiagų (Chavez-Rico et al., 2022). Kompostavimo metu organinės medžiagos sugražinamos atgal į medžiagų apykaitos ratą. Komposte vyksta tie patys procesai kaip ir dirvoje, tačiau daug greičiau ir efektyviau, todėl subrendęs kompostas yra net tik vertinga trąša, bet ir dirvožemio gyvybingumo skatintojas (Puchalski et al., 2019). Kokybiškas kompostas, kaip kompostavimo produktas, mažina mineralinių trąšų naudojimą, didina utilizuojamų namų atliekų dalį ir gerina dirvožemio kokybę (Yu et al., 2019).

Kontroliuojamas kompostavimo procesas mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. Santos ir kt. (2021) tyrimas atskleidžia, kad tinkamai tvarkomos bioskaidžios atliekos mažiau išskiria metano, todėl mažina emisijų poveikį klimatui. Weldon ir kolegos (2023) taip pat pabrėžė, kad kompostuojant mažinamas sintetinių trąšų poreikis, taip prisidedant prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo. Nors ir humusingo dirvožemio išlaikymas yra esminis ilgalaikio ūkininkavimo veiksnys, Spaccini ir kt. (2020) įrodė, kad kompostavimas padeda didinti organinės anglies kiekį dirvožemyje, taip prisidedant prie ilgalaikio dirvožemio derlingumo. Gerke ir kt. (2022) tyrimai taip pat parodė, kad organinių trąšų naudojimas dėl humuso didėjimo padeda išsaugoti dirvožemio struktūrą ir stabdyti eroziją.

3 lentelė. Alternatyvios trąšos iš bioskaidžių atliekų (MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Alternatyvi trąša	Žaliavos šaltinis	Gamybos pajėgumas, t m. ⁻¹ arba L m. ⁻¹	Alternatyvių trąšų gamintojas
Kompostas*	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos	> 500	gamina savivaldybės ribose, privačios įmonės
Kompostas su aktyvinta anglimi	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos aktyvinančiomis neorganinėmis medžiagomis (aktyvinta anglimi)	< 10	gamina ūkio ribose
Kompostas su chitinu	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos gamtiniais polimerais (chitinu)	< 20	gamina ūkio ribose
Komposto ištraukos (skystos trąšos)	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos žolės miltais arba fermentuota žole	iki 120 000	gamina savivaldybės ribose, privačios įmonės
Mulčas*	Augalinės kilmės mišrios sodų, parkų ir želdynų tvarkymo biologiškai skaidžios atliekos (šakos, lapai, žolė, daržo atliekos) ar miškininkystės atliekos	> 100	gamina savivaldybės ribose, privačios įmonės
Biologinės trąšos*	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos žolės miltais arba fermentuota žole	< 10 000	gamina savivaldybės ribose, privačios įmonės
Biologinės trąšos (smulkinta biomasė arba skystos trąšos)	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos žolės miltais arba fermentuota žole, biologinės kilmės aktyvinančiomis medžiagomis	< 10 000	gamina savivaldybės ribose, privačios įmonės, tarptautinės kompanijos
Biologinės trąšos su aktyviais mikroorganizmais ar jų pradmenimis	Augalinės bei gyvūninės ir mišrios maisto produktų atliekos; praturtintos žolės miltais arba fermentuota žole, biologinės kilmės aktyvinančiomis medžiagomis, mikroorganizmų pradmenimis	15 – 30	gamina mokslinių tyrimų institucijos, ūkio ribose, privačios įmonės, tarptautinės kompanijos

* skirtingų frakcijų biri biomasė (pagal LST EN 13040:2008 standartą, komposto sudedamųjų dalelių frakcijų dydis: (1) >40 mm, (2) 20 mm ir (3) <20 mm; nesuardytos augalinės medžiagos dalies biomasėje neturi būti; pagal ISO EN

14855:2005 standartą brandaus mulčio kvapas apibrėžiamas, kaip „miško dirvožemio kvapas“ (angl. *smells like a forest soil*); netinkamo mulčio kvapai: (1) amoniako kvapas (chemiškai nestabilus mulčio, kai skaidomas organinis azotas), (2) sieros vandenilio kvapas (chemiškai ir biologiškai nestabilus mulčio, kai sieros bakterijos vykdo sieros junginių oksidaciją) ir (3) pelėsio kvapas (biologiškai nestabilus mulčias, kai vystosi pelėsinių grybų rūšys ir brandina sporas)).

Tarp alternatyvių trąšų, kurios galėtų būti gaminamos iš augalinės bei gyvūninės kilmės atliekų ir mišrių maisto produktų atliekų, labiausiai paklausios ir dirvožemio savybes gerinančios trąšos apibūdintos 3 lentelėje. Dėl žaliavų trūkumo ir alternatyvių trąšų ruošimo specializacijos ne visos trąšos gali būti pagamintos ūkio ribose. Manoma, kad optimaliai vertinant ūkio pajėgumus, gaminamos alternatyvios trąšos iš augalinės bei gyvūninės kilmės atliekų ir mišrių maisto produktų atliekų apsiribotų iki $< 100 \text{ t} \cdot \text{m}^{-1}$ arba $\text{L} \cdot \text{m}^{-1}$ pajėgumu. Gaminant didesnius alternatyvių trąšų kiekius būtinas gausnis žaliavų kiekis bei technologinės investicijos. Didesnį alternatyvių trąšų gamybos pajėgumą gali užtikrinti alternatyvių trąšų gamybos įmonės. Šių išteklių perdirbimas į trąšas ne tik mažina ūkininkavimo sąnaudas, bet ir įgalina taikyti žiedinės ekonomikos principus, kuriais siekiama užtikrinti atliekų perdirbimą ir jų sugražinimą į maisto medžiagų biologinį ciklą. Organinių atliekų kompostavimas suteikia galimybę kurti trąšas, kurios palaiko dirvožemio struktūrą, didina humusingumą ir skatina biologinę įvairovę. Tokiu būdu ūkininkai gali ne tik sumažinti priklausomybę nuo sintetinių trąšų, bet ir prisidėti prie ilgalaikio dirvožemio derlingumo ir ekosistemų sveikatos išsaugojimo (Shi et al., 2024).

Vykdomos MTEP veiklos tikslai atspindi pagrindinius dirvožemio sveikatos gerinimo, kompostų naudojimo plėtros bei tręšimo išteklių prieinamumo didinimo ūkiuose aspektus. Jų nagrinėjimas suteiks pagrindą sukurti praktinę metodiką, kurią bus galima taikyti tiek dideliuose, tiek mažuose ūkiuose, užtikrinant, kad ūkininkai turėtų priemones efektyviai ir tvariai naudoti savo ūkiuose susidarancius organinius išteklius. Pagrindinių tyrimo aspektų svarba projekte:

1. **Dirvožemio sveikatos gerinimas** – projektas nagrinėja, kaip kompostuojant organines liekanas galima prisidėti prie ilgalaikio dirvožemio sveikatos palaikymo. Sveikas ir humusingas dirvožemis yra svarbiausias derlingumo veiksnys.



3 pav. Bioskaidžių atliekų naudojimo galimybės stabilizuojant humusą dirvožemyje (pagal Siebert, Kehres, 2008)

Organinės trąšos padeda palaikyti dirvožemio struktūrą, humusingą sluoksnį, mikrobiologinį aktyvumą, drėgmės ir maistinių medžiagų išlaikymo galimybes (Siebert, Kehres, 2008). Organinės trąšos vertingos ir tuo, kad jose dažniausiai būna visų augalams reikalingų mitybos elementų, yra dirvožemio humuso šaltinis (4 lentelė). Be to, jos turi teigiamą įtaką anglies dioksido kiekiui, kuris reikalingas augalų augimo procesui, bei didesnę agroekologinę reikšmę. Organinės trąšos yra reikšmingos ir dirvožemio mikroorganizmų mityboje. Nustatyta, kad dirvožemį patyrus 40 t mėšlo, į dirvožemį patenka apie 500 kg mikroorganizmų biomasės. Organinių trąšų poveikyje padidėja ne tik

dirvožemio humuso kiekis, bet ir sorbuojamoji galia, mažinamas dirvožemio tirpalo rūgštingumas, gerėja vandens ir oro režimai, tampa labiau palankesnės agrocheminės ir agrofizinės dirvožemio savybės (Jodaugienė ir kt., 2015).

4 lentelė. Humuso susidarymo potencialas naudojant alternatyvias trąšas (MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Alternatyvi trąša	Organinės medžiagos, proc.	Organinė anglis, proc.	Humifikuota anglis, proc.	Humifikuotos anglies sanaupos, t ha ⁻¹
Kompostas	35	20	51	2
Skystas mėšlas	75	43	21	0,2
Šiaudai	85	49	21	0,7
Žaliosios	90	52	14	0,6

2. **Kompostų naudojimas ūkiuose** – antraisiais projekto vykdymo metais numatoma sukurti praktines rekomendacijas ūkininkams, kaip optimizuoti augalinės bei gyvūninės kilmės atliekų ir mišrių maisto produktų atliekų kompostavimo procesus, siekiant geriausių rezultatų. Rekomendacijos bus pagrįstos Vytauto didžiojo universiteto biožaliavų kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis (1 eksperimentas) ir bandymų stotyje įrengto lauko eksperimento (2 eksperimentas) tyrimo rezultatais (4 pav.).



(a)



(b)

4 pav. MTEP projekto rėmuose vykdomas bioskaidžių atliekų kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis tyrimas (a) ir komposto poveikio dirvožemio savybėms lauko eksperimentas (b) (MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

3. **Tręšimo išteklių prieinamumo didinimas** – antraisiais projekto vykdymo metais numatoma sukurti metodiką, kuri leistų ūkininkams savarankiškai vertinti bioskaidžių atliekų kompostavimo galimybes ir alternatyvių trąšų efektyvumą. Kompostavimas suteikia galimybę panaudoti vietinius išteklius, taip mažinant priklausomybę nuo išorinių tiekėjų, trąšų pirkimo kaštų ir kartu prisideda prie ekosistemos apsaugos. Ūkininkai galės apskaičiuoti ir efektyviai tvarkyti bioskaidžias atliekas savo ūkyje. Tokia metodika prisidės prie ūkių savarankiškumo didinimo ir

ekonominių išlaidų mažinimo, nes sumažės sintetinių trąšų poreikis. Ypač, komposto naudojimas skatins natūralius maistinių medžiagų ciklus ir dirvožemio biologinę įvairovę.

Projekto rezultatai yra orientuoti į praktinį pritaikomumą: numatoma, kad parengta metodika suteiks ūkininkams galimybę efektyviau ir racionaliau tvarkyti organines atliekas bei didinti jų įtaką dirvožemio kokybei, sumažinant cheminių trąšų poreikį ir prisidedant prie aplinkos apsaugos tikslų. Ilgalaikė projekto nauda apima ūkininkų savarankiškumo didinimą, atliekų tvarkymo kaštų mažinimą ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimą, mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas bei taršą cheminėmis trąšomis. Organinių trąšų naudojimas skatina natūralų maistinių medžiagų ciklą dirvožemyje ir padeda išlaikyti sveiką bei produktyvią dirvožemio ekosistemą, būtinas ilgalaikiam dirvožemio tvarumui ir žemės ūkio sektoriaus konkurencingumui.

Apibendrinant atliktą literatūros apžvalgą galima teigti, kad:

- organinių medžiagų stabilizavimas, tai vykstančios biologinės reakcijos, kai kompostuojant organinės atliekos paverčiamos į stabilius junginius, daugiausia neorganinės formos;
- neutralizuojami patogenai, kai kompostuojant pakyla temperatūrai net iki 60°C. Tokia temperatūra komposto mišinyje turėtų būti ne trumpiau kaip 1 parą. Kuo komposte aukštesnė temperatūra, tuo reikalingas trumpesnis laikas patogenų slopinimui;
- dirvožemio struktūros ir maisto medžiagų įsisavinimo gerinimas, nes maistinės medžiagos organinėse medžiagose yra sudėtingų organinių formų, kurių įsisavinti augalai negali. Kompostavimo metu maistinės medžiagos tampa neorganiniais junginiais ir lengvai augalų pasisavinami.

Pagrindinis kompostavimo trūkumas yra tas, kad po kompostavimo neorganinių junginių ypatybės gali labai skirtis priklausomai nuo kompostavimo temperatūros, drėgmės ir oro palaikymo. Medžiagų nevienalytiškumas komposte skatina netolygų temperatūros pasikeitimą, todėl, nepaveikia visų plintančių patogenų. Kartais susiduriama su socialiniais ir ekonominiais veiksniais. Pavyzdžiui, kompostas gali būti nepatrauklus, neestetiškas ir nemalonus kvapo. Tuo tarpu, alternatyviai naudojamos cheminės trąšos, net ir trumpuoju naudojimo laikotarpiu, lemia patikimus derlius ir stabilias pajamas.

Projekto vykdymas svarbus dėl suteiktos galimybės kurti tvarią ir aplinkai draugišką tręšimo sistemą, kuri padės Lietuvos ūkininkams ne tik pagerinti dirvožemio kokybę, bet ir sustiprinti savo ūkių ekonominį stabilumą. Pirmaisiais metais sukaupti duomenys sudaro pagrindą tolimesniems tyrimams, kurie padės išplėtoti praktinę metodiką ir prisidėti prie žemės ūkio tvarumo, mažinant neigiamą poveikį ekosistemoms ir didinant ilgalaikį dirvožemio derlingumą.

2. BIOSKAIDŽIŲ ATLIEKŲ EKSPERIMENTAI VDU ŽŪA BANDYMŲ STOTYJE: BIOŽALIAVŲ KOMPOSTAVIMO LABORATORINĖMIS SĄLYGOMIS EKSPERIMENTAS IR KOMPOSTO POVEIKIO HUMUSINGŪMUI LAUKO SĄLYGOMIS EKSPERIMENTAS

Biožaliavų kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis eksperimentas. MTEP projekto Biožaliavų kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis eksperimentas buvo pradėtas vykdyti 2024 m. su tikslu buvo sukurti beatliekio biožaliavų perdirbimo į vertingus produktus, reikalingus biologiškai aktyvaus dirvožemį gerinančio ir jo sveikatą palaikančio produkto kūrimui panaudojant augalinės bei gyvūninės kilmės atliekų ir mišrių maisto produktų atliekų mišinius ir kitas organines atliekas bei vietos biožaliavas. Šiam tikslui pasiekti buvo vykdomi moksliniai tyrimai, siejami su pagrindiniu projekto uždaviniu - ištirti sukurtų biologiškai aktyvių organinių mišinių kokybę indikuojančius sveiko dirvožemio formavimo rodiklius ir poveikį indikacinių augalų derlingumui.

Projekto pagrindu vykdytų tyrimų duomenimis gautos naujos žinios, siejamos su beatliekio biožaliavų perdirbimo proceso (1) kompleksinių slenkstinių etapų nustatymu, (2) pagrindinių aplinkos veiksnių, biologiškai aktyviam organiniam mišiniui, identifikavimu ir (3) biologiškai aktyvių substratų biocheminių junginių stabilizavimo vertinimu.

Įgytos naujos žinios leis įvertinti, kad beatliekio biožaliavų perdirbimo procesas biologiškai aktyvių substratų biocheminių junginių stabilizavimo kryptis. Tačiau, reikia atkreipti dėmesį ir į tai, kad nestabilizuotos ir neskaidžios biožaliavos (šiuo atveju, tyrime naudotas biožaliavų mišinys iš substrato po grybų auginimo, gyvulių skerdimo ir kitos organinės atliekos (toliau tekste - biožaliavų mišinys)) nebuvo pasiekusios biocheminio stabilumo ir, tiesiogiai, negali būti naudojamos kaip dirvožemio gerinimo priemonė. Bet, siekiant biologiškai suaktyvinti ir biochemiškai stabilizuoti pasirinktą biožaliavų mišinį, jis buvo praturtintas biologiškai aktyviomis medžiagomis su: (1) medienos pjuvenomis (toliau – MP; jų sudėtyje biologiškai aktyvūs junginiai: dervų, eterinių aliejų ir sudėtinių angliavandenilių (lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės) mišinys; (2) nurūgštintos durpės (toliau – ND; jų sudėtyje biologiškai aktyvūs junginiai: biostimuliatoriai ir bioinhibitoriai (steroidai, triterpenoidai, nesočiųjų riebalų rūgštys, huminės ir fulvo rūgštys), veikiantys specifiskai, priklausomai nuo aplinkos veiksnių, bei sudėtiniai angliavandeniliai, ir (3) paukščių mėšlas (toliau – PM; jų sudėtyje biologiškai aktyvūs junginiai: organinės rūgštys ir fermentai.

Vykdyto MTEP tyrimo objektas buvo plačiai naudojamas biožaliavų mišinys (įmonė, kuri substratą pateikė tyrimams nenurodyta). Biožaliavų mišinį sudarė skirtingos biocheminės sudėties organinės medžiagos, tačiau, projekto vykdymo pradžioje detali jų sudėtis nebuvo nustatyta. Atsižvelgiant į tai, kad biožaliavų mišinys neišsiskyrė biožaliavų branda arba biožaliavų mišinio fizikiniai rodikliai (poringumas - $72,8 \pm 3,9$ proc., piltinis tankis – 835 ± 128 g cm⁻³, tūrinis tankis – 1963 ± 661 g L⁻¹) neatitiko brandaus komposto rodiklių, o biožaliavų mišinys neskaidus ir biochemiškai nestabilizuotas. Siekiant biologiškai suaktyvinti ir biochemiškai stabilizuoti pasirinktą biožaliavų mišinį, jis buvo praturtintas biologiškai aktyviomis medžiagomis su medienos pjuvenomis (MP), nurūgštintomis durpėmis (ND) ir paukščių mėšlu (PM).

Praturtinus biologiškai aktyviomis medžiagomis biožaliavų mišinys buvo tiriamas pagal iš anksto sudarytą tyrimų schemą. Biožaliavų mišinį tiekė įmonė, o vertintas - biožaliavų mišinys, ruoštas įmonėje atlikus du maišymus (I-as maišymas ir II-as maišymas; maišymo ypatumai nebuvo detalizuoti). Praturtinus dviejų maišymų mišinius biologiškai aktyviomis medžiagomis (MP, ND ir PM), organinių mišinių kokybės rodikliai buvo vertinti vykdant mišinių kompostavimą kontroliuojamomis laboratorinėmis sąlygomis.

Tyrimo vykdymo sąlygos. Biožaliavų mišinys kompostavimui buvo paruošiamas laikantis trijų veiksnių schemas (5 lentelė), kai eksperimento variantai: A veiksnys – biožaliavos maišymo įmonės kompostavimo aikštelėje laikotarpis: (1) I-as maišymas, (2) II-as maišymas; B veiksnys – biožaliavos praturtinimo biologiškai aktyviomis medžiagomis koncentracija: (1) iki 10 proc.

biožaliavos mišinio tūrio, (2) iki 20 proc. biožaliavos mišinio masės, ir C veiksnys – pasyvaus kompostavimo būdas: (1) aerobinis, (2) anaerobinis.

5 lentelė. Biožaliavų mišinio su biologiškai aktyviomis medžiagomis kompostavimo laboratorinėmis sąlygomis eksperimento veiksniai

I-as maišymas						II-as maišymas					
MP		ND		PM		MP		ND		PM	
10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %
Kompostavimo būdas I Aerobinis - pasyvaus kompostavimo būdas su pasyvia aeracija (su savaimine oro cirkuliacija)											
I-as maišymas						II-as maišymas					
MP		ND		PM		MP		ND		PM	
10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %	10 %	20 %
Kompostavimo būdas II Anaerobinis - pasyvaus kompostavimo būdas be aeracijos (be oro cirkuliacijos)											

Pastaba: skirtingomis spalvomis lentelėje pažymėti eksperimento variantai (veiksniai).

Biožaliavų mišiniai, praturtintas biologiškai aktyviomis medžiagomis, kompostuojami nuo 2024 m. sausio mėn. iki 2025 m. kovo mėn. (15 mėn.) VDU Žemės ūkio akademijos Bandymų stotyje Augalų ir augalinių žaliavų tyrimų laboratorijoje plastikiniuose 20 L kibiruose. Pirmojo ir antrojo maišymo biožaliavų mišiniai su skirtingo masės tūrio (10 ir 20 proc.) MP, ND ir PM biologiniais aktyvatoriais (6 lentelė) kompostuojami iki $25 \pm 1^\circ\text{C}$ laipsnių temperatūroje. Biologiniai aktyvatoriai MP, ND ir PM mišiniuose išsiskyrė biožaliavų mišinio junginių kintančia / stabilizuojančia savybe. Tačiau, šių biologinių aktyvatorių poveikis patogenų kontrolei ir fermentacijai aktyvuoti turėjo būti labiausiai išreikštas kompostuojant biožaliavų mišinius.

Į kibirus kompostavimui biožaliavų ir biologinių aktyvatorių mišiniai į kibirus buvo taruojami taip, kad nuo kibirų viršutinės briaunos iki mišinio paviršiaus liktų ne mažiau nei 12 cm. Manoma, kad laboratorinėmis sąlygomis toks oro tarpo koridorius yra būtinas pasyviam dujų ir vandens srautui vykti, ypač, anaerobinėmis sąlygomis. Kompostuojant anaerobinėmis sąlygomis, mišiniai kibiruose buvo uždengiami dangčiu sandariai, kad nepatektų oro iš aplinkos. Tuo tarpu, kompostuojant aerobinėmis sąlygomis mišiniai plastikiniuose kibiruose buvo pridengiami tik filtrinio popieriaus skiautėmis, kad mišinių paviršiaus neveiktų tiesioginiai saulės spinduliai iš patalpos, kurioje kibirai buvo laikomi.

6 lentelė. Pagrindinė informaciją apie biologiškai aktyvių medžiagų biocheminę sudėtį

Eil. Nr.	Biologiškai aktyvi medžiaga	Pagrindiniai		Kintanti / stabilizuota savybė biožaliavų mišinyje
		biologiškai aktyvūs junginiai	cheminiai elementai	
1.	MP mišrios medienos pjuvenos	dervos - 3-5 proc.; eteriniai aliejai - 2 proc.; sudėtiniai angliavandeniliai (lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės) - 63-72 proc.	pH (KCl) – 5,61; C – 46,4 proc.; K – 63,3 proc.; Ca – 7,4 proc.; Mg – 3,7 proc.; N – 0,34 proc.; P – 0,31 proc.	sumažina tankį kompostuojamuose mišiniuose (Scharenbroch, Watson, 2014); organiniais anglies junginiai praturtinanti medžiaga (Andrews et al., 2021); patogenų kontrolei (Cekmecelioglu et al., 2005); fermentacijos aktyvatorius (Rodríguez et al., 2019)
2.	ND nurūgštintos durpės	biostimuliatoriai ir bioinhibitoriai (steroidai, triterpenoidai) – 2 proc.; nesočiųjų riebalų rūgštys – 12,6 proc.; huminės rūgštys – 5,3 proc.; fulvo rūgštys – 16,8 proc.; sudėtiniai angliavandeniliai – 35,3 proc.	pH (KCl) – 11,5; C – 41,9 proc.; Ca – 0,0596 proc.; N – 0,0286 proc.; Mg – 0,0205 proc.; K – 0,02036 proc.; P – 0,02001 proc.	sumažina tankį kompostuojamuose mišiniuose (Puchalski et al., 2019); organiniais anglies junginiai praturtinanti medžiaga (Sas-Paszt et al., 2014); azoto junginių transformacijos kontrolei (Su, Puls, 2007); patogenų kontrolei (Pot et al., 2022); fermentacijos aktyvatorius (Li et al., 2023)
3.	PM granuliuotas paukščių mėšlas	organinės rūgštys (aminorūgščių pagrindu) – 4-6 proc.; fermentai – 28,7 proc.; sudėtiniai angliavandeniliai – 11,6 proc.	pH (KCl) – 5,53; C – 35,7 proc.; N – 5,32 proc.; K – 1,5 proc.; P – 0,59 proc.; Ca – 0,52 proc.; Mg – 0,31 proc.	maisto medžiagų transformacijos kontrolei (Rao et al., 2007); tirpinami angliavandeniliai (Hwang et al., 2020); patogenų kontrolei (Park et al., 2017; Greff et al., 2021); fermentacijos aktyvatorius (Nie et al., 2015)

Biožaliavų mišinių kompostavimas vykdomas trimis pakartojimais, iš viso 36 plastikinėse talpose (kibiruose), kurie tyrimų laboratorijoje buvo išdėstyti randomizuotai. Vykdyto tyrimo metu, kompostuojami biožaliavų mišiniai laistomi rankiniu būdu kas 4-5 dienas (aerobinėmis sąlygomis laikomų talpų) ir kas 7-8 dienas (anaerobinėmis sąlygomis laikomų talpų), laikantis greito mišinių talpos paviršiaus atidengimo bei atidarymo ir laistymo režimo (ne daugiau negu 4 sekundės). Dieną prieš kompostuojamų mišinių laistymą, naudojant elektroninį Delta T device HH2 drėgnomatį su WET sensoriumi, visuose variantuose pasirinktinai vienoje talpoje išmatuojamas mišinių drėgnumas. Įvertinus drėgnumo duomenis, reikiamas vandens kiekis išskaičiuojamas kiekvienam tyrimo variantui taip, kad talpose kompostuojamų mišinių drėgnumas būtų 50 ± 2 proc. Lauko sąlygomis kompostuojant biožaliavų mišinius, rekomenduojamas mišinių drėgmės procentas neturi viršyti 65 proc.

Tyrimų ir analizių metodai. Pasirinktų mišinių kompostavimo skirtingais būdais procesų stebėjimas ir įvertinimas. Šiame tyrimų etape svarbu stebėti ir nustatyti, kada biožaliavų ir aktyvių medžiagų mišinius pradeda skaidyti mikroorganizmai. Į mišinių skaidymo procesą, pirminiame etape (I etapas), įsijungia mezofiliniai mikroorganizmai (t.y., bakterijos ir grybai, skaidantys sudėtinius angliavandenius 20-37°C temperatūroje), kurių gausumas buvo vertintas 1 kartą per kiekvieną biožaliavų mišinių kompostavimo mėnesį nuo 2024 m. kovo mėn. iki 2025 m. vasario mėn. Šio etapo vertinimui pasirinkti mikroorganizmai buvo: (1) pienarūgštės bakterijos homofermentinis *Lactococcus* genties atstovas *L. lactis* ir heterofermentinis *Leuconostoc* genties atstovas *L. mesenteroides*, jų buvimas mišiniuose vertinamas teigiamai; (2) žmogaus patogenai bakterijos *Escherichia* genties atstovas *E. coli* ir *Pseudomonas* genties atstovas *P. aeruginosa*, jų buvimas mišiniuose nepageidautinas ir rodo mišinių patogeniškumą. Pienarūgščių ir patogeninių bakterijų nustatymas atliktas vykdant tiriamų mišinių suspensijos ant agarizuotos terpės sėjas. Šioms bakterijoms pasirenkamas 10⁻¹⁰ skiedimas, sėjama ant agaru terpės (5 g L⁻¹ peptonas; 3 g L⁻¹ jautienos sultinio ekstraktas; 5 g L⁻¹ NaCl; 15 g L⁻¹ agaras; pagal Abussaud et al., 2013). Lėkštelės bakterijų vertinimui inkubuojamos 36°C temperatūroje 24 valandas.

Į mišinių skaidymo procesą, antrame etape (II etapas), įsijungia termofiliniai mikroorganizmai (t.y., bakterijos ir grybai, turintys stiprų fermentinį aktyvumą ir gali veikti 45-122°C temperatūroje). Šio etapo vertinimui pasirinkti mikroorganizmai buvo: *Bacillus* genties atstovas *B. subtilis* ir *Aeribacillus* genties atstovas *A. composti*. Buvo atliktas tiriamų mišinių suspensijos ant agarizuotos terpės sėjos. Šioms bakterijoms pasirenkamas 10⁻⁸ skiedimas, sėjama ant karboksi(metil) agaru terpės (10 g L⁻¹ mielių ekstrakto; 1 g L⁻¹ (NH₄)₂SO₄; 2,5 g L⁻¹ K₂HPO₄ x 3H₂O; 0,25 g L⁻¹ NaCl; 0,1 g L⁻¹ MgSO₄·x 7H₂O; 0,125 g L⁻¹ FeSO₄·x 7H₂O; 0,0025 g L⁻¹ MnSO₄·x 4H₂O; 10 g L⁻¹ agaras; pagal Vu et al., 2022). Lėkštelės bakterijų vertinimui inkubuojamos 60°C temperatūroje 24 valandas.

Į mišinių skaidymo procesą, trečiame etape (III etapas), vėl įsijungia mezofiliniai mikroorganizmai (t.y., bakterijos ir grybai, skaidantys sudėtinius angliavandenius 20-37°C temperatūroje). Mikroorganizmai vertinti pagal I etape nurodytą bakterijų nustatymo metodiką.

Tiek aerobinio, tiek ir anaerobinio kompostavimo eigoje išsiskiria įvairių dujų mišiniai, kurių sudėtyje vyrauja CH₄, CO, CO₂, NH₃ ir N₂O dujos. Didžiausiomis dujų fliktuacijomis išsiskiria organinių mišinių kompostavimo periodai I ir II etapuose, tačiau, komposto biocheminei sudėčiai stabilizuojantis, išsiskiriančių dujų kiekiai mažėja (Dach et al., 2009). Todėl, laboratorinėmis sąlygomis kompostuojant biožaliavų mišinius su biologiškai aktyviomis medžiagomis, išsiskiriančio anglies dvideginio (CO₂) kiekis buvo matuojamas kas 14 dienų tuose mišiniuose, kuriuose patvirtintas kompostavimo III etapas. Buvo priimta prielaida, kad šiame kompostavimo etape CO₂ kiekis stabilizuojasi. Anglies dvideginio kiekiai įvertinti remianti Frouz ir Bujalský (2018) metodika, vykdant išsiskiriančių CO₂ dujų iš kompostuojamų mišinių fiksavimą natrio šarmu; 1 M NaOH; pagal cheminę reakciją: CO₂ + 2NaOH → H₂O + Na₂CO₃) ir titruojant bario chloridu (1 M BaCl₂; pagal cheminę reakciją: Na₂CO₃ + BaCl₂ → 2NaCl + BaCO₃ + NaOH) su indikatoriumi fenolftaleinu iki rožinės spalvos. Prieš CO₂ fiksavimą natrio šarmu biožaliavų mišiniai su biologiškai aktyviomis medžiagomis (50 g) inkubuoti 24 valandas 500 mL stiklinėse kolbose su užsukamu dangteliu ir specialia angele NaOH ėminiui surinkti.

Biožaliavų mišinių su MP, ND ir PM cheminės sudėties vertinimas. Kompostuotų biožaliavų mišinių su MP, ND ir PM cheminiai rodikliai bus nustatyti Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnybos cheminių tyrimų laboratorijoje du kartus: (1) biožaliavų mišinius kompostuojant 9 mėn. (2024 m. rugsėjo mėn.) ir (2) biožaliavų mišinius kompostuojant 15 mėn. (2025 m. kovo mėn.). Biožaliavų mišinių cheminei sudėčiai nustatyti, jungtiniai ėminiai surenkami dirvožemio grąžtu per visą kompostuojamos masės gylį kiekvienoje talpoje ir atliekant penkis dūrius, laikantis greito mišinių

talpos paviršiaus atidengimo bei atidarymo režimo (ne daugiau negu 10 sekundžių). Po ėminių surinkimo susiformavusios ertmės bus paliekamos susiklojėti natūraliai.

2024 m. rugsėjo mėn. įvertinti biožaliavų mišinių cheminiai rodikliai buvo: pH_{KCl} , sausa medžiaga (proc.); organinė anglis (proc.); humusas (proc.); suminis azotas (N, mg/kg); judrusis fosforas (P_2O_5 , mg/kg); judrusis kalis (K_2O , mg/kg). Šių parametrų nustatymo metodai pateikti 7 lentelėje). 2025 m. kovo mėn. buvo nustatomi šie biožaliavų mišinių cheminiai rodikliai: pH_{KCl} , suminis azotas (N, mg/kg); amoniakinis azotas (N-NH₄, mg/kg); nitratinis azotas (N-NO₃, mg/kg); fosfatų fosforas (P-PO₄, mg/kg); judrusis kalis (K_2O , mg/kg); mainų kalcis (Ca, mg/kg); mainų magnis (Mg, mg/kg). Šių parametrų nustatymo metodai taip pat pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Biožaliavų mišinių cheminiai rodikliai, kurie bus nustatyti Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnybos cheminėje laboratorijoje

Eil. Nr.	Cheminiai rodikliai	Cheminiams rodikliams nustatyti taikyti analitiniai metodai
1.	pH_{KCl}	potenciometrinio metodu 1 M KCl ištraukoje (ISO 10390:2005 standartas)
2.	sausa medžiaga	džiovinant ėminį 105°C temperatūroje iki pastovios masės (LST EN 13037:2012)
3.	organinė anglis	sausuoju deginimu (LST EN 13037:2012)
4.	humusas	I. Tiurino sauso deginimo metodu (ISO 10694:1995)
5.	suminis azotas	Kjeldalio metodu (ISO 10694:1995)
6.	amoniakinis azotas	1 M KCl ištraukos filtrate analizuojami naudojant Fiastar 5000 analizatorių (ISO 14256–2:2005)
7.	nitratinis azotas	1 M KCl ištraukos filtrate analizuojami naudojant Fiastar 5000 analizatorių (ISO 14256–2:2005)
8.	judrusis fosforas	Egner–Riehm–Domingo (A–L) metodu (spektrofotometrija), tiriant autorizuota fosforo matavimo sistema SBS 270
9.	fosfatų fosforas	Spektrometriniu metodu naudojant amonio molibdatą (LST - EN ISO 6878:2004)
10.	judrusis kalis	Egner–Riehm–Domingo (A-L) metodu, matuojant liepsnos fotometru JENWAY PFP7
11.	mainų kalcis	1 M amonio acetato ištraukoje atominės absorbcijos spektrometriniu metodu
12.	mainų magnis	1 M amonio acetato ištraukoje atominės absorbcijos spektrometriniu metodu

Biožaliavų mišinio su MP, ND ir PM kokybinis vertinimas (mikrobiologiniai rodikliai ir indikacinių augalų derlingumo rodikliai). Kokybiniais biožaliavų mišinio vertinimo rodikliais buvo pasirinkti biologiniai rodikliai, t.y., rodikliai indikuojantys apie (1) mikroorganizmų gausumą bei aktyvumą ir (2) indikacinių augalų derlingumą biožaliavų mišiniuose.

Mikroorganizmų gausumas biožaliavų mišiniuose nustatytas taikant biožaliavų mišinio suspensijos sėjos ant agarizuotos maitinamosios terpės metodą (Thompson, Vincent, 1967). Suspensijai paruošti pasverti 5 g natūralaus drėgnumo gerai homogenizuotų tiriamų mišinių ėminiai. Paruoštų suspensijų sėja į Petri lėkštes 3 pakartojimais bus atlikta ant selektyvių maitinamųjų terpių: (1) augimo-apskaitos-agaras – agaras (15 g L⁻¹; suminiam dirvožemio mikroorganizmų (bakterijų, mikromicetų ir aktinobakterijų) gausumui nustatyti; Annand et al., 2003); (2) Ešbi agaras - K₂HPO₄

- 0,2, MgSO₄ - 0,2, NaCl - 0,2, K₂SO₄ - 0,1, CaCl₂ - 5, sacharozės - 20, augimo-apskaitos-agaras - 15 (g L⁻¹) (bakterijų gausumui nustatyti); (3) krakmolo ir amoniako terpė - (NH₄)₂SO₄ - 2, K₂HPO₄ - 1, MgSO₄ - 1, NaCl - 1, CaCO₃ - 3, krakmolas - 10, augimoapskaitos-agaras - 20 (g L⁻¹) (aktinobakterijų gausumui nustatyti); (4) Čiapeko DOX agaras - NaNO₃ - 2, C₃H₇O₆MgP - 0,5, KCl - 0,5, FeSO₄ - 0,01, K₂SO₄ - 0,35, sacharozė - 30, augimo-apskaitos-agaras - 12 (g L⁻¹) (mikromicetų gausumui nustatyti). Petri lėkštelės su paskleista suspensija inkubuotos termostate, aerobinėse sąlygose, 5-7 paras 27 ± 2 °C temperatūroje. Po inkubacijos bus suskaičiuotos mikroorganizmų (bakterijų, aktinobakterijų ir mikromicetų) susiformavusios kolonijos. Kolonijas sudarančių vienetų gausumas perskaičiuotas į 1 g sauso (90°C temperatūroje iki pastovaus svorio išdžiovinto) dirvožemio. Biožaliavų mišiniuose esančių mikroorganizmų biomasės anglies ir azoto koncentracijoms nustatyti taikytas išgarinimo-išskyrimo chloroformu metodu (ISO/DIS 14240-2, 1997; Vance et al., 1987).

Biožaliavų mišiniuose veikiančio dehidrogenazės (oksidoreduktazės grupės fermentas) ir celulazės (oligosacharidų grupės fermentas) fermentų koncentracijos bus nustatytos spektrofotometrinio metodu. Dehidrogenazės fermentui nustatyti 2 g biožaliavos mišiniai maišomi su 2 ml 1,5 proc. 2,3,5-trifeniltetrazolo chloridu (TTC) ir 30°C temperatūroje 24 valandas inkubuojami purtyklėje. Po inkubacijos TTC tirpalas ekstrahuojamas etanolium (10 ml) bei 2 valandas inkubuojami kambario temperatūroje tamsoje purtant, o vėliau filtruojami. Fermento dehidrogenazės aktyvumas biožaliavų mišinių suspensijose įvertintas matuojant tirpalų optinį tankį esant bangos ilgiui 485 nm (Cary 5000 optiniu spektrofotometru, VDU Žemės ūkio akademija). Celulazės fermentui nustatyti 1 g biožaliavų mišinio inkubuojamas skystoje mitybinėje terpėje (peptonas - 1, mėsos ekstraktas - 0,3, NaCl - 0,5, agaras - 3 (g L⁻¹)) 24 valandas 35 ± 2 °C temperatūroje. Po inkubacijos, pridėjus 2,0 mL 1 proc. karbosimetilcelulazės fermento suspensijos, kolbutės su biožaliavų mišiniais papildomai 30 min. laikytos 53 ± 2 °C temperatūroje. Celulazės aktyvumas įvertintas paėmus 1 mL suspensijos, pakaitintos 15 min. iki 100 °C temperatūros, ir 6 mL distiliuoto vandens, matuojant suspensijų optinį tankį esant bangos ilgiui 540 nm (Cary 5000 optiniu spektrofotometru, VDU Žemės ūkio akademija).

Indikaciniu augalų biožaliavų mišinių kokybiniais tyrimams pasirinktas augalas buvo sėjamoji pipirnė (*Lepidium sativum* L.). Sėjamoji pipirnė auginama plastikiniuose daiginimo indeliuose 9 x 10 cm biožaliavų mišiniuose 15 mėn. (2025 m. kovo mėn.) po jų kompostavimo su biologiškai aktyviomis medžiagomis.

Plastikiniai daiginimo indeliai pripildomi biožaliavų mišinio kompostuoto, atitinkamai, aerobinėmis ir anaerobinėmis sąlygomis bei pirmojo ir antrojo biožaliavų maišymo. Sėjamosios pipirnės daiginimui iš viso bus paruošta 72 plastikiniai daiginimo indeliai. Kiekviename daiginimo indelyje pasėta po 5 g sėjamosios pipirnės sėklų ir daiginta iki 15 dienų 24 ± 2 °C temperatūroje palaikant iki 26 proc. substratų drėgnumą. Po 15 dienų daiginimo, sėjamosios pipirnės biomasė bus nupjauta ir išdžiovinta termostate 60 °C temperatūroje iki pastovios masės. 2025 m. kovo mėn. Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnybos cheminėje laboratorijoje bus nustatyti sėjamosios pipirnės cheminiai rodikliai (suminis azotas (N, g/kg); bendras fosforas (P, g/kg) ir suminis kalis (K, g/kg)).

Komposto poveikio humusingumui lauko sąlygomis eksperimentas. Mokslinis eksperimentas įrengtas 2024 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Bandymų stoties eksperimentiniuose laukuose. Bandymų stotis įsikūrusi Kauno rajono Noreikiškių seniūnijos teritorijoje, kurios reljefas - mažai banguota lyguma, o dirvožemiai čia yra susiformavę iš dugninės morenos, padengtos įvairaus storio nuosėdinės kilmės uolienomis. Dugninės morenos smulkžemio granulimetrinėje sudėtyje vyrauja priemolis ir smėlingas priemolis.

Pagal dirvožemio profilio morfologines savybes mokslinio tyrimo vykdymo vietoje dirvožemis yra karbonatingasis išplautžemis (*Calcaric Luvisol*). Dirvožemio granulimetrinė sudėtis - lengvas priemolis ant vidutinio sunkumo bei sunkaus priemolio. Dirvožemio ariamasis horizontas

(iki 25 cm gylio) artimas neutraliam (pH 6,8-7,2), vidutinio humusingumo (2,1-2,6 proc.), vidutinio ar net didelio fosforingumo (146-208 mg kg⁻¹) bei vidutinio kalingumo (154-170 mg kg⁻¹).

Mokslinio tyrimo atlikimo vietoje, 2024 m. nuėmus vasarinių kviežių priešsėlį, dirvožemis buvo suartas 20 cm gyliu. 2024 m. rudenį prieš tiriamųjų žieminių kviečių sėją, dirvožemis kultivuotas du kartus. Žieminiai kviečiai prieš sėją tręšti organinėmis trąšomis pagal schemą (8 lentelė):

1. Kontrolė (N34 P17 K17)*
2. Kompostuota žolė
3. Kompostas + aktyvi fosfatazė
4. Kompostas + SiO₂
5. Kompostas + *Bacillus* mikroorganizmų pradmenys
6. Granuluotas mėšlas

Pastaba* - visų variantų laukeliai 3–4 lapelių tarpsniu papildomai bus patręšti N34 P17 K17 (100 kg ha⁻¹).

8 lentelė. Projekto vykdymui įrengto žieminių kviečių eksperimentas VDU Žemės ūkio akademijos Bandymų stoties laukuose (2024 m.)

Bandymų stotis	Bandymai																				Kelias link sėjomainų kolekcijos
	Pakartojimas III						Pakartojimas II						Pakartojimas I						Ari ma s		
	4	5	1	3	6	2	6	2	3	1	4	5	6	5	4	3	2	1			
Bandymai													G	K	K	K	K	K			
Technika													É	P	P	P	Ž	É	Be ari mo		
																			Kria ušė		
Kelias																					

Kad įvertinti bioskaidžių atliekų komposto poveikį augalų biomasės biocheminiams parametrams bei produktyvumui, dirvožemio funkcionalumo rodikliams ir dirvožemio mikroorganizmų biologiniam aktyvumui, bus tiriami šie žieminių kviečių pasėlio rodikliai:

1. *Biocheminiai rodikliai*: chlorofilo *a* ir chlorofilo *b* koncentracija (2 kartus per vegetaciją: 4 savaitės (krūmijimosi pradžioje, BBCH 20-21) ir 8 savaitės (krūmijimosi pabaigoje, BBCH 28-29) po sėjos);

2. *Morfometriniai rodikliai*: antžeminės ir šaknų dalies sausoji biomasė (bambėjimo tarpsnyje, BBCH 35-37);

3. *Biometriniai rodikliai*: grūdų derlius (derliaus dydis) ir kokybė (saiko svoris) (derliaus nuėmimo metu);

4. *Fizikiniai rodikliai*: dirvožemio granulimetrinių dalelių analizė (po derliaus nuėmimo);

5. *Cheminiai rodikliai*: silicio koncentracija šaknų dalies biomasėje, organinio fosforo koncentracija šaknų dalies biomasėje ir judriojo fosforo (P₂O₅) koncentracija dirvožemyje (po derliaus nuėmimo);

6. *Mikrobiologiniai rodikliai*: dirvožemio mikroorganizmų tirpinančių silicio oksidus (angl. *silicate solubilizing microorganisms*) gausumas ir aktyvumas (po derliaus nuėmimo).

Biocheminiai rodikliai. Žieminių kviečių biocheminių rodiklių analizės bus atliktos Žemės ūkio augalų mitybos laboratorijoje ir Dirvožemio tyrimų ir mikrobiologijos laboratorijoje (VDU Žemės ūkio akademija).

- chlorofilo koncentracija lapuose matuotas – spektrofotometriniu metodu (etilo alkoholio 90 proc. tūrinės dalies tirpalo ištraukoje prie bangos ilgių: chlorofilas *a* – 662 nm; chlorofilas *b* – 644 nm) pagal D. Wettstein metodą. Pigmentų kiekis (mg g^{-1}) apskaičiuotas pagal formulę:

$$X = C \cdot V \cdot 100 / n \cdot 1000,$$

kur *C* – pigmentų koncentracija mg l^{-1} ; *V* – pigmentų ištraukos tūris ml (ekstrakto kiekis ml); *n* – analizuojamo bandinio masė (ISO 10519:2015).

Morfometriniai rodikliai. Žieminių kviečių morfometrinių rodiklių analizės bus atliktos Dirvožemio tyrimų ir mikrobiologijos laboratorijoje (VDU Žemės ūkio akademija).

- iš kiekvieno tyrimo varianto laukelio pasirinktu tyrimo dažnumu buvo iškasta po 10 žieminių kviečių augalų su šaknimis; laboratorijoje bus atskirtos augalų antžeminės ir šaknų dalys, kurios išdžiovintos prie 105°C temperatūros iki pastovios masės (LST ISO 751:2000); antžeminės ir šaknų dalies masė (g) bus nustatytos elektroninėmis svarstyklėmis KERN ABS/ABJ.

Biometriniai rodikliai. Žieminių kviečių grūdų derliaus dydis (t ha^{-1}) ir saiko svoris (kg hl^{-1}) nustatytas Bandymų stoties laukuose (VDU Žemės ūkio akademija) derliaus nuėmimo metu kombainu *Wintersteiger Delta* su kompiuterizuota grūdų svėrimo ir drėgmės nustatymo sistema. Saiko svoris pasirinktas, kaip kokybinis grūdų tankio rodiklis. Grūdų saiko svoris yra genetinė rūšių savybė, tačiau, dėl nepakankamos pasėlių mitybos ir nepakankamo tręšimo, grūdų saiko svoris būna mažas ($\leq 64 \text{ kg hl}^{-1}$; ISO 7971-2:2019).

Fizikiniai rodikliai. Dirvožemio mėginių granulimetrinė analizė (grupuojant dirvožemio granulimetrines daleles į atskiras frakcijas) bus atlikta Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro filialo Agrocheminių tyrimų laboratorijoje pagal FAO/ISRIC metodiką (ISRIC/FAO-UN, 1995).

- po žieminių kviečių derliaus nuėmimo, iš 0–20 cm gylio ariamojo horizonto, dirvožemio gražtu bus paimti dirvožemio jungtiniai ėminiai. Ėminiai surinkti iš kiekvieno varianto pakartojimo 10 vietų, sudarys vieno pakartojimo ėminį. Granulimetrinės analizės metu iš vieno pakartojimo ėminio bus išskirta dirvožemio smulkožemio (nuo 0,05 mm iki 2,0 mm) granulimetrinių dalelių smėlio frakcija.

Cheminiai rodikliai. Žieminių kviečių šaknų biomasės cheminė analizė (silicio koncentracija, mg g^{-1} sausos šaknų biomasės; organinio fosforo koncentracija, mg g^{-1} sausos šaknų biomasės) ir mineralinio dirvožemio cheminė analizė (judriojo fosforo (P_2O_5) koncentracija dirvožemyje, mg kg^{-1}) bus atlikta LAMMC filialo Agrocheminių tyrimų laboratorijoje.

- po žieminių kviečių derliaus iš kiekvieno varianto pakartojimo bus surinkti vasarinių miežių šaknų jungtiniai ėminiai (vieną šaknų ėminį sudarant iki ne mažiau kaip 0,5 kg masės). Silicio koncentracija žieminių kviečių jungtiniuose šaknų ėminiuose bus įvertinta ICP-MS metodu (su koncentruotomis HNO_3 ir HClO_4 rūgštimis). Organinio fosforo koncentracija žieminių kviečių jungtiniuose šaknų ėminiuose nustatyta Fotometriniu metodu.

- po žieminių kviečių derliaus nuėmimo, iš 0–20 cm gylio ariamojo horizonto, dirvožemio gražtu bus paimti dirvožemio jungtiniai ėminiai. Ėminiai surinkti iš kiekvieno varianto pakartojimo 10 vietų, sudarant vieno pakartojimo ėminį. Judriojo fosforo (P_2O_5) koncentracija dirvožemio jungtiniuose ėminiuose nustatyta Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodu.

Mikrobiologiniai rodikliai. Bus tiriamas dirvožemio mikroorganizmų tirpinančių silicio oksidus (angl. *silicate solubilizing microorganisms*) gausumas ($\times 10^3$ kolonijas formuojančių vienetų (KFV) g^{-1}) ir aktyvumas (mm).

- po žieminių kviečių derliaus nuėmimo, iš 0–20 cm gylio ariamojo horizonto, dirvožemio grąžtu bus paimti dirvožemio jungtiniai ėminiai. Ėminiai surinkti iš kiekvieno varianto pakartojimo 10 vietų, sudarys vieno pakartojimo ėminį. Mikroorganizmų tirpinančių silicio oksidus gausumas vertintas dirvožemio suspensijos sėjimo metodu, naudojant, mikroskopiniams grybams – *Sarbouraud* gliukozės agarą (4 proc.) ir bakterijoms – Mueller Hinton broth agarą, praturtinus, magnio silikatu ($Mg_2O_8Si_3$). Mikroorganizmai, kurie išskirs pagal silicio tirpinimą lėkštelėse (Si tirpinimo gebėjimas) bus tiriami pagal Waqas ir kt. (2014).

Duomenų susisteminimas ir jų analizė bus vykdyta Vytauto Didžiojo universitete Žemės ūkio akademijoje naudojant statistinių duomenų tvarkymo paketą (Microsoft Excel 2023). Skirtumų tarp nagrinėjamų variantų patikimumas tikrintas naudojant Stjudento t – testo kriterijų.

3. EFEKTYVUS BIOSKaidžių ATliekų NAUDojimas Ruošiant AUGALŲ TRėšIMO Išteklus Ūkiuose: PRAKTINIAI PAVYZDžIAI IŠ ŪKIŲ LIETUVOJE

Organinės ar bioskaidžios liekanos, tokios kaip augalinės atliekos, mėšlas ar kompostas, yra svarbus tvarios žemdirbystės šaltinis. Tinkamai paruoštos, šios organinės kilmės medžiagos ne tik pagerina dirvožemio struktūrą ir biologinę aktyvumą, bet ir prisideda prie atliekų perdirbimo ar išteklių beatliekinio naudojimo, maistinių medžiagų ciklo užtikrinimo ūkiuose bei mažina ūkio priklausomumą nuo cheminių trąšų (Alexoaei ir kt., 2022). Nepaisant esamo organinių liekanų kiekio, kuris gali būti panaudojamas žemės ūkyje, trėšimo efektyvumas gali būti nepakankamas dėl netinkamų liekanų perdirbimo ar trėšimo išteklių integravimo į trėšimo sistemas metodų. Todėl, šiame skyriuje, bus įvertintos organinių liekanų panaudojimo galimybės, ruošiant augalų trėšimo išteklius ūkiuose. Remiantis praktiniais pavyzdžiais, bus aptariami įvairūs organinių liekanų panaudojimo metodai, įvertintas jų poveikis dirvožemio savybėms. Taip pat, nustatyta, kaip skirtingi ūkių sprendimai gali padėti optimizuoti trėšimo išteklių panaudojimą, prisidedant prie tvarios žemdirbystės ir aplinkos apsaugos.

Projekto įgyvendinimo laikotarpiu (nuo 2024 m. lapkričio iki 2025 m. vasario mėn.) buvo surengta 10 susitikimų su ūkininkais iš įvairių regionų (Ukmergės, Utenos, Biržų, Šilutės, Klaipėdos, Kėdainių, Marijampolės, Šakių, Alytaus ir Vilniaus), kurių metu buvo pateikta su projekto tikslais ir uždaviniais susijusi informacija. O, siekiant nustatyti, kokius organinių liekanų panaudojimo metodus ūkininkai taiko savo ūkiuose, buvo atlikta ūkininkų apklausa. Tačiau, iš daugiau negu 300 respondentų, tik keletas ūkininkų paminėjo apie bioskaidžių atliekų naudojimą ruošiant trėšimo išteklius augalams. Todėl, galima daryti prielaidą, kad **organinių liekanų panaudojimas ūkiuose dar nėra įprasta praktika**. Tačiau, iš apklausos pateiktų atsakymų buvo atrinkti vertingi pavyzdžiai, kurių rezultatais remiantis parengta tolimesnė metodinė analizė ir rekomendacijos.

Pagal vykdytos apklausos duomenis, dažniausiai ūkiuose organinės liekanos yra įterpiamos į dirvožemį (0-15 cm gylyje; atsakė iki 32 proc. apklaustųjų) arba mechaniškai paskleidžiamos dirvožemio paviršiuje (atsakė iki 27 proc. apklaustųjų) (9 lentelė). Tuo tarpu, vis intensyviau naudojamos įvairios skystos fermentacijos ištraukos (taiko iki 20 proc. apklaustųjų), papildomai įterpiamas kompostas (taiko iki 12 proc. apklaustųjų; iš jų tik 3 proc. gamina kompostą ūkyje, kiti – kompostą atsiveža iš regioninių kompostavimo aikštelių). Mažiausia dalis ūkių, organines liekanas kompostuoja sliekų pagalba (taiko iki 9 proc. apklaustųjų). Pagal šią technologiją kompostuojančių organines liekanas ūkių būtų daugiau, tačiau, daugiausia pritrūkstama organinių liekanų arba stokojama kompostavimui su sliekais tinkamų patalpų ar sandėliavimo vietų. Šias technologijas ir jų

poveikį dirvožemio kokybiniais rodikliais paanalizuosime per praktiškai ūkiuose taikomus pavyzdžius.

9 lentelė. Organinių bioskaidžių liekanų panaudojimo metodai ūkiuose (2024–2025 m.)

Metodas	Organinės liekanos	Privalumai	Trūkumai	Poveikis dirvožemiui ar augalams
Tiesioginis įterpimas į dirvožemį	Šiaudai, žolės masė, mėšlas, kompostas	Gerina dirvožemio struktūrą	Netinkamas įterpimas gali sukelti maistinių medžiagų disbalansą	Gerina drėgmės sulaikymą, didina biologinį aktyvumą, didina humuso kiekį
Mechaninis paskleidimas dirvožemio paviršiuje	Šiaudai, žolės masė	Saugo nuo erozijos, mažina maisto medžiagų išsiplovimą	Lėtesnis poveikis dirvožemio atsistatymui	Gerina drėgmės sulaikymą, didina biologinį aktyvumą
Skystos fermentuotos ištraukos	Silosas, srutos, mėšlo tirpalai, biologiniai aktyvatoriai su mikroorganizmais	Greitas maisto medžiagų prieinamumas	Būtina papildoma įranga ir tinkamos sąlygos, laikui imlus procesas, būtinas augalas ar organinė medžiaga aplinkoje	Didina biologinį aktyvumą, fermentų ir mikrobiologinis aktyvumas gerina augalų sveikatą
Kompostavimas	Šiaudai, žolės masė, mėšlas (lapai, augalinės atliekos)	Gerina dirvožemio struktūrą, pagerina maistinių medžiagų prieinamumą	Būtina sudaryti tinkamas kompostavimo sąlygas, laikui imlus procesas	Stabilizuotas maisto medžiagų produktas, sumažina patogenų kiekį
Kompostavimas su sliekais	Šiaudai, žolės masė, mėšlas (lapai, augalinės atliekos)	Gerina dirvožemio struktūrą, pagerina maistinių medžiagų prieinamumą	Būtina sudaryti tinkamas kompostavimo sąlygas, laikui imlus procesas, mažas komposto kiekis	Gerina drėgmės sulaikymą, didina biologinį aktyvumą, fermentų ir mikrobiologinis aktyvumas gerina augalų sveikatą

Mechaninis organinių liekanų paskleidimas dirvožemio paviršiuje. Mechaninį organinių liekanų paskleidimą dirvožemio paviršiuje atlieka tie ūkiai, kurie tikisi apsaugoti dirvožemį nuo erozijos arba atstatyti jau eroduotą, pagerinti dirvožemio struktūringumą, agregatų patvarumą, drėgmės imlumą ir padidinti organinės anglies kiekį. Šiuo atveju, organinės liekanos (šiaudai) veikia, kaip mulčas, sumažina vandens išgaravimą nuo dirvožemio paviršiaus, organinių liekanų skaidymasis paviršiuje ilgainiui skatina humifikaciją ir didina dirvožemio agregatų stabilumą.

Pagal dirvožemių tyrimo duomenis (10, 11 ir 12 lentelės), galima pastebėti, kad dėl šiaudų paskleidimo, iki 15 cm gylio dirvožemiuose išlaikoma drėgmė (daugiau nei 20 proc.), nuo 2 iki beveik 3 kartų padidėja organinės medžiagos, keičiasi C:N santykis ir padidėja augalams lengvai pasisavinamo judriojo fosforo kiekis. Todėl, paskleidžiant šiaudus, ilgalaikėje perspektyvoje galima atstatyti eroduotus dirvožemius ir padidinti augalams prieinamų maisto medžiagų kiekius. Būtina pastebėti, kad tokie dirvožemių cheminių savybių pokyčiai yra siejami ir su gyvulių ganymo poveikiu. Ganymo metu išnešiojamos grybienos bei mikorizės sporos, todėl tokiose vietose dažnai formuojasi palankesnės sąlygos ir grybų plitimui, didėja dirvožemio biologinė įvairovė bei mikrobiologinis aktyvumas (5 pav. (A) ir (E)). Dėl organinės medžiagos gausos po šiaudų paskleidimo ir intensyviuose žemės ūkio naudmenose gali padidėti dirvožemio mikroorganizmų aktyvumas (5 pav. (B)).



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

5 pav. Mechaninis organinių liekanų paskleidimas skirtingos krypties ūkių dirvožemiuose ((A) – mulčiuojama šiaudais pieva J. ir L. Kaučikų natūraliai besiganančių galvijų ūkyje, Smėlynės ūkis, Anykščių rajonas (nuotraukos autorė J. Aleinikovienė); (B) – mulčiuojama šiaudais intensyviai auginami pasėliai J. Pauraitės-Raudonės ūkis, Boniškis, Kauno rajonas (nuotraukos autorius A. Jakutis); (C) – natūraliai besiganantys galvijai, Smėlynės ūkis, Anykščių rajonas (nuotraukos autorius K. Kajėnas); (D) – mulčiuojama šiaudais ganoma pieva A. ir Ž. Purvinių laukinių elnių ūkyje, Leliūnai, Utenos rajonas (nuotraukos autorė J. Aleinikovienė); (E) – ganomoje elnių ūkio pievoje natūraliai augantys kepurėtieji grybai (nuotraukos autorė J. Aleinikovienė).

10 lentelė. Mineralinio dirvožemio (0-15 cm gylyje) cheminės savybės ūkyje (pagal Smėlynės ūkio taikytą technologiją (Smėlynė, Anykščių rajonas, 2025 m. duomenys))

Organinės liekanos	pH _{KCl}	Drėgmė, proc.	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹
Paskleistos*	7,7 ± 0,02	21,3 ± 3,0	48,6 ± 0,2	1,5 ± 0,1	18,8 ± 2,0	158,4 ± 13,0
Nepaskleistos	6,8 ± 0,02	14,2 ± 1,0	19,3 ± 3,2	1,0 ± 0,0	11,2 ± 2,3	60,6 ± 12,0

Pastaba: *Kai pievose fragmentiškai paskleisti šiaudai ir ganosi galvijų bandos.

11 lentelė. Mineralinio dirvožemio (0-15 cm gylyje) cheminės savybės ūkyje (pagal laukinių elnių ūkio taikytą technologiją (Utenos rajonas, 2025 m. duomenys))

Organinės liekanos	pH _{KCl}	Drėgmė, proc.	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹
Paskleistos*	7,9 ± 0,04	25,5 ± 2,4	31,2 ± 0,6	2,2 ± 0,2	8,2 ± 1,2	103,2 ± 11,1
Nepaskleistos	7,2 ± 0,01	12,1 ± 1,2	16,1 ± 1,1	1,6 ± 0,1	5,8 ± 0,6	51,3 ± 9,3

Pastaba: *Kai pievose fragmentiškai paskleisti šiaudai ir ganosi laukinių elnių bandos.

12 lentelė. Mineralinio dirvožemio (0-15 cm gylyje) cheminės savybės ūkyje (pagal intensyvaus žemės ūkio technologiją (Boniškis, Kauno rajonas, 2022 m. duomenys))

Organinės liekanos	pH _{KCl}	Drėgmė, proc.	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹
Paskleistos*	7,2 ± 0,09	NE	47,1 ± 3,3	2,1 ± 0,1	13,0 ± 0,8	152,3 ± 10,3
Nepaskleistos	7,1 ± 0,03	NE	25,6 ± 4,2	1,3 ± 0,2	11,4 ± 0,7	112,5 ± 10,1

Pastaba: *Šiaudai paskleisti dirvožemio paviršiuje po derliaus nuėmimo. „NE“ – nebuvo nustatyta.

Skystos fermentuotos ištraukos. Naudodami skystas fermentuotas ištraukas ūkininkai tikisi paskatinti organinių liekanų skaidymą bei pagerinti dirvožemio mikrobiologinį aktyvumą. Tokios ištraukos gali būti gaminamos fermentuojant organines žaliavas (silosą, sruatas, mėšlo tirpalus, biologinius aktyvatorius su įvairiais mikroorganizmais). Tokiose fermentuotose ištraukose gausu mikroorganizmų, fermentų ir augalų augimą skatinančių medžiagų. Laistant fermentuotomis ištraukomis dirvožemio rizosferos zonoje didėja augalų šaknų simbiotinių mikroorganizmų gausumas ir stiprėja augalų atsparumas ligoms.

13 lentelė. Mineralinio dirvožemio (0-15 cm gylyje) savybės ūkyje (pagal bearimą technologiją (Šeduva, Radviliškio rajonas, 2025 m. duomenys))

Fermentuotos ištraukos	pH _{KCl}	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	Dehidrogenazės aktyvumas, μg g ⁻¹ 24h ⁻¹
nenaudotos	4,9 ± 0,04	28,4 ± 1,6	1,6 ± 0,2	10,3 ± 0,8	82,3 ± 9,4	5,1 ± 0,9
iš siloso	5,1 ± 0,12	39,3 ± 2,0	2,1 ± 0,8	10,8 ± 0,6	103,5 ± 8,1	6,9 ± 0,3
iš aktyvuotų mikroorganizmų	5,2 ± 0,11	46,4 ± 3,8	2,5 ± 0,9	10,8 ± 0,9	104,6 ± 6,5	7,3 ± 0,1



6 pav. Fermentuojamų biologinių aktyvatorių ištraukų talpos ((A) – pagal specialias receptūras fermentacijos procesas G. Narbuti ūkyje, Šeduva, Radviliškio rajonas (nuotraukos autorius G. Narbutas) ir aktyvuoto dirvožemio sėjos ant mitybinių terpių mikrobiologinio gausumo vertinimas ((B) –mikrobiologinis gausumas įvertintas dirvožemyje aktyvuotame fermentuotu silosu mišriame ūkyje (Miklušėnai, Alytaus rajonas; nuotraukos autorė J. Aleinikovienė).

Pagal dirvožemių tyrimo duomenis (13 lentelė), galima pastebėti, kad dėl fermentuotų ištraukų paskleidimo, dirvožemyje iki 15 cm gylio patikimai didėja suminio azoto kiekis ir fermento dehidrogenazės aktyvumas. Tokie pokyčiai parodo, kad dirvožemyje kaupiasi daugiau azoto junginių (iš organinių liekanų ir dirvožemio mikroorganizmų biomasės), didėja augalams prieinamų maisto medžiagų potencialas. Todėl, galima teigti, kad šiomis priemonėmis skatinami dirvožemio biologinio aktyvumo procesai ir mažiau derlingesniuose dirvožemiuose (6 pav.).

Organinių liekanų kompostavimas su sliekais. Kompostuojant organines liekanas su sliekais, ūkininkai tikisi gauti fermentuotą ir lengvai skaidomą organinį substratą, turtingą ne tik makroelementais, bet mikroelementais bei mikroorganizmais. Skaidymo procese, sliekai praturtina substratą huminėmis rūgštimis, pagerina jo biologines bei fizikines savybes. Įterptas į dirvožemį, toks kompostas gerina dirvožemio poringumą, vandens sulaikymą ir palaiko maisto medžiagų balansą.

14 lentelė. Organinių liekanų kompostuotų su sliekais substrato savybės ūkyje (pagal supaprastintą kompostavimo technologiją namų sąlygomis (Panevėžys, 2025 m. duomenys))

Organinės liekanos	pH _{KCl}	Drėgmė, proc.	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	Celiulazės aktyvumas, μmol g ⁻¹ 24 h ⁻¹
nekompostuotos	6,5 ± 0,14	70,1 ± 6,3	63,8 ± 6,2	1,3 ± 0,2	28,5 ± 1,5	322,7 ± 12,1	8,6 ± 1,0
kompostuotos I	7,5 ± 0,22	54,1 ± 2,1	52,1 ± 4,3	1,5 ± 0,6	20,2 ± 2,2	221,3 ± 10,9	23,2 ± 2,5
kompostuotos II	7,9 ± 0,33	47,5 ± 3,5	44,2 ± 2,3	1,8 ± 0,5	14,2 ± 3,1	206,1 ± 20,6	46,8 ± 3,6
kompostuotos III	7,6 ± 0,18	48,2 ± 3,8	36,4 ± 1,9	2,2 ± 0,3	9,6 ± 1,4	159,3 ± 14,3	69,2 ± 5,1

Pastaba: *Organinės liekanos kompostuotos su sliekais namų sąlygomis plastikinėse talpose palaikant drėgmę iki 40-60 proc., temperatūrą 22°C, organinės liekanos (žalios po maisto ruošos) dedamos kas dvi-tris dienas natūralios būklės arba šaldytos. Kompostas papildomas tik dvi savaites, vėliau paliekamas kompostuotis ir organinės liekanos nebededamos. Toks substratas kompostuojamas ir jo kokybė įvertinta 3 kartus kas dvi savaites (kompostuotos I; kompostuotos II; kompostuotos III).

Kompostuojant organines liekanas su sliekais, tam tikru periodiškumu kinta kompostuojamo substrato organinės medžiagos kiekis, suminio azoto kiekis, keičiasi ir substrato organinės medžiagos C:N santykis (14 lentelė). Todėl, kompostuojamas substratas turi pasiekti tokią maisto medžiagų balanso būseną, kad galėtų būti naudojamas įterpimui į dirvožemį ir maisto medžiagas galėtų naudoti auginami augalai (7 pav.). Priklausomai nuo kompostavimo intensyvumo, maisto medžiagų balansas kompostuojamame su sliekais substrate pasiekiamas nuo 8 iki 10 savaičių laikotarpyje. Galima paminėti, kad iš 5-8 kg kompostuojamų organinių liekanų (vidutinis organinių liekanų kiekis 4 asmenų šeimoje yra apie 0,768 kg per dieną, jomis pildant kompostą kas dvi dienas dvi savaites), gaunama iki 3-4 kg substrato.



(A)



(B)



(C)



(D)

7 pav. Kompostuojant organines liekanas su sliekais pagal supaprastintą kompostavimo technologiją gaunamas substratas ((A) ir (B) – substratas po 8-10 savaičių kompostavimo (I. Švalkūnienės ūkis, Panevėžys; nuotraukų autorė I. Švalkūnienė) testuojamas su sėjamąja pipirne (*Lepidium sativum* L.) ((C) ir (D) – substratų kokybinis vertinimas (I. Švalkūnienės ūkis, Panevėžys; nuotraukų autorė I. Švalkūnienė).

Įvairių biožaliavų kompostavimas. Kompostuojant kuo įvairesnes biožaliavas (šiaudus, žolės likučius, medžio pjuvenas, durpes, organines liekanas, mėšlą ir kt.), gaunamas platesnio spektro maisto medžiagomis praturtintas substratas, nes skirtingos organinės medžiagos sudaro sąlygas įvairesniems mikroorganizmams vystytis ir veikti. Be to, įvairių biožaliavų panaudojimas leidžia reikšmingai mažinti atliekų kiekį ir efektyviau panaudoti vietinius išteklius. Kompostuojant biožaliavas svarbus biožaliavų pasirinkimas kompostuojamiems mišiniams sudaryti. Pasirinktus mišinius rekomenduojama praturtinti biologiškai aktyviomis medžiagomis iš natūralių gamtinių žaliavų, nes jos išsiskiria biochemine sudėtimi, organiniais anglies junginiais praturtina mišinius, dėl mikroorganizmų aktyvumo skatina mišinių fermentaciją, aktyvinančios medžiagos gali pagreitinti azoto junginių transformaciją ir slopinti patogenų vystymąsi.

Įvairių biožaliavų kompostavimas gali vykti aerobinėmis ir anaerobinėmis sąlygomis. Tačiau, yra nustatyta, kad įvairių biožaliavų mišiniai aktyviau fermentavosi anaerobinėmis sąlygomis (15 ir 16 lentelės).

15 lentelė. Įvairių biožaliavų kompostuotų aerobinėmis sąlygomis substrato savybės (pagal supaprastintą kompostavimo technologiją (Akademija, Kauno rajonas, 2025 m. duomenys))

Biožaliavų mišiniai	pH _{KCl}	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	CO ₂ -C, g ⁻¹ 24 h ⁻¹
su medienos pjuvenomis	8,4 ± 0,21	61,2 ± 12,3	1,2 ± 0,2	30,1 ± 10,2	228,2 ± 20,3	1,3 ± 0,02
su nurūgštintomis durpėmis	8,3 ± 0,01	64,0 ± 10,2	1,8 ± 0,1	20,7 ± 12,3	156,5 ± 10,2	1,3 ± 0,00
su granuliuotu paukščių mėšlu	8,0 ± 0,11	57,1 ± 6,5	2,3 ± 0,2	14,3 ± 6,2	250,1 ± 9,8	1,2 ± 0,03

16 lentelė. Įvairių biožaliavų kompostuotų anaerobinėmis sąlygomis substrato savybės (pagal supaprastintą kompostavimo technologiją (Akademija, Kauno rajonas, 2025 m. duomenys))

Biožaliavų mišiniai	pH _{KCl}	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Judrusis P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	CO ₂ -C, g ⁻¹ 24 h ⁻¹
su medienos pjuvenomis	7,5 ± 0,06	52,1 ± 11,2	1,5 ± 0,1	20,4 ± 6,5	135,2 ± 12,5	1,4 ± 0,01
su nurūgštintomis durpėmis	7,9 ± 0,03	49,3 ± 9,3	1,7 ± 0,1	17,3 ± 4,3	148,3 ± 9,0	1,6 ± 0,01
su granuliuotu paukščių mėšlu	8,0 ± 0,03	44,1 ± 6,8	1,6 ± 0,1	16,5 ± 4,1	252,3 ± 12,5	1,3 ± 0,01

Vertinant biožaliavų mišinių kokybę, labai svarbu atsižvelgti į kompostuojamų mišinių mikrobiologinius rodiklius, bei įvertinti indikatorinių augalų gebą augti stabilizuotos sudėties mišiniuose. Pastebėta, kad mikrobiologiniai kompostuojamų mišinių rodikliai patikimai identifiko apie pirmojo maišymo mišinio mikrobiologinį stabilumą (17 lentelė). Šiuose kompostuotuose biožaliavų mišiniuose sėjamosios pipirinės daigai nesudygo. Gali būti, kad sėjamosios pipirinės dygimą šiuose mišiniuose galėjo slopinti vis dar neįvykusi fermentacija ir maisto medžiagų disbalansas. Tačiau, anaerobinėmis sąlygomis kompostuoti biožaliavų mišiniai išsiskyrė stabilesniu cheminių elementų skirstiniu, todėl juose įvertinti mikrobiologiniai ir sėjamosios pipirinės augimo rodikliai. Vienas svarbesnių rodiklių kompostuojamuose mišiniuose yra grybų ir bakterijų santykis (Bååth,

Anderson, 2003). Manoma, kad kompostuojamuose mišiniuose grybų ir bakterijų santykis optimaliai turėtų siekti vienetą arba tiek mikroskopinių grybų, tiek ir bakterijų gausumas turėtų išlikti pusiausvyroje (Ma et al., 2019). Kita vertus, mažėjantis grybų ir bakterijų santykis identifikuoja ir apie gausesnį bakterijų vyravimą, tačiau, ir apie didesnius maisto medžiagų nuostolius. Kita vertu, turint mintyje tai, kad kompostuojami mišiniai planuojami įterpti į dirvožemį, bakterijų gausumas gali suintensyvinti ir maisto medžiagų transformacijas dirvožemiuose, o tai skatintų ir maisto medžiagų išsiplovimą bei emisijas (Yamamoto et al., 2017).

Nustatyta, kad grybų ir bakterijų santykis šio maišymo mišiniuose vidutiniškai kito nuo 0,63 iki 1,16 (17 lentelė). Ypač, išsiskiriantys dehidrogenazės aktyvumas ir mikroorganizmų biomasės anglies rodikliai mišiniuose leidžia numanyti, kad mišiniai stabilizuojasi ir jų mikrobiologinis aktyvumas po ilgesnio kompostavimo padidėja. Visgi, labiausiai išsiskiriantys mikrobiologiniu aktyvumu buvo mišiniai su nurūgštintomis durpėmis.

17 lentelė. Įvairių biožaliavų kompostuotų anaerobinėmis sąlygomis substrato savybės (pagal supaprastintą kompostavimo technologiją (Akademija, Kauno rajonas, 2025 m. duomenys))

Biožaliavų mišiniai	MO gausumas, KfV g ⁻¹	Grybų / bakterijų santykis	MO biomasės anglis, μg g ⁻¹	MO biomasės azotas, μg g ⁻¹
su medienos pjuvenomis	9,6	1,16	533	28,1
±	1,5	0,04	29	2,8
su nurūgštintomis durpėmis	8,4	1,02	588	26,7
±	1,2	0,01	27	3,1
su granuliuotu paukščių mėšlu	13,6	0,69	435	16,7
±	2,1	0,00	22	1,6

Auginant sėjamosios pipirinės daigus, nustatyta, kad sėjamosios pipirinės augimą lėmė biožaliavų mišinių maišymo laikas (18 lentelė). Daigai sudygo visuose tyrimo variantuose kompostuotose žalienose trečią vertinimo laikotarpį. Tuo tarpu, pirmojo vertinimo mišiniuose sėjamosios pipirinės daigai sudygo tik su nurūgštintomis durpėmis papildytais priedais. Todėl, galima daryti prielaidą, kad biožaliavų mišinys su nurūgštintomis durpėmis labiausiai stabilizavosi kompostuojant žaliavas anaerobinėmis sąlygomis.

18 lentelė. Sėjamosios pipirinės biomasės cheminė sudėtis anaerobinėmis sąlygomis kompostuotų biožaliavų mišiniuose (pagal supaprastintą kompostavimo technologiją (Akademija, Kauno rajonas, 2025 m. duomenys))

Biožaliavų mišiniai	N, g/kg	P, g/kg	K, g/kg	N, g/kg	P, g/kg	K, g/kg
kompostuotos III			kompostuotos I			
su medienos pjuvenomis	57,6	B	10,60	B	67,80	A
±	1,6		0,55		2,19	
su nurūgštintomis durpėmis	59,1	B	10,87	B	73,33	B
±	2,6		0,63		2,64	
su granuliuotu paukščių mėšlu	53,2	A	8,55	A	82,13	C
±	2,5		0,90		5,35	

Įdomu pastebėti ir tai, kad sėjamosios pipirinės daigų biomasė nevienodai aktyviai kaupė maisto medžiagas (18 lentelė). Tokie tyrimų duomenys, leidžia daryti prielaidą, kad biožaliavų maišymo pradinė organinių medžiagų kompozicija labai svarbi ir nuo kompostavimo eigos priklauso maisto medžiagų akumuliacija augaluose.

- **Padidėjęs humuso kiekis**

Vienas iš pagrindinių tarpinių rezultatų – humuso kiekio padidėjimas dirvožemyje, kuriame buvo naudojami kompostai. Humusas yra svarbi organinės medžiagos dalis, kuri teigiamai veikia dirvožemio struktūrą, sulaiko maistines medžiagas ir vandenį bei skatina dirvožemio mikroorganizmų veiklą. Tyrimo metu pastebėta, kad dirvožemio laukeliai, kuriuose buvo naudojami kompostai, turėjo ženkliai didesnį humuso kiekį nei kontroliniai laukeliai. Šis rezultatas rodo, kad kompostai gali tapti veiksminga priemone siekiant ilgalaikio dirvožemio derlingumo ir sveikatos. Humuso kiekio augimas taip pat prisideda prie ilgalaikio dirvožemio derlingumo išlaikymo, nes humusas padeda sulaikyti maistines medžiagas ir vandenį, taip užtikrinant geresnes sąlygas augalų augimui. Tokie rezultatai yra ypač svarbūs, nes jie rodo, kad organinės trąšos gali veiksmingai pakeisti chemines trąšas, mažinant neigiamą jų poveikį aplinkai.

- **Padidėjusi mikrobiologinė įvairovė ir aktyvumas**

Kompostai taip pat prisidėjo prie dirvožemio mikrobiologinės įvairovės ir aktyvumo didinimo. Mikroorganizmų aktyvumas yra svarbus dirvožemio sveikatos rodiklis, nes mikroorganizmai atlieka esminį vaidmenį organinių medžiagų skaidyme ir maistinių medžiagų prieinamumo augalams didinime. Tyrimo metu pastebėta, kad kompostai padėjo palaikyti sveiką mikroorganizmų balansą, o tai ypač svarbu siekiant ilgalaikio dirvožemio tvarumo. Didelis mikroorganizmų aktyvumas skatina organinės anglies kaupimą dirvožemyje, kas taip pat prisideda prie geresnio dirvožemio derlingumo ir tvarumo.

- **Geresnis dirvožemio porėtumas ir struktūros stabilumas**

Be humuso kiekio ir mikrobiologinės įvairovės padidėjimo, taip pat pastebėta, kad kompostai turi teigiamą poveikį dirvožemio fizinei struktūrai. Kompostai pagerino dirvožemio porėtumą, kuris yra svarbus vandens sulaikymo ir aeracijos rodiklis. Geresnis porėtumas leidžia dirvožemiui geriau sulaikyti vandenį ir užtikrina, kad augalai gaus reikiamą vandens kiekį net ir sausros periodais. Be to, kompostų naudojimas prisidėjo prie dirvožemio struktūros stabilumo didinimo. Stabilesnė dirvožemio struktūra mažina erozijos riziką, gerina dirvožemio gebėjimą išlaikyti drėgmę ir suteikia augalams palankesnes sąlygas. Eksperimentiniuose laukeliuose buvo stebima, kad kompostai ne tik pagerino dirvožemio struktūrą, bet ir padidino jo atsparumą suspaudimui, kas ypač svarbu intensyvaus ūkininkavimo sąlygomis.

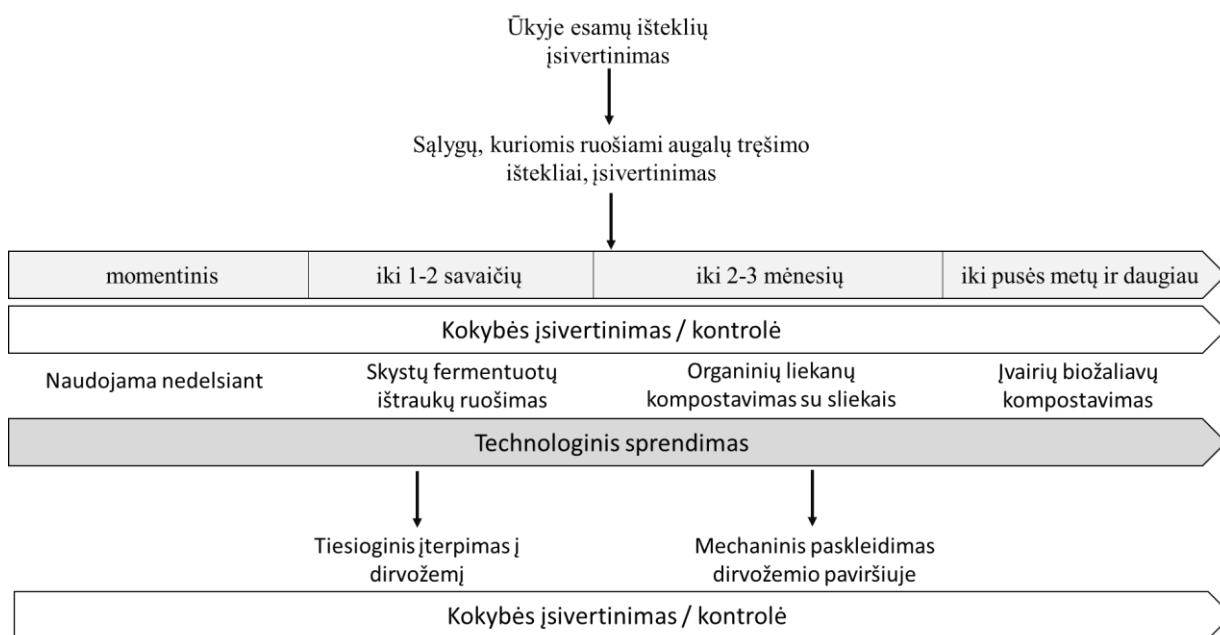
- **Efektyvesnis organinės anglies kaupimas**

Kompostavimo mišiniai, kurie skatino mikroorganizmų aktyvumą, taip pat prisidėjo prie efektyvesnio organinės anglies kaupimo dirvožemyje. Organinės anglies kaupimas yra svarbus ne tik dirvožemio sveikatai, bet ir klimato kaitos mažinimui, nes anglis, išlaikoma dirvožemyje, mažina CO₂ išsiskyrimą į atmosferą. Tyrimai rodo, kad kompostų naudojimas gali padėti ūkiams ne tik pagerinti dirvožemio sveikatą, bet ir prisidėti prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo.

4. PAGRINDINIAI METODINIAI AUGALŲ TREŠIMO IŠTEKLIŲ APSIRŪPINIMO ŪKYJE ĮSIVERTINIMO IR RUOŠIMO ASPEKTAI

Remiantis žiedinės ekonomikos principais, organinės atliekos neturėtų būti laikomos atliekomis, priešingai, tai vertinga žaliava, kurią galima gražinti į dirvožemį bei tęsti maistinių medžiagų apytakos ciklą (Toplicean, Datcu, 2024). Lietuvos sąlygomis tai ypač svarbu, nes dirvožemiai daugelyje vietų pasižymi žemu humusingumu, o ūkininkavimo praktikos dar dažnai

grindžiamos intensyviu žemės dirbimu ir padidintu mineralinių trąšų naudojimu. Būtina pabrėžti žiedinės ekonomikos praktiškumą ir išteklių įsisavinimo efektyvumo svarbą ūkiams, naudojant vietinius organinius išteklius augalų tręsimui. Todėl, susisteminta augalų tręšimo išteklių apsirūpinimo ūkyje įsivertinimo ir ruošimo metodika palengvins ūkininkams turimų išteklių planavimą ir naudojimo pritaikomumą. Metodika taip pat aktuali įgyvendinant ES Žaliojo kurso strategijos „Nuo ūkio iki stalo“ (angl. *The Farm to Fork Strategy*) tikslus, siekiančius mažinti sintetinių trąšų vartojimą ir skatinti vietinių išteklių naudojimą. Be to, Lietuvos klimato kaitos švelninimo programoje nurodoma, kad iki 2030 m. dirvožemio sveikatos išsaugojimas, emisijų mažinimas bei žiedinės ekonomikos plėtra turi būti integruoti į ūkininkavimo praktiką ir tvarų dirvožemio išteklių naudojimą. Tokiu būdu, metodika yra ne tik praktinis įrankis ūkininkams, bet ir priemonė įgyvendinti nacionalinius bei Europos aplinkosauginius įsipareigojimus. Pagrindiniai metodiniai augalų tręšimo išteklių apsirūpinimo ūkyje įsivertinimo ir ruošimo aspektai pateikti schemoje (8 pav.).



8 pav. Metodiniai augalų tręšimo išteklių ruošimo ūkyje žingsniai (parengta autorių, vykdant MTEP projektą 2025 m.)

1 metodinis žingsnis „Ūkyje esamų išteklių įsivertinimas“. Tvarus ūkininkavimas prasideda nuo išteklių pažinimo – supratimo, kokie organiniai srautai ūkyje susidaro, kokios jų savybės ir kokią vaidmenį jie gali atlikti maistinių medžiagų apytakoje. Organinių išteklių įsivertinimas / apskaičiavimas / aprašymas leidžia nustatyti, kokia ūkyje susidarančių žaliavų dalis gali būti perdirbta į įvairiais būdais paruošiamas organines trąšas. Kiekviename ūkyje susidarantys ištekliai gali būti labai įvairūs. Pagrindinės organinių išteklių grupės, skirstomos pagal jų kilmę ir cheminę sudėtį. Pagal kilmę jos gali būti augalinės, gyvūninės ir mišrios, o pagal paskirtį – tiesiogiai naudojamos kaip trąšos arba perdirbamos į stabilizuotus produktus (kompostą, mulčią, skystas ištraukas ir kt.).

Augalinės kilmės ištekliai – tai derliaus nuėmimo liekanos (šiaudai, ražienos, kukurūzų ar saulėgrąžų stiebai), žalienos, žolės ir žolių siloso gamybos likučiai, daržovių bei vaisių atliekos. Šios medžiagos pasižymi dideliu organinės anglies kiekiu, tačiau jų azoto koncentracija dažnai yra maža, todėl, jas reikia derinti su azotu turtingesnėmis žaliavomis. Augalinės kilmės liekanos ypač vertingos, kai siekiama palaikyti ar didinti dirvožemio humusingumą bei gerinti dirvožemio struktūrą.

Gyvūninės kilmės ištekliai – tai mėšlas, srutos, pakratai, taip pat smulkesni šalutiniai produktai, susidarantys gyvulininkystės ūkiuose. Jie pasižymi aukštu azoto kiekiu, todėl tinka derinti su organinėmis augalinės kilmės žaliavomis (šiaudai, žolė, medžio pjuvenos).

Mišrios kilmės ištekliai apima įvairių šaltinių biomasę – maisto atliekas, žaliųjų plotų žolę, biologiškai skaidžias žemės ūkio ir maisto pramonės atliekas. Šios medžiagos turi skirtingas fizikines savybes ir maisto medžiagų kiekius, todėl, prieš naudojimą svarbu įvertinti jų drėgmę, pH rodiklį bei biomasės C:N santykį. Tinkamai parinkus mišinį galima pasiekti optimalią žaliavų pusiausvyrą kompostavimui ir gauti stabilų produktą, tinkamą augalų tręšimui.

Siekiant tikslingai planuoti organinių išteklių panaudojimą, būtina atlikti jų inventorizaciją, apimančią:

- kiekvieno išteklių identifikavimą – iš kur išteklius gaunamas (laukų, gyvulininkystės kompleksų, perdirbimo veikloje, teritorijų priežiūros);
- kiekybinį įvertinimą – koks išteklių kiekis (tonomis, litrais) susidaro per metus (atskirai sausos medžiagos ir šlapios medžiagos kiekiai);
- sezoniškumo nustatymą – kada ištekliai susidaro ir ar jų tiekimas tolygus visus metus;
- kokybinių rodiklių nustatymą – organinės anglies, azoto, drėgmės, pH rodiklio, C:N santykio;
- galimo panaudojimo įvertinimą – ar žaliava tinka tiesioginiam panaudojimui, ar reikalauja paruošimo.

Kad ūkis galėtų greitai įsivertinti turimus resursus, rekomenduojama sudaryti išteklių lentelę (19 lentelė), kurioje nurodoma medžiagos rūšis, susidarantis kiekis, kokybė ir numatytas panaudojimas.

19 lentelė. Ūkyje identifikuotų išteklių kiekis ir savybės

Išteklių rūšis	Kiekis (t/metus)	Drėgmė, proc.	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	pH _{KCl}	Numatyta paskirtis
Šiaudai	45	12	40	1,3	30:1	7,0	Kompostavimui su mėšlu
Žolė (šienas)	25	60	44	2,1	20:1	6,5	Komposto komponentas
Mėšlas (galvijų)	35	70	30	2,8	10:1	7,2	Pagrindinė trąšų sudėtis
Maisto atliekos	10	75	35	2,5	14:1	6,0	Maišyti su šiaudais
Žalienu likučiai	15	65	38	1,8	21:1	6,8	Mulčiavimui

MTEP tyrimo metu buvo įvertinta, kad ūkyje susidaranti organinių žaliavų kiekiai priklauso nuo ūkio specializacijos, auginamų kultūrų struktūros bei gyvulininkystės apimčių. Manoma, kad bendras organinių išteklių potencialas ūkyje galėtų siekti nuo 20 iki 100 t žaliavos per metus, priklausomai nuo ūkio dydžio ir žaliavų įvairovės. Gaminamos organinės trąšos augalams (mulčas, skystos fermentuotos ištraukos, kompostai), galėtų sudaryti iki 100 t arba litrų per metus, priklausomai nuo ūkio techninio pajėgumo ir žaliavų pasiskirstymo.

Organinių išteklių kiekiui įvertinti rekomenduojama naudoti šiuos pagrindinius duomenis:

- žaliavos kiekis per metus (t m.⁻¹) – skaičiuojamas pagal laukų plotą ir derliaus likučių kiekį (pvz., šiaudai, žolė, žaliosios);
- drėgmės kiekis (proc.) – leidžia nustatyti sausosios medžiagos masę;
- sausosios medžiagos kiekis (t SM m.⁻¹) – masė, turinti tręšiamąją vertę;

- išteklių pasiskirstymas pagal sezoną – padeda suplanuoti žaliavos tiekimo periodiškumą kompostavimui.

Galima įvertinti, kiek ūkis turi organinių medžiagų, kaip jos pasiskirsto pagal sezoną ir kokią derinį reikėtų formuoti siekiant tinkamos trąšų sudėties. Jei ūkis neturi tikslių laboratorinių duomenų, galima naudoti literatūroje ar metodikoje pateiktas vidutines rodiklių vertes. Daugelyje tyrimų nurodoma, kad šiaudų drėgmė siekė 10–15 proc., žolės – apie 60 proc., mėšlo – 70 proc., o maisto ar kitų biologiškai skaidžių atliekų – 70–80 proc.. Toks drėgmės skirtumas lemia, kad faktinė sausosios medžiagos dalis svyruoja nuo 20 iki 90 proc., tai svarbu vertinant realų maistinių medžiagų susidarymo potencialą.

2 metodinis žingsnis „Sąlygų, kuriomis ruošiami augalų tręšimo ištekliai, įsivertinimas“.

Organinių medžiagų apskaitos metu rekomenduojama įvertinti, kokia ūkio teritorijos dalis yra tinkama organinių medžiagų surinkimui ir perdirbimui, bei kokie techniniai pajėgumai leidžia šiuos išteklius apdoroti vietoje. Tai padeda suplanuoti realų apsirūpinimo potencialą – kiek procentų viso ūkio trąšų poreikio galima patenkinti naudojant vietinius išteklius. Didesnių ūkių atveju, kai susidaro daugiau nei 100 tonų žaliavos per metus, tikslinga svarstyti bendradarbiavimą su kaimyniniais ūkiais ar savivaldybės biomasės perdirbimo aikštelėmis.

Atlikus organinių išteklių identifikavimą ir kiekybinį vertinimą, ūkis gauna aiškų vaizdą apie savo potencialą gaminti augalų tręšimo išteklius bei galimybes optimizuoti maistinių medžiagų ciklą. Tai sudaro pagrindą kitam etapui – išteklių kokybinio vertinimo ir technologijų parinkimo, kurie padeda užtikrinti, kad surinktos medžiagos būtų panaudotos efektyviai, ekonomiškai ir aplinkai palankiai.

3 metodinis žingsnis „Ruošiamų augalų tręšimo išteklių kokybės vertinimas / kontrolė“.

Ūkyje susidarančių organinių žaliavų kokybės įvertinimas yra būtinas siekiant nustatyti, kokią dalį ūkio trąšų poreikio galima patenkinti vietiniais ištekliais. Šis etapas apima žaliavų masės, cheminės sudėties ir tręšiamųjų savybių nustatymą, remiantis MTEP projekto nustatytais rodikliais. MTEP tyrimų duomenimis, pagrindiniai augalų tręšimo išteklių kokybiniai rodikliai yra:

- pH rodiklis ir drėgmė (proc.);
- organinės medžiagos kiekis (proc.);
- suminio azoto kiekis (proc.);
- C:N santykis;
- judriojo fosforo kiekis (mg kg^{-1});
- biologiniai rodikliai (mikroorganizmų suminis gausumas (KFV g^{-1}); dehidrogenazės aktyvumas ($\mu\text{g g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$); celiulazės aktyvumas ($\mu\text{mol g}^{-1} 24 \text{h}^{-1}$); $\text{CO}_2\text{-C}$ ($\text{g}^{-1} 24 \text{h}^{-1}$)).

Šie rodikliai lemia žaliavų tinkamumą kompostavimui, jų mineralizacijos greitį bei poveikį dirvožemio mikrobiologiniams procesams. Optimalus kompostuoto mišinio C:N santykis turėtų būti nuo 20:1 iki 30:1, nes tokiomis sąlygomis užtikrinama subalansuota mikroorganizmų veikla ir efektyvi organinės medžiagos skaidymo eiga (20 lentelė).

20 lentelė. Ūkyje ruošiamų augalų tręšimo išteklių kokybės rodikliai

Žaliavos tipas	Organinė medžiaga, proc.	Suminis N, proc.	C:N santykis	Drėgmė, proc.	Humifikuotos C dalis, proc.
Kompostas	51	2,5	20:1	50	51
Šiaudai	40	1,3	31:1	12	21
Žaliosios	38	1,8	21:1	65	14
Skystas mėšlas	30	2,8	10:1	70	21

Projekto duomenimis, augalinės kilmės liekanos, tokios kaip šiaudai ar džiovinta žolė, turi aukštą organinės medžiagos kiekį (35–45 proc.) ir žemą suminio azoto kiekį (1–1,5 proc.), todėl jų C:N santykis siekia apie 30:1–35:1. Tuo tarpu mėšlas, srutos ir žaliųjų liekanų mišiniai pasižymi žemesniu C:N santykiu (10:1–20:1), bet didesniu suminio azoto kiekiu (2–3 proc.), todėl jie tinkami maišyti su žalienomis, kad būtų pasiektas reikiamas maisto medžiagų balansas. Gauti duomenys, atspindi tyrimų metu nustatytas reikšmes ir parodo, kad didžiausias humifikuotos anglies kiekis (apie 51 proc.) nustatytas komposto mėginiuose, o mažiausias – šviežiose žalienose (14 proc.). Tai reiškia, kad kompostuota organinė medžiaga yra stabilesnė ir labiau prisideda prie ilgalaikio humuso kaupimosi.

Remiantis projekto tyrimų rezultatais, buvo apskaičiuotas įvairių organinių medžiagų humuso susidarymo potencialas. Pagal vidutinius duomenis, humuso kaupimasis dirvožemyje priklauso nuo įterpiamos organinės anglies kiekio ir humifikuotos anglies dalies. Tyrimų rezultatai parodė:

- įterpus komposto, humifikuotos anglies sankaupos gali siekti apie 2,0 t ha⁻¹;
- įterpus šiaudų – apie 0,7 t ha⁻¹;
- įterpus žaliųjų trąšų ar žalienu – 0,6 t ha⁻¹;
- naudojant skystą mėšlą – 0,2 t ha⁻¹.

Šie duomenys rodo, kad kompostas yra efektyviausia priemonė ilgalaikiam humuso didinimui, o kitos organinės žaliavos prisideda prie trumpalaikės dirvožemio struktūros ir mikrobiologinės veiklos palaikymo.

4 metodinis žingsnis „Tręšimo technologinis sprendimas“. Tai ūkyje taikomas kompleksinis procesas, apimantis tinkamiausio laiko, trąšų formos, įterpimo gylio ir paskleidimo augalų tręšimo išteklių būdo parinkimą, siekiant maksimaliai padidinti maistinių medžiagų pasisavinimą augalų šaknų zonoje ir sumažinti nuostolius aplinkai.

Dažniausiai įterpimo laikas parenkamas atsižvelgiant į augalų vegetacijos tarpsnius ir meteorologines sąlygas – trąšos gali būti įterpiamos pavasarį prieš sėją, vegetacijos pradžioje ar po derliaus nuėmimo rudenį. Įterpimo gylis priklauso nuo trąšų formos ir dirvožemio tipo: paviršiniam paskleidimui paprastai taikomas 0–5 cm, o gilesniam įterpimui – 10–15 cm gylis.

Technologinis būdas taip pat gali būti įvairus – nuo mechaninio įterpimo (pvz., diskiniiais ar verstuviniiais agregatais) iki paviršinio paskleidimo ar skystų trąšų purškimo. Pastaruoju metu vis dažniau taikomi kombinuoti metodai, kai organinės liekanos įterpiamos kartu su sėja arba po sėjos, siekiant pagerinti maistinių medžiagų prieinamumą šaknų zonai. Tinkamai parinktas tręšimo technologinis sprendimas leidžia optimizuoti maistinių medžiagų ciklą, gerinti dirvožemio struktūrą ir biologinį aktyvumą, bei mažinti išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį.

5 metodinis žingsnis „Dirvožemio kokybės vertinimas / kontrolė“. Dirvožemio būklės vertinimas yra esminis žingsnis siekiant suprasti, kaip ūkyje gaminamos ir naudojamos alternatyvios trąšos veikia dirvožemio savybes, derlingumą bei aplinkos tvarumą. Tik įvertinus dirvožemio būklę, galima priimti pagrįstus sprendimus dėl tręšimo strategijos, organinės medžiagos papildymo poreikio ir ilgalaikio dirvožemio derlingumo palaikymo.

Dirvožemio kokybės stebėseną. Tyrimai parodė, kad ūkyje pagamintų organinių trąšų naudojimas daro teigiamą poveikį dirvožemio biologiniam aktyvumui, drėgmės balansui ir humuso kiekiui. Palyginus arimo ir nearimo sistemas nustatyta, kad organinių trąšų naudojimas kartu su nearimine technologija mažina CO₂ ir N₂O emisijas bei padeda išlaikyti stabilesnę drėgmę augalų vegetacijos metu. Šie rezultatai patvirtina, kad nuosekli dirvožemio stebėseną yra būtina norint įvertinti agroekosistemos tvarumą ir ūkio gebėjimą kaupti bei išlaikyti organinę anglį.

Rekomenduojami tyrimai ir rodikliai. Norint įsivertinti savo dirvožemio būklę, ūkiams rekomenduojama periodiškai atlikti laboratorinius tyrimus, leidžiančius nustatyti pagrindinius fizikinius, cheminius ir biologinius rodiklius.

21 lentelė. Rekomenduojami dirvožemio vertinimo rodikliai

Rodiklis	Reikšmė / Paskirtis
pH	Parodo dirvožemio reakciją, nuo kurio priklauso maistinių medžiagų prieinamumas augalams.
Judrusis fosforas (P₂O₅)	Vienas svarbiausių elementų šaknų formavimuisi, derlingumui.
Judrusis kalis (K₂O)	Atsakingas už augalų atsparumą stresui, sausrai, ligoms.
Ca, Mg	Užtikrina dirvožemio struktūrą, kontroliuoja dirvožemio reakciją, didina mikroorganizmų aktyvumą.
Humusas / Organinė anglis	Įvertina dirvožemio derlingumą, anglies kaupimąsi ir organinės medžiagos balansą.
Mineralinis azotas (NO₃, NH₄)	Parodo azoto prieinamumą augalams ir trąšų efektyvumą.
Granulimetrinė sudėtis	Nustato dirvožemio dalelių skirstinį – molio, smėlio, dulkių santykį.
Mikroelementai (Fe, Zn, Cu, B)	Parodo mikroelementų balansą ir augalų mitybos pilnavertiškumą.

Gauti dirvožemio tyrimo duomenys leidžia išsamiai įvertinti dirvožemio būklę, o jų analizė padeda nustatyti, kokių maistinių medžiagų trūksta, kokia yra dirvožemio pH rodiklio pokyčio tendencija ir kaip keičiasi humuso kiekis ilgalaikėje perspektyvoje. Papildomai, ūkiams, taikantiems organinių trąšų technologijas, rekomenduojama kas 3–4 metus atlikti organinės medžiagos mineralizacijos ir humifikacijos tyrimą.

Dirvožemio biologinių savybių vertinimas. Be cheminių rodiklių, svarbu stebėti ir dirvožemio biologinį aktyvumą, kuris lemia anglies kaupimąsi ir azoto apykaitą. Projekto metu stebėta, kad organinės trąšos ir neariminės technologijos padidina mikroorganizmų aktyvumą bei stabilizuoja CO₂ emisijų srautus. Ūkiams rekomenduojama bent kartą per vegetacijos sezoną atlikti šiuos paprastesnius stebėjimus:

- dirvožemio kvėpavimo matavimas (CO₂ emisijos) – parodo mikrobiologinio aktyvumo lygį (galima atlikti lauko sąlygomis arba laboratorijoje);
- dirvožemio drėgmės stebėjimas – naudoti drėgmės matuoklius, ypač, tiriant augalų tręšimo išteklių mechaninio paskleidimo dirvožemio paviršiuje ar įterpimo laukus;
- augalų šaknų masės ir mikroorganizmų kolonijų ar biomasės nustatymas – gali būti taikomi paprasti metodai biologiniam aktyvumui nustatyti (celiuliozės arba šiaudų skaidymo vertinimas).

Tyrimų vykdymo periodiškumas ir duomenų interpretavimas. Rekomenduojama dirvožemio tyrimus atlikti: (1) pilną dirvožemio analizę – kas 3–5 metus (cheminiai ir fizikiniai rodikliai); (2) humuso / organinės anglies tyrimą – kas 2 metus (ypač, jei naudojamos organiniai augalų tręšimo ištekliai); (3) pH rodiklio ir mineralinio azoto analizę – kasmet, kad būtų galima reguliuoti tręšimo režimą; (4) mikroelementų tyrimus – pagal poreikį, kas 4–6 metus.

Laboratorinių tyrimų rezultatai turėtų būti kaupiami, leidžiantis stebėti pokyčius laikui bėgant. Vertinant duomenis svarbu atsižvelgti į lauko istoriją, sėjomainą, trąšų naudojimo tipą ir klimato sąlygas. Šių duomenų analizė, kartu su emisijų ir drėgmės stebėjimais, sudaro išsamų vaizdą apie ūkio dirvožemio būklę ir jo tvarumo tendencijas.

Praktinė nauda ūkiui. Reguliariai atliekami dirvožemio tyrimai leidžia ūkiui: tiksliai nustatyti tręšimo poreikius ir optimizuoti vietoje gaminamų trąšų dozes; įvertinti organinių trąšų poveikį humuso pokyčiams ir mikrobiologinei veiklai; kontroliuoti rūgštingumo lygį ir išvengti maistinių medžiagų disbalanso; planuoti ilgalaikes dirvožemio kokybės gerinimo priemones; mažinti aplinkos taršą ir emisijas, siekiant atitikti žiedinės ekonomikos ir tvaraus ūkininkavimo principus.

5. ATSAKINGĄ TRĄŠŲ GAMYBOS IR NAUDOJIMO BŪDĄ UŽTIKRINANTYS APLINKOSAUGINIAI REIKALAVIMAI IR PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

Tvarus trąšų gamybos ir naudojimo būdas yra vienas iš pagrindinių žemės ūkio sistemos tikslų, susijusių su aplinkos apsauga, maistinių medžiagų stabilizavimu ir žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimu. Atsakingas požiūris į trąšų gamybą bei naudojimą leidžia mažinti neigiamą poveikį aplinkai, pagerinti dirvožemio būklę bei sumažinti priklausomybę nuo išorinių trąšų tiekėjų.

Pagrindiniai aplinkosauginiai reikalavimai trąšų gamybai ir naudojimui. Pagrindiniai juridiniai dokumentai, reglamentuojantys trąšų gamybą, rinką ir naudojimą Europos Sąjungoje bei Lietuvoje:

- Nitratų direktyva, - šia direktyva siekiama sumažinti vandens taršą nitratais, kurie naudojami žemės ūkio tikslais, ir užkirsti kelią tolesnei taršai. Ji yra neatskiriama Europos Sąjungos (ES) vandens pagrindų direktyvos (Direktyva 2000/60/EB, žr. santrauką) dalis, glaudžiai susijusi su ES politika oro kokybės, klimato kaitos ir žemės ūkio srityse (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>).
- Pagrindiniai Nitratų direktyvos reikalavimai perkelti į Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2005 m. liepos 14 d. įsakymą Nr. D1-367/3D-342 „Dėl Mėšlo ir srutų tvarkymo aplinkosaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“ (<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/ea13f5223a6011eb8c97e01ffe050e1c/asr>).
- Gerosios žemės ūkio praktikos kodeksas pateikia patarimų ir nurodymų ūkininkaujantiems, kurie nori prisidėti prie švaraus oro, vandens, dirvožemio, turtingo kraštovaizdžio ir bioįvairovės išsaugojimo, klimato kaitos mažinimo (https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Bendroji_zeme_s_ukio_politika/GZUP%20Kodeksas%20taisyta%20po%20AplinkosM-%20birzelis.pdf).

Ūkiuose būtina užtikrinti, kad trąšų gamyba ir naudojimas atitiktų šiuos reikalavimus – tinkamas žaliavų tvarkymas, laikymas, gamyba, ženklavimas ir taikymas.

Žiedinės ekonomikos principų taikymas ūkiuose. Žiedinės ekonomikos principai ūkiuose reiškia, kad organinės liekanos nebeskiriamos kaip „atliekos“, bet laikomos vertingu žaliavų šaltiniu. Šio požiūrio taikymas trąšų gamybai ir naudojimui apima keletą esminių principų:

- Maistinių medžiagų ciklo uždarymas – ūkyje susidaranti organinės medžiagos (pvz., šiaudai, žolė, mėšlas) perdirbamos ir grįžta į dirvožemį;
- Atliekų prevencija – žaliavos, kurios tradiciškai būtų laikomos atliekomis, panaudojamos kaip trąšų sudedamosios dalys;
- Perdirbimas ir regeneracija – žaliavos transformuojamos į kompostą, organines trąšas, skystas ištraukas, taip prailginant jų panaudojimo laiką;
- Mažesnis išorinių išteklių poreikis – vietinis organinių trąšų gamyba mažina būtinybę importuoti mineralines trąšas, didina ūkio savarankiškumą;
- Aplinkosauginė atsakomybė – trąšų gamybos ir naudojimo procesai vykdomi laikantis aplinkosaugos reikalavimų (dirvožemis, vanduo, atmosfera).

Praktinės priemonės ūkiuose. Norint įgyvendinti aplinkai atsakingą trąšų gamybos modelį, ūkiams rekomenduojama:

- Įrengti ir eksploatuoti kompostavimo aikšteles/ar sistemą, kurią naudoti vietinėms organinėms žaliavoms tvarkyti.
- Rinkti ir fiksuoti žaliavų kiekį, kokybę ir trąšų gamybos rezultatus (žaliavos, kompostas, naudojamas laukuose).

- Naudoti vietinius organinius išteklius ir integruoti juos į trešimo planus siekiant mažinti importuojamų mineralinių trąšų poreikį.
- Užtikrinti, kad gamybos ir naudojimo procesai atitiktų teisės aktus – tiek ES, tiek nacionalinius.
- Aktyviai skleisti informaciją ir mokytis apie tvaraus gamybos ir trąšų naudojimo principus – dalyvauti mokymuose, konsultacijose. Konsultacijos ir dalyvavimas mokymuose padėtų suprasti teisės aktus, gamybos ir naudojimo reikalavimus bei žiedinės ekonomikos principus.

Aplinkosauginė ir ekonominė nauda. Veiksmų, susijusių su žiedinės ekonomikos principų taikymu ir aplinkosauginiais reikalavimais laikymusi, nauda ūkiui yra įvairiapusė:

- Gerėja dirvožemio būklė – didėja humusingumas, organinės anglies atsargos, biologinis aktyvumas;
- Mažėja neigiamas poveikis aplinkai – mažiau maistinių medžiagų ištekėjimo, mažiau emisijų;
- Ekonomiškai – vietinių trąšų gamyba leidžia sumažinti išorinių trąšų pirkimą, didinti ūkio savarankiškumą;
- Strategiškai – prisidedama prie aplinkosaugos tikslų įgyvendinimo (ES, nacionalinių) ir tvaraus ūkininkavimo stiprinimo.

IŠVADOS

1. Kaip ir kitos ES valstybės, taip ir Lietuva siekia modernizuoti sąvartynus ir tinkamai tvarkyti atliekas, sumažinti jų poveikį aplinkai, bet ir išgauti naudos. Atliekos gali būti panaudojamos energijai išgauti. Tačiau, komunalinių biologiškai skaidžių atliekų dalis bei bioskaidžių žaliavų dalis iš žemės ūkio ir miškininkystės sektoriaus gali būti panaudota ruošiant augalų tręšimo išteklius ūkiuose. Nustatyta, kad Lietuvoje žemės ir miškininkystės sektorius sukaupia iki 10 mln. tonų. Tačiau, alternatyvių trąšų gamybai potencialios biomasės ūkiuose gali būti apie 4 mln. tonų.
2. Dirvožemio sveikatos gerinimas, pasitelkiant organinių atliekų kompostavimą, yra esminis žingsnis siekiant ilgalaikio žemės ūkio tvarumo. Kompostuojant augalines, gyvūnines bei mišrias bioskaidžias atliekas, sukuriama vertingos organinės trąšos, kurios ne tik papildo dirvožemį visais augalams reikalingais mitybos elementais, bet ir gerina jo struktūrą, humusingumą, mikrobiologinį aktyvumą bei vandens ir oro režimus. Toks tręšimo būdas padeda išlaikyti natūralius maistinių medžiagų ciklus, mažina rūgštingumą ir gerina agrochemines bei agrofizikines dirvožemio savybes. Todėl, būtina atlikti bioskaidžių atliekų ruošos ir poveikio dirvožemio savybėms eksperimentus, skatinti ūkininkus įsitraukti į bioskaidžių atliekų ruošimą augalų tręšimui, didinti ūkių savarankiškumą ir ekonominį efektyvumą. Tai sudarys sąlygas išlaikyti sveiką, derlingą ir tvarią dirvožemio ekosistemą, užtikrinančią žemės ūkio sektoriaus konkurencingumą bei aplinkos darną.
3. Daugėja ūkininkų įsitraukiančių į bioskaidžių atliekų perdirbimo veiklas. Tai parodo Lietuvos ūkininkų sąmoningumą, o kartu stiprina žemės ūkio sektoriaus savarankiškumą bei inovatyvumą. Biožaliavų perdirbimas ir naudojimas ūkyje tampa veiksminga priemone ilgalaikiam dirvožemio derlingumui ir sveikatai palaikyti. Perdirbtos biožaliavos turi įtakos humuso kiekiui dirvožemyje, gerina dirvožemio struktūrą, drėgmės bei maistinių medžiagų sulaikymą, aktyvina dirvožemio mikroorganizmus, gerina maisto medžiagų prieinamumą augalams bei mažina CO₂ emisijas.
4. Metodinius aspektus dar galima tobulinti vis papildant praktiniais rezultatais ir ūkininkų gerosios patirties duomenimis. Tačiau, parengtoje metodikoje nurodomi pagrindiniai metodiniai žingsniai, kuriuos galima taikyti ruošiant augalų tręšimo išteklius iš bioskaidžių atliekų. Metodiniai principai glaudžiai siejami su ūkininkų savarankiškumu įsivertinti ir valdyti ūkyje susidarančias bioskaidžias atliekas, padeda priimti duomenimis grįstus sprendimus dėl trąšų gamybos ir naudojimo, didina ūkio efektyvumą, mažina kaštus ir aplinkos taršą, skatina žiedinės ekonomikos principų taikymą žemės ūkyje. Vykdamas bioskaidžių atliekų perdirbimą, būtina atsižvelgti į trąšų gamybos ir naudojimo aplinkosauginius reikalavimus.

LITERATŪRA

1. Abussaud, M.J., Alanagreh, L. and Abu-Elteen, K., 2013. Isolation, characterization and antimicrobial activity of *Streptomyces* strains from hot spring areas in the northern part of Jordan. *African Journal of Biotechnology*, 12(51), pp.7124-7132.
2. Alexoaei, A. P., Robu, R. G., Cojanu, V., Miron, D., & Holobiuc, A. M. (2022). Good practices in reforming the common agricultural policy to support the european green Deal—a perspective on the consumption of pesticides and fertilizers. *Amfiteatru Economic*, 24(60), 525-545.
3. Antil, R.S. and Raj, D., 2012. Chemical and microbiological parameters for the characterization of maturity of composts made from farm and agro-industrial wastes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(8), pp.833-845.
4. Arias, O., Pulgar, J. A., & Soto, M. (2022). Application of organic wastes to soils and legislative intricacies in a circular economy context. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(6), 1871-1888.
5. Ashokkumar, V., Flora, G., Venkatkarthick, R., SenthilKannan, K., Kuppam, C., Stephy, G.M., Kamyab, H., Chen, W.H., Thomas, J. and Ngamcharussrivichai, C., 2022. Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective. *Fuel*, 324, p.124313.
6. Bareika, V., Aleinikovienė, J. ir Baranauskaitė, S., 2022. Biohumusas: sudėtis, ruošimo technologijos ir panaudojimo galimybės. *Miškininkystė ir kraštotvarka (Forestry and landscape management)*, p.7.
7. Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J.A.A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D. and Chen, S., 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 780, p.146494.
8. Brempong, M.B. and Addo-Danso, A., 2022. Improving soil fertility with organic fertilizers. *New Generation of Organic Fertilizers*, 1.
9. Brock, C., Franko, U., Oberholzer, H.R., Kuka, K., Leithold, G., Kolbe, H. and Reinhold, J., 2013. Humus balancing in Central Europe—concepts, state of the art, and further challenges. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 176(1), pp.3-11.
10. Cao, X., Williams, P.N., Zhan, Y., Coughlin, S.A., McGrath, J.W., Chin, J.P. and Xu, Y., 2023. Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. *Soil & Environmental Health*, 1(4), p.100038.
11. Chavez-Rico, V.S., Bodelier, P.L., van Eekert, M., Sechi, V., Veeken, A. and Buisman, C., 2022. Producing organic amendments: Physicochemical changes in biowaste used in anaerobic digestion, composting, and fermentation. *Waste Management*, 149, pp.177-185.
12. Dach, J., Wolnamaruwka, A. and Zbytek, Z., 2009. Influence of effective microorganisms addition (EM) on composting process and gaseous emission intensity. *Journal of Research & Applications in Agricultural Engineering*, 54(3), pp.49-55.
13. De Corato, U. (2020). Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*, 738, 139840.
14. Dong, X. Y., Ke, K. E., Hu, Z. H., Zheng, J. M., Jiang, L. W., & Zhang, J. Q. (2021). Effect of different sludge composting on soil physical and chemical properties and microbial activity.
15. EC Directive on Waste and Repealing Certain, 2008. The European Parliament and of the Council on Waste and Repealing Certain (2008/98/EC), 19 November, 2008.

16. Fargione, J. E., Bassett, S., Boucher, T., Bridgham, S. D., Conant, R. T., Cook-Patton, S. C., & Griscom, B. W. (2018). Natural climate solutions for the United States. *Science advances*, 4(11), eaat1869.
17. Farrell, M., Griffith, G. W., Hobbs, P. J., Perkins, W. T., & Jones, D. L. (2009). Microbial diversity and activity are increased by compost amendment of metal-contaminated soil. *FEMS microbiology ecology*, 71(1), 94-105.
18. Frouz, J. and Bujalský, L., 2018. Flow of CO₂ from soil may not correspond with CO₂ concentration in soil. *Scientific Reports*, 8(1), p.10099.
19. Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005.
20. Gerke, J., 2022. The central role of soil organic matter in soil fertility and carbon storage. *Soil Systems*, 6(2), p.33.
21. Giusquiani, P. L., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D., & Benetti, A. (1995). *Urban waste compost: effects on physical, chemical, and biochemical soil properties* (Vol. 24, No. 1, pp. 175-182). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
22. Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J. L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops—Effects on soil and plant. *Soil and tillage research*, 160, 14-22.
23. Ho, T.T.K., Le, T.H., Tran, C.S., Nguyen, P.T., Thai, V.N. and Bui, X.T., 2022. Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, p.100211.
24. Hubbe, M.A., Nazhad, M. and Sánchez, C., 2010. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, 5(4), pp.2808-2854.
25. Janczak, D., Malińska, K., Czekala, W., Cáceres, R., Lewicki, A. and Dach, J., 2017. Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. *Waste Management*, 66, pp.36-45.
26. Jodaugienė, D., Bogužas, V., Mikučionienė, R., Auželienė, I. and Zemeckis, R., 2015. Sėjomainų ir priešėlių poveikis su auginamų javų derliumi išnešamų maisto medžiagų kiekiui. *Žemės ūkio mokslai*, 22(1).
27. Koplłowicz, S. R. (2019). *Utilizing Compost for Carbon Sequestration: A Strategy for Climate Goals and Land Use Management*.
28. Lietuvos oficialios statistikos portalas (žemės ūkio naudmenos), 2024. Naudojamos žemės ūkio naudmenos (prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=5ebe78d5-ce3a-47f6-91dd-650ff240e166#/>).
29. Lietuvos oficialios statistikos portalas, 2024. Atliekų susidarymas ir tvarkymas (prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=8a9b8489-4265-41c0-a5ac-9ae578527828#/>).
30. Lietuvos standartas LST EN 13040:2008 „Dirvožemio gerinimo medžiagos ir auginimo terpės”.
31. LR Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo, 2024. LR Aplinkos ministro įsakymas Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo 2024 m. spalio 9 d. Nr. D1-330.
32. LR Dirvožemio įstatymo projektas, 2017. LR Dirvožemio įstatymo projektas 2017 m. balandžio 27 d. Nr. XIII P-608.
33. Luttenberger, L.R., 2020. Waste management challenges in transition to circular economy—case of Croatia. *Journal of Cleaner production*, 256, p.120495.

34. Manea, E. E., Bumbac, C., Dinu, L. R., Bumbac, M., & Nicolescu, C. M. (2024). Composting as a Sustainable Solution for Organic Solid Waste Management: Current Practices and Potential Improvements. *Sustainability*, 16(15), 6329.
35. Miyatake, F. and Iwabuchi, K., 2005. Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost. *Bioresource technology*, 96(16), pp.1821-1825.
36. Montanarella, L. and Panagos, P., 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land use policy*, 100, p.104950.
37. Pajura, R., 2023. Composting municipal solid waste and animal manure in response to the current fertilizer crisis-a recent review. *Science of The Total Environment*, p.169221.
38. Právǎlie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roşca, B., Dumitraşcu, M., Nita, I.A., Sǎvulescu, I., Birsan, M.V. and Bandoc, G., 2021. Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research*, 194, p.110697.
39. Puchalski, M., Siwek, P., Panayotov, N., Berova, M., Kowalska, S. and Krucińska, I., 2019. Influence of various climatic conditions on the structural changes of semicrystalline PLA spunbonded mulching nonwovens during outdoor composting. *Polymers*, 11(3), p.559.
40. Sánchez, A., Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrena, R., Gabriel, D., ... & Mondini, C. (2015). Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental chemistry letters*, 13, 223-238.
41. Sanchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. J. B. T. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, 247, 1155-1164.
42. Santos, C., Fonseca, J., Coutinho, J., Trindade, H. and Jensen, L.S., 2021. Chemical properties of agro-waste compost affect greenhouse gas emission from soils through changed C and N mineralisation. *Biology and Fertility of Soils*, 57(6), pp.781-792.
43. Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F. and Sánchez, A., 2020. Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. *Agronomy*, 10(11), p.1838.
44. Scarlat, N., Fahl, F. and Dallemand, J.F., 2019. Status and opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe. *Waste and Biomass Valorization*, 10(9), pp.2425-2444.
45. Seitz, S., Goebes, P., Puerta, V. L., Pereira, E. I. P., Wittwer, R., Six, J., Scholten, T. (2019). Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-10.
46. Shi, T.S., Collins, S.L., Yu, K., Peñuelas, J., Sardans, J., Li, H. and Ye, J.S., 2024. A global meta-analysis on the effects of organic and inorganic fertilization on grasslands and croplands. *Nature Communications*, 15(1), p.3411.
47. Siebert, S. and Kehres, B., 2008. Agricultural humus management using high quality composts. Compost and digestate: sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production, 27, p.29th.
48. Skruodys, J. and Jasinskas, A., 2021. Grūdinių augalų atliekų efektyvaus naudojimo energetikoje vertinimas. *Žmogaus ir gamtos sauga*, p.29.
49. Spaccini, R. and Piccolo, A., 2020. Amendments with humified compost effectively sequester organic carbon in agricultural soils. *Land Degradation & Development*, 31(10), pp.1206-1216.
50. Stegenta, S., Sobieraj, K., Pilarski, G., Koziel, J.A. and Białowiec, A., 2019. Analysis of the spatial and temporal distribution of process gases within municipal biowaste compost. *Sustainability*, 11(8), p.2340.
51. Thompson, J.A. and Vincent, J.M., 1967. Methods of detection and estimation of rhizobia in soil. *Plant and Soil*, 26, pp.72-84.

52. Toplicean, I. M., & Datcu, A. D. (2024). An overview on bioeconomy in agricultural sector, biomass production, recycling methods, and circular economy considerations. *Agriculture*, 14(7), 1143.
53. Tran, H.T., Lin, C., Bui, X.T., Ngo, H.H., Cheruiyot, N.K., Hoang, H.G. and Vu, C.T., 2021. Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. Current and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 753, p.142250.
54. Vitunskienė, V., Aleksandravičienė, A. and Ramanauskė, N., 2022. Spatio-temporal assessment of biomass self-sufficiency in the European Union. *Sustainability*, 14(3), p.1897.
55. Vitunskienė, V., Aleksandravičienė, A., Čaplikas, J. and Dapkuvienė, A., 2023. The strategic concept for the Lithuanian bioeconomy: insights for niche bioenergy sectors. *Open Research Europe*, 3. (prieiga per internetą: <https://open-research-europe.ec.europa.eu/articles/3-101/v2>).
56. Vu, V., Farkas, C., Riyad, O., Bujna, E., Kilin, A., Sipiczki, G., Sharma, M., Usmani, Z., Gupta, V.K. and Nguyen, Q.D., 2022. Enhancement of the enzymatic hydrolysis efficiency of wheat bran using the *Bacillus* strains and their consortium. *Bioresource Technology*, 343, p.126092.
57. Wang, X., Cui, H., Shi, J., Zhao, X., Zhao, Y. and Wei, Z., 2015. Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. *Bioresource technology*, 198, pp.395-402.
58. Weldon, S., Rivier, P.A., Joner, E.J., Coutris, C. and Budai, A., 2023. Co-composting of digestate and garden waste with biochar: effect on greenhouse gas production and fertilizer value of the matured compost. *Environmental Technology*, 44(28), pp.4261-4271.
59. Yu, H., Xie, B., Khan, R. and Shen, G., 2019. The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource technology*, 271, pp.228-235.
60. Zhang L, Sun X., 2016. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. *Waste Manage.* 48:115–126.

Moksliniai straipsniai

1. Khan, M. T., Aleinikovienė, J., & Butkevičienė, L. M. (2024). Innovative organic fertilizers and cover crops: Perspectives for sustainable agriculture in the era of climate change and organic agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2871.
2. Khan, M. T., Supronienė, S., Žvirdauskienė, R., & Aleinikovienė, J. (2025). Climate, Soil, and Microbes: Interactions Shaping Organic Matter Decomposition in Croplands. *Agronomy*, 15(8), 1928.
3. Aleinikovienė J., Steponavičienė V., I. Švalkūnienė, M.T. Khan, Bogužas V. (2025). Dirvožemio humusingumo išsaugojimo ir didinimo galimybės naudojant ūkyje pagaminamus augalų tręšimo išteklius. *Mano ūkis*, pateiktas spaudai.

Mokslinės konferencijos

1. Khan, M.T.; Butkevičienė, L. -M.; and Aleinikovienė, J. “Soil Organic Matter and Microbial Biomass Stabilization with the Implementation of Organic Fertilizers” at “Science for a Sustainable Now and Future,” University of Silesia, Katowice, Poland, April 7-11, 2025.
2. Steponavičienė, V.; Butkevičienė, L.M.; Aleinikovienė, J. „Organic waste composting for soil health and carbon farming“ at „The 12th International Scientific Conference – Rural Development 2025“, Vytautas Magnus University, Lithuania, October 1-3, 2025.
3. Khan, M.T.; Butkevičienė, L.M.; Steponavičienė, V.; Švalkūnienė I.; Aleinikovienė, J. „Enhancing soil health through organic amendments: a climate-smart agroecological approach“ at „The 12th International Scientific Conference – Rural Development 2025“, Vytautas Magnus University, Lithuania, October 1-3, 2025.

Lauko diena

1. Aleinikovienė, J. „Mokslinės įžvalgos apie dirvožemio kokybę ir bearimių technologijų tarpusavio sąsajas“, lauko diena: „No-till“ akademijos įkūrėjo, ūkininko Gyčio Narbuto bearimio ūkininkavimo patirtis ūkininkaujant įnoringose Šeduvos apylinkės žemėse, Šeduva, Radviliškio rajonas, 2025 m. spalio 29 d.

SUDERINTA:

(Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas)

(Vardas, Pavardė)

(Data)