

INOVACIJŲ TAIKYMAS SIEKIANT ŽEMĖS ŪKIO TVARUMO

Greta RAMONAITĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: greta.ramonaite@stud.vdu.lt

Greta ASIPAVIČIŪTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: greta.asipaviciute@stud.vdu.lt

Radvydas POCEVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: radvydas.pocevicius@stud.vdu.lt

Santrauka

Šiame straipsnyje teoriškai atskleidžiamas žemės ūkio verslo poveikis dirvožemiui ir inovatyvių praktikų, orientuotų į tvarumą, potencialas. Publikuotų mokslinių straipsnių, ataskaitų pagrindu buvo siekiama įvertinti technologinių ir vadybinių inovacijų poveikį dirvožemiui, ekosistemoms ir žemės ūkio tvarumui. Straipsnio tikslas – išanalizavus žemės ūkio verslo daromą neigiamą poveikį aplinkai, pateikti inovatyvius sprendimus siekiant žemės ūkio tvarumo. Rezultatai parodė, kad inovatyvūs sprendimai, tokie kaip precizinė sėja, tikslinis purškimas, autonominė technika, sausrui atsparesni hibridai, biologiniai dirvožemio gerinimo sprendimai bei skaitmeniniai valdymo įrankiai, mažina dirvožemio degradaciją, optimizuoja išteklių naudojimą, didina derliaus stabilumą ir prisideda prie klimato kaitos poveikio mažinimo. Vadybinės inovacijos, įskaitant strateginį planavimą, kooperatyvų kūrimą, rinkodaros praktikas ir žmogiškojo kapitalo valdymą, užtikrina efektyvų technologijų diegimą ir prisideda prie ilgalaikio žemės ūkio verslo tvarumo. Atliktas tyrimas rodo, kad žemės ūkio tvarumas yra kompleksinis procesas, reikalaujantis lygiagrečiai taikyti technologines ir vadybines inovacijas, kurios leidžia mažinti neigiamą poveikį aplinkai, didinti sektoriaus konkurencingumą ir užtikrinti ilgalaikį maisto saugumą. Išvadose pabrėžiama, kad inovacijų integracija į žemės ūkio veiklą yra esminė priemonė kuriant aplinkai draugišką ir tvarų žemės ūkį.

Reikšminiai žodžiai: inovacijos, tvarumas, technologijos, žemės ūkis.

Įvadas

Žemės ūkio sektorius atlieka svarbiausią vaidmenį užtikrinant pasaulinį aprūpinimą maistu, tačiau šiuolaikinė intensyvi ūkinė veikla kelia didžiulius aplinkosaugos iššūkius, kurie tampa vis aktualesni. Šiuolaikinis pramoninis žemės ūkis pasižymi didelio masto, itin specializuotomis gamybos sistemomis, kuriose dominuoja monokultūros (Vitunskienė, 2025). Nors šis modelis užtikrina didelį trumpalaikį produktyvumą, jis sukelia dirvožemio degradaciją dėl intensyvaus arimo ir plačiai naudojamų sintetinių trąšų bei cheminių augalų apsaugos priemonių (FAO, 2017; 2024). Pasauliniu mastu kasmet prarandama apie 75 milijardus tonų derlingo dirvožemio. Dar viena kritinė problema yra biologinės įvairovės nykimas: per pastarąjį šimtmetį prarasta apie 75 proc. augalų genetinės įvairovės, nes ūkininkai perėjo prie genetiškai vienodų, didelio derlingumo pasėlių (Elouafi, 2024). Šiuo metu vos devynios augalų rūšys sudaro 66 proc. pasaulinės produkcijos, todėl maisto sistema tampa itin pažeidžiama klimato kraštutinumams ir ligoms (Elouafi, 2024).

M. Lenox ir A. Chatterji (2019) teigia, kad norint spręsti tvarumo iššūkių problemas, būtinos didelio masto inovacijos, o verslas turi geriausias galimybes kurti ir diegti tvarias technologijas. Šiuolaikiniame žemės ūkyje inovacijos apima ne tik atkuriamąją žemdirbystę, bet ir technologines priemones, tokias kaip precizinė sėja, tikslinis purškimas, autonominė technika, IoT sistemų diegimas, skaitmeniniai valdymo sprendimai bei duomenimis grįsti sprendimų priėmimo įrankiai, taip pat vadybines inovacijas – strategijas, kooperatyvų kūrimą ir rinkodaros praktikų tobulinimą. Analizuojant šiuos inovacijų tipus, galima įvertinti, kaip technologinės ir vadybinės priemonės prisideda prie aplinkai draugiško ir tvaraus žemės ūkio vystymo.

Tyrimo tikslas – išanalizavus žemės ūkio verslo daromą neigiamą poveikį aplinkai, pateikti inovatyvius sprendimus siekiant žemės ūkio tvarumo.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atskleisti neigiamą žemės ūkio verslo daromą gamtinei aplinkai.
2. Pateikti inovatyvius sprendimus, apimančius vadybines bei technologines inovacijas, ir prisidedančius prie žemės ūkio verslo tvarumo.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas – inovacijos ir jų taikymas siekiant žemės ūkio verslo tvarumo.

Tyrimo metodai. Tyrimo tikslui pasiekti buvo pasirinktas metodas – sisteminė mokslinės literatūros analizė ir sintezė. Analizė apėmė mokslinius straipsnius, ataskaitas ir recenzuojamus leidinius, publikuotus 2014–2025 m., siekiant įvertinti žemės ūkio poveikį dirvožemiui bei inovatyvių sprendimų taikymą tvarumui užtikrinti. Straipsniai buvo renkami iš tarptautinių duomenų bazių naudojant raktažodžius: „soil degradation in agriculture“, „sustainable agriculture innovations“, „management innovations“. Moksliniai straipsniai buvo analizuojami trimis etapais:

1. Pavadinimo peržiūros etape atmesti straipsniai, kurių pavadinimai nesusiję su žemės ūkio poveikiu dirvožemiui ar inovacijomis.
2. Santraukos peržiūros etape atmesti straipsniai, kurių santraukose nepateikiama informacija apie dirvožemio degradaciją, tvarias technologijas ar vadybines inovacijas.
3. Viso teksto peržiūros etape atrinkti straipsniai, kurie tiesiogiai nagrinėja žemės ūkio poveikį aplinkai ir inovatyvių sprendimų taikymą.

Atlikus visus tris žingsnius, liko 26 tinkami šaltiniai, įtraukti į literatūros apžvalgą.

Apribojimai: tyrimas daugiausia orientuotas į technologines ir vadybines inovacijas. Inovacijos teoriškai apima tiek technologines, tiek vadybines praktikas, o tvarumas teoriškai apima aplinkos, ekonominius ir socialinius aspektus. Šiame straipsnyje daugiausia analizavome technologines ir vadybines inovacijas, orientuotas į aplinkai draugiško žemės ūkio verslo vystymą.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Intensyvaus ūkininkavimo poveikis aplinkai. Neigiamas žemės ūkio poveikis dirvožemiui ypač išryškėja taikant intensyvią žemės dirbimą, monokultūras ir naudojant sunkiąją techniką. Šios praktikos skatina dirvožemio eroziją, mažina organinės anglies atsargas ir silpnina biologinę įvairovę. Europoje dirbami dirvožemiai jau yra praradę apie 30–50 proc. pirminių organinės anglies atsargų (FAO & ITPS, 2015; IPCC, 2022). Toks anglies netekimas ne tik mažina dirvos derlingumą, bet ir trikdo svarbias ekosistemų paslaugas, pavyzdžiui, vandens filtravimą ir anglies kaupimą. Be to, intensyvi žemės ūkio veikla prisideda prie kraštovaizdžio fragmentacijos ir buveinių įvairovės mažėjimo. Tai neigiamai veikia dirvožemio mikroorganizmų įvairovę bei vabzdžių populiacijas, kurios yra būtinos maisto grandinėms ir natūraliai kenkėjų kontrolei (IPBES, 2019). Pavyzdžiui, monokultūrų taikymas mažina augalų rūšių įvairovę, o tai didina dirvos pažeidžiamumą erozijai ir silpnina visos agroekosistemos atsparumą klimato kaitai. Taigi, šie tarpusavyje susiję procesai formuoja sisteminę grėsmę ne tik žemės ūkio produktyvumui, bet ir kraštovaizdžio stabilumui bei biologinei įvairovei. Atsižvelgdami į tai, mokslininkai išskiria keturis pagrindinius dirvožemio degradacijos tipus, kurie pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Dirvožemio degradacijos priežasčių tipai (sudaryta autorių pagal R. Lal (2025), IPBES (2019), Y. Yang ir kt. (2024), FAO (2014), V. Vitunskienė (2025), IPCC (2022))

Table 1. Types of soil degradation causes (made by authors according to R. Lal (2025), IPBES (2019), Y. Yang ir kt. (2024), FAO (2014), V. Vitunskienė (2025), IPCC (2022))

Tipas / Type	Priežastys ir pasekmės / Causes and consequences	Šaltinis / Source
Biologinė	Šis degradacijos tipas pasireiškia dėl destruktivių biocheminių reakcijų, kurios ypač suintensyvėja, kai dirvožemis paliekamas be augalinės dangos, todėl mažėja mikrobinis aktyvumas ir derlingumas. Tai tiesiogiai apsunkina žemės naudojimą efektyviam augalų auginimui bei silpnina dirvos sveikatą.	R. Lal, 2025
	Intensyvi žemdirbystė ir cheminė priklausomybė silpnina dirvožemio biologinę įvairovę bei ekosistemines paslaugas, todėl mažėja sistemos regeneracinis potencialas. Dėl nusilpusios biologinės veiklos ūkis tampa labiau priklausomas nuo išorinių išteklių, o funkcinės biologinės įvairovės praradimas trikdo natūralius dirvos atsistatymo procesus.	IPBES, 2019
Cheminė	Naudojant sintetines trąšas ir pesticidus, vyksta neigiami cheminės sudėties pokyčiai, pavyzdžiui, keičiasi dirvos pH lygis. Tai lemia naudingų mikroorganizmų kiekio mažėjimą, o tai vėliau neigiamai veikia bendrą augalų mitybos procesą ir dirvos kokybę.	R. Lal, 2025
	Ilgalaikis pesticidų naudojimas ne tik trikdo maistinių medžiagų balansą, bet ir skatina azoto bei fosforo taršą ekosistemose. Tokia tarša dar labiau paaštrėja dėl klimato kaitos poveikio, darydama poveikį aplinkai vis kompleksiškesnį ir sunkiau kontroliuojamą.	Y. Yang ir kt., 2024
Fizinė	Dėl nepakankamos dirvos dangos ir erozijos procesų pasauliniu mastu kasmet prarandama apie 75 milijardai tonų derlingo dirvožemio. Manoma, kad šiuo metu apie 33 % visos žemės yra vidutiniškai arba stipriai degradavusi būtent dėl fizinių veiksnių poveikio.	FAO, 2014
	Pramoninio modelio mechanizacija, apimanti intensyvią arimą ir sunkios technikos naudojimą, skatina dirvos suslėgimą bei paviršinį nuotėkį. Tai pagreitina derlingojo paviršinio sluoksnio praradimą, o Lietuvoje būtent nearimimo žemės dirbimo technologijų diegimas laikomas pagrindiniu būdu šiai problemai spręsti.	V. Vitunskienė, 2025
Ekologinė	Ekologinė degradacija siejama su miškų naikinimu ir natūralios dangos praradimu, dėl ko dirva tampa pažeidžiama erozijos ir sutrinka bendra ekosistemos pusiausvyra. Produktyvumo mažėjimą lemia ir klimato kaitos sukelti reiškiniai, tokie kaip pakitusios kritulių tendencijos ar temperatūros didėjimas.	R. Lal, 2025
	Dirvožemio erozija ir anglies išsekimas sukuria neigiamą grįžtamąjį ryšį tarp klimato stabilumo ir dirvos būklės. Tokie procesai didina ilgalaikės maisto saugumo rizikas, nes silpnėja bendras agroekosistemų atsparumas klimato kaitos sukeliams kraštutinumams.	IPCC, 2022

Apibendrinant galima teigti, kad šie kompleksiniai procesai lemia sisteminę žemės ūkio biofizinio pagrindo eroziją, kuri sukuria neigiamą grįžtamąjį ryšį tarp dirvos būklės, gamybos stabilumo ir klimato kaitos (Vitunskienė, 2025). Intensyviai valdomuose regionuose organinės anglies nuostoliai gali siekti net 60–70 proc., o tai galutinai sutrikdo natūralius maistinių medžiagų ciklus, vandens sulaikymą bei biologinę funkcionavimą (FAO ir ITPS, 2015). Galiausiai,

tokios pramoninės sistemos yra įvardijamos kaip degeneracinės, nes jos naikina gyvybiškai svarbias natūralias sistemas sparčiau, nei gamta pajėgia jas atkurti (Vitunskienė, 2025).

Intensyvaus žemės dirbimo bei monokultūrų auginimo poveikis dirvožemiui, kaip rodo naujausi tyrimai, ypač akcentuojamas intensyvios žemdirbystės sukeltose erozijos ir organinės anglies nuostolių tendencijose Europoje. Skirtinguose moksliniuose šaltiniuose (Borrelli et al., 2020, Lugato et al., 2025, Save Soil, 2025) buvo analizuoti ir kiekybiškai vertinti šie procesai, kurių palyginimas pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. Intensyvaus ūkininkavimo žala dirvožemiui (sudaryta autorių pagal P. Borrelli ir kt. (2020), E. Lugato ir kt. (2025), Save Soil (2025))

Table 2. Analysis of recent studies on agricultural soil degradation (made by authors according to P. Borrelli ir kt. (2020), E. Lugato ir kt. (2025), Save Soil (2025))

Pagrindiniai pastebėjimai / Key findings	Šaltinis / Source
Intensyvus žemės ūkis ir klimato kaita didina globalią eroziją 4,3 Pg/metus iki 2070 m., ypač Afrikoje ir Europoje; erozija žemės ūkio žemėse siekia 54–59 proc..	P. Borrelli ir kt., 2020
Dauguma ES žemės ūkio dirvožemių rizikuoja prarasti organinę anglį (0,75 proc. nuostolis 2009–2018 m.); 43–83 Mha klasifikuojama kaip aukštos rizikos, ypač vėsioje drėgnoje zonoje.	E. Lugato ir kt., 2025
60 proc. ES ir 40 proc. JK žemės ūkio dirvožemių degraduoti dėl intensyvios žemdirbystės, sutrikdant vandens ciklą ir didinant klimato ekstremalus.	Save Soil, 2025

Kaip rodo atlikti tyrimai, intensyvi žemdirbystė Europoje spartina dirvožemio eroziją ir organinės anglies nykimą, taip silpnindama dirvožemio derlingumą ir jo gebėjimą atlikti esmines ekosistemų funkcijas (Borrelli et al., 2020; Lugato et al., 2025). Prognozuojamas erozijos masto didėjimas ir reikšmingi anglies nuostoliai rodo ilgalaikę riziką tiek maisto saugumui, tiek klimato kaitos švelninimo tikslams. Be to, pateikti duomenys atskleidžia, kad intensyvios ūkininkavimo praktikos trikdo vandens apytakos ciklą ir didina ekosistemų pažeidžiamumą ekstremaliems klimato reiškiniams (Save Soil, 2025). Apibendrinant galima teigti, kad dirvožemio degradacija nėra pavienis reiškinys, bet sisteminė problema, susijusi su vyraujančiu ūkininkavimo modeliu. Ji mažina agroekosistemų funkcionalumą, didina priklausomybę nuo išorinių išteklių ir reikalauja skubių, valdymo lygmens sprendimų.

Inovacijos, siekiant žemės ūkio tvarumo. Žemės ūkio sektorius susiduria su reikšmingais iššūkiais, tarp kurių yra klimato kaita, rinkos globalizacija bei didėjanti žemės ūkio kuriamų produktų paklausa dėl augančio gyventojų skaičiaus. Šiame kontekste inovacijų taikymas tampa kertine žemės ūkio verslų praktika, kuria siekiama tvarumo bei ilgalaikio konkurencingumo. Technologinės inovacijos sudaro galimybes užtikrinti didesnę efektyvumą ir mažinti neigiamą poveikį aplinkai, tuo tarpu vadybinės inovacijos ir jų taikymas leidžia sklandžiai ir veiksmingai integruoti naujas technologijas, o taip pat padeda prisitaikyti prie nuolat besikeičiančių ekonominių sąlygų. Todėl inovacijų taikymas nėra vien naujų technologijų prieinamumas ūkiuose, o ir ūkininkų ar įmonių vadovų, vadybinių kompetencijos. Žemės ūkio tvarumas yra kompleksinis technologijų ir vadybinių gebėjimų bei sprendimų priėmimo rezultatas.

Remiantis Y. Gadanakis (2024), ūkininkų ar žemės ūkio verslų vadovų vadybinės kompetencijos yra pamatinės sėkmingam verslo valdymui. 3 lentelėje pateiktos autorių N. Čurcić ir kt. (2021), Y. Gadanakis (2024), P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023) išskirtos vadybinės kompetencijos žemės ūkio versle.

3 lentelė. Svarbiausios vadybinės kompetencijos (sudaryta autorių pagal Y. Gadanakis (2024), P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023), N. Čurcić ir kt. (2021))

Table 3. Key managerial competencies (made by authors according to Y. Gadanakis (2024), P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023), N. Čurcić ir kt. (2021))

Kompetencija	Kompetencijos aprašymas	Šaltiniai
Finansų valdymo įgūdžiai	Finansų valdymas yra svarbus, norint efektyviai planuoti biudžetą, kontroliuoti kaštus ir investuoti į strategiškai svarbius procesus. Kaštų mažinimas, ypatingai pasitelkiant technologijas, reikšmingai prisideda prie veiklos efektyvumo.	Y. Gadanakis (2024), P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023)
Žmogiškojo kapitalo valdymas	Žmogiškasis kapitalas skatina technologijų diegimą bei diversifikaciją. Siekiant diegti naujausias technologijas reikalingos specifinės žinios. Nuolatinės investicijos į mokymus tobulina įgūdžius bei taip didina žmogiškojo kapitalo efektyvumą. Tinkamas žmogiškojo kapitalo valdymas taip pat prisideda prie kaimo plėtros vystymo bei vietos ekonomikos gerinimo. Kaimo vietovių žmogiškasis kapitalas dažnai yra nuvertinamas, o tinkamai jį pasitelkus, galima sukurti papildomas iniciatyvas, kurios sukurtų papildomus pajamų šaltinius.	N. Čurcić ir kt. (2021), Y. Gadanakis (2024)
Finansinio saugumo veiksmų supratimas	Finansinio saugumo veiksmų supratimas leidžia priimti informacija grįstus sprendimus, padeda teisingai paskirstyti resursus. Šios žinios taip pat padeda kurti efektyvias rizikos valdymo strategijas bei užtikrinti finansinį stabilumą ir tvarų augimą.	Y. Gadanakis (2024)
Techninės procesų žinios ir nuolatinis mokymasis bei prisitaikymas prie technologinių naujovių	Techninės procesų žinios gerina veiklos efektyvumą, padeda efektyviau valdyti rizikas bei leidžia efektyviau spręsti tvarumo problemas, tokias kaip klimato kaita ir išteklių valdymas.	Y. Gadanakis (2024)

Siekiant užtikrinti konkurencingumą ir sėkmingą veiklą, reikalinga aiški vizija ir strategija, apimanti ne tik trumpalaikius, bet ir ilgalaikius tikslus. Y. Gadanakis (2024) savo tyrime taip pat išskiria sėkmingo žemės ūkio verslo strategijas: produktų ir/ar veiklos diversifikavimas, inovacijos rinkodaros kanaluose bei kooperatyvų steigimas. Produktų

ir/ar veiklos diversifikavimas yra būtinas, siekiant paskirstyti rizikas ir taip pat atverti naujus pajamų šaltinius. Diversifikavimas apima ne tik skirtingų pasėlių auginimą, tačiau taip pat ir augalininkystės bei gyvulininkystės veiklų derinimą ūkyje, o tai svariai prisideda prie aplinkos tausojimo. Toks veiklų derinimas taip pat turi svarbią aplinkosauginę reikšmę, nes prisideda prie dirvožemio degradacijos mažinimo. Skirtingų kultūrų auginimas gerina dirvožemio struktūrą, didina organinės medžiagos kiekį ir mažina erozijos riziką, o gyvulininkystės integravimas leidžia natūraliai papildyti dirvožemį maistinėmis medžiagomis. Žemės ūkio verslo subjektai taip pat gali diversifikuoti savo veiklą vystydami agroturizmą, pritraukiantį klientų ir papildomų pajamų. Remiantis N. Čurciū ir kt. (2021), kaimo turizmo plėtra prisideda prie vietos ir regionų ekonomikos stiprinimo. Autorių išnagrinėtas Zlakusa kaimo atvejis parodė, kad žmoniškasis ir socialinis kapitalas kaimo vietovėse yra dažnai nuvertinamas, o tinkamai jį išnaudojus ir pasitelkus vietos resursus, galima sukurti papildomų ekonominių galimybių bendruomenei. Pasak Y. Gadanakis (2024), inovacijos rinkodaros kanaluose yra labai svarbi dedamoji, siekiant matomumo ir prekinio ženklų atpažinimo itin konkurencingoje rinkoje. Tuo tarpu N. Kanellos ir kt. (2024) teigia, kad veiksmingos skaitmeninės rinkodaros strategijos didina įmonių pelningumą ir taip pat prisideda prie tvirtų praktikų, mažindamos išteklių švaistymą ir reklamos išlaidas. Siekiant mažesnės priklausomybės nuo pajamų, gaunamų iš didmeninių ar mažmeninių tinklų užsakymų, produkcijos pardavimas ūkininkų turgeliuose ir per internetines pardavimo platformas padeda įvairių dydžių ūkiams išlikti konkurencingiems. Tačiau mažesni ūkiai susiduria su geografinės izoliacijos problemomis, dėl ko patekimas į rinką gali tapti sudėtingas, pelno maržos taip pat nėra tokios didelės kaip stambių ūkių ar didmenininkų, dėl to dar viena strategija, kurią aprašo Y. Gadanakis (2024), yra kooperatyvų steigimas. Tai stiprina ūkininkų konkurencingumą, sudaro sąlygas jiems kolektyviai parduoti produktus, dalintis ištekliais ir derėtis dėl geresnių kainų ar sąlygų.

P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023) akcentuoja, kad strateginis valdymas taip pat prisideda užtikrinant žemės ūkio subjektų konkurencingumą rinkoje ir verslo tvarumą. Autorių teigimu, procesų stebėjimas ir kaštų mažinimas yra svarbūs žemės ūkio versluose, norint išlikti konkurencingais. Kaštai yra mažinami užtikrinant didesnę veiklos efektyvumą, o tai sudaro prielaidas diegti inovacijas, kurios ne tik didina našumą, bet ir prisideda siekiant žemės ūkio verslo tvarumo. Atliktame tyrime autorės P. Vrabcová ir H. Urbancová (2023) nustatė, kad tvarumas – tai ne tik technologinės inovacijos, o taip pat ir strateginė vadybos sistema, kurią apibrėžia šeši pagrindiniai veiksniai: procesinis požiūris, įmonių socialinė atsakomybė, kokybės valdymo sistema, logistikos procesų efektyvumas, gamybos paklausa bei darbuotojų veiklos rezultatai. Visi šie veiksniai yra vadybinių inovacijų komponentai, padedantys užtikrinti, kad inovacijos ne tik atsirastų, bet ir būtų efektyviai taikomos.

Sėkmingam strateginių sprendimų įgyvendinimui yra naudojamos ir technologinės inovacijos, leidžiančios priimti pagrįstus sprendimus ir užtikrinti veiklos efektyvumą, o taip pat žemės ūkio verslo subjektų konkurencingumą. Y. Gadanakis (2024) išskyrė šias technologines inovacijas: CRM sistemos, naujoviški komunikacijos kanalai, virtualios realybės technologijos bei IoT (daiktų internetas). CRM sistemos užtikrina santykio su klientais gerinimą, padeda optimizuoti veiklos strategijas, leidžia analizuoti rinkos tendencijas ir pritaikyti rinkodaros kampanijas. Tuo tarpu naujoviški komunikacijos kanalai, tokie kaip socialinių tinklų platformos ir mobiliosios programėlės, suteikia galimybes verslams realiu laiku gauti informaciją apie klientų grįžtamąjį ryšį, greičiau reaguoti į rinkos pokyčius, gauti prieigą prie platesnės auditorijos ir stiprinti prekinio ženklo matomumą. Virtualios realybės technologijos leidžia imituoti ūkio veiklą ir tokiu būdu ne tik tobulinti įgūdžius, rengiant interaktyvius mokymus, bet ir spręsti problemas, fiziškai nebūnant ūkyje, o tai ypatingai naudinga ūkiams, esantiems atokesnėse vietovėse. Ne ką mažiau svarbi technologinė inovacija – daiktų internetas (IoT), kuriuo yra maksimaliai didinamas produktyvumas bei mažinamas poveikis aplinkai. Autoriai F. T. d. Silva ir kt. (2023) išskiria daiktų internetą (IoT) kaip reikšmingiausią priemonę, kuri gali būti pagrindiniu inovacijų diegimo akcentu. Daiktų internetas sukuria didelius duomenų kiekius, kuriuos reikia surinkti ir apdoroti, todėl didžiųjų duomenų ir debesų kompiuterijos naudojimas taps neišvengiamas, o tai leis verslams priimti pagrįstus sprendimus. Žemės ūkyje yra integruojami jutikliai, dronai ir duomenų analizė, kurie leidžia laiku gauti informaciją apie dirvožemio, pasėlių būklę ir aplinkos veiksnius, kas leidžia priimti pagrįstus sprendimus dėl drėkinimo, tręšimo ar kenkėjų kontrolės. Šie aspektai leidžia optimizuoti išteklių paskirstymą, sumažinti kaštus ir kartu padidinti derliaus kiekį.

Kita vertus, konkreti technologinių inovacijų nauda žemės ūkio gamybai atsiskleidžia empiriniuose bei apžvalginuose tyrimuose, nagrinėjančiuose precizinę sėją, tikslinį purškimą, autonominę techniką, sausras atsparesnius hibridus ir biologinius dirvožemio gerinimo sprendimus. Precizinės sėjos ir „seed mapping“ sprendimai sudaro sąlygas rinkti geožymėtus duomenis apie sėklų išsidėstymą bei sėjos gylį, todėl agronominių sprendimų priėmimas tampa tikslesnis ir grindžiamas mažesniu neapibrėžtumu. Tikslinio purškimo technologijos leidžia herbicidus taikyti tik ten, kur identifikuojamos piktžolės. T. H. Avent ir kt. (2024) tyrimas parodė, kad tokių sistemų naudojimas vidutiniškai sumažino herbicidų poreikį 62,4 proc. priešsudygiminiame etape, 28,4 proc. ankstyvajame po sudygimo etape ir 36,5 proc. vėlesniame po sudygimo etape, kartu išlaikant bent 98 proc. piktžolių kontrolės lygį sezono pabaigoje. O. Lagnelöv ir kt. (2023) taip pat nustatė, kad lengvos autonominės elektrinės sistemos gali sumažinti dirvožemio suslėgimą, veiklos sąnaudas ir neigiamą poveikį klimatui. Tvarumą stiprina ir sausras atsparesni hibridai, kurie, kaip parodė S. Meseka ir kt. (2018), gali duoti 9–26 proc. didesnę derlių nei geriausias komercinis analogas. Be to, mikrobiniai inokuliantai gerina dirvožemio sveikatą, skatina maisto medžiagų ciklą, gerina dirvožemio struktūrą ir mažina sintetinių trąšų bei pesticidų poreikį. 4 lentelėje pateiktos autorių T. H. Avent ir kt. (2024), O. Lagnelöv ir kt. (2023), S. Meseka ir kt. (2018), R. Lal (2020) bei Y. Gadanakis (2024) nagrinėtos žemės ūkio technologinės inovacijos ir jų poveikis išteklių naudojimui, aplinkai bei dirvožemio būklei.

4 lentelė. Žemės ūkio technologinės inovacijos ir jų poveikis išteklių naudojimui, aplinkai ir dirvožemio būklei (sudaryta autorių pagal Y. Gadanakis (2024), T. H. Avent ir kt. (2024), O. Lagnelöv ir kt. (2023), S. Meseka ir kt. (2018), R. Lal (2020))

Table 4. Agricultural technological innovations and their impact on resource use, environment and soil condition (made by authors according to Y. Gadanakis (2024), T. H. Avent ir kt. (2024), O. Lagnelöv ir kt. (2023), S. Meseka ir kt. (2018), R. Lal (2020))

Inovacija / Innovation	Poveikis / Impact	Šaltinis / Source
Skaitmeniniai valdymo sprendimai (CRM, VR, IoT)	Padedą gerinti santykius su klientais, analizuoti rinkos tendencijas, stiprinti rinkodaros veiksmus ir priimti duomenimis grįstus sprendimus.	Y. Gadanakis, 2024
Tikslinis purškimas („See & Spray“)	Herbicidai purškiami tik ten, kur aptinkamos piktžolės, todėl jų sunaudojama mažiau, o piktžolių kontrolė išlieka panaši; nustatytas 28,4–62,4 proc. herbicidų taupymas, sezono pabaigoje kontrolė ≥ 98 proc.	T. H. Avent ir kt., 2024
Autonominė / precizinė technika	Lengvesnės autonominės sistemos mažina dirvožemio suslėgimą, gali mažinti sąnaudas ir klimato poveikį, nes darbai atliekami tiksliau ir efektyviau.	O. Lagnelöv ir kt., 2023
Sausrai atsparesni hibridai	Padedą išlaikyti stabilesnį derlių stresinėmis sąlygomis; geriausi tirti hibridai davė 9–26 proc. didesnį derlių nei geriausias komercinis hibridas.	S. Meseka ir kt., 2018
Biologiniai dirvožemio sprendimai	Stiprina dirvožemio mikrobiologinį aktyvumą ir gerina organinės medžiagos balansą.	R. Lal, 2020

4 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad technologinės inovacijos žemės ūkyje prisideda prie efektyvesnio išteklių naudojimo, mažesnio poveikio aplinkai ir geresnės dirvožemio būklės. Skaitmeniniai valdymo sprendimai padeda priimti duomenimis grįstus sprendimus ir gerinti veiklos planavimą. Tikslinio purškimo technologijos leidžia sumažinti herbicidų naudojimą, išlaikant aukštą piktžolių kontrolės efektyvumą. Autonominė ir precizinė technika mažina dirvožemio suslėgimą, optimizuoja darbų atlikimą ir gali mažinti sąnaudas. Sausrai atsparesni hibridai padeda užtikrinti stabilesnį derlių nepalankiomis klimato sąlygomis, o biologiniai dirvožemio sprendimai stiprina dirvožemio mikrobiologinį aktyvumą ir gerina jo derlingumą. Apibendrinant galima teigti, kad šios inovacijos sudaro prielaidas tvaresniam ir konkurencingesniam žemės ūkio vystymuisi.

Išvados

1. Pagrindinis žemės ūkio verslo daromas neigiamas poveikis gamtinei aplinkai – dirvožemio degradacija. Tai yra kompleksinė ir sisteminė problema, kelianti grėsmę ne tik žemės ūkio produktyvumui, bet ir kraštovaizdžio stabilumui, biologinei įvairovei. Intensyvus žemės dirbimas, trąšų ir pesticidų naudojimas bei monokultūrų dominavimas skatina skirtingų tipų dirvožemio degradaciją. Atsižvelgiant į intensyvios žemdirbystės sukeltą dirvožemio degradaciją, vis didesnę reikšmę įgyja inovatyvūs sprendimai, orientuoti į tvaresnio žemės ūkio vystymą. Dirvožemio degradacija turėtų būti vertinama kaip viena svarbiausių kliūčių tvariam žemės ūkio vystymuisi.

2. Inovacijų diegimas žemės ūkio versle tiesiogiai prisideda prie neigiamo poveikio aplinkai mažinimo ir tvarumo didinimo. Žemės ūkio tvarumas yra užtikrinamas pasitelkiant technologines inovacijas lygiagrečiai su vadybinėmis kompetencijomis ir metodikomis, kas leidžia tinkamai valdyti biudžetą, finansus nukreipti į strategiškai svarbius procesus, leidžia priimti pagrįstus sprendimus bei tinkamai valdyti rizikas, padeda užtikrinti veiklos efektyvumą, o tinkamas žmogiškojo kapitalo valdymas bei ugdymas leidžia diegti technologines inovacijas, reikalaujančias specifinių žinių, taip pat skatina kaimo plėtrą bei gerina vietos ekonomiką.

Literatūra

1. Avent, T. H., Norsworthy, J. K., Patzoldt, W. L., Schwartz-Lazaro, L. M., Houston, M. M., Butts, T. R., & Vazquez, A. R. (2024). *Comparing herbicide application methods with See & Spray™ technology in soybean*. *Weed Technology*, 38, e74. <https://doi.org/10.1017/wet.2024.70>
2. Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, S., Anache, J. A. A., Baartman, J. E. M., Ballabio, C., Robinson, D. A., Panagos, P., & Montanarella, L. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
3. Cabernard, L., Pfister, S., & Hellweg, S. (2024). Biodiversity impacts of recent land-use change driven by increases in agri-food imports. *Nature Sustainability*, 7, 1512–1524. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01433-4>
4. Curcic, N.; Mirkovic Svitlica, A.; Brankov, J.; Bjeljic, Ž.; Pavlovic, S.; Jandžikovic, B. (2021). The Role of Rural Tourism in Strengthening the Sustainability of Rural Areas: The Case of Zlakusa Village. *Sustainability*, 13, 6747. <https://doi.org/10.3390/su13126747>
5. Elouafi, I. (2024). Why biodiversity matters in agriculture and food systems. *Science*, 386(6718), eads8197. DOI: [10.1126/science.ads8197](https://doi.org/10.1126/science.ads8197)

6. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014, July 24). Global plans of action endorsed to halt the escalating degradation of soils. Global Soil Partnership. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/239815/> (žiūrėta 2026-02-01)
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Pesticides use and trade–1990–2022* (FAOSTAT Analytical Briefs No. 89). 13 p. <https://doi.org/10.4060/cd1486en>
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Intergovernmental Technical Panel on Soils. (2015). *Status of the world's soil resources*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 608p.
10. Gadanakis, Y. (2024). Advancing Farm Entrepreneurship and Agribusiness Management for Sustainable Agriculture. *Agriculture* 2024, 14, 1288. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081288>
11. Giller K. E. et al. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*.
12. IPBES. (2019). *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (eds. Brondizio E. S., Settele J., Diaz S., Ngo H. T.). Bonn: IPBES secretariat, 1144 p.
13. IPCC. (2022). *Climate change / Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Prieiga per internetą: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (žiūrėta 2026-02-01)
14. John Deere & Company. (2025). *Business Impact Report 2023/2025*.
15. Kanellos N., Karountzos P., Giannakopoulos N.T., Terzi M.C., Sakas D.P. (2024). Digital Marketing Strategies and Profitability in the Agri-Food Industry: Resource Efficiency and Value Chains. *Sustainability*, 16, 5889. <https://doi.org/10.3390/su16145889>
16. Lagnelöv, O., Larsson, G., Larssolle, A., & Hansson, P.-A. (2023). Impact of lowered vehicle weight of electric autonomous tractors in a systems perspective. *Smart Agricultural Technology*, 4, Article 100156. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100156>
17. Lal, R. (2020). Soil health and carbon management: Key to regenerating soil and ecosystem services. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), 111A–124A. <https://functionalfertiliser.co.nz/wp-content/uploads/2020/09/Lal-article-jswc.2020.0620A.full.pdf>
18. Lal R. (2025). Soil Degradation and Pollution as the Global Public Health Emergency. *MRA Journal*.
19. Lenox M., Chatterji A. (2019). *Ar verslas gali išgelbėti Žemę?* Vilnius: Eugrimas.
20. Lugato, E., et al. (2025). Revisiting the soil carbon saturation concept to inform a risk index in European agricultural soils. *Nature Communications*, 16, Article 57355. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-57355-y>
21. Meseka, S., Menkir, A., Bossey, B., & Mengesha, W. (2018). Performance assessment of drought tolerant maize hybrids under combined drought and heat stress. *Agronomy*, 8(12), Article 274. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120274>
22. Save Soil. (2025). European and British soils seriously degraded by intensive farming. Save Soil Report. <https://www.theguardian.com/environment/2025/may/09/more-than-a-third-of-uk-agricultural-soil-degraded-by-intensive-farming-repo>
23. Silva, F.T.d., Baierle, I.C., Correa, R.G.d.F., Sellitto, M.A., Peres, F.A.P., Kipper, L.M. (2023). Open Innovation in Agribusiness: Barriers and Challenges in the Transition to Agriculture 4.0. *Sustainability*, 15, 8562. <https://doi.org/10.3390/su15118562>
24. Vitunskienė V. (2025). *Advancing Circular Economy Approaches in Lithuania's Agricultural Sector via European Union CAP Eco-Schemes*. Vytautas Magnus University.
25. Vrabcová P., Urbancová H. (2023). Sustainable innovation in agriculture: Building a strategic management system to ensure competitiveness and business sustainability. *Agric. Econ. – Czech.*, 69: 1–12. <https://doi.org/10.17221/321/2022-AGRICECON>
26. Yang, Y., Tilman, D., Jin, Z., Smith, P., Barrett, C. B., Zhu, Y.-G., Burney, J., D'Odorico, P., Fantke, P., Fargione, J., Finlay, J. C., Rulli, M. C., Sloat, L., van Groenigen, K. J., West, P. C., Ziska, L. H., Michalak, A. M., Clim-Ag Team, & Lobell, D. B. (2024). Climate change exacerbates the environmental impacts of agriculture. *Science*, 385(6713), eadn3747. <https://doi.org/10.1126/science.adn3747>

APPLICATION OF INNOVATIONS FOR AGRICULTURAL SUSTAINABILITY

Abstract

This article theoretically reveals the impact of agribusiness on soil and the potential of innovative practices focused on sustainability. Based on published scientific articles and reports, the aim was to assess the impact of technological and managerial innovations on soil, ecosystems and agricultural sustainability. The aim of the article is to analyze the negative impact of agribusiness on the environment and present innovative solutions to achieve agricultural sustainability. The results showed that innovative solutions, such as precision sowing, targeted spraying, autonomous machinery, more drought-resistant hybrids, biological soil improvement solutions and digital management tools, reduce soil degradation, optimize resource use, increase yield stability and contribute to reducing the impact of climate change. Managerial

innovations, including strategic planning, cooperative development, marketing practices and human capital management, ensure the effective implementation of technologies and contribute to the long-term sustainability of agribusiness. The study shows that agricultural sustainability is a complex process that requires the parallel application of technological and managerial innovations that allow reducing negative environmental impacts, increasing the competitiveness of the sector and ensuring long-term food security. The findings emphasize that the integration of innovations into agricultural activities is an essential tool for creating environmentally friendly and sustainable agriculture.

Keywords: innovations, sustainability, technologies, agriculture.