

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS
ŽEMĖS ŪKIO AKADEMIJA

TVIRTINU:

VDU ŽŪA Kanclerė
Astrida Miceikienė
2024 m. lapkričio mėn. d.

**ŽEMĖS, MAISTO ŪKIO, ŽUVININKYSTĖS IR KAIMO PLĖTROS
MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS PLĖTROS 2023–2027 METŲ
PROGRAMA**

**PARENGTI DIRVOŽEMIO SVEIKATOS VALDYMO PRIEMONIŲ VERTINIMO
MODELĮ SUDARANT GALIMYBĘ ŽEMDIRBIAMS APSISKAIČIUOTI DIRVOŽEMIO
SVEIKATOS VALDYMO PRAKTIKŲ RODIKLIŲ EKONOMINĘ, SOCIALINĘ IR
APLINKOSAUGINĘ VERTEĮ IR POTENCIALŲ POVEIKĮ ŪKIO EKONOMINIAMS
REZULTATAMS IR RIZIKOS VALDYMUI**

2024 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Tyrimo vadovas
Vaida Steponavičienė

Kaunas, Akademija
2024

MTEP projekto

“ Parengti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį sudarant galimybę žemdirbiams apsiskaičiuoti dirvožemio sveikatos valdymo praktikų rodiklių ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę ir potencialų poveikį ūkio ekonominiams rezultatams ir rizikos valdymui”
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. Zita Kriaučiūnienė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja
3.	Dr. Jūratė Aleinikovienė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja
4.	Dr. Jolita Grėblikaitė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja
5.	Dr. Vaida Steponavičienė	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos tyrimų institutas, vyriausioji mokslo darbuotoja
6.	Rolandas Rakštys	Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Verslo ir kaimo plėtros vadybos katedros lektorius

Turinys

Įvadas.....	4
1. Tarptautinės praktikos apžvalga vertinant dirvožemio sveikatos valdymo priemones	6
1.1 Tvaraus dirvožemio valdymo principai.....	14
2. Rodiklių, kuriais remiantis būtų vertinama dirvožemio sveikata, nustatymas	17
2.1 Dirvožemio sveikatos rodikliai.....	18
2.2 Dirvožemio sveikatos vertinimo metodai.....	20
2.3 Socialiniai rodikliai ir modeliai	24
3. Dirvožemio sveikatos valdymo priemonių sąrašo rengiamam vertinimo modeliui sudarymas....	39
4. Dirvožemio sveikatos valdymo rodikliai ir vertinimo modeliai.....	48
5. VDU ŽŪA ilgalaikio ir kitų sveiko dirvožemio formavimo lauko eksperimentų rezultatų analizė ir jų pritaikymas rengiamam ekonominės naudos įvertinimo modeliui	64
Išvados.....	83
Literatūra	84
Projekto rezultatų sklaida 2023–2024 m.	88

Įvadas

Lietuvoje šiuo metu nėra atliekamas dirvožemio sveikatingumo vertinimas, nėra nustatyti rodikliai, kuriais remiantis būtų vertinama dirvožemio sveikata. Ūkininkams trūksta žinių ir gebėjimų įvertinti sukuriamas ekonomines naudas dėl tvarių dirvožemio naudojimo praktikų taikymo. Įvertinant šias aplinkybes svarbu sukurti sistemą, kuria naudojantis būtų galima įvertinti dirvožemio valdymo praktikų rodiklių ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę ir jų poveikį ūkio ekonominiams rezultatams ir rizikos valdymui. Tam panaudoti Vytauto Didžiojo universiteto žemės ūkio akademijoje nuo 2000 m. Iki šiol vykdomo ilgalaikio stacionaraus lauko eksperimento, kur jau 23 metus tiriamas tvarių dirvožemio naudojimo praktikų poveikis dirvožemio sveikatos ir kokybės rodikliams, rezultatai. Įgyvendinus projektą gautos naujos žinios ir atliktas ekonominis vertinimas bei sukurta elektroninė skaičiuoklė sudarant galimybę žemdirbiams apsiskaičiuoti dirvožemio sveikatos valdymo praktikų rodiklių ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę ir potencialų poveikį ūkio ekonominiams rezultatams ir rizikos valdymui.

Projekto tikslas - sukurti ekonominį dirvožemio sveikatos valdymo vertinimo modelį, kuris sudarytų sąlygas objektyviai įvertinti dirvožemio sveikatingumo įtaką ūkio pelningumui, atsižvelgiant į ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius aspektus.

Projekto uždaviniai:

1. Pateikti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių sąrašą taikomą vertinimo modelyje.
2. Parengti ekonominės naudos įvertinimo modelį žemdirbiams naudojant tvarius dirvožemio naudojimo metodus (pvz. Naudojant tvarius dirvos dirbimo, sėjomainos, pasėlių parankos būdus, dirvožemio organinės anglies sancaupų didinimo bei kitus technologinius būdus).
3. Pateikti skaičiuoklę elektroniniame formate, kuria naudojantis būtų galima įvertinti dirvožemio sveikatos valdymo praktikų ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę taip pat poveikį ūkio rizikos valdymui.

Konkretūs mtep projekto rezultatai, kurie pasiekti įgyvendinus mtep projektą, ir jų pritaikymas:

1. Panaudojant vytauto didžiojo universiteto žemės ūkio akademijoje nuo 2000 m. Iki šiol vykdomo ilgalaikio (23 metų laikotarpio) lauko eksperimento, kur tiriamas tvarių dirvožemio naudojimo praktikų poveikis dirvožemio sveikatos ir kokybės rodikliams, tyrimų duomenis nustatyti rodikliai, kuriais remiantis būtų vertinama dirvožemio sveikata.
2. Remiantis nustatytais rodikliais bei tarptautine praktika pateiktas dirvožemio sveikatos valdymo priemonių sąrašas.
3. Taikant dirvožemio sveikatos valdymo priemonių sąrašą parengtas ekonominės naudos įvertinimo modelis žemdirbiams, naudojantiems tvarius dirvožemio naudojimo metodus (tvarius žemės dirbimo, sėjomainos, pasėlių parankos būdus, dirvožemio organinės anglies sancaupų didinimo bei kitus technologinius būdus).
4. Pateikta skaičiuoklė elektroniniame formate, kuria naudojantis būtų galima įvertinti dirvožemio sveikatos valdymo praktikų ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę, jų potencialų poveikį ūkio ekonominiams rezultatams ir rizikos valdymui.
5. Parengtas ekonominės naudos įvertinimo modelis ir skaičiuoklė dirvožemio sveikatos valdymo praktikų vertinimui bus pristatyti potencialiems naudotojams. Ūkininkaujantiems subjektams suteiktos trūkstamos žinios ir gebėjimai leis įvertinti sukuriamas ekonomines naudas dėl tvarių dirvožemio naudojimo praktikų taikymo.

1. TARPTAUTINĖS PRAKTIKOS APŽVALGA VERTINANT DIRVOŽEMIO SVEIKATOS VALDYMO PRIEMONES

Europos komisija, suprasdama dirvožemio svarbą, paskelbė vieną iš misijų „sveikas dirvožemis ir maistas“. Buvo sudaryta misijos taryba iš įvairių šalių ir institucijų atstovų. Į misijos tarybą buvo atrinkta ir įtraukta narė iš Lietuvos – Vytauto Didžiojo Universiteto žemės ūkio akademijos mokslininkė doc. Dr. Zita Kriaučiūnienė. Misijos taryba bendradarbiaudama su Europos komisija parengė ir 2020 m. paskelbė ataskaitą apie dirvožemio būklę Europoje ir pasiūlė priemones dirvožemio sveikatai gerinti (<https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>). Autoriai - misijos valdybos nariai: Cees Veerman (Pirmininkas), Teresa Pinto Correia (Pirmininko Pavaduotoja), Catia Bastioli, Borbala Biro, Johan Bouma, Emil Cienciala, Bridget Emmett, Emile Antoine Frison, Alfred Grand, Lachezar Hristov Filchew, Zita Kriaučiūnienė, Marta Pogrzeba, Jean-François Soussana, Carmen Vela Olmo, Reiner Wittkowski. Ataskaitoje pabrėžiama, kad „rūpinimasis dirvožemiu - tai rūpinimasis gyvybe“. Sveiko dirvožemio ir maisto misijos pagrindinis tikslas „iki 2030 m. Uztikrinti, kad 75 proc. Dirvožemio būtų sveikas maistui, žmonėms, gamtai ir klimatui.“ tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

1 uždavinys: mažinti žemės degradaciją, įskaitant dykumėjimą ir druskėjimą.

1.1 uždavinys: atkurta 50 % nualintos žemės, siekiant didesnio neutralumo žemės degradacijos atžvilgiu.

2 uždavinys: išsaugoti (pvz., miškuose, daugiametėse ganyklose, pelkėse) ir padidinti organinės anglies atsargas dirvožemyje.

2.1 uždavinys: dabartinis anglies koncentracijos sumažėjimas dirbamoje žemėje (0,5 % per metus) bus pakeistas į 0,1-0,4 % padidėjimą per metus;

2.2 uždavinys: 30-50 % sumažinti anglies dioksido netekusių naudojamų durpynų plotą.

3 uždavinys: neužsandarinti dirvožemio ir padidinti pakartotinį miesto dirvožemio naudojimą miestų plėtrai.

3.1 uždavinys: pereiti nuo 2,4 % prie dirvožemio grynojo sandarinimo nebuvimo;

3.2 uždavinys: dabartinis dirvožemio pakartotinio naudojimo lygis padidinamas nuo dabartinių 13 % iki 50 %, kad būtų pasiektas es tikslas - iki 2050 m. Nevykdyti grynojo žemės užėmimo.

4 uždavinys: sumažinti dirvožemio taršą ir pagerinti atkūrimą.

4.1 uždavinys: bent 25 % es žemės ūkio paskirties žemės ploto ekologiškai ūkininkauti;

4.2 uždavinys: dar 5-25 proc. Žemės, kurioje sumažėja eutrofikacijos, pesticidų, antimikrobinų medžiagų ir kitų agrochemikalų bei teršalų keliamo rizika;

4.3 uždavinys: padvigubinti užterštų teritorijų atkūrimo tempą.

5 uždavinys: užkirsti kelią erozijai.

5.1 uždavinys: sustabdyti eroziją 30-50 proc. Žemės, kurioje erozijos lygis yra nestabilus.

6 uždavinys: pagerinti dirvožemio struktūrą, kad pagerėtų dirvožemio biotos ir augalų buveinių kokybė.

6.1 uždavinys: dirvožemių su didelio tankio podirviu sumažėja 30-50 %.

7 uždavinys: sumažinti bendrą es poveikį dirvožemiui.

7.1 uždavinys: es maisto, medienos ir biomasės importo poveikis žemės degradacijai sumažintas 20-40 %.

8 uždavinys: didinti visuomenės žinias apie dirvožemį visose valstybėse narėse.

8.1 uždavinys: dirvožemio sveikata tvirtai įtvirtinta mokyklose ir mokymo programose;

8.2 uždavinys: žemės valdytojai ir konsultantai dažniau dalyvauja dirvožemio sveikatos mokymuose;

8.3 uždavinys: geresnis supratimas apie vartotojų pasirinkimų poveikį dirvožemio sveikatai.

Atsižvelgdama į misiją „sveikas dirvožemis ir maistas“, taryba dirvožemio sveikatą apibrėžė kaip "nuolatinį dirvožemio gebėjimą palaikyti ekosistemų funkcijas, atsižvelgiant į darnaus

vystymosi tikslus ir žalią kursą". Ekosisteminėmis paslaugomis vadiname ekosistemos ir kraštovaizdžio mastu teikiamas paslaugas ir naudą, kurią žmonės gauna iš šių paslaugų, įskaitant viešąsias gėrybes, susijusias su platesniu ekosistemos veikimu ir visuomenės gerove" (haines-young et al., 2018; ma 2005).

Dirvožemio sveikata prarandama greitai, o ji atkuriamą lėtai. Ilgą laiką buvo atidėliojama imtis veiksmų dirvožemio būklei gerinti. Kad ateities kartos paveldėtų švarų, produktyvų ir atsparų dirvožemį būtina nedelsiant imtis priemonių. Jau įrodyta, kad dirvožemio naudojimas gali sustabdyti degradaciją ir pagerinti sveikatą. Dirvožemio būklę galima pagerinti plačiau taikant geriausias naudojimo praktikas ir kuriant inovacijas. Pavyzdžiai:

- tvaraus naudojimo praktika sustabdė dirvožemio degradaciją sausringose vietovėse nuo 20 iki 50 % ir per pastaruosius 10 metų 20 % sumažino dirvožemio degradaciją pasėliuose.
- tarpinių augalų auginimas 6 % padidino dirvožemio organinės anglies kiekį.
- fosforo nuostolių mažinimo priemonių taikymas ir perdirbimo galimybės sumažino fosforo nuostolius daugiau kaip 50 %. Tai gali būti kaip priemonė tręšimo praktikų optimizavimo, erozijos mažinimo strategijos, dirvožemio tyrimai ir tinkamas fosforo paskirstymas. Taip pat gali būti naudojamos perdirbimo technologijos. Priemonės kurios yra taikomos žemės ūkio plotuose, taip pat gali būti taikomos pramoninėse įmonėse, pvz., nuotekų valymo įrenginiuose. Ryšys su dirvožemiu tiesioginis, ypač kai kalbama apie tręšimo praktikų tobulinimą ir erozijos mažinimą, bet taip pat gali būti ir netiesioginis per pramonės valymo įrenginių atnaujinimą, mažinant taršą, kuri gali turėti įtakos dirvožemiui.

Misijos „sveikas dirvožemis ir maistas“ tarybos ir ek jungtinių tyrimų centro atlikta es dirvožemių būklės apžvalga rodo, kad dėl dabartinės naudojimo praktikos maždaug 60-70 % es dirvožemių yra pažeisti, taip pat dar dalis jų yra nesveiki dėl nepakankamai kokybiškai įvertintų taršos problemų. Tikslas iki 2030 m. Pasiiekti 75 proc. Sveiką arba gerėjantį dirvožemį, iš esmės keičiant dabartinę žemės naudojimo praktiką, yra įgyvendinamas ir būtinas. Dirvožemiui taip pat bus naudinga, jei pagerės netiesioginiai pokyčius lemiantys veiksniai, pavyzdžiui, sumažės oro tarša ir išmetamo anglies dioksido kiekis. Nustatyta, kad su dirvožemio degradacija susijusios išlaidos es viršija 50 mlrd. € per metus.

Dirvožemio sveikatos rodikliai misijai paremti

Dirvožemio sveikata priklauso nuo gyvybingos ir biologiškai įvairios augalijos dangos, kuri palaiko anglies dvideginio patekimą į dirvožemį, palaiko dirvožemio biotą ir sukuria gerą struktūrą, taip pat nuo tinkamų naudojimo praktikų, užtikrinančių, kad dirvožemis nebūtų suslėgtas, nebūtų per daug druskingas ir būtų apsaugotas nuo teršalų. Dirvožemis, kuriame yra mažai organinių medžiagų, atsižvelgiant į jo tipą, kuris yra sutankintas arba užterštas cheminėmis medžiagomis, pavyzdžiui, maistinėmis medžiagomis, sunkiaisiais metalais, biocidų liekanomis, hormonais ir vaistais, kurių koncentracija yra didesnė, nei leidžiama pagal sveikatos apsaugos taisykles laikomas nesveiku. Šie rodikliai yra gerai išbandyti (Bünemann et al. 2018) ir plačiai naudojami nacionaliniu, regioniniu ir pasauliniu lygmenimis (Emmett et al. 2010; Orgiazzi e al. 2018; Moebius-clune et al. 2018). Sąrašas yra kuklus, palyginti su jau taikomais vandens ir oro kokybės rodikliais. Jei mėginiai imami tinkamai (pvz., ne po tręšimo trąšomis), jie yra stabilūs dirvožemio būklės tam tikru metu ir pokyčių rodikliai, jei kartojami nuolatiniuose vietose. Jie apima rodiklius, susijusius su dirvožemio sveikatos pokyčių veiksniais kraštovaizdžio mastu:

1. Dirvožemio teršalų, maistinių medžiagų ir druskų perteklius. Kai jų koncentracija yra didesnė, nei leidžiama pagal sveikatos apsaugos taisykles ar augalų reikalavimus: dirvožemis yra nesveikas. Kai koncentracija sumažėja žemiau pripažintų ribinių verčių, tai reiškia, kad dirvožemio sveikata pagerėjo.

2. Dirvožemio organinė anglis. Organinės medžiagos yra svarbios adsorbuojant maisto medžiagas, sulaikant vandenį, gerinant dirvožemio struktūrą, gerinant dirvos dirbimą ir augalų produktyvumą. Dirvožemio organinė anglis (doc) yra pagrindinė dirvožemio organinės medžiagos sudedamoji dalis (56 %), o pasaulinis dirvožemio organinės anglies rezervas dirvožemyje yra du-tris

kartus didesnis nei atmosferos CO₂. Todėl doc koncentracijos ir atsargų didinimas leidžia iš atmosferos pasisavinti CO₂ ir pagerinti dirvožemio sveikatą.

3. Dirvožemio struktūra, įskaitant tankį ir dirvožemio užsandarinimą bei eroziją.

Geros struktūros dirvožemis yra optimalaus tankio, neužsandarintas ir nepaveiktas erozijos. Tokios sąlygos palankios augti sveikoms augalų šaknims - jos gali lengvai prasiskverbti pro dirvožemį ir pasiekti maisto medžiagas ir vandenį. Taip pat, geros struktūros dirvožemyje susidaro tinkamos sąlygos lietaus vandeniui infiltruotis, dėl to išvengiama nuotėkio ir dirvožemio praradimo.

4. Dirvožemio biologinė įvairovė. Funkcinė atitinkamų bakterijų ir grybų bei dirvožemio gyvūnų bendrijų, kurios yra svarbios dirvožemio funkcijoms ir paslaugoms, pavyzdžiui, dirvožemio struktūrai, atliekų skaidymui, organinės anglies kaupimui ir maistingųjų medžiagų apykaitai, įvairovė skatina visas dirvožemio funkcijas. Šiuo metu gerai ištirti nematodai ir sliekai.

5. Dirvožemio maistingosios medžiagos ir pH. Augalų augimui būtinos maistinės medžiagos, bent iš dalies gaunamos iš dirvožemio, yra n, p, k, s, ca. Daugybė augalų mikroelementų paprastai dirvožemyje aptinkamos labai mažos koncentracijos (milijoninės dalys) gali riboti augalų augimą, pavyzdžiui, boras (b), chloras (cl), kobaltas (co), varis (cu), geležis (fe), manganas (mn), molibdenas (mo) ir cinkas (zn). Dirvožemio pH turi įtakos daugeliui cheminių ir biologinių procesų, įskaitant augalų maisto medžiagų prieinamumą ir dirvožemio mikrobų bendrijų pusiausvyrą bei funkcijas. Žemės ūkio paskirties ir miškininkystės dirvožemiuose augimui būtina optimali pusiausvyra. Palaikant biologinę įvairovę turtingas ekosistemas, maistingųjų medžiagų ribotumas sudaro esmines sąlygas, kurios palaiko antžeminės ir požeminės biotos įvairovę.

6. Augalijos danga. Augalijos dangos metinė trukmė ir įvairovė bei jos grynasis pirminis produktyvumas yra labai svarbūs dirvožemio būklei. Jis užtikrina dirvožemio biologinę įvairovę maistinėmis medžiagomis ir anglies dvideginio kiekį dirvožemio organinėje medžiagoje, taip pat mažina eroziją ir paviršinį nuotėkį. Įvairesnė ir ilgiau trunkanti augalijos danga sudaro dirvožemio biologinei įvairovei ir sveikatai palankias sąlygas, o augalijos dangos didinimas yra vertingas ir miestų aplinkoje.

7. Kraštovaizdžio heterogeniškumas, įskaitant žemės ūkio paskirties žemę (laukų dydis, fragmentacija, natūralių žaliųjų elementų buvimas), miškininkystę (miškų rūšys, monokultūros, kirtavietės, kuriose yra plikos žemės) ir miesto žaliąją infrastruktūrą (tinkamas buvimas). Kraštovaizdžio elementų įvairovė (sudėtis) ir šių elementų pasiskirstymas, įskaitant jų santykinį dydį ir vietą morfologijos (konfigūracijos) atžvilgiu, daro didelę įtaką biologinei įvairovei, vandens ciklui ir dirvožemio erozijai.

8. Miškų ir kitų miškingų žemių plotas, suskirstytas pagal rūšių skaičių, nevietinių medžių rūšių dalį, natūralaus ir dirbtinio atsikūrimo dalį. Miškuose dirvožemio sveikatai įtakos turi natūralumas rūšinės sudėties požiūriu ir ūkininkavimo praktika, įskaitant plynus kirtimus.

Reikia atkreipti dėmesį, kad sveiko dirvožemio rodiklių matavimai priklauso nuo dirvožemio, todėl skirtingiems dirvožemio tipams, žemės naudojimo būdams ir klimato zonoms būdingi skirtingi verčių intervalai. Informacijos rinkimo metodai, kuriuos galima derinti įvairiais būdais, apima: vizualinį vertinimą lauke, dirvožemio mėginių ėmimą ir profesionalią laboratorinę analizę, nuotolinę stebėjimą, modeliavimą, visuomenės informavimą ir piliečių mokslą. Daugelis metodų jau yra gerai aprašyti, tačiau juos reikia standartizuoti, kad duomenys būtų patikimi.

Kaip nustatyti bendrą konkretaus dirvožemio būklę?

Išmatavus tam tikro dirvožemio rodiklius, juos reikia palyginti su ribinėmis arba standartinėmis vertėmis, kurios atskiria sveiką dirvožemį nuo nesveiko. Tokie rodikliai priklauso nuo žemės naudojimo paskirties ir klimato, todėl jų negalima apibendrinti. Reikia mokslinių tyrimų, kad būtų galima apibrėžti tokias ribines arba standartines kiekvieno dirvožemio tipo rodiklio vertes kiekvienam dirvožemio tipui, atsižvelgiant į žemės naudojimo paskirtį ir klimatą, taikant sutartą standartinį metodą. Norint nustatyti, ar dirvožemis atitinka ribinę vertę (standartą), ar jos nesiekia, taigi, ar dirvožemį galima apibrėžti kaip "sveiką" ar "nesveiką", taip pat reikia atlikti papildomus bandymus ir susitarti dėl standartinio metodo. Taip pat galima apibrėžti skirtingas sveikumo

kategorijas, viršijančias arba nesiekiančias šios ribos (standarto), kad būtų galima nustatyti santykinę dirvožemio sveikumo būklę ir padėti nustatyti, kokių veiksmų reikia imtis skubiai ir kokio masto. Šis integravimas į bendrą dirvožemio sveikatos rodiklį yra labai svarbus, kad būtų galima stebėti, kaip įgyvendinamas misijos tikslas, kad iki 2030 m. 75 % dirvožemių būtų sveiki arba jų būklė pagerėtų. Įvairūs šio integravimo metodai jau naudojami kitiems gamtos ištekliams, pvz., vandens pagrindų direktyvoje numatytas paviršinių vandenų metodas "vienas iš/visi" (angl. One out/all), taip pat siūlomi įvairūs nauji galimi dirvožemių metodai (Bonfante et al. 2020). Reikia tvirtai patikrinti galimybių tinkamumą ir susitarti dėl metodo. Kai viršijamos bet kurio rodiklio ribos, dirvožemis yra žemiau sutartos ribos ir (arba) standarto, reikia apsvarstyti konkrečius valdymo veiksmus, kad būtų pagerintos sąlygos, susijusios su konkrečia (-iomis) problema (-omis), dėl kurios (-ių) įvyko neigiamas pasekmė. Šiuo atveju gali būti naudingi įrodymai, gauti iš patirties, sukauptos gyvosiose laboratorijose arba švyturiuose toje vietovėje. Tęsiant stebėseną galima stebėti, kaip sekasi įgyvendinti veiksmus.

Europos parlamento ir tarybos pasiūlymo direktyvos dėl dirvožemio stebėsenos ir atsparumo (dirvožemio stebėsenos teisės aktas) (COM(2023) 416) i priede - apibrėžiami dirvožemio deskriptoriai, geros dirvožemio būklės kriterijai ir žemės užėmimo bei dirvožemio sandarinimo rodikliai. Ii priede - a dalyje - ėminių ėmimo taškų nustatymo metodika, b dalyje - dirvožemio deskriptorių verčių nustatymo arba apskaičiavimo metodika. Kai yra nustatyta pamatinė metodika, naudojama arba ji, arba kita metodika su sąlyga, kad pastaroji yra išdėstyta mokslinėje literatūroje arba viešai prieinama ir yra patvirtinta perdavimo funkcija. Iii priede - tvaraus dirvožemio valdymo principai. Iv priede - 10 straipsnyje nurodytos programos, planai, tiksliniai rodikliai ir priemonės. V priede - orientacinis rizikos mažinimo priemonių sąrašas, kuriame nurodomi remediacijos metodai *in situ* arba *ex situ* remediacijos atvejais. Vi priede - konkrečios teritorijos rizikos vertinimo etapai ir reikalavimai. Vii priede - potencialiai užterštų teritorijų ir užterštų teritorijų registro turinys.

1.1 lentelė. Europos parlamento ir tarybos pasiūlymo direktyvos dėl dirvožemio stebėsenos ir atsparumo (dirvožemio stebėsenos teisės aktas) (COM(2023) 416)

Dirvožemio degradacijos aspektas	Dirvožemio deskriptorius	Geros dirvožemio būklės kriterijai	Žemės plotai, dėl kurių nereikalaujama pasiekti susijusio kriterijaus
<i>A dalis. Dirvožemio deskriptoriai su geros dirvožemio būklės kriterijais, nustatytais sąjungos lygmeniu</i>			
Druskėjimas	Elektrinis laidis (decisimensai vienam metrui)	$< 4 \text{ ds m}^{-1}$, kai naudojamas matavimo įmirkusiame dirvožemio masės ekstrakto (eec) metodas, arba lygiavertis kriterijus, jei naudojamas kitas matavimo metodas	Natūraliai druskingi žemės plotai Žemės plotai, kuriuos tiesiogiai paveikė jūros lygio kilimas
Dirvožemio erozija	Dirvožemio erozijos mastas (tonomis vienam hektarui per metus)	$\leq 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ metai}^{-1}$	Dykros ir kiti nevaldomi natūralios žemės plotai, išskyrus atvejus, kai jie kelia didelę nelaimių riziką
Dirvožemio organinės anglies praradimas	Dirvožemio organinės anglies (doa) koncentracija (g m^{-3})	– organinio dirvožemio atveju: laikytis tokiems dirvožemiams nacionaliniu lygmeniu nustatytų tikslinių rodiklių pagal reglamento dėl gamtos atkūrimo (es) com(2022) 304./... [±] 4 straipsnio 1 dalį, 4 straipsnio 2 dalį ir 9 straipsnio 4 dalį.	Išimčių nėra.
		– mineralinio dirvožemio atveju: doa / molio santykis $> 1/13$;	Netvarkomas dirvožemis natūralios žemės plotuose

		Valstybės narės gali taikyti korekcinį koeficientą, jei tai pateisinama dėl konkrečių dirvožemio tipų ar klimato sąlygų, atsižvelgdamos į faktinį dozą kiekį daugiamečiuose žolynuose.		
Podirvio susmegimas	Podirvio piltinis tankis (viršutinė b arba e horizonto dalis ¹¹); valstybės narės gali pakeisti šį deskriptorių lygiaverčiu parametru (g/cm ³)	Granulometri nė dirvožemio sudėtis ¹²	Inter valas	Netvarkomas dirvožemis natūralios žemės plotuose
		Smėlis, rišlus smėlis, priemėlis, priemolis	< 1,80	
		Smėlin gas sunkus priemolis, priemolis, sunkus priemolis, dulkės, dulkišk as priemolis	< 1,75	
		Dulkiškas priemolis, dulkišk as sunkus	< 1,65	

		<table border="1"> <tr> <td>priemo lis</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Smėlin gas molis, dulkišk as molis, sunkus priemo lis su 35–45 % molio</td> <td>< 1,58</td> </tr> <tr> <td>Molis</td> <td>< 1,47</td> </tr> </table> <p>Jei valstybė narė dirvožemio deskriptorių „podirvio piltinis tankis“ pakeičia lygiaverčiu parametru, ji pasirinktam dirvožemio deskriptoriui priima geros dirvožemio būklės kriterijų, kuris yra lygiavertis kriterijui „podirvio piltinis tankis“.</p>	priemo lis		Smėlin gas molis, dulkišk as molis, sunkus priemo lis su 35–45 % molio	< 1,58	Molis	< 1,47	
priemo lis									
Smėlin gas molis, dulkišk as molis, sunkus priemo lis su 35–45 % molio	< 1,58								
Molis	< 1,47								

B dalis. Dirvožemio deskriptoriai su geros dirvožemio būklės kriterijais, nustatytais valstybių narių lygmeniu

Perteklinis maisto medžiagų kiekis dirvožemyje	Ekstrahuojamasis fosforas (mg/kg)	< didžiausia vertė Didžiausią vertę nustato valstybė narė 30–50 mg kg ⁻¹ intervale	Išimčių nėra.
Dirvožemio užtarša	– sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje: as, sb, cd, co, cr (bendras), cr (vi), cu, hg, pb,	Pagrįstas patikinimas, kad nėra nepriimtinos rizikos žmonių sveikatai ir aplinkai dėl	Išimčių nėra.

	<p>ni, tl, v, zn (µg/kg); – valstybių narių nustatyta tam tikrų organinių teršalų koncentracija, atsižvelgiant į esamas koncentracijos ribas, pvz., sąjungos teisės aktuose nustatytas vandens kokybės ir į orą išmetamų teršalų ribines vertes.</p>	<p>dirvožemio užtaršos, gautas imant vietoje dirvožemio ėminius, nustatant ir tiriant užterštas teritorijas ir nagrinėjant bet kokią kitą svarbią informaciją. Į tarybos direktyvos 92/43/eeb^[3] i priedą įtrauktos buveinės, kuriose natūraliai yra didelė sunkiųjų metalų koncentracija, ir toliau saugomos.</p>	
<p>Dirvožemio vandens sulaikymo gebos sumažėjimas</p>	<p>Dirvožemio ėminio vandens sulaikymo geba (vandens tūrio / įmirkusio dirvožemio tūrio %)</p>	<p>Apskaičiuotoji bendros dirvožemių rajono vandens sulaikymo gebos vertė pagal upės baseiną arba pabaseinį viršija minimalią ribą. Valstybė narė nustato tokią dirvožemių rajono ir upės baseino arba pabaseinio lygmens mažiausią ribą (tonomis), kad būtų sumažintas po intensyvaus lietaus kilusių potvynių arba dėl sausros besilaikančio mažo dirvožemio</p>	<p>Išimčių nėra.</p>

		drėgno poveikis.	
--	--	------------------	--

C dalis. Dirvožemio deskriptoriai be kriterijų	
Dirvožemio degradacijos aspektas	Dirvožemio deskriptorius
Perteklinis maisto medžiagų kiekis dirvožemyje	Azotas dirvožemyje (mg g^{-1})
Rūgštėjimas	Dirvožemio rūgštingumas (ph)
Dirvos susmegimas	Dirvos piltinis tankis (a horizontas ^[41]) (g cm^{-3})
Dirvožemio biologinės įvairovės nykimas	Bazinis dirvožemio kvėpavimas ($\text{mm}^3 \text{O}_2 \text{g}^{-1} \text{hr}^{-1}$) esant sausam dirvožemiui Valstybės narės taip pat gali pasirinkti kitus neprivalomus su biologine įvairove susijusius dirvožemio deskriptorius, pavyzdžiui: – bakterijų, grybų ir gyvūnų brūkšnių metakodavimą; – nematodų gausą ir įvairovę; – mikrobine biomase; – sliėkų gausą ir įvairovę (pasėliuose); – invazines svetimias rūšis ir augalų kenkėjus.

D dalis. Žemės užėmimo ir dirvožemio sandarinimo rodikliai	
Dirvožemio degradacijos aspektas	Žemės užėmimo ir dirvožemio sandarinimo rodikliai
Žemės užėmimas ir dirvožemio sandarinimas	Bendras nenatūralios žemės plotas (km^2 ir % valstybės narės ploto) Užimtos žemės plotas, renatūralizuotos užimtos žemės plotas, grynasis užimtos žemės plotas (vidutiniškai per metus – km^2 ir % valstybės narės ploto) Užsandarintas dirvožemis (km^2 ir % valstybės narės ploto) Valstybės narės taip pat gali matuoti kitus susijusius neprivalomus rodiklius, pavyzdžiui: – kraštovaizdžio sąskaidą; – pakartotinio žemės panaudojimo lygį; – komercinei veiklai, logistikos mazgams, atsinaujinančiųjų išteklių energijai, oro uostų, kelių, kasyklų ir pan. Zonomis užimtą žemę; – žemės užėmimo padarinius, pvz., kiekybinį ekosisteminių paslaugų praradimo įvertinimą, potvynių intensyvumo pokytį.

± COM(2022) 304 reglamentas dėl gamtos atkūrimo. ^[11] kaip apibrėžta fao dirvožemio aprašymo gairių 5 skyriuje (<https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf>). ^[21] kaip apibrėžta m. A. Arshad, b. Lowery and b. Grossman. 1996. *Physical tests for monitoring soil quality*, p. 123–142. In: j. W. Doran and a. J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. Sssa, madison, wi. ^[31] 1992 m. Gegužės 21 d. Tarybos direktyva 92/43/eeb dėl natūralių buveinių ir laukinės faunos bei floros apsaugos (ol l 206, 1992 7 22, p. 7). ^[41] kaip apibrėžta fao dirvožemio aprašymo gairių 5 skyriuje

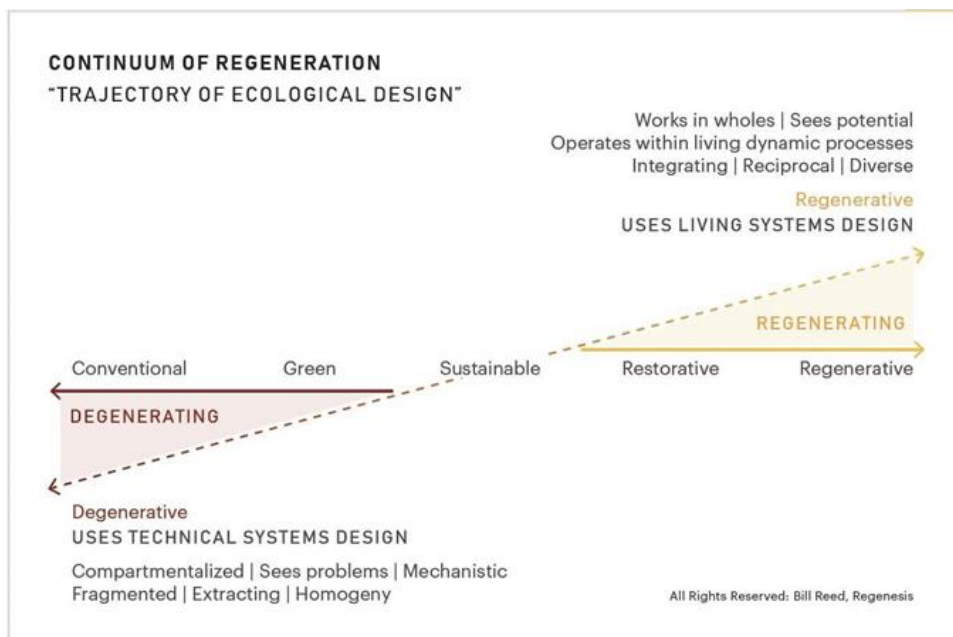
(<https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf>).^[5] 2020 m. Gegužės 25 d. Europos parlamento ir tarybos reglamentas (es) 2020/741 dėl pakartotinio vandens naudojimo minimaliųjų reikalavimų (ol l 177, 2020 6 5, p. 32).^[6] šis principas netaikomas miško dirvožemiams. ^[7] šis principas netaikomas miesto dirvožemiams. ^[8] com(2022) 304 reglamentas dėl gamtos atkūrimo. ^[9] COM(2022) 305 europos parlamento ir tarybos reglamentas dėl tausiojo augalų apsaugos produktų naudojimo, kuriuo iš dalies keičiamas reglamentas (es) 2021/2115.

1.1 TVARAUS DIRVOŽEMIO VALDYMO PRINCIPAI

Taikomi šie principai:

1. Vengti palikti dirvožemį tuščią, sukuriant ir išlaikant vegetacinę dirvožemio dangą, ypač aplinkosaugos požiūriu jautriais laikotarpiais;
2. Kuo labiau sumažinti fizinį dirvožemio trikdydumą;
3. Vengti medžiagų patekimo į dirvožemį, kai tokios medžiagos gali pakenkti žmonių sveikatai ar aplinkai arba pabloginti dirvožemio būklę;
4. Užtikrinti, kad mašinų naudojimas būtų pritaikytas dirvožemio stiprumui ir kad operacijų su dirvožemiu skaičius ir dažnumas būtų riboti, kad nepakenktų jo būklei;
5. Tręšiant užtikrinti, kad būtų atsižvelgiama į augalų ir medžių poreikius tam tikroje vietoje ir tam tikru laikotarpiu, taip pat į dirvožemio būklę, ir teikti pirmenybę žiedinės ekonomikos sprendimams, kuriais padidinamas organinių medžiagų kiekis;
6. Drėkinimo atveju kuo labiau padidinti drėkinimo sistemų ir drėkinimo valdymo veiksmingumą ir užtikrinti, kad naudojant perdirtas nuotekas vandens kokybė atitiktų europos parlamento ir tarybos reglamento (es) 2020/741^[5] i priede nustatytus reikalavimus, o naudojant iš kitų šaltinių gautą vandenį – kad dirvožemio būklė neblogėtų;
7. Užtikrinti dirvožemio apsaugą kuriant ir išlaikant tinkamus kraštovaizdžio elementus kraštovaizdžio lygmeniu^[6];
8. Auginant pasėlius, augalus ar medžius naudoti teritorijai pritaikytas rūšis, jei tai gali užkirsti kelią dirvožemio degradacijai arba prisidėti prie dirvožemio būklės gerinimo, taip pat atsižvelgiant į prisitaikymą prie klimato kaitos;
9. Užtikrinti optimalų vandens lygį organiniuose dirvožemiuose, kad nebūtų neigiamai paveikta tokių dirvožemių struktūra ir sudėtis^[7];
10. Pasėlių auginimo atveju užtikrinti sėjomainą ir pasėlių įvairovę, atsižvelgiant į skirtingų kultūrinių augalų šeimas, šaknų sistemas, vandens ir maisto medžiagų poreikius ir integruotą kenkėjų kontrolę;
11. Pritaikyti gyvulių judėjimo ir ganymo laiką, atsižvelgiant į gyvūnų rūšis ir jų laikymo tankį, kad nebūtų pakenkta dirvožemio būklei ir nesumažėtų dirvožemio aprūpinimo pašarais pajėgumas;
12. Esant žinomam neproporcingam vienos ar kelių funkcijų praradimui, dėl kurio labai sumažėja dirvožemio pajėgumas teikti ekosistemines paslaugas, taikyti tikslines tų dirvožemio funkcijų atkūrimo priemones.

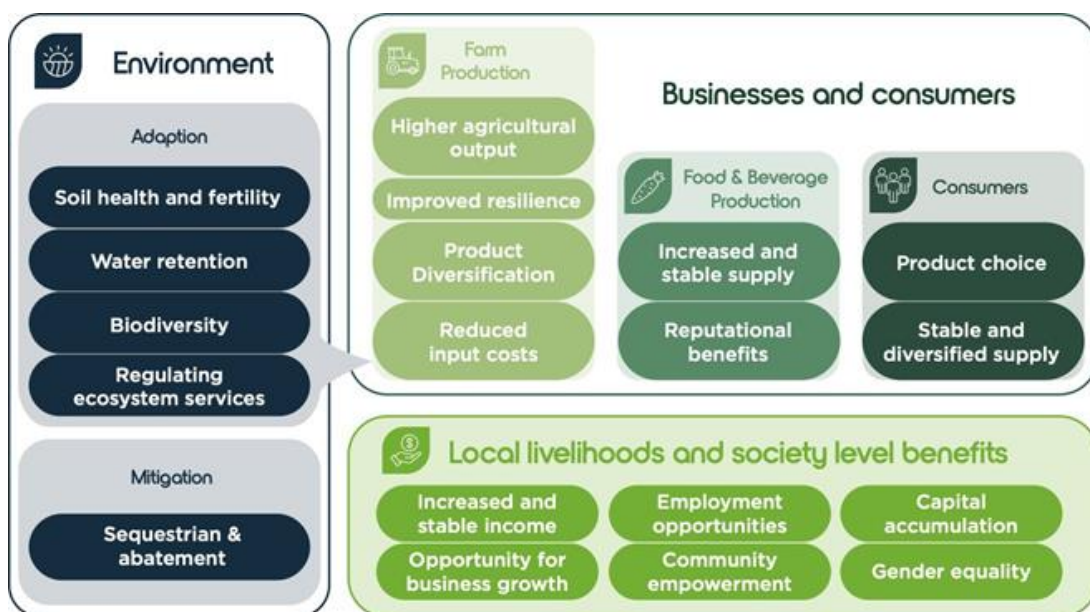
Ūkininkų gerovės puoselėjimas: investavimas į regeneracinę žemdirbystę. Regeneracinė žemdirbystė - tai holistinis požiūris į ūkininkavimą, kuriuo siekiama pagerinti dirvožemio sveikatą, padidinti biologinę įvairovę ir pagerinti ekosistemų funkcijas. Tai žemės valdymo filosofija ir požiūris, pagal kurį daugiausia dėmesio skiriama ūkininkavimui darnoje su gamta. Regeneracinės žemdirbystės praktika skiriasi priklausomai nuo augintojo ir regiono, tačiau vienija bendras tikslas - pagerinti dirvožemio sveikatą, padidinti biologinę įvairovę ir pagerinti ekosistemų funkcijas (1.1 pav.). Investicijos į regeneracinę žemdirbystę yra svarbi strategija siekiant palaikyti tvarumą ir atsparumą šiuolaikinėje žemės ūkio gamyboje.



1.1 pav. Regeneracinės žemdirbystės praktiniai principai (Pagal Regeneracija Ir Regeneracinė Žemdirbystė: Apibrėžtys, Principai Ir Praktika: Terra Genesis", "Smallholder Data Services", "Smallholder Farmers Alliance" Ir "The Data Economics Company" Ataskaitą, 2022).

Regeneracinės žemdirbystės nauda (1.2 pav.):

1. Taikant regeneracinės žemdirbystės praktiką galima iki 25 % padidinti pelną ir derlių. Pagerinus dirvožemio sveikatą, regeneracinės žemdirbystės praktika gali sumažinti sintetinių trąšų ir pesticidų poreikį, todėl ūkininkai gali sutaupyti pinigų.
2. Regeneracinės žemdirbystės praktika taip pat gali pagerinti vandens sulaikymą, sumažinti dirvožemio eroziją ir padidinti biologinę įvairovę, todėl ūkiai gali būti atsparesni ir našesni.



1.2 pav. Daugialypė regeneracinės žemdirbystės nauda (pagal Vivid Economics, 2021 m.)

Regeneracinės žemdirbystės plėtra prisidėtų sprendžiant daugelį šiuo metu aktualių problemų:

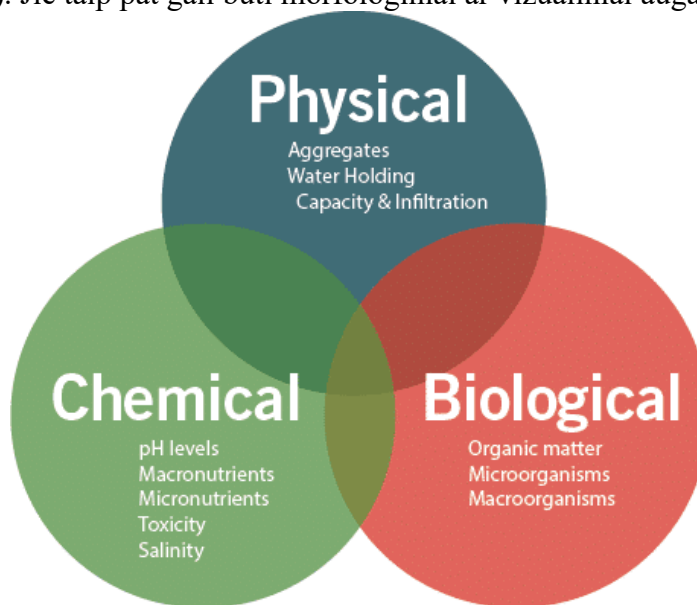
1. Klimato kaitos problemos sprendimas: investicijos į regeneracinę žemdirbystę gali padėti spręsti ne tik maisto tiekimo, bet ir klimato kaitos, taikos ir konfliktų sprendimo bei vandens tiekimo problemas. Regeneracinės žemdirbystės praktika gali padėti atverti galimybes spręsti klimato kaitos problemas.
2. Aukštesnės kainos: regeneracinė žemdirbystė gali lemti aukštesnes kainas, mažesnes sąnaudas ir mažesnę rinkos nepastovumą.
3. Ilgalaikis pelningumas: bostono konsultacinė grupė išleido ataskaitą "ūkininkų klestėjimo skatinimas: investavimas į regeneracinę žemdirbystę", kurioje teigiama, kad ūkininkai, taikydami regeneracinės žemdirbystės praktiką, gali iki 25 % padidinti pelną ir derlių. Ataskaitoje pateikiami argumentai, kad šia kryptimi pertvarkant ūkininkavimo praktiką pelningumas ilgesniu laikotarpiu didėja.
4. Dirvožemio sveikata ir produktyvumas: regeneracinės žemdirbystės praktika padeda atkurti nualintą žemės ūkio paskirties žemę, gerindama dirvožemio sveikatą. Dėl to gali padidėti esamos ariamos žemės derlingumas, o tai padeda išvengti miškų kirtimo ir žemės degradacijos.
5. Biologinė įvairovė ir ekosistemų paslaugos: regeneracinės žemdirbystės praktika gali padidinti biologinę įvairovę ir pagerinti ekosistemų paslaugas. Pagerinus dirvožemio būklę, regeneracinės žemdirbystės praktika gali sumažinti sintetinių trąšų ir pesticidų poreikį, todėl ūkininkai gali sutaupyti pinigų. Regeneracinės žemdirbystės praktika taip pat gali pagerinti vandens sulaikymą, sumažinti dirvožemio eroziją ir padidinti biologinę įvairovę, todėl ūkiai gali tapti atsparesni ir našesni.

Išvada: Lietuva, kaip ir kitos Europos Sąjungos valstybės patiria su dirvožemio derlingumu susijusių problemų. Yra nustatyta, kad ir dėl intensyvaus žemės ūkio dirvožemiai eroduoja. Šių dirvožemių produktyvumo atstatymas tampa neišvengiama būtinybe, nes dirvožemio produktyvumo mažėjimas neigiamai paveiks tiek nacionalinį, tiek ir pasaulinį žemės ūkio produktų bei paslaugų rinką. Siekiant stabilizuoti dirvožemių produktyvumą, sudaromi dirvožemio sveikatos atstatymo ir išsaugojimo reglamentai, kuriuose įvardinamos būtinos dirvožemio sveikatos preambulės. Vienoje iš Europos komisijos misijų „sveikas dirvožemis ir maistas“ buvo apibrėžti dirvožemio sveikatos rodikliai. Lietuvai išlieka svarbiausia vykdyti dirvožemio granulimetrinių dalelių pokyčių viršutiniuose dirvožemio horizontuose stebėseną (atitinka vi misijos tikslą: pagerinkite dirvožemio struktūrą, kad gerėtų dirvožemio aplinka biotai ir auginamiems augalams). Dėl ūkių intensyvinimo netenkama organinių medžiagų, mažėja ir organinių medžiagų sankaupos dirvožemiuose, kurias būtina didinti ir išsaugoti (atitinka ii misijos tikslą: tausoti (pvz., miškuose, daugiametėse ganyklose, pelkėse) ir didinti organinės anglies atsargas dirvožemyje). Būtina atstatyti dirvožemio gyvų organizmų įvairovę (atitinka i misijos tikslą: mažinti dirvožemio degradaciją ir v misijos tikslą: užkirsti kelią erozijai). Lietuvai svarbus ir socialinis sveiko dirvožemio aspektas (atitinka viii misijos tikslą: didinti visuomenės sveiko dirvožemio pažinimą visose valstybėse narėse). Todėl, siekiant įgyvendinti sveiko dirvožemio puoselėjimo tikslus, bus išlaikytas aplinkos tvarumas ir prisidėta prie atsparesnės žemės ūkio sistemos kūrimo.

2. RODIKLIŲ, KURIAIS REMIANTIS BŪTŲ VERTINAMA DIRVOŽEMIO SVEIKATA, NUSTATYMAS

Dirvožemio sveikata – tai įvertinimas, kaip gerai dirvožemis atlieka visas savo funkcijas dabar ir kaip šios funkcijos išsaugomos ateityje.

Dirvožemio būklės negalima nustatyti vertinant tik pasėlių derlių, vandens kokybę ar bet kurią kitą rezultatą. Dirvožemio sveikatos negalima išmatuoti tiesiogiai, todėl vertinami rodikliai. Rodikliai - tai išmatuojamos dirvožemio ar augalų savybės, iš kurių galima spręsti, kaip gerai dirvožemis gali funkcionuoti. Rodikliai gali būti fizinės, cheminės ir biologinės dirvožemio savybės, procesai ar charakteristikos (2.1 pav.). Jie taip pat gali būti morfologiniai ar vizualiniai augalų požymiai.



2.1 pav. Dirvožemio sveikatos rodikliai: cheminiai, fizikiniai ir biologiniai dirvožemio komponentai (Phycoterra®, 2019 m.).

Naudingi rodikliai:

- Yra lengvai išmatuojami,
- Matuoja dirvožemio funkcijų pokyčius,
- Apima chemines, biologines ir fizines savybes,
- Yra prieinami daugeliui naudotojų ir pritaikomi lauko sąlygomis, ir
- Yra jautrūs klimato ir valdymo pokyčiams.

Rodikliai gali būti vertinami taikant kokybinius arba kiekybinius metodus. Atlikus matavimus, juos galima įvertinti ieškant dėsningumų ir lyginant rezultatus su kitu laiku ar kitame lauke atliktais matavimais

(https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/particulate_organic_matter.pdf).

2.1 DIRVOŽEMIO SVEIKATOS RODIKLIAI

Žemės ūkio specialisto pragyvenimo šaltinis priklauso nuo oro sąlygų, vandens ir dirvožemio sveikatos. Nors negalima kontroliuoti lietaus ar temperatūrų svyravimų, galima daryti įtaką dirvožemio sveikatai, žinant, į kokius dirvožemio sveikatos rodiklius atkreipti dėmesį.

Dirvožemio naudojimo praktikas galima suskirstyti į tris persidengiančias „sferas“. Pirmosios dvi apima fizinį valdymą (pvz., žemės dirbimą ir gilų purenimą, siekiant sumažinti suslėgimą) ir cheminį valdymą (pvz., dirvožemio gerintojus ir trąšų naudojimą). Paskutinė, daugeliui nauja sritis - biologinis valdymas. Žemdirbiai pasiekė teigiamų rezultatų, diegdami strategijas, kuriomis siekiama panaudoti bakterijas ir grybus kaip pagrindinius partnerius laukuose. Šis požiūris susijęs su dirvožemio sveikatos valdymu. Dirvožemio sveikata - tai organizmų ir jų aplinkos sąveika dirvožemio ekosistemoje. Dirvožemio biologinio komponento gerinimas turi esminių privalumų, o dirvožemio sveikata, kaip įrodyta, turi įtakos dirvožemio gebėjimui palaikyti augalų sveikatą ir didinti derlių bei gerinti pasėlių kokybę.

Vis dėlto beveik visų ūkių dirvožemis yra paveiktas dirvožemio suslėgimo, erozijos ir maisto medžiagų praradimų. Visi augintojai turėtų investuoti į savo dirvožemį ir palaikyti jo fizinę, cheminę ir biologinę sveikatą.

Sveikas dirvožemis turi įtakos pasėliams, nes palaiko augalų ir gyvūnų gyvybę. Nuo dirvožemio priklauso ištisas maisto tinklas - nuo naudingų mikrobus, kurių plika akimi nematome, iki žmonių visame pasaulyje, kurie valgo užaugintą derlių.

Kuo sveikesnis dirvožemis, tuo geriau reguliuojamas vandens kiekis ir maisto medžiagų apykaita. Sveikas dirvožemis taip pat užtikrina fizinį stabilumą ir atramą augalams, kad jie galėtų išauginti stipresnes šaknis. Be to, sveikas dirvožemis filtruoja ir apsaugo nuo galimų teršalų. Jau nekalbant apie tai, kad jis turi didelę įtaką derliaus potencialui!

Dirvožemio sveikata susideda iš trijų dalių: cheminės, fizikinės ir biologinės. Kartais tik vienas komponentas yra paveiktas ir jam reikia dėmesio. Kitais atvejais dirvožemiui daroma žala (pvz., netinkamas žemės dirbimas) gali paveikti visus tris komponentus vienu metu.

Cheminiai dirvožemio sveikatos rodikliai

Dirvožemio pH: pH yra svarbus dirvožemio cheminis rodiklis, nes jis reguliuoja maistinių medžiagų prieinamumą augalams ir dirvožemio mikroorganizmų aktyvumą. Optimalus daugumos augalų pH svyruoja nuo 6 iki 7. Dirvožemis su žemu (rūgštiniu) arba aukštu (šarminiu) pH dažnai sukelia maisto medžiagų trūkumus arba toksiškumą. Pavyzdžiui, per rūgštus dirvožemis gali sukelti aliuminio ir mangano toksiškumą, o per šarminis – riboti geležies, mangano ir fosforo prieinamumą.

Maistinių medžiagų kiekis: dirvožemyje esančios pagrindinės maistinės medžiagos yra azotas (n), fosforas (p) ir kalis (k), vadinamos npk, taip pat antrinės ir mikroelementinės maistinės medžiagos, tokios kaip kalcis (ca), magnis (mg), sieros (s), cinkas (zn), varis (cu), manganas (mn), geležis (fe) ir boras (b). Kiekvienas iš šių elementų atlieka specifinį vaidmenį augalų augime, todėl jų trūkumas ar perteklius gali paveikti augalų sveikatą ir produktyvumą.

Druskų koncentracija arba elektrinis laidumas (ec): tai indikatorius, kuris rodo tirpių druskų kiekį dirvožemyje. Per didelis druskų kiekis gali sukelti augalų stresą, sutrikdyti maisto medžiagų įsisavinimą ir sukelti osmosinį poveikį, kuris riboja augalų gebėjimą absorbuoti vandenį. Tai ypač svarbu regionuose, kuriuose dažnai naudojamas drėkinimas, nes per didelis druskingumas gali pažeisti dirvožemio struktūrą ir pabloginti augalų augimo sąlygas.

Organinės medžiagos kiekis: nors jis taip pat yra biologinis rodiklis, dirvožemio organinės medžiagos turi didelę įtaką ir cheminiams procesams, nes yra svarbus maistinių medžiagų šaltinis. Organinės medžiagos skaidymasis dirvožemyje palaiko maistinių medžiagų ciklą, praturtina dirvožemį mikroelementais ir padidina kmt.

Fiziniai dirvožemio sveikatos rodikliai

Dirvožemio struktūra: dirvožemio struktūra – tai dalelių (smėlio, dumblo ir molio) sujungimo būdas į agregatus. Gerai struktūrizuotas dirvožemis turi poras, leidžiančias orui ir vandeniui laisvai judėti, taip užtikrinant optimalią augalų šaknų ir mikrobu aplinką. Dirvožemis su grumstuota struktūra geriau išlaiko vandenį ir maistines medžiagas, mažiau veikiamas erozijos. Kai dirvožemio struktūra blogėja (pvz., dėl suspaudimo), pralaidumas vandeniui sumažėja, didėja rizika susidaryti vandens užtvankoms.

Dirvožemio tankis: suspaudimas atsiranda dėl dirvožemio dalelių susiglaudimo, dažniausiai dėl mechaninio poveikio, pvz., žemės ūkio technikos. Didelis dirvožemio suspaudimas sumažina poringumą, apriboja vandens infiltraciją ir šaknų augimą bei aeraciją. Dirvožemio tankis yra suspaudimo rodiklis; per tankus dirvožemis riboja šaknų prisiskverbimą, sumažina mikroorganizmų aktyvumą ir augalų produktyvumą. Dirvožemio sveikatai svarbu išlaikyti mažą tankį, kad būtų skatinama gera šaknų ir vandens cirkuliacija.

Vandens infiltracija ir pralaidumas: vandens infiltracijos greitis parodo, kaip greitai vanduo prasiskverbia per dirvožemio paviršių, o pralaidumas rodo vandens judėjimo greitį per dirvožemį. Šie rodikliai yra svarbūs, nes jie lemia, kaip dirvožemis sugeria kritulius ir išlaiko drėgmę. Prastas vandens pralaidumas gali sukelti paviršinių nutekėjimų, eroziją ir vandens trūkumą augalams. Sveikam dirvožemiui būdingas geras infiltracijos ir pralaidumo balansas, leidžiantis vandeniui patekti į šaknų zoną, bet kartu nesukeliantis užtvindymo.

Erozijos atsparumas: dirvožemio gebėjimas atsispirti erozijai yra svarbus fizinis rodiklis, nes erozija pašalina viršutinį derlingą dirvožemio sluoksnį, kuriame yra daugiausia maistinių medžiagų ir organinės medžiagos. Erozija taip pat sukelia dirvožemio struktūros praradimą. Sveikas dirvožemis su stipria agregatų struktūra, tinkama augmenija ir organinėmis medžiagomis geriau atsilaiko prieš erozijos poveikį.

Biologinė dirvožemio sveikata

Mikroorganizmų įvairovė ir gausumas: bakterijos ir grybai yra svarbiausi dirvožemio mikroorganizmai, kurie skaido organinę medžiagą, gamina humusą ir perdirba maistines medžiagas. Dirvožemio biologinės sveikatos rodiklis yra šių mikroorganizmų įvairovė ir gausumas. Kuo didesnė mikroorganizmų įvairovė, tuo stabilesnė dirvožemio ekosistema ir atsparesnė ligoms bei aplinkos pokyčiams. Naudingos bakterijos ir grybai dalyvauja azoto fiksavime (pavyzdžiui, rhizobium bakterijos) ir fosforo tirpinime, todėl padidina maistinių medžiagų prieinamumą augalams.

Dirvožemio kvėpavimas: dirvožemio kvėpavimas, dar vadinamas anglies dioksido (CO₂) emisija, yra gyvų organizmų metabolinės veiklos rodiklis. Didesnė CO₂ emisija rodo aktyvią mikrobu veiklą ir organinių medžiagų skaidymą. Kvėpavimo greitis taip pat gali nurodyti organinės medžiagos kiekį dirvožemyje, nes aktyvi biologinė veikla dažnai siejama su maisto medžiagų apykaita ir organinių junginių perdirbimu. Tačiau per didelis kvėpavimas gali reikšti greitą organinės medžiagos praradimą, o tai gali neigiamai paveikti dirvožemio struktūrą ir sveikatą.

Organinės medžiagos kiekis: dirvožemio organinė medžiaga yra svarbiausias biologiškai aktyvus komponentas, nes jis yra maistinių medžiagų šaltinis ir substratas mikroorganizmams. Didelis organinės medžiagos kiekis padeda išlaikyti mikroorganizmų bendrijų stabilumą ir didina dirvožemio gebėjimą laikyti vandenį bei maistines medžiagas. Organinė medžiaga skaidoma bakterijų ir grybų veiklos metu, dėl ko formuojasi humusas – stabilus organinis junginys, gerinantis dirvožemio struktūrą ir cheminį balansą.

Sliekų ir kitų makroorganizmų aktyvumas: sliekai ir kiti dirvožemio makroorganizmai (pvz., vabzdžiai ir vabalai) skatina dirvožemio struktūros formavimąsi, nes jie maišo organinę medžiagą ir sukuria dirvožemio poras. Sliekai ypač naudingi, nes jie padeda aeruoti dirvožemį, gerina vandens infiltraciją ir perdirba organines medžiagas, išskirdami vertingas maistines medžiagas augalams. Sliekų skaičius ir aktyvumas yra stiprus biologinės dirvožemio sveikatos rodiklis, rodantis tinkamą drėgmės, organinės medžiagos ir mikrobiologinės veiklos balansą.

Rodiklių ryšys su dirvožemio sveikata

Dirvožemio sveikata priklauso nuo fizinių, cheminių ir biologinių savybių sąveikos, kurios sudaro aplinką, palaikančią augalų augimą ir mikrobiologinį aktyvumą. Kiekvienas šių rodiklių tiesiogiai ar netiesiogiai veikia dirvožemio gebėjimą aprūpinti augalus vandeniu, maistinėmis medžiagomis ir optimaliomis sąlygomis augimui.

Fizinio ir cheminio rodiklių ryšys: fizinės savybės, tokios kaip dirvožemio struktūra ir poringumas, veikia cheminių elementų, ypač maistinių medžiagų, judėjimą ir prieinamumą. Pavyzdžiui, dirvožemio suspaudimas ar netinkama tekstūra gali riboti šaknų prieigą prie maistinių medžiagų ir vandens, o tai mažina cheminių elementų įsisavinimą. Dirvožemio pH taip pat turi įtakos maistinių medžiagų tirpumui ir jų prieinamumui, o tai veikia fizinę dirvožemio struktūrą per augalų šaknų aktyvumą ir mikrobu sąveiką.

Biologinių ir cheminių rodiklių sąveika: biologiniai komponentai, tokie kaip bakterijos, grybai ir kiti mikroorganizmai, dalyvauja organinių medžiagų skaidyme ir maistinių medžiagų ciklą palaikyme, pavyzdžiui, azoto ir fosforo apytakoje. Šis maistinių medžiagų perdirbimas padidina jų prieinamumą augalams ir palaiko dirvožemio cheminę pusiausvyrą. Be to, naudingi mikroorganizmai, tokie kaip mikoriziniai grybai, padeda augalams pasiekti sunkiai prieinamas maistines medžiagas, taip prisidedami prie sveiko ir subalansuoto cheminių elementų pasiskirstymo.

Biologinių ir fizinių rodiklių tarpusavio poveikis: dirvožemio biologinė įvairovė ir mikroorganizmų aktyvumas padeda kurti ir palaikyti optimalią dirvožemio struktūrą. Sliekai, vabzdžiai ir mikroorganizmai dirvožemį purena ir sukuria naujas poras, kas pagerina aeraciją ir vandens įsiskverbimą. Ši mikrobiologinė veikla taip pat mažina suspaudimo poveikį ir skatina struktūrinių agregatų formavimąsi, kurie yra svarbūs stabiliai dirvožemio struktūrai palaikyti.

Visų trijų rodiklių sinergija sveikame dirvožemyje: cheminių, fizinių ir biologinių rodiklių subalansavimas yra būtinas, norint išlaikyti sveiką dirvožemio ekosistemą. Dirvožemis, kuris turi tinkamą pH, pakankamą organinės medžiagos kiekį ir gerai suformuotą struktūrą, sudaro optimalią terpę mikroorganizmams, kurie savo ruožtu prisideda prie organinių medžiagų skaidymo ir maistinių medžiagų prieinamumo augalams. Ši sinergija taip pat padeda apsaugoti dirvožemį nuo erozijos, reguliuoja vandens laikymą ir užtikrina, kad dirvožemis išliktų produktyvus bei stabilus ilgalaikėje perspektyvoje.

(<https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health/soil-health-assessment>).

(https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/particulate_organic_matter.pdf).

2.2 DIRVOŽEMIO SVEIKATOS VERTINIMO METODAI

Rinot ir kt. (2019) apžvalginiam straipsnyje aptariami dirvožemio sveikatos vertinimo metodai ir siūlomas patobulintas, ekosisteminis dirvožemio vertinimo požiūris. Dirvožemio sveikata (ds) tradiciškai vertinama pagal indeksus, atspindinčius dirvožemio gebėjimą palaikyti augalų augimą. Esami metodai susitelkia į konkrečių dirvožemio rodiklių pasirinkimą, jų kiekybinį vertinimą taikant balų sistemas ir integruojant rodiklius į ds indeksą. Tačiau šie metodai dažnai neatsižvelgia į pagrindines ekosistemos paslaugas (pvz., vandens reguliavimą, anglies sekvestraciją) arba pernelyg susitelkia į agronominį produktyvumą. Šie indeksai dažnai yra skirti specifinei vietai ir trūksta jų standartizacijos, todėl juos sunku pritaikyti įvairiuose regionuose ir dirvožemio tipuose. Rinot ir kt. (2019) siūlo naują sistemą, pagrįstą visapusišku dirvožemio ekosistemos paslaugų vertinimu. Šis metodas apima:

- išsamų dirvožemio mėginių ėmimą įvairiuose regionuose ir naudojimo tipuose;
- plačią dirvožemio savybių, turinčių įtakos ep, matavimų sistemą;
- statistinių modelių taikymą, siekiant nustatyti svarbiausias savybes;
- vertinimo balų funkcijų, kurios normalizuoja dirvožemio ep reikšmes (pvz., aprūpinimo ar reguliavimo pajėgumus), sukūrimą, siekiant palengvinti plačią palyginamąją analizę.

Pasiūlytu nauju dirvožemio sveikatos vertinimo požiūriu, orientuotu į dirvožemio vaidmenį ekosistemos paslaugose, siekiama remti tvarius žemės naudojimo sprendimus, kurie subalansuotų produktyvumą ir aplinkos išsaugojimą. Šis metodas laikomas būtinu, sprendžiant tokius iššūkius kaip pasaulinis maisto saugumas ir žemės degradacija, bei suteikti tikslesnes ir tvaresnes dirvožemio naudojimo praktikas.

Chang ir kt. (2022) apžvelgia pagrindinius dirvožemio sveikatos vertinimo metodus, kiekvienas iš jų turi savitą požiūrį į dirvožemio būklės vertinimą:

1. **Dirvožemio valdymo vertinimo sistema** (Soil Management Assessment Framework, Smaf) (Andrews ir kt., 2004). Šis įrankis naudoja standartines vertinimo funkcijas (ssf) fiziniams, cheminiams ir biologiniams rodikliams normalizuoti į reikšmes nuo 0 iki 1. Jis plačiai taikomas dėl savo lankstumo ir gali integruoti įvairius rodiklius, atsižvelgiant į vietinius dirvožemio naudojimo tikslus ir dirvožemio funkcijas.

2. **Kornelio išsamus dirvožemio sveikatos vertinimas** (Cornell Comprehensive Assessment Of Soil Health, Cash) (Idowu ir kt., 2008). Sukurtas laboratoriniam naudojimui, cash vertina platų fizinių, cheminių ir biologinių rodiklių spektrą naudodamas kumuliatyvinę normaliąją skirstinio funkciją. Jis apima konkrečias dirvožemio naudojimo rekomendacijas ir dažniausiai taikomas šiaurės rytų jav regione.

3. **Agroekosistemos veiklos vertinimo įrankis** (Agroecosystem Performance Assessment Tool, Aepat) (Liebig ir kt., 2004). Aepat yra programinė priemonė, skirta apskaičiuoti dirvožemio sveikatos vertes remiantis agronominiais ir aplinkos duomenimis. Ji skirta ilgalaikiams agroekosistemos tyrimams, leidžianti naudotojams įvesti individualias vertinimo funkcijas.

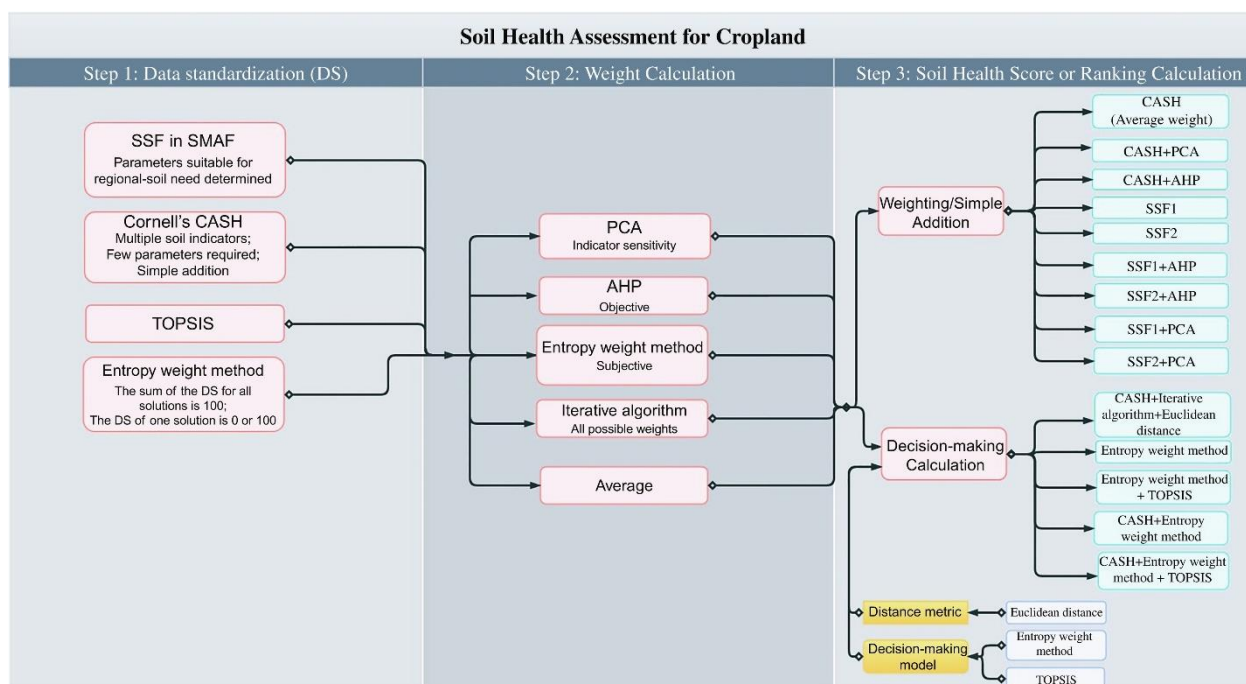
4. **Haney dirvožemio sveikatos testas** (Haney Soil Health Test, Haney's Sht) (Haney, 2014). Šis metodas naudoja dirvožemio kvėpavimą, vandenyje tirpius organinę anglį ir azotą bei kitus biologinius rodiklius, kurie greitai įvertina dirvožemio mikrobiologinį aktyvumą ir maistinių medžiagų prieinamumą, akcentuojant biologinę dirvožemio sveikatą.

Dirvožemio sveikatos vertinimo įrankiai sukurti siekiant kiekybiškai įvertinti žemės ūkio praktikų poveikį dirvožemio tvarumui ir padėti pasiekti, kad aplinka nebūtų teršiama, tuo pačiu neprarandant pasėlių produktyvumo. Kiekvienas metodas turi savų pranašumų, tačiau smaf ir cash yra plačiausiai naudojami skirtinguose dirvožemio ir pasėlių sistemose. Cash pagrindinis dėmesys skiriamas dinaminiais rodikliams, tokiems kaip dirvožemio baltymai ir kvėpavimas, kurie jautrūs naudojimo praktikų pokyčiams, o smaf taiko sisteminių požiūrį į rodiklių atranką, atsižvelgiant į kritines dirvožemio funkcijas. Abu įrankiai plačiai naudojami pasaulyje; smaf dažniausiai taikomas jungtinėse amerikos valstijose ir brazilijoje, o cash labiau orientuotas į šiaurės rytų jav regioną, kur jo naudojimas laboratorijose ypač populiarus. Kiekvienas metodas turi iššūkių, tokių kaip vertinimo funkcijų pritaikymas skirtinguose regionuose ir dirvožemio tipuose. Siūloma, kad įtraukus daugiau regioninių duomenų būtų galima pagerinti vertinimo tikslumą. Pabrėžiama, kad *įvairių įrankių derinys, pritaikytas pagal regionines sąlygas, gali būti veiksmingiausias siekiant išsamiai įvertinti dirvožemio sveikatą.*

Dirbamos žemės dirvožemio sveikatos vertinimo procesas (2.2 pav.) Kurį sudaro trys etapai: (1) duomenų normalizavimas; (2) svorio skaičiavimai; ir (3) dirvožemio sveikatos įvertinimas balais arba reitingavimas. Atliekant pirmą žingsnį buvo naudojami keturi normalizavimo metodai (ssf smaf, cash end, topsis ir entropijos svorių nustatymas) su dviem ssf submetodais (ssf1 ir ssf2), sukurtais naudojant skirtingus parametrus. Antrajame etape (svorių nustatymas) naudoti penki skaičiavimo metodai (pca, ahp, entropijos svorių metodas, iteracinis metodas ir vidutinio svorio). Vienuolika balų ar reitingų skaičiavimo metodų, įskaitant svertinį sumavimą ar paprastą pridėjimą, buvo naudojami 3 etape, siekiant gauti dirvožemio sveikatos balus (ar reitingus) sprendimų priėmimo modeliams. Derinant skirtingus normalizavimo ir svorių apskaičiavimo metodus, iš viso apskaičiuota 14 dirvožemio sveikatos balų.

Dirvožemio vertinimui naudojami **cheminiai rodikliai**: suminė organinė anglis (soc), suminis azotas (sn), ekstrahuojamasis k, ph, no₃⁻, ekstrahuojamasis p, varis (cu) ir cinkas (zn). Sveikam

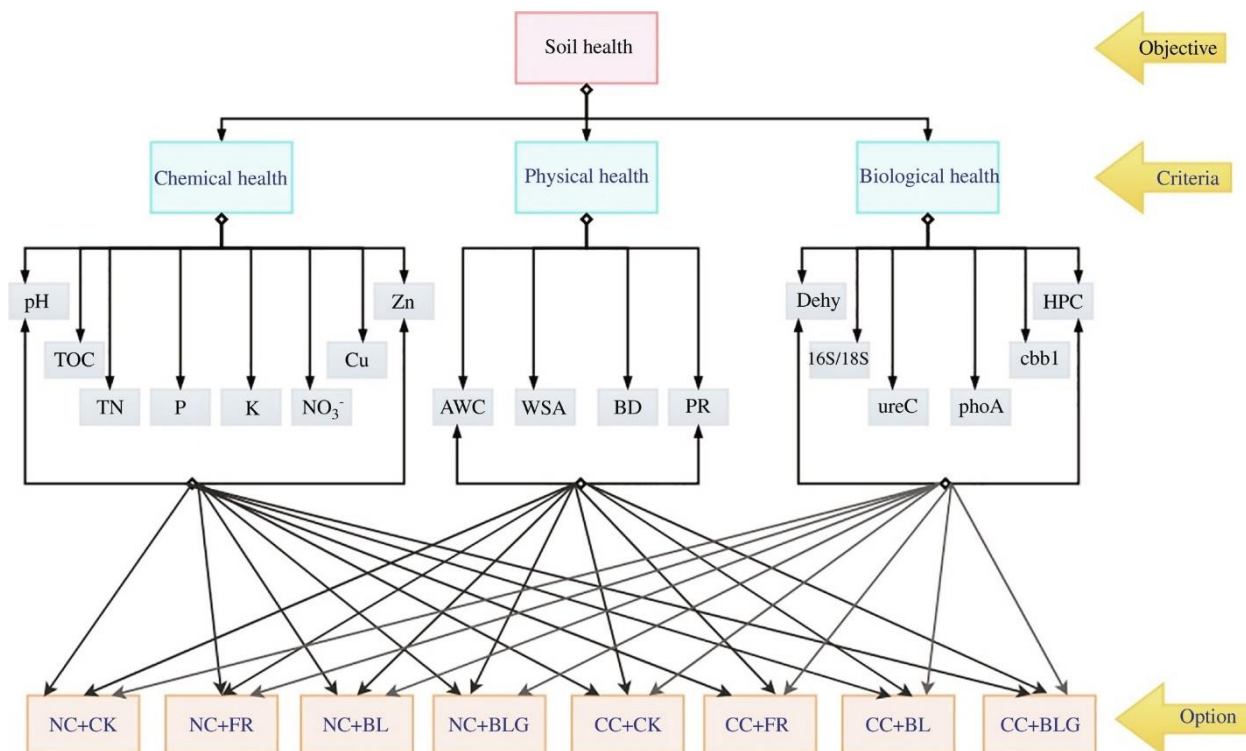
dirvožemiui soc, sn ir ekstrahuojamasis k paprastai atitinka „daugiau yra geriau“; dirvožemio ph, NO_3^- ir ekstrahuojamasis p turi optimalias ribas, kai didesnės arba mažesnės vertės blogina dirvožemio sveikatą; cu ir zn vertinami nuo 0 iki 100 naudojant kritines vertes. Dirvožemio **fizikiniai rodikliai** gali būti šie: vandeniui atsparūs agregatai (vaa), augalams prieinamo vandens kiekis (apvk), kietumas (kt) (penetration resistance (pr)) ir tūrinis tankis (tt). Vaa ir apvk normalizuojami taikant santykį „daugiau yra geriau“, o kt ir tt įvertinti taikant santykį „mažiau yra geriau“. **Dirvožemio biologinius rodiklius** sudarė: dirvožemio dehidrogenazės aktyvumas (dehy), dirvožemio bakterijų ir grybų 16s/18s santykis, urec (ureazės geno subvienetas), phoa (fosfomonoesterazės genas), cbbl (ribulozės-1,5-bisfosfato karboksilazės/oksigenazės i formos didelio subvieneto genai). Tikimasi, kad sveikame dirvožemyje visų biologinių rodiklių reikšmės bus aukštos, todėl jie vertinami pagal kreivę „daugiau reiškia geriau“.



2.2 pav. Dirvožemio sveikatos vertinimo procesas dirbamoje žemėje (Chang ir kt., 2022).

Topsis (pageidautinumo pagal panašumą į idealų sprendimą metodas / technique for order preference by similarity to an ideal solution) yra daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas, naudojamas norint išrinkti geriausią variantą iš galimų alternatyvų. Jis apskaičiuoja kiekvieno varianto geometrinį atstumą iki „idealaus“ sprendimo (geriausio galimo rezultato) ir „anti-idealaus“ sprendimo (blogiausio galimo rezultato). Arčiausiai idealaus sprendimo ir toliausiai nuo anti-idealaus esantis variantas laikomas geriausiu pasirinkimu. Šis metodas dažnai taikomas, dirvožemio sveikatos vertinime, siekiant palyginti dirvožemio naudojimo praktikas, kad būtų lengviau nustatyti palankiausią sprendimą.

Hierarchijos struktūra naudojant **analitinį hierarchijos procesą** (ahp) sudaryta taip, kaip parodyta 2.3 pav. „tikslas“ sluoksnis dirvožemio sveikata, „kriterijų“ sluoksnį sudaro dirvožemio fizikinės, cheminės ir biologinės savybės, o „pasirenkamąjį sluoksnį“ - aštuoni variantai su tarpniais pasėliais ir tręšimu.



2.3 pav. Ahp hierarchinė struktūra dirvožemio sveikatai vertinti (Chang ir kt., 2022).

Swat (soil and water assessment tool) yra modelis, skirtas kompleksinei vandens, nuosėdų, maistinių medžiagų ir pesticidų judėjimo prognozei per įvairius žemės ūkio kraštovaizdžius. Šis modelis padeda suprasti, kaip vandens kokybė ir maistinių medžiagų balansas gali keistis priklausomai nuo žemės naudojimo praktikos. Swat naudoja dirvožemio fizinius rodiklius, tokius kaip struktūra ir nuosėdų pernaša, kad nustatytų dirvožemio stabilumą ir jo atsparumą erozijai. Modelyje taip pat įtraukti cheminiai rodikliai, pavyzdžiui, azoto ir fosforo koncentracija dirvožemyje, kurie leidžia įvertinti, kaip maistinės medžiagos sąveikauja su vandens ekosistemomis ir kaip jos transportuojamos. Tai svarbu tiek augalų augimui, tiek aplinkos apsaugai. Be to, swat modelyje gali būti integruojami biologiniai rodikliai, tokie kaip augalų dangos būklė, kuri tiesiogiai veikia dirvožemio sveikatą, užtikrina natūralų nuosėdų sulaikymą bei drėgmės palaikymą. Swat modelis leidžia priimti sprendimus, kaip sumažinti eroziją ir kontroliuoti maistinių medžiagų praradimą, todėl jis naudingas kuriant veiksmingas strategijas, siekiant išsaugoti dirvožemio sveikatą ir vandens kokybę.

Epic (environmental policy integrated climate) modelis yra skirtas ilgalaikiam dirvožemio sveikatos ir klimato kaitos poveikiui žemės ūkiui vertinti. Epic modelis analizuoja, kaip ūkininkavimo praktikos veikia dirvožemio būklę ir klimato pokyčius, vertindamas dirvožemio gebėjimą kaupti anglį, vandens sulaikymo pajėgumą bei mikrobiologinį aktyvumą. Cheminiai rodikliai, tokie kaip dirvožemio organinės anglies kiekis, yra svarbūs ilgalaikiam dirvožemio derlingumui ir anglies sekvestracijai, todėl epic modelis leidžia numatyti, kaip tam tikros ūkininkavimo praktikos prisideda prie klimato kaitos mažinimo arba anglies ciklo stabilizavimo. Fiziniai rodikliai, tokie kaip dirvožemio vandens sulaikymo geba, padeda įvertinti ilgalaikį dirvožemio stabilumą, o suslėgimo rizika modelyje vertinama, siekiant sumažinti dirvožemio degradacijos pavojų. Biologiniai rodikliai epic modelyje apima mikroorganizmų aktyvumą, kuris yra svarbus maistinių medžiagų mineralizacijai ir augalų augimui. Modelis padeda prognozuoti, kaip ūkininkavimo praktikos, tokios kaip sėjomaina, augalų įvairovė ir organinių medžiagų naudojimas, veikia dirvožemio biologinį gyvybingumą ir ilgalaikį produktyvumą. Taip epic modelis prisideda prie ilgalaikių dirvožemio sveikatos vertinimo metodų, kurie užtikrina tvarius sprendimus ir padeda mažinti klimato kaitos poveikį žemės ūkiui.

Dpsir (veiksnyš-poveikis-būsena-poveikis-atsakas) modelis dažnai naudojamas aplinkosaugos ir socialiniams dirvožemio sveikatos aspektams vertinti. Dpsir modelis yra struktūrinis požiūris, kuris leidžia įvertinti žmogaus veiklos poveikį dirvožemio būklei ir aplinkai, nustatyti priežastinius ryšius ir galimus atsakomuosius veiksmus. Modelis susideda iš penkių etapų: „veiksnyš“ (veikla, pvz., intensyvus žemės dirbimas ar trąšų naudojimas), „poveikis“ (cheminių ir fizinių pokyčių atsiradimas, pvz., suslėgimas ar eutrofikacija), „būsena“ (esama dirvožemio sveikatos būklė, pvz., sumažėjęs derlingumas), „poveikis“ (neigiamas poveikis aplinkai ar ekonomikai) ir „atsakas“ (politikos ir valdymo priemonės, skirtos problemai spręsti). Cheminiai rodikliai dpsir modelyje leidžia vertinti maistinių medžiagų perteklių, kuris gali sukelti dirvožemio taršą ir eutrofikaciją, o fiziniai rodikliai padeda įvertinti dirvožemio struktūros pokyčius, tokius kaip erozija ar suslėgimas, kurie kyla dėl netvarios žemės naudojimo praktikos. Biologiniai rodikliai, kaip dirvožemio mikrobiologinės bendrijos ir sliekų aktyvumas, yra svarbūs siekiant vertinti ilgalaikę dirvožemio gyvybingumo būklę, nes jie rodo dirvožemio gebėjimą palaikyti augalų produktyvumą. Dpsir modelis yra naudingas ne tik ūkininkams, bet ir politikos formuotojams, nes jis padeda identifikuoti pagrindinius dirvožemio būklės pokyčius, nustatyti priežastinius ryšius tarp ūkininkavimo praktikos ir aplinkos pokyčių, bei numatyti ilgalaikes pasekmes. Modelis leidžia sukurti subalansuotas strategijas, orientuotas į ilgalaikę dirvožemio sveikatą ir tvarią žemdirbystę.

2.3 SOCIALINIAI RODIKLIAI IR MODELIAI

Socialiniai rodikliai ir modeliai, susiję su dirvožemio sveikatos valdymu, yra būtini, norint įvertinti poveikį ūkininkams, vietinėms bendruomenėms ir visuomenei plačiau. Jie padeda suprasti, kaip žemės ūkio praktikos ir dirvožemio sveikatos gerinimo priemonės gali paveikti socialinę sąrangą, darbo sąlygas ir gyvenimo kokybę.

Ūkininkų pajamos ir ekonominė gerovė:

Sveikesnis dirvožemis paprastai užtikrina didesnę derlingumą ir geresnę produkcijos kokybę, todėl gali padidinti ūkininkų pajamas. Be to, sveikas dirvožemis sumažina poreikį naudoti brangias trąšas ir pesticidus, kurie ilgainiui gali nualinti dirvožemį. Dirvožemio sveikatos rodikliai (pvz., organinių medžiagų kiekis, biologinė įvairovė, vandens infiltracija) gali būti naudojami siekiant įvertinti, kaip investicijos į tvarius ūkininkavimo metodus, tokius kaip regeneracinė žemdirbystė, gali padėti pagerinti vietinių ūkininkų ekonominę gerovę. Lietuvos ūkininkų duomenys rodo, kad taikant ekologines ūkininkavimo praktikas, tokius kaip tarpinių augalų naudojimas ir sėjomaina, galima sumažinti dirvožemio eroziją ir padidinti derlingumą iki 10%. Tai taip pat padeda mažinti trąšų poreikį iki 25%, kas ilgainiui pagerina ūkininkų finansinę padėtį, nes mažėja priklausomybė nuo cheminių priemonių. Maisto gamyba labai priklauso nuo sveiko dirvožemio, nes jis užtikrina tinkamą augalų maistinių medžiagų pasisavinimą. Žemės ūkio metodai, kurie sumažina sunkiosios technikos naudojimą ir dirvožemio tankinimą, padeda išsaugoti dirvožemio struktūrą ir pagerina organinių medžiagų balansą. Pavyzdžiui, maistingųjų medžiagų ciklai dirvožemyje leidžia išvengti papildomų išlaidų trąšoms ir užtikrina stabilesnę ir sveikesnę derlių. Apskaičiuota, kad jei es galėtų sumažinti žemės ūkio šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą maždaug 6 proc., ir atkurti dirvožemio sveikatą daugiau nei 14 proc. Visos žemės ūkio paskirties žemės, tuomet ūkininkų pajamas būtų galima padidinti nuo 1,9 iki 9,3 mlrd. Eurų kasmet. Lietuvoje, įgyvendinus regeneracinio ūkininkavimo metodus, numatoma, kad ūkininkų pajamos galėtų augti 10–20%, o ilgainiui būtų mažinama priklausomybė nuo išorinių žaliavų tiekimo.

Maisto saugumas:

Sveikesnis dirvožemis skatina tvarų maisto tiekimą, kuris padeda sumažinti maisto nesaugumą vietinėse bendruomenėse. Socialiniai rodikliai, vertinantys maisto prieinamumą ir įperkumą, gali parodyti, kaip dirvožemio sveikatos valdymo strategijos veikia maisto tiekimo grandinę.

Europos komisija siekia užtikrinti aukštą maisto saugos ir gyvūnų bei augalų sveikatos lygį es, taikydama nuoseklias „nuo ūkio iki stalo“ priemones ir tinkamą jų stebėseną, kartu užtikrinant veiksmingą vidaus rinką. Šios integruotos maisto saugos politikos įgyvendinimas es apima įvairius veiksmus:

- Užtikrinti veiksmingas kontrolės sistemas ir įvertinti, kaip laikomasi es standartų maisto saugos ir kokybės, gyvūnų sveikatos, gyvūnų gerovės, gyvūnų mitybos ir *augalų sveikatos* sektoriuose es ir ne es šalyse, atsižvelgiant į jų eksportą į es;
- Tvarkyti tarptautinius ryšius su es nepriklausančiomis šalimis ir tarptautinėmis organizacijomis maisto saugos, gyvūnų sveikatos, gyvūnų gerovės, gyvūnų mitybos ir *augalų sveikatos klausimais*;
- Tvarkyti ryšius su europos maisto saugos tarnyba (efsa) ir užtikrinti mokslu pagrįstą rizikos valdymą.

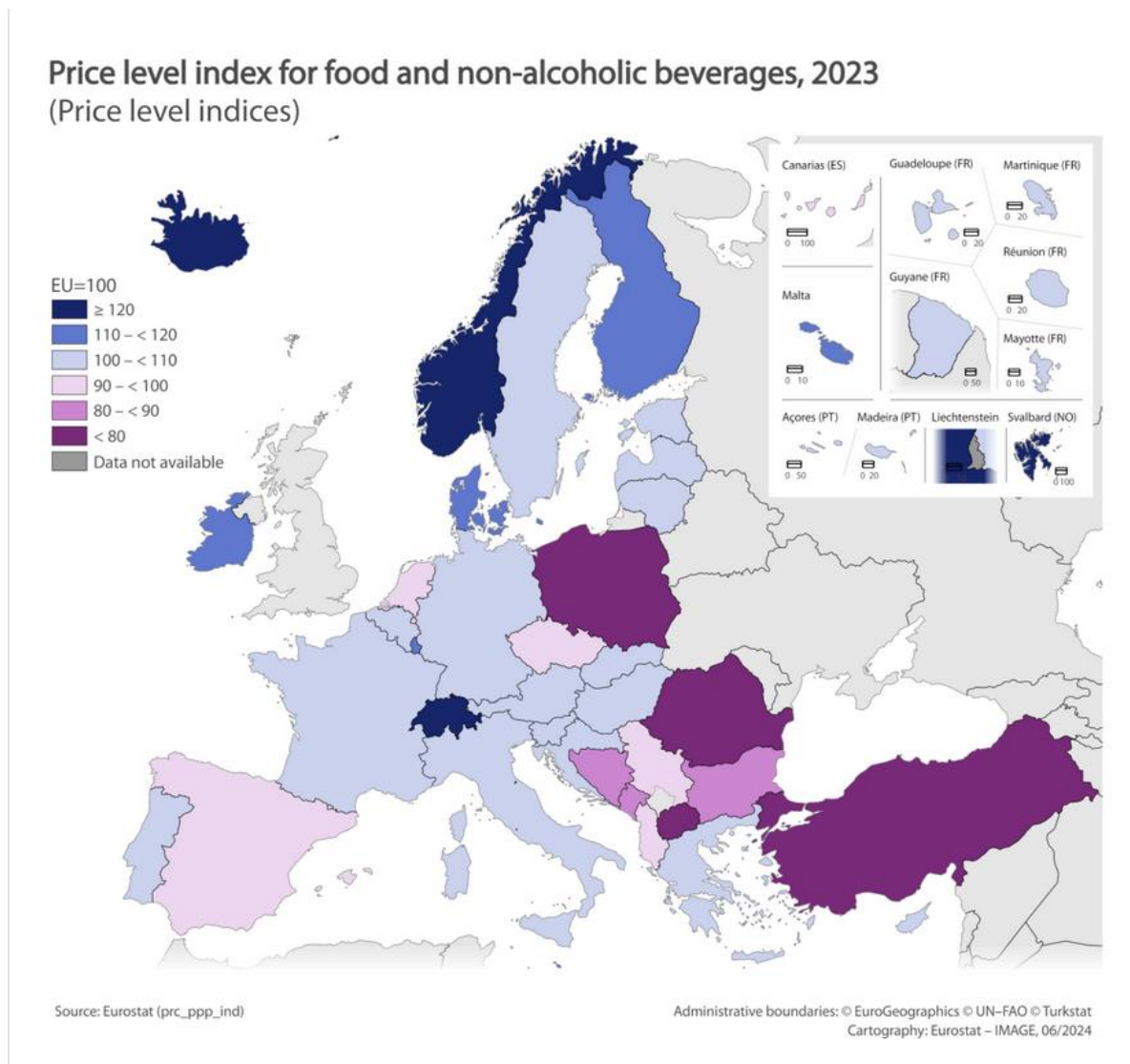
Kalbant apie dirvožemio sveikatos aspektus, susietus su maisto saugumu, aktualu įvertinti, kaip gerinant dirvožemį, keičiasi maisto prieinamumas ir jo kainos tam tikrose vietovės ar regionuose. Maisto prieinamumas priklauso nuo dirvožemio: maistingas ir geros kokybės maistas ir pašarai gyvuliams gali būti gaminami tik tada, kai dirvožemis yra sveikas, „gyvas“ dirvožemis¹. Per pastaruosius 50 metų dėl žemės ūkio technologijų pažangos ir dėl didėjančio gyventojų skaičiaus padidėjusios paklausos dirvožemis patiria vis didesnę spaudimą. Daugelyje šalių intensyvi augalininkystė nualino dirvožemį, sukeldama pavojų dirvožemio produktyvumui ir gebėjimui patenkinti ateities kartų maisto poreikius. Gresiantį su maistu susijusių kalorijų ir maistinių medžiagų trūkumą didina augantis dirvožemio išteklių neefektyvumas.

Nors maisto gamyba turės didėti visuose žemės ūkio regionuose, kad būtų patenkinta auganti paklausa, prognozuojamas apsirūpinimo maistu laipsnis labai skiriasi priklausomai nuo regiono, o afrikoje ir pietryčių azijoje prognozuojama mažiausias augimas. Trūkumai šiuose regionuose iš dalies atsiranda dėl įgimtų dirvožemio ir klimato sąlygų, taip pat dėl gyventojų skaičiaus augimo modelių, kurie viršija numatytą augalininkystės augimą taikant dabartinius metodus, kartu su socialinėmis, ekonominėmis ir politinėmis jėgomis, skatinančiomis nelygybę skirstant maistą ir žemės ūkio išteklius².

Iš paveikslo žemiau (2.2 pav.) Galima matyti, kad Lietuva priklauso vidutinių ir aukštesnių maisto ir gaiviųjų gėrimų kainų grupei, kaip ir didžioji dalis es šalių. Vartotojų kainų indekso vki europos sąjungoje nuo 1996 m. Iki 2024 m. Vidutiniškai siekė 92,49 punkto, o 2024 m. Rugspjūčio mėn. Pasiekė visų laikų aukščiausią lygį – 130,88 punkto, o 1996 m. Sausį buvo pasiekęs rekordiškai žemą lygį – 69,40 punkto. Taigi, situacija ir tendencijos rodo, kad kainų lygis tik augs, tame tarpe ir maisto.

¹ <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/277682/>

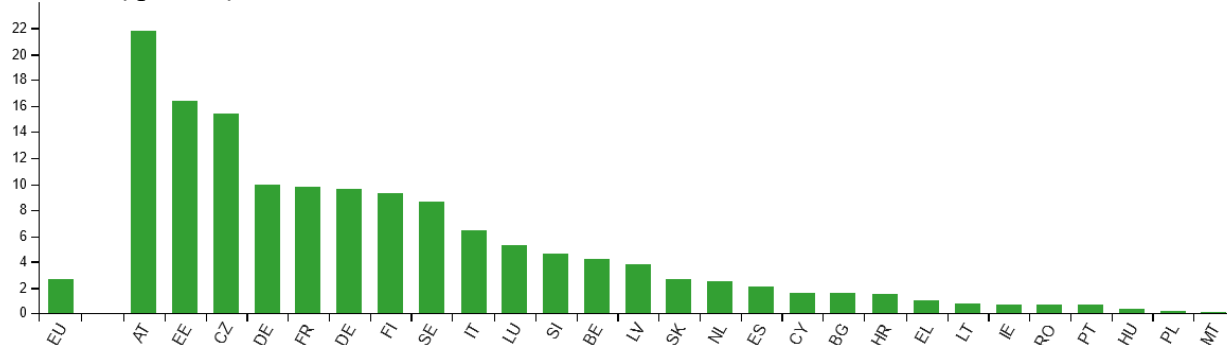
² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8349637/>



2.2 pav. Maisto ir gaiviųjų gėrimų kainų lygio indeksas, 2023³

Darbo sąlygos ir užimtumas:

Tvarios žemės ūkio praktikos, kurios remiasi ekologiškų priemonių taikymu, dažnai reikalauja daugiau darbo jėgos. Tai gali sukurti naujų darbo vietų, ypač mažose kaimo bendruomenėse. Rodikliai vertina darbo sąlygų pokyčius, užimtumo lygį, migraciją iš kaimo į miestus, ir bendrą ekonominį poveikį.



³ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Food_GISCO-2023.png

2.3 pav. Ekologinis ūkininkavimas (ūkių proc. Nuo bendro es skaičiaus), 2020 m. ⁴

Lietuvos atveju galima matyti, kad ekologinių ūkių skaičius yra nedidelis palyginus su kitomis es šalimis (2.3 pav.). Latvijoje ekologinių ūkių skaičius gerokai viršija lietuvis rodiklį. Tokių ūkių augimas galėtų užtikrinti darbo vietų augimą kaimo bendruomenėse. Taigi, potencialo, kur vystytis, tikrai yra.

Kaimo bendruomenių tvarumas:

Dirvožemio sveikatos valdymo programos ne tik prisideda prie žemės ūkio produktyvumo, bet ir turi reikšmingą socialinį poveikį kaimo bendruomenėms. Šios programos dažnai skatina bendruomenių stiprinimą per vietinių ūkininkų kooperaciją, dalijimąsi žiniomis ir bendradarbiavimą. Tai gali sukurti ilgalaikį socialinį kapitalą ir sustiprinti bendruomenių savarankiškumą. Pavyzdžiui, įgyvendinant regeneracinės žemdirbystės programas lietuvis kaimo bendruomenėse, ūkininkai dažnai bendradarbiauja ne tik dalindamiesi techninėmis žiniomis, bet ir kurdami bendrus ūkininkavimo planus, kurie mažina išlaidas ir didina derlingumą. Šie kooperacijos modeliai padeda kurti bendruomeninius ryšius, kurie lemia didesnę ekonominę naudą visai vietai. 2023 m. Es žemės ūkio sektorius sukūrė virš 7 milijonų darbo vietų, iš kurių didelė dalis buvo kaimo vietovėse. Lietuvoje, kaip ir kitose es šalyse, žemės ūkis yra vienas iš pagrindinių darbo vietų šaltinių kaimo bendruomenėms. Statistiniai duomenys rodo, kad žemės ūkio sektoriaus darbuotojų poreikis iki 2030 m. Gali išaugti daugiau nei 20%, o tai reikšmingai padidins užimtumą kaimo vietovėse. Be to, tvaraus žemės ūkio praktikos, tokios kaip ekologinis ūkininkavimas, dažnai reikalauja daugiau rankų darbo, kuris prisideda prie užimtumo augimo ir geresnių darbo sąlygų kaime. Šios praktikos taip pat mažina migraciją iš kaimo į miestus, nes ūkininkai gauna daugiau galimybių išlaikyti pelningus ūkius vietiniuose regionuose. Lietuvoje, bendruomenių iniciatyvos, tokios kaip kooperatyvai, ypač kaimo vietovėse, skatina ne tik ekonominę plėtrą, bet ir socialinę sanglaudą. Kooperatyvai padeda mažesniems ūkiams įveikti rinkos barjerus ir stiprinti savo derybines galias. Tokie projektai ne tik gerina bendrą ekonominę situaciją, bet ir skatina vietinę infrastruktūrą bei paslaugų plėtrą, kas ilgainiui didina bendruomenių tvarumą ir jų gerovę.

Sveikata ir gerovė:

Naudojant mažiau chemikalų ir kitų kenksmingų medžiagų ūkyje, mažėja ūkininkų ir bendruomenių rizika susirgti sveikatos problemomis. Sveikatos rodikliai gali būti naudojami siekiant įvertinti pesticidų ir trąšų poveikį žmonių sveikatai, taip pat visuomenės išlaidas sveikatos priežiūrai.

Dirvožemio biologinė įvairovė, ypač įvairios dirvožemyje esančios mikrobus bendruomenės, teikia daug naudos žmonių sveikatai, pavyzdžiui, slopina patogenus, gerina maistinių medžiagų pasisavinimą pasėliuose ir gerina bendrą maisto maistinę vertę. Dirvožemyje yra didelė ir įvairi mikroorganizmų bendruomenė, bendrai vadinama dirvožemio mikrobioma. Mikrobiomas yra susijęs su žmonių sveikata, nes daro įtaką pasėlių produktyvumui ir maistinių medžiagų tankiui ir yra svarbus junginių šaltinis gydant žmonių ligas. Dirvožemio mikrobiome taip pat gyvena daug žmogaus patogenų ir sąveikauja su dirvožemio teršalais, kurie gali kelti pavojų žmonių sveikatai.

Ksenobiotinės organinės cheminės medžiagos paprastai yra labai praskiestos, jos gali sudaryti cheminius mišinius viršutiniuose dirvožemio sluoksniuose. Turima labai mažai toksikologinės informacijos apie šių cheminių mišinių poveikį sveikatai (carpenter ir kt., 2002; fan ir kt., 2017). Dėl ilgo daugelio organinių cheminių medžiagų pusinės eliminacijos periodo jie vadinami „patvariais organiniais teršalais“ (pop).

Tuo tarpu dirvožemio užterštumas organinėmis cheminėmis medžiagomis neapsiriboja ūkininkavimo plotais. Miesto teritorijose dirvožemis taip pat užterštas organinėmis cheminėmis medžiagomis dėl vaistų, pramoninės veiklos, anglies deginimo, variklinių transporto priemonių išmetamųjų teršalų, atliekų deginimo, nuotekų ir kietųjų atliekų nusodinimo (leake ir kt., 2009). Tiek ūkininkavimo, tiek miesto teritorijose yra dirvožemio užterštumas, apimantis sudėtingą organinių

⁴ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Fully_organic_farms_in_the_EU

cheminių medžiagų, metalų ir mikroorganizmų mišinį iš komunalinių ir buitinių septinių sistemų atliekų, ūkinių gyvūnų atliekų ir kitų biologinių atliekų (pettry ir kt., 1973; saha ir kt., 2017). Naujausias susirūpinimas apima farmacinės atliekas, gautas iš antibiotikų, hormonų ir antiparazitinių vaistų, naudojamų žmonėms ir naminiams gyvūnams gydyti (albihn, 2001; aust ir kt., 2008; crofts ir kt., 2017).

Socialinė lygybė:

Dirvožemio sveikatos valdymo strategijos taip pat gali būti susijusios su socialinio teisingumo klausimais. Kai kurios priemonės gali suteikti daugiau galimybių smulkiesiems ūkininkams, moterims ir socialiai pažeidžiamiems sluoksniams. Socialiniai rodikliai čia apima prieinamumą žemės ūkiui skirtoms technologijoms, resursams ir finansavimui.

2022 m. ES-24 žemės ūkio sektoriaus finansavimo trūkumas buvo 62,3 mlrd. Eurų, o tai 33 proc. Viršijo 2017 m. Šis didelis padidėjimas gali būti siejamas su įvairiais veiksniais. 2022 m. Išoriniu bankų finansavimu rėmėsi 22,7 proc. Žemės ūkio įmonių, kur kas daugiau nei 2017 m. (16,6 proc.). 2022 metais ūkių, norinčių gauti trumpalaikes paskolas, dalis išaugo nuo 5,3% iki 9,4%⁵. Lygiai taip pat vidutinės trukmės paskolų paklausa išaugo nuo 6,2% iki 13,3%, o ilgalaikių - nuo 5,9% iki 7,9%, palyginti su iki 2017 m. Nors atmetimų rodiklis labai sumažėjo nuo 14 % 2017 m. Iki 4 % 2022 m., absoliutus ūkių atmetimo atvejų skaičius išliko didelis, nes per šį laikotarpį gerokai padaugėjo paraiškų paskolai gauti. Be to, ūkininkų nepriimtų paskolų dalis išaugo nuo 2% iki 5%, galbūt dėl didesnių palūkanų normų. Ūkių, atsisakiusių teikti paraiškas dėl baimės būti atmestiems, dalis padidėjo nuo 9,7 proc. 2017 m. Iki 13,7 proc. 2022 m. Taigi finansavimo sąlygos turėjo tiek teigiamų, tiek neigiamų pokyčių.

Žemės ūkio vertės grandinė apima gamintojus, agrochemijos tiekėjus, maisto perdirbėjus, mažmenininkus ir vartotojus. Dėl skaitmeninimo suinteresuotosios šalys gauna naudos iš didesnio skaidrumo ir supaprastintų procesų vertės grandinėje, geresnės komunikacijos, automatizuoto duomenų perdavimo ir technologijų, pvz., blokų grandinės, leidžiančios sekti produktus. Be to, skaitmeninės technologijos gali padidinti efektyvumą ir ekonomiškumą visuose vertės grandinės etapuose, sumažindamos sąnaudas (pvz., energiją) ir emisijas.

Nepaisant daugybės privalumų, skaitmeninimas taip pat gali sukurti skaitmeninę atskirtį, pvz., tarp ūkininkų, turinčių prieigą prie pažangiausių technologijų, ir tų, kurie neturi. Šiems skirtumams įtakos gali turėti atokumas, valdų apyvarta, ūkininkų įgūdžiai ir amžius.

Socialiniai modeliai:

1. DALY (DISABILITY-ADJUSTED LIFE YEARS) modelis naudojamas vertinti visuomenės sveikatos nuostolius dėl ligų ar sužeidimų, įskaitant tas, kurios susijusios su aplinkos veiksniais, tokiais kaip dirvožemio tarša pesticidais. Šis modelis gali padėti analizuoti, kaip sveikesnis dirvožemis ir mažesnis cheminių medžiagų naudojimas mažina neigiamą poveikį žmonių sveikatai. Dar 2012 m. Pagal šį modelį vertinant aplinkosauginių veiksnių įtaką žmonių sveikatai, buvo nustatyta, kad Lietuvoje šis skaičius yra 15 metų, tai reiškia, kad gerinant aplinką sveikesnis žmogus būtų net 15 metų⁶. Palyginimui estijoje šis rodiklis buvo 13 metų, Latvijoje – 15, Lenkijoje – 15. Daly procentas, priskirtinas aplinkai - tai yra ligų našta, kurios būtų galima išvengti keičiant aplinką. Keičiama aplinka apima⁷:

- Oro, dirvožemio ir vandens taršą cheminėmis medžiagomis ar biologiniais veiksniais,
- Ultravioletinę ir jonizuojančiąją spinduliuotę, statybinę aplinką;
- Triukšmą, elektromagnetinius laukus;
- Profesinę riziką;

⁵ https://www.ficompass.eu/sites/default/files/publications/FinancingGapAgricultureAgrifood_RTW_0.pdf

⁶ [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/disability-adjusted-life-years-\(daly\)-attributable-to-the-environment\(-\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/disability-adjusted-life-years-(daly)-attributable-to-the-environment(-))

⁷ <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/4657>

- Žemės ūkio metodus, drėkinimo schemas;
- Antropogeninius klimato pokyčius, ekosistemos degradaciją;
- Individualų elgesį, susijusį su aplinka; pvz., rankų plovimas, maisto užteršimas nesaugiu vandeniu arba nešvariomis rankomis.

Modelyje yra ne vienas kriterijus, sietinas su dirvožemio tarša, jo kokybe, kurį aktualu įvertinti.

2. SROI (SOCIAL RETURN ON INVESTMENT) tai socialinio poveikio modelis, vertinantis ekonominę ir socialinę grąžą iš tam tikrų veiklų. Dirvožemio sveikatos valdymo priemonės gali būti vertinamos sroi kontekste, siekiant nustatyti, kaip investicijos į tvarias praktikas gali duoti socialinės ir ekonominės naudos vietinėms bendruomenėms.

Įprasti sroi analizės etapai apima⁸:

- I. Nustatyti apimtį ir nustatyti pagrindines suinteresuotąsias šalis;
- II. Projekto rezultatų planavimas kartu su suinteresuotosiomis šalimis naudojant pokyčių teoriją;
- III. Finansinio priskyrimo projekto rezultatų vertė;
- IV. Nustatyti projekto rezultatų poveikį;
- V. Skaičiuoti indėlį į projektą;
- VI. Įvertinti bendrą socialinę investicijų grąžą.

Socialinės vertės principai nurodo etikos gaires, kurias organizacijos ir asmenys gali naudoti siekdami sukurti teigiamą socialinį poveikį⁹. Principai pagrįsti idėja, kad įmonės ir asmenys yra atsakingi už indėlį į visuomenę, o ne tik pelno siekimą ar asmeninių interesų siekimą. Socialinės vertės principai apima įvairias vertybes ir elgesį, įskaitant sąžiningumą, atskaitomybę, skaidrumą ir bendruomenės įsitraukimą.

3. TALY (TOTAL ACTIVE LIFE YEARS) modelis analizuoja bendrą gyvenimo kokybę, susijusią tame tarpe ir su dirvožemio sveikata. Šis modelis leidžia vertinti, kaip sveikesnis dirvožemis ir ekologiškesnės ūkininkavimo praktikos gali pagerinti bendrą visuomenės sveikatą, didinant gyvenimo trukmę ir mažinant neigiamą poveikį sveikatai.

Es 2019 metais vidutinė gyvenimo trukmė pasiekė visų laikų aukščiausią lygį – 81,3 metų, tačiau 2020 metais ji sumažėjo iki 80,4.¹⁰ tikėtina, tam turėjo įtakos covid-19. Lietuvoje 2020 m. Vidutinė gyvenimo trukmė buvo 75,3 metų. Per 21 metus pailgėjo 2,1 metų. Kaimynai estai padarė didesnę pažangą šį rodiklį padidindami net 6,1 metų. Dar vienas svarbus šiuo aspektu rodiklis yra sveiki gyvenimo metai. Lietuva nėra tarp lyderiaujančių šalių es. Lietuvoje šis rodiklis vyrams siekia 55,1 metų, moterims atitinkamai – 58,7 metų. Geriausią rodiklį yra pasiekusi švedija, kur sveiko gyvenimo trukmė vyrams siekia 72,8, o moterims – 72,7 metų. Taigi, tobulėti tikrai yra kur.

4. Multikriterijų analizės modeliai:

Šie modeliai naudojami vertinant sprendimus, susijusius su socialiniais ir ekonominiais aspektais. Jie leidžia vertinti kelis socialinius rodiklius vienu metu ir pasirinkti optimalią dirvožemio valdymo strategiją, kuri duotų naudos tiek aplinkai, tiek visuomenei.

Integracijos į praktikas pavyzdžiai

- bendruomenių įtraukimas: dirvožemio sveikatos projektai gali aktyviai įtraukti vietines bendruomenes į sprendimų priėmimo procesus. Įtraukiant vietos ūkininkus ir bendruomenės narius į sprendimų dėl tvarios žemdirbystės praktikų diegimo procesą, bendruomenės gali stiprinti savo socialinį kapitalą ir gerinti ryšius tarp ūkininkų, vartotojų ir vietos valdžios institucijų. Pavyzdžiui, regeneracinio ūkininkavimo projektai lietuvoje skatina ūkininkus bendradarbiauti, dalintis patirtimi ir įgyvendinti inovatyvias žemės ūkio priemones, kurios teikia naudą ne tik ūkiams, bet ir visai

⁸ https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eurasia/Appendix-SROI-methodology_ENG.pdf

⁹ <https://www.sopact.com/guides/social-return-on-investment-sroi>

¹⁰ <https://www.euronews.com/health/2023/07/22/life-expectancy-where-in-europe-do-people-live-the-shortest-and-the-longest>

bendruomenei. Toks bendradarbiavimas padeda kurti stipresnius socialinius ryšius ir stiprina vietos savivaldą, nes bendruomenės tampa aktyviais sprendimų dalyviais.

- vietinės ekonomikos stiprinimas: kai ūkininkai gauna tiesioginę ekonominę naudą iš tvarių žemės ūkio praktikų, tai turi teigiamą poveikį ne tik jų ūkiams, bet ir visai vietos ekonomikai. Lietuvos kaimo regionuose, kur ūkininkavimas yra pagrindinis pragyvenimo šaltinis, sėkmingai įgyvendintos tvaraus ūkininkavimo praktikos gali padidinti vietos gyventojų pajamas ir skatinti platesnę ekonominę veiklą. Pavyzdžiui, tvaraus žemės ūkio praktikos sumažina išlaidas trąšoms ir pesticidams, o taip pat leidžia ūkininkams gauti aukštesnės vertės produktus, kurie gali būti parduodami kaip ekologiški arba regeneracinės kilmės. Tai padeda išplėsti vietines rinkas ir didinti jų konkurencingumą.

- tvarių maisto sistemų kūrimas: tvarios žemės ūkio praktikos padeda sukurti stabilesnę maisto tiekimo grandinę, kuri mažiau priklauso nuo išorinių veiksnių, tokių kaip importuojamos trąšos ar cheminės medžiagos. Tai ne tik padeda sumažinti ūkininkų sąnaudas, bet ir prisideda prie tvarumo. Dirvožemio sveikatos valdymas lemia stabilesnę ir sveikesnę derlių, todėl maisto tiekimo grandinė tampa labiau atspari rinkos svyravimams, o tai padidina vietinių ūkininkų pajamų stabilumą.

- socialinė nelygybė: tvarios ūkininkavimo praktikos taip pat gali padėti mažinti socialinę nelygybę, ypač tarp smulkiųjų ūkininkų ir didesnių žemės ūkio įmonių. Smulkieji ūkininkai dažnai susiduria su sunkumais norėdami įsigyti modernią techniką ar chemines trąšas, tačiau ekologiškos ir tvarios praktikos, kurios reikalauja mažiau kapitalo investicijų, gali padėti jiems išsilaikyti konkurencingoje rinkoje. Tokios iniciatyvos kaip kooperatyvų kūrimas Lietuvoje gali padėti smulkiesiems ūkininkams dalintis resursais ir technologijomis, taip mažinant atskirtį tarp smulkių ir stambių ūkių.

Dirvožemio sveikata yra kritiškai svarbus aspektas, turintis tiesioginę įtaką agroekosistemų tvarumui, biologinei įvairovei ir maisto saugai. Siekiant apibrėžti ir įvertinti dirvožemio sveikatą, svarbu nustatyti ir taikyti atitinkamus rodiklius. Šioje ataskaitoje aptariame rodiklius, kurie buvo paminėti europos lygmens dokumente “dėl dirvožemio stebėsenos ir atsparumo”, taip pat rodiklius, kurie buvo stebimi ilgalaikiuose bandymuose ir planuojami naudoti būsimame modeliavime.

Rodiklių, kuriais remiantis būtų vertinama dirvožemio sveikata, nustatymas yra kompleksinė ir daugiasluoksnė užduotis, kuriai reikia tiek esamų duomenų analizės, tiek naujų tyrimų ir modeliavimo. Mūsų darbas atspindi šį poreikį ir siekia sukurti išsamų ir tikslingą rodiklių rinkinį dirvožemio sveikatos vertinimui. Šis darbas leis sukurti naują vertinimo modelį, kuris bus grindžiamas moksliniais duomenimis ir bus praktiškai taikomas, padėsiantis ūkininkams geriau suprasti ir vertinti dirvožemio sveikatingumo valdymo praktikų pranašumus ir rizikas.

Neigiamų žmogaus veiklos pasekmių dirvožemiui mažinimas yra didelė dalimi valstybinės svarbos. Tačiau, Lietuvoje dirvožemio apsaugą reglamentuojantys teisiniai dokumentai taikomi tik konkrečiam atvejui įvertinti ir apibūdinti (pvz. LR Saugomų Teritorijų, Statybos, Teritorijų Planavimo, Žemės Gelmių Ir Kt. Įstatymai). Tačiau, nei viename šių dokumentų dirvožemis nėra pagrindžiamas kaip pagrindinis kokybinės produkcijos veiksnys, o dirvožemio vaidmuo įstatymuose išlieka tik šalutinis (Staugaitis, 2015). Kita vertus, dirvožemio apsauga Lietuvoje tik nedidele dalimi susieta su žemės informacine sistema (Iš žemės įstatymas, 34 straipsnis) ir žemės išteklių naudojimo stebėjimu (LR žemės įstatymas, 35 straipsnis). Remiantis Iš žemės ūkio ministro įsakymu „dėl žemės ūkio naudmenų geros agrarinės ir aplinkosaugos būklės reikalavimų aprašo patvirtinimo“ (LR žemės ūkio ministro įsakymas, 38-1822, nauja redakcija 2010-04-04), tik fragmentiškai užsimenama, kad „žemės ūkio veiklos subjektai privalo laikytis sėjomainos reikalavimų. Rapsai tame pačiame lauke gali būti auginami ne ilgiau kaip 3 metus iš eilės. Žieminiai ir vasariniai rapsai laikomi skirtingomis augalų rūšimis“.

Žemės ūkio naudmenų geros agrarinės ir aplinkosaugos būklės reikalavimų (GAAB) aprašas buvo atnaujintas ir 2023 m. Patvirtintas (LR žemės ūkio ministro įsakymas nr. 3d-107, 2023 m. Vasario 24 d.), bei taikomas pareiškėjams, teikiantiems paramos paraiškas nuo 2023 m. GAAB standartai nustato minimalius reikalavimus, užtikrinančius, kad būtų išlaikoma visos žemės ūkio paskirties žemės, įskaitant žemę, kuri nebenaudojama gamybos tikslais, gera agrarinė ir aplinkos būklė. GAAB

reikalavimai privalomi visiems ūkininkams ir už jų nesilaikymą mažinamos tiesioginės išmokos. Kiekvienas ūkis individualus, tad kiekvienam jų taikomi skirtingi gaab reikalavimai. Apraše nustatyti devyni žemės ūkio naudmenų geros agrarinės ir aplinkosaugos būklės reikalavimai, numatantys veiksmus, skirtus klimato kaitos švelninimui ir prisitaikymui prie jos, vandens apsaugai, dirvožemio apsaugai ir būklės gerinimui, biologinės įvairovės ir kraštovaizdžio apsaugai bei kokybės gerinimui. Reikalavimai susiję su dirvožemio apsaugai ir būklės gerinimui yra:

5 GAAB standartas „žemės dirbimo valdymas siekiant sumažinti dirvožemio degradacijos riziką ir eroziją, be kita ko, atsižvelgiant į šlaito nuolydį“;

6 GAAB standartas „minimali dirvožemio danga siekiant išvengti, kad dirvožemis bus tuščias pažeidžiamiausias laikotarpiais“;

7 GAAB standartas „sėjomaina ariamojoje žemėje, išskyrus vandenyje auginamus pasėlius“.

Naujojo paramos laikotarpio ypatumas – ne tik griežtesni valdymo reikalavimai bei geros agrarinės ir aplinkosaugos žemės būklės (GAAB) standartai, bet ir galimybė pasididinti bazinės tiesioginės išmokos – už dalyvavimą Lietuvos žemės ūkio ir kaimo plėtros 2023–2027 m. Strateginiame plane numatytoje ir savo noru pasirinktoje klimatui, aplinkai ir gyvūnų gerovei naudingose sistemose (ekoschemose) ūkininkams bus atlyginta papildomai. 2023–2027 m. Finansiniu laikotarpiu ne tik nebelieka žalinimo išmokų, bet ir sukurta visiškai nauja bendrosios žemės ūkio politikos „žalioji architektūra“, kurios vienas iš elementų – ekoschemos. Siekiant aukštesnio aplinkos apsaugos lygio, įgyvendinant strateginį planą, ypatingas vaidmuo teks ekoschemoms. Ekoschemomis siekiama stabdyti dirvožemio degradaciją ir gerinti jo derlingumą, tausoti vandenį ir gerinti jo kokybę, mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir amoniako emisijas, tvariai ir mažiau naudoti pesticidų ir mineralinių trąšų, saugoti biologinę įvairovę, puoselėti kraštovaizdį, didinti gyvūnų gerovę, kovoti su atsparumu antimikrobinėms medžiagoms. Strateginiame plane ekoschemoms kasmet skirta 25 proc. Lietuvos tiesioginių išmokų metinio voko. Pasiūlytos 10 ekoschemų apima visus žemės ūkio naudmenų tipus (ariamoji žemė, daugiamečių pievos, daugiamečiai sodiniai), įskaitant ekoschemą dėl gyvūnų gerovės didinimo. Tai kompleksinė ekoschema „veiklos ariamojoje žemėje“, „sodų ir uogynų tvarkymas gamtai palankiu būdu“, „tausojanti vaisių, uogų ir daržovių programa“, „ariamųjų durpžemių keitimas pievomis“, „eroduotos žemės keitimas pievomis“, „kompleksinė pievų ir šlapynių priežiūros sistema“, „ekstensyvus šlapynių tvarkymas“, „perėjimas prie ekologinio ūkininkavimo“, „gyvūnų gerovė“, „ekologinis ūkininkavimas“ (vaisiai, uogos, daržovės, vaistažolės ir prieskoniniai augalai). Dirbantiems žemę, ypač užsiimantiems laukininkyste, skirta kompleksinė ekoschema „veiklos ariamojoje žemėje“. Ši ekoschema apima 4 gamybinės ir 3 negamybinės veiklas. Gamybinės veiklos – augalų kaita, tarpiniai pasėliai, sertifikuotos sėklos naudojimas, neariminės žemdirbystės technologijos. Negamybinės veiklos – kraštovaizdžio elementų priežiūra, trumpaamžių medingųjų augalų juostos, daugiamečių žolių juostos.

2023 m. Deklaravimo duomenimis patvirtintų paraiškų deklaruotas plotas sudaro 2,904 mln. Ha arba 100,2 proc. 2022 m. Deklaruoto ploto. Populiariausios ekologinės schemas: augalų kaita (218,1 proc. Suplanuoto ploto), tarpiniai pasėliai (176 proc.), neariminė žemdirbystė (258,3 proc.), ekstensyvus daugiamečių pievų tvarkymas ganant gyvulius (91,1 proc.), žolių juostos (61-88 proc.). Nepopuliarios ekologinės schemas: kraštovaizdžio elementų priežiūra (6,9 proc.), perėjimas prie ekologinio ūkininkavimo (29,6 proc.), kitos pievų priemonės (5-49 proc.). Iš viso deklaruotų daugiamečių pievų – 560 tūkst. ha, įsipareigojimas – 746 tūkst ha (2018 m. Referencija).

Apibendrinant, galima teigti, kad nors ir Lietuvoje nėra visaapimančios dirvožemio apsaugos politikos, remiantis moksliniais tyrimais ir turima informacine medžiaga siektina, kad **bet kuri ūkinė veikla kuo mažiau keistų naudojamų dirvožemių fizikines, chemines ir biologines savybes. Šios savybės labai priklauso nuo dirvožemio organinės medžiagos kiekio ir sudėties.** Nustatyta, kad didėjantis dirvožemio organinių medžiagų kiekis didina vandens infiltraciją bei vandentalpą, gerina aeraciją, dirvožemio tankį ir kitas fizikines savybes (vadeboncoeur et al., 2012). Pastaruoju metu,

daug agrotechninių priemonių testuojama tam, kad nustatyti, kuri jų labiausiai veikia organinės anglies kaupimąsi dirvožemyje.

Žemės ūkis yra viena svarbiausių Lietuvos ūkio sričių. Jis reikšmingas ekonominiu, socialiniu, etnokultūriniu bei gamtos saugos požiūriu (Aleksavičius ir kt., 2014). Per šimtmečius naudojant dirvožemį žemės ūkio paskirčiai, buvo iškirsti krūmai, sureguliuotas drėgmės režimas, išrinkti akmenys, dirvožemis organinių trąšų pagrindu praturtintas humusu (Lazauskas ir kt., 2005). Dabartinių laikų Lietuvos žemės ūkis siejamas su dirvožemio kokybės prastėjimu ne tik dėl natūralių gamtinių procesų (perteklinės drėgmės ir santykinai šalto klimato zonoje dirvožemiuose suintensyvėja karbonatų ir augalams reikalingų maisto medžiagų išplovimo procesai), bet ir dėl nesubalansuoto cheminių medžiagų naudojimo ir sėjomainų nesilaikymo (Mažvila ir kt., 2006; Eidukevičienė et al., 2007). Be to, siekiant pagaminti kuo daugiau prekinės produkcijos šių laikų žemės ūkis intensyvėja, jam būdinga specializacija, koncentracija ir gamybos mastų didėjimas, intensyvus mechanizavimas, cheminių ir biologinių priemonių taikymas (Bučienė, 2010). Dirvožemio sveikatai daug problemų kelia nesubalansuotas tręšimas mineralinėmis trąšomis, ypač gausus azotinių trąšų naudojimas, kas lemia likutinio azoto išsiplovimą po derliaus nuėmimo ir spartesnę organinės medžiagos mineralizaciją. Todėl **viena iš būtinų priemonių dirvožemio sveikatai įvertinti yra dirvožemio agrocheminiai tyrimai, jų rezultatų panaudojimas planuojant tręšimą mineralinėmis trąšomis.**

Manoma, kad intensyvesnę ūkių plėtrą galėjo veikti stabilesni ūkinių struktūrų kūrimas ir kai kurie žemės ūkio politikos sprendimai susiję su žemės reforma bei parama iš Europos Sąjungos bendrųjų lėšų (tiesioginės išmokos ūkininkams ir rinkos reguliavimo priemonės tikslinėmis žemės ūkio konkurencingumo, aplinkosaugos ir kaimo ekonomikos bei socialinio gyvenimo priemonė (Jurkėnaitė, 2011). Tikėtina, kad žemės ūkio naudmenų plotai dar turi tendenciją didėti įsavinus apleistas žemės ūkio naudmenas (Aleksavičius, Stravinskienė, 2011). Pastebima, kad tiek Lietuvoje, tiek ir kitose Europos šalyse didėjo žemės ūkio augalų derlingumas (Agro rinka, 2014). Žieminių ir vasarinių kviečių grūdų vidutinis derlingumas išaugo 40-45 proc., o rapsų beveik 50 proc. Chemizuota šalies augalininkystė ne tik palaiko aukštą augalų derlingumą, bet ir sudaro sąlygas jam didėti. Palyginus su 2006 m., 2015 m. Grūdinių javų pasėlių plotai padidėjo beveik 1,5 karto (1.2 pav.).

Dabartinė Lietuvos ir ES šalių patirtis rodo, kad augalininkystės produktų plėtros tendencijos bus skatinamos dėl perspektyvių eksporto galimybių, todėl tikėtina, kad grūdinių javų plotai žemės ūkio paskirties žemėse didės. Pasak kai kurių mokslininkų ir tyrėjų, siauros specializacijos sėjomainų plitimas ūkiuose gali turėti įtakos dirvožemio savybėms tokioms, kaip dirvožemio suslėgimas bei dirvožemio užmirkimas (Čiuberkis ir kt., 2008; Feiza, 2013). Kita vertus, žemės ūkio naudmenos šalyje panaudojamos skirtingu intensyvumu. Javų ir kitų prekių žemės ūkio augalų plotas, skaičiuojant nuo visų naudojamų žemės ūkio naudmenų, atskiruose vidurio Lietuvos rajonuose siekia 70-88 proc., o kai kuriuose rytų Lietuvos rajonuose jis tesudaro tik 9-13 proc. (Aleksavičius ir kt., 2012). Tai rodo, jog **žemės ūkio naudmenų ir pasėlių struktūra ne visuose rajonuose atitinka ūkių specializaciją įvertinant dirvožemių savybes, nesilaikoma ir augalų sėjomainų. Sėjomainų taikymas, tinkama augalų kaita buvo ir toliau lieka viena iš pagrindinių dirvožemio sveikatai užtikrinančių priemonių.**

Apskaičiuota, kad tik 45-55 proc. kviečių pasėjama į jiems tinkamus dirvožemius, o iš minėto skaičiaus – tik 40-45 proc. Po gerų priešėlių (Jankauskas, Jankauskienė, 2006). Statistikos duomenys rodo, kad priešėliui tinkamų augalų – daugiamečių žolių, pupinių augalų, bulvių, pašarinių ir cukrinių runkelių bei kukurūzų, pasėlių dalis mažėja (Staugaitis, 2015). Nors pastaruoju metu svarbiausią priešėlių augalų dalį sudaro ir daugiamečių žolės, tačiau jų dalis maža. Priešėliui tinkamų augalų pasėlių įvairovės mažėjimas lemia dirvožemio kokybės prastėjimą, ypač humuso resursų mažėjimą (Maikštėnienė, Arlauskienė, 2007). Aptinkama duomenų, kad plintant žieminių kviečių ir rapsų plotams, pažeidžiami tinkamos augalų kaitos principai. Siekiant kuo didesnių derlių, sparčiai auga azoto bei cheminių augalų apsaugos priemonių naudojimas, tačiau nepaisoma realios

augalų mitybos ir sveikatingumo būklės bei geros žemdirbystės praktikos principų. Apibrėžiamos tik tendencijos, tačiau mažai tyrinėtas agroekosistemų naudojimo intensyvavimo poveikis dirvožemio tvarumui arba vykdomi tyrimai tik fragmentiški ir lokalūs, neatspindintys visos Lietuvos dirvožemių kaitos tendencijų (Feiza et al., 2011).

Pastaruoju metu ignoruojama, kad dirvožemyje mažėja organinės medžiagos arba humuso (Plaza et al., 2013). Kita vertus, pagrindinė dirvožemio organinės medžiagos sudedamoji dalis yra organinė anglis, kurią fotosintezės metu fiksuoja dirvožemio paviršiuje gyvenančios augalų bendrijos. **Todėl augalų gyvosios dangos išlaikymas kuo ilgiau, ypač rudens-žiemos (jautriuojų) periodu, yra vienas iš pagrindinių veiksnių formuojant sveiką dirvožemį.** Augalų vegetacijos pabaigoje ar nuėmus augalų derlių, dalis sukauptos anglies augalų ir gyvūnų liekanų pavidalu grįžta į dirvožemį, o dirvožemio mikroorganizmai skaido šias liekanas. Tai ne šiaip organinių liekanų suskaidymas, o humusinių medžiagų susidarymas dirvožemyje (Gleixner, 2013). Organinių medžiagų humifikacija (C_{org} kaupimasis) - tai palankus dirvožemiui procesas, kadangi dėl jo didėja organinių medžiagų resursai ir maisto medžiagų atsargos augalams. Todėl, siekiant padidinti dirvožemio humuso kiekį, anglies ir azoto balansas dirvožemyje turi būti teigiamas (Janušauskaitė et al., 2013).

Vienas pagrindinių organinės medžiagos papildymo šaltinių išlieka augalų liekanos ir šaknys, kurios kompensuoja laipsnišką dirvožemio organinių medžiagų panaudojimą biomasės formavimui, apsaugo dirvožemį nuo struktūros ardymo jautriuojų periodu ir plutos susidarymo. Nuo negyvosios dirvožemio dangos kiekio, tai yra nuo augalinėmis liekanomis padengtos dirvos paviršiaus dalies, taip pat labai priklauso dirvožemio sveikata. Literatūros šaltiniuose nurodoma, kad, priklausomai nuo ūkio specializacijos ir augalų rūšies, augalų liekanos gali kompensuoti 20-75 proc. Sunaudotų dirvožemio organinių medžiagų (Matsui et al., 2015). Dėl gausių augalų liekanų ir tinkamos jų cheminės sudėties bei ilgesnį laikotarpį nedirbamos dirvos daugiamečių pupinės žolės tapo vienos pagrindinių dirvožemio organinės medžiagos didinimo šaltinių. Tyrimai sunkaus priemolio rudžemyje parodė, kad daugiausia augalų liekanų paliko mėlynžiedės liucernos (iv naudojimo metų) - $13,7 \text{ t ha}^{-1}$ sausųjų medžiagų (sm), raudonieji dobilai (ii naudojimo metų) - $9,2 \text{ t ha}^{-1}$ sm, o vienų metų vikių ir avižų mišinys - tik $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ sm. Pupiniai augalai vertinami dėl dirvožemio praturtinimo simbiotiniu azotu. Po mėlynžiedžių liucernų su augalų liekanomis ir šaknimis į dirvožemį azoto patenka apie 200 kg ha^{-1} , kurio didžiąją dalį (iki 150 kg ha^{-1}) sudaro iš atmosferos fiksuotas azotas, o po raudonųjų dobilų - atitinkamai nuo 90 iki daugiau nei 60 kg ha^{-1} . Tuo tarpu, su žieminių kviečių šaknimis ir ražienomis (apie 2 t ha^{-1} sm) įterpiama apie 10 kg ha^{-1} azoto, su šiaudais ($4-5 \text{ t ha}^{-1}$ sm) - apie 25 kg ha^{-1} (nemeikšienė et al., 2015).

Intensyvus žemės dirbimas ir kita antropogeninė veikla daro neigiamą įtaką visos ekosistemos stabilumui ir ilgalaikiam dirvožemio derlingumui (Staugaitis, 2015). Ypač intensyvios žemdirbystės technologijų taikymas paskatina organinės medžiagos mažėjimą dirvožemyje. Manoma, kad organinės medžiagos mažėjimas dirvožemyje yra susijęs su tuo jog į dirvožemį patenka mažesnis organinių medžiagų kiekis, nei jis gali mineralizuotis arba dehufikuotis. Dėl intensyvios žemės ūkio veiklos paskatinamas ir maisto medžiagų išsiplovimas, ypač jis intensyvus mažai humuso turinčiuose dirvožemiuose (armolaitis et al., 2013).

Nuolatinis gilus arimas intensyvina dirvožemio oro apykaitą ir skatina organinės medžiagos skaidymąsi, o beariminio žemės dirbimo poveikis dirvožemio sveikatai yra žymiai palankesnis. Taikant ariminę technologiją į aplinką išsiskiria didesni CO_2 kiekiai, bet mažėja akumuliuojamos organinės anglies kiekis (Arlauskienė, Maikštėnienė, 2009). Buvo apskaičiuota, kad dėl intensyvaus žemės naudojimo dirvožemio organinės medžiagos balanse vieno trečdalis organinės anglies dirvožemis netenka dėl dirvožemio erozijos, bet du trečdalius - dėl intensyvėjančios mineralizacijos. Žinant tokius faktus, pirmenybę teikiama tokiems dirvožemio naudojimui būdams, kurie skatintų organinės medžiagos kaupimąsi dirvožemyje.

Agroekosistemose dėl intensyvios žemės dirbimo technologijos būtinos papildomos priemonės, siekiant dirvožemyje išsaugoti optimalų organinės medžiagos balansą (Cesevičius, Janušauskaitė, 2006). Žinoma, kad intensyvių ūkių sėjomainų schemose iki 30 proc. Pasėlių gali sudaryti

kaupiamieji augalai: cukriniai ir pašariniai runkeliai, bulvės, pašariniai kopūstai ir kukurūzai. Siauros specializacijos ūkiuose pasėlių struktūrai pagerinti, įtraukiami aukštesnės priešsėlinės vertės augalai. Jei vasarinių miglinių javų auginama ne daugiau kaip 50 proc. Viso pasėlių ploto, jų priešsėliai bus geri. Dirvožemio derlingumui didinti ir kaip priešsėlių lauko sėjomainoje tinka auginti daugiametės žolės (Skudienė, Daugėlienė, 2003), tarpiniai pasėliai.

Užsienio šalių patirtis ir tyrimai, taikant atkuriamąsias dirvožemio kokybės (regeneracinės žemdirbystės) praktikas. Reikėtų aptarti tyrimus užsienyje, susijusius su dirvožemio kokybės gerinimu ir ūkių finansinių rodiklių kaitos sąsajomis. 2023 m. Naujoje Boston Consulting Group Ir „One Planet Business For Biodiversity“ (op2b) ataskaitoje „Ūkininkų gerovės puoselėjimas: investicijos į regeneracinį žemės ūkį“ pabrėžiami finansiniai ir sisteminiai regeneracinio žemės ūkio pranašumai. Ataskaitoje nustatyta, kad ūkininkai gali padidinti pelną ir derlių iki 25 proc., taikydami regeneracinės žemdirbystės praktiką. Regeneracinė žemdirbystė – tai filosofija ir požiūris į žemėtvarką, orientuotas į ūkininkavimą ir ūkininkavimą darnoje su gamta. Ataskaitoje nustatyta, kad regeneracinės žemdirbystės praktika gali ne tik padidinti pelną ir derlių iki 25%, bet ir gerinant dirvožemio sveikatą.

Jav atlikti tyrimai parodė, kad investicijos į žegeneracinę žemdirbystę gali duoti ilgalaikės finansinės naudos ūkininkams. Regeneracinės žemdirbystės praktika gali lemti ilgalaikį pelningumą keičiant ūkininkavimo praktiką. Teigiama, kad regeneracinės žemdirbystės finansinė nauda yra dvejopa. Pirma, gerindami dirvožemio būklę, ūkininkai gali sumažinti savo priklausomybę nuo sintetinių trąšų ir pesticidų, taip sutaupydami išlaidų. Antra, regeneracinė praktika padeda geriau išlaikyti vandenį, sumažinti dirvožemio eroziją ir didinti biologinę įvairovę, todėl ūkiai tampa atsparesni ir produktyvesni. Šie pranašumai reiškia ilgalaikį pelningumą ir mažesnę pažeidžiamumą rinkos nepastovumui, todėl regeneracinė žemdirbystė yra patraukli investavimo galimybė.

Investavimas į atkuriamąjį žemės ūkį ne tik naudingas ūkininkams, bet ir sprendžia platesnius pasaulinius iššūkius. Tai gali padėti kovoti su klimato kaita, prisidėti prie taikos ir konfliktų sprendimo bei apsaugoti vandens tiekimą. Be to, atkuriamoji žemdirbystė siūlo aukštesnes kainas, mažesnes sąnaudas ir galimybę atkurti nualintą dirbamą žemę, užkertant kelią miškų naikinimui ir žemės degradacijai.

Jav tyrėjas Colton Roy Russell 2022 m. Taip tyrė regeneracinės žemdirbystės ir ekonominės rizikos sąsajas. Teigiama, kad dirvožemio gerinimas ir jo sveikata taikant regeneracines žemės ūkio praktikas įtakoja derlių ir gali jį padidinti. Taip pat užtikrina ilgalaikį derlingumą, tuo pačiu sumažinant derliaus kintamumą. O tuo pačiu ir pajamų kintamumą.

Sėjant tarpinius augalus, sutaupoma dėl išlaidų kategorijų, susijusių su žemės dirbimo praktika, pvz., traktoriumi, sumažinamas nusidėvėjimas, dyzelino, darbo kaštai ir žemės dirbimo technikos nusidėvėjimas. Nustatyta, kad vidutinės bendros išlaidos taikant beariminę žemdirbystę ir įprastą žemės dirbimą buvo atitinkamai 305 usd ir 280 usd už akrą. Buvo vertinamos skirtingos praktikos, tiek konvencinės, tiek atkuriamosios. Rezultatai parodė, kad derlingumas auga taikant atkuriamąsias praktikas, kovencines – atitinkamai mažėja, nors ir ne tiek žymiai – iki 10 proc. Tačiau tai įtakoja ir dirvožemio struktūrą, ir gamtinės sąlygos, ir taikoma praktika.

Be ilgo ekologinės naudos sąrašo, regeneracinė žemdirbystė iš esmės yra naudinga verslui. Bcg tyrimas parodė, kad po šešerių metų regeneracinis ūkininkavimas yra iki 60% pelningesnis nei kiti ūkininkavimo būdai. Taip yra dėl to, kad ūkininkai gauna naudos iš mažesnių sąnaudų, mažesnio derliaus kintamumo, padidėjusio gamtinio kapitalo ir didesnės produkcijos kiekio.

Tyrimai Vokietijoje (2023) rodo¹¹, kad regeneracinės žemdirbystės socialinė vertė individo lygmeniu neturėtų būti pervertinta. Ūkininkai kaip pagrindinius pereinamojo laikotarpio rezultatus nuolat mini priklausymą bendruomenei ir geresnę gerovę. Privalumai ūkininkams yra dideli. Tačiau regeneracinė žemdirbystė taip pat suteikia daug vertės platesnei visuomenei. Regeneracinė

¹¹ <https://www.bcg.com/publications/2023/regenerative-agriculture-benefits-germany-beyond>

žemdirbystė anksčiau buvo siejama su mažesniu derliumi ir mažėjančiu ūkininkų pelnu. Tačiau objektyvi vokietijos ūkių ekonominė analizė, atlikta vertinant pagal duomenis, tenkančius hektarui, rodo, kad regeneracinė žemdirbystė duoda didžiulę naudą vidutiniu ir ilgalaikiu laikotarpiu, todėl šalies ūkininkai gauna didesnę pelną. Tyrimai rodo, kad pagerėjus dirvos struktūrai dėl beariminio ūkininkavimo, ūkio pelnas padidėtų 97 eur už hektarą, įskaitant 69 eur už hektarą grynųjų sąnaudų sutaupymą dėl išvengtų žemės dirbimo operacijų ir būtų gauti 28 eurai už hektarą pajamų iš padidėjusio derliaus.

Kai kuriems ūkininkams trūksta kapitalo, reikalingo tam tikrų regeneracinių praktikų taikymui, jų išlaidoms padengti. Taip pat ūkininkai tiesiog nenorėti rizikuoti atsisakyti savo įprasto ūkininkavimo požiūrio. Norėdamos įveikti šias baimes, manoma, kad vokietijos vyriausybė turėtų padėti ūkininkams pereiti prie regeneracinės žemdirbystės ir įtikinti juos, kad net pirmaisiais pereinamojo laikotarpio metais jie gali pasiekti teigiamą ekonominį poveikį. Analizė rodo, kad socialinė ir ekologinė regeneracės žemdirbystės nauda vokietijoje gali siekti maždaug 8,5 mlrd. Eur per metus¹². Maždaug 8 milijardai eurų iš šios sumos būtų gaunami iš regeneruojančios praktikos teigiamo poveikio šalies anglies pėdsakui. Sustiprinus dirvožemio gebėjimą sugerti anglies dioksidą, teigiamas poveikis būtų skaičiuojamas apie 6,8 milijardo eurų, o šiltnamio efektą sukeliančių dujų – visų pirma azoto oksido ir metano – dviejų ypač stiprių šiltnamio efektą sukeliančių dujų – mažinimas – dar 1,2 milijardo eurų.

Be to, pagerėjus vandens kokybei, sumažinus drėkinimo poreikį ir išvengus taršos nitratais, atsirandančios dėl per didelio azoto trąšų naudojimo, kasmet būtų gauta 0,5 milijardo eurų naudos. Dėl pagerėjusios dirvožemio būklės pagerėjus šalies vandens ciklui – sausumos kritulių, garavimo ir dirvožemio drėgmės („žaliojo vandens“) procesams, būtų gauta daugiau naudos, tačiau norint kiekybiškai įvertinti šią naudą reikia atlikti daugiau tyrimų.

Kitas pagrindinis regeneracinės žemdirbystės tikslas – apsaugoti esamą biologinę įvairovę, mažinant neigiamą įprastinio žemės ūkio poveikį, bei didinti bendrą pasėlių ir pievų biologinę įvairovę. Tai lemia pagerėjusi dirvožemio sveikata ir sumažėjęs sintetinių augalų apsaugos ir trąšų naudojimas.

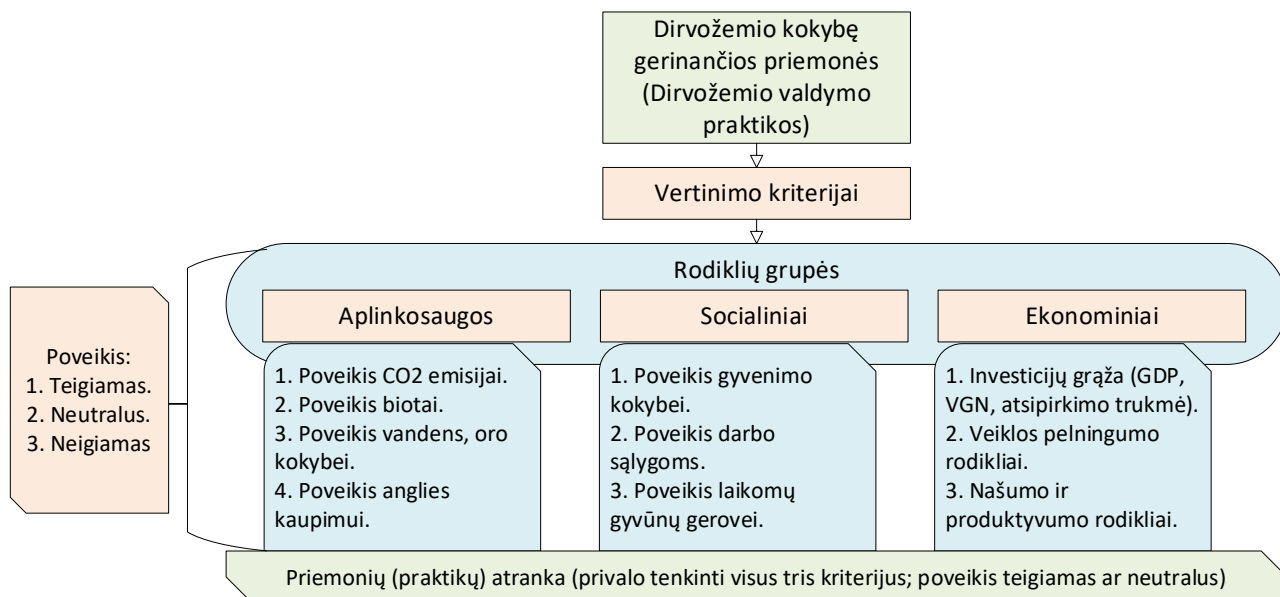
Vokietijoje atlikti tyrimai rodo, kad regeneruojančios dirvožemio kokybę praktikos gali sumažinti derliaus praradimą atšiaurių oro sąlygų metais iki 50%. Tokiu būdu yra sumažinamas ūkio pajamų kintamumas ir verslo rizika. Todėl norint skatinti atkuriamąjį žemės ūkį reikia suderintų visų vokietijos maisto tiekimo suinteresuotųjų šalių, įskaitant žemės ūkio žaliavų įmones, mokslinių tyrimų ekspertus, agronomijos patarėjus, reguliavimo institucijas ir tolesnius maisto gamintojus, platintojus ir mažmenininkus, pastangų.

Investicijų į regeneracinę praktiką grąža yra didelė ne tik vokietijos ūkininkams, bet ir įmonėms, gaminančioms, platinančioms ir parduodančioms maistą, ypač šalies vartotojams ir visai visuomenei, kuriai bus naudingas sveikesnis ir tvaresnis produktas. Ir saugesnis maisto tiekimas. Tai trigubas laimėjimas visiems suinteresuotiems asmenims. Visuomenei garantuojama sveikos ekosistemos, švarus oras, kad galėtume kvėpuoti, švarus geriamasis vanduo, kad žmonės išgyventų. Valdymo praktikos prisideda prie kiekvienos iš šių esminių ekosistemų paslaugų. Tačiau reikia pabrėžti, kad praktikų taikymas šalyse yra tik pradedamas ir patirtis, kaip tai sėkmingai atlikti, diskutuojama.

Dirvožemio kokybę gerinančių, atkuriančių praktikų poveikio ekonominiams rezultatams vertinimas. Dirvožemio kokybę gerinančios priemonės (praktikos) vertinamos vadovaujantis tvarumo principais, t.y. vertinama priemonių poveikis aplinkai, nustatomi socialinio poveikio efektai ir įtaka ūkio ekonominiams rezultatams. Kiekviena kriterijų grupė (tvarumo dimensija) gali turėti pogrupius (subkriterijus), pastaroji išmatuojamus rodiklius. Pagrindinės rodiklių grupės pateiktos 2.4 pav. Dirvožemio kokybę gerinančios priemonės atrenkamos nustatant jų poveikį išvardintoms tvarumo dimensijoms, kuris gali būti teigiamas, neutralus arba neigiamas. Rekomenduojamos tos dirvožemio kokybę gerinančios priemonės, kurios turi teigiama ar neutralų poveikį (detalizuotos 2

¹² [The Case for Regenerative Agriculture in Germany—and Beyond | BCG](#)

skyriaus pradžioje). Šių priemonių pagrindu rengiama skaičiuoklė ms excel aplinkoje, kurią naudojant, kiekvienas ūkis galės nustatyti šių priemonių aplinkosauginį ir socialinį efektą, bei poveikį ūkio ekonominiams rezultatams. Taip pat, jei šios priemonės reikalauja tam tikrų investicijų (gamybos priemonių), bus pateikiamas technologinis aprašas ir preliminari tokios technologinės įrangos vertė, paskaičiuojami ūkio investicijų grąžos rodikliai.



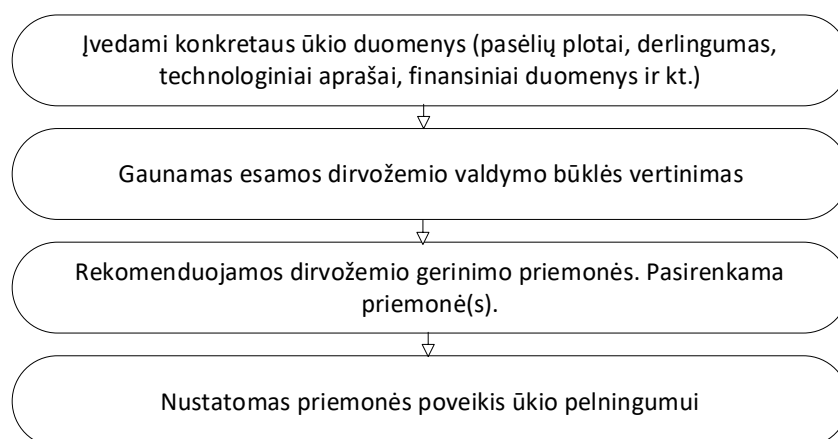
2.4 pav. Dirvožemio kokybę gerinančių priemonių (dirvožemio valdymo praktikų) vertinimo koncepcinė schema.

Dirvožemio kokybę veikiančių rodiklių grupės, dėl kurių bus nustatytas socialinis ir ekonominis poveikis, tiesiogiai priklauso nuo dirvožemio kokybinių rodiklių pokyčio. Susistemintas socialinių, ekonominų bei aplinkosauginių rodiklių derinamumas algoritminiam vertinimui pateiktas 2.1 lentelėje. Numatytas dirvožemio kokybę gerinančių priemonių vertinimo algoritmas pateikiamas 2.5 pav.

2.1. Lentelė. Dirvožemio kokybę gerinančių priemonių vertinimo kriterijai ir rodikliai

Rodikliai	Trumpas paaiškinimas
Socialiniai rodikliai	
1. Maisto ir pašarų kokybė (maistingų ir kenksmingų medžiagų kiekiai)	Dirvožemio kokybė ir agrotechninės priemonės didinančios pasėlių derlingumą, taip pat, keičiančios dirvožemio sveikatos būklę, turi įtakos produkcijos kokybei. Maisto ir pašarų kokybė yra vienas iš veiksnių darančių poveikį žmonių gyvenimo kokybei bei laikomų gyvūnų gerovei.
2. Darbo sąlygos (gamybos proceso sudėtingumas, sveikesnė darbo aplinka)	Pasirinkta gamybos technologija, naudojama technika ir įranga daro poveikį darbo sąlygoms. Pavyzdžiui, mažiau naudojant cheminių medžiagų (trąšų, augalų apsaugos priemonių) darbo aplinka bus palankesnė dirbančiajam.
3. Ūkininko darbo laikas	Pasirinktos gamybos technologijos turės įtakos ūkininko darbo laikui. Jei darbo laiko sugaištama mažiau, laikoma, kad tai turi įtakos geresnei jo gyvenimo kokybei.

4. Poveikis kaimo bendruomenės gyvenimo kokybei	Draugiškos aplinkai technologijos gali turėti įtakos geresnei kaimo gyventojų gyvenimo kokybei, sudaryti geresnes galimybes plėtoti kitus verslu kaime.
5. Ūkio reputacija	Visuomenės požiūris į ūkį (kokybinis vertinimas).
Ekonominiai rodikliai	
1. Grynoji dabartinė vertė	Rodiklis skaičiuojamas tuo atveju, jei ūkis siekdamas naudoti dirvožemio kokybę gerinančias priemones turi investuoti į tam skirtą techniką ir įrangą.
2. Vidinė gražos norma	Rodiklis skaičiuojamas tuo atveju, jei ūkis siekdamas naudoti dirvožemio kokybę gerinančias priemones turi investuoti į tam skirtą techniką ir įrangą.
3. Investicijų atsipirkimo trukmė	Rodiklis skaičiuojamas tuo atveju, jei ūkis siekdamas naudoti dirvožemio kokybę gerinančias priemones turi investuoti į tam skirtą techniką ir įrangą.
4. Pelnas iš ha	Vertinamas pelno pokytis pradėjus taikyti dirvožemio kokybę gerinančias priemones.
5. Pelno marža	Vertinamas pelningumo pokytis pradėjus taikyti dirvožemio kokybę gerinančias priemones.
6. Derlingumas	Dirvožemio kokybę gerinančios priemonės turės įtakos pasėlių derlingumui trumpuoju ir ilguoju laikotarpiu. Vertinami jo pokyčiai ir įtaka pelningumui.
7. Derlingumo stabilumas	Dirvožemio kokybę gerinančios priemonės turės įtakos pasėlių derlingumo kintamumui, kurį lemia besikeičiančios gamtinės sąlygos. Vertinami derlingumo kintamumo rizika ir poveikis ūkio pelningumui.
8. Trąšų kiekio įtaka derlingumo pokyčiui (derlingumo atsakas trąšoms)	Dirvožemio savybės turi įtakos derlingumo atsakui (pokyčiui) naudojant skirtingas tręšimo normas. Siekiama nustatyti tinkamas tręšimo normas ir jų poveikį derlingumui skirtingos struktūros dirvožemiuose.



2.5 pav. Skaičiuoklės, skirtos dirvožemio kokybę gerinančių priemonių konkrečiame ūkyje vertinimui, koncepcinė schema.

Būtina atkreipti dėmesį, kad skaičiuoklės funkcionalumas ir naudojimas priklausys nuo vertinimo kriterijų, pasirinktų rodiklių kiekio, empirinių duomenų, kuriais remiantis bus atliekamas skaičiavimams bei taikomos priemonės dirvožemio sveiktos gerinimui efektyvumo.

Išvada:

Apibendrinant, fiziniai, cheminiai ir biologiniai dirvožemio sveikatos vertinimo rodikliai sudaro integruotą pagrindą, padedantį ūkininkams priimti pagrįstus sprendimus ir užtikrinti ilgalaikę dirvožemio sveikatą. Fizinių rodiklių, tokių kaip dirvožemio struktūra ir vandens sulaikymo geba, vertinimas leidžia sumažinti erozijos ir sausros riziką, o taip pat optimizuoti drėkinimo ir žemės dirbimo strategijas, kurios išsaugo dirvožemio stabilumą. Cheminiai rodikliai, įskaitant pH lygį ir maistinių medžiagų kiekį, suteikia galimybę tiksliai valdyti tręšimą bei mažinti trąšų perteklių, taip apsaugant tiek dirvožemį, tiek vandens ekosistemas nuo perteklinės taršos. Biologiniai rodikliai, tokie kaip mikroorganizmų aktyvumas ir slienkų populiacija, atspindi dirvožemio ekosistemos gyvybingumą, kuris yra būtinas natūraliam maistinių medžiagų ciklui ir dirvožemio struktūros palaikymui. Šių rodiklių analizė leidžia įvertinti tiek pavienius dirvožemio aspektus, tiek tarpusavio sąveikas, kurios prisideda prie sveiko ir derlingo dirvožemio palaikymo.

Taikant modelius, tokius kaip swat, epic ir dpsir, šie rodikliai gali būti analizuojami sistemingai ir išsamiai, suteikiant galimybę sukurti ilgalaikes strategijas, kurios ne tik palaiko ūkininkavimo produktyvumą, bet ir prisideda prie aplinkos tvarumo. Swat modelis padeda valdyti maistinių medžiagų transportą ir sumažinti dirvožemio erozijos poveikį vandens kokybei, epic modelis prognozuoja dirvožemio anglies kaupimąsi ir jo poveikį klimato kaitai, o dpsir modelis leidžia suprasti socialinius ir aplinkosauginius veiksnius, susijusius su dirvožemio būklės pokyčiais, ir formuoti atsakomuosius veiksmus, orientuotus į tvarią dirvožemio priežiūrą. Toks integruotas rodiklių vertinimas ir modelių taikymas ne tik padeda išsaugoti dirvožemio sveikatą, bet ir prisideda prie ilgalaikio žemės ūkio efektyvumo, mažesnio sintetinės chemijos naudojimo ir geresnės ūkininkų bei visuomenės gyvenimo kokybės.

3. DIRVOŽEMIO SVEIKATOS VALDYMO PRIEMONIŲ SĄRAŠO RENGIAMAM VERTINIMO MODELIIUI SUDARYMAS

Visose gamtinėse sistemose dirvožemis formavosi dėl daug tūkstančių metų jį veikiančių natūralių gamtinių sąlygų. Todėl, yra manoma, kad natūraliai susiklojėję dirvožemiai ir natūraliai užimantys atitinkamus arealus, kuriuose formuojasi tik toms vietovėms būdingos gamtinės buveinės, išlaiko sveiko dirvožemio savybes (Six et al., 2004). Sveiki dirvožemiai, dėl natūralaus susiklojėjimo, yra pralaidūs vandeniui arba sulaiko vandens iki pilno dirvožemio prisotinimo, neužmirksta (išskyrus organinius dirvožemius, kurių formavimasis, priešingai, priklauso nuo dirvožemio paviršiuje užsilaikančio vandens); išsiskiria augalų ir kitų gyvų organizmų įvairovė, kuri nulemia natūralų ir ilgalaikį dirvožemio produktyvumą; atlieka šalutinių produktų ir organinių bei neorganinių dalelių iš atmosferos filtraciją, imobilizaciją, skaidymą ir detoksikaciją; užtikrina maisto medžiagų apytakos ciklus bei dirvožemio fizikinių savybių stabilumą (Targulian, Krasilnikov, 2007).

3.1 lentelė. Gamtinių veiksnių įtaka dirvožemio formavimuisi žemyninio klimato zonose (pagal Wilding, 1994)

Gamtiniai veiksniai	Būdingos savybės			
Klimatas	Vidutinių platumų žemyninis drėgnas (> 630 mm kritulių)	Vidutinių platumų žemyninis sausas (< 630 mm kritulių)	Atogrąžų, tropinis, liūtingas (> 7,6 mm l h ⁻¹ kritulių)	Arktinis (amžino įšalo) bei dykumų (kaitros ir šalčio periodai)
Augalija	Spygliuočių, lapuočių arba mišrieji miškai	Krūmynai arba žolynai su krūmokšniais	Vešlūs medžiai, krūmų ir vijoklių sąžalynai	Beveik nėra
Dirvožemio tipologija dėl klimato	Susiformavę iš dūlančios dirvodarinės uolienos	Vis dar formuojasi iš kietųjų uolinių arba kalkinių tufų	Vis dar formuojasi iš pirminių ir antrinių mineralų	Dalelių neišskiriama arba dūlėjimas įvykęs
Viršutiniai dirvožemio horizontai	Humusingi	Mažo humusingumo	Didelio Humusingumo	Organika nepaspildo
Podirvis arba dirvodarinė uoliena	Dūlesį sudaro dulkių, smėlio ir molio dalelės; prisotintas aliuminiu, geležimi, fosforu	Dūlesį sudaro smėlio dalelės; prisotintas karbonatais	Dūlesį sudaro karbonatinių ir geležingų molio dalelės; prisotintas geležimi	Jei yra dirvožemio dalelių, tai dūlesį sudaro smėlio dalelės; cheminių medžiagų neatpalaiduoja
Ilgalaikiai pokyčiai dirvožemyje	Pokyčiai siejami su sezoniškumu; maisto medžiagų atpalaidavimas priklauso nuo kritulių kiekio; maisto medžiagos išlaikomos augalų šaknų zonoje	Pokyčiai siejami su sezoniškumu; maisto medžiagų atpalaidavimas silpnas; maisto medžiagų augalams trūksta	Pokyčiai nėra siejami su sezoniškumu; dirvožemis prisotintas maisto medžiagomis; maisto medžiagų apykaita sparti	Pokyčiai galėtų vykti tik kaupiantis organinei medžiagai

Galima teigti, kad natūraliai besiformuojantys dirvožemiai (dėl prigimtinės dirvodaros, vietos klimato, augalijos ir kitų gamtinių veiksnių) didžiąja dalimi išlaiko natūralias savybes arba savybes, dėl kurių dirvožemio savybės neblogėja (3.1 lentelė). Reikia atkreipti dėmesį, kad Lietuvos teritorijos dirvožemiai, veikiami vidutinių platumų žemyniniam drėgnam klimatui, išlaiko natūralias (gamtines) savybes bei sveiko dirvožemio požymius, kai yra apaugę spygliuočių, lapuočių arba mišriaisiais miškais. Daugelio tyrimų rezultatai parodė, kad dirvodaros procesai ir dirvožemio natūralaus derlingumo didėjimas tiesiogiai priklauso nuo dirvožemių apmiškinimo (Schoenholtz et al., 2000;

Rodríguez-Loinaz et al., 2008; Trammell et al., 2011). Medžių šaknys į dirvožemį išskiria ir jį papildo įvairios biocheminės kompleksinės sudėties organiniais junginiais kompleksiniais (Dijkstra et al., 2006), todėl augalai tiesiogiai gali keisti ne tik dirvožemio fizikines savybes, bet ir biocheminę sudėtį bei veikti dirvožemio mikroorganizmų aktyvumą (Neumann et al., 2009; Moe, 2013; Prashar et al., 2014). Anglies junginių kompleksinis pasiskirstymas labai priklauso nuo medžių šaknų zoniškumo, tuo pačiu, tai nulemia ir dirvožemio mikroorganizmų aktyvumo diferenciaciją dirvožemio profilyje (Bell et al., 2010; Hopkins et al., 2013). Manoma, kad dirvožemio mikroorganizmų aktyvumas išlieka stabilus ir mažiau kinta daugiamečiuose nusistovėjusiose augalų bendrijose, kai ir aktyvių šaknų biomasės pokyčiai nėra intensyvūs (Cambardella et al., 1993; Fornara, Tilman, 2008). Todėl, dirvožemio naudojimas žemės ūkio veiklai turi būti derinamas su dirvožemio savybių atstatymo technologijomis. Kitu atveju, nualinti ir sveiko dirvožemio savybes praradę dirvožemiai neatsitaisyti.

Dabartinių laikų Lietuvos žemės ūkis siejamas su dirvožemio kokybės prastėjimu ne tik dėl natūralių gamtinių procesų (perteklinės drėgmės ir santykinai šalto klimato zonoje dirvožemiuose suintensyvėja karbonatų ir augalams reikalingų maisto medžiagų išplovimo procesai), bet ir dėl nesubalansuoto cheminių medžiagų naudojimo ir sėjomainų nesilaikymo (Mažvila ir kt., 2006; Eidukevičienė et al., 2007).

Lietuvos dirvožemių kokybę agroekosistemose 2020–2021 m. Vertinta nacionalinės miškų inventorizacijos (nmi) pastovių apskaitos barelių ~9x9 km tinkle 5-iuose skirtinguose geomorfologiniuose rajonuose iš viso 308-iose stebėsenos vietose: (1) moreninėse žemumose (n = 96), (2) kalvotose moreninėse aukštumose (n = 81), (3) moreninėse plynaukštėse (n = 48), (4) molingose plynaukštėse (n = 45) ir (5) smėlingose lygumose (n=38). Kontroliniai dirvožemio kokybės tyrimai vykdyti šalia augančiuose miškuose (iš viso 67 stebėsenos vietos). Dirvožemių kokybės vertinimui nustatytos 0–10 ir 10–30 cm mineraliniuose sluoksniuose dirvožemio organinės anglies (doc) ir suminio azoto (dsn) koncentracijos bei anglies (dmc) ir azoto (dmn) koncentracijos dirvožemių mikroorganizmų biomasėje. Dirvožemio organinės anglies tvarumas (mineralizacija, stabilizacija ar akumuliacija) vertintas pagal doc:dsn ir dmc:dmn santykius.

Nustatyta, kad Lietuvoje **moreninėse žemumose**, kurios labiausiai paplitę mažo miškingumo vidurio Lietuvos žemumoje, ariamose žemėse ir žolynuose vyravo įvairios granuliometrinės sudėties priemolių derlingi rudžemiai (43 ir 29 %, atitinkamai) ir išplautžemiai (25–27 %). Tačiau minėtose žemės ūkio naudmenose net 24–25 % sudarė nederlingi smėlžemiai, kuriuos tikslinga, ypač ariamus smėlžemius, apželdinti mišku. Išplautžemiuose ir rudžemiuose viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose mažiausios doc vidutinės koncentracijos buvo ariamose žemėse. Išplautžemiuose doc vidutinės koncentracijos kito 15,9–16,4 g kg⁻¹, rudžemiuose – 17,4–17,7 g kg⁻¹ ribose, tačiau buvo nedidesnės nei ariamuose nederlinguose smėlžemiuose. Palyginus su ariamomis žemėmis, žolynuose patikimai didesnės doc vidutinės koncentracijos nustatytos rudžemiuose ir smėlžemiuose. Pagal vidutinį santykį (doc:dsn=15–16) ariamose žemėse ir žolynuose išplautžemiuose doc stabilizacija buvo menka, o rudžemiuose (doc:dsn=17–25) buvo intensyvesnė. Tačiau dmc:dmn vidutiniai santykiai (dmc:dmn=11–15) atkleidė, kad išplautžemiuose ir rudžemiuose dirvožemio mikroorganizmai intensyviai mineralizuoja doc. Tam galėjo turėti įtakos tai, kad ūkininkaujant buvo taikomos intensyvios javų – rapsų sėjomainos, tręšime naudotos daugiausia mineralinės trąšos. **Tikslinga doc stabilizacijai / didinimui ariamose žemėse taikyti daigianares sėjomainas su tarpiniais augalais ir tikslųjį tręšimą.**

Kalvotos **moreninės aukštumos rajone**, ariamose žemėse ir žolynuose vyravo moreninių priemolių išplautžemiai (atitinkami, 36 ir 29 %), balkšvažemiai (21 ir 35 %) ir rudžemiai (21 ir 15 %) bei smėlžemiai (17 ir 15 %). Ariamose žemėse viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose doc vidutinės koncentracijos smėlžemiuose siekė tik 5,9–11,7 g c kg⁻¹, išplautžemiuose buvo 20–50 % didesnės (13,6–14,0 g c kg⁻¹), o didžiausios (15,1–17,7 g c kg⁻¹), 1,4–1,8 karto didesnės negu smėlžemiuose, nustatytos balkšvažemiuose ir rudžemiuose. Žolynuose viršutiniuose mineralinio dirvožemio sluoksniuose doc vidutinės koncentracijos mažiausios buvo smėlžemiuose (10,9–13,3 g c kg⁻¹), tik 20–30 % didesnės – išplautžemiuose (15,2–15,5 g c kg⁻¹), tačiau 1,8–2,0

karto buvo didesnės balkšvažemiuose ir rudžemiuose (16,4–27,6 g c kg⁻¹). Būtina pažymėti, kad žolynuose tik balkšvažemiuose ir rudžemiuose (tik 0–10 cm sluoksnyje) doc koncentracijos buvo 1,5–1,7 karto didesnės negu ariamoje žemėje. Nederlinguose ariamuose smėlžemiuose tikslinga įrengti daugiamečius žolynus arba ariamus smėlžemius apželdinti mišku. Ariamose žemėse doc:dsn vidutinis santykis tirtų dirvožemių viršutiniuose mineraliniuose sluoksniuose įvairavo gana siaurose doc:dsn=13–19 ribose ir atskleidė, kad ariamuose išplautžemiuose ir smėlžemiuose, o taip pat balkšvažemių 0–10 cm sluoksnyje vyko doc mineralizacija, o rudžemiuose – doc stabilizacija. Tačiau dmc:dmn santykis (dmc:dmn=25–39) atskleidė, kad ariamose žemėse tirtuose dirvožemiuose viršutiniuose mineraliniuose sluoksniuose vyko doc akumuliacija. Žolynuose pagal doc:dsn ir dmc:dmn santykius viršutiniuose mineraliniuose sluoksniuose smėlžemiuose doc buvo mineralizuojama (doc:dsn=15) ir, lygia greta, akumuliuojama mikroorganizmų biomasėje (dmc:dmn=24–26), o išplautžemiuose nustatyta (doc:dsn=16; dmc:dmn=23) doc stabilizacija. Kituose vyraujančiuose dirvožemiuose, balkšvažemiuose ir rudžemiuose, pagal doc:dsn ir dmc:dmn santykius vyko tiek doc stabilizacija, tiek ir akumuliacija. **Tikslinga ūkininkavimą ariamose žemėse neintensyvinti, plėtoti tausojamą žemdirbystę doc išsaugojimui.**

Buvo nustatyta, kad **moreninėse plynaukštėse** ariamose žemėse ir žolynuose vyravo riedulingi priesmėlio ir lengvo priemolio balkšvažemiai (atitinkamai, 42 ir 17 %) ir išplautžemiai (33 ir 42 %) bei smėlžemiai (11 ir 25 %). Ariamose žemėse viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose doc vidutinės koncentracijos balkšvažemiuose siekė 13,9–16,0 g c kg⁻¹ ir nebuvo patikimai didesnės nei ariamuose smėlžemiuose (17,1–19,6 g c kg⁻¹). Tačiau, ariamose žemėse išplautžemiuose doc vidutinės koncentracijos buvo mažiausios (12,3–13,3 g c kg⁻¹). Žolynuose viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose doc vidutinės koncentracijos buvo panašios moreninių plynaukščių dirvožemiuose, balkšvažemiuose siekė 12,8–15,5 g c kg⁻¹, išplautžemiuose – 13,5–16,6 g c kg⁻¹, o smėlžemiuose kito 15,6–19,9 g c kg⁻¹ ribose. Būtina pastebėti, kad palyginus su ariamomis žemėmis, žolynuose doc vidutinės koncentracijos nebuvo nustatytos rudžemiuose ir smėlžemiuose. Nors ir nederlingi ariami smėlžemiai moreninėse plynaukštėse išlaikė didesnes doc koncentracijas, tikslinga ariamose žemėse bei žolynuose ir kitose dirvožemių grupėse, ypač viršutiniuose mineraliniuose sluoksniuose, vykdyti nuolatinę doc koncentracijų stebėseną bei taikyti kompleksines priemones optimaliai doc koncentracijai išsaugoti bei organinių medžiagų kiekiui didinti. Ariamose žemėse doc:dsn vidutinis santykis tirtų dirvožemių viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose buvo mažas ariamuose balkšvažemiuose ir išplautžemiuose (atitinkamai, doc:dsn=15 ir 14), todėl, vyko doc mineralizacija. Tačiau, palyginus su ariamomis žemėmis, žolynuose vyraujančiuose dirvožemiuose viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose intensyviau vyko doc stabilizacija (doc:dsn santykis keitėsi nuo 16 iki 19). Tirtuose dirvožemiuose tiek ariamose žemėse, tiek ir žolynuose dmc:dmn vidutinis santykis parodė, kad dirvožemiuose akumuliuojama mikroorganizmų biomasė. Tačiau, intensyviau akumuliacija vyko dirvožemių viršutiniame 0–10 cm mineraliniame sluoksnyje, kur dmc:dmn vidutinis santykis siekė 38–42. Ariamose žemėse dėl to, kad iki 30 cm mineraliniame sluoksnyje doc intensyviai mineralizuojama, tikslinga neintensyvinti ūkininkavimo. **Rekomenduojama rinktis tokius žemdirbystės būdus, kad būtų atsižvelgta į dirvožemio struktūrą, nes priesmėlio ir lengvo priemolio dirvožemiai ilgainiui tankėja. Tokiuose dirvožemiuose ariamose žemėse būtina auginti ilgesnės vegetacijos augalus, kurie prisidėtų prie doc išsaugojimo bei biologinio dirvožemio aktyvumo didinimo.**

Nustatyta, kad **molingose plynaukštėse** ariamose žemėse ir žolynuose vyravo limnoglacialinių molių kilmės įvairios granuliometrinės sudėties išplautžemiai (atitinkamai, 36 ir 33 %) ir rudžemiai (36 ir 22 %) bei fluvio-glacialiniais smėliais užklostyti smėlžemiai (8 ir 22 %). Tirtuose dirvožemiuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose ariamose žemėse ir žolynuose doc vidutinės koncentracijos keitėsi panašiose ribose. Tačiau, doc vidutinės koncentracijos buvo mažiausios smėlžemiuose (atitinkamai, 16,4–17,0 g c kg⁻¹ ir 19,1–23,0 g c kg⁻¹), kiek didesnės nustatytos išplautžemiuose (16,1–18,2 g c kg⁻¹ ir 18,0–18,9 g c kg⁻¹) ir patikimai didžiausios buvo

rudžemiuose (22,2–23,6 g c kg⁻¹ ir 22,4–28,5 g c kg⁻¹). Molingose plynaukštėse nederlinguose ariamuose smėlžemiuose tikslinga įrengti daugiamečius žolynus arba ariamus smėlžemius apželdinti mišku. Kitose dirvožemių grupėse natūrali dirvodara lemia doc stabilizaciją, bet ariamose žemėse ir žolynuose tikslinga vykdyti nuolatinę doc koncentracijų stebėseną ir taikyti kompleksines priemones optimaliai doc koncentracijai išsaugoti ir didinti. Ariamose žemėse smėlžemiuose, nors ir doc:dsn vidutinis santykis viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose buvo mažiausias (doc:dsn=15), vyko doc stabilizacija, tačiau, silpniau negu ariamuose išplautžemiuose (doc:dsn=17–18) ir rudžemiuose (doc:dsn=20–21). Tačiau buvo nustatyta, kad ariamose žemėse pagal dmc:dmn vidutinį santykį (vidutinis dmc:dmn santykis kito 29–36 ribose) tirtuose dirvožemiuose vyko doc akumuliacija. Molingųjų plynaukščių žolynuose viršutiniuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose doc:dsn vidutinis santykis kito panašiose ribose (doc:dsn=17–20), kaip ir ariamose žemėse, tačiau, žolynuose rudžemiuose net buvo didesnis (doc:dsn=25). Todėl, šiuose dirvožemiuose doc stabilizacija vyko intensyviau. Nustatyta ir tai, kad tiek ariamose žemėse, tiek ir žolynuose dmc:dmn vidutinis santykis (dmc:dmn=28–33) kito panašiai ir tirtuose dirvožemiuose taip pat lėmė doc akumuliaciją. **Molingųjų plynaukščių dirvožemiuose ariamose žemėse tikslinga didinti doc akumuliaciją, ūkininkavimo neintensyvinti, bet pagal dirvožemių granulimetrinę sudėtį parinkti skirtingo intensyvumo žemės dirbimo ir tręšimo sistemas. Žolynuose tikslinga parinkti tinkamas žolynų naudojimo technologijas, kad užtikrinti doc akumuliaciją ir biologinio dirvožemio aktyvumo didinimą.**

Nustatyta, kad **smėlingose lygumose** ariamose žemėse ir žolynuose vyrauja lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemiai: smėlžemiai (atitinkami, 33 ir 29 %), išplautžemiai (apie 29 % ariamose žemėse bei žolynuose) ir balkšvažemiai (19–24 %). Nederlingus ariamus smėlžemius tikslinga apželdinti mišku. Ariamose žemėse iki 30 cm gylio viršutiniuose mineraliniuose sluoksniuose išplautžemiuose ir balkšvažemiuose doc vidutinės koncentracijos kito santykinai siaurose 12,9–16,2 g c kg⁻¹ ribose ir esminiai nesiskyrė nuo doc vidutinių koncentracijų ariamuose smėlžemiuose (15,6–18,9 g c kg⁻¹). Žolynuose viršutiniame 0–10 cm mineraliniame sluoksnyje doc vidutinės koncentracijos mažiausios buvo smėlžemiuose (21,6 g c kg⁻¹), tik 25 % didesnės – balkšvažemiuose (27,1 g c kg⁻¹), tačiau, palyginus su smėlžemiais, vidutiniškai 1,5–1,9 karto buvo didesnės išplautžemiuose (31,4–40,5 g c kg⁻¹). Gilesniame 10–30 cm sluoksnyje doc vidutinės koncentracijos smėlžemiuose ir balkšvažemiuose (16,6–18,6 g c kg⁻¹) esminiai nesiskyrė (p>0,05), tik išplautžemiuose (31,4 g c kg⁻¹) buvo 1,9 karto didesnės negu smėlžemiuose. Palyginus su ariamomis žemėmis, vidutiniškai 2,5 karto didesnės doc koncentracijos žolynuose nustatytos tik išplautžemiuose. **Tirtuose smėlingųjų lygumų rajonų dirvožemiuose iki 30 cm gylio mineraliniuose sluoksniuose doc:dsn santykis priklausė nuo žemėnaudos. Ariamose žemėse smėlžemiuose vyko doc stabilizacija (doc:dsn=15). Ariamų išplautžemių ir balkšvažemių tirtuose mineraliniuose sluoksniuose intensyviai vyko doc mineralizacija (doc:dsn santykis buvo 11–13). Tačiau pagal nustatytus dmc:dmn vidutinius santykius (doc:dsn=28–43) smėlžemiuose, išplautžemiuose ir balkšvažemiuose, tiek ariamose žemėse, tiek ir žolynuose, santykinai vienodu intensyvumu vyko doc akumuliacija. Ariamose žemėse dėl to, kad 0–10 cm mineraliniame sluoksnyje doc intensyviai mineralizuojama, tikslinga plėtoti beariminį žemės dirbimą ir tiesioginę sėją.**

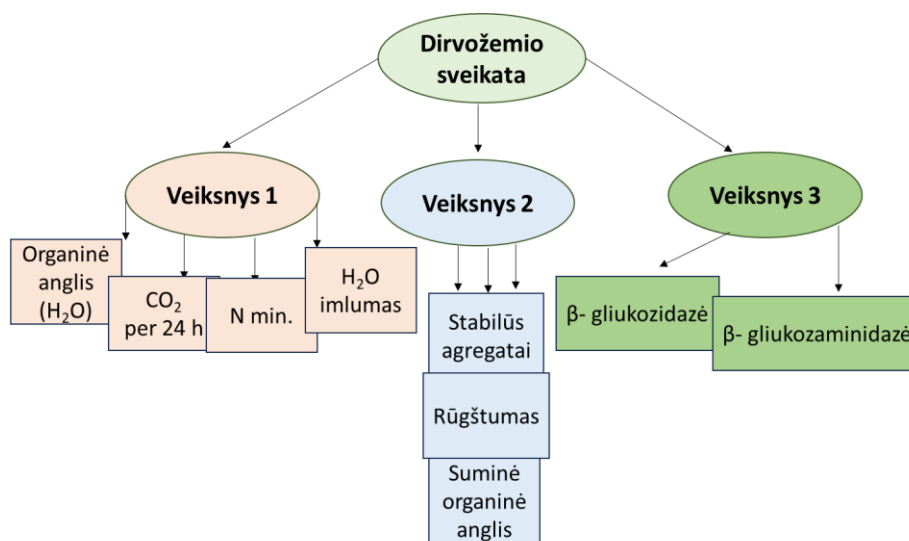
Apibrėžiamos tik tendencijos, tačiau mažai tyrinėtas agroekosistemų naudojimo intensyvinimo poveikis dirvožemio tvarumui arba vykdomi tyrimai tik fragmentiški ir lokalūs, neatspindintys visos Lietuvos dirvožemių kaitos tendencijų (Feiza et al., 2011). Ypač intensyvios žemdirbystės technologijų taikymas paskatina organinės medžiagos mažėjimą dirvožemyje. Manoma, kad organinės medžiagos mažėjimas dirvožemyje yra susijęs su tuo jog į dirvožemį patenka mažesnis organinių medžiagų kiekis, nei jis gali mineralizuotis arba dehumifikuotis. Dėl intensyvios žemės ūkio veiklos paskatinamas ir maisto medžiagų išsiplovimas, ypač jis intensyvus mažai humuso turinčiuose dirvožemiuose (Armolaitis et al., 2013). Nuolatinis gilus arimas intensyvina dirvožemio oro apykaitą ir skatina organinės medžiagos skaidymąsi. Tuo pačiu į aplinką išsiskiria didesni CO₂

kiekiai, bet mažėja akumuliuojamos organinės anglies kiekis (Arlauskienė, Maikštėnienė, 2009). Buvo apskaičiuota, kad dėl intensyvaus žemės naudojimo dirvožemio organinės medžiagos balanse vieno trečdalis organinės anglies dirvožemis netenka dėl dirvožemio erozijos, bet du trečdalius - dėl intensyvėjančios mineralizacijos (Ruddiman, 2003). Žinant tokius faktus, verčiama ieškoti tokių dirvožemio naudojimo būdų, kurie skatintų organinės medžiagos kaupimąsi dirvožemyje.

Dėl sveiko dirvožemio savybių išlaikymo turi būti kuriamos gerosios praktikos ir sveiko dirvožemio valdymo sistemos, kurių pagrindu būtų atstatomas ne tik dirvožemio natūralumas, bet ir jo derlingumas (Lal, 2015). Teigiama, kad natūralaus derlingumo sumažėjimas, ypač, reikšmingai paveikia dirvožemio fizikines savybes, kurios nulemia negrįžtamus dirvožemio morfologinės struktūros pokyčius (Lima et al., 2013). Tuo pačiu, keičiasi ir dirvožemio fizikinės savybės ir dirvožemis greitai eroduoja (Quine, Van Oost, 2020). Kaip teigia tyrėjai, dirvožemio erozijos mastai žemės paviršiaus ribose siekia apie 30 proc. (33 proc. 2009 m. Duomenimis, pagal bini, 2009; 30 proc. 2023 m. Duomenimis, pagal Boroughani et al., 2023). Manoma, kad iki 80 proc. Erodotų dirvožemių yra intensyviausiai antropogeniškai paveikti, virš 60 proc. – erodavę dėl intensyvios azoto mineralizacijos, o iki 38 proc. – dėl dirvožemio suslėgimo bei rūgštėjimo, tiesiogiai, bei dėl nesubalansuoto mineralinių fosforo trąšų naudojimo, netiesiogiai (lal, 2015). Prarandant natūralų dirvožemio derlingumą, be neigiamo poveikio aplinkai ir ekonominiam nestabilumui, kyla pavojus ir gamtinių ekosistemų bei žmogaus sveikatai (Tanner et al., 2011).

Vykdam šį mokslinį projektą, gerosios praktikos ir sveiko dirvožemio valdymo sistema numatyta pasirinkti dirvožemio kokybės rodiklių duomenų modeliavimą. Toks modeliavimas, leis sukurti tinklinius ryšius tarp pasirinktų dirvožemio kokybinių rodiklių ir, atliekant loginį projektavimą, numatyti sveiko dirvožemio formavimo ryšius. Sveiko dirvožemio modelis (toliau tekste sdm) turi turėti aiškiai apibrėžtą ir tikslingą dirvožemio sveikatos rodiklių sistemą (Rinot et al., 2019). Tačiau, apie šių rodiklių spektrą iki šiol diskutuojama ne tik Lietuvoje, bet kitose europos sąjungos šalyse (Cardoso et al., 2013; Karlen et al., 2019; Lehmann et al., 2020).

Kadangi pateikta sveiko dirvožemio kokybinių rodiklių loginė seka modelyje pagal Maaz ir kt. (2023) yra aiški, bus remiamasi šio modeliavimo duomenų įvestimis. Sveiko dirvožemio kokybinių rodiklių loginių ryšių sudarymui modelyje bus pasirinkti trys duomenų lygmenys (3.1 pav.; 3.2 lentelė): fizikinis (dirvožemio fizikinių rodiklių duomenys); cheminis (dirvožemio cheminių rodiklių duomenys) ir biologinis (dirvožemio biologinių rodiklių duomenys).



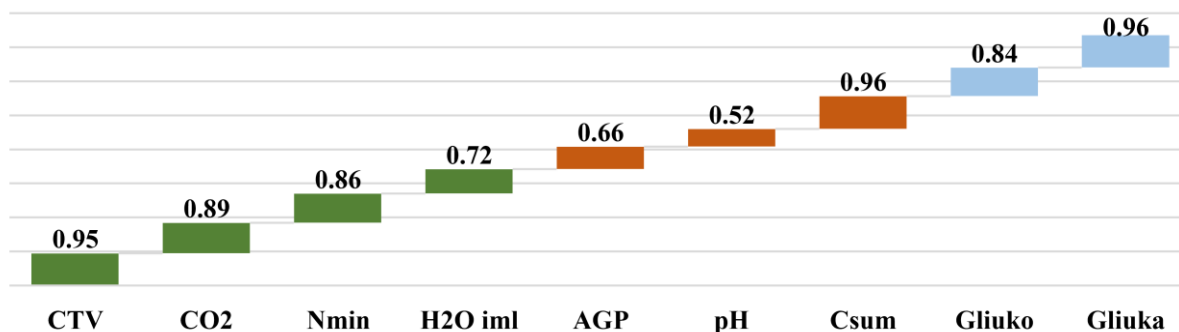
3.1 pav. Sveiko dirvožemio kokybinių rodiklių loginis susiejimas modelyje pagal maaz ir kt. (2023)

Taikant sveiko dirvožemio vertinimo modelį, Maaz ir kt. (2023) nustatė, kad dirvožemio kokybiniai rodikliai formuoja tris pagrindines logines sąsajas (3.2 pav.). Į pirmąją stiprios sąsajos su

dirvožemio sveikata kokybinių rodiklių grupę buvo įtraukti šie dirvožemio kokybės rodikliai: vandenyje tirpi anglis (ctv), CO₂ intensyvumas (CO₂), mineralinio azoto kiekis (nmin) ir dirvožemio vandens imlumo (h₂oiml). Antrajai sąsajai su dirvožemio sveikata rodiklių grupei priklausė vandens poveikiui struktūros patvarumui (agp), dirvožemio ph rodiklis ir suminės dirvožemio organinės anglies kiekis (csum). Tuo tarpu, su mikroorganizmų aktyvumu susiję dirvožemio kokybės rodikliai, t.y., β-gliukozidazė (gliuko) ir β-gliukosaminidazė (gliuka), formavo atskirą trečiąją su dirvožemio sveikata susijusią loginę seką. Autoriai atkreipė dėmesį, kad c:n santykis šiame sveiko dirvožemio modeliavime nebuvo reikšmingai patikimas, sveiko dirvožemio rodiklių modeliuose jo nerekomenduojama įtraukti.

3.2 lentelė. Dirvožemio kokybės rodiklių sąrašas, rekomenduojamas sveiko dirvožemio modeliui sudaryti

Dirvožemio kokybės rodiklis	Funkcija dirvožemyje	Funkcinis duomenų lygmuo
Suminė dirvožemio organinė anglis (proc.)	Svarbiausias sveiko dirvožemio elementas iš kurio formuojasi humusas	Cheminis, biologinis
CO ₂ išsiskyrimas (μg g ⁻¹ , rekomenduojama per 24 h)	Dirvožemio kvėpavimas, kuris priklauso nuo organinių medžiagų kiekio ir biologinio dirvožemio aktyvumo	Biologinis
Mineralinis azotas (μg g ⁻¹)	Azoto transformacija ir apytakos ciklas	Cheminis, biologinis
B-gliukozidazė (nmol g ⁻¹ dirv. H ⁻¹)	Dirvožemio mikroorganizmų aktyvumui didinti dėl celiuliozės turinčių organinių medžiagų	Biologinis
B-gliukosaminidazė (nmol g ⁻¹ dirv. H ⁻¹)	Dirvožemio mikroorganizmų aktyvumui didinti dėl aminorūgščių turinčių organinių medžiagų	Biologinis
Ph _{kcl} , ph _{cacl2}	Dirvožemių rūgštingumas, maisto medžiagų biologinis ir cheminis prieinamumas	Cheminis
C:n santykis	Integruotas organinės anglies ir organinio azoto balanso indikatorius	Cheminis, biologinis
Vandenyje tirpi anglis (μg g ⁻¹)	Lengvai transformuojamos organinės medžiagos dalis	Cheminis
Vandens poveikiui atsparūs dirvožemio agregatai (proc.)	Vandens filtracija, poringumas, aeracija	Fizikinis
Dirvožemio vandens imlumas (proc.)	Augalų pasisavinamo vandens balansas	Fizikinis
Dirvožemio tankis (g cm ⁻³)	Infiltracija, poringumas ir dirvožemio sutankėjimas	Fizikinis



3.2 pav. Sveiko dirvožemio vertinimo modelio dirvožemio kokybinių rodiklių loginių sąsajų nustatymas (pagal Maaz et al., 2023; paveiksle skirtingomis spalvomis išskirtos dirvožemio kokybinių rodiklių sąsajos: pirmoji (vandenyje tirpi anglis (ctv), CO₂ intensyvumas (CO₂), mineralinio azoto kiekis (nmin) ir dirvožemio vandens imlumo (h₂oiml)), antroji (vandens poveikiui

atsparių agregatų kiekis (agp), dirvožemio ph rodiklis ir suminės dirvožemio organinės anglies kiekis (csum)) ir trečioji (β -gliukozidazė (gliuko) ir β -gliukosaminidazė (gliuka))

Numatyta, kad sdm duomenų bazei sudaryti bus naudojami vdu žemės ūkio akademijos mokslininkų ilgalaikių eksperimentų dirvožemio kokybinių rodiklių duomenys (dalis duomenų detalizuota ir pateikta 5 skyriuje). Duomenų pateikimui, kuriam nebus atitikmenų pagal modeliavimo rodiklių parinktis, bus ieškoma panašių dirvožemio kokybės rodiklius atitinkančių duomenų. Pavyzdžiui, dirvožemio fermentas β -gliukozidazė ilgalaikiuose bandymuose nebuvo vertintas. Tačiau, pagal atitikmenis β -gliukozidazė tiesiogiai koreliuoja su dirvožemio mikroorganizmų biomase (Adetunji et al., 2017), kuri ilgalaikiuose bandymuose buvo nustatoma.

Pateikiame dar vieną sveiko dirvožemio modeliavimo pavyzdį (atliko doc. Dr. Jūratė Aleinikovienė) su rothc 26.3 modeliavimo sistema. Rothc modeliavimo (angl. Rothamsted carbon model; sistema prieinama kiekvienam besidominčiam organinių medžiagų sankaupomis mineraliniuose dirvožemiuose (internetinė svetainė: <http://www.rothamsted.ac.uk/sustainable-soils-and-grassland-systems/rothamsted-carbon-model-rothc>).

Rothc modeliavimo sistema pagrįsta tuo, kad leidžia įvertinti dirvožemio organinės anglies pokyčius mineraliniuose dirvožemiuose. Šios sistemos duomenų bazės sveiko dirvožemio modeliavimo loginė seka sudaryta taip, kad išskirtų organinės anglies pokyčius atitinkamose organinė medžiaga pasipildančiose biomasės frakcijose: 1) dpm (skaidomi augalinės biomasės dariniai), 2) rpm (atsparūs skaidymui augalinės biomasės dariniai), 3) bio (dirvožemio mikroorganizmų biomasė), 4) hum (humuso frakciją sudaranti organinė medžiaga) ir 5) iom (greitai suyrančią, modeliavimo sistema suskirsto automatiškai pagal organinės medžiagos skaidymo konstantas, kurios yra užprogramuotos modeliavimo sistemoje. Modeliavimo sistema sudaryta taip, kad tendencingai nurodytų organinės medžiagos, patekusios ant mineralinio dirvožemio paviršiaus, skaidymosi kryptį (organinė medžiaga \rightarrow CO₂ \rightarrow dirvožemio mikroorganizmų biomasė (mbio) \rightarrow humuso frakcija (hum)). Humuso frakciją sudarantis organinės medžiagos kiekis yra fiksuotas dydis modeliavimo sistemoje, tik CO₂ ir mbio+hum kiekiai skiriasi priklausomai nuo molio dalelių kiekio tiriamuose dirvožemiuose. Mažiau molio dalelių turinčiuose dirvožemiuose, anglies daugiau praranda dėl padidėjusių CO₂ emisijų arba intensyvesnės organinių medžiagų mineralizacijos (Mehra et al., 2019).

Modeliuojant organinės medžiagos pokyčius mineraliniuose dirvožemiuose labai svarbus faktorius yra temperatūra ir dirvožemio drėgmė. Todėl, modeliuojant būtina įvertinti tiriamo dirvožemio granulimetrinę sudėtį, nustatyti mėnesines oro temperatūros ir kritulių vertes, žinoti dirvožemio naudojimo istoriją kiekviename tiriamajame laikotarpyje. Taikant rothc modeliavimo sistemą galima sumodeliuoti organinės anglies sankaupas dėl kintančios žemės naudojimo paskirties (ariamame dirvožemyje, žolynuose ir miško paskirties mineraliniuose dirvožemiuose). Modeliavimo sistemos veikimo principas tas, kad turint konkrečius corg akumuliacijos dirvožemyje duomenis, sistema leidžia palyginti mėnesinį ir metinį corg akumuliacijos intensyvumą su kontroliniais duomenimis, kuomet dirvožemis nėra papildomas jokia organine medžiaga.

Manoma, kad kintant klimatui, keisis grynoji pirminė produkcija ir organinės anglies sankaupos dirvožemyje. Tikimasi, kad grynoji pirminė produkcija visame europos regione padidės (Rötter et al., 2013), tačiau organinės anglies kiekis pasėlių ir žolynų dirvožemiuose keisis priklausomai nuo žemės naudojimo paskirties. Todėl, remiantis vykdyto tyrimo pavyzdžiu, sudarytos modeliavimo matricos ir įvertintas organinė anglies pokytis tiriamuose dirvožemiuose kintančio klimato sąlygomis, modeliavimo matricose įvedant keletą klimato kaitos scenarijų.

Prognozuojant organinės anglies sankaupa mineraliniuose dirvožemiuose nekeičiant klimatinį duomenų, o laikantis paskutinių 10 m. Meteorologinių rodiklių, rothc modeliavimo sistema pateikė preliminarius corg. Sankaupų tirtų dirvožemių humusiniuose horizontuose duomenis (3.4 lentelė). Pastebėtina, kad mineraliniuose dirvožemiuose (šlynžemis ir palvažemis, o ir balkšvažemis) išsiskyrė didžiausiomis corg. Akumuliacijos tendencijomis. Šiuose dirvožemiuose, dėl jų savybių tikėtina, kad

10 metų (2020-2030 m.) Laikotarpyje organinės anglies sankaupos humusiniame iki 20 cm gylio horizonte išliks 42,1 – 51,2 t ha⁻¹.

3.3 lentelė. Klimatinių duomenų įvestys modeliuojant organinės anglies pokyčius daugiamečiuose žolynuose (klimato kaitos scenarijai parinkti pagal thum ir kt. (2020))

Modeliavimo parinktys (scenarijai)	Vidutinis kritulių kiekis birželio-rugsėjo mėn., mm	Vidutinis oro temperatūra birželio-rugsėjo mėn., °C
<i>Scenarijus i*</i>	40 - birželio mėn. 90 - liepos mėn. 16 - rugpjūčio mėn. 80 – rugsėjo mėn.	15,6 - birželio mėn. 17,8 - liepos mėn. 20,3- rugpjūčio mėn. (kaitra) 15,5 – rugsėjo mėn.
<i>Scenarijus ii**</i>	140 - birželio mėn. 190 - liepos mėn. 116 - rugpjūčio mėn. 180 – rugsėjo mėn.	17,6 - birželio mėn. 19,8 - liepos mėn. 22,3- rugpjūčio mėn. 17,5 – rugsėjo mėn.
<i>Scenarijus iii***</i>	90- birželio mėn. 140- liepos mėn. 66- rugpjūčio mėn. 130 – rugsėjo mėn.	21,6 - birželio mėn. 23,8 - liepos mėn. 26,3- rugpjūčio mėn. 21,5 – rugsėjo mėn.

**scenarijus i* – vidutinis kritulių kiekis ir vidutinė oro temperatūra per paskutinius 10 m. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie aplinkos ministerijos duomenys.

***scenarijus ii* - vienos dienos kritulių suma viršija 10 mm ir prognozuojamas vidutinis mėnesio kritulių kiekis iki 100 mm; vidutinės oro temperatūros pokytis 2°C.

****scenarijus iii* - vienos dienos kritulių 5 mm ir prognozuojamas vidutinis mėnesio kritulių kiekis iki 50 mm; vidutinės oro temperatūros pokytis 6 °C.

3.4 lentelė. Organinės anglies sankaupos tirtuose ir kitų autorių aprašytuose dirvožemiuose *rothc* modeliavimo sistema prognozuojant c_{org} sancaupų pokyčius 2020-2030 m.

Dirvožemio tipas	Determinacijos koeficientas r^2	Prognozuojamas organinės anglies kiekis dirvožemiuose, t ha ⁻¹
Karbonatingas šlynžemis	0,3170	43,8 ± 11,2 b
Nepasotintas palvažemis	0,4721	51,2 ± 10,1 b
Nepasotintas balkšvažemis	0,4428	42,1 ± 14,6 ab
Glėjiškas jaurazemis	0,5120	27,6 ± 13,3 a

Nors ir skirtinguose dirvožemiuose prognozuotos organinės anglies sancaupos jaurazemyje, šlynžemyje ir palvažemyje esmingai skyrėsi (3.5 lentelė), determinacijos koeficiento reikšmės kito 32 ir 51 proc. Ribose. Silpnėsnis aplinkos veiksnių poveikis šlynžemyje, bet kiek didesnis kituose dirvožemio tipuose. Tai parodo, kad organinės anglies sancaupos priklauso nuo esamų aplinkos veiksnių ir organinės medžiagos mineralizacijos intensyvumo.

Prognozuojant organinės anglies sancaupų pokyčius tirtuose ir kitų autorių aprašytuose dirvožemiuose, kada numatyti klimatiniai pakitimai (klimato kaitos scenarijus ii ir klimato kaitos scenarijus iii). Pastebėtina, kad esant skirtingiems klimato kaitos pokyčiams, c_{org} kaita nevienareikšmiška visuose dirvožemiuose. Pasirinkus klimato kaitos scenarijų ii (kai vienos dienos kritulių suma viršija 10 mm ir prognozuojamas vidutinis mėnesio kritulių kiekis iki 100 mm; vidutinės oro temperatūros pokytis 2 °C), pagrindinis faktorius galėtų būti intensyvūs krituliai augalų vegetacijos laikotarpiu. Todėl, manytina, kad šlynžemiuose ir jaurazemiuose bus paskatinta c_{org} mineralizacija. Pirmu atveju, šlynžemiuose - dėl intensyvesnio molio dalelių išfrakcionavimo, kitu atveju, tikėtina, kad dėl palankesnio drėgmės režimo geomorfologiškai sausesniuose dirvožemiuose.

Galima būtų prognozuoti, kad 2020-2030 metų laikotarpyje organinės anglies sankaupos tirtų dirvožemių humusiniame horizonte išsilaikys nuo 40,3 – 46,3 t ha⁻¹.

3.5 lentelė. Organinės anglies sankaupos tirtuose ir kitų autorių aprašytuose dirvožemiuose *rothc* modeliavimo sistema prognozuojant c_{org} sankaupų pokyčius 2020-2030 m.

Dirvožemio tipas	Determinacijos koeficientas r^2	Prognozuojamas organinės anglies kiekis dirvožemiuose, t ha ⁻¹
Karbonatingas šlynžemis	0,4250	46,3 ± 12,9 b
Nepasotintas palvažemis	0,3012	40,3 ± 10,1 ab
Nepasotintas balkšvažemis	0,5010	43,5 ± 16,3 ab
Glėjiškas jauražemis	0,6224	21,8 ± 10,7 a

3.6 lentelė. Organinės anglies sankaupos tirtuose ir kitų autorių aprašytuose dirvožemiuose *rothc* modeliavimo sistema prognozuojant c_{org} sankaupų pokyčius 2020-2030 m.

Dirvožemio tipas	Determinacijos koeficientas r^2	Prognozuojamas organinės anglies kiekis dirvožemiuose, t ha ⁻¹
Karbonatingas šlynžemis	0,3220	41,2 ± 12,6 ab
Nepasotintas palvažemis	0,3995	50,2 ± 12,0 b
Nepasotintas balkšvažemis	0,4201	40,1 ± 10,7 ab
Glėjiškas jauražemis	0,4902	25,0 ± 11,3 a

Pasirinkus klimato kaitos scenarijų iii (vienos dienos kritulių suma 5 mm ir prognozuojamas vidutinis mėnesio kritulių kiekis iki 50 mm; vidutinės oro temperatūros pokytis 6 °c), pagrindinis faktorius galėtų būti vidutinės oro temperatūros pokytis ir didesnės kaitros augalų vegetacijos laikotarpiu (3.6 lentelė). Todėl, manytina, kad jauražemiuose bus paskatinta c_{org} mineralizacija. Tuo tarpu, palvažemiuose vėl pastebimas c_{org} akumuliacijos tendencijos. Kita vertus, nors ir pastebimas c_{org} mažėjimo tendencijos šlynžemiuose ir balkšvažemiuose, 2020 - 2030 metų laikotarpyje organinės anglies sankaupos išliktų nesumažėjusios ir svyruotų 40,1 – 41,2 t ha⁻¹ ribose.

Dar 2015 m. Lietuva įsipareigojo europos sąjungos kontekste laikytis vienos iš priemonių, didinančių ne tik organinės anglies sankaupas šalies dirvožemiuose, bet ir anglies dvideginio išsiskyrimą į aplinką, tai yra - išlaikyti turimus daugiamečių žolynų (pievų ir ganyklų) plotus (Lietuvos Respublikos Žemės Ūkio Ministro ..., 2016). Daugelio dirvožemio tyrėjų tyrimų duomenys parodė, kad organinės medžiagos kiekio dirvožemyje didėjimą lemia daugiamečių augalų auginimas (Armolaitis et al., 2013). Kita vertus, yra duomenų, kad ariamąją žemę pavertus žolynais stabdoma dirvožemio erozija, o tinkamai parinkus žolyno augalų sudėtį per metus organinės anglies sankaupos dirvožemyje gali padidėti iki beveik 30 t ha⁻¹ (Debinski et al., 2010). Nustatyta, kad žolynai stabilizuoja antropogeninius ir gamtinius procesus kalvotose vietovėse, reguliuoja aplinkinių teritorijų hidrologinį režimą (Marcinkonis et al., 2015). Miglinių ir pupinių žolių mišiniai gausina dirvožemį biologiniu azotu ir pagerina dirvožemio struktūrą (Šlepetienė et al., 2013). Dėl žolynų antžeminės ir šaknų biomasės liekanų dirvožemyje, ypač ankštinių augalų sąžalynuose, daugiamečiai žolynai tinka dirvožemių konservavimui arba dirvožemio išsaugojimui.

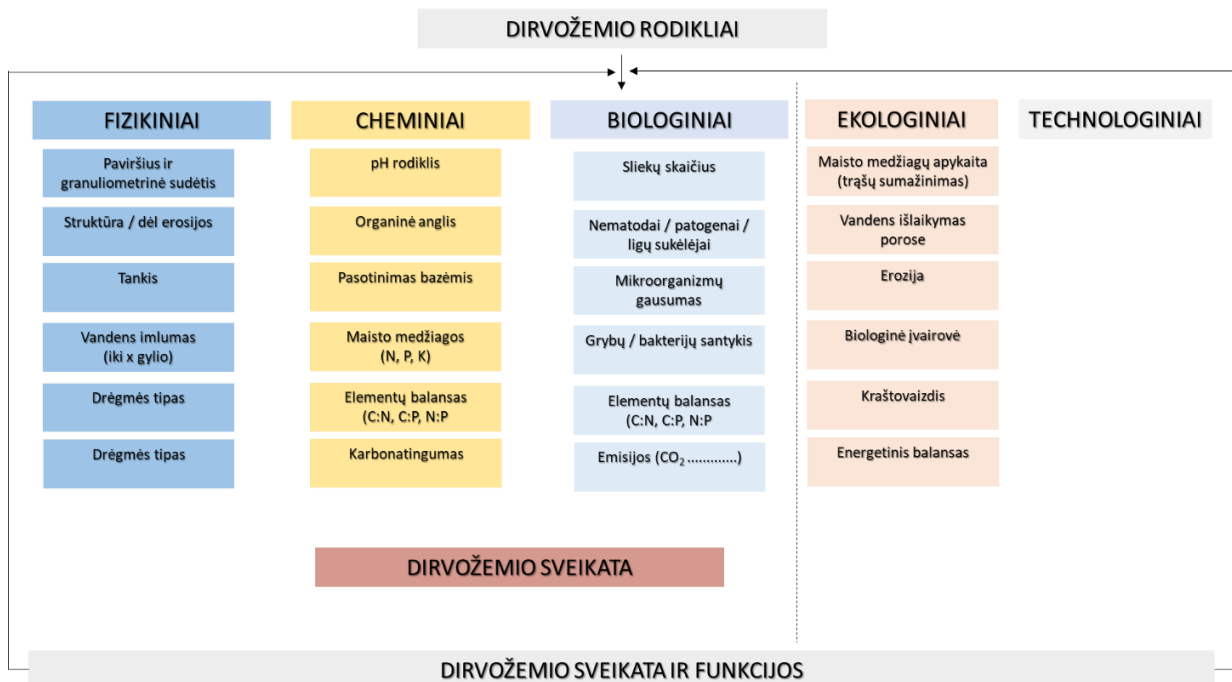
Išvada: lietuvoje nėra visaapimančios dirvožemio apsaugos politikos, tik remiantis moksliniais tyrimais ir turima informacine medžiaga siekiama, kad bet kuri ūkinė veikla kuo mažiau keistų dirvožemių fizikines, chemines ir biologines savybes. Žemės ūkio paskirties dirvožemiuose šių savybių kaita priklauso nuo ūkio gamybos intensyvumo. Todėl, kintantys dirvožemio kokybės rodikliai tiesiogiai veikia dirvožemio ir esamos ekosistemos sveikatą. Rodiklių, kuriais remiantis būtų vertinama dirvožemio sveikata, išskiriama daug. Tačiau, lietuvos sąlygomis išlieka aktualu atsižvelgti į tuos rodiklius, kurie reprezentatyvūs ir pagrįsti ilgalaikių stebėjimų duomenimis (dirvožemio

granulimetrinių dalelių kiekis, dirvožemio struktūra ir agregatų patvarumas, organinių medžiagų ir organinės anglies sankaupos bei humifikacijos intensyvumas, mikroorganizmų gausumas, aktyvumas ir įvairovė). Regeneracinės žemdirbystės praktika gali užtikrinti ilgalaikį dirvožemio sveikatos išsaugojimą bei pelningumą. Naudodamiesi sveiko dirvožemio pelningumo skaičiuokle, žemės naudotojai turės galimybę įvertinti dirvožemio sveikatos gerinančių priemonių aplinkosauginį ir socialinį efektą, bei poveikį ūkio ekonominiams rezultatams. Žemdirbiams bus galimybė įsivertinti ūkinės veiklos (gamybos veiksmų) poveikį: ką augina; ar taiko sėjomainą, ar augina tarpinius pasėlius; kokio derliaus siekia; gyvosios ir negyvosios žemės dangos kiekį jautriausiu periodu; kokias technologijas taiko (neariminis, įprastinis žemės dirbimas) ir kt.

4. DIRVOŽEMIO SVEIKATOS VALDYMO RODIKLIAI IR VERTINIMO MODELIAI

Pastarąjį dešimtmetį dirvožemio sveikatos valdymo modelių buvo sukurta labai daug, tačiau pastebima, kad didžioji dalis dirvožemio sveikatos valdymo modelių nebuvo adaptuoti net europos sąjungos šalių kontekste tik dėl to, jog reikalavimai modelio duomenims yra statistiškai sudėtingi (Maaz et al., 2023). Kita vertus, apskaičiuoti dirvožemio sveikatos indeksą (arba balą) būtina, pirmiausia, susipažinti su specifinėmis tiriamo regiono aplinkos sąlygomis, vykdoma ūkine veikla, taikomomis dirvožemio saugojimo ar sveikatos atstatymo tendencijomis ir t.t. Be to, norint pritaikyti jau sukurtą dirvožemio sveikatos valdymo rodiklių modelio statistinius derinius, turi būti sukaupta pakankama mokslinių tyrimų imtis, kad dirvožemio sveikatos valdymo modelis veiktų patikimai ar jo rezultatai būtų tiksliai interpretuojami (Lehmann et al., 2020). Todėl, Lietuva nėra išimtis ir iki šiol ieško dirvožemio sveikatos valdymo gerosios patirties pavyzdžių ir vis dar bando adaptuoti pavyzdinius dirvožemio sveikatos vertinimo modelius.

Aplinkosauginės vertės. Nors dirvožemio sveikatos valdymo rodiklius galima lengvai suklasifikuoti ir suskirstyti pagal atitinkamus dirvožemio tyrimų parametrus (4.1. Pav.), tačiau, dirvožemio sveikatos valdymo modeliai ne visada lengvai adaptavūs net ir tuomet, kai sukaupta daug ir ilgalaikių dirvožemio tyrimo duomenų. Turimus duomenis sunku (1) integruoti į santykinę atskiro rodiklio dalį bendroje sveikatos vertėje, (2) apskaičiuoti bendrą dirvožemio sveikatos vertinimo indeksą, nes nėra detalių statistinių duomenų funkcinių vertinimo kriterijų, (3) kitais metodais bandoma integruoti svertinę rodiklių sumą arba priskirti specifinius rodiklius suvestinėms dirvožemio funkcijoms. Todėl, nors ir adaptuojant jau esamus dirvožemio sveikatos vertinimo modelius, dirvožemio sveikatos vertinimo rezultatai ne visada gali būti palyginami su kitų tyrėjų duomenimis, o tokius nesuderinamumus modeliuose ir modelių rezultatų interpretacijose pastebi ir kiti tyrėjai (Hurisso et al., 2018; Mueller et al., 2004; Svoray et al., 2015).



4.1 pav. Dirvožemio sveikatos rodiklių bedroji klasifikacija ir sąsajos su dirvožemio funkcionalumu (pagal Maurya et al., 2020)

Dirvožemio sveikatos valdymo modelio integraciniai rodikliai. Vykdamas mtep projektą ir siekiant įgyvendinti numatytus projekto tikslus, 2024 m. Dirvožemio sveikatos valdymo modeliui (toliau tekste dsv modelis) sudaryti buvo pasirinkti šie dirvožemio kokybės rodikliai (4.1 lentelė). Dirvožemio kokybės rodiklių pasirinkimas turėjo atspindėti dirvožemio savybių (fizikinių, cheminių ir biologinių) rodiklių kompleksiskumą. Tačiau, pasirinkimas svarbus ir tam, kad kad dirvožemio savybės būtų vertintos ilgalaikiuose eksperimentuose. Modelį turėtų naudoti žemdirbiai, todėl, modelio parinkčių modeliavimas privalėtų būti kuo paprastesnis ir lengvai suprantamas.

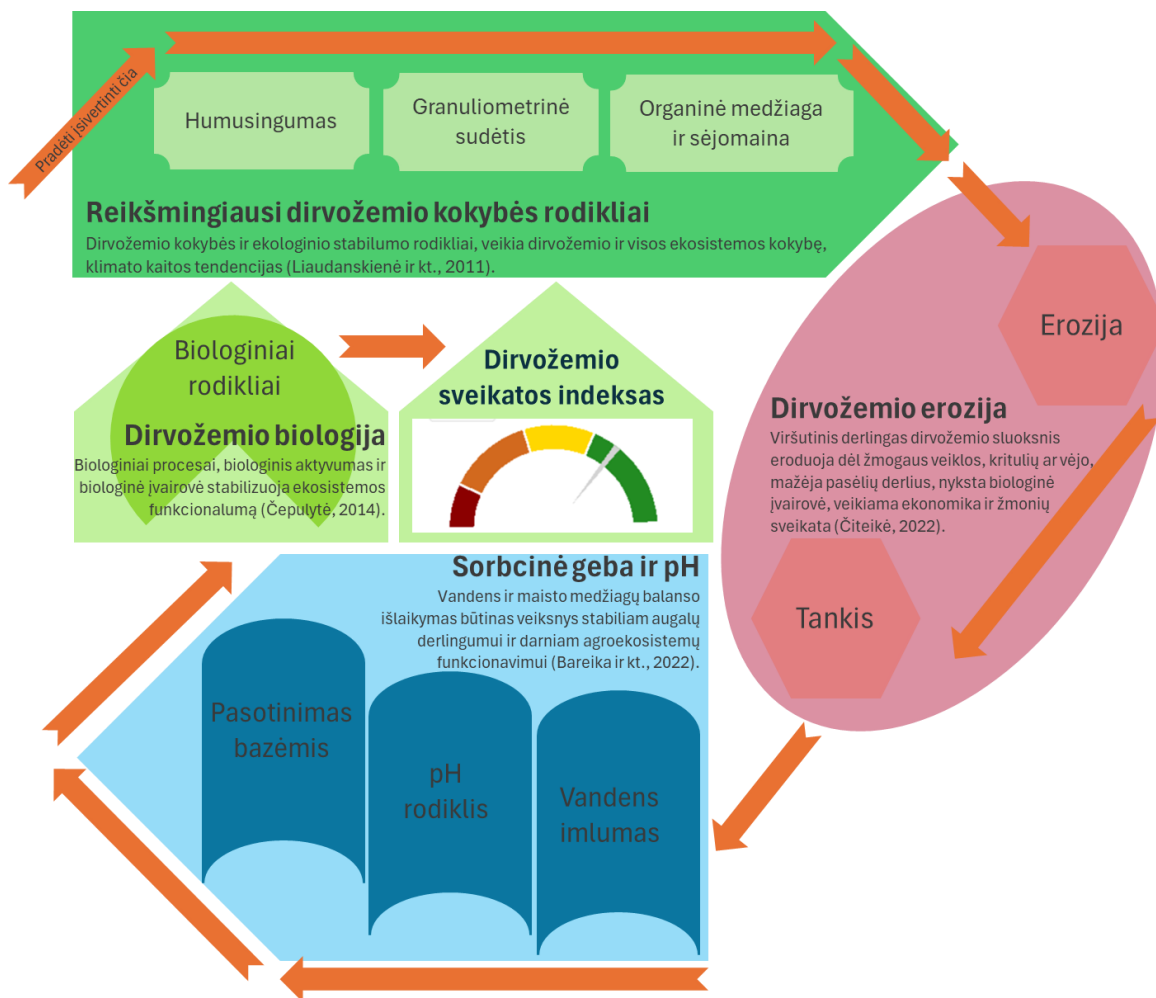
4.1 lentelė. Dirvožemio kokybės rodikliai, pasirinkti dsv modeliui sudaryti (VDU ŽŪA, 2024)

Dirvožemio kokybės rodiklis	Funkcija dirvožemyje	Funkcinis duomenų lygmuo
Humusingumas (proc.)	Organinė dirvožemio dalis, susidaranti dėl augalų ir gyvūnų liekanų biologinio ir biocheminio skaidymo	Cheminis, biologinis
Dirvožemio granulimetrinė sudėtis (proc.)	Dirvožemio mineralinės dalies sudėtis, susijusi su skirtingo dydžio mineralinių dirvožemio dalelių kiekiu sauso dirvožemio ar dirvodarinės uolienos masės vienete	Fizikinis
Organinė medžiaga (proc.)	Svarbiausias sveiko dirvožemio elementas iš kurio formuojasi humusas	Cheminis, biologinis
Erozija (poveikio stiprumas*)	Dirvožemio degradacijos procesas dėl žmogaus veiklos, kritulių ar vėjo, sutankinimo, organinės anglies mažėjimo, biologinės įvairovės nykimo	Fizikinis
Dirvožemio tankis (g cm ⁻³)	Infiltracija, poringumas ir dirvožemio sutankėjimas	Fizikinis
Dirvožemio vandens imlumas (proc.)	Augalų pasisavinamo vandens balansas	Fizikinis

Ph_{kcl} , ph_{cacl2}	Dirvožemių rūgštingumas, maisto medžiagų biologinis ir cheminis prieinamumas	Cheminis
Pasotinimas bazėmis (proc.)	Dirvožemio organinių medžiagų dalelių ir molio dalelių krūvių geba pritraukti teigiamo krūvio maisto elementų jonus arba katijonus	Cheminis
Sliekų gausumas (vnt. M^{-2})	Organinių medžiagų skaidytojai, didina dirvožemio derlingumą, atkuria dirvožemio fizikines, chemines ir biologines savybes	Biologinis
Sliekų biomasė (g)		
Sliekų rūšių gausumas (vnt.)		
Mikroorganizmų gausumas (kfv g^{-1})	Dirvožemio biologinio aktyvumo didinimas, organinių medžiagų skaidymas, maisto medžiagų balansas ir perdavimas augalams	Biologinis
Mikroorganizmų biomasė ($\mu g g^{-1}$)	Dirvožemio biologinio aktyvumo didinimas, organinių medžiagų skaidymas, maisto medžiagų balansas ir perdavimas augalams, dirvožemio fizikinių, cheminių ir biologinių savybių stiprinimas	Biologinis

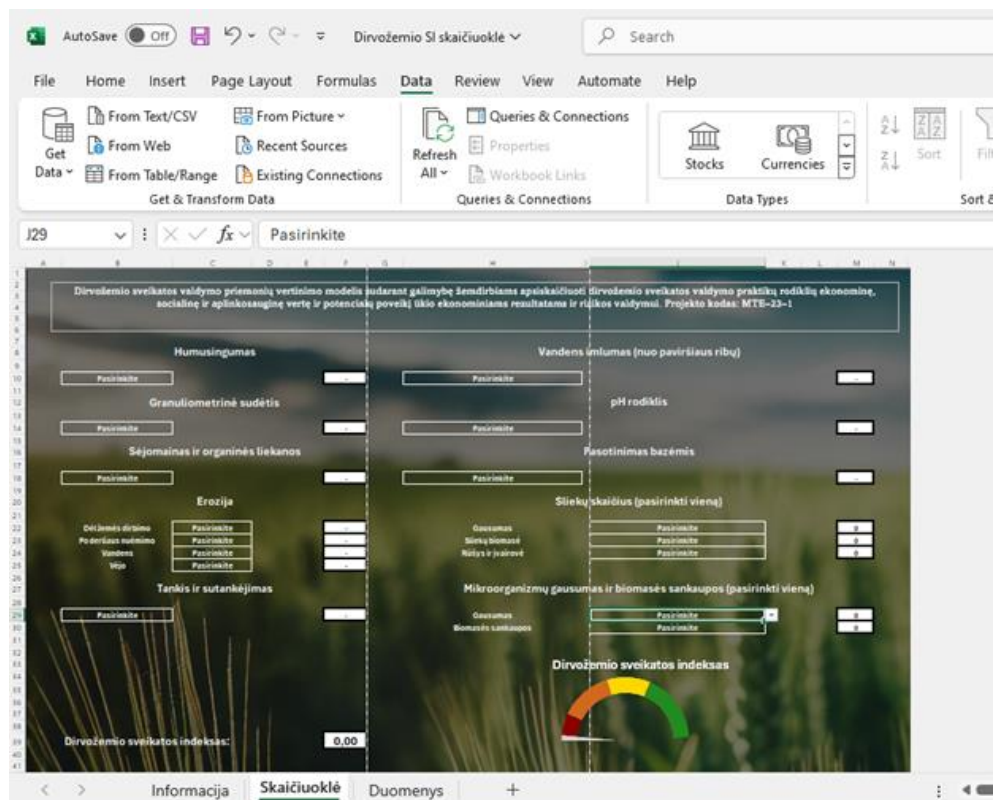
* *erozijos poveikio stiprumo vertinimas* – nepaveikti, vidutiniškai degraduoti ir stipriai nuardyti dirvožemiai.

Dirvožemio sveikatos valdymo modelio sudarymo metodiniai pagrindai. Dirvožemio kokybės rodiklių integracija į dsv modelio vertinimo sistemą pateikta 4.2 paveiksle. Reikia paminėti, kad modelio duomenų įvedimo sistemoje kompleksiskai integruotos keturios pagrindinės dirvožemio kokybės rodiklių duomenų grupės. Pagrindinė reikšmingiausių dirvožemio kokybės rodiklių grupė (dirvožemio humusingumas, granulimetrinė dirvožemio sudėtis ir organinės medžiagos) yra labiausiai lemianti dirvožemio kokybę ir ekologinį dirvožemio stabilumą, veikia ne tik dirvožemio, bet ir visos ekosistemos kokybę, klimato kaitos tendencijas (Liaudanskienė ir kt., 2011). Viršutinis derlingas dirvožemio sluoksnis eroduoja dėl žmogaus veiklos, kritulių ar vėjo, mažėja pasėlių derlius, nyksta biologinė įvairovė, veikiama ekonomika ir žmonių sveikata (Čiteikė, 2022). Todėl, į DSV modelio sistemą integruota dirvožemio degradacijos rodikliai (erozija ir sutankėjimas). Vandens ir maisto medžiagų balanso išlaikymas būtinas veiksnys stabiliam augalų derlingumui ir darniam agroekosistemų funkcionavimui (Bareika ir kt., 2022). Dsv modelyje šią dirvožemio kokybės rodiklių grupę rerezentuoja vandens imlumas, ph rodiklis ir dirvožemio pasotinimas bazėmis. Kadangi biologiniai procesai, biologinis aktyvumas ir biologinė įvairovė stabilizuoja ekosistemos funkcionalumą, biologinius rodiklius modelyje reprezentuoja dirvožemyje pasklidusių sliekų gausumas, biomasė arba rūšinė įvairovė bei dirvožemio mikroorganizmų gausumas ar biomasės sancaupos (Čepulytė, 2014).



4.2 pav. Dirvožemio kokybės rodiklių integracijos sistema dirvožemio sveikatos valdymo modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dsv modelio sistema sukonfigūruota ms excel programoje (4.3. Pav.), kurioje papildomai pateikiama informacija apie dirvožemio kokybės rodiklius ir jų parametrus bei sveikatos vertinimo svertines vertes (žiūrėti informaciją nuo 4.2 lentelės iki 4.11 lentelės).



4.3 pav. Dirvožemio sveikatos valdymo modelio dirvožemio kokybės rodiklių pasirinkimų langas ms excel faile (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

https://vduedu-my.sharepoint.com/personal/justinas_blazukas_vdu_lt/_layouts/15/download.aspx?share=EUqmw_gFqDZEqt94K_Ep6-8BjvsucYgGAnL-1eIXBnmFUg

4.2 lentelė. Dirvožemio humusingumo severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemis pagal humusingumą	Proc.	Svertinės vertės modelyje
Labai mažo humusingumo	≤ 0,5	1
Mažo humusingumo	0,51 – 3,0	2
Vidutinio humusingumo	3,01 – 4,0	3
Humusingi	4,01 – 6,0	4
Didelio humusingumo	≥ 6,0	5

4.3 lentelė. Dirvožemio granulimetrinės sudėties severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemis pagal granulimetrinę sudėtį	Svertinės vertės modelyje
Smėlis	0,5
Priesmėlis	1,0
Priemolis (lengvas)	2,5
Priemolis (vidutinio sunkumo)	3,0
Priemolis (sunkus)	3,5
Molis (smėlingas)	4,0
Molis (dulkiškas)	4,5
Molis	5,0

* klasifikacija pagal LR teritorijos dirvožemio erdvinį duomenų rinkinio specifikaciją (LR Žemės Ūkio Ministro įsakymas, 2024 m. Sausio 19 d. Nr. 3d-42).

4.4 lentelė. Dirvožemio organinės medžiagos ir sėjomainos poveikis dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio organinė medžiaga ir sėjomaina	Svertinės vertės modelyje
<i>Tradicinis žemės dirbimas, 2-3 augalai sėjomainoje</i>	0,15
<i>Tradicinis žemės dirbimas, 4-6 augalai ir daugiametės žolės sėjomainoje i metus</i>	0,20
<i>Seklus arimas, 4-6 augalai sėjomainoje, mulčiavimas ir daugiametės žolės sėjomainoje i metus</i>	0,25
<i>Tiesioginė sėja, diskinis purenimas rudenį, 6 ir daugiau augalų su daugiametėmis žolėmis iki 2 metų sėjomainoje, mulčiavimas</i>	0,30
<i>Tiesioginė sėja, diskinis purenimas pavasarį, 6 ir daugiau augalų su daugiametėmis žolėmis iki 2 metų sėjomainoje, mulčiavimas ir padengimas tarpiniais</i>	0,35

* *dirvožemio organinės medžiagos kiekis* dirvožemio paviršiuje po tradicinio žemės dirbimo palieka mažiau nei 15 proc. Organinės biomasės, bearimėje technologijoje – 30-36 proc. (pagal Choudhary et al., 2018). Yra galimybė integruoti humuso balanso skaičiuoklę.

4.5 lentelė. Dirvožemio erozijos poveikis dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio erozijos priežastys	Svertinės vertės modelyje		
	Nepaveikta	Vidutiniškai paveikta	Paveikta stipriai
<i>Dėl žemės dirbimo</i>	1	-0,1	0
<i>Po derliaus nuėmimo</i>	1	-0,2	0
<i>Vandens erozija</i>	1	-0,1	0
<i>Vėjo erozija</i>	1	-0,2	0

* *erozija dėl žemės dirbimo* – vyrauja dėl organinės medžiagos praradimo tradicinio žemės dirbimo praktikose (2-3 augalai sėjomainoje); *erozija po derliaus nuėmimo* - vyrauja dėl organinės medžiagos praradimo tradicinio žemės dirbimo praktikose (2-3 augalai sėjomainoje), dirvožemis nepadengtas augalais ≥ 2 mėnesius; *vandens erozija* - vyrauja dėl organinės medžiagos praradimo ir dirvožemio menko struktingumo, kai matomi nuplauto dirvožemio šliužės > negu 20 proc. Pasėlio plote; *vėjo erozija* - dėl organinės medžiagos praradimo ir dirvožemio menko struktingumo, dirvožemio dulkių frakcijos pustyimo > negu 20 proc. Pasėlio plote (pagal Chappell et al., 2019).

4.6 lentelė. Dirvožemio sutankėjimo arba tankio dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio tankis, G cm⁻³	Iki 1,2	1,21 – 1,3	1,4 ir daugiau
	Svertinės vertės modelyje		
	0,095	-0,163	-0,385

4.7 lentelė. Dirvožemio gebos išlaikyti vandenį reikšmė dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio geba išlaikyti vandenį, gylis cm	Nefiksuota	Iki 5 cm nuo dirvožemio paviršiaus	5,1 - 10 cm nuo dirvožemio paviršiaus	10,1 - 15 cm ir giliau
	Svertinės vertės modelyje			
	-0,551	0,142	0,273	0,682

4.8 lentelė. Dirvožemio pH rodiklio reikšmė dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio pH rodiklis	Svertinės vertės modelyje
<i>Labai rūgštūs (4,5 ir mažiau)</i>	0,010
<i>Vidutiniškai rūgštūs (4,5-5,0)</i>	0,081
<i>Mažai rūgštūs (5,1-5,5)</i>	0,087
<i>Rūgštoki (5,6-6,0)</i>	0,844

<i>Neutraloki, artimi neutraliems (6,1 ir daugiau)</i>		0,163
--	--	-------

4.9 lentelė. Dirvožemio pasotrinimo bazėmis reikšmė dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio pasotrinimas bazėmis	Svertinės vertės modelyje
<i>Pasotinti bazėmis (>50 proc.)</i>	0,491
<i>Nepasotinti (<50 proc.)</i>	0,082
<i>Nepasotinti ir paveikti cheminės erozijos*</i>	-0,042

* *dirvožemio cheminė erozija* vyrauja dėl dirvožemio rūgštėjimo, nesubalansuoto cheminių trąšų ir pesticidų naudojimo (mockeviciene et al., 2024).

4.10 lentelė. Sliekų gausumo, biomasės ir rūšių skaičiaus reikšmė dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (vdu žūa mtep projekto vykdytojų grupė, 2024)

Sliekų gausumas, biomasė ir rūšių skaičius dirvožemyje	Menkas	Vidutinis	Geras	Labai geras
	≤ 1	2-4	5-7	≥ 8
Svertinės vertės modelyje				
<i>Sliekų gausumas (vnt.)*</i>	0,010	0,085	0,103	0,308
<i>Sliekų biomasė (g)*</i>	0,010	0,010	0,079	0,079
<i>Sliekų rūšių skaičius (vnt.)*</i>	0,010	0,010	0,103	0,103

* *sliekų gausumo, biomasės ir rūšių skaičiaus dirvožemyje* severtinės vertės modelyje adaptuotos pagal Meitasari et al., 2024.

4.11 lentelė. Sliekų gausumo, biomasės ir rūšių skaičiaus reikšmė dirvožemio kokybei severtinės vertės modelyje (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Dirvožemio mikroorganizmų gausumas ir biomasės sankaupa	Nefiksuota, bet menkas	Gausumas ir aktyvumas iki 5 cm gylio	Gausumas ir aktyvumas iki 10 cm gylio	Gausumas ir aktyvumas ≥ 15 cm gylyje
Svertinės vertės modelyje				
<i>Mikroorganizmų gausumas (kfv g⁻¹)*</i>	0,103	0,103	0,113	0,304
<i>Mikroorganizmų biomasės sankaupa (μg g⁻¹)*</i>	0,103	0,103	0,304	0,340

* *dirvožemio mikroorganizmų gausumo ir biomasės sankaupų* severtinės vertės modelyje adaptuotos pagal Meitasari et al., 2024.

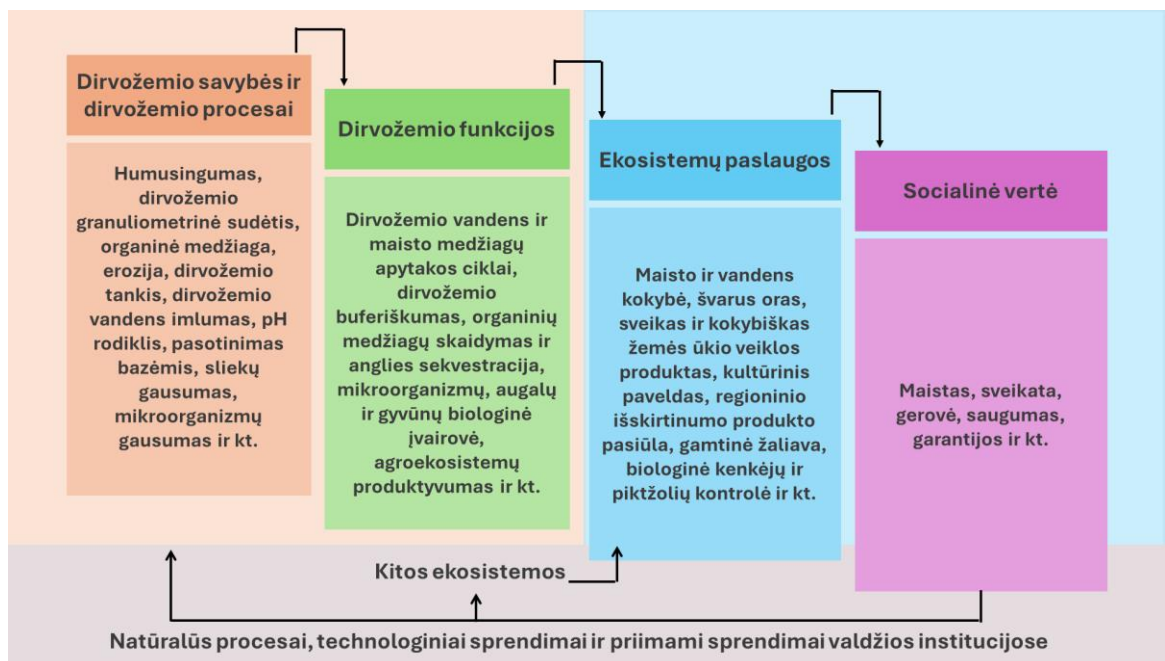
Dirvožemio sveikatos indeksas. Suvedus pasirinktus dirvožemio kokybinių rodiklių duomenis, dsv modelis įvertina dirvožemio sveikatos indeksą (4.2. Pav.). Dirvožemio sveikatos indekso klasifikacijos informacija pateikiama 4.12 lentelėje.

4.12 lentelė. Dirvožemio sveikatos indekso klasifikacija (VDU ŽŪA MTEP projekto vykdytojų grupė, 2024)

Eil. Nr.	Dirvožemio sveikatos indekso klasifikacija	Dirvožemio sveikatos indekso vertės
1	Labai geras	8,0 – 12,0
2	Geras	6,0 – 7,9
3	Vidutiniškas	3,9 – 5,9
4	Žemas	2,5 – 3,8
5	Labai žemas	0,0 – 2,4

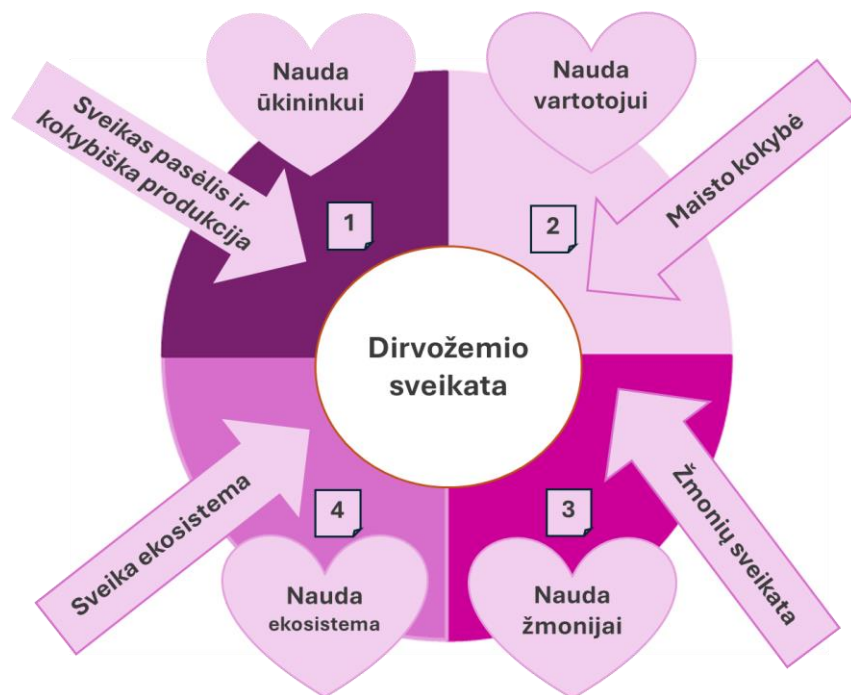
Naudodami dsv modelį kaip įrankį, žemdirbiai įsivertins savo taikomas praktikas ir nusistatys savo dirvožemių sveikatos indeksą. Matydami, kad dirvožemio sveikatos indeksas nesiekia vidutinės vertės, žemdirbiai būtų suinteresuoti ieškoti ūkininkavimo technologijų, gerinančių dirvožemio kokybinių rodiklių vertes ir didinančių dirvožemių sveikatos indeksą.

Socialinės vertės. Lietuvai svarbus ir socialinis sveiko dirvožemio aspektas (atitinka misijos tikslą: didinti visuomenės sveiko dirvožemio pažinimą visose valstybėse narėse). Todėl, dirvožemio sveikatos vertinimo įrankis, žemės naudotojams suteiks galimybę ne tik įsivertinti dirvožemio sveikatos aplinkosauginį efektą, bet ir leis stebėti dirvožemio kokybės pokyčių poveikį socialiniams veiksniams. Pastebima, kad socialinės vertės rodikliai priklauso ne tik nuo sveiko dirvožemio verčių, bet ir dirvožemio kokybiniai rodikliai glaudžiai siejami su geros socialinės vertės rodikliais (4.4. Pav.). Moksliniuose šaltiniuose konstatuojama, kad dėl dirvožemio sveikatos būklės gali pakisti socialinių verčių rodikliai, tačiau, dėl žemės ūkio sektoriaus išlieka nestabiliai kintančios *maisto tiekimo grandinės* (Macias, 2008). Tačiau, išlaikant geros ir labai geros sveikatos būklės dirvožemius, stabilizuojant dirvožemyje vykstančius procesus taip, kad nenutrūkstamas kiekis ir įvairesnės produkcijos pasiūla būtų tiekama, sustiprintų žemdirbių padėtį maisto tiekimo grandinėje (Alix-Garcia et al., 2018).



4.4 pav. Dirvožemio kokybės rodiklių, ekosistemų paslaugų ir socialinė integracija (parengta pagal Keesstra et al., 2024)

Nuo dirvožemio kokybės ir sveikatos būklės priklauso ir *žmonių sveikata* (Al-emran, 2023). Visos pagrindinės augalų maistinės medžiagos yra pasisavinamos iš dirvožemio, todėl, maksimalus ir savalaikis maisto medžiagų akumuliacija lemia tiek augalinio, tiek ir gyvūninio maisto kokybę (4.5. Pav.). Lietuvoje, ilgą laiką maisto kokybę mažino nesubalansuotas pasėlių tręšimas mineraliniu azotu. Kita vertus, įgyvendinant žaliojo kurso tikslus, pasėlių žalinimas bei alternatyvių visaverčių kompleksinių trąšų naudojimas, leidžia optimizuoti ir pagerinti dirvožemio sveikatą, todėl mažėja dirvožemio pertręšimo rizika ir gerinama sveikatos būklė ekosisteminiu lygmeniu. Gera dirvožemio sveikata reikalinga maisto kokybei, maisto ir mitybos saugumui užtikrinti.



4.5 pav. Dirvožemio sveikatos naudingumo lygmenys ir socialinė integracija (parengta pagal Thomas, Krishnakumar, 2024)

Socialinė gerovė per estetinius ir rekreacinius elementus. Tai galėtų būti tikslinga, jei jūsų projektas tiesiogiai skatintų tam tikrų augalų, kurie turi estetinę vertę ir pritraukia lankytojus (pvz., saulėgražos), auginimą kaip dalį dirvožemio sveikatos priemonių. Jei projektas apima rekomendacijas ar skatinimą auginti estetiškai patrauklius augalus, siekiant pagerinti bendruomenės rekreacines galimybes, tada tai prisidėtų prie socialinės gerovės.

Ekologinis ir sveikatos naudos skatinimas. Šis aspektas yra glaudžiai susijęs su jūsų projektu. Kadangi siekiama gerinti dirvožemio sveikatą, sumažinant trąšų ir pesticidų naudojimą, šis aspektas natūraliai prisideda prie geresnės maisto kokybės ir sveikatos naudos, kurios yra socialinės gerovės dalis.

Psichologinė gerovė ir socialinė integracija. Psichologinė gerovė gali būti socialinės gerovės dalis, jei projektas apima priemones, kurios ne tik pagerina dirvožemio kokybę, bet ir kuria aplinką, kurioje žmonės gali mėgautis gamta. Tai būtų prasminga, jei projekte būtų numatyti socialiniai renginiai ar veiklos, pvz., bendruomeniniai susitikimai ar edukaciniai seminarai apie dirvožemio sveikatą.

Edukacinės ir kultūrinės naudos. Šis aspektas puikiai dera su projektu, nes socialinė vertė čia kyla iš visuomenės sąmoningumo didinimo apie tvarią žemdirbystę ir dirvožemio sveikatą. Įgyvendinant edukacinius komponentus, galima tiesiogiai įtraukti vietos gyventojus ir jaunuolius į dirvožemio sveikatos veiklas, kas prisideda prie ilgalaikės socialinės gerovės.

Biologinės įvairovės skatinimas ir sąmoningumo didinimas. Jei projekto priemonėse akcentuojama vietos biologinė įvairovė ir bendruomenės informavimas apie dirvožemio sveikatos ryšį su biologine įvairove, tai taptų prasminga socialinės gerovės dalimi. Bendruomenė, kuri supranta aplinkosaugos vertę, tampa labiau įsitraukusi į ekologijos palaikymą.

Ekonominės galimybės ir bendruomenės įtraukimas. Jei projekto veiklos kuria papildomas ekonomines galimybes vietos gyventojams (pvz., per renginius ar ūkininkavimo gerinimą, kuris pritrauktų turistus ar skatintų vietos produktų pardavimą), tai prisideda prie socialinės ir ekonominės gerovės. Šis aspektas labiausiai tinka, jei projekte akcentuojama bendruomenės ekonominės naudos ir dirvožemio sveikatos sąsaja.

Pagrindinės socialinės vertės mūsų projektui būtų:

- ekologinis ir sveikatos naudos skatinimas,
- edukacinės ir kultūrinės naudos

- biologinės įvairovės skatinimas.

Šie aspektai yra tiesiogiai susiję su jūsų projekto tikslais ir prisideda prie socialinės gerovės didinimo. Kiti aspektai (estetinė vertė, psichologinė gerovė, ekonominės galimybės) galėtų būti pridedami kaip papildoma nauda, jei projektas apimtų tokias veiklas ir skatintų estetiškai patrauklius augalus ar ekonominį bendruomenės įsitraukimą.

Dirvožemio kokybę gerinančių priemonių ekonominis vertinimas

Dirvožemio kokybę gerinančių priemonių ekonominis vertinimas metodika

Technologiniai sprendimai lemia veiksnius, kurie turi įtakos ūkio ekonominiams rezultatams:

1. Investicijų dydis – tai įrangos, reikalingos technologijos veikimui, vertė.
2. Technologijos eksploatavimo sąnaudos per visą projektinį įrangos naudojimo laikotarpį (pvz., trąšų, augalų apsaugos priemonių, elektros energijos, degalų sąnaudos, įrangos priežiūra).
3. Darbo sąnaudos – darbuotojų darbo laikas ir susijusios išlaidos.
4. Derlingumas – kiek produkcijos pagaminama iš vieno ha.
5. Gautos produkcijos vertė per projektinį įrangos eksploatavimo laikotarpį.

Dirvožemio kokybę gerinančių priemonių ekonominio vertinimo metodika priklauso nuo:

1. Pilnai diegiama nauja dirvožemį gerinanti technologija. Tai gali būti visiškai naujos veiklos pradžia arba esamos veiklos plėtra, kai senoji technologija keičiama nauja, modernesne. Pavyzdžiui, keičiama technika ir įrangą, kuri darys didesnę teigiamą poveikį dirvožemio kokybei. Pasirenkant technologiją svarbu nustatyti, kuri iš technologijų yra tvari ilgalaikėje perspektyvoje, kokia investicijų, į dirvožemio dirbimo technologiją, finansinė grąža.
2. Esamos technologijos pritaikymas. Esama technologija nėra visiškai keičiama, tačiau atliekami daliniai patobulinimai, kurie užtikrina, kad ji atitiktų aukštesnius aplinkosauginius reikalavimus. Šiuo atveju, papildomų investicijų gali neprireikti, arba jos santykinai nėra didelės, tačiau atlikti pakeitimai gali turėti įtakos ūkio pajamoms ir augalininkystės produkcijos savikainai. Analizuojant technologijos patobulinimo ekonominį efektą, turi būti nustatomas jos poveikis papildomoms investicijoms, pardavimo pajamoms, produkcijos savikainai, apskaičiuojamas ir vertinamas pelno ir investicijų grąžos rodiklių pokytis.

Javų ir rapsų dirvos dirbimo technologijų vertinimo principai

Pilnai diegiamų naujų augalininkystės technologijų ekonominiam vertinimui rekomenduojama skaičiuoti tokius **rodiklius**:

1. Pelno marža (Pm). Apskaičiuojama, kaip pajamų (P) ir produkcijos savikainos (S) skirtumas:

$$Pm = P - S.$$

Pajamos skaičiuojamos, kaip pagamintas produkcijos kiekio ir produkcijos kainos sandauga. Į pajamas, taip pat, įskaičiuojamos valstybės mokamos kompensacinės išmokos. Produkcijos savikaina skaičiuojama tik iš tiesioginių sąnaudų, neįskaičiuojant ilgalaikio turto nusidėvėjimo, bendrųjų ir administracinių ir finansinės veiklos sąnaudų.

2. Apskaičiuojamas pardavimų pelningumas Pp :

$$Pp = \frac{Pm}{P}.$$

3. Investicijų atsipirkimo trukmė (IAT). Investicijų atsipirkimo trukmė skaičiuojama iš prognozuojamo pinigų srauto per investicijų naudojimo laikotarpį. Investicijų atsipirkimo trukmė gali būti skaičiuojama iš nediskuotų ir diskuotų pinigų srauto. Skaičiuojant

atsipirkimo trukmę iš diskontuotų pinigų srautų įvertinami kapitalo kaštai. Abiem atvejais rodiklis paskaičiuojamas tokiu būdu (skiriasi tik PS_i dydis, vienu atveju diskontuotas, kitu – ne):

$$IAT_p = \frac{I_0}{\sum_{i=1}^n PS_i},$$

čia: I_0 – investicijų vertė, Eur; n – metų, kuriems yra sudaromos pinigų srautų prognozė, skaičius; i – metų indeksas; PS_i – i -ųjų metų pinigų srautas.

Atskirų metų (i) pinigų srautas apskaičiuojamas, kaip pelno mažos Pm_i ir ilgalaikio turto planuojamo naudoti augalininkystės veikloje nusidėvėjimo sąnaudų N_i suma, atimant planuojamų investicijų vertę (I_i), jei prognozuojamu laikotarpiu reikalingos palaikomosios investicijos:

$$PS_i = Pm_i + N_i - I_i.$$

4. Vidinė gražos norma (VGN). Kaip ir nustatant atsipirkimo trukmę, vidinė gražos norma yra skaičiuojama iš prognozuojamo pinigų srauto per investicijų naudojimo laikotarpį. Paprastai skaičiuojama iš nediskontuoto pinigų srauto ir lyginama su kapitalo kaštais, pvz., paskolų palūkanų norma. VGN apskaičiuojamas pagal formulę:

$$0 = \sum_{i=1}^n \frac{PS_i}{(1+VGN)^i} - I_0.$$

Esamos technologijos pritaikymo atveju, gali būti skaičiuojami tie patys rodikliai ir vertinamas jų pokytis, palyginus naudojamą technologiją (N_s) su patobulinta (N_n):

1. Nustatoma įtaka pelno maržai (ΔPm). Apskaičiuojami pajamų (ΔP) ir produkcijos savikainos (ΔS) pokyčiai:

$$\Delta Pm = \Delta P - \Delta S.$$

2. Apskaičiuojamas pardavimų pelningumo pokytis ΔPp :

$$\Delta Pp = \frac{\Delta Pm}{\Delta P}.$$

3. Nustatoma technologijos keitimo įtaka investicijų atsipirkimo trukmei (ΔIAT). Apskaičiuojama investicijų atsipirkimo trukmė, kaip ir pilnai diegiamos naujos technologijos atveju. Skaičiavimai atliekami dviem atvejais, jei: 1) diegiami technologijos patobulinimai (IAT_n); 2) patobulinimai nėra diegiami (IAT_s) ir apskaičiuojamas pokytis:

$$\Delta IAT = IAT_n - IAT_s.$$

4. Nustatoma technologijos keitimo įtaka vidinei gražos normai (ΔVGN):

$$\Delta VGN = VGN_n - VGN_s.$$

Technologijų vertinimo kriterijai pateikti 4.13 lentelėje.

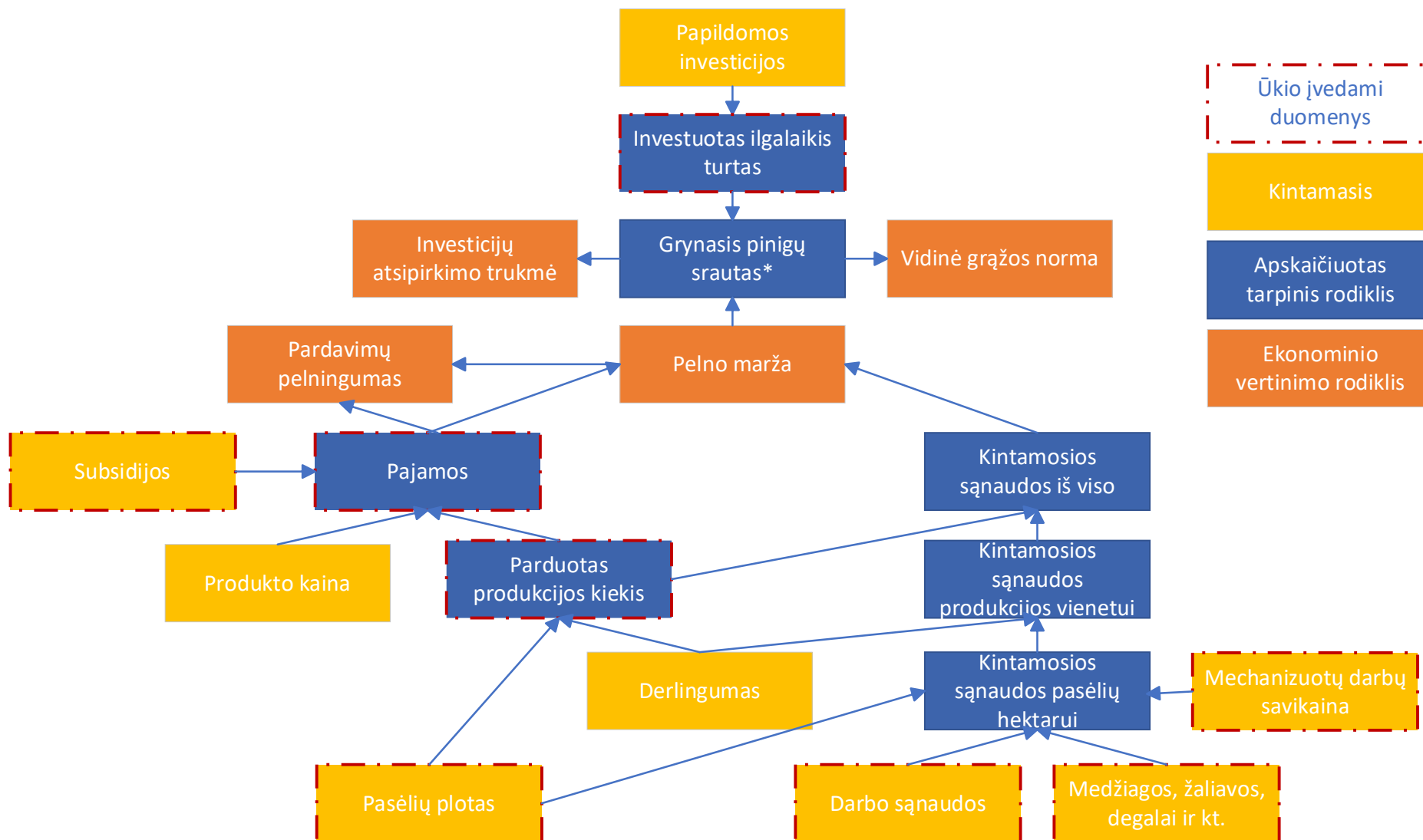
4.13 lentelė. Dirvos dirbimo technologijų ekonominio vertinimo rodikliai ir kriterijai

Rodiklis	Pasirinkimo kriterijus	Pilnai diegiama nauja technologija	Esamos technologijos pritaikymas
Pelno marža (Pm) Eur	Didžiausia reikšmė	Pm	ΔPm
Investicijų atsipirkimo trukmė (IAT) metais	Mažiausia reikšmė	IAT	ΔIAT
Vidinė gražos norma (VGN) proc.	Didžiausia reikšmė	VGN	ΔVGN
Pardavimų pelningumas	Didžiausia reikšmė	Pp	ΔPp

Be minėtų rodiklių, technologijų vertinimui gali būti naudojami kiti gamybiniai ir finansiniai rodikliai. Rengiant galimybių studiją, verslo planą, modeliuojant ir prognozuojant ūkio rezultatus konkrečiau ūkio atveju, papildomai galima naudoti finansinę analizę, apskaičiuojant įvairius pelningumo, mokumo ir kitus rodiklius. Šiems rodikliams apskaičiuoti reikia turėti faktinius ūkio duomenis, ūkio finansines ataskaitas, taip pat jų prognozes, kuriose atspindėtų naujos technologijos diegimo efektai.

Ekonominiams rodikliams paskaičiuoti reikalingi duomenys ir jų tarpusavio ryšys

Reikalingų duomenų, ekonominiams rodikliams paskaičiuoti, principinė schema pateikta 4.6 pav. Schemoje pateikti kintamieji, kuriems daro įtaką diegiami technologiniai sprendimai. Pradinės šių kintamųjų reikšmės gaunamos naudojant normatyvinius (vidutinius) dydžius, arba, jei norima nustatyti technologinio sprendimo ekonominį poveikį konkrečiame ūkyje, turi būti naudojami (skaičiuoklėje įvesti) ūkio duomenys. Įvedami duomenys apibrėžti raudona punktyrine linija. Įvesti ūkio kintamieji, arba rezultatai, iš kurių paskaičiuojami kintamieji, atitinka jų pradinę būklę, kuri įdiegus technologinį sprendimą gali kisti. Pažymėtina, kad schemoje nėra pateikti veiksniai darantys įtaką kintamiesiems.



4.6 pav. Ekonominių rodiklių nustatymo loginė schema

Investicijų į dirvožemio kokybę gerinančių priemonių ekonominio vertinimo skaičiuoklė

Parengtoje skaičiuoklėje, kiekvienas ūkis gali įsivertinti investicijų į dirvožemio kokybę gerinančių priemonių ekonominį naudingumą.

https://vduedu-my.sharepoint.com/personal/justinas_blazukas_vdu_lt/_layouts/15/download.aspx?share=EUqmw_gFqDZEqt94K_Ep6-8BjvsucYgGAnL-1eIXBnmFUg

Skaičiuoklė pradžioje (lapas „Ūkio duomenys“), reikia atsakyti į klausimus. Pirmas klausimas (4.7 pav.) skirtas nustatyti, ar ūkis šiaudus palieka lauke ar išveža. Remiantis atliktais VDU ŽUA atliktų bandymų rezultatais, paliktos atliekos ir šiaudai didina pasėlių derlingumą, pvz., kviečių derlingumas didėjo vidutiniškai 0,31 t/ha, miežių – 0,2 t/ha (priedo Nr. 1, 1-3 lentelės). Priklausomai nuo pateikto atsakymo bus įvertintas galimas derlingumo padidėjimas.

1. Atsakykite į klausimus:

1.1.	Šiuo metu ūkyje augalinės atliekos, įskaitant šiaudus, paliekamos lauke	Ne
1.2.	Ateityje ūkyje augalinės atliekos, įskaitant šiaudus, bus paliekamos lauke	Taip

4.7 pav. Klausimas skirtas nustatyti, ar ūkis šiaudus palieka lauke, ar juos išveža.

Toliau, siekiant įvertinti atliktas investicijas ir planuojamas investicijas į javų ir rapsų auginimą, įvedamos jų vertės (4.8 pav.)

2. Turimos ir planuojamos investicijos javams ir rapsams auginti

2.1.	Žemės ūkio mašinų ir įrenginių, naudojamų javams ir rapsams, balansinė vertė, Eur	125000
2.2.	Papildomų investicijų poreikis, siekiant taikyti naujas technologijas, Eur	500000

Apskaičiuotas investicijų poreikis 2.3. veiklai vykdyti (pradedant veiklą nuo "nulio"), Eur	965600
---	--------

4.8 pav. Duomenys apie investicijų vertę.

Langeliai skirti įvesti atliktas ir planuojamas investicijas. Remiantis šia informacija bus paskaičiuoti ekonominiai rodikliai projektui (naujoms investicijoms) ir bendrai atliktoms investicijoms į javų ir rapsų auginimą. Žemiau, pateikiama informacinio pobūdžio duomenys apie investicijų poreikį, jei veikla ūkyje būtų pradėta nuo pradžių. Investicijų poreikio vertė apskaičiuojama remiantis informacija, kuri įvedama 4 punkte „JAVŲ IR RAPSŲ PLOTAI, DERLINGUMAS, PAJAMOS, SAŃAUDOS IR PELNAS“ (4.9 pav.).

Eil. Nr.	Žemės ūkio augalų grupė	Produktas	Taikoma dirvos dirbimo technologija	Planuojama dirvos dirbimo technologija	Plotas ha	Vidutinis derlingumas ūkyje t/ha
1	Žieminiai javai	Kviečiai	Gilus arimas (GA)	Tiesioginė sėja (TS)	100	6
2	Vasariniai javai	Miežiai	Gilus arimas (GA)	Tiesioginė sėja (TS)	100	5
3	Žieminiai rapsai	Rapsai	Gilus arimas (GA)	Tarpiniai pasėliai (TP)	30	3,5
4	Vasariniai rapsai	Rapsai	Gilus arimas (GA)	Tiesioginė sėja (TS)	30	1,5

4.9 pav. Lentelės „Javų ir rapsų plotai, derlingumas, pajamos, sąnaudos ir pelnas“ iškarpa.

Joje yra suvedami ūkio pasėliai, nurodant produkto pavadinimą, naudojamą ir planuojamą taikyti dirvos dirbimo technologiją, įvedami pasėlių plotai, derlingumas, pardavimo kainos ir išlaidos vienam hektarui. Išlaidos vienam hektarui yra skaičiuojamos tik iš tiesioginių kintamųjų sąnaudų – mechanizuotų darbų atlikimo sąnaudų (darbo užmokestis, degalai ir tepalai, technikos remonto išlaidos), sunaudojamų medžiagų ir gaunamų paslaugų (trąšos ir augalų apsaugos priemonės, valymas ir džiovinimas, sėkla). Lentelėje apskaičiuojami pajamų, sąnaudų, pelno maržos pokyčiai. Iš kurių vėliau skaičiuojami investicijų gražos rodikliai – vidinė gražos norma ir investicijų atsipirkimo trukmė. Pažymėtina, kad skaičiuoklėje priklausomai nuo įvesto bendro pasėlių ploto parenkamos atitinkamo našumo žemės ūkio technika, traktorius ir javų kombainas, skaičiuojamos išlaidos mechanizuotiems darbams atlikti.

Pabaigoje pateikiami paskaičiuoti investicijų gražos rodikliai (4.10 pav.):

1. Planuojamoms investicijoms.
2. Visoms investicijoms, t.y. jau atliktoms ir planuojamoms.
3. Investicijoms, jei ūkis ruoštųsi auginti javus ir rapsus, apimtimi, kuri įvesta 4 punkto lentelėje.

Apskaičiuoti pinigų srautai pradinių investicijų, pagrindu						
Metai	0	1	2	3	4	5
Pinigų srautas		204617	204617	204617	204617	204617
Investicijos	-965600					
Pinigų srautas iš viso	-965600	204617	204617	204617	204617	204617
Vidinė grąžos norma	1,96%					
Investicijų atsipirkimo trukmė, metais	4,72					

4.10 pav. Investicijų grąžos rodiklių apskaičiavimo lentelės pavyzdys.

5. VDU ŽŪA ILGALAIKIO IR KITŲ SVEIKO DIRVOŽEMIO FORMAVIMO LAUKO EKSPERIMENTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ IR JŲ PRITAIKYMAS RENGIAMAM EKONOMINĖS NAUDOS ĮVERTINIMO MODELIIUI

Šiuolaikinė, konkurencinga žemdirbystė priklauso nuo pagrindinio ir giliai įsigilinusio supratimo apie sveiką dirvožemį ir jo savybes. Vienas iš veiksnių, užtikrinančių tokio ūkio vystymąsi, yra gamybos kaštų mažinimas, energijos ir laiko taupymas. Įprastinės ir alternatyvios žemdirbystės sistemos turi būti grindžiamos ne tik sveiko dirvožemio produktyvumo didinimu, bet ir jo išsaugojimu, gamybos kaštų mažinimu ir užtikrinant, kad gaminama produkcija būtų aukštos kokybės ir pelninga. Tačiau agroekologinis potencialas glaudžiai susijęs ne tik su naudojamomis technologijomis, bet ir su pačio dirvožemio natūraliomis savybėmis, agroekologinėmis sąlygomis bei jau nustatytais auginimo laipsniais ir būdais.

Dirvožemio produktyvumo ir biologinės įvairovės praradimas (ne tik viršutiniojo sluoksnio), ir ypatingas dėmesio skyrimas stabdyti agroekosistemų potencialo nykimą, bei jų tvarumui išlaikyti. Moksliniai tyrimai Vakarų Europoje rodo, kad geriausiai sveiko dirvožemio savybes (agrofizines, agrochemines, biologines) vertinti integruotai, t.y. ne atskirai vieną nuo kitos. Taip pat pabrėžiama, kad skirtingose agroekologinėse zonose dirvožemiai atlieka skirtingas funkcijas ir kad reikalingos gerai apgalvotos priemonės jų valdymui.

Žemės dirbimas turi didelę įtaką agroekosistemoms. Supratimas apie sveiko dirvožemio ekosistemų struktūrą ir funkcijas per skirtingus žemės dirbimo intensyvumus arba tiesioginę sėją yra būtina bet kurios ateities ūkininkavimo sistemos sąlyga. Būtina suprasti ne tik trumpalaikius, bet ir ilgalaikius žemės dirbimo poveikius sveiko dirvožemio ekosistemų formavimuisi ne tik dirvožemyje bet ir jo paviršiuje.

Žemės dirbimo intensyvumas veikia ne tik dirvožemio fizikines savybes, bet ir anglies atsargas. Pagal įvairius mokslinius tyrimus, nuolatinis gilus žemės dirbimas neigiamai veikia daugelį dirvožemio savybių kaip organinės anglies mažėjimas arba tiesiogiai įtakoje derliaus sumažėjimą. Augalų mitybos gerinimas galėtų padidinti agroekosistemų tvarumą. Tam Lietuvos dirvožemio ir klimatinėmis sąlygomis reikia optimizuoti augalinių liekanų panaudojimą. Daug tyrimų atlikta nustatant dirvožemio fosforo, kalio, azoto apykaitą sistemoje „dirvožemis-augalas“, pateikta teorinių faktų apie azoto ir kalio migraciją į gilesnius dirvožemio sluoksnius. Tačiau ligi šiol foniniai dirvožemiai ir jų savybių kaitos santykis su jų sukultūrinimu ir ūkiniu naudojimu Lietuvoje mažai tyrinėtas. Dauguma atliktų tyrimų atlikta vienoje aplinkoje, apsiribojant tik tam tikrų pasirinktų rodiklių analize.

Įvertinti dirvožemio sveikatingumo būklę panaudoti Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijoje nuo 2000 m. iki šiol vykdomo ilgalaikio stacionariaus lauko eksperimento, kur jau 23 metus tiriamas tvarių dirvožemio naudojimo praktikų poveikis dirvožemio sveikatos ir kokybės rodikliams, rezultatai, tam pasinaujome trimis disertacijomis: Kairytė A. 2005 Žemės dirbimo intensyvumo ir šiaudų įterpimo įtaka miežių agrocenozei, Steponavičienė, V. 2017 Agroekosistemų tvarumas ir anglies sankaupos dirvožemyje taikant ilgalaikes kompleksines priemones, Sinkevičius, A. 2023 Žemės dirbimo technologijų ilgalaikis poveikis agroekosistemų tvarumui.

Stacionarus eksperimentas įrengtas 1999 m. VDU Žemės ūkio akademijos Bandytųjų stotyje (tuometiniame LŽŪU). Tyrimai vykdomi 2003–2023 m. Tyrimų dirvožemis pagal LTDK – 99 klasifikaciją yra sekliai pasotinti, giliau karbonatingi glėjiniai palvažemiai (Buivydaitė ir kt., 2001), (pagal WRB 2022 klasifikaciją - Epieutric Endocalcaric Endogleyic Planosol (Endoclayic, Aric, Drainic, Humic, Episiltic)).

Eksperimento variantai. Eksperimentas įrengtas laukelių skaidymo metodu, 4 pakartojimais, iš viso 48 laukeliai. Laukelių dydis: pradinis - 102 m² (6 m x 17 m), apskaitomasis – 30 m² (15 m x 2,0 m). Eksperimente žemės ūkio augalai kaitomi tokia tvarka: vasariniai rapsai, žieminiai kviečiai, miežiai. Vienoje eksperimento dalyje šiaudai pašalinti (S0), o kitoje dalyje – susmulkinti ir paskleisti (S1). Tiek fone be šiaudų, tiek fone su paskleistais šiaudais tiriamos visos žemės dirbimo sistemos.

Veiksny A: Šiaudai

Be šiaudų (S0);

Šiaudai susmulkinti ir paskleisti (S1).

Veiksny B. Žemės dirbimo sistemos:

1. Ražiena skusta ir arta rudenį 23–25 cm gyliu (kontrolė, gilus arimas, GA);
2. Ražiena skusta ir arta rudenį 10–12 cm gyliu (seklus arimas, SA);
3. Ražiena skusta rudenį diskiniu skutikliu 8–10 cm gyliu (seklus purenimas rudenį, SPR);
4. Ražiena palikta per žiemą ir skusta prieš sėją diskiniu skutikliu 4–5 cm gyliu (ražienos per žiemą, RŽ);
5. Tiesioginė tarpinių pasėlių sėja į nederbamą dirvą ir sekliai purenta prieš sėją diskiniu skutikliu 4–5 cm gyliu (be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TP);
6. Tiesioginė sėja į nederbamą dirvą, be tarpinių pasėlių (be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių, TS).

Po priešsėlio (išskyrus vasarinių rapsų) derliaus nuėmimo, šiaudai vienoje eksperimento dalyje pašalinti (S0), o kitoje dalyje – susmulkinti ir paskleisti (S1). Tiek fone be šiaudų, tiek fone su paskleistais šiaudais tirtos visos žemės dirbimo sistemos.

Dirvožemio agregatų patvarumas. Sunkios struktūros dirvožemiuose supaprastintas žemės dirbimo technologijos yra tinkamesnės, yra sumažinama drėgmės netekimo rizika ir palaikoma optimali dirvožemio temperatūra, šie veiksniai yra svarbūs sėklos guoliavietės formavimuisi. Dirvožemio struktūros irimą lemia fiziniai, mechaniniai, biologiniai ar cheminiai veiksniai. Dirvožemio struktūra yra ardoma įdirbant žemę, intensyviai važinėjant ar lyjant lietu. Humuso kiekis mažėja kai iš viršutinių dirvos sluoksnių yra išplaunamas kalcis, dirvožemio struktūra yra sugadinama. Kai dirvožemio stabilūs agregatai netenka juos klijuojančių medžiagų jie pradeda irti. Įnešant į dirvožemį kuo daugiau organinės medžiagos, galima kontroliuoti dirvožemio struktūros irimą (Morris ir kt., 2010; Soane ir kt., 2012). Dirvožemio agregatinei struktūrai turi įtakos žemės dirbimo intensyvumas. Žemės dirbimas mechaniškai suardo patvarius dirvožemio agregatus, sumažina patvarių agregatų >0,25 mm kiekį, greitina organinės medžiagos irimą ir pakeičia dirvožemio savybes (Balesdent ir kt., 2000).

Eksperimento pradžioje (2000-2003 m.) tyrimai parodė, kad mažesnio intensyvumo žemės dirbimo technologijos ir šiaudų naudojimas turi teigiamą poveikį dirvožemio agregatų struktūrai ir patvarumui. **S1** (su šiaudais) variantai, palyginti su **S0** (be šiaudų), beveik visais atvejais padidino tiek 1–10 mm agregatų, tiek patvarių agregatų kiekį. Mažesnio intensyvumo žemės dirbimo metodai, tokie kaip **seklus arimas (SA)**, **seklus purenimas (SPR)** ir **tarpinių pasėlių naudojimas (TP)**, nuo eksperimento pradžios rodė teigiamą poveikį patvarių agregatų procento didėjimui tiek viršutiniuose 0–15 cm, tiek gilesniuose 15–25 cm dirvožemio sluoksniuose. **Gilus arimas (GA)**, nors ir pagerino agregatų kiekį, visgi lėmė mažesnę patvarių agregatų procentą, palyginti su kitomis sistemomis. **Tiesioginės sėjos (TS)** variantai, nuo eksperimento pradžios, rodė didesnę patvarių agregatų kiekį. Šiaudų naudojimas (S1) pagerino dirvožemio struktūrą ir padidino patvarių agregatų kiekį, ypač gilesniuose sluoksniuose. Statistiškai reikšmingi skirtumai ($P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$, $P \leq 0,001$) patvirtino, kad supaprastintas žemės dirbimas ir šiaudų naudojimas yra efektyvesni dirvožemio struktūros išsaugojimui ir patvarių agregatų formavimuisi nuo pat eksperimento pradžios.

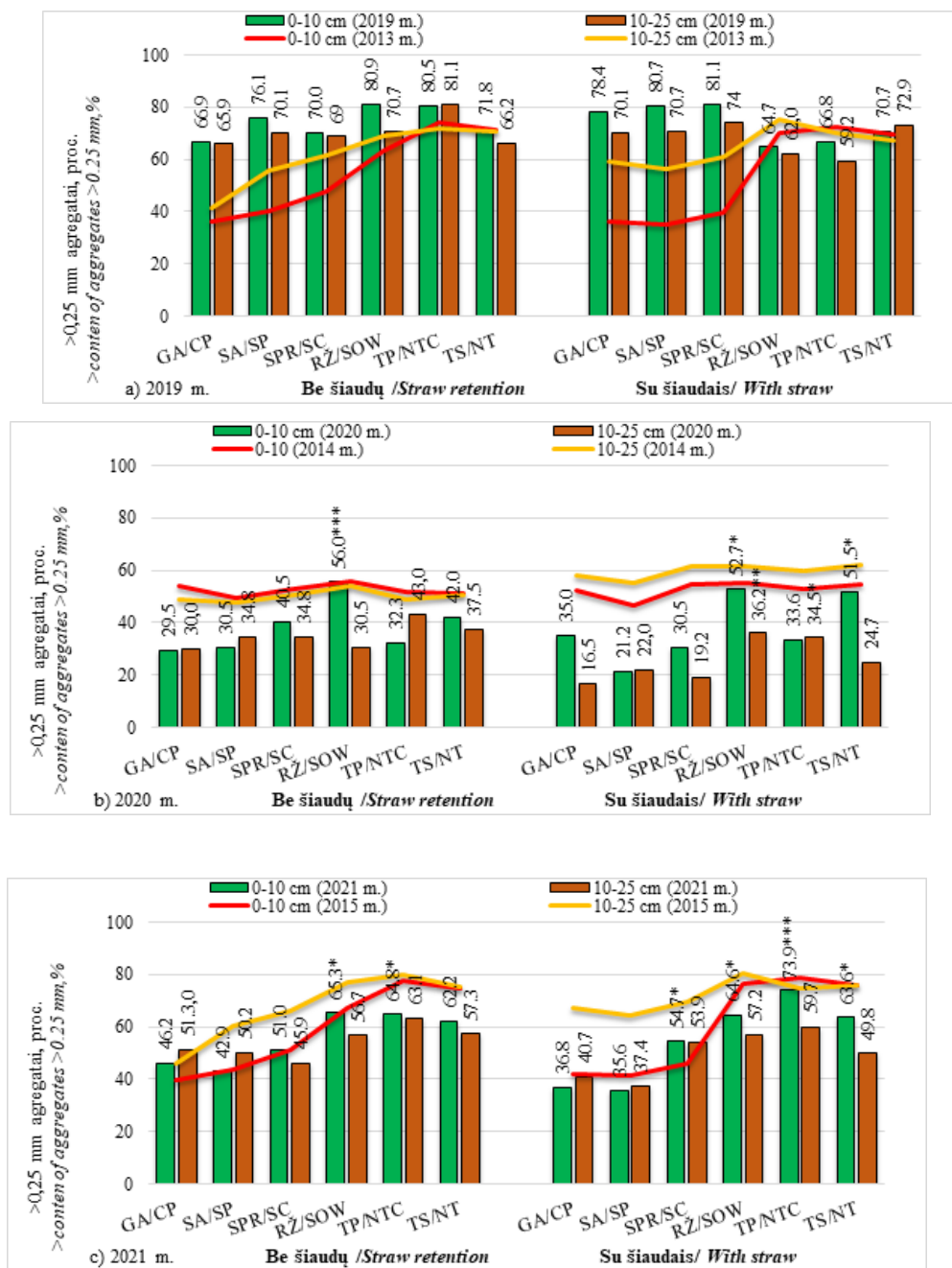
4.1 lentelė. Žemės dirbimo intensyvumo ir šiaudų įtaka dirvos 1-10 mm agregatų kiekiui ir dirvos struktūros patvarumui

Variantai	1-10 mm agregatai, %			Patvarūs agregatai, %			
	2001	2002	2003	2001	2002	2003	2000-2003
0-15 cm sluoksnyje							
S0	65,3	52,7	61,61	44,6	52,8	57,4	51,5
S1	65,2	55,5	57,83	42,2**	50,8	56,4	49,7*
GA	62,2	50,0	60,2	38,0	48,7	48,6	45,1
SA	61,7	56,0	57,1	44,0**	47,4	49,8	47,1*
SPR	61,0	52,3	54,7	41,0	48,3	55,5***	48,3***
RŽ	68,1*	55,1	58,8	45,3***	54,6*	60,1***	53,4***
TP	66,6	56,9	60,5	45,6***	56,7***	62,6***	54,9***
TS	71,0**	54,8	67,1	46,6***	55,2**	62,9***	54,9***
15-25 cm sluoksnyje							
S0	66,8	56,0	58,9	48,4	53,0	59,1	53,5
S1	66,7	55,1	58,3	45,8	54,2	59,0	53,1
GA	66,4	53,4	54,5	46,4	51,9	53,1	50,4
SA	64,1	54,6	56,7	46,0	52,6	57,1*	51,9
SPR	66,7	54,7	52,8	48,8	51,0	59,6**	53,6*
RŽ	64,8	52,1	61,1	46,5	57,7***	61,5***	55,2***
TP	69,4**	55,1	61,6	48,3	53,1*	61,8***	54,4**
TS	69,1*	60,1	64,9	46,6	55,4**	61,2***	54,4***

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

2019 m tyrimo duomenimis pasėlyje, kuriame išvežti priešsėlio šiaudai (S0) viršutiniame (0–10 cm) ir apatiniame (10–25 cm) dirvožemio sluoksniuose, taikant visas supaprastintas žemės dirbimo sistemas didino nuo 0,3 iki 15,2 proc. vnt. dirvožemio agregatų patvarumą, lyginat su giliuoju arimu (GA) (4.1 pav.). Atlikus tyrimus 2013 m. gautos labai panašios tendencijos, tirtuose dirvožemio sluoksniuose laukeliuose kuriuose pašalinti šiaudai (S0) taikant supaprastintas žemės dirbimo sistemas didėjo dirvožemio agregatų patvarumas. Laukeliuose kuriuose buvo palikti šiaudai (S1), tirtuose dirvožemio sluoksniuose, taikant seklų arimą (SA), seklų purenimą rudenį (SPR) dirvožemio agregatų patvarumas didėjo (nuo 0,6 iki 3,9 proc. vnt.), o paliekant ražienas per žiemą (RŽ), taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) mažėjo (nuo 8,1 iki 13,7 proc. vnt.) agregatų patvarumas, lyginat su giliuoju arimu (GA).

2020 m. nustatyta, kad laukeliuose be šiaudų (S0) ir kuriuose palikti šiaudai (S1), tirtuose dirvožemio sluoksniuose, taikant technologiją be žemės dirbimo ir be tarpinių pasėlių (TS) ir paliekant ražienas per žiemą (RŽ) nustatytas didesnis nuo 0,5 iki 26,5 proc. vnt. patvarių agregatų kiekis, lyginat su tradiciniu žemės dirbimu (GA) (4.1 pav.). Atlikus tyrimus 2014 m. vyravo tokios pat tendencijos. Laukeliuose kuriuose šiaudai buvo pašalinti, taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas didėjo nuo 0,5 iki 26,5 proc. vnt. patvarių agregatų kiekis, lyginat su tradiciniu žemės dirbimu (GA). Andriuškaitė (2023) nustatė, kad didžiausias patvarių agregatų kiekis vyravo, 10–20 cm dirvožemio sluoksnyje, kuriame buvo sekliai purenta ir neįdirbta dirva, atitinkamai 60,4 ir 59,3 proc., o mažiausias kiekis – giliai artoje dirvoje, 29,8 proc.



4.1 pav. Dirvožemio agregatų patvarumas skirtinguose dirvožemio sluoksniuose 2019–2021 m.

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

2021 m. tirtuose dirvožemio sluoksniuose, laukeliuose kuriuose šiaudai buvo pašalinti (S0) ir kuriuose buvo palikti (S1), taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) ir be tarpinių pasėlių (TS) paliekant ražienas per žiemą (RŽ), nustatytas didesnis (nuo 5,4 iki 37,1 proc. vnt.) patvarių agregatų kiekis, lyginat su gilioju arimu (GA) (4.1 pav.). Atlikus tyrimus 2015 m. nustatytos tos pačios tendencijos kaip ir vėlesniais tyrimų metais. Mūsų ankstesniuose tyrimuose nustatyta, kad, palyginus skirtingas žemės dirbimo technologijas, su gilioju arimu, esminiai didėjo dirvožemio struktūros patvarumas 0–10 cm dirvožemio sluoksnyje sekliai

rotoriniu kultivatoriumi prieš sėją purentoje dirvoje – 74,4 proc., sekliai įterpiama žalioji trąša rotoriniu kultivatoriumi pavasarį – 90,4 proc., bei tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą laukeliuose – 83,2 proc. Palyginus skirtingas žemės dirbimo sistemas, skirtinguose tirtuose dirvožemio sluoksniuose, esmingai didesni dirvožemio struktūros patvarumo skirtumai nustatyti tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą laukeliuose, lyginat su giliuoju arimu.

Nuo eksperimento pradžios iki 2023 metų duomenys parodė, kad mažesnio intensyvumo žemės dirbimo technologijos ir šiaudų naudojimas teigiamai veikia dirvožemio struktūrą, ypač agregatų patvarumą. Nuo 2000 metų tiesioginės sėjos (TS) ir supaprastinto dirbimo (SA, SPR) sistemos reikšmingai padidino patvarių agregatų kiekį tiek viršutiniuose, tiek gilesniuose sluoksniuose (15–25 cm). Šiaudų naudojimas (S1) padidino agregatų patvarumą daugiau nei variantuose be šiaudų (S0), ypač gilesniuose sluoksniuose. Gilus arimas (GA), nors ir padidino agregatų kiekį, turėjo mažesnę poveikį jų patvarumui, palyginti su kitomis technologijomis. 2019–2021 metų tyrimai patvirtino, kad tiesioginė sėja ir tarpiniai pasėliai (TP) buvo efektyviausi agregatų stabilumui užtikrinti. Statistiškai reikšmingi skirtumai rodo, kad supaprastintos technologijos nuolat gerina dirvožemio struktūrą, o šie teigiami pokyčiai matomi visame armenyje.

Suminio azoto kiekis. Lietuvoje augalininkystės ūkiai yra daugiausiai chemizuoti ten kur vyrauja derlingi dirvožemiai, kuriuose vieni iš pagrindinių augalų auginami rapsai ir javai. Ūkiuose yra sukaupiamas nemažas kiekis– šiaudų (iki 6 t ha⁻¹ ir daugiau). Naudojant javų šiaudus kaip trąšą į dirvožemį patenka anglies organinės medžiagos, kurių C ir N santykis yra pakankamas (Jensen ir kt., 2005; Arkauskienė ir kt., 2009).

4.2 lentelė. Suminio azoto kiekis skirtinguose dirvožemio sluoksniuose 2003, 2015, 2021 m.

Factors	2003 2015 2021			2003 2015 2021			
	0-10 cm gylis, g kg ⁻¹			10-25 cm gylis, g kg ⁻¹			
A	S0	1.30	1.55	1.89	1.30	1.33	1.74
	S1	1.40	1.74	2.22*	1.40	1.52	2.06**
	GA	1.20	1.34	1,73	1.20	1.31	1.68
B	SA	1.10	1.40	1.96	1.20	1.21	2.04
	SPR	1.20	1.55	1.82	1.30	1.39	1.79
	RŽ	1.30	1.68*	2.42***	1.50*	1.52	2.04*
	TP	1.50*	1.94***	2.24**	1.50*	1.59	2.09*
	TS	1.50*	1.95***	2.24**	1.70***	1.54	2.14**

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

2021 m. suminio azoto kiekio dirvožemyje tendencijos abiejuose (S0 ir S1) vasarinių miežių pasėliuose nustatytos labai panašios (4.1 lentelė). Tirtuose dirvožemio sluoksniuose, laukeliuose kuriuose šiaudai buvo pašalinti (S0) ir kuriuose buvo palikti (S1), taikant seklių purenimą rudenį (SPR), paliekant ražienas per žiemą (RŽ), technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) ir be tarpinių pasėlių (TS) nustatytas didesnis (nuo 1,0 iki 1,5 karto) suminio azoto kiekis, lyginat su giliuoju arimu (GA). Įrengus eksperimentą panašius rezultatus nustatė Kairytė (2005), kad viršutiniame tirtame 0–15 cm dirvožemio sluoksnyje esmingai didesnis bendrojo azoto kiekis nustatytas rotoriniu kultivatoriumi purentuose laukeliuose, šiuo

kultivatoriumi įterpus žaliąją trąšą ir neįdirbtoje dirvoje. Toliau tęsdama tyrimus Steponavičienė (2017) nustatė, kad palyginus su giliu arimu (GA), suminio azoto kiekis dirvožemyje esmingai didesnis nustatytas sekliai įterpus žaliąją trąšą rotoriniu kultivatoriumi pavasari, bei tiesioginės sėjos į neįdirbtą dirvą laukeliuose. Viršutiniame (0–10 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje taikant seklių arimą (SA), nustatytas mažesnis (1,1 karto) suminio azoto kiekis. Šie rezultatai rodo, kad mažesnio intensyvumo žemės dirbimas ir šiaudų įterpimas gerina azoto kaupimą dirvožemyje, kuris yra svarbus augalų mitybai ir dirvožemio derlingumui, tai rodo mūsų ilgalaikio lauko ekperimento duomenys, kurie yra labai svarbūs dirvožemio sveikatos indekso nustatymui.

Organinės anglies sankaupos. Dirvožemio organinių medžiagų (Corg.) kiekis yra vienas pagrindinių dirvožemio derlingumo rodiklių. Pasėlių struktūroje didinant javų, tręšiamų mineralinėmis trąšomis, plotą yra susiduriama su viena pagrindinių problemų – humuso kiekio mažėjimu ir jo kokybės prastėjimu Lietuvoje vyksta dirvožemio degradacija, dėl intensyvios žemės ūkio ir antropogeninės veiklos. Pagrindinis jo komponentas yra dirvožemio organinės medžiagos kiekis (Slepetiene ir kt.,2013).

Gilusis arimas sunaudoja daug energijos taip pat gali turėti neigiamą poveikį dirvožemio savybėms. Pastovus dirvožemio sluoksnių maišymas greitina maisto medžiagų išsiplovimą, todėl yra sunku išsaugoti dirvožemio derlingumą. Supaprastintas žemės dirbimas ir tiesioginė sėja į neįdirbtą dirvą didina organinės anglies kiekį dirvožemyje, lygnat su giliuoju arimu.

4.3 lentelė. Organinės anglies sankaupos skirtinguose dirvožemio sluoksniuose 2003, 2015, 2021 m.

Factors		2003	2015	2021	2003	2015	2021
		0-10 cm gylis, t ha ⁻¹			10-25 cm gylis, t ha ⁻¹		
A	S0	20.67	28.10	26.50	21.30	26.03	36.58
	S1	22.17	31.11	29.12	23.00	29.94*	44.08***
B	GA	18.63	24.93	22.95	20.87	23.85	34.55
	SA	18.22	23.96	23.30	18.46	24.89	37.30
	SPR	20.13	26.79	30.45	20.16	24.85	41.40
	RŽ	22.71*	31.34*	33.15***	23.15	28.70	44.55***
	TP	23.53*	33.56**	30.70***	24.85**	31.85*	47.40***
	TS	25.57***	37.08***	31.50***	25.42**	33.78**	42.70***

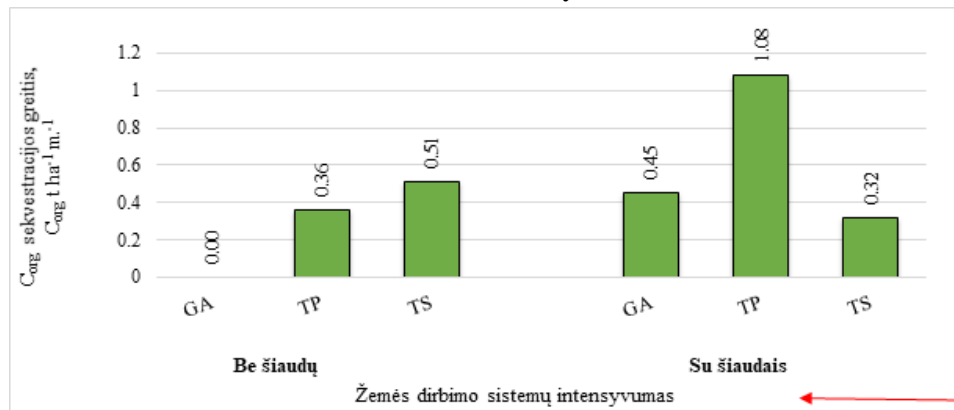
Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: * - $P \leq 0,05$; ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

2021 m. organinės anglies sankaupų kiekio tendencijos abiejuose vasarinių miežių pasėliuose nustatytos labai panašios (4.2 lentelė). Tirtuose dirvožemio sluoksniuose, laukeliuose kuriuose šiaudai buvo pašalinti (S0) ir kuriuose buvo palikti (S1), taikant skirtingas žemės dirbimo technologijas nustatytas didesnės (nuo 1,4 iki 47,9 proc.) organinės anglies sankaupos, lyginat su giliuoju arimu (GA). Atlikus kaičiavimus matome, kad taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP), gilesniame (10–25 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje, laukeliuose

kuriuose buvo palikti šiaudai (S1), esmingai daugiau ($49,3 \text{ t ha}^{-1}$) susikaupė organinės anglies sandaupa.

Rezultatai pabrėžia organinės anglies svarbą dirvožemio sveikatos valdymo priemonėse. Organinės anglies kiekio didėjimas dirvožemyje padeda gerinti jo struktūrą, didinti drėgmės išsaugojimo pajėgumus, skatina mikrobiologinį aktyvumą ir gerina maisto medžiagų apytaką. Tiesioginės sėjos ir tarpiniai pasėliai padeda ilgainiui sukaupti daugiau organinių medžiagų dirvožemyje, kas ne tik didina dirvožemio derlingumą, bet ir stabdo jo degradaciją bei prisideda prie anglies sekvestracijos, svarbios klimato kaitos mažinimui. Šie pokyčiai rodo, kad supaprastintos žemės dirbimo sistemos, ypač derinamos su šiaudų naudojimu, yra veiksminga priemonė siekiant išlaikyti sveiką ir derlingą dirvožemį.

Organinė anglies sekvestracijos greitis, Pasinaudojant VDU ŽŪA Bandymų stotyje nuo 2000 metų vykdytame lauko eksperimente susidariusiais dirvožemio organinės anglies sandaupa skirtumais apskaičiuotas (21 m) C_{org} sekvestracijos greitis (Kairytė, 2005; Steponavičienė, 2018). Jis parodo kiek anglies $\text{tha}^{-1}\text{m}^{-1}$ sukaupta skirtinguose variantuose palyginus su giliu arimu. Kuo žemės dirbimo sistemų intensyvumas didesnis, tuo C_{org} sekvestracijos greitis mažesnis tiek fone su šiaudais, tiek ir fone be šiaudų (4.2 pav.). Fone be šiaudų laukuose, kuriuose tarpiniai pasėliai auginti iki sėjos neskustoje dirvoje (TP) arba vykdytas nulinis žemės dirbimas (TS), C_{org} sekvestracijos greitis, palyginus su giliu arimu (GA), buvo didesnis atitinkamai $0,36$ ir $0,51 \text{ tha}^{-1}\text{m}^{-1}$. Fone su šiaudais nulinis žemės dirbimas (TS), palyginus su giliu arimu (GA), C_{org} sekvestracijos greitis padidino $0,32 \text{ tha}^{-1}\text{m}^{-1}$. Didžiausias C_{org} sekvestravimo tempas pasiektas laukuose kur šiaudai buvo paskleisti ir neskustoje dirvoje auginami tarpiniai pasėliai (TP). Palyginus su giliu arimu, C_{org} sekvestravimo greitis $1,08 \text{ tha}^{-1}\text{m}^{-1}$ didesnis. Taigi, C_{org} sekvestracijos atžvilgiu efektyviausia tiesioginę sėją (nulinį žemės dirbimą) derinti su tręšimu šiaudais ir tarpinių pasėlių auginimu. Šių 3 priemonių kompleksinis derinimas 2–3 kartus efektyvesnis nei nulinis žemės dirbimas fone be šiaudų ar su šiaudais.

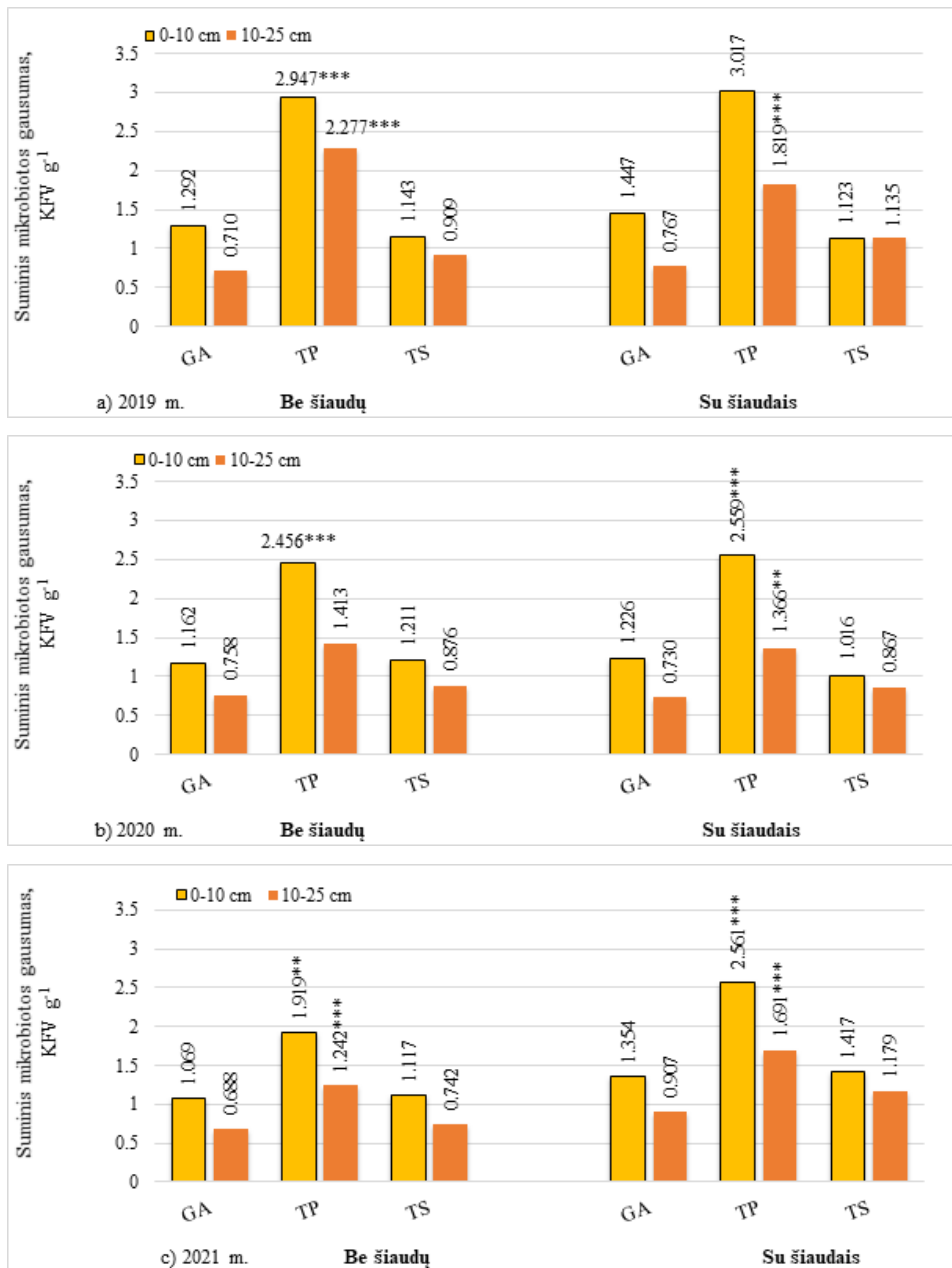


4.2 pav. Vidutinis C_{org} sekvestracijos greitis $\text{tha}^{-1}\text{m}^{-1}$ skirtinguose dirvožemio sluoksniuose 2000–2021 m.

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas (kontrolė), TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminių skirtumų nėra: $P > 0,05$.

Vienų autorių duomenimis (Ogle ir kt, 2019) panašiomis į Lietuvos drėgno ir vėsaus klimato sąlygomis gauti C_{org} sekvestracijos greitis $0,27$ (95 proc. tikimybės lygio intervalas $0,00$ – $0,56$) $\text{tha}^{-1}\text{m}^{-1}$. Tuo tarpu JAV nustatyta (RIPE100, 2021), kad *no-till* technologijos pranašumas, palyginus su tradiciniu dirbimu, siekia $0,86$ organinės C $\text{tha}^{-1}\text{m}^{-1}$. Mūsų tyrimuose C_{org} sekvestracijos greičio skirtumas tarp GA ir TS technologijų nustatytas vidutiniškai $0,42 \text{ tha}^{-1}\text{m}^{-1}$. ir pagal skaitinę reikšmę yra vidutinis tarp paminėtų šaltinių.

Dirvožemio suminis mikrobiotos gausumas ir biomasės anglies kiekis. Visų sausumos ekosistemų komponentas yra neatsiejamas nuo dirvožemio mikroorganizmų bendrijų. Nuo organinių medžiagų kiekio priklauso mikrobiologinis aktyvumas dirvožemyje. Dirvožemyje anglies ir azoto santykis leidžia integruotai vertinti svarbiausių biomasės struktūrinių elementų sankaupas arba koncentracijas, organinių medžiagų skaidymo greitį lemia dirvožemio mikroorganizmų gausumas.



4.3 pav. Suminis mikrobiotos gausumas skirtinguose dirvožemio sluoksniuose 2019–2021 m.

Pastaba: Veiksny A: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti. Veiksny B: GA – Gilus arimas, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: * - $P \leq 0,05$; *** - $P \leq 0,001$. Esminio skirtumo tikimybės lygis: ** - $P \leq 0,01$; *** - $P \leq 0,001$.

2019 m pasėlyje, laukeliuose kuriuose nebuvo palikti priešsėlio šiaudai (S0), susmulkinti ir paskleisti priešsėlio šiaudai (S1) tirtuose dirvožemio sluoksniuose (0–10 cm, 10–25 cm) taikant

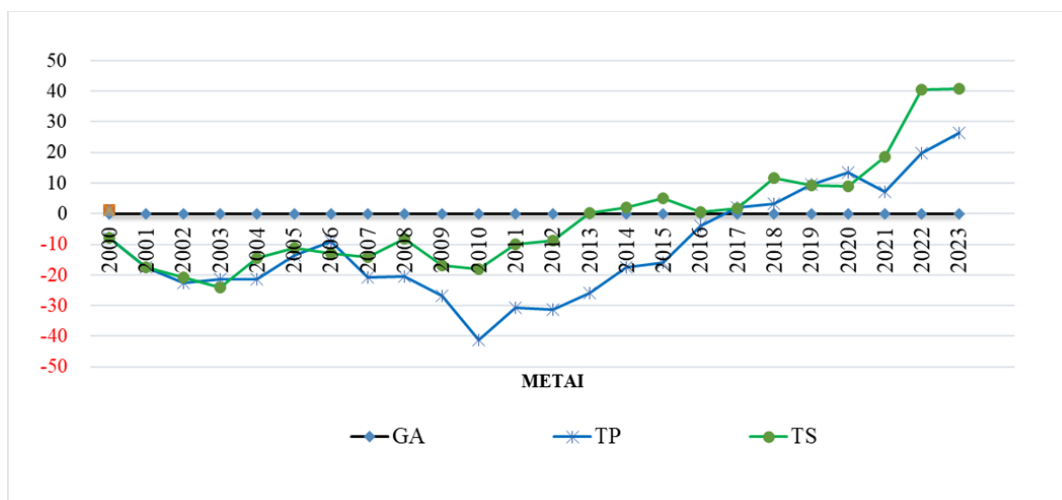
technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) didėjo (nuo 2,1 iki 3,2 karto) dirvožemyje esantis suminis mikrobiotos gausumas, lyginat su giliuoju arimu (GA) (4.3 pav.). Be žemės dirbimo be tarpinių pasėlių (TS) laukeliuose didėjo (nuo 1,3 iki 1,5 karto) suminis mikrobiotos gausumas tik gilesniame (10–25 cm) tirtame dirvožemio sluoksnyje.

2020 m. pasėlyje nustatyta, kad laukeliuose be šiaudų (S0) tirtuose dirvožemio sluoksniuose (0–10 cm, 10–25 cm) taikant technologijas be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) ir be tarpinių pasėlių (TS) nustatytas didesnis (nuo 1,0 iki 1,9 karto.) dirvožemyje esantis suminis mikrobiotos gausumas (3.34 pav.). Laukeliuose kuriuose buvo palikti ir paskleisti šiaudai (S1) tirtuose dirvožemio sluoksniuose, taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) dirvožemyje suminis mikrobiotos gausumas esmingai didėjo nuo 1,1 iki 2,1 karto, lyginat su giliuoju arimu (GA).

2021 m. nustatyta, kad laukeliuose be šiaudų (S0) tirtuose dirvožemio sluoksniuose (0–10 cm, 10–25 cm), taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) esmingai didėjo (1,8 karto), o be tarpinių pasėlių (TS) didėjo (nuo 4,5 iki 7,8 proc.) suminis mikrobiotos gausumas, lyginat su gilaus arimo laukeliais (GA) (3.34 pav.). Laukeliuose kuriuose buvo palikti ir paskleisti šiaudai (S1) tirtuose dirvožemio sluoksniuose, taikant technologiją be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais (TP) dirvožemyje suminis mikrobiotos gausumas esmingai didėjo (1,9 karto), o be tarpinių pasėlių (TS) didėjo (nuo 4,7 iki 30,0 proc.), lyginat su giliuoju arimu (GA).

Gauti mūsų tyrimų rezultatai parodo, kad dirvožemio mikrobiota ypač priklauso nuo dirvožemio tvarkymo technologijų ir organinių medžiagų naudojimo. Šie rezultatai yra itin svarbūs dirvožemio sveikatos valdymo priemonėms, nes mikrobiotos gausumas tiesiogiai susijęs su organinių medžiagų skaidymu, maistinių medžiagų prieinamumu augalams ir dirvožemio struktūros gerinimu. Didinant mikrobiotos gausumą, gerėja dirvožemio biologinė veikla, o tai padeda išlaikyti tvarų derlingumą ir ilgai sumazina poreikį intensyviai tręsimui. Mūsų tyrimas, kuriuo siekiama sukurti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį, parodė, kad mikrobiotos gausumas gali būti pagrindinis rodiklis vertinant ne tik dirvožemio sveikatą, bet ir šių praktikų ekonominį, socialinį bei aplinkosauginį poveikį. Suminis mikrobiotos gausumas atspindi dirvožemio biologinį gyvybingumą ir gali būti naudojamas kaip svarbus indikatorius optimizuojant dirvožemio tvarkymo strategijas ir numatant jų ilgalaikį poveikį ūkio ekonominiams rezultatams.

Produktyvumo stabilumas agroekosistemose. Tvarios agroekosistemos geba išlaikyti savo būklę, produktyvumą bei biologinę įvairovę, o taip pat visų jų integralumą laiko bėgyje bei žmogaus veiklos ir naudojimo kontekste (The dictionary of forestry, 1998). Gera ekosistemų būklė yra viena iš labai svarbių ekosistemos dinaminio tvarumo sąlygų. Stabilumas glaudžiai siejasi su kitais dviem ekosistemų tvarumą nusakančiais elementais – produktyvumu ir biologine įvairove. Susilpnėjus ryšiams tarp jų, sumažėja ir ekosistemos tvarumas. Taigi, agroekosistemų tvarumas neatsiejamas nuo jų produktyvumo stabilumo. Siekiant iliustruoti tirtų žemės dirbimo sistemų tvarumo potencialą pateikiama nuo pat lauko eksperimento pradžios 2000 m. eksperimente augintų augalų kumuliatyviniai derlingumo skirtumai %, palyginus su giliu arimu tais metais (4.4 pav.).



4.4 pav. Kumuliatyviniai augalų derlingumo skirtumai %, palyginus su giliu arimu tais metais.
Pastaba: GA – gilus arimas (kontrolė), TP – be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

Nedirbtoje žemėje, tiek su tarpiniais pasėliais (TP), tiek ir be jų (TS), net 11 metų imtinai nuo eksperimento pradžios (iki 2010 m.) agroekosistemų produktyvumas buvo pastebimai mažesnis nei giliai artose dirvose. Per šį laikotarpį susikaupusių kumuliatyvinio derlingumo nuostolių suma siekė 79,3-92,0 %. Tik dar po 3 metų nuo tyrimų pradžios (2013 m.) nedirbtoje žemėje tirtų žemės ūkio augalų derlingumas ėmė palengva didėti ir tik dar po 9 metų (2022 m.) beveik prilygo giliam arimui. Vadinasi, šių technologijų be žemės dirbimo produktyvumo stabilumas ima ryškėti tik ilgalaikėje perspektyvoje – po 11-14 metų nuo jų taikymo pradžios.

Sliekai. Mūsų tyrimo duomenys apie sliekų kiekį ir biomasę rodo aiškia tendenciją, kaip skirtingos žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimas veikia dirvožemio biologinę įvairovę. 2023 metų lentelėje pateikti duomenys aiškiai parodo, kad supaprastintos žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimas teigiamai veikia sliekų kiekį ir biomasę. Variantai be šiaudų parodė šiek tiek didesnę sliekų kiekį – 1106 vnt./m², tačiau variantuose su šiaudais sliekų biomasė buvo didesnė – 744 g/m², lyginant su 699 g/m² be šiaudų. Tai rodo, kad organinės medžiagos, tokios kaip šiaudai, padeda sliekams augti ir veistis. Analizuojant skirtingas žemės dirbimo sistemas, aiškiai matyti, kad tiesioginės sėjos (TS) sistema ir tarpiniai pasėliai (TP) užtikrina didžiausią sliekų kiekį – 2181 ir 2008 vnt./m². Priešingai, giluminio arimo (GA) sistemose sliekų kiekis buvo minimalus – tik 17 vnt./m², o biomasė buvo atitinkamai maža – 6 g/m². Tai pabrėžia, kad giluminis arimas neigiamai veikia sliekų populiaciją ir jų indėlį į dirvožemio sveikatą.

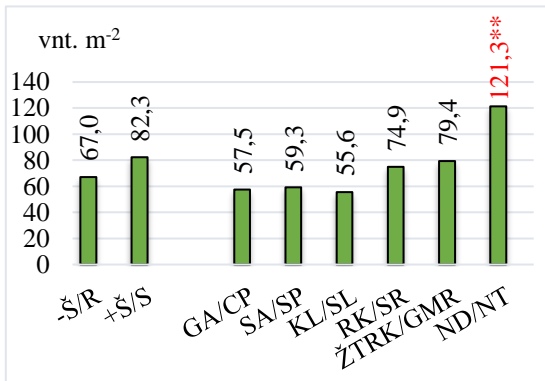
4.4 lentelė. Sliekai 2003

Variantai	Sliekų kiekis vnt. m ⁻²	Sliekų biomasė, g m ⁻²	Vidutinė vieno slieko biomasė, g
Faktorius A: šiaudų įterpimas			
S0	110,6	69,9	0,56
S0	102,0	74,4	0,63
Faktorius B: žemės dirbimo sistemos			

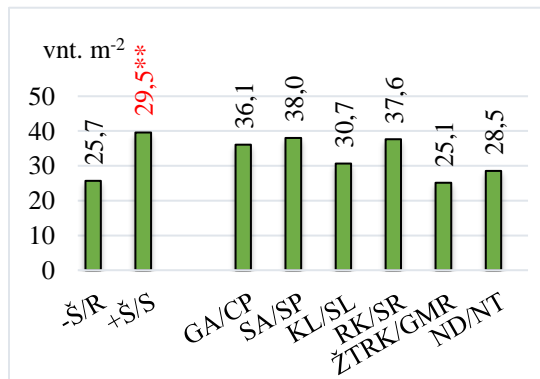
GA	1,7 4,0 11,2	0,6 1,9 7,9	0,22 0,43 0,69*
SA			
SPR	202,2*** ¹	131,5***	0,46
RŽ			
TP	200,8***	149,7***	0,84**
TS	218,1***	141,1***	0,93**

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

2013–2014 metų grafikuose pateikiami duomenys apie sliėkų kiekio ir biomasės pokyčius. Sliėkų kiekio grafikas rodo, kad 2013 m. didžiausias sliėkų kiekis buvo nustatytas variantuose, kuriuose buvo naudojami tarpiniai pasėliai (ŽTRK/GMR), siekiantis 121,3 vnt./m², o mažiausias sliėkų kiekis – giluminio arimo sistemose – 57,5 vnt./m². 2014 m. sliėkų kiekis giluminio arimo sistemose dar labiau sumažėjo iki 20,2 vnt./m², tuo tarpu tarpiniai pasėliai išliko viena efektyviausių sistemų, kurioje sliėkų kiekis buvo aukščiausias – 91,8 vnt./m². Tai rodo, kad supaprastintos žemės dirbimo technologijos skatina didesnę sliėkų kiekį ir taip prisideda prie dirvožemio biologinės įvairovės.



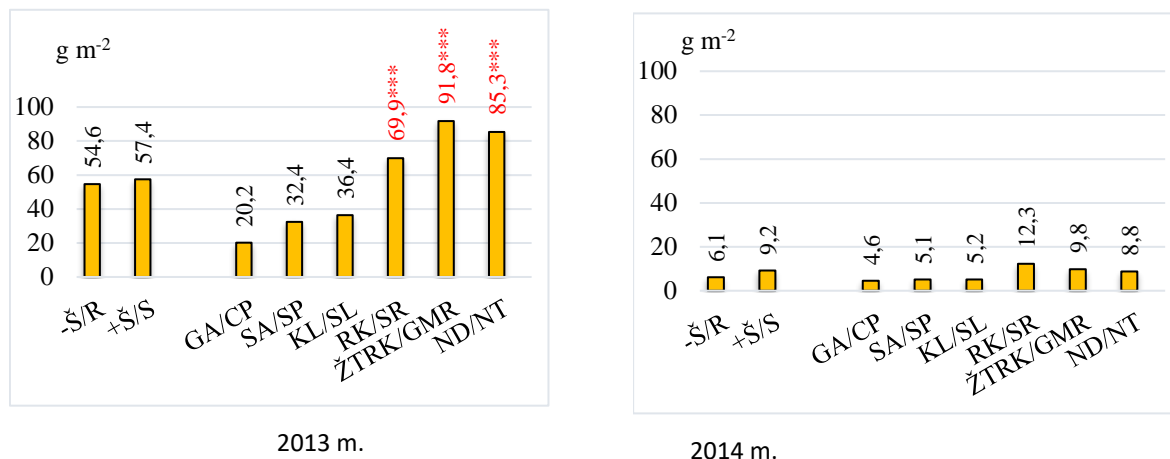
2013 m.



2014 m.

4.5 pav. Sliėkų kiekis dirvožemyje, 2013–2014 m.

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.



4.6 pav. Sliekų biomasė dirvožemyje, 2013–2014 m.

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

Sliekų biomasės grafikas 2013–2014 metais atskleidžia panašias tendencijas. 2013 m. didžiausia sliekų biomasė taip pat buvo tarpinių pasėlių variantuose (ŽTRK/GMR) – 12,31 g/m², o mažiausia giluminio arimo variantuose – 4,59 g/m². 2014 m. giluminio arimo variantuose biomasė dar šiek tiek sumažėjo iki 4,65 g/m², tačiau tarpiniai pasėliai išlaikė reikšmingą pranašumą, užtikrindami 8,83 g/m² biomasę. Tai dar kartą pabrėžia, kad giluminis arimas ne tik mažina sliekų kiekį, bet ir jų biomasę, o tarpiniai pasėliai ir mažiau intensyvios dirvožemio dirbimo sistemos geriau palaiko sliekų populiacijas.

Mūsų tyrimo duomenys apie sliekų kiekį ir biomasę rodo, kad šie rodikliai yra kritiškai svarbūs vertinant dirvožemio sveikatos būklę ir poveikį ilgalaikiam žemdirbystės tvarumui. Sliekai yra vieni svarbiausių dirvožemio organizmų, atliekantys „ekosistemos inžinierių“ funkciją – jie gerina dirvožemio struktūrą, aeraciją, drėgmės pralaidumą ir organinių medžiagų skaidymą. Šie rezultatai yra itin svarbūs mūsų tyrimui, kurio tikslas yra sukurti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį, leidžiantį žemdirbiams apskaičiuoti šių praktikų ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę vertę. Sliekai yra puikus indikatorius dirvožemio sveikatos būklei, nes jų populiacija greitai reaguoja į dirvožemio sąlygų pokyčius, susijusius su žemdirbystės technologijomis. Didelė sliekų populiacija reiškia geresnį maistinių medžiagų apytakos ciklą, didesnę dirvožemio organinių medžiagų kiekį ir geresnes sąlygas augalų šaknų augimui, o tai lemia didesnę derlių ir tvarų žemės ūkį.

Dirvožemio sveikatos valdymo modelyje sliekų kiekis ir biomasė gali būti naudojami kaip rodikliai, parodantys, kokį poveikį žemdirbystės technologijos turi ilgalaikiam dirvožemio derlingumui. Ekonomiškai tai svarbu, nes sveikesnis dirvožemis ilgai reikalauja mažiau trąšų ir drėkinimo, kas sumažina išlaidas ir didina ūkio pelningumą. Socialiai – sveikas dirvožemis yra svarbus bendruomenių tvarumui, nes jis garantuoja ilgalaikį maisto tiekimą. Aplinkosauginiu požiūriu – sliekų skatinimas per tvaresnes žemdirbystės praktikas prisideda prie biologinės įvairovės išsaugojimo ir anglies sekvestracijos, taip mažinant klimato kaitos poveikį.

Šie duomenys leidžia žemdirbiams tiksliau įvertinti, kaip skirtingos žemės dirbimo praktikos veikia dirvožemio sveikatą, ir suprasti, kad tokie rodikliai kaip sliekų populiacija gali

turėti tiesioginį poveikį ne tik ūkio ekonominiams rezultatams, bet ir bendram ūkininkavimo rizikos valdymui.

Poringumas.

Mūsų tyrimo duomenys apie bendrąjį dirvožemio poringumą rodo, kaip skirtingos žemės dirbimo sistemos ir šiaudų įterpimas veikia dirvožemio struktūrą per visą eksperimento laikotarpį nuo jo pradžios iki 2019–2021 m. Poringumas yra svarbus rodiklis, kuris nusako dirvožemio gebėjimą praleisti orą ir vandenį, taip pat jo gebėjimą palaikyti augalų šaknų augimą. Optimalus poringumas užtikrina geresnę augalų šaknų vystymosi aplinką, skatina dirvožemio mikroorganizmų veiklą ir mažina erozijos riziką.

4.5 lentelė. Žemės dirbimo intensyvumo ir šiaudų įterpimo įtaka dirvos poringumui 0-25 cm.

Variantai	Bendras poringumas,%			Oru užpildytų porų kiekis,%			Vandeniu užpildytų porų kiekis,%		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
3-13 cm sluoksnyje									
B	48,0	43,1	50,5	27,9	16,0	30,5	20,2	27,04	19,9
Š	47,6	44,1	51,6	27,3	15,9	30,7	20,2	28,20***	21,0
GA	50,7	43,8	52,9	31,2	16,4	32,2	19,5	27,4	19,2
SA	48,4	42,3	53,0	28,4	15,0	33,6	20,1	27,5	19,3
KL	51,0	43,4	53,0	32,6	16,8	32,6	18,4	26,5	20,3
RK	45,6***	43,1	48,4	25,7*	14,6	27,6	19,2	28,5	20,8
ŽTRK	45,5***	44,1	49,7	23,3***	14,2	28,0	22,2	27	21,7
ND	45,7***	44,7	49,2	24,8**	18,9	27,5	21,0	25,8	21,2
15-25 cm sluoksnyje									
B	44,5	42,78	47,7	16,84	13,5	23,6	27,2	29,2	24,1
Š	46,1	43,62	47,8	18,76	12,0	23,6	27,3	31,7***	24,1
GA	44,6	42,5	49,5	15,9	12,1	26,0	28,7	30,4	23,6
SA	45,5***	41,7	49,0	19,3***	10,5	25,4	26,2	31,2	23,6
KL	45,4***	42,5	47,9	17,9***	11,9	22,4	27,5	30,6	25,4
RK	44,0***	42,8	46,3	17,3***	12,7	23,2	26,7	30,2	23,0
ŽTRK	45,2***	44,9	46,3	17,2***	14,3	22,3	28,0	30,6	24,0
ND	47,0*	44,7	47,2	19,1***	14,9	22,4	26,6	29,8	24,8

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

Mūsų tyrimai (2000–2002 m.) parodė, kad žemės dirbimo intensyvumas ir šiaudų naudojimas daro didelę įtaką bendram dirvožemio poringumui. Pavyzdžiui, 2000 m. bendras poringumas variantuose be šiaudų buvo 480 %, o su šiaudais šiek tiek mažesnis – 476 % 3–13 cm sluoksnyje. Giluminio arimo (GA) sistemose poringumas buvo didesnis nei sekliojo arimo (SA) ar tarpinių pasėlių (TP) sistemose, tačiau vėlesniais metais (2001–2002 m.) variantuose su tarpinių pasėlių naudojimu pastebėtas bendrojo poringumo padidėjimas. Tai rodo, kad mažesnio intensyvumo žemdirbystės technologijos ir organinių medžiagų (šiaudų) naudojimas prisideda prie geresnio dirvožemio struktūros išsaugojimo, o tai ilgainiui padidina bendrąjį poringumą ir pagerina dirvožemio aeraciją

4.7 lentelė. Dirvožemio bendrasis poringumas (m^3m^{-3}) 2019–2021 m.

Žemės dirbimo sistemos/Tillage systems	Sluoksniai, cm/ Layers, cm	Dirvožemio bendrasis poringumas (m^3m^{-3}) / Soil total porosity (m^3m^{-3})		
		Vasariniai rapsai/ Spring rape (2019 m.)	Žieminiai kviečiai/ Winer ewheat (2020 m.)	Vasariniai miežiai/ Spring barley (2021 m.)
S0 – Be šiaudų/Without straw				
GA/CP	5–10	0,400	0,451	0,467
	15–20	0,387	0,465	0,438
	30–35	0,358	0,496	0,464
TP/NTC	5–10	0,491***	0,469	0,448
	15–20	0,446	0,471	0,418
	30–35	0,472	0,458	0,458
TS/NT	5–10	0,474**	0,464	0,421
	15–20	0,440	0,473	0,421
	30–35	0,476	0,473	0,439
S1 – Su šiaudas/With straw				
GA/CP	5–10	0,506	0,477	0,435
	15–20	0,481	0,481	0,417
	30–35	0,516	0,483	0,448
TP/NTC	5–10	0,489	0,453	0,433
	15–20	0,396**	0,459	0,452
	30–35	0,504	0,468	0,449
TS/NT	5–10	0,542	0,463	0,466
	15–20	0,552*	0,469	0,484
	30–35	0,519	0,515	0,495

Pastaba. Veiksny A: S0 – be šiaudų, S1 – šiaudai susmulkinti ir paskleisti. Veiksny B: GA – gilusis arimas, TP – neįdirbant žemės ir auginant tarpinius pasėlius, TS – neįdirbant žemės ir neauginant tarpinių pasėlių. Esminio skirtumo tikimybės lygis: ** – $P \leq 0,05$ ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$.

2019–2021 m. duomenys atskleidžia, kad bendrasis poringumas skirtinguose dirvožemio gyliuose taip pat priklauso nuo naudojamos žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimo. Pavyzdžiui, giluminio arimo (GA) sistemose be šiaudų, 5–10 cm sluoksnyje, bendrasis poringumas 2019 m. buvo $0,400 m^3/m^3$, o 2021 m. – padidėjo iki $0,467 m^3/m^3$. Tuo tarpu tiesioginės sėjos (TS) sistemose bendrasis poringumas tame pačiame sluoksnyje buvo didesnis – $0,542 m^3/m^3$ 2019 m., o 2021 m. jis išliko aukštas – $0,466 m^3/m^3$. Tai rodo, kad tiesioginė sėja ir minimalios žemdirbystės sistemos užtikrina aukštesnį poringumą, kuris leidžia geriau išlaikyti orą ir vandenį dirvožemyje.

Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose (15–20 cm ir 30–35 cm) bendrasis poringumas taip pat buvo didesnis variantuose, kur buvo naudojami tarpinių pasėlių ir šiaudų sistemų deriniai. Pavyzdžiui, tiesioginės sėjos su tarpinių pasėlių naudojimu (TP) sistemose, 15–20 cm gylyje 2021 m., bendrasis poringumas siekė $0,484 m^3/m^3$, palyginti su giluminio arimo sistemomis, kuriose poringumas buvo mažesnis – $0,417 m^3/m^3$. Tai rodo, kad organinių medžiagų įterpimas ir supaprastintos žemės dirbimo sistemos pagerina dirvožemio struktūrą ir padidina jo gebėjimą išlaikyti vandenį gilesniuose sluoksniuose.

Mūsų tyrimo rezultatai rodo, kad per visą eksperimentą mažesnio intensyvumo žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimas prisideda prie bendrojo poringumo padidėjimo. Bendrasis

poringumas yra svarbus dirvožemio sveikatos rodiklis, nes jis tiesiogiai susijęs su dirvožemio gebėjimu išlaikyti vandenį ir orą, palaikyti mikrobiotos aktyvumą ir užtikrinti optimalias sąlygas augalų šaknims. Šie duomenys rodo, kad tiesioginė sėja ir tarpinių pasėlių naudojimas padeda išlaikyti geresnį dirvožemio struktūros stabilumą, ypač paviršiniuose ir gilesniuose sluoksniuose, palyginti su giluminiu arimu.

Tai yra svarbu mūsų tyrimui, kuriuo siekiama sukurti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį. Bendrasis poringumas yra vienas iš svarbiausių rodiklių, kurį galima naudoti vertinant ekonominę, socialinę ir aplinkosauginę žemdirbystės praktikų vertę. Ekonominiu požiūriu, sveikesnis ir poringesnis dirvožemis sumažina drėkinimo ir tręšimo poreikius, kas gali sumažinti ūkio išlaidas ir padidinti derlingumą. Socialiniu požiūriu, tai leidžia užtikrinti ilgalaikį maisto tiekimą, o aplinkosauginiu – pagerina dirvožemio gebėjimą išlaikyti vandenį, mažina erozijos riziką ir padeda išsaugoti ekosistemų stabilumą.

Tankis

Mūsų tyrimo duomenys apie dirvožemio tankį parodė, kad mažesnio intensyvumo žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimas ženkliai veikia dirvožemio tankio mažinimą ir drėgmės išlaikymą dirvožemyje. Rezultatai rodo, kad sistemose, kuriose buvo naudojami šiaudai, dirvožemio tankis buvo mažesnis, ypač per 2000–2002 m. laikotarpį, palyginti su variantais be šiaudų. Pavyzdžiui, 2002 m. šiaudų naudojimas sumažino dirvožemio tankį nuo 148 Mg/m³ iki 146 Mg/m³ (3–13 cm sluoksnyje). Taip pat drėgmės išsaugojimas dirvožemyje buvo geresnis variantuose su šiaudais, kur drėgnis siekė net 206 % (2001 m.), palyginti su 190 % be šiaudų.

4.8 lentelė. Žemės dirbimo intensyvumo ir šiaudų sulaikymo įtaka dirvožemio tankiui (Mg m⁻³) skirtinguose dirvožemio gyliuose 2000-2002 m.

Variantai	Dirvos tankis Mg m ⁻³			Dirvos drėgnis, %		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Be šiaudų	1,40	1,48	1,32	17,1	19,0	16,6
Su smulkintais šiaudais	1,38	1,46	1,31	17,2	20,6***	17,2
3-13 cm sluoksnyje						
GA	1,28	1,46	1,22	15,2	18,8	15,4
SA	1,34	1,50	1,22	14,9	18,4	15,8
SPR	1,28	1,48	1,22	14,4	18,2	16,6
RŽ	1,41***	1,45	1,34	14,2	19,3	15,5
TP	1,42***	1,45	1,31	15,7	20,7	16,6
TS	1,41**	1,44	1,32	14,9	18,1	16,1
15-25 cm sluoksnyje						
GA	1,44	1,49	1,32	20,0	20,4	18,1
SA	1,42	1,52	1,35	18,4	20,8	17,9
SPR	1,42	1,50	1,42	19,4	20,5	18,7
RŽ	1,46	1,49	1,41	18,4	20,4	16,5
TP	1,42	1,43	1,39	19,7	21,4	17,4
TS	1,38	1,44	1,26	20,4	20,8	18,2

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

Skirtingos žemės dirbimo sistemos taip pat turėjo didelę įtaką dirvožemio tankiui. Giluminis arimas (GA) 2000 m. rodė mažiausią tankį, tačiau 2002 m. tankis padidėjo iki 146

Mg/m³, o supaprastintos sistemos, tokios kaip sekus arimas (SA) ir sekus purenimas (SPR), išlaikė stabilų ir mažesnį tankį. Tiesioginė sėja (TS) ir tarpiniai pasėliai (TP) rodė efektyviausius rezultatus, palaikydami mažesnį dirvožemio tankį gilesniuose sluoksniuose (15–25 cm). Tai yra svarbu, nes mažesnis dirvožemio tankis reiškia geresnę aeraciją ir vandens sulaikymą, kas prisideda prie sveikesnio dirvožemio ir didesnio derlingumo.

4.9 lentelė. Žemės dirbimo intensyvumo ir šiaudų sulaikymo įtaka dirvožemio tankiui (Mg m⁻³) skirtinguose dirvožemio gyliuose 2023 m.

	A		B					
	S0	S1	GA	SA	SPR	RŽ	TP	TS
5–10	1.52	1.51	1.57	1.60	1.56	1.57	1.52	1.53
15–20	1.53	1.50	1.53	1.53	1.55	1.52	1.53	1.49
30–35	1.52	1.48	1.56	1.53	1.53	1.51	1.47	1.47

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

2023 metų duomenys aiškiai rodo, kad intensyvesnės žemės dirbimo technologijos, tokios kaip giluminis arimas (GA), didina dirvožemio tankį tiek paviršiniame, tiek gilesniuose sluoksniuose. Tuo tarpu mažesnio intensyvumo sistemos, tokios kaip tiesioginė sėja ir tarpinių pasėlių naudojimas, mažina dirvožemio tankį, ypač gilesniuose sluoksniuose. Tai rodo, kad supaprastintos žemės dirbimo sistemos yra efektyvesnės ilgalaikiam dirvožemio sveikatos palaikymui, nes jos išlaiko geresnę dirvožemio struktūrą, sumažina suslėgimą ir pagerina vandens bei oro cirkuliaciją dirvožemyje.

Šie rezultatai yra itin svarbūs dirvožemio sveikatos valdymo priemonėms, nes tankis yra vienas esminių dirvožemio sveikatos rodiklių. Mažesnis tankis reiškia, kad dirvožemis yra mažiau suslėgtas, o tai leidžia geriau pralaidžiai cirkuliuoti vandeniui ir orui. Tai ypač svarbu šaknų augimui ir jų gebėjimui įsisavinti maistines medžiagas. Be to, mažesnis tankis mažina dirvožemio erozijos riziką, gerina vandens įsiskverbimą ir prisideda prie stabilesnės dirvožemio struktūros ilgalaikėje perspektyvoje. Tai yra kritinė sąlyga norint palaikyti derlingumą ir išvengti intensyvių žemės dirbimo sistemų sukkelto degradacijos poveikio.

Šių duomenų svarba mūsų tyrimui, kurio tikslas – sukurti dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį, yra labai reikšminga. Pirmiausia, dirvožemio tankio duomenys leidžia objektyviai vertinti, kaip skirtingos žemdirbystės praktikos veikia ilgalaikį dirvožemio sveikatą. Žemdirbiams tai suteikia galimybę priimti duomenimis pagrįstus sprendimus, siekiant optimizuoti ūkio veiklą. Ekonomiškai mažesnis dirvožemio tankis leidžia išvengti papildomų išlaidų, susijusių su perdirbimu, tręšimu ir drėkinimu, nes sveikesnis dirvožemis užtikrina geresnį maistinių medžiagų ir vandens sulaikymą. Tai mažina išlaidas ir padidina derlingumą bei papildomų resursų poreikio. Socialiniu požiūriu, sveikas dirvožemis ilgai lemia didesnę maisto saugumą, o sveikatos valdymo modelis leidžia ūkininkams skaidriai ir efektyviai valdyti savo veiklą. Aplinkosauginiu požiūriu, sveikas dirvožemis gerina biologinę įvairovę, mažina dirvožemio erozijos riziką ir padeda išsaugoti natūralius resursus, tokius kaip vanduo ir organinės medžiagos, o tai yra ypač svarbu klimato kaitos kontekste.

Apibendrinant, dirvožemio tankio analizė ir šie rezultatai padeda kurti dirvožemio sveikatos valdymo modelį, leidžiantį žemdirbiams ne tik įvertinti savo dirvožemio būklę, bet ir apskaičiuoti ilgalaikius ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius praktikos pranašumus. Tai suteikia galimybę sumažinti riziką, susijusią su dirvožemio degradacija, ir tuo pačiu padidinti ūkio našumą tvariu būdu.

C:N santykis

Mūsų tyrimo duomenys apie C:N santykį (anglies ir azoto santykį) dirvožemyje yra svarbūs vertinant dirvožemio sveikatos būklę ir jos ilgalaikį tvarumą. C:N santykis yra vienas iš pagrindinių rodiklių, apibūdinančių dirvožemio organinių medžiagų skaidymo procesus ir jų potencialą išlaikyti dirvožemio derlingumą. Anglies ir azoto santykis parodo, kaip greitai dirvožemyje skaidomos organinės medžiagos, ir lemia maistinių medžiagų prieinamumą augalams. Optimalus C:N santykis užtikrina, kad organinės medžiagos bus skaidomos nuosekliai ir šaknys galės pasisavinti reikalingus elementus. Mūsų tyrimo rezultatai parodė, kad įvairios žemės dirbimo sistemos ir šiaudų naudojimas tiesiogiai veikia šį santykį ir, atitinkamai, dirvožemio sveikatą.

4.10 lentelė. C:N santykis dirvožemyje, 2003, 2015, 2020 and 2021

Factors		2003	2015	2020	2021	2003	2015	2020	2021
		0-10 cm depth, t ha ⁻¹				10-25 cm depth, t ha ⁻¹			
A	GA	11.83	12.37	12.90	12.00	11.42	10.62	11.30	12.51
	SA	11.45	10.43	9.51	11.50	11.42	10.83	10.96	12.84
	SPR	11.75	10.79	9.57	11.12	10.54	11.12	11.07	11.61
	RŽ	11.92	11.44	14.96	11.02	9.79	11.37	12.59	12.45
	TP	11.40	12.12	11.96	10.73	9.13	11.02	12.50	12.70
	TS	11.53	11.91	12.95	11.94	8.56	12.29	12.17	12.06
B	GA	11.00	10.99	11.78	11.19	10.54	11.02	11.82	12.05
	SA	12.36	10.89	10.55	11.15	12.45	11.88	11.35	12.51
	SPR	11.46	11.13	13.11	9.92	10.54	11.04	12.35	12.77
	RŽ	12.50	13.65	15.96	11.52	9.79	12.43	12.83	12.68
	TP	11.73	13.70	12.27	11.72	9.13	13.01	12.40	12.73
	TS	12.93	15.60	14.91	13.44	9.13	14.17	14.39	13.70

Pastaba: S0 – Be šiaudų, S1 – Šiaudai susmulkinti ir paskleisti, GA – Gilus arimas, SA – Seklus arimas, SPR – Seklus purenimas rudenį, RŽ – Ražienos per žiemą, TP – Be žemės dirbimo su tarpiniais pasėliais, TS – Be žemės dirbimo bei tarpinių pasėlių.

2003–2021 m. duomenys rodo, kad giluminio arimo (GA) sistemose C:N santykis buvo mažesnis nei supaprastinto dirvožemio dirbimo ir tiesioginės sėjos (TS) variantuose. Pavyzdžiui, 2021 m. giluminio arimo variantuose C:N santykis 0–10 cm sluoksnyje siekė 12,00 ir šiek tiek daugiau 10–25 cm sluoksnyje (12,51). Tuo tarpu tiesioginės sėjos (TS) variantuose santykis buvo aukštesnis – 12,95 paviršiniuose sluoksniuose ir 12,06 gilesniuose sluoksniuose. Tai rodo, kad mažiau intensyvus dirvožemio įdirbimas ir šiaudų naudojimas padeda išlaikyti stabilų ir didesnę organinės anglies kiekį, kas skatina sveikesnę dirvožemio mikrobiologinę aktyvumą bei geresnę maistinių medžiagų apykaitą.

C:N santykio pokyčiai yra itin svarbūs dirvožemio sveikatos valdymo priemonėms, nes jie parodo, kaip greitai skaidomos organinės medžiagos ir kaip efektyviai šios medžiagos tiekiamos augalams. Kai C:N santykis yra per didelis, organinės medžiagos skaidomos lėtai, o tai gali sulėtinti maistinių medžiagų prieinamumą. Kai santykis yra optimalus, dirvožemis geba efektyviau skaidyti organines medžiagas ir užtikrinti ilgalaikį maistinių medžiagų tiekimą. Tinkamas C:N

santykis skatina aktyvią mikrobiotą, kuri pagerina dirvožemio struktūrą, anglies sekvestraciją ir azoto mineralizaciją, tai lemia ilgalaikį dirvožemio derlingumą ir sveikatą.

Ekonomiškai, šie duomenys yra svarbūs, nes sveikas C:N santykis reiškia, kad dirvožemio mikroorganizmai efektyviau skaidys organines medžiagas, o tai sumažina poreikį papildomoms trąšoms. Tvarus C:N santykis leidžia žemdirbiams sutaupyti, nes pagerėja maistinių medžiagų apykaita ir didėja augalų produktyvumas be papildomų išlaidų tręšimui. Socialiniu požiūriu, dirvožemio sveikata, paremta tinkamu C:N santykiu, reiškia geresnį ir nuoseklų derlių, užtikrinant maisto saugumą ir vietinės ekonomikos stabilumą. Aplinkosauginiu požiūriu, optimalus C:N santykis padeda užtikrinti anglies sekvestraciją dirvožemyje, kas yra svarbu kovojant su klimato kaita, ir sumažina maistinių medžiagų išplovimo riziką, prisidedant prie ekosistemų apsaugos.

Šie rezultatai, apibendrinus, rodo, kad C:N santykis yra svarbus rodiklis mūsų kuriamam dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modeliui, leidžiantis žemdirbiams ne tik vertinti dirvožemio sveikatą, bet ir priimti informuotus sprendimus dėl ilgalaikių žemės dirbimo praktikų. Tai suteikia galimybę ne tik apskaičiuoti šių praktikų ekonominę naudą, bet ir suprasti jų socialinį bei aplinkosauginį poveikį. Tai ypač svarbu siekiant tvaraus žemės ūkio, kuris galėtų būti mažiau priklausomas nuo intensyvaus tręšimo ir dirvožemio perdirbimo, tuo pačiu išlaikant produktyvumą ir mažinant ūkininkavimo riziką.

Išvada: Siekiant išlaikyti sveiką dirvožemio būklę, būtina kurti gerąsias praktikas ir sveiko dirvožemio valdymo sistemas, kurios ne tik atstatytų dirvožemio natūralumą, bet ir didintų jo derlingumą. Mūsų tyrimo rezultatai atskleidė, kad mažesnio intensyvumo žemdirbystės technologijos, tokios kaip tiesioginė sėja ir tarpinių pasėlių naudojimas, yra veiksmingos priemonės mažinant dirvožemio tankį, gerinant struktūrą bei didinant oro ir vandens cirkuliaciją dirvožemyje. Šios priemonės padeda išvengti dirvožemio suslėgimo, sumažina mechaninio dirbimo poreikį ir ūkininkavimo sąnaudas, taip pat padidina ilgalaikį ūkio pelningumą. Aplinkosauginiu požiūriu, šios technologijos mažina dirvožemio erozijos ir vandens nuotekų riziką, todėl prisideda prie tvaraus ūkininkavimo.

Tyrimas taip pat parodė, kad organinių medžiagų įterpimas, pavyzdžiui, šiaudų įdirbimas, yra veiksminga priemonė palaikyti optimalų C:N santykį dirvožemyje. Tai padeda palaikyti stabilų organinių medžiagų skilimą ir pagerina maistinių medžiagų prieinamumą augalams. Mažesnis cheminio tręšimo poreikis leidžia ūkininkams sumažinti trąšų sąnaudas, išlaikant aukštą derlingumą ir tvirtą dirvožemio sveikatą. Be to, buvo nustatyta, kad tvaresnės žemdirbystės praktikos, tokios kaip tarpinių pasėlių naudojimas ir minimalus dirvožemio dirbimas, padidina bendrąjį dirvožemio poringumą. Tai svarbu, nes didesnis poringumas pagerina dirvožemio gebėjimą išlaikyti vandenį ir orą, sumažina drėkinimo poreikį ir gerina šaknų aprūpinimą deguonimi. Pagerėjus vandens sulaikymui, sumažėja dirvožemio erozijos ir nuotekų rizika, o dirvožemis tampa atsparesnis klimato kaitos poveikiui.

Dirvožemio mikrobiotos aktyvumo skatinimas taip pat pasirodė svarbus veiksnys siekiant ilgalaikio dirvožemio produktyvumo. Tiesioginė sėja ir tarpinių pasėlių naudojimas padidino mikrobiotos aktyvumą, kas pagerino organinių medžiagų skaidymą ir maistinių medžiagų perdirbimą dirvožemyje. Dėl to sumažėja trąšų poreikis, o tai leidžia ūkininkams taupyti išlaidas ir išlaikyti aukštą dirvožemio produktyvumą. Sliekų populiacijos didinimas yra dar vienas svarbus dirvožemio sveikatos rodiklis. Sliekai natūraliai gerina dirvožemio struktūrą, aeraciją ir organinių medžiagų skaidymą, todėl didėja dirvožemio derlingumas. Tyrimas parodė, kad tiesioginė sėja ir minimalus dirvožemio dirbimas ženkliai padidino sliekų kiekį, o tai sumažino mechaninio apdirbimo poreikį ir neigiamą poveikį aplinkai. Mūsų tyrimo duomenys rodo, kad tarpinių pasėlių naudojimas ir šiaudų įterpimas padidina organinės anglies ir azoto sankaupą dirvožemyje. Tai pagerina dirvožemio struktūrą, vandens sulaikymo galimybes ir augalų derlingumą. Organinės

anglies kaupimas dirvožemyje taip pat prisideda prie klimato kaitos švelninimo, nes dirvožemis tampa efektyviu anglies sekvestatoriumi. Tai leidžia ūkininkams sumažinti trąšų naudojimą ir ilgainiui didina ūkio pelningumą.

Apibendrinant, šios išvados pabrėžia būtinybę skatinti tvarias dirvožemio sveikatos valdymo praktikas, kurios ne tik pagerina dirvožemio būklę, bet ir padeda sumažinti sąnaudas, padidinti derlingumą bei sumažinti neigiamą poveikį aplinkai. Šios praktikos turi būti įtrauktos į kuriamą dirvožemio sveikatos valdymo priemonių vertinimo modelį, kuris taps vertingu įrankiu žemdirbiams, siekiantiems priimti tvarius ir pelningus sprendimus, kartu valdant ūkio riziką ir užtikrinant ilgalaikį ekonominį bei aplinkosauginį stabilumą.

IŠVADOS

Dirvožemio sveikatos valdymo praktikos Lietuvoje turi būti grindžiamos moksliskai pagrįstais rodikliais, kurie integruotų fizines, chemines ir biologines dirvožemio savybes. Dirvožemio sveikatai vertinti būtina išsamiai analizuoti jo struktūrą, organinių medžiagų kiekį, vandens sulaikymo gebą bei biologinę įvairovę. Šie rodikliai leidžia objektyviai įvertinti dirvožemio būklę ir identifikuoti veiksnius, kurie lemia ilgalaikį produktyvumą, atsparumą erozijai ir gebėjimą kaupti anglį. Rodiklių pagrindu sukurta vertinimo sistema galėtų tapti esminiu įrankiu ūkininkams, siekiantiems tvarių ūkio rezultatų bei mažesnės aplinkos taršos.

Vienas svarbiausių būdų palaikyti ir gerinti dirvožemio sveikatą yra mažo intensyvumo dirvožemio dirbimo technologijų taikymas. Tiesioginė sėja, tarpiniai pasėliai bei organinių medžiagų, pavyzdžiui, šiaudų, įterpimas padeda išlaikyti dirvožemio struktūrą ir didina biologinės įvairovės lygį. Šios priemonės mažina dirvožemio tankumą, gerina poringumą, o tai skatina efektyvesnę vandens ir oro cirkuliaciją dirvožemyje. Mažinant mechaninio dirbimo intensyvumą ir taikant tvarią sėjomainą, sumažėja dirvožemio erozijos bei nuotekų rizika, kartu mažinant ir energijos bei finansines sąnaudas. Dėl šių veiksnių ilgainiui didėja dirvožemio derlingumas ir jo atsparumas aplinkos poveikiui.

Organinės anglies sancaupų didinimas, į dirvožemį integruojant organines medžiagas, yra būtinas siekiant išlaikyti dirvožemio produktyvumą bei anglies sekvestraciją. Organinės medžiagos skatina mikrobiologinį aktyvumą ir maistinių medžiagų apykaitą, mažina sintetinių trąšų poreikį, o tai mažina ir aplinkos taršą. Tyrimų duomenys rodo, kad dirvožemio organinės anglies sancaupų didinimas prisideda prie klimato kaitos poveikio mažinimo, todėl šis metodas yra strategiškai svarbus tvarios žemės ūkio praktikos aspektas.

Dirvožemio biologinės įvairovės palaikymas yra ypač svarbus elementas siekiant išlaikyti jo sveikatą ir produktyvumą. Biologinė įvairovė – tai slykių, mikroorganizmų ir kitų dirvožemio organizmų buvimas ir veikla, kurie prisideda prie dirvožemio poringumo, struktūros ir organinių medžiagų skaidymo. Praktikos, tokios kaip tarpiniai pasėliai ir minimalus dirbimas, ženkliai prisideda prie dirvožemio biologinės įvairovės išsaugojimo ir didinimo, tuo tarpu giluminis arimas gali turėti neigiamą poveikį dirvožemio gyvybingumui. Šių organizmų veikla gerina maistinių medžiagų prieinamumą augalams ir stiprina dirvožemio struktūrą, todėl jų išsaugojimas yra būtinas ilgalaikiam dirvožemio sveikatos palaikymui.

Ekonominiu požiūriu, tvarių dirvožemio valdymo praktikų taikymas suteikia daugiaplanę naudą. Praktikos, kurios didina dirvožemio organinę anglies sancaupą ir mikrobiologinį aktyvumą, mažina trąšų ir vandens poreikį, prisideda prie efektyvesnio ūkio išteklių panaudojimo ir ūkininkavimo sąnaudų mažinimo. Be to, šios praktikos mažina ūkininkavimo poveikį aplinkai, ypatingai vandens ekosistemoms, mažinant nuotekas ir pesticidų taršą. Įgyvendinant regeneracinės žemdirbystės principus ir ugdant ūkininkus, galima užtikrinti šių praktikų tvarumą, ilgalaikę ekonominę naudą ir prisidėjimą prie nacionalinių aplinkosaugos tikslų.

Apibendrinant, siekiant užtikrinti ilgalaikį dirvožemio produktyvumą ir mažinti ūkio veiklos poveikį aplinkai, būtina įgyvendinti sisteminių požiūrį į dirvožemio sveikatos valdymą. Šis požiūris, pagrįstas tarptautine patirtimi ir moksliniais tyrimais, turėtų tapti žemės ūkio politikos dalimi, orientuota į regeneracinės žemdirbystės metodų diegimą ir plačiosios visuomenės švietimą apie dirvožemio svarbą.

LITERATŪRA

1. Adetunji, a. T., lewu, f. B., mulidzi, r., & ncube, b. (2017). The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3), 794-807.
2. Al-emran, m., 2023. Beyond technology acceptance: development and evaluation of technology-environmental, economic, and social sustainability theory. *technology in society*, 75, p.102383.
3. Alix-garcia, j.m., sims, k.r., orozco-olvera, v.h., costica, l.e., fernández medina, j.d. And romo monroy, s., 2018. Payments for environmental services supported social capital while increasing land management. *proceedings of the national academy of sciences*, 115(27), pp.7016-7021.
4. Armolaitis, k., aleinikovienė, j., lubyte, j., žekaitė, v., & garbaravičius, p. (2013). Stability of soil organic carbon in agro and forest ecosystems on arenosol. *Zemdirbyste-agriculture*, 100(3), 227-234.
5. Bini, c. (2009). Soil: a precious natural resource. In conservation of natural resources; kudrow, n.j. (ed.), nova science publishers: hauppauge, ny, usa, pp. 1–48.
6. Bonfante, a., basile, a. And bouma, j. 2020. Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the united nations sustainable development goals and the eu green deal. *Soil* (doi:10.5194/soil-2020-28)
7. Boroughani, m., mirchooli, f., hadavifar, m., & fiedler, s. (2023). Mapping land degradation risk due to land susceptibility to dust emission and water erosion. *Soil*, 9(2), 411-423.
8. Bünemann, e. K., bongiorno, g., bai, z., creamer, r. E., de deyn, g., de goede, r., fleskens, l., geissen, v., kuyper, t. 458 w., mäder, p., pulleman, m., sukkel, w., van groenigen, j. W. And brussaard, l. 2018. Soil quality – a critical review, *soil biol. 459 biochem.*, 120, 105–125, doi:10.1016/j.soilbio.2018.01.030, 2018.
9. Cardoso, e. J. B. N., vasconcellos, r. L. F., bini, d., miyauchi, m. Y. H., santos, c. A. D., alves, p. R. L., ... & nogueira, m. A. (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health?. *Scientia agricola*, 70, 274-289.
10. Chang, t., feng, g., paul, v., adeli, a., & brooks, j. P. (2022). Soil health assessment methods: progress, applications and comparison. *Advances in agronomy*, 172, 129-210.
11. Chappell, a., webb, n.p., leys, j.f., waters, c.m., orgill, s. And eyres, m.j., 2019. Minimising soil organic carbon erosion by wind is critical for land degradation neutrality. *environmental science & policy*, 93, pp.43-52.
12. Choudhary, m., jat, h.s., datta, a., yadav, a.k., sapkota, t.b., mondal, s., meena, r.p., sharma, p.c. And jat, m.l., 2018. Sustainable intensification influences soil quality, biota, and productivity in cereal-based agroecosystems. *applied soil ecology*, 126, pp.189-198.
13. Com (2023) 416: proposal for a directive of the european parliament and of the council on soil monitoring and resilience (soil monitoring law), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/his/?Uri=com%3a2023%3a416%3afin>
14. Debinski, d. M., wickham, h., kindscher, k., caruthers, j. C., & germino, m. (2010). Montane meadow change during drought varies with background hydrologic regime and plant functional group. *Ecology*, 91(6), 1672-1681.
15. [Economic evaluation of the impact of regenerative agriculture on farmer risk \(tamu.edu\)](https://www.tamu.edu)

16. Emmett, b.a., reynolds, b., chamberlain, p.m., rowe, e., spurgeon, d., brittain, s.a., frogbrook, z., hughes, s., lawlor, a.j., poskitt, j., potter, e., robinson, d.a., scott, a., wood, c., woods, c. 2010 countryside survey: soils report from 2007. Technical report no. 9/07 nerc/centre for ecology & hydrology 192pp. (ceh project number:c03259). <https://countrysidesurvey.org.uk/content/soils-report-2007>
17. European commission, directorate-general for research and innovation, veerman, c., pinto correia, t., bastioli, c. Et al., caring for soil is caring for life – ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate – report of the mission board for soil health and food, publications office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>
18. Framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil science society of america journal, 68(6), 1945-1962.
19. Haines-young, r., potschin-young, m. & czúcz, b. (2018). Report on the use of cices to identify and characterise the biophysical, social and monetary dimensions of es assessments. Deliverable d4.2, eu horizon 2020 esmeralda project, grant agreement no. 642007. 106 pp.
20. Haney r.l. (2014). Soil health, usda-ars.
21. Hurisso, t.t., culman, s.w. And zhao, k., 2018. Repeatability and spatiotemporal variability of emerging soil health indicators relative to routine soil nutrient tests. Soil science society of america journal, 82(4), pp.939-948.
22. Idowu, o. J., van es, h. M., abawi, g. S., wolfe, d. W., ball, j. I., gugino, b. K., ... & bilgili, a. V. (2008). Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and vnr spectroscopy methods. Plant and soil, 307, 243-253.
23. Karlen, d. L., veum, k. S., sudduth, k. A., obrycki, j. F., & nunes, m. R. (2019). Soil health assessment: past accomplishments, current activities, and future opportunities. Soil and tillage research, 195, 104365.
24. Keesstra sd, chenu c, munkholm lj, cornu s, kuikman pj, thorsøe mh, besse-lototskaya a, visser sm., 2024.european agricultural soil management: towards climate-smart and sustainability, knowledge needs and research approaches. European journal of soil science. 75(1):e13437.
25. Lal, r. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7(5), 5875-5895.
26. Lehmann, j., bossio, d. A., kögel-knabner, i., & rillig, m. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. Nature reviews earth & environment, 1(10), 544-553.
27. Lehmann, j., bossio, d.a., kögel-knabner, i. And rillig, m.c., 2020. The concept and future prospects of soil health. Nature reviews earth & environment, 1(10), pp.544-553.
28. Liebig, m. A., miller, m. E., varvel, g. E., doran, j. W., & hanson, j. D. (2004). Aepat: software for assessing agronomic and environmental performance of management practices in long-term agroecosystem experiments. Agronomy journal, 96(1), 109-115.
29. Lima, a. C. R., brussaard, l., totola, m. R., hoogmoed, w. B., & de goede, r. G. M. (2013). A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. Applied soil ecology, 64, 194-200.
30. Maaz, t. M., heck, r. H., glazer, c. T., loo, m. K., zayas, j. R., krenz, a., ... & deenik, j. L. (2023). Measuring the immeasurable: a structural equation modeling approach to assessing soil health. Science of the total environment, 870, 161900.
31. Maaz, t.m., heck, r.h., glazer, c.t., loo, m.k., zayas, j.r., krenz, a., beckstrom, t., crow, s.e. And deenik, j.l., 2023. Measuring the immeasurable: a structural equation modeling approach to assessing soil health. Science of the total environment, 870, p.161900.

32. Macias, t., 2008. Working toward a just, equitable, and local food system: the social impact of community-based agriculture. *social science quarterly*, 89(5), pp.1086-1101.
33. Marcinkonis, s., karpavičienė, b., & fullen, m. A. (2015). Linking floral biodiversity with nitrogen and carbon translocations in semi-natural grasslands in lithuani. *Ekológia (bratislava)*, 34(2), 137-146.
34. Maurya, s., abraham, j.s., somasundaram, s., toteja, r., gupta, r. And makhija, s., 2020. Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environmental monitoring and assessment*, 192, pp.1-22.
35. Mehra, p., sarkar, b., bolan, n., chowdhury, s., & desbiolles, j. (2019). Impact of carbonates on the mineralisation of surface soil organic carbon in response to shift in tillage practice. *Geoderma*, 339, 94-105.
36. Meitasari, r., hanudin, e. And purwanto, b.h., 2024. Comparison of two soil quality assessment models under different land uses and topographical units on the southwest slope of mount merapi. *soil and water research*, 19(2), pp.77-89.
37. Mockeviciene, i., karcauskiene, d., vilkiene, m., repsiene, r., feiza, v. And budryte, o., 2024. Assessment of management practices to prevent soil degradation threats on lithuanian acid soils. *sustainability*, 16(14), p.5869.
38. Moebius-clune, b. N., moebius-clune, d. J., gugino, b. K., idowu, o. J., schindelbeck, r. R., ristow, a. J. And others. 2016. : comprehensive assessment of soil health: the cornell framework manual, edition 3.1, cornell univ., ithaca, ny, 2016.
39. Mueller, t.g., pusuluri, n.b., mathias, k.k., cornelius, p.l. And barnhisel, r.i., 2004. Site-specific soil fertility management: a model for map quality. *soil science society of america journal*, 68(6), pp.2031-2041.
40. Orgiazzi, a., ballabio, c., panagos, p., jones, a., and fernandex-ugalde, o. 2018. Lucas soil, the larghest expandable soil dataset for europe: a review. *European journal of soil scienc e* 69:140-153.
41. Phycoterra® (2024). <https://phycoterra.com/blog/soil-health-indicators/>
42. Quine, t. A., & van oost, k. (2020). Insights into the future of soil erosion. *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(38), 23205-23207.
43. [Regenerative agriculture – quantifying the cost, occasional paper, australian farm institute](#)
44. [Regenerative agriculture: a win-win for farmers and finances \(linkedin.com\)](#)
45. [Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably - pmc \(nih.gov\)](#)
46. Rinot, o., levy, g. J., steinberger, y., svoray, t., & eshel, g. (2019). Soil health assessment: a critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the total environment*, 648, 1484-1491.
47. Rinot, o., levy, g. J., steinberger, y., svoray, t., & eshel, g. (2019). Soil health assessment: a critical review of current methodologies and a proposed new approach. *Science of the total environment*, 648, 1484-1491.
48. Rodríguez-loinaz, g., onaindia, m., amezaga, i., mijangos, i., & garbisu, c. (2008). Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests. *Soil biology and biochemistry*, 40(1), 49-60.
49. Rötter, r. P., höhn, j., trnka, m., fronzek, s., carter, t. R., & kahiluoto, h. (2013). Modelling shifts in agroclimate and crop cultivar response under climate change. *Ecology and evolution*, 3(12), 4197-4214.
50. [Savills | is regenerative agriculture financially viable?](#)

51. Schoenholtz, s.h., van miegroet, h. And burger, j.a., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), pp.335-356.
52. Sinclair, r., nodi, s. And kabir, m.a., 2024. Evaluating mobile applications for estimating soil properties: quality of current apps, limitations and future directions. *computers and electronics in agriculture*, 216, p.108527.
53. Six, j., bossuyt, h., degryze, s. And denef, k., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, 79(1), pp.7-31.
54. Soil quality indicators (2011). Usda natural resources conservation service. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/particulate_organic_matter.pdf
55. Svoray, t., hassid, i., atkinson, p.m., moebius-clune, b.n. And van es, h.m., 2015. Mapping soil health over large agriculturally important areas. *soil science society of america journal*, 79(5), pp.1420-1434.
56. Šlepetienė, a., liaudanskienė, i., šlepetys, j., stukonis, v., & jokubauskaitė, i. (2013). Soil carbon, nitrogen and phosphorus distribution in grassland systems, important for landscape and environment. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 21(4), 263-272.
57. Tanner, c. M., kamel, f., ross, g. W., hoppin, j. A., goldman, s. M., korell, m., ... & langston, j. W. (2011). Rotenone, paraquat, and parkinson's disease. *Environmental health perspectives*, 119(6), 866-872.
58. Targulian, v.o. And krasilnikov, p.v., 2007. Soil system and pedogenic processes: self-organization, time scales, and environmental significance. *Catena*, 71(3), pp.373-381.
59. Thomas, g.v. And krishnakumar, v., 2024. Plantation crops and soil health management: an overview. *Soil health management for plantation crops: recent advances and new paradigms*, pp.1-36.
60. Thum, t., nabel, j. E., tsuruta, a., aalto, t., dlugokencky, e. J., liski, j., ... & zaehle, s. (2020). Evaluating two soil carbon models within a global land surface model using surface and spaceborne observations of atmospheric co₂ mole fractions. *Biogeosciences*, 20, 1-34.
61. Trammell, t.l., schneid, b.p. And carreiro, m.m., 2011. Forest soils adjacent to urban interstates: soil physical and chemical properties, heavy metals, disturbance legacies, and relationships with woody vegetation. *Urban ecosystems*, 14, pp.525-552.
62. Usda.<https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health/soil-health-assessment>
63. Wilding, l.p., 1994. Factors of soil formation: contributions to pedology. *Factors of soil formation: a fiftieth anniversary retrospective*, 33, pp.15-30.

PROJEKTO REZULTATŲ SKLAIDA 2023–2024 M.

1. Mokslinėje-praktinėje konferencijoje „Žemdirbio vasara 2024“ pristatytas žodinis pranešimas „**Organinės anglies kaupimo galimybės (C kreditai) ir sveiko dirvožemio formavimas**“ (prof. Dr. V. Bogužas, VDU ŽŪA), 2024 m. Birželio 5 d. VDU ŽŪA Bandymų stotis, Rapsų g. 7, Noreikiškės, Kauno r.
2. Tarptautinėje konferencijoje “Agroeco 2024 agroecosystem sustainability: links between carbon sequestration in soils, food security and climate change pristatytas žodinis pranešimas “**Soil quality assessment in long-term experiment using soil quality indexes**” (Jūratė Aleinikovienė, Vaida Steponavičienė, Justinas Blažukas, Vaclovas Bogužas, Jolita Greblikaitė, Rolandas Rakštys) 2024 spalio 17 d. VDU ŽŪA.
3. Tarptautinėje konferencijoje „Pluoštinių kanapių verslo indėlis į atkuriamosios (regeneracinės) žemdirbystės ir žiedinės ekonomikos plėtrą kaimo vietovėse“ pristatytas žodinis pranešimas “**Dirvožemio valdymas ir regeneracinė žemdirbystė**”. (Vaclovas Bogužas), 2024 lapkričio 8 d. VDU ŽŪA.

Suderinta:

(Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas)

(Vardas, Pavardė)

(Data)