

VILNIAUS UNIVERSITETAS
EKONOMIKOS IR VERSLO ADMINISTRAVIMO FAKULTETAS
VADYBOS KATEDRA

Kokybės vadybos magistro programa

Greta Stulginskė

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

DIRBTINIO INTELEKTO TAIKymo ĮTAKA APLINKOSAUGINIAM TVARUMUI MEDIJUOJANT ŽALIOSIOMS INOVACIJOMS BIOTECHNOLOGINĖSE ORGANIZACIJOSE	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MEDIATED BY GREEN INNOVATION IN BIOTECHNOLOGY ORGANIZATIONS
--	---

Darbo vadovas: asist. dr. D. Ruželė

Vilnius, 2025

TURINYS

ĮVADAS.....	6
1. LITERATŪROS APIE APLINKOSAUGINĮ TVARUMĄ, DIRBTINĮ INTELEKTĄ IR ŽALIASIAS INOVACIJAS APŽVALGA	10
1.1. Aplinkosauginis tvarumas.....	10
1.2. Dirbtinis intelektas	12
1.3. Žalioji inovacija	17
1.4. DI įtaka aplinkosauginiam tvarumui.....	18
1.5. DI įtaka žaliosioms produktų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui.	21
1.6. DI įtaka žaliosioms procesų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui	22
2. EMPIRINIO TYRIMO METODIKA.....	24
2.1. Empirinio tyrimo tikslas, modelis ir hipotezės	24
2.2. Tyrimo organizavimas ir instrumentas.....	25
2.3. Tyrimo ribos ir apribojimai	32
3. TYRIMO REZULTATAI	33
3.1. Aprašomoji imties statistika.....	33
3.2. Aprašomoji duomenų statistika ir duomenų normalumo analizė	34
3.3. Konstruktyvumo tinkamumo analizė	36
3.4. Duomenų patikimumo analizė	38
3.5. Hipotezių tikrinimas.....	40
3.5.1. Dirbtinio intelekto įrankių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms.....	40
3.5.2. Dirbtinio intelekto naudojimo sričių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms.	42
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI.....	48
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	50
PRIEDAI.....	62

LENTELIŲ IR PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 lentelė	Literatūroje pateikiami DI apibrėžimai.....	12
2 lentelė	Dirbtinio intelekto įrankių taikymo nepriklausomojo kintamojo elementai.....	27
3 lentelė	Dirbtinio intelekto naudojimo nepriklausomojo kintamojo elementai	28
4 lentelė	Aplinkosauginio tvarumo priklausomojo kintamojo elementai.....	28
5 lentelė	Žaliosios produktų ir procesų inovacijos latentinio kintamojo elementai	29
6 lentelė	Demografiniai klausimai.....	30
7 lentelė	Kintamųjų ir konstrukto šaltinių sąrašas.....	31
8 lentelė	Respondentų pasiskirstymas pagal darbuotojų skaičių, verslo sektorių ir skyrių organizacijoje	33
9 lentelė	Kintamųjų vidurkiai, standartinis nuokrypis ir asimetrijos ir eksceso koeficientai.....	34
10 lentelė	Kintamųjų teiginių faktorių analizės svoriai.....	37
11 lentelė	Latentinių kintamųjų vidurkiai, standartiniai nuokrypiai ir Cronbach's alfa.....	39
12 lentelė	DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijos bei žaliosios inovacijos įtakos aplinkosauginiam tvarumui rezultatai.....	41
13 lentelė	DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai.....	42
14 lentelė	DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijoms rezultatai.....	43
15 lentelė	DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai	44
16 lentelė	Tyrimo rezultatų apibendrinimas	45
1 paveikslas	Darnaus vystymosi darbotvarkės – 2030 tikslai.....	11
2 paveikslas	Abstrakti dirbtinio intelekto struktūra	13
3 paveikslas	Dirbtinio intelekto įtakos aplinkosauginiam tvarumui conceptualus modelis	25
4 paveikslas	Empirinio tyrimo seka	25
5 paveikslas	DI įrankių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms	40
6 paveikslas	DI naudojimo sričių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms	43
7 paveikslas	DI naudojimo sričių ir DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms empirinių duomenų analizės rezultatais pagrįstas modelis	46

SAVOKŲ ŽODYNAS

Aplinkosauginis tvarumas – būsimų kartų išteklių ir paslaugų poreikių patenkinimas nedarant įtakos ekosistemai (Nishant ir kt., 2020).

Darnus vystymasis – vystymasis, kuris tenkina dabarties kartų poreikius nepakenkiant ateities kartų galimybėms patenkinti savo poreikius (Emina, 2021).

Dirbtinis intelektas – algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytųsi, stebėtų, suprastų ir reaguotų į bet kokią problemą ar situaciją (Kumari ir kt., 2023).

Mašininis mokymasis – DI sritis, apimanti kompiuterinių modelių kūrimą, kurie geba mokytis ir savarankiškai daryti prognozes arba priimti sprendimus, remdamiesi pateiktais duomenimis (Kufel ir kt., 2023).

Dirbtinis neuroninis tinklas – mašininio mokymosi algoritmas, paremtas biologinių neuroninių tinklų principu (Kang ir kt., 2015).

Gilusis mokymasis – mašininio mokymosi dalis, kuri naudoja dirbtinius neuroninius tinklus (Kufel ir kt., 2023).

Nuspėjamoji analitika – mašininio mokymosi, statistinių metodų ir duomenų naudojimas, siekiant analizuoti istorinius ir esamus duomenis, prognozuojant būsimus įvykius ir jų elgesį (Jamarani ir kt., 2024).

Kompiuterinė rega – kompiuterių naudojimas siekiant išsamiai suprasti vizualinius duomenis, taikant panašų požiūrį kaip ir žmogaus regos sistema (Xu ir kt., 2021).

Natūralios kalbos apdorojimas – DI dalis, apimanti sistemų ir algoritmų, galinčių sąveikauti naudojant žmogaus kalbą, kūrimas (Lauriola ir kt., 2022).

Kognityvinis skaičiavimas – DI sritis, kuri siekia kurti sistemas, galinčias imituoti žmogaus mąstymo procesus, įskaitant mokymąsi, samprotavimą ir supratimą (Elnagar ir kt., 2023).

Robotinių procesų automatizavimas – specifinių technologijų ir metodikų taikymas, pagrįstas programine įranga ir algoritmais, kuriais siekiama automatizuoti pasikartojančias žmogaus užduotis (Ivančić ir kt., 2019).

Semantinė paieška – DI metodas, pagrįstas informacijos ieškojimu ne tik pagal specifinius žodžius, bet ir pagal prasmę (Latard ir kt., 2017).

Žalioji inovacija – produktų ir procesų inovacijų kūrimas, kuris apima ekologiškų žaliavų naudojimą ir ekologišką gaminių dizainą, mažinant medžiagų sunaudojimą, teršalų išmetimą ir energijos išteklių (vanduo, elektra) suvartojimą taip nekenkiant aplinkai (Lin ir kt., 2024).

Žalioji produktų inovacija – produktai, kuriems pagaminti yra naudojami netoksiški junginiai arba biologiškai skaidomos medžiagos keičiant arba modifikuojant gaminio dizainą, siekiant sumažinti poveikį aplinkai ir pagerinti energijos vartojimo efektyvumą (Yuan ir kt., 2022).

Žalioji procesų inovacija – procesai, kurie siejami su energijos suvartojimo sumažinimu gamybos metu ar perdirbimo procese, įskaitant išmetamųjų dujų ir nuotekų išmetimą, vandens suvartojimo sumažinimą, išteklių ir energijos vartojimo efektyvinimo didinimą ir perėjimą nuo iškastinio kuro prie bioenergijos (Lin ir kt., 2024).

SANTRUMPŲ ŽODYNAS

AT – aplinkosauginis tvarumas.

AVI – aplinkosaugos veiksmingumo indeksas.

DI – dirbtinis intelektas.

DII – dirbtinio intelekto įrankiai.

DIN – dirbtinio intelekto naudojimo sritys.

ES – Europos Sąjunga.

ŽI – žalioji inovacija.

ŽPCI – žalioji procesų inovacija.

ŽPDI – žalioji produktų inovacija.

IVADAS

Darbo temos aktualumas. Intensyvėjant žmonių veiklai ir augant iškastinio kuro naudojimui didėja šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis atmosferoje ir tai skatina pasaulinį atšilimą (Gaur ir kt., 2023). Todėl vis dažniau pastebimi orų pokyčiai (padidėjusi temperatūra, didesnis nei įprastai kritulių kiekis) ir ekstremalūs orų reiškiniai. Dėl klimato atšilimo kyla jūros lygis ir smarkiai mažėja biologinė įvairovė (Bhatti ir kt., 2024). Biologinės įvairovės pokytis padarė pastebimą poveikį tiek rūšių, genetinei ir ekosistemos įvairovei ir paveikė pasiskirstymą, sudėtį ir funkcijas (Surampalli ir kt., 2020). Todėl svarbu išsaugoti natūralius gamtos išteklius, tokius kaip vanduo, oras, dirvožemis, mineralai ir biologinė įvairovė (Nishant ir kt., 2020).

Viena iš sričių, galinčių mažinti klimato kaitą yra aplinkosauginis tvarumas, kuris yra būsimų kartų išteklių ir paslaugų poreikių patenkinimas nedarant įtakos ekosistemai (Nishant ir kt., 2020). Jis tapo organizacijų etiniu ir strateginiu prioritetu (Zacher ir kt., 2025). Įmonės diegia aplinkosauginio tvarumo principus ir taip siekia prisitaikyti prie suinteresuotųjų šalių: besikeičiančių klientų ir visuomenės lūkesčių, prie investicinių sprendimų priėmimų, produktų kūrimo, gamybos ir organizacinių operacijų (Lazaretti ir kt., 2020; Lin ir kt., 2024). Diegiamos tvarios veiklos praktikos leidžia organizacijoms ne tik sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, bet ir stiprinti reputaciją, inovatyvumą bei konkurencinį pranašumą rinkoje (Ying ir Jin, 2024). Organizacijų darbuotojai taip pat yra skatinami arba įpareigojami siekti aplinkosauginio tvarumo. Darbuotojai, kurie įsitraukia į tvaresnės organizacijos kūrimą yra labiau patenkinti savo darbo vieta ir gerina organizacijos reputaciją (Zacher ir kt., 2025).

Klimato kaitos mažinimui yra naudojamos skirtingos priemonės ir metodai (Gomes ir kt., 2024). Pirmiausia aplinkosauginį tvarumą skatina sparti technologinė pažanga. Tokios technologinės priemonės kaip dirbtinis intelektas (toliau tekste – DI), kuris siūlo novatoriškus sprendimus. Panaudojus DI skatinamas energijos vartojimo efektyvinimas, atsinaujinančių energijos šaltinių diegimas, atliekų tvarkymo ir perdirbimo valdymas bei tiekimo grandinės optimizavimas (Danish ir Senjyu, 2023; Dauvergne, 2022; Fang ir kt., 2023; Jha ir kt., 2017). Dirbtinio intelekto panaudojimas yra vis labiau neatsiejamas nuo technologinės pažangos, kuria siekiama skatinti aplinkosauginį tvarumą. Tikimasi, kad DI atliks pagrindinį vaidmenį kuriant pažangesnes, labiau prisitaikančias ir tvaresnes sistemas (Tosin ir kt., 2024).

Žaliosios inovacijos apibrėžiamos kaip produktų ir procesų inovacijų kūrimas, kurios apima ekologiškų žaliavų naudojimą ir ekologišką gaminių dizainą, mažinant medžiagų sunaudojimą, teršalų išmetimą ir energijos išteklių (vanduo, elektra) suvartojimą taip nekenkiant aplinkai ir yra aktualios šiandien, nes gali suteikti pranašumą prieš konkurentus, sustiprinti klientų pasitikėjimą ir reputaciją bei sumažinti pinigų srautų nepastovumą (Ying ir Jin, 2024; Lin ir kt.,

2024). Todėl svarbu įvertinti ir žaliąsias inovacijas, kurios yra susijusios su aplinkosauginiu tvarumu ir dirbtiniu intelektu.

Dėl augančios pažangos biotechnologinės organizacijos neatsiejamos nuo aplinkosauginio tvarumo, dirbtinio intelekto ir žaliosios inovacijos. Tai yra viena iš labiausiai augančių XXI amžiaus industrijų, kuri įdarbina daugiau nei 22 milijonus darbuotojų vien tik Europoje (Gartland ir kt., 2013). Pati biotechnologija yra gyvųjų organizmų ir biologinių procesų panaudojimas pramonėje, medicinoje bei žemės ūkyje (Steiner, 2020). Biotechnologija yra skirstoma į keturias pagrindinės kategorijas pagal spalvas: žaliaji biotechnologija – apima žemės ūkio procesus; raudonoji biotechnologija – medicinos procesai ir žmogaus sveikata, įskaitant antibiotikų vystymą, genų terapiją; mėlynoji biotechnologija – mikroorganizmų taikymas vandens ir jūrų biotechnologijoje; baltoji biotechnologija – pramoniniai procesai (Raju P, 2016). Biotechnologiniai produktai ir metodai prisideda ir prie aplinkosauginio tvarumo integruojant gyvuosius organizmus į chemijos pramonę, energetikos sektorių, žemės ūkį bei ekosistemų atkūrimą. Taip sumažinamas cheminių medžiagų išskyrimas į aplinką (Arora ir Fatima, 2024). Siekiant spartesnės pažangos panaudojami įvairūs DI įrankiai, kurie palengvina kasdienius rutininius procesus, todėl DI poveikis biotechnologijoms tampa vis reikšmingesnis (Gomes ir kt., 2024).

Apibendrinus, tema yra aktuali, nes intensyvėjant žmonių veiklai ir augant iškastinio kuro naudojimui didėja šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis atmosferoje ir tai skatina pasaulinį atšilimą. Viena iš sričių, galinčių mažinti klimato kaitą yra aplinkosauginis tvarumas, kuris tapo organizacijų etiniu ir strateginiu prioritetu. Dėl augančios biotechnologinės pažangos svarbu įvertinti aplinkosauginio tvarumo reikšmę šiame sektoriuje. DI, kuris sparčiai vystosi siūlo novatoriškus sprendimus biotechnologinėse organizacijose ir skatina diegti skirtingas priemones ir metodus. Žaliosios inovacijos yra taip pat aktualios šiandien, nes gali suteikti pranašumą prieš konkurentus, sustiprinti klientų pasitikimą ir reputaciją bei sumažinti pinigų srautų nepastovumą.

Analizuojamos temos ištirimo lygis. Yra tyrimų, kuriuose ištirta, kokie DI įrankiai naudojami organizacijose kasdienėse veiklose ir skatinant aplinkosauginį tvarumą (Ying ir Jin, 2024; Regona ir kt., 2022). Taip pat yra pateikiami ir DI įrankiai panaudojami biotechnologinėse organizacijose (Holzinger ir kt., 2023). Tačiau informacija varijuoja tarp skirtingų šaltinių. Yra ištirta, kad DI poveikio aplinkosauginiam tvarumui lemiančių veiksnių supratimas yra menkas (Al-Sharafi ir kt., 2023). Apžvelgus moksšlinę literatūrą taip pat nustatyta, kad yra ištirta DI įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms (procesų ir produktų) (Lin ir kt., 2024). Tačiau šis ryšys buvo tiriamas žemės ūkio organizacijose Kinijoje. Nors biotechnologijos sektorius sparčiai vystosi, tačiau nepavyko rasti informacijos apie mediaciją. Kaip ir nepavyko rasti informacijos

apie šio sektorių darbuotojus, todėl šiame darbe tiriama DI įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms biotechnologinių organizacijų darbo vietose.

Darbo naujumas. Mokslinėje literatūroje dirbtinis intelektas ir aplinkosauginis tvarumas yra plačiai nagrinėjamos kaip atskiros sąvokos, tačiau šis darbas yra naujas tuo, kad tiriama dirbtinio intelekto įrankių ir naudojimo sričių įtaka aplinkosauginiam tvarumui. Taip pat darbe yra apibendrinami DI įrankiai ir jų naudojimas aplinkosauginiam tvarumui. Dirbtinio intelekto naudojimo įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms (procesų ir produktų) buvo tirta tik žemės ūkio įmonėse Kinijoje, bet nebuvo tirta kituose sektoriuose ir šalyse. Todėl šis darbas naujas tuo, kad mediacinis ryšys yra tiriamas apklausiant Lietuvoje veikiančių biotechnologinių organizacijų darbuotojus. Darbas naujas ir tuo, kad jame tiriama tiesioginio ryšio tarp DI, žaliosios inovacijos ir aplinkosauginio tvarumo nustatymas.

Darbo problema. Moksliniuose literatūros šaltiniuose yra pateikiama nemažai informacijos apie aplinkosauginį tvarumą, DI ir žaliąsias inovacijas kaip atskirus elementus. Tačiau mokslinės literatūros šaltiniuose nepavyko rasti informacijos apie DI įrankių ir naudojamų sričių tiesioginę įtaką aplinkosauginiam tvarumui, o apie ryšį tarp dirbtinio intelekto, aplinkosauginio tvarumo ir žaliosios inovacijos informacijos rasta mažai. Šiame darbe bus siekiama nustatyti kaip DI veikia aplinkosauginį tvarumą medijuojant žaliosioms inovacijoms.

Darbo tikslas. Įvertinti dirbtinio intelekto taikymo įtaką aplinkosauginiam tvarumui, medijuojant produktų ir procesų žaliosioms inovacijoms.

Darbo uždaviniai.

1. Atlikus literatūros analizę apibendrinti aplinkosauginio tvarumo, dirbtinio intelekto, žaliosios inovacijos, apibrėžimus, struktūrinius elementus bei modelius.
2. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti tiesioginę dirbtinio intelekto įtaką žaliosioms produktų ir procesų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui.
3. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti tiesioginę žaliosios produktų ir procesų inovacijos įtaką aplinkosauginiam tvarumui.
4. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti DI (įrankių ir naudojimo sričių) įtaką aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms produktų ir procesų inovacijoms.

Darbe naudoti tyrimo metodai. Magistro baigiamajame darbe tyrimo objektui nagrinėti naudota mokslinės literatūros apžvalga ir analizė. Empirinis tyrimas atliktas remiantis kiekybinio tyrimo metodologija vykdant anoniminę apklausą, siekiant apibendrinti didesnio respondentų skaičiaus nuomonę. Respondentų tiriamojo reiškimo suvokimas buvo vertinamas Likerto skalėje. Respondentai buvo atrinkti netikimybinio būdu. Tyrimo duomenų apdorojimas atliktas taikant statistinę duomenų analizę.

Darbo struktūra. Magistro baigiamąjį darbą sudaro 70 puslapių, 82 literatūros šaltiniai. Darbas apima įvadą, tris skyrius, išvadas ir pasiūlymus, literatūros ir šaltinių sąrašą. Pirmajame darbo skyriuje pateikiama aplinkosauginio tvarumo, dirbtinio intelekto ir žaliosios inovacijos literatūros apžvalga, kuri susideda iš sisteminės literatūros apžvalgos apie aplinkosauginį tvarumą, dirbtinį intelektą ir jo naudojimą siekiant aplinkosauginio tvarumo, žaliąsias inovacijas, DI įtakos aplinkosauginiam tvarumui, žaliosios produktų inovacijos įtakos DI įrankių naudojimui ir aplinkosauginiam tvarumui bei DI naudojimo įtakos žaliosios procesų ir produktų inovacijos įtakos aplinkosauginiam tvarumui. Antrajame skyriuje aprašoma empirinio dirbtinio intelekto taikymo įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms organizacijose tyrimo metodologija, pateikiamas empirinio tyrimo aprašas ir tyrimo rezultatų analizė. Po šio skyriaus pateikiamos išvados bei literatūros ir šaltinių sąrašas. Darbą papildė 18 lentelių, 6 paveikslėliai.

Raktiniai žodžiai. Aplinkosauginis tvarumas, dirbtinis intelektas, žaliosios inovacijos, žalioji produktų inovacija, žalioji procesų inovacija.

1. LITERATŪROS APIE APLINKOSAUGINĮ TVARUMĄ, DIRBTINĮ INTELEKTĄ IR ŽALIASIAS INOVACIJAS APŽVALGA

1.1. Aplinkosauginis tvarumas

Aplinkosauginis tvarumas (angl. *environmental sustainability*) yra būsimų kartų išteklių ir paslaugų poreikių patenkinimas nedarant įtakos ekosistemai. Aplinkosauginį tvarumą apima mažai poveikio aplinkai darantis transportas, tvarus žemės ūkis, aplinkos išteklių išsaugojimas (biologinės įvairovės, vandens išteklių, energijos naudojimo sumažinimo, atsinaujinanti energija, maisto žaliavos ir mineralai, dirbamos žemės panaudojimo tvarumas), atliekų ir taršos valdymas (atliekų mažinimas, perdirbimas, pakartotinas naudojimas, taršos stebėjimas) (Nishant ir kt., 2020). Pastaraisiais metais įmonės susidūrė su pagrindinėmis aplinkosauginėmis problemomis (Lin ir kt., 2024). Įmonės vis daugiau diegia aplinkosauginio tvarumo principus siekdamos prisitaikyti prie besikeičiančių klientų ir visuomenės lūkesčių (Tardin ir kt., 2024). Nustatyta, kad ir kitos suinteresuotosios šalys (akcininkai, Vyriausybės institucijos) daro išorinį spaudimą, kad organizacijos elgtųsi tvariai (Lazaretti ir kt., 2020). Aplinkosaugos problemos yra svarbios kalbant apie investicinių sprendimų priėmimą, produktų kūrimą, gamybą ir organizacines operacijas (Lin ir kt., 2024).

Aplinkosauginis tvarumas yra apibūdinamas trimis veiklos taisyklėmis: 1) atsinaujinantys ištekliai (žuvis, dirvožemis, požeminis vanduo) turi būti naudojami lėčiau nei jie atsinaujina; 2) neatsinaujinantys ištekliai (mineralai ir iškastinis kuras) turi būti naudojami lėčiau nei gali būti panaudoti atsinaujinantys ištekliai; 3) teršalai ir atliekos turi būti išmetamos lėčiau nei natūralios sistemos gali jas apdoroti, perdirbti arba padaryti nepavojingomis (Little ir kt., 2016).

Vertinant aplinkosauginį tvarumą naudojami rodikliai, kurie skirstomi į kategorijas ir kiekybiškai įvertina žmogaus veiksmų poveikį: teigiamai arba neigiamai (Little ir kt., 2016). Pagrindinis rodiklio tikslas yra lengvai ir suprantamai pateikti informaciją apie aplinkosauginį tvarumą (Usubiaga-Liaño ir Ekins, 2021). Vienas iš naudojamų rodiklių yra aplinkosaugos veiksmingumo indeksas (AVI) (Little ir kt., 2016). Aplinkosaugos veiksmingumo indeksas skaičiuojamas 180 šalių ir nacionaliniu mastu parodo, kiek šalys yra arti nustatytų aplinkosauginio tvarumo tikslų (Wendling ir kt., 2018). AVI apjungia 58 rodiklius, apimančius 11 kategorijų - nuo klimato kaitos mažinimo ir oro taršos iki atliekų tvarkymo, žuvininkystės ir žemės ūkio tvarumo, miškų naikinimo ir biologinės įvairovės apsaugos. Remiantis 2024 m. duomenimis aukščiausią indeksą turi Estija, po jos Liuksemburgas ir Vokietija. Lietuva yra 21 vietoje, o paskutinėje vietoje yra Vietnamas (2024 Environmental Performance Index - Environmental Performance Index, 2024.).

Kartu su aplinkosauginiu tvarumu dažnai minimas ir darnus vystymasis. Darnus vystymasis (angl. *sustainable development*) yra vystymasis, kuris tenkina dabarties kartų poreikius nepakenkiant ateities kartų galimybėms patenkinti savo poreikius (Emina, 2021). Darnus vystymasis ir aplinkosauginis tvarumas yra panašios sąvokos, tačiau skiriasi tuo, kad darnus vystymas yra platesnis ir apima tvarumo principų panaudojimą planuojant ir įgyvendinant įvairias politikas ir projektus. Darnus vystymasis susideda iš – ekonominės aplinkos ir aplinkos kokybės – ir siekia balanso tarp jų vystymosi. Ekonominė plėtra yra darni ir tvari, tik jei ji kartu teigiamai veikia socialinę aplinką ir mus supančios aplinkos kokybę (Jakštienė ir Čeponienė, 2022). 2015 metais rugsėjį tarptautinė bendruomenė Junginių Tautų Generalinėje Asamblėjoje priėmė Darnaus vystymosi darbotvarkę iki 2030 metų (Weiland ir kt., 2021). Ši darbotvarkė yra paremta penkiais principais: žmonės, planeta, gerovė (klestėjimas), taika ir partnerystė (Jakštienė ir Čeponienė, 2022). Darnaus vystymosi darbotvarkę sudaro septyniolika darnaus vystymosi tikslų ir 169 uždaviniai, kurie yra suskirstyti į tris kategorijas: aplinka, ekonomika ir visuomenė (Al-Sharafi ir kt., 2023). 1 paveikslas pavaizduoti darnaus vystymosi darbotvarkės tikslai.

1 paveikslas Darnaus vystymosi darbotvarkės – 2030 tikslai

1. SUMAŽINTI SKURDĄ	2. SUMAŽINTI BADAŲ	3. GERA SVEIKATA IR GEROVĖ	4. KOKYBIŠKAS IŠSILAVINIMAS	5. LYČIŲ LYGYBĖ	6. ŠVARUS VANDUO IR HIGIENA
7. PRIEINAMA IR ŠVARI ENERGIJA	8. DERAMAS DARBAS IR EKONOMINIS AUGIMAS	9. PRAMONĖ, INOVACIJOS IR INFRASTRUKTŪRA	10. SUMAŽINTI NELYGYBĘ	11. DARNŪS MIESTAI IR BENDRUOMENĖS	12. ATSAKINGAS VARTOJIMAS IR GAMYBA
13. SUŠVELNINTI KLIMATO KAITOS POVEIKĮ	14. GYVYBĖ VANDENYSE	15. GYVYBĖ ŽEMĖJE	16. TAIKA IR TEISINGUMAS, STIPRIOS INSTITUCIJOS	17. PARTNERYSTĖ ĮGYVENDINTI TIKSLUS	

Šaltinis: sudarytas autorės remiantis (Jakštienė ir Čeponienė, 2022)

Apibendrinus, aplinkosauginis tvarumas yra būsimų kartų išteklių ir paslaugų poreikių patenkinimas nedarant įtakos ekosistemai, kuri sudaro mažai poveikio aplinkai darantis transportas, tvarus žemės ūkis, aplinkos išteklių išsaugojimas, atliekų ir taršos valdymas. Su aplinkosauginiu tvarumu dažnai siejamas darnus vystymasis yra panaši sąvoka, tačiau skiriasi tuo, kad darnus vystymas yra platesnis ir apima tvarumo principų panaudojimą. Įmonės vis daugiau diegia aplinkosauginio tvarumo principus siekdamos prisitaikyti prie besikeičiančių klientų ir visuomenės pageidavimų bei griežtėjant aplinkosauginiam reguliavimui.

1.2. Dirbtinis intelektas

Bendrai pripažinto dirbtinio intelekto apibrėžimo nėra. Literatūroje dažniausiai įvardijami apibrėžimai pateikti žemiau (1 lentelė).

1 lentelė Literatūroje pateikiami DI apibrėžimai

Apibrėžimas	Šaltinis
Algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytųsi, stebėtų, suprastų ir reaguotų į bet kokią problemą ar situaciją	Kumari ir kt., 2023
Mokslo šaka, susijusi su išmaniųjų mašinų kūrimu, kuri gali atlikti užduotis naudojant žmogaus intelektą	O'Donovan ir kt., 2024
Programos, kurios gali būti valdomos automatiškai, naudojant savarankiškus mechanizmus ir elektroninius įrenginius, kurie naudoja intelektualų valdymą	Regona ir kt., 2022
Problemų sprendimo būdų ir išsikeltų tikslų kompiuterizavimas	Duan ir kt., 2019

Šaltinis: sudarytas darbo autorės remiantis (Duan ir kt., 2019; Kumari ir kt., 2023; O'Donovan ir kt., 2024; Regona ir kt., 2022).

Šiame darbe DI buvo interpretuotas kaip algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytųsi, stebėtų, suprastų ir reaguotų į bet kokią problemą ar situaciją (Kumari ir Pandey, 2023).

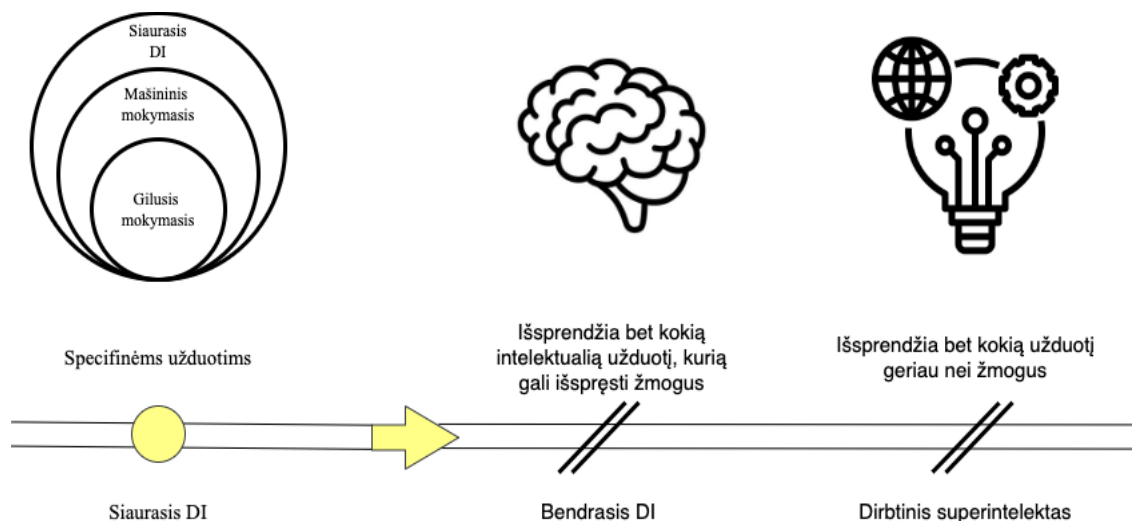
Lyginat su kitomis skaitmeninėmis technologijomis dirbtinis intelektas leidžia kompiuterinėms sistemoms simuliuoti intelektualaus žmogaus elgesį taip sugriaunant tradicinį įmonių valdymą ir skatinant inovacijas (Lin ir kt., 2024). DI programos tokios kaip virtualus asmeninis asistentas, išmaniosios transporto priemonės, pirkimo numatymas, kalbos atpažinimas ar išmanieji namų įrenginiai, yra beveik visur, o panašūs DI pagrįsti metodai keičia mūsų kasdienį gyvenimą taip, kad būtų pagerintas žmonių produktyvumas, sauga, sveikata (Mata ir k., 2018).

Nors kitos automatizuotos technologijos (automobiliai, garo varikliai) yra pakeitusios fizinį darbą ir anksčiau, tačiau XXI a. yra vadinamas „Antrąja mašinų era“, kur manoma, kad DI pakeis ne tik fizinį darbą, bet pažinimo (rega, kalba) ir nerutininius procesus (Al-Sharafi ir al., 2023).

Yra išskiriami trys abstraktūs DI tipai: 1) siaurasis (arba silpnasis DI) DI – naudojamas specifinėms užduotims atlikti; 2) bendrasis DI – yra būsimas DI, kuris galės išspręsti sudėtingas problemas savo mintimis ir nusiteikimu; 3) dirbtinis superintelektas – dar nėra išrastas, bet jei būtų išrastas viršytų visas žmogaus galimybes (Regona ir kt., 2022). Siaurasis DI labiausiai paplitęs DI

tipas ir naudojamas daugelyje programų įskaitant skaitmeninius balso asistentus, pokalbių robotus, transporto priemones, vaizdo ir kalbos atpažinimo sistemas (Kanade, 2022). Šiame darbe taikoma pagrindinė dirbtinio intelekto struktūra pavaizduota žemiau (2 paveikslas).

2 paveikslas *Abstrakti dirbtinio intelekto struktūra*



Šaltinis: sudarytas autorės remiantis (Wiklund ir kt., 2022).

Toliau tekste siaurasis DI yra įvardijamas kaip DI, nes bendrasis ir dirbtinis superintelektas nėra praktiškai pritaikomi ir yra tik teoriniai (Wiklund ir kt., 2022).

DI įrankiai yra skirstomi: 1) mašininis mokymasis; 2) dirbtinis neuroninis tinklas; 3) gilusis mokymasis; 4) kompiuterinė rega; 5) natūralios kalbos apdorojimas; 6) kognityvinis skaičiavimas; 7) nuspėjamoji analitika; 8) robotinių procesų automatizavimas; 9) semantinė paieška ir kitas technologijas, kad būtų imituoti žmonės per programavimą ir algoritmų naudojimą (Ying ir Jin, 2024; Regona ir kt., 2022).

Mašininis mokymasis (angl. *machine learning*) yra DI sritis, apimanti kompiuterinių modelių kūrimą, kurie geba mokytis ir savarankiškai daryti prognozes arba priimti sprendimus, remdamiesi pateiktais duomenimis (Kufel ir kt., 2023). Mašininis mokymasis užtikrina didesnę tikslumą, duomenų analizės greitį, efektyvumą ir programos ar algoritmo optimizavimą, kad būtų rodomas intelektualus, į žmogų panašus elgesys, galintis spręsti procesus (Gomes ir kt., 2024). Ši technologija analizuoja didelius duomenų rinkinius, ieškodama pasikartojančių dėsningumų. Išskiriami keturi pagrindiniai mašininio mokymosi metodai (Sarker, 2021):

- 1) prižiūrimasis mokymasis (užduotimis pagrįstas mokymasis) – algoritmai mokosi iš pažymėtų duomenų, t.y duomenys turi etiketes, kurios nurodo teisingą rezultatą. Toks mokymasis vykdomas, kai nustatomi tikslai, kurių siekiama iš įvesties duomenų. Teksto klasifikacija yra prižiūrimojo mokymosi pavyzdys.

- 2) neprižiūrimasis mokymasis (duomenimis pagrįstas sprendimų priėmimas) – analizuoja nežymėtus duomenų rinkinius be žmogaus įsikišimo. Šis mokymasis naudojamas naujų duomenų generavimui, tendencijų ir struktūrų nustatymui bei rezultatų grupavimui.
- 3) pusiau prižiūrimasis – tarpinis tarp prižiūrimo ir neprižiūrimo mokymosi. Kasdieniame pasaulyje žymėtų duomenų yra mažiau nei nežymėtų, todėl pusiau prižiūrimasis mokymasis yra naudingas.
- 4) sustiprinimo mokymasis – algoritmai mokosi per bandymus ir klaidas, reaguodami į aplinką.

Dabartiniame Pramonės 4.0 revoliucijos amžiuje mašininis mokymasis tampa populiarus įvairiose taikymo srityse dėl savo galimybių mokytis iš praeityje padarytų sprendimų. Mašininis mokymasis tapo itin svarbia kibernetinio saugumo priemone, padeda sumažinti perteklinę gamybą, išanalizavęs duomenis atsižvelgia į dabartinius energijos suvartojimo kiekius (Sarker, 2021). Mašininis mokymasis sudaro pagrindą visiems toliau išvardintiems DI įrankiams.

Dirbtinis neuroninis tinklas (angl. *neural network*) yra mašininio mokymosi algoritmas, paremtas biologinių neuroninių tinklų principu (Kang ir kt., 2015). Dirbtinių neuroninių tinklų naudojimo tikslas yra sukurti paprastesnį žmogaus smegenų modelį ir imituoti smegenų elgseną mokymosi užduotyse ar procesuose, siekiant spręsti įvairių sričių problemas: elektros inžinerijos, žemės ūkio inžinerijos, procesų ir maisto inžinerijos bei kitose srityse (Malekian ir Chitsaz, 2021). Norint suprasti neuroninių tinklų veikimą pradedama nuo duomenų įvedimo – vaizdo, teksto ar garso, toliau tokie duomenys keliauja per tinklą, kur yra apdorojami, kol pasiekia išėjimą – modelio sugeneruotą rezultatą (Kufel ir kt., 2023).

Gilusis mokymasis (angl. *deep learning*) yra mašininio mokymosi dalis, kuri naudoja dirbtinius neuroninius tinklus (Kufel ir kt., 2023). Pagrindinis gilaus mokymosi pranašumas, palyginus su mašininio mokymusi, yra geresnis jo veikimas kai naudojami didelių duomenų rinkiniai, tokie kaip tekstas (pvz. ChatGPT) ar vaizdai (pvz. DALL-E2) (Holzinger ir kt., 2023; Sarker, 2021).

Nuspėjamoji analitika (angl. *predictive analytics*) yra mašininio mokymosi, statistinių metodų ir duomenų naudojimas, siekiant analizuoti istorinius ir esamus duomenis, prognozuojant būsimus įvykius ir jų elgesį (Jamarani ir kt., 2024). Nuspėjamoji analitika identifikuoja tendencijas ir prognozuoja proceso kokybę, numatant išteklių poreikius, galimas neatitiktis ir intervencijų poreikį (Relich, 2023).

Kompiuterinė rega (angl. *computer vision*) yra kompiuterių naudojimas siekiant išsamiai suprasti vizualinius duomenis, taikant panašų požiūrį kaip ir žmogaus regos sistema (Xu ir kt., 2021). Kompiuterinė rega daugiausia naudojama procesų automatizavimui, kurie sumažina išteklių švaistymą taip pagerinant gamybos efektyvumą, todėl didinamas aplinkosauginis

tvarumas (O'Donovan ir kt., 2024). Panaudojant kompiuterinę regą mašinoms leidžiama interpretuoti ir apdoroti gautą vizualią informaciją iš aplinkos atpažįstant vaizdus ir identifikuojant objektus. Naujausi pasiekimai, ypač giluminio mokymosi srityje, reikšmingai pagerino kompiuterinės regos sistemų galimybes, leidžiant atlikti sudėtingesnes vizualias užduotis. Šie pasiekimai turi plačias taikymo galimybes įvairiose pramonės šakose, įskaitant aplinkosauginio tvarumo didinimą. Tačiau vis dar susiduriama su iššūkiais: modelių patikimumas, gebėjimas prisitaikyti prie dinamiškos aplinkos ir sudėtingų giluminio mokymosi modelių interpretacijų (Gao ir kt., 2024).

Natūralios kalbos apdorojimas (angl. *natural language processing*) yra DI dalis, apimanti sistemų ir algoritmų, galinčių sąveikauti naudojant žmogaus kalbą, kūrimą (Lauriola ir kt., 2022). Natūralios kalbos apdorojimas yra klasifikuojamas į natūralios kalbos supratimą, kuris leidžia suprasti natūralią kalbą ir ją analizuoti išgaunant sąvokas, emocijas bei raktinius žodžius ir natūralios kalbos generavimą – prasmingų frazių, sakinių ir pastraipų kūrimo procesą. Natūralios kalbos apdorojimas naudojamas verčiant tekstą išlaikant sakinio prasmę. Vienas tokios įrankio pavyzdys yra „Google“ vertėjas (Khurana ir kt., 2023).

Kognityvinis skaičiavimas (angl. *cognitive computing*) yra DI sritis, kuri siekia kurti sistemas, galinčias imituoti žmogaus mąstymo procesus, įskaitant mokymąsi, samprotavimą ir supratimą. Kognityvinio skaičiavimo sistemos naudoja pažangius algoritmus ir mašininio mokymosi metodus (Elnagar ir kt., 2023). Praktiškai kognityvinis skaičiavimas naudojamas kuriant savarankiškai besimokančias sistemas, kurios bendrauja su žmonėmis, prisitaikydamos prie konteksto ir pokyčių. Šis metodas apjungia natūralios kalbos apdorojimo, žinių reprezentavimo ir mašininio mokymosi įžvalgas, kad būtų sukurtos sistemos, galinčios suprasti ir generuoti žmogaus kalbą, palengvinant natūralesnę žmogaus ir kompiuterio sąveiką (Dragoni ir Rospoche, 2018).

Robotinių procesų automatizavimas (angl. *robotic process automation*) yra specifinių technologijų ir metodikų taikymas, pagrįstas programine įranga ir algoritmais, kuriais siekiama automatizuoti pasikartojančias žmogaus užduotis (Ivančić ir kt., 2019). Naudojant robotinių procesų automatizavimą susiejamos sistemos naudojant taisyklėmis pagrįstus programinės įrangos robotus, kurie imituoja žmonių sąveiką, siekiant palengvinti dažnai pasikartojančias, mažai pridėtinės vertės kuriančias ir taisyklėmis pagrįstas užduotis (Köpke ir kt., 2023; Patrício ir kt., 2023). Nors robotinių procesų automatizavimas yra svarbus aplinkosauginiam tvarumui, nes skatina ekologiškesnės energijos naudojimą, tačiau diegiant tokius procesus svarbu atsižvelgti ar ilgalaikėje perspektyvoje tai iš tiesų yra tvaru (Patrício ir kt., 2023).

Semantinė paieška (angl. *semantic search*) yra DI metodas, pagrįstas informacijos ieškojimu ne tik pagal specifinius žodžius, bet ir pagal prasmę (Latard ir kt., 2017). Panaudojant

semantinę paiešką pagerinamos paieškos galimybės ieškant informacijos apie aplinkosauginį tvarumą, lengviau atrandami tvarūs produktai ir paslaugos (Shirol ir kt., 2023).

Dirbtinio intelekto trys pagrindinės naudos: 1) DI leidžia automatizuoti svarbias, pasikartojančias ir daug laiko reikalaujančias užduotis, todėl galima sutelkti dėmesį į vertingesnius darbus; 2) DI atskleidžia įžvalgas, kurios kitu atveju yra įstrigusios didžiuliuose nestruktūrizuotose duomenų kiekiuose, kuriems kažkada reikėjo žmogaus valdymo ir analizės kiekių; 3) DI gali integruoti tūkstančius kompiuterių ir kitų išteklių, kad išspręstų sudėtingas problemas (Nishant ir kt., 2020).

Per pastaruosius metus išaugo organizacijų skaičius, kurios naudoja DI arba svarsto jį naudoti (Lee ir kt., 2023). Daugumai organizacijų DI produktai dar vis lieka eksperimentiniais (Benbya ir kt., 2020). Atlikta apklausa parodė, kad 85 % apklaustų vadovų per ateinančius metus planuoja daugiau investuoti į dirbtinio intelekto technologijas (Lee ir kt., 2023). Kad organizacijos sparčiai pradėjo taikyti dirbtinį intelektą, gali būti siejamos su keturiomis pagrindinėmis priežastimis: 1) per pastaruosius du dešimtmečius buvo padaryta didelė pažanga mokslo ir technologijų srityse, kuriose pritaikyti DI metodai; 2) informacinės technologijos tampa vis efektyvesnės saugant informaciją, kuri gali būti automatizuota; 3) dėl mažėjančios kompiuterinės kainos įrangos ir DI skirtų lustų kainos skaičiavimo galia, kuri skatina technologinę pažangą, tampa prieinama; 4) debesų technologijomis pagrįstų paslaugų augimas padarė DI prieinamą įvairioms organizacijoms – nuo pradedančiųjų iki įsitvirtinusių (von Krogh, 2018).

Nepaisant to, kad DI naudojimas siekiant aplinkosauginio tvarumo tikslų yra naudingas, tačiau jis sukelia ir neigiamą poveikį (Al-Sharafi ir kt., 2023). Spartus dirbtinio intelekto vystymasis turi būti paremtas reikiamu reguliavimu, kad neatsirastų skaidrumo, saugos ir etikos standartų spragų (Vinuesa ir kt., 2020). DI sistemos yra pažeidžiamos kibernetinėmis atakomis ir nutekinami duomenys, dėl ko gali būti neteisėtai prisijungta prie sistemų manipuliuojant duomenimis ar sutrikdant veiklą (Tosin ir kt., 2024). Kalbant apie energijos vartojimo efektyvinimą panaudojant DI energijos suvartojimo duomenys gali būti konfidencialūs, todėl yra neramu dėl neteisėtos prieigos, piktnaudžiavimo duomenimis ar išnaudojimo, nes tai gali pakenkti privatumui (Tosin ir kt., 2024). Siekiant užimti pirmaujančią poziciją 2021 metų balandį Europos Komisija išleido ES dirbtinio intelekto aktą, kurio tikslas yra sukurti DI reguliavimo sistemą – šis aktas siūlo riziką vertinti pagal dydį: kuo didesnė rizika, tuo griežtesni ribojimai (Kalodanis ir kt., 2023).

Apibendrinant, bendrai pripažinto DI termino dar nėra, tačiau šiame darbe DI buvo interpretuotas kaip algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytųsi, stebėtų, suprastų ir reaguotų į bet kokią problemą ar situaciją. DI keičia kasdienį gyvenimą taip, kad būtų pagerintas produktyvumas, sauga, sveikata. DI naudoja

kompiuterio mokymąsi, gilųjį mokymąsi, kompiuterinę viziją ir kitas technologijas, kad būtų imituoti žmonės per programavimą ir algoritmų naudojimą. Per pastaruosius metus išaugo organizacijų skaičius, kurios naudoja DI arba svarsto jį naudoti.

1.3. Žalioji inovacija

Žalioji inovacija (angl. *green innovation*) – produktų ir procesų inovacijų kūrimas, kuris apima ekologiškų žaliavų naudojimą ir ekologišką gaminių dizainą, mažinant medžiagų sunaudojimą, teršalų išmetimą ir energijos išteklių (vanduo, elektra) suvartojimą taip nekenkiant aplinkai (Lin ir kt., 2024). Panaudojus žaliąsias inovacijas yra pereinama prie ekologiškų technologijų, praktikų ir procesų organizacijose (Alshammari ir Alshammari, 2023). Žalioji inovacijos yra naujas inovacijų būdas, padedantis veiksmingai spręsti taršos prevencijos ir kontrolės problemas, susijusias su energijos taupymu, žaliųjų technologijų atnaujinimu ir įmonių ekologišku valdymu, taip pat padeda gerinti ekologišką įmonių įvaizdį, skatina įmonių tvarų vystymąsi ir gauna ekonominę naudą (Sun ir Sun, 2021). Žaliosios inovacijos laikomos veiksminga priemone įgyti konkurencinį pranašumą, nes prisideda prie naujų rinkų atvėrimo arba naujų produktų ir taikomųjų programų kūrimo tvariai ir atsakingai (Guinot ir kt., 2022; Sun ir Sun, 2021). Žalioji inovacija skirstoma į žaliąją produktų inovaciją ir žaliąją procesų inovaciją (Lin ir kt., 2024).

Žalioji produktų inovacija (angl. *green product innovation*) – produktai, kuriems pagaminti naudojami netoksiški junginiai arba biologiškai skaidomos medžiagos keičiant arba modifikuojant gaminio dizainą, siekiant sumažinti poveikį aplinkai ir pagerinti energijos vartojimo efektyvumą (Yuan ir Cao, 2022). Žalioji produktų inovacija gali būti naudojama organizacijoje siekiant pranašumo prieš konkurentus rinkoje, sustiprinti klientų pasitikėjimą, sustiprinti reputaciją ir sumažinti pinigų srautų nepastovumą. Taip pat žalioji produktų inovacija teikia pirmenybę mažesniai išteklių naudojimui arba mažesniai energijos kiekiui, siekiant sumažinti suvartojimą ir sutaupyti sąnaudas bei sumažinti toksiškų medžiagų naudojimą ir atverti naujas rinkas, siekiant aplinkos ir ekonominės naudos. Be to, kai kurios studijos atskleidžia, kad žalioji produktų inovaciją organizacijoje yra lengviau įdiegti nei žaliąją procesų inovaciją, nes nereikalauja didelių investicijų ir atsiperka per greitesnį laiką (Ying ir Jin, 2024). Žaliosios produktų inovacijos padeda nustatyti naujas rinkas, padidinti savo rinkos dalį ir padidinti produktų pardavimo pajamas (Ta'Amnha ir kt., 2024).

Žalioji procesų inovacija (angl. *green process innovation*) – procesai, kurie siejami su energijos suvartojimo sumažinimu gamybos metu ar perdirbimo procese, įskaitant išmetamųjų dujų ir nuotekų išmetimą, vandens suvartojimo sumažinimą, išteklių ir energijos vartojimo efektyvinimo didinimą ir perėjimą nuo iškastinio kuro prie bioenergijos (Lin ir kt., 2024).

Teigiama, kad įmonės turinčios didesnę pranašumą DI srityje gali geriau optimizuoti gamybos procesą (Lin ir kt., 2024). Žaliosios procesų inovacijos sumažina nereikalingas gamybos sąnaudas, dėl to padidėja pelningumas, o tai pageria bendrą organizacijos našumą. Kaip ir žaliosios produktų inovacijos taip ir žaliosios procesų inovacijos gerina įmonės įvaizdį ir verslo konkurencinį pranašumą (Ta'Amnha ir kt., 2024). Tvarus gamybos procesas gali būti kuriamas naudojant savarankiško mokymosi, prisitaikymo ir savarankiško veikimo operacijas, kurios reaguoja į išorinius aplinkos pokyčius bei charakteristikas (Lin ir kt., 2024).

Apibendrinus, panaudojus žaliąsias inovacijas yra pereinama prie ekologiškų technologijų, praktikų ir procesų organizacijose. Žalioji inovacija yra skirstoma į žaliąją produktų ir žaliąją procesų inovacijas. Žalioji produktų inovacija gali būti naudojama organizacijoje siekiant pranašumo prieš konkurentus rinkoje, sustiprinti klientų pasitikėjimą, sustiprinti reputaciją ir sumažinti pinigų srautų nepastovumą. Žalioji procesų inovacijos sumažina nereikalingas gamybos sąnaudas, dėl to padidėja pelningumas, o tai pageria bendrą organizacijos našumą. Žalioji produktų inovaciją organizacijoje yra lengviau įdiegti nei žaliąją procesų inovaciją, nes nereikalauja didelių investicijų ir atsiperka per greitesnį laiką.

1.4. DI įtaka aplinkosauginiam tvarumui

Siekiant aplinkosauginio tvarumo dirbtinis intelektas yra naudojamas: 1) energijos vartojimo efektyvumui; 2) atsinaujinančių energijos šaltinių integravimui; 3) atliekų tvarkymui ir perdirbimui; 4) tiekimo grandinės optimizavimui (Danish ir Senjyu, 2023; Dauvergne, 2022; Fang ir kt., 2023; Jha ir kt., 2017).

Energijos vartojimo efektyvinimas yra energijos suvartojimas, kuris sumažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą taip padidindamas ekonominį našumą (Tosin ir kt., 2024). Šiuolaikinė energijos politika pagrįsta DI ir naujomis technologijomis yra būtina siekiant energijos tvarumo ir stabdant klimato kaitą (Danish ir Senjyu, 2023). DI atlieka pagrindinį vaidmenį kuriant pažangesnes, labiau prisitaikančias ir tvaresnes energijos sistemas, kurios padeda spręsti klimato kaitos ir energetinio saugumo klausimus. DI technologijos padeda energetikos pramonei pasinaudoti vis didėjančiomis galimybėmis. Energijos vartojimo efektyvinimo pažangą ypač lėmė gilaus mokymosi ir neuroninių tinklų spartus vystymasis. DI algoritmai leidžiančia optimizuoti energijos suvartojimą įvairiuose sektoriuose, įskaitant pastatus, pramonę, transportą ir komunalines paslaugas (Tosin ir kt., 2024). Išmanieji automatizuoti įrenginiai gerina tiekėjų, gamyklų ir duomenų centrų energijos vartojimo efektyvumą (Dauvergne, 2022).

DI algoritmai ir jų sistemos panaudojant mašininių mokymąsi daro įtaką, nes (Dauvergne, 2022; Tosin ir kt., 2024):

- perduoda duomenis iš temperatūros jutiklių, užimtumo jutiklių bei orų prognozių ir optimizuoja šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemas. Taip reguliuojant realaus laiko duomenis DI gali sumažinti energijos sąnaudas. Automatizavus šildymo sistemas duomenų centre, panaudojus mašininių mokymąsi, Google sumažinto energijos suvartojimą 30 % nuo 2017 metų.
- Apšvietimo sistemos reguliuoja apšvietimo lygius pagal natūralų apšvietimo lygį, užimtumą ir naudotojo pageidavimus taip sutaupant daugiau energijos.
- Pramonėje DI optimizuoja gamybą, rafinavimą ir chemijos gamybą mažinant energijos suvartojimą su maksimaliu produktyvumu.
- DI valdomos energijos sistemos stebi energijos suvartojimą pramoniniame objekte ir optimizuoja energijos paskirstymą pagal paklausą ir kainą.

Taip pat DI naudojamas atsinaujinančių energijos šaltinių integravimui. Atsinaujinanti energija yra vandens, vėjo, saulės, geoterminės, biomasės panaudojimas ir turi pranašumų palyginti su iškastiniu kuru, nes yra švari ir išskiria mažai anglies dioksido (Zhang ir kt., 2022). DI yra naudojamas beveik visuose atsinaujinančių energijos šaltinių tipuose projektavimui, optimizavimui, įvertinimui, valdymui, pasiskirstymui ir politikai (Jha ir kt., 2017). DI taip pat yra svarbus integruojant atsinaujinančius energijos šaltinius į energijos tinklą (Tosin ir kt., 2024). Mašininio mokymosi sistemos analizuodamos palydovų ir jutiklių duomenis prognozuoja orą, tiksliai sureguliuoja energijos srautus ir jos saugojimą bei tiekia energiją į elektros tinklus nuosekliau ir tiksliau nei senesnės sistemos, kas įmonėms naudoti daugiau atsinaujinančios energijos (Dauvergne, 2022). DI algoritmai nuspėja atsinaujinančios energijos gamybos modelius ir atitinkamai pakoreguoja energijos suvartojimą, kad būtų maksimaliai naudojamas atsinaujinančios energijos kiekis (Tosin ir kt., 2024). Mokymosi algoritmai didina atsinaujinančių energijos šaltinių energijos tinklų efektyvumą tiksliau prognozuodami saulės ir vėjo energijos gamybą (Dauvergne, 2022). Energijos vartotojai valdydami energijos suvartojimą reaguodami į pasiūlos ir paklausos signalus optimizuoja energijos vartojimo efektyvumą ir tinklo stabilumą (Tosin ir kt., 2024).

DI panaudojamas ir atliekų tvarkymui ir perdirbimui. Spartus gyventojų skaičiaus augimas ir ekonominė plėtra lėmė didesnę atliekų susidarymą įvairiose pasaulio šalyse (Abdallah ir kt., 2020). Remiantis Pasaulio banko duomenimis atliekų susidarymas pasaulyje padidės nuo 2.01 mlrd. 2018 metais iki 3.40 mlrd. tonų iki 2050 metais (Andeobu ir kt., 2022). Pagal būsenas atliekos yra skirstomos į (Andeobu ir kt., 2022; Fang ir kt., 2023; Kolekar ir kt., 2016):

- Kietąsias: daugiausia susidaro iš žmogaus veiklos gamyboje, žemės ūkyje ir kasyboje, o apdorojimo metodai apima perdirbimą, deginimą ir šalinimą sąvartynuose. 33 % kietųjų

komunalinių atliekų yra tvarkomos nesaugiai atliekas šalinant į nelegalius arba nekontroliuojamus sąvartynus.

- Pavojingas: daugiausia iš elektronikos ir biomedicininės atliekų (toksiškos, degios, radioaktyvios).
- Skystos: gyvsidabrio atliekos, ėsdinančios ir šarminės atliekos, skystos cianido ir sunkiųjų metalų atliekos. Dauguma skystų atliekų yra pavojingos pramoninės atliekos, kurios neigiamai veikia aplinką ir visuomenės sveikatą.
- Organinės: vaisių ir daržovių žievelės, maisto atliekos.
- Perdirbamos: galima pašalinti iš atliekų srauto ir panaudoti kaip žaliavą kuriant naujus gaminius, tokius kaip popierius, stikliniai buteliai ir keramika.

Kietųjų atliekų tvarkymas yra viena iš sudėtingų šiuolaikinės visuomenės problemų dėl vartojimo pokyčių ir urbanizacijos bei industrializacijos (Kolekar ir kt., 2016). Kad atliekų tvarkymo pramonė taptų pažangesnė, tvaresnė ir pelningesnė dedama nemažų pastangų (Abdallah ir kt., 2020). DI ir robotikos įtraukimas į miesto atliekų apdorojimo įrenginių projektavimą ir veikimą keičia kietųjų atliekų tvarkymo būdus, todėl didėja veiklos efektyvumas ir atliekų valdymo praktika tampa tvaresnė (Fang ir kt., 2023). DI pagrįstos technologijos kaip išmaniosios šiukšlių dėžės, atliekų klasifikavimo robotai, nuspėjamieji modeliai ir belaidis aptikimas leidžia stebėti šiukšliadėžes, numatyti atliekų surinkimą ir taip optimizuoja atliekų apdorojimo įrenginių darbą (Chen ir kt., 2021). Atliekų susidarymo prognozavimo modelių tyrimai pastaruoju metu sulaukia vis didesnio dėmesio, siūlomi įvairūs modeliai, kurie prognozuoja susidarančių atliekų kiekį (Kolekar ir kt., 2016). DI algoritmai laikomi pažangiausiais patikimo atliekų susidarymo prognozavimo modeliais (Fang ir kt., 2023). DI programinė įranga mažina maisto švaistymą, tiksliau numatydamą vartotojų paklausą (Dauvergne, 2022).

Dar vienas DI panaudojimas siekiant aplinkosauginio tvarumo yra tiekimo grandinės optimizavimas. Tiekimo grandinė apima visą gamybą ir prekių tiekimą įskaitant tiekėjus, žaliavų gamintojus, platintojus ir galutinius vartotojus (Helo ir Hao, 2022). Didžioji dalis neigiamo poveikio aplinkai atsiranda ne dėl tiesioginių operacijų, o dėl tiekimo grandinės veiklos (Sanders ir kt., 2019). Tiekimo grandinės optimizavimui siekiant aplinkosauginio tvarumo naudojamos tokios DI technologijos kaip: bepilotės transporto priemonės, dronai, pritaikyti inventoriaus įvertinimui ir robotizuoti sandėliai (Sanders ir kt., 2019). Pokalbių robotai, automatizuotos paslaugos, kalbos atpažinimas, rizikos vertinimas ir natūralios kalbos vertimas padeda sumažinti pridėtinės ir personalo sąnaudas bei palengvinti komunikaciją visoje pasaulinėje tiekimo grandinėje (Sanders ir kt., 2019). DI sistemos padeda valdyti tiekimo grandinės logistiką, ne tik kad sumažintų išlaidas, pagreiktų pristatymą, bet ir sumažintų transportavimo metu išmetamą anglies dvideginio kiekį vienam produktui. Optimizavimas naudojant mašininių mokymąsi ir

intelektualiąją automatiką turi didelį potencialą, nes mašininio mokymosi sistemos, pasižyminčios dideliu greičiu ir tikslumu, analizuoja didelius kiekius sparčiai kintančių duomenų iš kelių tiekimo grandinių ir laikui bėgant vis labiau tobulėja. Išmaniosios krovinių vežimo programos, kurios padeda vairuotojams planuoti maršrutus pristatymams, kad būtų išvengta spūsčių, eismo įvykių ar vėlavimų dėl oro sąlygų, pavyzdžiui, „Amazon“ 2017 metais pristatė programėlę „Relay“, kuri rekomenduoja greitą ir ekonomišką kelią į sandėlius ir paskirstymo centrus bei suteikia galimybę vairuotojams užsiregistruoti iš anksto ir patikrinti kada galima atvykti, kad būtų sutaupyta degalų ir išmetamųjų teršalų (Dauvergne, 2022).

Remiantis išanalizuotais literatūros šaltiniais buvo suformuluotos hipotezės:

H1a. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H1b. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

Apibendrinus, DI siekiant aplinkosauginio tvarumo yra naudojamas energijos vartojimo efektyvinimui, atsinaujinančių energijos šaltinių integravimui, atliekų tvarkymui ir perdirbimui ir tiekimo grandinės optimizavimas. Integruotos DI technologijos ir algoritmai skatina aplinkosauginį tvarumą. DI daro įtaką skatinant aplinkosauginį tvarumą energijos vartojimo efektyvinimui, nes optimizuojamas energijos suvartojimas. Išmanieji automatizuoti įrenginiai gerina tiekėjų, gamyklų ir duomenų centrų energijos vartojimo efektyvumą. Taip pat DI naudojimas padeda integruoti daugiau atsinaujinančių energijos šaltinių ir tai daro nuosekliau ir tiksliau nei senesnės sistemos. DI padeda tiksliau prognozuodami saulės ir vėjo energijos gamybą. DI ir robotikos įtraukimas į miesto atliekų apdorojimo įrenginių projektavimą ir veikimą keičia kietųjų atliekų tvarkymo būdus ir didina veiklos efektyvumą ir atliekų valdymo praktika tampa tvaresnė. DI sistemos padeda valdyti tiekimo grandinės logistiką, ne tik kad sumažintų išlaidas, pagreintų pristatymą, bet ir sumažintų transportavimo metu išmetamą anglies dvideginio kiekį vienam produktui.

1.5. DI įtaka žaliosioms produktų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui.

Tyrimai parodė, kad DI technologijos veiksmingai sukaupia informaciją ir padeda tinkamai valdyti išteklius, kurie padidina gebėjimą koordinuoti materialųjį ir nematerialųjį turtą taip skatinant žaliąsias produktų inovacijas (Ying ir Jin, 2024). DI palengvina žaliųjų išteklių integravimą įmonėse, naudojant didelių duomenų analizę ir pažangias vartotojų duomenų modelių prognozes (Lin ir kt., 2024). Taip pat DI plėtoja žaliąsias pramonės šakas, kurios didina atsinaujinančios energijos naudojimą bei pagreitina produktų kūrimo ciklą taip veikiant žaliąsias produktų inovacijas (Ying ir Jin, 2024). DI technologijos greitai reaguoja į vartotojų pageidavimus

ekologiškiems produktams ir taip paskatina ekologiškų produktų naujovių diegimą panaudojus prognozes ir įvairius sprendimus taip sumažinant išteklių švaistymą per visą produkto gyvavimo ciklą (Lin et al., 2024).

Žaliosios produktų inovacijos daro didelę įtaką aplinkosauginiam tvarumui (Lin ir kt., 2024). Įmonės, kurios pasižymi žaliosiomis produktų inovacijomis, geriau valdo produktų išvaizdą, kietųjų atliekų ir gamybos metu išmetamų teršalų apdorojimą, kuris sumažina verslo poveikį aplinkai taip skatinant aplinkosauginį tvarumą (Melander, 2017). Nustatyta, kad DI technologijos padeda greičiau reaguoti į vartotojų pageidavimus ir skatina žaliąsias produktų inovacijas sumažinus išteklių švaistymą per visą produkto gyvavimo ciklą (Lin ir kt., 2024).

Kad žaliosios produktų inovacijos veikia kaip medijuojantis ryšys tarp DI ir aplinkosauginio tvarumo yra nustatyta anksčiau (Lin ir kt., 2024). Tačiau tiesioginės įtakos tarp DI ir žaliosios produktų inovacijos bei žaliosios produktų inovacijos ir aplinkosauginio tvarumo anksčiau nagrinėtos nebuvo. Todėl buvo suformuotos hipotezės:

H2a. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia žaliąją produktų inovaciją.

H3a. Žalioji produktų inovacija teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H4a. Žalioji produktų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

H5a. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją produktų inovaciją.

H6a. Žalioji produktų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto naudojimo įvairiose srityse ir aplinkosauginio tvarumo.

Apibendrinus, DI technologijos: veiksmingai sukaupia informaciją ir padeda tinkamai valdyti išteklius, palengvina žaliųjų išteklių integravimą įmonėse, plėtoja žaliąsias pramonės šakas, pagreitina produktų kūrimo ciklą, skatina ekologiškų produktų naujovių diegimą panaudojus prognozes ir įvairius sprendimus taip skatinant aplinkosauginį tvarumą. O žaliosios produktų inovacijos: padeda geriau valdyti produktų išvaizdą, kietųjų atliekų ir gamybos metu išmetamų teršalų apdorojimą, skatina žaliąsias produktų inovacijas sumažinus išteklių švaistymą per visą produkto gyvavimo ciklą taip prisidedant prie aplinkosauginio tvarumo.

1.6. DI įtaka žaliosioms procesų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui

Kaip ir žaliajai produktų inovacijai taip ir žaliajai procesų inovacijai DI daro didelę įtaką (Lin ir kt., 2024). Nustatyta, kad įmonės, kurios yra pranašesnės DI srityje:

- geriau optimizuoja gamybos procesus (Liu ir kt., 2024).
- Padidina įmonės galimybės optimizuoti taršos kontrolės procedūras (Liu ir kt., 2024).

- Efektyviau naudojami gamybai skirti ištekliai (Ahmed ir kt., 2022).

Žaliosios procesų inovacijos didina aplinkosauginio tvarumo žinių dalijimąsi tarp organizacijų ir taip didinamas aplinkosauginio tvarumo valdymo efektyvumas (Lin ir kt., 2024). Žaliųjų procesų diegimas gamybos metu sumažina išmetamų teršalų kiekį taip sumažinant verslo poveikį aplinkai (Melander, 2017).

Tiriant ir žaliąsias procesų inovacijos jau anksčiau nustatyta, kad jos veikia kaip medijuojantis ryšys tarp DI ir aplinkosauginio tvarumo (Lin ir kt., 2024). Tačiau tiesioginės įtakos nebuvo nagrinėtos. Formuluojamos hipotezės:

H2b. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia žaliąją procesų inovaciją.

H3b. Žalioji procesų inovacija teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H4b. Žalioji procesų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

H5b. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją procesų inovaciją.

H6b. Žalioji procesų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto naudojimo įvairiose srityse ir aplinkosauginio tvarumo.

Apibendrinus, įmonės, kurios pranašesnės DI srityje geriau optimizuoja gamybos procesus ir taršos kontrolės procedūras bei efektyviau naudoja gamybai skirtus išteklius. Žaliosios procesų inovacijos siekiant aplinkosauginio tvarumo didina informacijos dalijimąsi tarp organizacijų ir sumažina išmetamų teršalų kiekį taip sumažinant verslo poveikį aplinkai.

2. EMPIRINIO TYRIMO METODIKA

2.1. Empirinio tyrimo tikslas, modelis ir hipotezės

Empirinio tyrimo tikslas – empiriškai įvertinti dirbtinio intelekto (įrankių ir naudojimo) įtaką aplinkosauginiam tvarumui biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje medijuojant žaliosioms produktų ir procesų inovacijoms.

Empirinio tyrimo uždaviniai:

1. Nustatyti tinkamiausią metodologinę prieigą dirbtinio intelekto įrankių ir naudojimo aplinkosauginiam tvarumui biotechnologinėse organizacijose tyrumui.
2. Atlikus tyrimą nustatyti ryšius tarp aplinkosauginio tvarumo, dirbtinio intelekto įrankių ir naudojimo bei žaliosios inovacijos biotechnologinėse organizacijose.
3. Atlikus statistinę duomenų analizę, įvertinti dirbtinio intelekto įtaką aplinkosauginiam tvarumui biotechnologinėse organizacijose medijuojant žaliosioms inovacijoms.

Tyrimo hipotezės

H1a. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H1b. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H2a. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia žaliąją produktų inovaciją.

H2b. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia žaliąją procesų inovaciją.

H3a. Žalioji produktų inovacija teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H3b. Žalioji procesų inovacija teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H4a. Žalioji produktų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

H4b. Žalioji procesų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

H5a. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją produktų inovaciją.

H5b. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją procesų inovaciją.

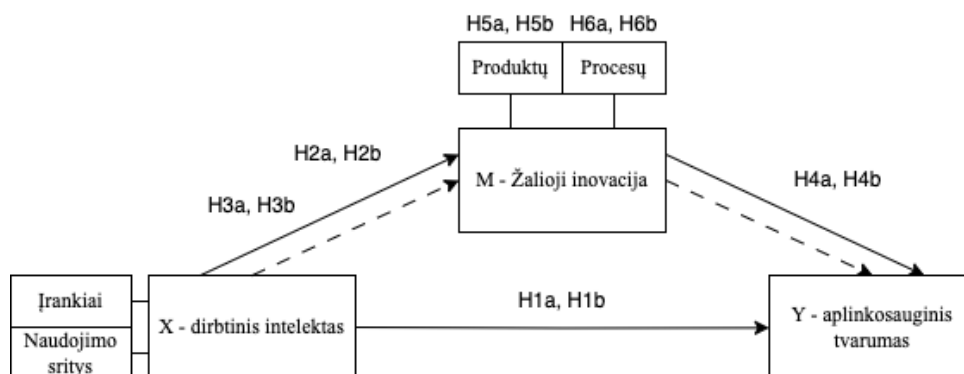
H6a. Žalioji produktų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto naudojimo įvairiose srityse ir aplinkosauginio tvarumo.

H6b. Žalioji procesų inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto naudojimo įvairiose srityse ir aplinkosauginio tvarumo.

Konceptualus tyrimo modelis

Atlikus literatūros analizę apie aplinkosauginį tvarumą organizacijose, dirbtinį intelektą, žaliąsias inovacijas (produktų ir procesų) ir remiantis hipotezėmis sudarytas dirbtinio intelekto naudojimo įtakos aplinkosauginiam tvarumui modelis (žiūrėti 3 paveikslas).

3 paveikslas *Dirbtinio intelekto įtakos aplinkosauginiam tvarumui konceptualus modelis*



----> Mediacinis ryšys

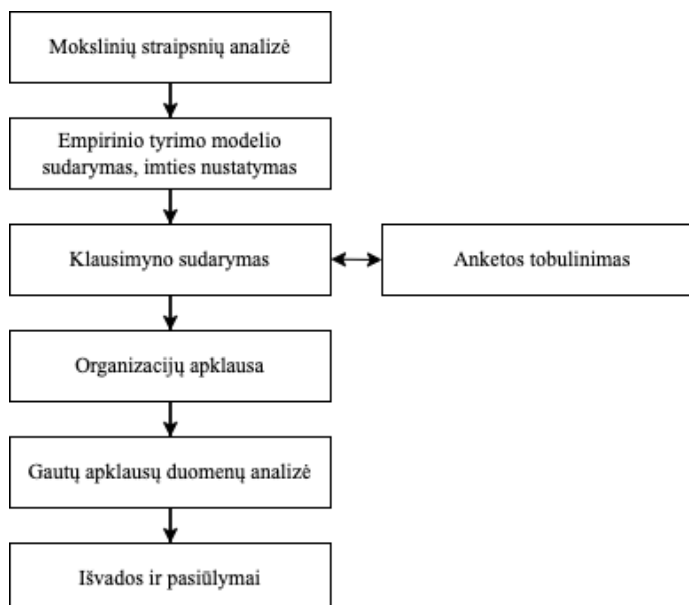
—> Tiesioginis ryšys

Šaltinis: sudarytas autorės

2.2. Tyrimo organizavimas ir instrumentas

Siekiant užtikrinti sklandžią tyrimo eigą empirinis tyrimas buvo atliktas pagal pateiktą tyrimo seką (4 paveikslas).

4 paveikslas. *Empirinio tyrimo seka*



Šaltinis: sudarytas autorės

Tyrimo metodas. Tyrimo atlikimui pasirinkta kiekybinė tyrimo metodika, kuri grindžiama statistine analize, leidžianti įvykio pokyčius vertinti skaitmeniniais duomenimis. Lyginant su kitomis tyrimo metodikomis kiekybinis tyrimas pasižymi aiškumu ir minimaliu dviprasmiškumu. Nagrinėjant reiškinio ir atskirų dalių ryšį, išskiriamos tik tos priežastys, kurių įtaka yra statistiškai reikšminga (Tamaševičius, 2015).

Duomenų rinkimui pasirinkta savarankiškai pildoma anketa. Tai yra viena iš plačiausiai naudojamų duomenų rinkimo priemonių, siejamų su socialinių mokslo sričių tyrimais (Rowley, 2014).

Respondentų atranka ir tiriamosios imties charakteristikos. Tyrimo tikslinė populiacija – Lietuvoje veikiančių biotechnologinių organizacijų darbuotojai. Tyrimo imtis sudaryta netikimybinio būdu, formuojant tikslinę grupę ekspertų, kurie tiesiogiai dirba biotechnologinėse įmonėse. Duomenų rinkimas buvo atliekamas siunčiant elektroninius laiškus su anketos nuoroda, tiesiogiai susisiekiant *LindedIn* svetainėje esančios tikslinės grupės nariais. Respondentai buvo atrenkami naudojant sniego gniūžtes atranką, taip vadinamą „augančios“ imties principu, kai pakviesti apklausos dalyviai patys pasiūlo kitus dalyvius, veikiančius toje pačioje srityje ir tokiu būdu auga respondentų skaičius (Gaižauskaite ir kt., 2014). Numatytas minimalus imties dydis buvo 210 respondentų, neribojant populiacijos ir remiantis nepriklausomų kintamųjų skaičiumi, kai norimas santykis yra 15 respondentų atsakymų kiekvienam nepriklausomo kintamojo elementui, kurių yra 14 (žiūrėti 7 lentelė) (Hair ir kt., 2014).

Klausimynas respondentams buvo pateiktas siunčiant nuorodą: <https://forms.gle/Tx7fDuApGoFJkYXM9>. Tyrimas atliktas 2025 metų sausio – balandžio mėnesiais.

Tyrimo instrumentas. Tyrimo tikslams pasiekti mokslinės literatūros analizės pagrindu parengta savarankiškai pildoma anketa. Anketa iš pradžių sudaryta anglų kalba, o vėliau išversta į lietuvių kalbą. Respondentams anketa pateikta lietuvių kalba.

Anketos pradžioje respondentas buvo supažindintas su informacija, kurioje nurodytas tyrimo tikslas, konfidencialumas ir anonimiškumas bei padėka respondentams už dalyvavimą. Galutinę anketos versiją sudaro keturios dalys. Pirmojoje dalyje išvardinti dirbtinio intelekto įrankių taikymas ir naudojimas bei vertinimo skalės. Vertinimui pasirinkta 5-ių balų Likerto skalė, kurią naudodami respondentai turi įvertinti kiek jis sutinka ar nesutinka su teiginiu: 1- visiškai nesutinku, 2- nesutinku, 3- nei sutinku nei nesutinku, 4- sutinku, 5- visiškai sutinku. Nepriklausomojo kintamojo elementai: dirbtinio intelekto įrankių taikymas, sudarytas remiantis Leoni ir kt., 2022, o dirbtinio intelekto naudojimo šaltinis Pettersson ir kt., 2024 (2 lentelė ir 3

lentelė). Dirbtinio intelekto įrankių taikymo nepriklausomojo kintamojo elementai pritaikyti organizacijos darbuotojams.

2 lentelė *Dirbtinio intelekto įrankių taikymo nepriklausomojo kintamojo elementai*

Nepriklausomojo kintamojo elementai
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „mašininio mokymusi“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “machine learning” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „dirbtiniais neuroniniais tinklais“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “neural network” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „giliuoju mokymusi“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “deep learning” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kompiuterine rega“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “computer vision” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „natūralios kalbos apdorojimu“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “natural language processing” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kognityviniu skaičiavimu“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “cognitive computing” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „nuspėjamąja analitika“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “predictive analytics” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „robotinių procesų automatizavimu“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “robotic process automation” technology</i>
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „semantine paieška“ <i>In our firm we adopt AI tools based on “semantic search” technology</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

3 lentelė Dirbtinio intelekto naudojimo nepriklausomojo kintamojo elementai

Nepriklausomojo kintamojo elementai
Savo darbo vietoje planuojamas kasdienę veiklą naudoju dirbtinio intelekto įrankius. <i>I use digital technologies to plan my daily work tasks</i>
Savo darbo vietoje tiesioginėms pareigoms atlikti naudoju dirbtinio intelekto įrankius. <i>I use digital technologies to do my daily work tasks</i>
Savo darbo vietoje dokumentacijai atlikti naudoju dirbtinio intelekto įrankius. <i>I use digital technologies for documentation</i>
Savo darbo vietoje komunikacijai naudotoju dirbtinio intelekto įrankius. <i>I use digital technologies for communication</i>
Savo darbo vietoje ieškodamas naujos informacijos naudoju dirbtinio intelekto įrankius. <i>I use digital technologies to search for information</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

Antroje dalyje respondentų prašoma įvertinti aplinkosauginį tvarumą organizacijoje. Atsakymo vertinimui pasirinkta 7-ių balų Likerto skalė, kurią naudodami respondentai turi įvertinti kiek jis sutinka ar nesutinka su teiginiu: 1- visiškai nesutinku, 2- nesutinku, 3- iš dalies nesutinku, 4- nei sutinku, nei nesutinku, 5- iš dalies sutinku, 6- sutinku, 7- visiškai sutinku (žiūrėti 4 lentelė). Priklausomojo kintamojo elementas: aplinkosauginis tvarumas sudarytas remiantis Lin ir kt., 2024 ir pritaikytas įmonės darbuotojams.

4 lentelė Aplinkosauginio tvarumo priklausomojo kintamojo elementai

Priklausomojo kintamojo elementai
Savo darbo vietoje mažiau teršiu orą nei pagrindiniai konkurentai. <i>Compared with our main competitors, our company has reduced air emissions</i>
Savo darbo vietoje mažinu nuotekų kiekį lyginant su pagrindiniais konkurentais. <i>Compared with our main competitors, our company has reduced waste water</i>
Savo darbo vietoje išmetu mažiau atliekų, kuriose yra kietųjų dalelių lyginant su pagrindiniais konkurentais. <i>Compared with our main competitors, our company has reduced solid wastes</i>
Savo darbo vietoje naudoja mažiau pavojingų, kenksmingų ar toksiškų medžiagų nei pagrindiniai konkurentai. <i>Compared with our main competitors, our company has a decreased consumption of hazardous/harmful/toxic materials</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

4 lentelės tęsinys Aplinkosauginio tvarumo priklausomojo kintamojo elementai

Priklausomojo kintamojo elementai
Savo darbo vietoje mažinu aplinkosauginių incidentų dažnumą lyginant su pagrindiniais konkurentais. <i>Compared with our main competitors, our company has a decreased frequency of environmental accidents</i>
Savo darbo vietoje mažinu neigiamą poveikį aplinkai skatindamas tvarias praktikas lyginant su pagrindiniais konkurentais. <i>Compared with our main competitors, our company has improved its environmental situation</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

Trečioje dalyje respondentų buvo prašyta įvertinti žaliąją produktų ir procesų inovacijas. Atsakymo vertinimui taip pat pasirinkta 7-ių balų Likerto skalė, kurią naudodami respondentai turi įvertinti kiek jis sutinka ar nesutinka su teiginiu: 1- visiškai nesutinku, 2- iš dalies nesutinku, 3- nei sutinku nei nesutinku, 4- iš dalies sutinku, 5- iš dalies sutinku, 6- sutinku, 7- visiškai sutinku (žiūrėti 5 lentelę). Latentinių kintamųjų elementai: žaliaji produktų ir procesų inovacijos sudarytos remiantis Lin ir kt., 2024 ir pritaikytas įmonės darbuotojams.

5 lentelė Žaliosios produktų ir procesų inovacijos latentinio kintamojo elementai

Latentinio kintamojo elementai
Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios daro mažiausią taršą produktų kūrimo ir vystymo metu. <i>Our company chooses materials with the least pollution during product development and design</i>
Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios sunaudoja mažiausiai energijos kuriant ir vystant produktus. <i>Our company chooses raw materials that consume the least amount of energy and resources during product development and design.</i>
Savo darbo vietoje nenaudoju perteklinių žaliavų kuriant ir vystant produktus. <i>Our company invests as little as possible in raw materials during product development and design</i>
Savo darbo vietoje apsvairstau, ar produktą lengva perdirbti, pakartotinai panaudoti ir ar lengvai suyra kuriant ir projektuojant produktus. <i>Our company circumspectly deliberates whether a product is easy to recycle, reuse, and decompose during product development and design.</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

5 lentelės tęsinys *Žaliosios produktų ir procesų inovacijos latentinio kintamojo elementai*

Latentinio kintamojo elementai
Savo darbo vietoje veiksmingai mažinu pavojingų medžiagų ar atliekų išmetimą gamybos procese. <i>Our company effectively reduces the emission of hazardous substances or waste in the production process</i>
Savo darbo vietoje perdirbu atliekas ir išmetamus teršalus, kad jie būtų apdorojami ir pakartotinai naudojami gamybos procese. <i>Our company recycles wastes and emissions to allow these to be treated and re-used in the production process</i>
Savo darbo vietoje mažinu vandens, elektros, anglies ar naftos suvartojimą gamybos procese. <i>Our company reduces the consumption of water, electricity, coal, or oil in the production process</i>
Savo darbo vietoje mažinu žaliavų naudojimą gamybos procese. <i>Our company reduces the use of raw materials in the production process</i>

Šaltinis: sudarytas autorės

Ketvirtoje dalyje pateikti demografiniai klausimai, kurių tikslas išsiaiškinti respondento įstaigos dydį, įmonės taikymo sritis, respondento stažą ir užimamą poziciją įstaigoje (6 lentelė).

6 lentelė *Demografiniai klausimai*

Demografiniai klausimai
Jūsų organizacijoje dirba: – 1-10 darbuotojų; – 11-50 darbuotojų; – 51-250 darbuotojų – 251 ir daugiau darbuotojų.
Verslo sektorius: – žemės ūkis; – medicinos procesai ir žmogaus sveikata; – mikroorganizmų taikymas vandens ir jūrų biotechnologijoje; – pramoniniai procesai.
Nurodykite kiek metų dirbate organizacijoje.

Šaltinis: sudarytas autorės

6 lentelės tęsinys *Demografiniai klausimai*

Demografiniai klausimai
Nurodykite skyrių kuriame dirbate:
– kokybės kontrolė; – moksliniai tyrimai ir plėtra; – gamyba; – kita.

Šaltinis: sudarytas autorės

Konstruktai sudaryti remiantis atskiruose literatūros šaltiniuose naudojamų klausimynų pagrindu, adaptuoti empiriniam tyrimui bei sudėti į bendrą klausimyną (7 lentelė).

7 lentelė *Kintamųjų ir konstrukto šaltinių sąrašas*

Kintamasis	Konstrukto šaltinis	Klausimų skaičius
<i>I dalis – nepriklausomi kintamieji</i>		
Dirbtinio intelekto įrankių taikymas	(Leoni ir kt., 2022)	9
Dirbtinio intelekto naudojimas	(Pettersson ir kt., 2024)	5
<i>II dalis – priklausomi kintamieji</i>		
Aplinkosauginis tvarumas	(Lin ir kt., 2024)	6
<i>III dalis – latentiniai kintamieji</i>		
Žalioji produktų inovacija	(Lin ir kt., 2024)	4
Žalioji procesų inovacija	(Lin ir kt., 2024)	4
Viso:		28

Šaltinis: sudarytas autorės

Duomenų statistinis vertinimas. Duomenų apdorojimas atliktas naudojant „IBM SPSS Statistics“ programinę įrangą. Konstrukto tinkamumui patikrinti atlikta faktorinė analizė, o patikimumui apskaičiuota *Cronbach's alpha* (Pettersson ir kt., 2024). Ryšiams tarp kintamųjų įvertinti taikoma aprašomoji statistinė duomenų analizė, kurią pasitelkus yra nustatyta ir aprašyta Lietuvos biotechnologijų sektoriaus darbuotojų DI įrankių žinojimas bei naudojimas darbovietėse. Siekiant atlikti reprezentatyvų matematinį statistinį įvertinimą pritaikomi tinkami kiekybinio tyrimo metodai.

2.3. Tyrimo ribos ir apribojimai

Tyrimo ribos. Tyrimas atliktas tik asmenims dirbantiems biotechnologinėse įmonėse Lietuvoje, priklausančioms žaliajai, raudonajai, mėlynajai ir baltajai biotechnologijoms.

Tyrimo apribojimai. Šis tyrimas yra susijęs su naujais ir sparčiai besivystančiais reiškiniiais, kaip dirbtinis intelektas, žaliosios inovacijos bei biotechnologijos sektorius. Dirbtinis intelektas vystosi ypač sparčiai, todėl naujų įrankių kiekis auga kaip ir jų naudojimas organizacijose. Turimos žinios apie DI dėl tokio proveržio sensta, todėl informacija turi būti atnaujinama, o surinkti tyrimo metu duomenys gali tapti nebeaktualūs. Dėl šaltiniuose skirtingai apibrėžiamo DI ir jo įrankių bei respondentų žinių trūkumo gali būti skirtingai interpretuoti anketoje pateikti klausimai ir netiksliai atsakyta. Žaliosios inovacijos kūrimas reikalauja didelių investicijų į mokslinius tyrimus ir technologijų vystymą, dėl mažoms įmonėms tai gali būti neprieinama. Todėl tyrimo rezultatai apie mažas įmones gali būti nereprezentatyvios. Taip pat žaliosios inovacijų vertinimas gali būti ribotas dėl trumpalaikių tyrimo rezultatų. Vertinant aplinkosauginį tvarumą svarbu atsižvelgti kokią naudą žaliosios inovacijos teikia ilgalaikėje perspektyvoje. Biotechnologinės organizacijos yra labai konkurencingos, nes ir be DI įdiegimo šis sektorius sparčiai vystosi. Dėl didelės konkurencijos dauguma procesų ir technologijų yra laikomi konfidencialia paslaptimi ir prieiga prie informacijos gali būti ribota.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Aprašomoji imties statistika

Užpildytas anketas pateikė 213 respondentai iš skirtingų Lietuvos biotechnologinių organizacijų. Respondentų pasiskirstymas pagal darbuotojų skaičių organizacijoje, verslo sektorių ir skyrių pateiktas 8 lentelė.

8 lentelė Respondentų pasiskirstymas pagal darbuotojų skaičių, verslo sektorių ir skyrių organizacijoje

Kriterijus	Dažnis	Procentai
<i>Darbuotojų skaičius organizacijoje</i>		
≤10	12	5.6
11-50	20	9.4
51-250	56	26.3
>250	125	58.7
<i>Verslo sektorius</i>		
Žemės ūkis	4	1.9
Medicinos procesai ir žmogaus sveikata	99	46.5
Mikroorganizmų taikymas vandens ir jūrų biotechnologijoje	11	5.2
Pramoniniai procesai	99	46.5
<i>Skyrius</i>		
Kokybės kontrolė	50	23.5
Moksliniai tyrimai ir plėtra	71	33.3
Gamyba	65	30.5
Kita	26	12.2
<i>Darbo stažas metais (vidurkis)</i>	5.2	

Šaltinis: sudarytas autorės

Remiantis respondentų duomenimis, darbuotojai įmonėje dirba vidutiniškai 5.2 metus. Pagal darbuotojų skaičių, 58.7 % atsakiusių į anketos klausimus buvo dirbantys organizacijose, kuriose yra daugiau nei 250 darbuotojų. Po lygiai (46.5 %) respondentų nurodė dirbantys tuose biotechnologinių organizacijų verslo sektoriuose, kurie yra susiję su medicinos procesais ir žmogaus sveikata bei su pramoniniais procesais. 33 % respondentų nurodė dirbantys mokslinių tyrimų ir plėtros skyriuje.

Sugadintų ar nepilnai užpildytų elektroninių anketų nebuvo, todėl visos anketos buvo tinkamos tolimesnei statistinei analizei.

3.2. Aprašomoji duomenų statistika ir duomenų normalumo analizė

Atliekant duomenų analizę buvo palyginti respondentų atsakymo vidurkiai kiekvienam kintamojo teiginiui. Taip pat Asimetrijos (angl. *Skewness*) ir Eksceso (angl. *Kurtosis*) koeficientai buvo patikrinti kiekvienam kintamajam. Jeigu šių koeficientų reikšmės patenka į +2 ir -2 intervalą, laikoma, kad duomenys yra pasiskirstę normaliai. Jeigu Asimetrijos koeficientai yra teigiamas, tai parodo, kad yra daugiau mažų reikšmių (pasiskirstymas į kairę), o neigiamas Asimetrijos koeficientas parodo, kad yra daugiau didesnės reikšmių (pasiskirstymas į dešinę). Eksceso koeficiento teigiamos reikšmės parodo, kad duomenų pasiskirstymas yra smailesnis nei įprastai ir atvirkščiai labai neigiamos reikšmės parodo, kad duomenys pasiskirstę plokščiai (George ir Mallery, 2016). Kintamųjų vidurkiai, standartinis nuokrypis ir asimetrijos ir eksceso koeficientai pateikti 9 lentelė.

9 lentelė Kintamųjų vidurkiai, standartinis nuokrypis ir asimetrijos ir eksceso koeficientai

Kintamųjų teiginiai	Vidur kis	Std. nuokrypis	Asimetrij os koef.	Eksceso koef.
Savo darbo vietoje taikau dirbtinio intelekto (DI) įrankius, pagrįstus „mašininiu mokymusi“.	2.00	1.323	1.053	-0.189
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „dirbtiniais neuroniniais tinklais“.	1.38	0.881	2.467	5.604
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „gilioju mokymusi“.	1.50	1.022	2.123	3.612
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kompiuterine rega“.	1.36	0.866	2.541	5.760
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „natūralios kalbos apdorojimu“.	2.27	1.499	0.714	-1.018
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kognityviniu skaičiavimu“.	2.46	1.553	0.452	-1.395
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „nuspėjamąja analitika“.	1.71	1.153	1.538	1.237
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „robotinių procesų automatizavimu“.	1.89	1.323	1.220	0.053
Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „semantine paieška“.	3.14	1.681	-0.205	-1.643

Šaltinis: sudarytas autorės

9 lentelės tęsinys *Kintamųjų vidurkiai, standartinis nuokrypis ir asimetrijos ir eksceso koeficientai*

Kintamųjų teiginiai	Vidur kis	Std. nuokrypis	Asimetrij os koef.	Eksceso koef.
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje planuodamas kasdienę veiklą	1.98	1.193	0.961	-0.222
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje tiesioginėms pareigoms atlikti	2.49	1.309	0.376	-1.052
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje dokumentacijos rengimui	2.40	1.358	0.500	-1.078
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje kaip priemonę komunikacijai	2.42	1.417	0.435	-1.306
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje ieškodamas naujos informacijos	3.38	1.394	-0.430	-1.075
Mano darbo vietoje mažiau teršiamas oras, lyginant su kitomis darbo vietomis.	4.55	1.755	-0.350	-0.780
Mano darbo vietoje mažiau nuotekų, lyginant su kitomis darbo vietomis.	3.77	1.964	0.228	-1.089
Mano darbo vietoje mažiau išmetama atliekų, kuriose yra kietųjų dalelių, lyginant su kitomis darbo vietomis.	4.23	1.869	-0.009	-1.075
Mano darbo vietoje naudojama mažiau pavojingų, kenksmingų ar toksiškų medžiagų, lyginant su kitomis darbo vietomis.	3.23	2.056	0.601	-0.969
Mano darbo vietoje neigiamas poveikis aplinkai yra mažesnis, lyginant su kitomis darbo vietomis.	4.12	1.914	0.048	-1.138
Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios daro mažiausią taršą produktų kūrimo ir vystymo metu.	4.07	1.794	-0.047	-0.868
Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios sunaudoja mažiausiai energijos kuriant ir vystant produktus.	3.80	1.711	0.118	-0.628
Savo darbo vietoje nenaudoju perteklinių žaliavų kuriant ir vystant produktus.	4.60	1.742	-0.452	-0.638
Savo darbo vietoje apsvairstau, ar produktą lengva perdirbti, pakartotinai panaudoti ir ar lengvai suyra kuriant ir projektuojant produktus.	3.80	2.058	0.098	-1.251
Savo darbo vietoje veiksmingai mažinu pavojingų medžiagų ar atliekų išmetimą gamybos procese.	4.47	1.897	-0.313	-0.954
Savo darbo vietoje perdirbu atliekas ir išmetamus teršalus, kad jie būtų apdorojami ir pakartotinai naudojami gamybos procese.	4.03	2.137	-0.113	-1.371
Savo darbo vietoje mažinu vandens, elektros, anglies ar naftos suvartojimą gamybos procese.	4.09	1.908	-0.177	-1.010
Savo darbo vietoje mažinu žaliavų naudojimą gamybos procese.	3.98	1.934	-0.065	-1.069

Šaltinis: sudarytas autorės

Lyginant respondentų atsakymo vidurkius nustatyta, kad DI įrankiai: dirbtiniai neuroniniai tinklai, gilusis mokymasis ir kompiuterinė rega yra netaikomi biotechnologinėse organizacijose remiantis darbuotojų apklausos duomenimis. Atitinkamai atsakymų vidurkiai yra 1.38, 1.50, 1.36. Šie įrankiai yra kompleksiniai, reikalaujantys specifinių žinių, todėl sunkiai pritaikomi organizacijose. Daugiausiai iš DI įrankių vidutiniškai darbo vietoje yra taikoma semantinė paieška (3.14). Remiantis duomenimis DI įrankių savo darbo vietoje darbuotojai netaiko planuodami kasdienę veiklą – vidutinis respondentų atsakymas yra 1.98. Didžiausias atsakymų vidurkis yra teiginiui, kad darbuotojai naujos informacijos ieškojimui taiko DI įrankius (3.38). Lyginant aplinkosauginio tvarumo konstrukto duomenis darbuotojai mažiausiai sutinka su teiginiu, kad: „Mano darbo vietoje naudojama mažiau pavojingų, kenksmingų ar toksiškų medžiagų, lyginant su kitomis darbo vietomis“. Vidutinis respondentų atsakymas yra 3.23. Kad darbo vietoje mažiau teršiamas oras lyginant su kitomis darbo vietomis vidutinis atsakymas yra 4.55. Žaliosios produktų inovacijos konstruktui respondentų atsakymai paskirstė vienodai ties dviem teiginiais: „Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios sunaudoja mažiausiai energijos kuriant ir vystant produktus“ ir „Savo darbo vietoje apsvairstau, ar produktą lengva perdirbti, pakartotinai panaudoti ir ar lengvai suyra kuriant ir projektuojant produktus“. Vidutinis atsakymas yra 3.80. Daugiausiai darbuotojai sutiko su teiginiu „Savo darbo vietoje nenaudoju perteklinių žaliavų kuriant ir vystant produktus“ – 4.60. Žaliosios procesų inovacijos konstruktui vidutiniškai visi darbuotojai sutinka, kad savo darbo vietoje mažinu žaliavų naudojimą gamybos procese (3.98) ir tai yra mažiausiai įvertintas teiginys. Vidutinis atsakymas teiginiui: „Savo darbo vietoje veiksmingai mažinu pavojingų medžiagų ar atliekų išmetimą gamybos procese“ yra 4.47, kas parodo, kad vidutiniškai biotechnologijos organizacijose dirbantys respondentai skatina aplinkosauginį tvarumą.

Patikrinus Asimetrijos ir Eksceso koeficientus nustatyta, kad visi kintamieji yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį išskyrus tris teiginius: 1) Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „dirbtiniais neuroniniais tinklais“; 2) Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „giliuoju mokymusi“; 3) Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kompiuterine rega“. Šiuose teiginiuose Asimetrijos koeficientai yra >2 ir tai parodo, kad atlikus statistinę analizę daugiau yra mažų reikšmių. Tai patvirtina ir apskaičiuoti respondentų atsakymo vidurkiai. Eksceso koeficientai yra >2 ir tai parodo, kad duomenų pasiskirstymas yra smalesnis nei įprastai. Visi trys teiginiai pašalinti iš tolimesnės analizės.

3.3. Konstrukto tinkamumo analizė

Faktorinė analizė yra naudojama patikrinti konstrukto tinkamumą. Bartleto sferiškumo testas arba kriterijus (angl. *Bartlett's test of sphericity*) ir Kaizerio, Mejerio ir Olkino matas arba KMO (angl. *Keiser–Meyer–Olkin measure*) yra du statistiniai testai naudojami siekiant įvertinti

duomenų tinkamumą faktorinei analizei. Bartleto sferiškumo testas parodo, ar tarp kintamųjų yra statistiškai reikšmingos koreliacijos ($p < 0.05$). KMO parodo ar kintamųjų porų koreliacijos yra paaiškinamos kitais kintamaisiais. KMO koeficientas (jis gali būti tarp 0 ir 1) turėtų būti 0,6 ir daugiau, jei KMO mažiau nei 0,5, tai duomenys faktorių analizei nėra tinkami (Pakalniškienė, 2012). Kintamųjų teiginių faktorių analizės rezultatai pateikti 10 lentelė.

10 lentelė *Kintamųjų teiginių faktorių analizės svoriai*

Kintamųjų teiginiai	Faktorius			
	1	2	3	4
Savo darbo vietoje taikau dirbtinio intelekto (DI) įrankius:				
pagrįstus „mašininiu mokymusi“		0.390		0.318
pagrįstus „natūralios kalbos apdorojimu“				0.755
pagrįstus „kognityviniu skaičiavimu“				0.520
pagrįstus „nuspėjamąją analitiką“				0.413
pagrįstus „robotinių procesų automatizavimu“				0.594
pagrįstus „semantine paieška“				0.470
Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje:				
planuodamas kasdienę veiklą		0.565		
tiesioginėms pareigoms atlikti		0.789		
dokumentacijos rengimui		0.730		
priemonę komunikacijai		0.623		
ieškodamas naujos informacijos		0.693		
Mano darbo vietoje, lyginant su kitomis darbo vietomis:				
mažiau teršiamas oras			0.729	
mažiau nuotekų			0.840	
mažiau išmetama atliekų, kuriose yra kietųjų dalelių			0.804	
naudojama mažiau pavojingų, kenksmingų ar toksiškų medžiagų			0.715	
neigiamas poveikis aplinkai yra mažesnis			0.787	

Šaltinis: sudarytas autorės

10 lentelės tęsinys *Kintamųjų teiginių faktorių analizės svoriai*

Kintamųjų teiginiai	Faktorius			
	1	2	3	4
Savo darbo vietoje:				
renkuosi žaliavas, kurios daro mažiausią taršą produktų kūrimo ir vystymo metu.	0.571			
renkuosi žaliavas, kurios sunaudoja mažiausiai energijos kuriant ir vystant produktus	0.587			
nenauduju perteklinių žaliavų kuriant ir vystant produktus	0.584			
apsvarstau, ar produktą lengva perdirbti, pakartotinai panaudoti ir ar lengvai suyra kuriant ir projektuojant produktus	0.702			
veiksmingai mažinu pavojingų medžiagų ar atliekų išmetimą gamybos procese	0.756			
perdirbu atliekas ir išmetamus teršalus, kad jie būtų apdorojami ir pakartotinai naudojami gamybos procese	0.625			
mažinu vandens, elektros, anglies ar naftos suvartojimą gamybos procese	0.808			
mažinu žaliavų naudojimą gamybos procese	0.841			

Šaltinis: sudarytas autorės

Rezultatai parodė, kad duomenys yra tinkami faktorinei analizei: Bartleto sferiškumo testo reikšmė yra <0.001 ir $KMO=0.859$. Faktorinės analizės rezultatai rodo, kad klausimyno teiginiai sudaro keturis faktorius, nors pagal conceptualų modelį nurodomi penki. Kintamojo teiginys: Savo darbo vietoje taikau dirbtinio intelekto (DI) įrankius, pagrįstus „mašininio mokymusi“ buvo pašalintas iš tolimesnės analizės, nes yra priskirtas dviem faktoriams ir reikšmė < 0.5 kartu su kitais teiginiais, kurie nėra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį.

3.4. Duomenų patikimumo analizė

Atliekant duomenų analizę buvo palyginti respondentų atsakymo vidurkiai kiekvienam kintamajam. Taip pat paskaičiuoti Kintamojo Standartiniai nuokrypiai. Konstrukto „dirbtinio intelekto naudojimo sritys“, „dirbtinio intelekto įrankiai“, „aplinkosauginis tvarumas“, „žalioji produktų inovacija“, „žalioji procesų inovacija“ patikimumo vertinimui apskaičiuotas *Cronbach 's alfa* koeficientas, kurio vertė turėtų būti didesnė nei 0.6 (Beckett ir kt., 2017) (žiūrėti 11 lentelė).

11 lentelė *Latentinių kintamųjų vidurkiai, standartiniai nuokrypiai ir Cronbach's alfa*

Kintamasis	Kintamojo vidurkis	Kintamojo Std. nuokrypis	Cronbach's alfa
Dirbtinio intelekto įrankių taikymas	2.29	1.013	0.735
Dirbtinio intelekto naudojimas	2.53	1.022	0.822
Aplinkosauginis tvarumas	3.98	1.589	0.877
Žalioji produktų inovacija	4.07	1.459	0.808
Žalioji procesų inovacija	4.14	1.627	0.844
Žalioji inovacija	4.11	1.431	0.834

Šaltinis: sudarytas autorės

Konstruktų „dirbtinio intelekto naudojimo sritys“ ($\alpha=0.822$), „aplinkosauginis tvarumas“ ($\alpha=0.877$), „žalioji produktų inovacija“ ($\alpha=0.808$), „žalioji procesų inovacija“ ($\alpha=0.844$) atitinka konstrukto patikimumo kriterijų >0.6 . Remiantis faktorinės analizės rezultatu ir *Cronbach's alfa* skaičiavimu kintamuosius: žalioji produktų inovacija ir žalioji procesų inovacija galima apjungti į vieną kintamąjį – žalioji inovacija tolimesnei analizei dėl priskyrimo vienam faktoriui ir esančios koreliacijos.

Konstruktui „dirbtinio intelekto įrankių taikymas“ skaičiuojant konstrukto patikimumo kriterijų buvo pašalinti trys konstrukto teiginiai: „Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „dirbtiniais neuroniniais tinklais“, „Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „giliuoju mokymusi“, „Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kompiuterine rega“, nes remiantis respondentų atsakymais šie DI įrankiai nėra naudojami (asimetrijos koeficientas > 2 ir yra priskirtas dviem faktoriams (< 0.5)).

Atlikus statistinę analizę mažiausi kintamųjų vidurkiai nustatyti DI intelekto taikymo (2.29) kintamajam ir DI naudojimui (2.53) organizacijose. Tai gali rodyti, kad DI dar vis nėra plačiai taikomas ir suprantamas biotechnologinėse organizacijose. Didžiausi vidurkiai yra susiję su žaliosiomis inovacijomis: žaliosios procesų inovacijos kintamojo vidurkis yra 4.14, o žaliosios procesų inovacijos yra 4.07. Apjungus šiuos kintamuosius į vieną kintamąjį remiantis ankstesniais duomenimis žaliosios inovacijos vidurkis yra 4.11. Tai rodo, kad žaliosios inovacijos yra geriau vertinamos ir įgyvendinamos biotechnologinėse organizacijose jei DI. Aplinkosauginio tvarumo vidurkis yra 3.98, kuris yra tarp DI ir žaliosios inovacijos. Tai rodo, kad aplinkosauginis yra geriau vertinamas nei DI įrankiai ir naudojimas, tačiau prasčiau nei žaliosios inovacijos.

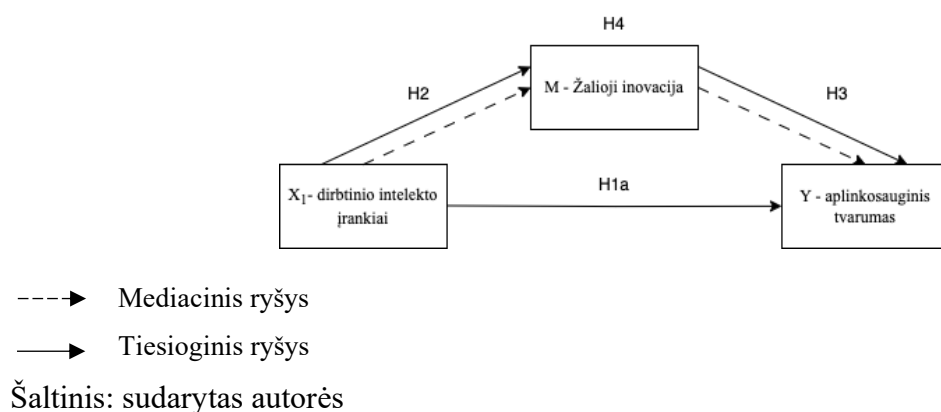
3.5. Hipotezių tikrinimas

Siekiant įvertinti kintamųjų sąsajas ir patikrinti iškeltas hipotezes buvo atlikta mediacijos analizė. Mediacijos poveikis buvo skaičiuojamas SPSS 4.2 versijos programa, naudojant Hayes PROCESS procedūrą. Skaičiavimui naudotas 4 modelis su vienu mediatoriumi. Taip pat naudotas savirankos metodas su 5000 replikacijų. Procedūros metu buvo atliktos keturios regresinės analizės. Įtakos nagrinėtos remiantis 2 modeliais su skirtingais nepriklausomais kintamaisiais: X_1 – dirbtinio intelekto įrankiai ir X_2 – dirbtinio intelekto naudojimo sritys (žiūrėti 3.5.1 ir 3.5.2).

3.5.1. Dirbtinio intelekto įrankių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms

Remiantis pirminiais duomenų analizės rezultatais buvo pakoreguotos hipotezės. Tolimesnė duomenų analizė atlikta remiantis žemiau pavaizduotu modeliu (žiūrėti 5 paveikslas). Siekiant patikrinti išsikeltas hipotezes patikrinama ar ryšys tarp kintamųjų yra statistiškai reikšmingas pasirinkus reikšmingumo lygmenį $p < 0.05$. Taip pat paskaičiuotas determinacijos koeficientas (R^2), kuris parodo, kokią priklausomo kintamojo dispersijos dalį suformuoja nepriklausomo kintamojo pasikeitimai. Nustatyti nestandartizuoti koeficientai β ir standartizuoti koeficientai B . Mediacinio ryšio patikrinimui apskaičiuojamas netiesioginio efekto žemutinis pasiklovimo intervalas (LLCI) ir aukštutiniu pasiklovimo intervalas (ULCI), kuris parodo, kad mediacija yra reikšminga, kai abi reikšmės nekerta 0.

5 paveikslas *DI įrankių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms*



Pagal pateiktą modelį nagrinėjamos pakoreguotos hipotezės:

H1a. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H2. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai veikia žaliasias inovacijas.

H3. Žaliosios inovacijos teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H4. Žaliosios inovacijos medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijoms bei žaliosios inovacijų įtakos aplinkosauginiam tvarumui rezultatai pateikti 12 lentelė.

12 lentelė *DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijoms bei žaliosios inovacijos įtakos aplinkosauginiam tvarumui rezultatai*

Regresorius	Priklausomas kintamasis (Y)	p	R ²	Konstanta	β	B
X ₁ – dirbtinio intelekto įrankiai	Aplinkosauginis tvarumas	0.799	0.251	1.651	0.024	0.015
X ₁ – dirbtinio intelekto įrankiai	Žalioji inovacija	0.162	0.009	3.794	0.136	0.096
M – žalioji inovacija	Aplinkosauginis tvarumas	0.000	0.251	1.651	0.554	0.499

Šaltinis: sudarytas autorės

Vertinant DI įrankių įtaką aplinkosauginiam tvarumui bei atlikus statistinius skaičiavimus nustatyta, kad DI neturi statistiškai reikšmingos įtakos ($p > 0.05$) aplinkosauginiam tvarumui. DI įrankiai 25.1% paaiškina priklausomą kintamąjį – aplinkosauginį tvarumą. Taip pat nustatyta, kad DI įrankiai neturi statistiškai reikšmingos įtakos ($p > 0.05$) žaliosioms inovacijoms. Pateiktame modelyje DI įrankiai tik 0.9 % paaiškina aplinkosauginį tvarumą ir tai parodo, kad modelis yra labai silpnas. Vertinant žaliosios inovacijos įtaką aplinkosauginiam tvarumui bei atlikus statistinius skaičiavimus nustatyta, kad žaliosios inovacijos turi statistiškai reikšmingos įtakos ($p < 0.05$) aplinkosauginiam tvarumui. Pateiktame modelyje žaliosios inovacijos tik 25.1 % paaiškina aplinkosauginį tvarumą. Remiantis rezultatais:

H1a atmesta. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai neveikia aplinkosauginį tvarumą.

H2 atmesta. Dirbtinio intelekto įrankiai teigiamai neveikia žaliosios inovacijos.

H3 priimta. Žaliosios inovacijos teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

Regresijos lygtis:

$$AT = 1.651 + 0.554 * \check{Z}I$$

DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai pateikti 13 lentelė.

13 lentelė *DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai*

	Efektas	t	p	LLCI	ULCI
Bendras efektas	0.099	0.921	0.358	-0.113	0.312
Tiesioginis efektas	0.024	0.255	0.799	-0.161	0.210
	Efektas	BootLLCI		BootULCI	
Netiesioginis efektas	0.075	-0.035		0.17	

Šaltinis: sudarytas autorės

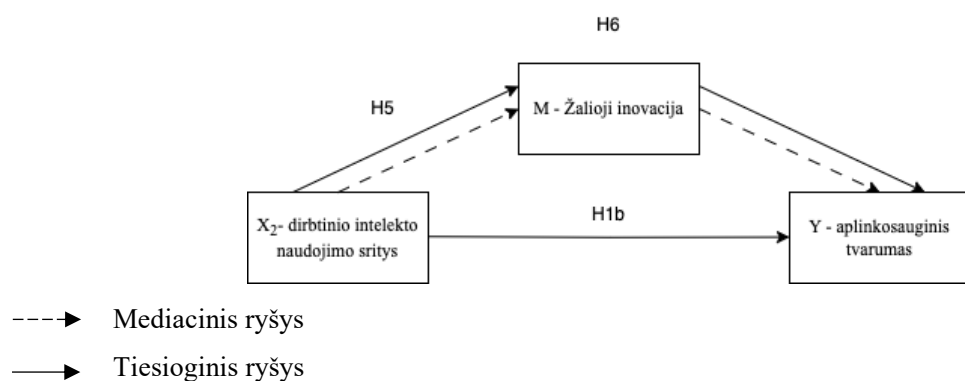
Analizės metu įrodyta, kad bendras efektas yra statistiškai nereikšmingas ($p = 0.358$) kaip ir tiesioginis ryšys ($p = 0.799$). Remiantis netiesioginio efekto žemutiniu pasiklovimo intervalu (LLCI) ir aukštutiniu pasiklovimo intervalu (ULCI) $\text{BootLLCI} < 0$, todėl mediacija nėra reikšminga. Remiantis rezultatais:

H4 hipotezė atmesta. Žaliosios inovacijos nėra medijuojantis ryšys tarp DI įrankių ir aplinkosauginio tvarumo.

3.5.2. Dirbtinio intelekto naudojimo sričių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms.

Remiantis pirminiais duomenų analizės rezultatais buvo pakoreguotos hipotezės. Toliau duomenų analizė atlikta remiantis žemiau pavaizduotu modeliu (žiūrėti 6 paveikslas). Siekiant patikrinti išsikeltas hipotezės taip pat pasirinktas reikšmingumo lygmuo $p < 0.05$ bei paskaičiuotas determinacijos koeficientas (R^2). Nustatyti nestandartizuoti koeficientai β ir standartizuoti koeficientai B. Mediacinio ryšio patikrinimui apskaičiuojamas netiesioginio efekto žemutinis pasiklovimo intervalas (LLCI) ir aukštutiniu pasiklovimo intervalas (ULCI), kuris parodo, kad mediacija yra reikšminga, kai abi reikšmės nekerta 0.

6 paveikslas *DI naudojimo sričių įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms*



Šaltinis: sudarytas autorės

Pagal pateiktą modelį nagrinėjamos pakoreguotos hipotezės:

H1b. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia aplinkosauginį tvarumą.

H5. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją inovaciją.

H6. Žalioji inovacija medijuoja įtaką tarp dirbtinio intelekto naudojimo įvairiose srityse ir aplinkosauginio tvarumo.

DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijoms rezultatai pateikti 14 lentelė.

14 lentelė *DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui ir žaliosioms inovacijoms rezultatai*

Regresorius	Priklausomas kintamasis (Y)	p	R ²	Konstanta	β	B
X ₂ – dirbtinio intelekto naudojimo sritys	Aplinkosauginis tvarumas	0.973	0.251	1.693	0.003	0.002
X ₂ – dirbtinio intelekto naudojimo sritys	Žaliosios inovacijos	0.005	0.037	3.423	0.270	0.192

Šaltinis: sudarytas autorės

Vertinant DI naudojimo sričių įtaką aplinkosauginiam tvarumui bei atlikus statistinius skaičiavimus nustatyta, kad DI neturi statistiškai reikšmingos įtakos ($p > 0.05$) aplinkosauginiam tvarumui. Pateiktame modelyje DI įrankiai 25.1 % paaiškina aplinkosauginį tvarumą. Taip pat

vertinant DI naudojimo sričių įtaką žaliosioms inovacijoms bei atlikus statistinius skaičiavimus nustatyta, kad DI naudojimo sritys turi statistiškai reikšmingos įtakos ($p < 0.05$) žaliosioms inovacijoms. Pateiktame modelyje DI naudojimo sritys tik 3.7 % paaiškina aplinkosauginį tvarumą, tai rodo silpną modelį.

Remiantis rezultatais:

H1b hipotezė atmesta. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai neveikia aplinkosauginio tvarumo.

H5 hipotezė priimta. Dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse teigiamai veikia žaliąją inovaciją.

Regresijos lygtis:

$$\text{ŽI} = 3.423 + 0.270 \cdot \text{DIN}$$

DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai pateikti 15 lentelė.

15 lentelė DI naudojimo sričių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms analizės rezultatai

	Efektas	t	p	LLCI	ULCI
Bendras efektas	0.153	1.436	0.152	-0.057	0.363
Tiesioginis efektas	0.003	0.034	0.973	-0.183	0.190
	Efektas	BootLLCI		BootULCI	
Netiesioginis efektas	0.150	0.051		0.263	

Šaltinis: sudarytas autorės

Analizės metu įrodyta, kad bendras efektas yra statistiškai nereikšmingas ($p = 0.152$) kaip ir tiesioginis ryšys ($p = 0.973$). Šiuo atveju BootLLCI ir BootULCI yra > 0 , todėl mediacija yra reikšminga ir žaliosios inovacijos veikia kaip pilnas mediatorius tarp DI naudojimo sričių ir aplinkosauginio tvarumo. Remiantis rezultatais:

H6 hipotezė priimta. Žaliosios inovacijos medijuoja ryšį tarp DI naudojimo sričių ir aplinkosauginio tvarumo.

Tyrimo rezultatų apibendrinimas pateiktas 16 lentelė.

16 lentelė Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Nr.	Hipotezė	Atmesta/ priimta	Priežastis
H1a	DII teigiamai veikia AT	Atmesta	Nėra statistiškai reikšminga $p>0.05$
H1b	DIN teigiamai veikia AT	Atmesta	Nėra statistiškai reikšminga $p>0.05$
H2	DII teigiamai veikia ŽI	Atmesta	Nėra statistiškai reikšminga $p>0.05$
H3	ŽI teigiamai veikia AT	Priimta	Statistiškai reikšminga $p<0.05$, $R^2=0.251$
H4	ŽI medijuoja ryšį tarp DII ir AT	Atmesta	LLCI<0
H5	DIN teigiamai veikia ŽI	Priimta	Statistiškai reikšminga $p<0.05$, bet modelis silpnas $R^2=0.037$
H6	ŽI medijuoja ryšį tarp DIN ir AT	Patvirtinta	BootLLCI ir BootULCI > 0

DII – dirbtinio intelekto įrankiai; DIN – dirbtinio intelekto naudojimo sritys; ŽI – žalioji inovacija; AT – aplinkosauginis tvarumas.

Šaltinis: sudarytas autorės

Apibendrinus rezultatus galima teigti, kad biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje DI įrankiai ir naudojimo sritys neturi statistiškai reikšmingos įtakos aplinkosauginiam tvarumui ($p>0.05$). Kaip ir DI įrankiai nėra statistiškai reikšmingos įtakos ($p>0.05$) žaliosioms inovacijoms. Tačiau nustatyta, kad DI naudojimo sritys turi statistiškai reikšmingos įtakos žaliosioms inovacijoms ($p<0.05$), tačiau modelis yra labai silpnas ($R^2=0.037$). DI labai sparčiai vystosi, todėl yra sunku pasirinkti tinkamus įrankius. Darbuotojams trūksta kompetencijos pasirinkti tinkamas priemones ir jas diegti organizacijose. Nepaisant kompetencijos DI įrankiai dar vis nėra vienodai apibrėžti, trūksta susistemintos informacijos, todėl supratimas tarp darbuotojų biotechnologinėse organizacijose gali skirtis. Be to, DI įrankių diegimas yra brangus, todėl ne visi darbdaviai nori investuoti, mažos organizacijos tam neturi galimybių. DI įrankiai ir jų naudojimas yra pritaikomi ne tik siekiant aplinkosauginio tvarumo, bet ir kitose srityse, todėl įtaka gali būti mažesnė.

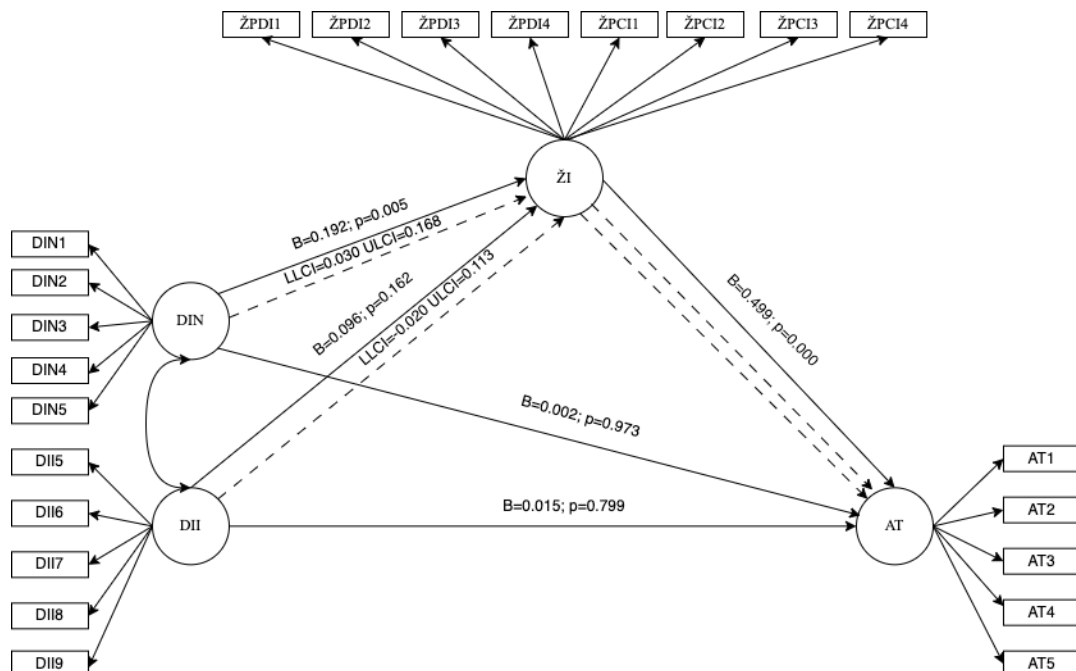
Toliau atlikus duomenų analizę nustatyta, kad biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje žaliosios inovacijos yra statistiškai reikšmingos aplinkosauginiam tvarumui ($p<0.05$).

Žaliosios inovacijos padeda mažinti užterštumą ir išteklių naudojimą. Taip pat remiantis atliktais tyrimais įmonės, kurios pasižymi žaliosiomis inovacijomis sumažina verslo poveikį aplinkai (Melander, 2017).

Nagrinėtame empiriniame tyrime nustatyta, kad žaliosios produktų ir procesų inovacijos veikia kaip medijuojantis ryšys tarp dirbtinio intelekto ir aplinkosauginio tvarumo organizacijose (Lin ir kt., 2024). Šiame tyrime Remiantis faktorine analize ir *Cronbach's alfa* skaičiavimu žaliosios produktų ir procesų inovacijos buvo apjungtos į vieną kintamąjį. Nustatyta, kad žaliosios inovacijos neveikia kaip mediatorius tarp DI įrankių ir aplinkosauginio tvarumo, tačiau veikia kaip pilnas mediatorius taip DI naudojimo ir aplinkosauginio tvarumo.

DI naudojimo sričių ir DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žalioms inovacijoms empirinių duomenų analizės rezultatais pagrįstas modelis su gautomis p reikšmėmis, standartizuotais regresijos koeficientais B ir standartizuotais žemutiniais pasiklivimo intervalais (LLCI) ir aukštutiniais pasiklivimo intervalais (ULCI) pateiktas 7 paveikslas.

7 paveikslas DI naudojimo sričių ir DI įrankių įtakos aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žalioms inovacijoms empirinių duomenų analizės rezultatais pagrįstas modelis



DII – dirbtinio intelekto įrankiai; DIN – dirbtinio intelekto naudojimo sritys; ŽI – žilioji inovacija; ŽPDI – žilioji produktų inovacija; ŽPCI – žilioji procesų inovacija; AT – aplinkosauginis tvarumas.

----> Mediacinis ryšys
 —> Tiesioginis ryšys

Šaltinis: sudarytas autorės

Tyrimo metu išryškėjo, kad ne visi dirbtinio intelekto įrankiai yra naudojami biotechnologinėse organizacijose Lietuvoje, todėl atlikus duomenų normalumo ir konstrukto tinkamumo analizes buvo pašalinti: mašininis mokymasis, dirbtiniai neuroniniai tinklai, gilusis mokymasis ir kompiuterinė rega (DII1 – DII4). Taip pat dirbtinio intelekto įrankiai neturi statistiškai reikšmingos įtakos nei žaliajai inovacijai nei aplinkosauginiam tvarumui. Taip pat žaliosios inovacijos nėra medijuojantis ryšys tarp DI įrankių ir aplinkosauginio tvarumo. Galima daryti prielaidą, kad biotechnologinių organizacijų darbuotojams Lietuvoje dar vis trūksta informacijos apie DI įrankius ir jų pritaikymą žaliajai inovacijai ir aplinkosauginiam tvarumui. Nors suvokimas apie DI įrankius yra gana menkas, tačiau DI yra naudojamas biotechnologinėse organizacijose įvairiose srityse. Didžiausias atsakymų vidurkis yra teiginiui, kad darbuotojai naujos informacijos ieškojimui taiko DI įrankius (3.38). Nors dirbtinio intelekto naudojimas įvairiose srityse neturi statistiškai reikšmingos įtakos aplinkosauginiam tvarumui, tačiau jis reikšmingas žalioms inovacijoms, nors modelis yra labai silpnas ($R^2=0.037$). Taip pat žaliosios inovacijos medijuoja ryšį tarp DI naudojimo sričių ir aplinkosauginio tvarumo. Galima daryti prielaidą, kad biotechnologinių organizacijų darbuotojai Lietuvoje pritaiko DI įvairiose naudojimo srityse, nors ir suvokimo apie galimus naudoti įrankius ir trūksta.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Remiantis nagrinėta literatūros analize galima daryti išvadą, kad aplinkosauginis tvarumas yra dabartinių ir būsimų kartų išteklių ir paslaugų poreikių patenkinimas nepakenkiant ekosistamai. Taip pat bendrai priimto dirbtinio intelekto apibrėžimo nėra, tačiau šiame darbe jis interpretuotas kaip algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytusi, stebėtu, suprastu ir reaguotu į bet kokią problemą ar situaciją. Dirbtinis intelektas gali būti išskirtas į du struktūrinius elementus: DI įrankius ir naudojimo sritis. Taip pat nustatyta, kad žaliosios inovacijos yra produktų ir procesų kūrimas, kuris apima ekologiškų žaliavų naudojimą ir ekologišką gaminių dizainą, mažinant medžiagų sunaudojimą, teršalų išmetimą ir energijos išteklių (vanduo, elektra) suvartojimą taip nekenkiant aplinkai. Žaliosios inovacijos skirstomos į du struktūrinius elementus: produktų ir procesų inovacijas. Remiantis tuo, kad žaliosios inovacijos įmonėms padeda geriau valdyti produktų išvaizdą, kietųjų atliekų ir gamybos metu išmetamų teršalų apdorojimą, greičiau reaguoja į vartotojų pageidavimus nustatyta, kad jos veikia kaip medijuojantis ryšys tarp DI ir aplinkosauginio tvarumo. Todėl aplinkosauginis tvarumas, DI ir žaliosios inovacijos yra tarpusavyje susiję.
2. Remiantis empirinio tyrimo rezultatais galime daryti išvadą, kad DI įrankiai ir naudojimo sritys neturi statistiškai reikšmingos įtakos aplinkosauginiam tvarumui ($p>0.05$) biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje. Kaip ir DI įrankiai neturi statistiškai reikšmingos įtakos ($p>0.05$) žalioms inovacijoms. Visgi nustatyta, kad DI naudojimo sritys turi statistiškai reikšmingos įtakos žalioms inovacijoms ($p<0.05$), tačiau modelis yra labai silpnas ($R^2=0.037$).
3. Remiantis faktoriinės analizės ir *Cronbach's alfa* rezultatais, galime daryti išvadą, kad žalioji produktų ir procesų inovacija gali būti nagrinėjamas kaip vienas kintamasis – žaliosios inovacijos. Remiantis atlikta statistine analize galime daryti išvadą, kad žaliosios inovacijos yra statistiškai reikšmingos aplinkosauginiam tvarumui ($p<0.05$).
4. Remiantis empirinio tyrimo rezultatais galime daryti išvadą, kad biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje žaliosios inovacijos neveikia kaip mediatorius tarp DI įrankių ir aplinkosauginio tvarumo (LLCI ir ULCI <0), tačiau veikia kaip pilnas mediatorius taip DI naudojimo ir aplinkosauginio tvarumo (LLCI ir ULCI >0).

Tolesnės tyrimo kryptys ir pasiūlymai:

1. Šio autorinio tyrimo metu gauti rezultatai iš respondentų buvo vertinami bendrai ir neanalizuojant gautų atsakymų pagal demografinius požymius. Demografinė analizė būtų suteikusi papildomų ir gilesnių įžvalgų apie dirbtinio intelekto naudojimą, jo poveikį aplinkosauginiam tvarumui bei žaliosioms inovacijoms. Tolimesni tyrimai galėtų būti atlikti išskirstat pagal biotechnologinių organizacijų verslo sektorių bei skyrių. Taip pat tyrimas galėtų būti papildomas demografiniais rodikliais: lytis ir amžius.
2. Vienas iš tyrimo apribojimų buvo, kad žaliosios inovacijos apjungtos į vieną kintamąjį atsisakant žaliosios produktų ir procesų inovacijos atskiro nagrinėjimo. Tolimesniuose tyrimuose galėtų būti tikslinga gilintis į žaliosios produktų ir procesų inovacijos poveikį ir galimus skirtumus. Tai padėtų atskleisti organizacijų požiūrį į šias inovacijas.
3. Vienas iš tyrimų apribojimų yra, kad tyrimas atliktas tik Lietuvoje. Todėl tolimesni tyrimai galėtų būti atlikti palyginant skirtingų šalių bei regionų patirtį. Tai leistų pagerinti bendrą biotechnologinių organizacijų suvokimą apie DI, žaliasias inovacijas ir aplinkosauginį tvarumą.
4. Remiantis empirinio tyrimo duomenimis matyti, kad biotechnologinės organizacijos Lietuvoje turi gilinti darbuotojų žinias apie DI įrankius. Todėl organizacijos galėtų rengti mokymus taip ugdant darbuotojų kompetencijas. Nors supratimas apie panaudojimo sritis gana geras, tačiau darbuotojai daugiausia DI naudoja ieškodami naujos informacijos. Todėl turėtų būti plečiamas suvokimas, kokiose srityse DI naudojamas.
5. Remiantis empiriniu tyrimu matyti, kad biotechnologinėse organizacijose Lietuvoje DI nėra tiesiogiai naudojamas siekiant aplinkosauginio tvarumo. Todėl vadovai galėtų identifikuoti, kokie DI sprendimai pritaikomi skirtingose veiklos srityse: energijos vartojimo efektyvumui, atsinaujinančių energijos šaltinių integravimui, atliekų tvarkymui ir perdirbimui bei tiekimo grandinės optimizavimui. Tam turėtų būti skirtas papildomas finansavimas.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

2024 *Environmental Performance Index - Environmental Performance Index*. (s.a). Žiūrėta 2025-05-26. Prieiga internetu: <https://epi.yale.edu/measure/2024/EPI>

Abdallah, M., Abu Talib, M., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management* (T. 109, p. 231–246). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.057>

Ahmed, Z., Ahmad, M., Rjoub, H., Kalugina, O. A., Hussain, N. (2022). Economic growth, renewable energy consumption, and ecological footprint: Exploring the role of environmental regulations and democracy in sustainable development. *Sustainable Development*, 30(4), 595–605. <https://doi.org/10.1002/sd.2251>

Alshammari, K. H., Alshammari, A. F. (2023). Green Innovation and Its Effects on Innovation Climate and Environmental Sustainability: The Moderating Influence of Green Abilities and Strategies. *Sustainability (Switzerland)*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/su152215898>

Al-Sharafi, M. A., Al-Emran, M., Arpaci, I., Iahad, N. A., AlQudah, A. A., Iranmanesh, M., Al-Qaysi, N. (2023). Generation Z use of artificial intelligence products and its impact on environmental sustainability: A cross-cultural comparison. *Computers in Human Behavior*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107708>

Andeobu, L., Wibowo, S., Grandhi, S. (2022). Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. *Science of the Total Environment* (T. 834). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155389>

Arora, N. K., Fatima, T. (2024). Environmental sustainability and biotechnology: opportunities and challenges. *Environmental Sustainability*, 7(2), 115–119. <https://doi.org/10.1007/s42398-024-00317-9>

Beckett, C., Eriksson, L., Johansson, E., Wikström, C. (2017). Multivariate Data Analysis (MVDA). *Pharmaceutical Quality by Design: A Practical Approach*, 201–225. <https://doi.org/10.1002/9781118895238.CH8>

Benbya, H., Davenport, T., Pachidi, S. (2020). Special Issue Editorial. Artificial Intelligence in Organizations: Current State and Future Opportunities. *MIS Quarterly Executive*, 19(4). <https://aisel.aisnet.org/misqe/vol19/iss4/4>

Bhatti, U. A., Bhatti, M. A., Tang, H., Syam, M. S., Awwad, E. M., Sharaf, M., Ghadi, Y. Y. (2024). Global production patterns: Understanding the relationship between greenhouse gas emissions, agriculture greening and climate variability. *Environmental Research*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118049>

Chen, J., Huang, S., BalaMurugan, S., Tamizharasi, G. S. (2021). Artificial intelligence based e-waste management for environmental planning. *Environmental Impact Assessment Review*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106498>

Danish, M. S. S., Senjyu, T. (2023). AI-Enabled Energy Policy for a Sustainable Future. *Sustainability (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097643>

Dauvergne, P. (2022). Is artificial intelligence greening global supply chains? Exposing the political economy of environmental costs. *Review of International Political Economy*, 29(3), 696–718. <https://doi.org/10.1080/09692290.2020.1814381>

Dragoni, M., Rospocher, Marco. (2018). Applied cognitive computing: challenges, approaches, and real-world experiences. *Progress in Artificial Intelligence*, 7, 249–250. <https://doi.org/10.1007/s13748-018-0166-4>

Duan, Y., Edwards, J. S., Dwivedi, Y. K. (2019). Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data – evolution, challenges and research agenda. *International Journal of Information Management*, 48, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.021>

Elnagar, S., Thomas, M. A., Osei-Bryson, K.-M. (2023). *What is Cognitive Computing? An Architecture and State of The Art*.

Emina, K. A. (2021). Sustainable development and the future generations. *Social Sciences, Humanities and Education Journal (SHE Journal)*, 2(1), 57. <https://doi.org/10.25273/she.v2i1.8611>

Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E. H., Rooney, D. W., Yap, P. S. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. *Environmental Chemistry Letters* (T. 21, Numeris 4, p. 1959–1989). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>

Gaižauskaite ir kt. (2014). *Socialinių tyrimų metodai: apklausa (vadovėlis)*. <https://www.researchgate.net/publication/268444017>

Gao, M., Zou, G., Li, Y., Guo, X. (2024). Recent Advances in Computer Vision: Technologies and Applications. *Electronics (Switzerland)* (T. 13, Numeris 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/electronics13142734>

Gartland, K. M. A., Bruschi, F., Dundar, M., Gahan, P. B., Viola Magni, M. P., Akbarova, Y. (2013). Progress towards the „Golden Age“ of biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.05.011>

Gaur, N., Sharma, S., Yadav, N. (2023). Environmental pollution. *Green Chemistry Approaches to Environmental Sustainability: Status, Challenges and Prospective* (p. 23–41). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18959-3.00010-0>

George, D., Mallery, P. (2016). *IBM SPSS Statistics 23 Step by Step A Simple Guide and Reference fourteenth edition*. www.routledge.com/9780134320250

Gomes, A., Gonçalves, B., Inglês, B., Silvério, S., Pinto, C. A., Saraiva, J. A. (2024). Potential Impacts of Artificial Intelligence (AI) in Biotechnology. *Applied Sciences (Switzerland)* (T. 14, Numeris 24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app142411801>

Guinot, J., Barghouti, Z., Chiva, R. (2022). Understanding Green Innovation: A Conceptual Framework. *Sustainability (Switzerland)* (T. 14, Numeris 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14105787>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis*. <https://www.drnishikantjha.com/papersCollection/Multivariate%20Data%20Analysis.pdf>

Helo, P., Hao, Y. (2022). Artificial intelligence in operations management and supply chain management: an exploratory case study. *Production Planning and Control*, 33(16), 1573–1590. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1882690>

Holzinger, A., Keiblinger, K., Holub, P., Zatloukal, K., Müller, H. (2023). AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*, 74, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.02.001>

Ying, Y., Jin, S. (2024). Artificial intelligence and green product innovation: Moderating effect of organizational capital. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28572>

Yuan, B., Cao, X. (2022). Do corporate social responsibility practices contribute to green innovation? The mediating role of green dynamic capability. *Technology in Society*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101868>

Ivančić, L., Suša Vugec, D., Bosilj Vukšić, V. (2019). Robotic Process Automation: Systematic Literature Review. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 361, 280–295. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30429-4_19

Jakštienė, S., Čeponienė, A. (2022). Darnaus vystymosi tikslų įgyvendinimas lietuvoje: skurdo mažinimo kontekstas. *Studijos – verslas – visuomenė: dabartis ir ateities įžvalgos*, VII, 104–115. <https://doi.org/10.52320/svv.v1ivii.241>

Jamarani, A., Haddadi, S., Sarvizadeh, R., Haghi Kashani, M., Akbari, M., Moradi, S. (2024). Big data and predictive analytics: A sytematic review of applications. *Artificial Intelligence Review*, 57(7). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10811-5>

Jha, S. K., Bilalovic, J., Jha, A., Patel, N., Zhang, H. (2017). Renewable energy: Present research and future scope of Artificial Intelligence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (T. 77, p. 297–317). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.018>

Kalodanis, K., Rizomiliotis, P., Anagnostopoulos, D. (2023). European Artificial Intelligence Act: an AI security approach. *Information and Computer Security*. <https://doi.org/10.1108/ICS-10-2022-0165>

Kanade, V. (2022). *Narrow Artificial Intelligence Definition, Challenges, Best Practices*. <https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-narrow-ai/>

Kang, J., Schwartz, R., Flickinger, J., Beriwal, S. (2015). Machine learning approaches for predicting radiation therapy outcomes: A clinician's perspective. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics* (T. 93, Numeris 5, p. 1127–1135). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2015.07.2286>

Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., Singh, S. (2023). Natural language processing: state of the art, current trends and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3), 3713–3744. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13428-4>

Kolekar, K. A., Hazra, T., Chakrabarty, S. N. (2016). A Review on Prediction of Municipal Solid Waste Generation Models. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.087>

Köpke, J., López-Pintado, O., Plattfaut, R., Rehse, J.-R., Gdowska, K., Gonzalez-Lopez, F., Munoz-Gama, J., Smit, K., Martijn, J., Van Der Werf, E. M. (2023). Business Process Management Blockchain, Robotic Process Automation and Educators Forum. *Proceedings*.

Kufel, J., Bargieł-Łączek, K., Kocot, S., Koźlik, M., Bartnikowska, W., Janik, M., Czogalik, Ł., Dudek, P., Magiera, M., Lis, A., Paszkiewicz, I., Nawrat, Z., Cebula, M., Gruszczyńska, K. (2023). What Is Machine Learning, Artificial Neural Networks and Deep Learning? Examples of Practical Applications in Medicine. *Diagnostics* (T. 13, Numeris 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152582>

Kumari, N., Pandey, S. (2023). Application of artificial intelligence in environmental sustainability and climate change. *Visualization Techniques for Climate Change with Machine Learning and Artificial Intelligence* (p. 293–316). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99714-0.00018-2>

Latard, B., Weber, J., Forestier, G., Hassenforder, M. (2017). *Towards a Semantic Search Engine for Scientific Articles*. <http://www.mdpi.com>

Lauriola, I., Lavelli, A., Aiolfi, F. (2022). An introduction to Deep Learning in Natural Language Processing: Models, techniques, and tools. *Neurocomputing*, 470, 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.05.103>

Lazaretti, K., Giotto, O. T., Sehnem, S., Bencke, F. F. (2020). Building sustainability and innovation in organizations. *Benchmarking* (T. 27, Numeris 7, p. 2166–2188). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2018-0254>

Lee, M. C. M., Scheepers, H., Lui, A. K. H., Ngai, E. W. T. (2023). The implementation of artificial intelligence in organizations: A systematic literature review. *Information and Management*, 60(5). <https://doi.org/10.1016/j.im.2023.103816>

Leoni, L., Ardolino, M., El Baz, J., Gueli, G., Bacchetti, A. (2022). The mediating role of knowledge management processes in the effective use of artificial intelligence in manufacturing firms. *International Journal of Operations and Production Management*, 42(13), 411–437. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2022-0282>

Lin, J., Zeng, Y., Wu, S., Luo, X. (Robert). (2024). How does artificial intelligence affect the environmental performance of organizations? The role of green innovation and green culture. *Information and Management*, 61(2). <https://doi.org/10.1016/j.im.2024.103924>

Little, J. C., Hester, E. T., Carey, C. C. (2016). Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review. *Environmental Science and Technology* (T. 50, Numeris 13, p. 6830–6845). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00298>

Liu, M., Liu, L., Feng, A. (2024). The Impact of Green Innovation on Corporate Performance: An Analysis Based on Substantive and Strategic Green Innovations. *Sustainability (Switzerland)* , 16(6). <https://doi.org/10.3390/su16062588>

Malekian, A., Chitsaz, N. (2021). Concepts, procedures, and applications of artificial neural network models in streamflow forecasting. *Advances in Streamflow Forecasting* (p. 115–147). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820673-7.00003-2>

Mata, J., de Miguel, I., Durán, R. J., Merayo, N., Singh, S. K., Jukan, A., Chamania, M. (2018). Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey. *Optical Switching and Networking* (T. 28, p. 43–57). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2017.12.006>

Melander, L. (2017). Achieving Sustainable Development by Collaborating in Green Product Innovation. *Business Strategy and the Environment*, 26(8), 1095–1109. <https://doi.org/10.1002/bse.1970>

Nishant, R., Kennedy, M., Corbett, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104>

O'Donovan, C., Giannetti, C., Pleydell-Pearce, C. (2024). Revolutionising the Sustainability of Steel Manufacturing Using Computer Vision. *Procedia Computer Science*, 232, 1729–1738. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.171>

Pakalniškienė, V. (2012). *Tyrimo ir įvertinimo priemonių patikimumo ir validumo nustatymas*.

Patrício, L., Costa, L., Varela, L., Ávila, P. (2023). Sustainable Implementation of Robotic Process Automation Based on a Multi-Objective Mathematical Model. *Sustainability*, 15(20), 15045. <https://doi.org/10.3390/su152015045>

Pettersson, F., Siljebo, J., Wolming, S., Ferry, M. (2024). A validated questionnaire for measuring digitalization as sociocultural change in educational contexts. *International Journal of Information and Learning Technology*, 41(4), 359–370. <https://doi.org/10.1108/IJILT-08-2023-0149>

Raju P. (2016). World History of Modern Biotechnology and its Applications. *Citation: Raju.P. World History of Modern Biotechnology and its Applications. Biotechnol Ind J* (T. 12, Numeris 11). www.tsijournals.com

Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/joitmc8010045>

Relich, M. (2023). Predictive and Prescriptive Analytics in Identifying Opportunities for Improving Sustainable Manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097667>

Rowley, J. (2014). Designing and using research questionnaires. *Management Research Review*, 37(3), 308–330. <https://doi.org/10.1108/MRR-02-2013-0027>

Sanders, N. R., Boone, T., Ganeshan, R., Wood, J. D. (2019). Sustainable Supply Chains in the Age of AI and Digitization: Research Challenges and Opportunities. *Journal of Business Logistics* (T. 40, Numeris 3, p. 229–240). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1111/jbl.12224>

Sarker, I. H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. *SN Computer Science* (T. 2, Numeris 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>

Shirol, S., Kulkarni, A., Agarwal, R. (2023). Semantic Search for Sustainable Platforms Using Transformers. *Proceedings of the 2023 International Conference on Emerging Techniques in Computational Intelligence, ICETCI 2023*, 112–118. <https://doi.org/10.1109/ICETCI58599.2023.10331079>

Steiner, U. (2020). Biotechnology. *Fachenglisch für BioTAs und BTAs* (p. 1–80). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60666-7_1

Sun, Y., Sun, H. (2021). Green innovation strategy and ambidextrous green innovation: The mediating effects of green supply chain integration. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094876>

- Surampalli, R. Y., Zhang, T. C., Goyal, M. K., Brar, S. K., Tyagi, R. D. (2020). *Sustainability: Fundamentals and Applications, First Edition. Edited.*
- Ta'Amnha, M. A., Al-Qudah, S., Asad, M., Magableh, I. K., Riyadh, H. A. (2024). Moderating role of technological turbulence between green product innovation, green process innovation and performance of SMEs. *Discover Sustainability*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00522-w>
- Tamaševičius, V. (2015). *Tyrimu metodai: mokomoji knyga*. Vilniaus universiteto leidykla.
- Tardin, M. G., Perin, M. G., Simões, C., Braga, L. D. (2024). Organizational Sustainability Orientation: A Review. *Organization and Environment*. SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/10860266231226144>
- Tosin, M. O., Azubuike, C. O., Dorcas, O. A., Zamathula, Q. S. (2024). Reviewing the role of artificial intelligence in energy efficiency optimization. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(4), 1243–1256. <https://doi.org/10.51594/estj/v5i4.1015>
- Usubiaga-Liaño, A., Ekins, P. (2021). Monitoring the environmental sustainability of countries through the strong environmental sustainability index. *Ecological Indicators*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108281>
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications* (T. 11, Numeris 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- von Krogh, G. (2018). Artificial Intelligence in Organizations: New Opportunities for Phenomenon-Based Theorizing. *Academy of Management Discoveries*, 4(4), 404–409. <https://doi.org/10.5465/amd.2018.0084>
- Weiland, S., Hickmann, T., Lederer, M., Marquardt, J., Schwindenhammer, S. (2021). The 2030 agenda for sustainable development: Transformative change through the sustainable development goals? *Politics and Governance* (T. 9, Numeris 1, p. 90–95). Cogitatio Press. <https://doi.org/10.17645/PAG.V9I1.4191>
- Wendling, Z. A., Emerson, J. W., Esty, D. C., Levy, M. A., deSherbinin, A. (2018). *2018 Environmental Performance Index*. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. <https://epi.yale.edu/>
- Wiklund, P., Mottrie, A., Gundeti, M. S., Patel, V. (2022). Robotic Urologic Surgery: Third Edition. *Robotic Urologic Surgery: Third Edition*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-00363-9>

Xu, S., Wang, J., Shou, W., Ngo, T., Sadick, A. M., Wang, X. (2021). Computer Vision Techniques in Construction: A Critical Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(5), 3383–3397. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09504-3>

Zacher, H., Rudolph, C. W., Katz, I. M. (2025). Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior Employee Green Behavior as the Core of Environmentally Sustainable Organizations. *Annu. Rev. Organ. Psychol. Organ. Behav.* 2023, 10, 21. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-120920>

Zhang, L., Ling, J., Lin, M. (2022). Artificial intelligence in renewable energy: A comprehensive bibliometric analysis. *Energy Reports* (T. 8, p. 14072–14088). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.347>

DIRBTINIO INTELEKTO TAIKymo ĮTAKA APLINKOSAUGINIAM TVARUMUI MEDIJUOJANT ŽALIOSIOMS INOVACIJOMS BIOTECHNOLOGINĖSE ORGANIZACIJOSE

GRETA STULGINSKĖ

Magistro darbas

Kokybės vadybos studijų programa

Vilniaus universitetas, Ekonomikos ir verslo administravimo fakultetas

Darbo vadovas – asistentas dr. Darius Ruželė

Vilnius, 2025

SANTRAUKA

70 puslapių, 16 lentelių, 7 paveikslėliai, 82 literatūros šaltiniai.

Magistro darbo tikslas – įvertinti dirbtinio intelekto taikymo įtaką aplinkosauginiam tvarumui, medijuojant produktų ir procesų žaliosioms inovacijoms. Išsikelti uždaviniai: 1. Atlikus literatūros analizę apibendrinti aplinkosauginio tvarumo, dirbtinio intelekto, žaliosios inovacijos, apibrėžimus, struktūrinius elementus bei modelius. 2. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti tiesioginę dirbtinio intelekto įtaką žaliosioms produktų ir procesų inovacijoms ir aplinkosauginiam tvarumui. 3. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti tiesioginę žaliosios produktų ir procesų inovacijos įtaką aplinkosauginiam tvarumui. 4. Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus empirinius duomenis įvertinti DI (įrankių ir naudojimo sričių) įtaką aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms produktų ir procesų inovacijoms.

Darbą sudaro įvadas, tris skyriai, išvados ir pasiūlymai, literatūros ir šaltinių sąrašas.

Literatūros apžvalgos dalyje išanalizuotas aplinkosauginis tvarumas, dirbtinis intelektas (naudojami įrankiai ir pritaikomos sritys) ir žaliosios inovacijos.

Atlikus literatūros analizę buvo sudarytas konceptualus tyrimo modelis, kuriuo remiantis dirbtinis intelektas išskirtas į dirbtinio intelekto įrankius ir naudojimo sritis. Taip pat žaliosios inovacijos išskirtos į žaliąją produktų inovaciją ir žaliąją procesų inovaciją. Tyrimo atlikimui pasirinkta kiekybinė tyrimo metodika. Mokslinės literatūros analizės pagrindu parengta savarankiškai pildoma anketa, kurios konstruktai sudaryti remiantis atskiruose literatūros šaltiniuose naudojamų klausimynų pagrindu ir adaptuoti empiriniam tyrimui bei sudėti į bendrą klausimyną. Tyrimo tikslinė populiacija pasirinkti Lietuvoje veikiančių biotechnologinių organizacijų darbuotojai. Duomenų apdorojimas atliktas naudojant „IBM SPSS Statistics“ programinę įrangą. Konstruktyvumui patikrinti atlikta faktorinė analizė, o patikimumui apskaičiuota *Cronbach's alpha*.

Ryšiams tarp kintamųjų įvertinti taikoma aprašomoji statistinė duomenų analizė. Siekiant atlikti reprezentatyvų matematinį statistinį įvertinimą pritaikomi tinkami kiekybinio tyrimo metodai. Iš viso atsakymus pateikė 213 respondentai. Remiantis empirinio tyrimo rezultatais galime daryti išvadą, kad DI įrankiai ir naudojimo sritys neturi statistiškai reikšmingos įtakos aplinkosauginiam tvarumui ($p > 0.05$) biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje. Kaip ir DI įrankiai neturi statistiškai reikšmingos įtakos ($p > 0.05$) žaliosioms inovacijoms. Tačiau nustatyta, kad DI naudojimo sritys turi statistiškai reikšmingos įtakos žaliosioms inovacijoms ($p < 0.05$), tačiau modelis yra labai silpnas ($R^2 = 0.037$). Taip pat remiantis faktorinės analizės ir *Cronbach's alfa* rezultatais, galime daryti išvadą, kad žalioji produktų ir procesų inovacija gali būti nagrinėjamas kaip vienas kintamasis – žaliosios inovacijos. Remiantis atlikta statistine analize galime daryti išvadą, kad žaliosios inovacijos yra statistiškai reikšmingos aplinkosauginiam tvarumui ($p < 0.05$). Remiantis empirinio tyrimo rezultatais galime daryti išvadą, kad biotechnologinių organizacijų darbo vietose Lietuvoje žaliosios inovacijos nemedijuoja ryšio tarp DI įrankių ir aplinkosauginio tvarumo, tačiau veikia kaip pilnas mediatorius taip DI naudojimo ir aplinkosauginio tvarumo.

**THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS ON
ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MEDIATED BY GREEN INNOVATION IN
BIOTECHNOLOGY ORGANIZATIONS**

GRETA STULGINSKE

Master thesis

Quality Management master study programme

Vilnius University, Faculty of Economics and Business Administration

Supervisor – Asst. Prof. Darius Ruzele

Vilnius, 2025

SUMMARY

70 pages, 16 tables, 7 figures, 82 literature sources.

The aim of the master's thesis is to evaluate the impact of artificial intelligence (AI) application on environmental sustainability, mediated by green product and process innovations. The objectives are: 1. To summarize the definitions, structural elements, and models of environmental sustainability, artificial intelligence, and green innovation through a literature review. 2. To evaluate the direct impact of artificial intelligence on green product and process innovations and on environmental sustainability by analyzing the literature and empirical data. 3. To evaluate the direct impact of green product and process innovations on environmental sustainability through literature analysis and empirical data. 4. To assess the impact of artificial intelligence on environmental sustainability, mediated by green product and process innovations, based on literature review and empirical findings.

The study consists of an introduction, three chapters, conclusions and recommendations, and a list of references and sources.

In the literature review, environmental sustainability, artificial intelligence (including the tools used and areas of application), and green innovation are analyzed.

Based on the literature review, a conceptual research model was set, in which artificial intelligence was divided into artificial intelligence tools and application areas. Likewise, green innovation was divided into green product innovation and green process innovation. A quantitative research methodology was selected for the study. A questionnaire was developed based on scientific literature analysis, with constructs adapted from existing questionnaires aligned for empirical research, combined into a single survey instrument.

The target population for the study consisted of employees working in biotechnology organizations in Lithuania. Data were processed using the IBM SPSS Statistics software. Factor

analysis was conducted to test construct validity, and *Cronbach's alpha* was calculated to determine reliability. Descriptive statistical analysis was used to assess relationships between variables. Appropriate quantitative methods were applied to ensure statistically representative results.

In total, 213 respondents completed the survey. Based on the empirical research findings, it can be concluded that AI tools and application areas do not have a statistically significant impact on environmental sustainability ($p > 0.05$) in biotechnology workplace in Lithuania. Also, AI tools do not have a statistically significant impact ($p > 0.05$) on green innovations. However, AI application areas do have a statistically significant impact on green innovations ($p < 0.05$), although the model is very weak ($R^2 = 0.037$). Based on the results of factor analysis and *Cronbach's alpha*, it can be concluded that green product and process innovation can be treated as a single variable – green innovation. Based on the statistical analysis, it can be concluded that green innovations are statistically significant for environmental sustainability ($p < 0.05$). Furthermore, based on the empirical results in Lithuanian biotechnology organizations, green innovation does not act as a mediator between AI tools and environmental sustainability, but it does act as a full mediator between AI application areas and environmental sustainability.

1 priedas. Respondentų apklausos anketa

Internetinė apklausa - Kiekybinis tyrimas "Dirbtinio intelekto įtaka aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms"

Esu Vilniaus universiteto kokybės vadybos magistro studijų studentė Greta Stulginskė.

Atlieku tyrimą apie dirbtinio intelekto įtaką aplinkosauginiam tvarumui medijuojant žaliosioms inovacijoms. Tyrimo objektas - biotechnologinės įmonės. Tyrimo populiacija - įvairių pareigybių darbuotojai.

Šiame tyrime dirbtinis intelektas (DI) yra apibūdinamas kaip algoritmai ir programos, sukurtos atsižvelgiant į žmogaus intelektą arba į tai kaip žmogus mokytųsi, stebėtų, suprastų ir reaguotų į bet kokią problemą ar situaciją.

Pildydami anketą užtruksite apie 10-15 min.

Visa šiame tyrime surinkta informacija bus nagrinėjama neįvardijant organizacijos. Užtikrinu, kad anketa yra anonimiška, duomenys bus panaudoti tik moksliniame magistro baigiamojo darbo tyrime.

Ačiū už skirtą laiką!

** Indicates required question*

Dirbtinio intelekto naudojimo sritys

1. Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje planuodamas kasdienę veiklą

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Visiškai nesutinku ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

2. Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje tiesioginėms pareigoms atlikti

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

3. Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje dokumentacijos rengimui

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

4. Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje kaip priemonę komunikacijai

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

5. Dirbtinio intelekto įrankius naudoju savo darbo vietoje ieškodamas naujos informacijos

★

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

6. *Mašininis mokymasis (MM) - DI sritis, apimanti kompiuterinių modelių kūrimą, kurie geba mokytis ir savarankiškai daryti prognozes arba priimti sprendimus, remdamiesi pateiktais duomenimis. MM šiame tyrime apima didelių duomenų rinkinių analizę ir pasikartojančių dėsningumų ieškojimą.*

Savo darbo vietoje taikau dirbtinio intelekto (DI) įrankius, pagrįstus „mašininio mokymusi“.

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

7. *Dirbtinis neuroninis tinklas (DNT) - mašininio mokymosi algoritmas, paremtas biologinių neuroninių tinklų principu. Naudojamas vaizdo, teksto ar garso apdorojimui, pavyzdžiui, veido ar kalbos atpažinimui.*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „dirbtiniais neuroniniais tinklais“.

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

8. *Gilusis mokymasis (GM) - mašininio mokymosi dalis, kuri naudoja dirbtinius neuroninius tinklus. GM skirtas didelių duomenų apdorojimui (didesnių nei reikia mašininiui mokymuisi).*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „giliuoju mokymusi“.

Mark only one oval.

1	2	3	4	5		
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

9.

Kompiuterinė rega (KR) - kompiuterių naudojimas siekiant išsamiai suprasti vizualinius duomenis, taikant panašų požiūrį kaip ir žmogaus regos sistema. Kompiuterinės regos technologija gali būti naudojama aptikti gamybos procesų defektus ir užtikrinti, kad gaminiai atitiktų kokybės standartus.

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kompiuterine rega“.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Visiškai ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

10. *Natūralios kalbos apdorojimas (NKA) - DI dalis, apimanti sistemų ir algoritmų, galinčių sąveikauti naudojant žmogaus kalbą, kūrimą. Praktiškai pritaikomi pavyzdžiai yra: Google translate, balso asistentai*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „natūralios kalbos apdorojimu“.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Visiškai ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

11. *Kognityvinis skaičiavimas (KS) - DI sritis, kuri siekia kurti sistemas, galinčias imituoti žmogaus mąstymo procesus, įskaitant mokymąsi, samprotavimą ir supratimą. Praktiškai KS naudojamas kuriant savarankiškai besimokančias sistemas, kurios bendrauja su žmonėmis, prisitaikydamos prie konteksto ir pokyčių, pavyzdžiui, ChatGPT.*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „kognityviniu skaičiavimu“.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5

Visiškai ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

12. *Nuspėjamoji analitika - yra mašininio mokymosi, statistinių metodų ir duomenų naudojimas, siekiant analizuoti istorinius ir esamus duomenis, prognozuojant būsimus įvykius ir jų elgesį.*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „nuspėjamąja analitika“.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

13. *Robotinių procesų automatizavimas - specifinių technologijų ir metodikų taikymas, pagrįstas programine įranga ir algoritmais, kuriais siekiama automatizuoti pasikartojančias žmogaus užduotis.*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „robotinių procesų automatizavimu“

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

14. *Semantinė paieška (SP) - paieškos technologija, interpretuojanti žodžių ir frazių reikšmę. Google yra SP pavyzdys.*

Savo darbo vietoje taikau DI įrankius, pagrįstus „semantine paieška“

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

Aplinkosauginis tvarumas

15. Mano darbo vietoje mažiau teršiamas oras, lyginant su kitomis darbo vietomis.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5 6 7

Visi: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

16. Mano darbo vietoje mažiau nuotekų, lyginant su kitomis darbo vietomis.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5 6 7

Visi: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

17. Mano darbo vietoje mažiau išmetama atliekų, kuriose yra kietųjų dalelių, lyginant su kitomis darbo vietomis.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5 6 7

Visi: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

18. Mano darbo vietoje naudojama mažiau pavojingų, kenksmingų ar toksiškų medžiagų, lyginant su kitomis darbo vietomis.

Mark only one oval.

1 2 3 4 5 6 7

Visi: ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Visiškai sutinku

19. Mano darbo vietoje neigiamas poveikis aplinkai yra mažesnis, lyginant su kitomis darbo vietomis.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

Žaliųjų produktų inovacija

20. Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios daro mažiausią taršą produktų kūrimo ir vystymo metu.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

21. Savo darbo vietoje renkuosi žaliavas, kurios sunaudoja mažiausiai energijos kuriant ir vystant produktus.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

22. Savo darbo vietoje nenaudoju perteklinių žaliavų kuriant ir vystant produktus.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

23. Savo darbo vietoje apsvairstau, ar produktą lengva perdirbti, pakartotinai panaudoti ir ar lengvai suyra kuriant ir projektuojant produktus.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

Žaliųjų procesų inovacija

24. Savo darbo vietoje veiksmingai mažinu pavojingų medžiagų ar atliekų išmetimą gamybos procese.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

25. Savo darbo vietoje perdirbu atliekas ir išmetamus teršalus, kad jie būtų apdorojami ir pakartotinai naudojami gamybos procese.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

26. Savo darbo vietoje mažinu vandens, elektros, anglies ar naftos suvartojimą gamybos procese.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visiškai nesutinku	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

27. Savo darbo vietoje mažinu žaliavų naudojimą gamybos procese.

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Visi:	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Visiškai sutinku

Informacija apie įmonę

28. Jūsų organizacijoje dirba:

Mark only one oval.

- ☐ 1-10 darbuotojų
- ☐ 11-50 darbuotojų
- ☐ 51-250 darbuotojų
- ☐ 251 ir daugiau darbuotojų

29. Verslo sektorius:

Mark only one oval.

- ☐ Žemės ūkis
- ☐ Medicinos procesai ir žmogaus sveikata
- ☐ Mikroorganizmų taikymas vandens ir jūrų biotechnologijoje
- ☐ Pramoniniai procesai

30. Nurodykite kiek metų dirbate organizacijoje:

31. Nurodykite skyrių, kuriame dirbate:

Mark only one oval.

- ☐ Kokybės kontrolė
- ☐ Moksliniai tyrimai ir plėtra
- ☐ Gamyba
- ☐ Other: _____