VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
VERSLO VADYBOS FAKULTETAS
VERSLO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLININKYSTĖS KATEDRA

Marius Matulaitis

GAMYBOS LOGISTIKOS TOBULINIMO MODELIAVIMAS BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖJE KETVIRTOSIOS PRAMONĖS REVOLIUCIJOS IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE

MODELING THE IMPROVEMENT OF PRODUCTION LOGISTICS IN THE BIOTECHNOLOGY INDUSTRY IN THE CONTEXT OF THE CHALLENGES OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLIUTION

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 6211LX086
Gamybos vadybos specializacija
Vadybos studijų kryptis

Vilnius, 2025

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

VERSLO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLININKYSTĖS KATEDRA

Marius Matulaitis

GAMYBOS LOGISTIKOS TOBULINIMO MODELIAVIMAS BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖJE KETVIRTOSIOS PRAMONĖS REVOLIUCIJOS IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE

MODELING THE IMPROVEMENT OF PRODUCTION LOGISTICS IN THE BIOTECHNOLOGY INDUSTRY IN THE CONTEXT OF THE CHALLENGES OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLIUTION

Baigiamasis magistro darbas

Inžinerinės ekonomikos ir vadybos studijų programa, valstybinis kodas 6211LX086

Gamybos vadybos specializacija

Vadybos studijų kryptis

Vadovas _____doc. dr. Artūras Jakubavičius_____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Konsultantas _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Konsultantas _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Lietuvių kalbos konsultantė_____dr. Vitalija Karaciejūtė_____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vilnius, 2025

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VERSLO VADYBOS FAKULTETAS

VERSLO TECHNOLOGIJŲ IR VERSLININKYSTĖS KATEDRA

Studijų kryptis: Vadyba	TVIRTINU
Studijų programa: Inžinerinė ekonomika ir vadyba, valstybinis kodas 6211LX086	Katedros vedėjas
	Ieva Meidutė-Kavaliauskienė
Specializacija: Gamybos vadyba	2024-12-08

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Nr. GVfm-23–9810

Vilnius

Studentas (-ė): Marius Matulaitis

Baigiamojo darbo tema: Gamybos logistikos tobulinimo modeliavimas biotechnologijų pramonėje ketvirtosios pramonės revoliucijos iššūkių kontekste

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas pagal numatytą studijų kalendorinį grafiką.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Baigiamojo magistro darbo uždaviniai:

Tikslas – pasiūlyti gamybos logistikos tobulinimo modelį biotechnologijų sektoriuje ketvirtosios pramonės revoliucijos kontekste.

Uždaviniai:

1. Įvertinti biotechnologijų pramonės sistematiką ir kompleksiškumą.
2. Apibendrinti mokslinę literatūrą gamybos logistikos tobulinimo ir skaitmenizavimo tema.
3. Įvertinti biotechnologijų pramonės plėtros tendencijas ir ketvirtosios pramonės revoliucijos iššūkius.
4. Įvertinti veiksnius, darančius įtaką gamybos logistikos skaitmenizavimui biotechnologijų pramonėje.

Vadovas docentas Artūras Jakubavičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Verslo vadybos fakultetas
Verslo technologijų ir verslininkystės katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data ….-….-….

Antrosios pakopos studijų **Inžinerinės ekonomikos ir vadybos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Gamybos logistikos tobulinimo modeliavimas biotechnologijų pramonėje ketvirtosios pramonės revoliucijos iššūkių kontekste**

Autorius **Marius Matulaitis**
Vadovas **Artūras Jakubavičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe analizuojama gamybos logistikos tobulinimo specifika biotechnologijų sektoriaus įmonėse. Nagrinėjamas biotechnologijų sektorius, gamybos logistika, Pramonė 4.0, moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (MTEP) ir inovacijos bei gamybos valdymo ir tobulinimo teoriniai modeliai. Atliekamas biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijų tyrimas, nagrinėjami biotechnologijų sektoriaus skaitmenizavimo rezultatai. Remiantis teoriniais gamybos logistikos skaitmeninimo aspektais atliekamas ekspertinis vertinimas, siekiant identifikuoti biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos skaitmenizavimą lemiančius veiksnius.

Remiantis atlikta mokslinės literatūros analize bei ekspertiniu vertinimu pateikiamas gamybos logistikos tobulinimo modelis. Atlikus literatūros, statistinių duomenų bei ekspertinio vertinimo analizę pateikiamos išvados ir siūlymai.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, teorinė dalis, praktinė dalis, gamybos logistikos tobulinimo biotechnologijų pramonėje teorinis modelis, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 81 p. teksto be priedų, 53 iliustracijos, 7 lentelės, 185 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: biotechnologijos, gamybos logistika, Pramonė 4.0, inovacijos, MTEP, *Agile*

Vilniaus Gediminas technical university
Faculty of Business Management
Department of Business Technologies and Entrepreneurship

ISBN ISSN
Copies. No. .....
Date ….-….-….

Master Degree Studies	**Engineering Economics and Management** study programme Master Final Thesis
Title	**Modelling the Improvement of Production Logistics in the Biotechnology Industry in the Context of the Challenges of the Fourth Industrial Revolution**
Author	**Marius Matulaitis**
Academic supervisor	**Artūras Jakubavičius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The final master thesis examines the specifics of improving production logistics in biotechnology companies. It provides an overview of the biotechnology sector, production logistics, Industry 4.0, R&D and innovation, and theoretical models of production management and improvement. It examines trends in the development of the biotechnology sector and the results of the digitisation of the biotechnology sector. Based on the theoretical aspects of the digitisation of production logistics, an expert assessment is carried out to identify the factors determining the digitisation of production logistics in the biotechnology sector.

Based on the analysis of the scientific literature and the expert evaluation, a model for the improvement of production logistics is presented. The analysis of the literature, statistical data and the expert evaluation leads to conclusions and suggestions.

The thesis consists of 6 parts: introduction, theoretical part, practical part, theoretical model of improvement of production logistics in the biotechnology industry, conclusions and suggestions, list of references.

Thesis consist of: 81 p. text without appendixes, 53 pictures, 7 tables, 185 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: biotechnology, production logistics, Industry 4.0, innovation, R&D, Agile

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Marius Matulaitis, 20184860

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Verslo vadybos fakultetas

(Fakultetas)

Inžinerinė ekonomika ir vadyba, GVfm-23

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2024 m. gruodžio 08 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Gamybos logistikos tobulinimo modeliavimas biotechnologijų pramonėje ketvirtosios pramonės revoliucijos iššūkių kontekste“ yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: docentas daktaras Artūras Jakubavičius. Mano darbo vadovas docentas daktaras Artūras Jakubavičius.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)	Marius Matulaitis (Vardas ir pavardė)

SUTIKIMAS DĖL ASMENS DUOMENŲ NAUDOJIMO

2024-12-08
(Data)

Šiuo sutikimu aš, Marius Matulaitis (toliau – Duomenų subjektas) sutinku, kad Vilniaus Gedimino technikos universitetas, juridinio asmens kodas 111950243, adresas Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius (toliau – Duomenų valdytojas), tvarkytų mano asmens duomenis kitų studentų mokymosi tikslu. T. y. tvarkytų (*pažymėkite tinkamą*):

☐ vardą, pavardę, bakalauro baigiamąjį darbą;
☐ bakalauro baigiamąjį darbą, nenurodant vardo, pavardės;
☒ vardą, pavardę, magistro baigiamąjį darbą;
☐ magistro baigiamąjį darbą nenurodant vardo, pavardės.

Šiuo tikslu tvarkomų asmens duomenų Duomenų valdytojas neperduos jokiems tretiesiems asmenims, studentams su baigiamaisiais darbais bus leidžiama susipažinti vidinėje informacinėje sistemoje. Duomenų subjekto asmens duomenys šiuo tikslu bus naudojami ne ilgiau nei 5 metai.

Šiuo sutikimu Duomenų subjektas patvirtina, kad yra supažindintas su šiomis teisėmis:

- Susipažinti su savo duomenimis ir kaip jie yra tvarkomi (teisė susipažinti);
- Reikalauti ištaisyti arba, atsižvelgiant į asmens duomenų tvarkymo tikslus papildyti asmens neišsamius asmens duomenis (teisė ištaisyti);
- Savo duomenis sunaikinti arba sustabdyti savo duomenų tvarkymo veiksmus (išskyrus saugojimą) (teisė sunaikinti ir teisė „būti pamirštam“);
- Reikalauti, kad asmens duomenų valdytojas apribotų asmens duomenų tvarkymą (teisė apriboti);
- Teise į duomenų perkėlimą (teisė perkelti);
- Nesutikti, kad būtų tvarkomi asmens duomenys, kai šie duomenys tvarkomi ar ketinami tvarkyti kitais tikslais;
- Pateikti skundą Valstybinei duomenų apsaugos inspekcijai;

Duomenų subjektas turi teisę bet kuriuo metu atšaukti savo sutikimą.

_____*Marius Matulaitis*_____
[Duomenų subjekto vardas, pavardė, parašas]

Duomenų valdytojo rekvizitai:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Juridinio asmens kodas: 111950243
Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius
Tel. (8 5) 274 5030
Faks. (8 5) 270 0112
El. paštas: vilniustech@vilniustech.lt
PVM mokėtojo kodas: LT119502413
Duomenų apsaugos pareigūno tel. (8 5) 251 2191, el. paštas: dap@vilniustech.lt

TURINYS

ĮVADAS 13

1. GAMYBOS LOGISTIKOS TOBULINIMO TEORIJŲ SISTEMATIKA BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖJE KETVIRTOSIOS PRAMONĖS REVOLIUCIJOS IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE 15

1.1. Biotechnologijų pramonės sektoriaus sistematika ir samprata 15

1.2. Gamybos logistikos samprata ir sistematika 19

1.3. Gamybos logistikos teoriniai modeliai 26

1.4. Gamybos valdymo tobulinimo modeliai 35

1.5. Pramonės 4.0 sistematika biotechnologijų pramonės kontekste 41

1.6. Mokslinių tyrimų, eksperimentinės plėtros ir inovacijų dedamoji biotechnologijų sektoriuje 50

2. METODOLOGIJA, SKIRTA BIOTECHNOLOGIJŲ SEKTORIAUS GAMYBOS LOGISTIKOS TOBULINIMO TYRIMUI PRAMONĖS 4.0 IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE 58

3. BIOTECHNOLOGIJŲ SEKTORIAUS GAMYBOS LOGISTIKOS TENDENCIJŲ IR PRAKTIKOS TYRIMAS 63

3.1. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo tyrimas 63

3.1.1. Bioekonomikos ir biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijos 63

3.1.2. Skaitmeninių technologijų diegimo biotechnologijų pramonėje tendencijos 77

3.1.3. Biotechnologijos sektoriaus įmonių gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančių veiksnių tyrimas 82

3.2. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo modelis 87

IŠVADOS 92

LITERATŪROS SĄRAŠAS 94

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal taikymo sritį 17
2 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal technologinius kriterijus 17
3 lentelė. Gamybos logistikos pagrindinės savybės 24
4 lentelė. Gamybos Pramonės 4.0 technologijų pritaikymas biotechnologijų pramonėje 44
5 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė 60
6 lentelė. Bioekonomikos klasifikavimas pagal EVRK2 63
7 lentelė. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančių veiksnių vertinimas 83

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Biotechnologijų koncepcinis modelis 15
2 pav. Biotechnologijų produktų gamybos procesų modelis 21
3 pav. Gamybos logistikos modelis 23
4 pav. Gamybos logistikos operacijų procesų modelis 26
5 pav. Gamybos logistikos modelis 27
6 pav. Linijinis gamybos logistikos modelis 27
7 pav. Gamybos logistikos modelis, taikantis žiedinės ekonomikos ir 3Rs principus 30
8 pav. Žiedinės gamybos logistikos modelis 31
9 pav. Sterilios gamybos modelis, kai sterilizuojama po gamybos proceso 33
10 pav. Sterilios gamybos modelis, kai sterilizuojama prieš gamybos procesą 33
11 pav. Biotechnologijų pramonės gamybos logistikos etapai 34
12 pav. *Lean* mąstysenos komponentai 36
13 pav. *Lean* įrankiai 37
14 pav. Krioklio modelis 40
15 pav. *Agile* modelis 40
16 pav. Pramonės revoliucijų raida 42
17 pav. Pagrindinės Pramonės 4.0 technologijos 44
18 pav. Biotechnologijų sektoriaus skaitmenizavimo modelis išskiriant gamybos logistikos procesus 49
19 pav. Gamybos organizacijų skaitmeninės brandos lygiai 49
20 pav. Inovacijų tipologijos matrica 52
21 pav. Bendrinis MTEP procesų modelis 55
22 pav. MTEP procesų modelis 56
23 pav. MTEP procesų modelis Biotechnologijų pramonėje 57
24 pav. Tyrimo metodika 58
25 pav. Ekspertinio tyrimo schema 61
26 pav. Bioekonomikos kuriama pridėtinė vertė 64
27 pav. Bioekonomikos sektorių darbuotojų skaičius 2021 m., tūkstančiais darbuotojų 65
28 pav. Lietuvos bioekonomikos industrijos sukuriama pridėtinė vertė 2021 m. (proc.) 66
29 pav. Biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus augimas Europoje 67
30 pav. Europoje pirmaujančios šalys pagal biotechnologijų pramonės sukuriamą BPV, mln. Eur 68

31 pav. Baltijos šalyse pirmaujančios šalys pagal biotechnologijų pramonės sukuriamą BPV, mln. Eur. 68
32 pav. Pasaulio biotechnologijų rinkos dydis, 2023–2034 m. (USD trilijonai) 69
33 pav. Pasaulio biotechnologijų rinkos dalis pagal regioną, 2023 m. (proc.) 70
34 pav. Biotechnologijų rinkos dalis pagal taikymą 2023 m. (proc.) 70
35 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) statistiniai rodikliai verslo sektoriuje 71
36 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) įmonių skaičiaus ir apyvartos koreliacija 72
37 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) darbuotojų skaičiaus ir apyvartos koreliacija 72
38 pav. Lietuvos įmonės diegiančios inovacijas ir išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje 73
39 pav. Lietuvos įmonių išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje 74
40 pav. Kliūtys vykdant MTEP plėtrą biotechnologijų srityje 75
41 pav. Biotechnologijų įmonių skaičiaus augimo Lietuvoje ir NBI indeksas 76
42 pav. Pasaulinės farmacijos rinkos pardavimai suskirstyti pagal technologijas 76
43 pav. Išlaidos skaitmeninių technologijų diegimui pasaulyje (trilijonų JAV dolerių) 77
44 pav. Skaitmenio intensyvumo lygis Lietuvos ir Europos įmonėse 2022 m. (proc. nuo įmonių) 78
45 pav. Investicijos į logistikos skaitmenines technologijas gyvybės mokslų sektoriuje (proc. nuo apklaustų įmonių) 79
46 pav. Biotechnologijų sektoriaus naujųjų technologijų taikymo tendencijos 2024 m. (proc.) 79
47 pav. Lietuvos ir Europos DESI indeksas 80
48 pav. DESI ir Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) apyvarta 81
49 pav. C19–C23 sektorių diegiamos skaitmeninės technologijos (proc. nuo įmonių) 81
50 pav. Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesuose 85
51 pav. Biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmę lemiantys veiksniai (0 mažiausiai reikšminga, 5 labiausiai reikšminga) 86
52 pav. Reguliacinės aplinkos veiksnių įtaka biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui (0 mažiausiai reikšminga, 4 labiausiai reikšminga) 86
53 pav. Gamybos logistikos tobulinimo modelis biotechnologijų pramonės įmonėse ketvirtosios pramonės revoliucijos kontekste 88

PRIEDAI

1 priedas. Ekspertinio vertinimo apklausos anketa 111
2 priedas. Straipsnis „Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba“..... 115
3 priedas. Sertifikatas „Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba“ 126

ĮVADAS

Biotechnologijos – tai viena inovatyviausių, sparčiausiai plėtojamų ir svarbiausių mokslo bei pramonės sričių, darančių įtaką daugeliui skirtingų sektorių. Biotechnologijų sektorius yra novatoriškas bei kuria naujas žinias ir atveria naujas pramonės galimybes. Plačios biotechnologijų pritaikymo galimybės bei sukuriama nauda didina biotechnologijų sektoriaus populiarumą bei sudaro sąlygas naujam požiūriui į daugelį pramonės šakų (Yeung ir kt., 2019). Biotechnologijų pritaikymas tampa vis universalesnis ir reikšmingesnis įvairioms socialinėms problemoms spręsti, apimant klimato kaitą, sveikatos apsaugą bei energijos paklausą (Martin ir kt., 2021). Biotechnologijų pramonėje specialus dėmesys skiriamas gamybos logistikai, kadangi biotechnologijų sektoriaus gamyba yra išskirtinė, kurioje galioja itin griežti gamybos, medžiagų ir sandėliavimo reikalavimai, reikalaujamas didelis tikslumas, griežta aplinkos sąlygų ir kokybės kontrolė. Šiomis dienomis naujos technologijos, žmonių darbo būdas bei veiklos procesai sparčiai keičiasi, dėl to svarbu teisingai planuoti ir nuolat tobulinti gamybos logistiką (Sgarbossa ir kt., 2020). Biotechnologijos – tai ateities darbo technologijos, o skaitmeninių technologijų integravimas suteikia biotechnologijų sektoriui galimybę kurti naujus biotechnologinius produktus ir procesus (Massabni ir Silva, 2019). Naujų skaitmeninių technologijų diegimas gerina biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos kokybės kontrolę, optimizuoja gamybą bei tobulina gamybos logistiką, dėl to biotechnologijų pramonės įmonės, siekdamos išlikti konkurencingos, turi savo gamybos logistikos procesuose taikyti modernias, skaitmeninimu grįstas technologijas. Siekiant sėkmingai tobulinti gamybos logistiką, taikant skaitmenines technologijas, pasirinkimai turi būti paremti duomenimis.

Tyrimo objektas – gamybos logistikos tobulinimo modeliavimas biotechnologijų pramonėje.

Tyrimo tikslas – pasiūlyti gamybos logistikos tobulinimo modelį biotechnologijų sektoriuje ketvirtosios pramonės revoliucijos kontekste.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Įvertinti biotechnologijų pramonės sistematiką ir kompleksiškumą.
2. Apibendrinti mokslinę literatūrą gamybos logistikos tobulinimo ir skaitmenizavimo tema.
3. Įvertinti biotechnologijų pramonės plėtros tendencijas ir ketvirtosios pramonės revoliucijos iššūkius.
4. Įvertinti veiksnius, darančius įtaką gamybos logistikos skaitmenizavimui biotechnologijų pramonėje.

Darbe taikomi tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, statistinė kiekybinių duomenų analizė ir ekspertinis vertinimas. Tyrimams atlikti naudota mokslinė literatūra, statistikos duomenų bazės, biotechnologijų įmonių duomenys.

Pirmoje darbo dalyje analizuojamas biotechnologijų sektoriaus išskirtinumas ir kompleksiškumas, analizuojama biotechnologijų klasifikacija bei biotechnologijų sektoriaus plėtros kryptys. Analizuojami teoriniai gamybos logistikos modeliai bei gamybos logistikos išskirtinumas biotechnologijų pramonėje. Apibendrinami linijinis ir žiedinis gamybos logistikos modeliai, jų savybės bei specifika. Analizuojami gamybos valdymo tobulinimo modeliai, Pramonės 4.0 specifika ir svarba biotechnologijų pramonėje bei gamybos logistikos procesuose. Taip pat analizuojama inovacijų bei mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros dedamosios biotechnologijų sektoriuje.

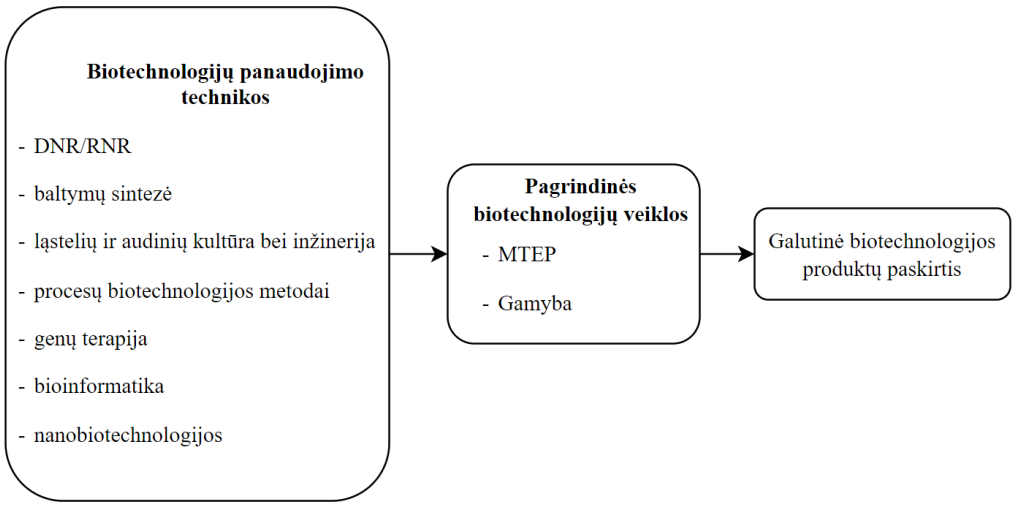
Antroje darbo dalyje aprašomi rašto darbe taikyti tyrimo metodai, detalizuota tyrimo eiga ir nagrinėjami aspektai. Aprašoma rašto darbe taikomos koreliacinė ir regresinė analizės, apibrėžiamos skaičiavimams atlikti reikalingos formulės. Koreliacinė analizė leidžia atskleisti stiprumą ir kryptingumą tarp veiksnių, tuo tarpu regresinė analizė naudojama siekiant prognozuoti sektoriaus dinamiką ir įvertinti galimą šių veiksnių sąveiką su pagrindiniais našumo rodikliais.

Trečioje darbo dalyje atliekama išsami biotechnologijų sektoriaus statistinių duomenų analizė, siekiant atskleisti šio sektoriaus raidą ir nustatyti esamas tendencijas. Statistinių duomenų analizei taikomos koreliacinės bei regresinės analizės metodikos, leidžiančios nustatyti ryšius tarp skirtingų kintamųjų bei įvertinti veiksnių įtaką biotechnologijų sektoriaus plėtrai. Pateikiami statistinių duomenų skaičiavimo rezultatai ir grafikai. Taip pat atliekama skaitmeninių technologijų diegimo tendencijų analizė biotechnologijų pramonėje. Atliekama ekspertų apklausos duomenų analizė, siekiant nustatyti biotechnologijų sektoriaus įmonių gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančius veiksnius. Remiantis atlikta mokslinės literatūros analize bei ekspertinio vertinimo rezultatais pasiūlomas ir aprašomas biotechnologijų sektoriaus įmonių gamybos logistikos tobulinimo modelis.

1. GAMYBOS LOGISTIKOS TOBULINIMO TEORIJŲ SISTEMATIKA BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖJE KETVIRTOSIOS PRAMONĖS REVOLIUCIJOS IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE

1.1. Biotechnologijų pramonės sektoriaus sistematika ir samprata

Biotechnologijų taikymas prasidėjo kartu su civilizacijos pradžia, kai žmonės kasdieniame gyvenime spontaniškais veiksmais taikė ir plėtojo biotechnologijas gamindami maistą, kurdami natūralius produktus, gydydami. Biotechnologijų sąvokos pradininku galima laikyti Karlą Erkey, kuris 1919 m. biotechnologijas apibūdino kaip produktų gaminimą naudojant gyvas žaliavas bei gyvuosius organizmus (Jana ir Pathak, 2018). „Visuotinėje lietuvių kalbos enciklopedijoje“ biotechnologijų sąvoka apibrėžiama išskiriant gyvybės, mokslo ir technologijų sujungimą ir teigiama, kad biotechnologijos integruoja gyvuosius organizmus bei biologinius procesus medicinoje, pramonėje ir žemės ūkio veiklose (Kalėdienė, 2002). Dar vieną biotechnologijų apibrėžimą pateikia Vitunskienė ir kt. (2017) teigdami, kad biotechnologijos – tai mokslo ir technologijų taikymas gyviems organizmams bei jų komponentams, siekiant kurti naujas technologijas, paslaugas bei plėsti žinias. Panašius biotechnologijų apibrėžimo aspektus išskiria Barcelos’as ir kt. (2018), apibūdindami biotechnologijas kaip gyvų organizmų ar jų komponentų manipuliavimą, siekiant sukurti žmonėms naudingus produktus. Biotechnologijos gali būti taikomos biologiniams produktams bei procesams kurti, siekiant tenkinti įvairius poreikius (Radhakrishnan, 2014) (žr. 1 pav.).



1 pav. Biotechnologijų koncepcinis modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Radhakrishnan’u (2014)

1 paveiksle matyti biotechnologijų koncepcinis modelis, kuriame apibrėžiamos pagrindinės biotechnologijų panaudojimo technikos ir pagrindinės veiklos, taikomos biotechnologinių produktų gamyboje (Radhakrishnan, 2014).

Kadangi biotechnologijų taikymas yra labai platus ir kompleksiškas, buvo pradėta jas skirstyti pagal tam tikras specifikas. Pirmąjį pasiūlymą sumažinti kompleksiškumą biotechnologijų sektoriuje 2003 m. pateikė dr. Rita R. Colwell, kuri rekomendavo biotechnologijas skirstyti pagal tris spalvas priskiriant konkrečiai spalvai skirtingą biotechnologijų sektorių: raudoną priskyrė medicinos reikmėms, žalią – žemės ūkiui ir baltą – pramonei (DaSilva, 2004). Tačiau 2004 m. mokslininkas DaSilva rekomendavo papildyti biotechnologijų skirstymą pagal spalvas, suskirstant biotechnologijas į daugiau skirtingų spalvų (Barabadi, 2017):

- baltoji biotechnologija – (dar vadinama pramonine biotechnologija) šios srities tikslas yra gaminti ir perdirbti chemikalus, medžiagas ar energiją, panaudojant gyvuosius organizmus, mieles, grybus, augalus ar fermentus, pramoninės produktų sintezės vykdymui (Barcelos ir kt., 2018);
- raudonoji biotechnologija – biologinių metodų taikymas, siekiant kurti sveikatos priežiūrai skirtus produktus (Ho ir kt., 2019);
- geltonoji biotechnologija – maisto ir maisto papildų kūrimas bei įvairių procesų siūlymas, siekiant pagerinti žaliavų perdirbimą, padidinti produktų maistinę vertę, pagerinti skonį, kvapą bei tekstūrą (Singh ir Kumar, 2019);
- mėlynoji biotechnologija – vandens biologinės veiklos, žuvininkystės bei akvakultūros gerinimas (Vieira ir kt., 2020);
- žalioji biotechnologija – žemės ūkio veiklos tobulinimas, siekiant didinti nepriklausomybę nuo chemikalų naudojimo ir mažinti aplinkos taršą bei gerinti maisto auginimo sąlygas ir didinti produktyvumą mažinant gamybos sąnaudas (Barcelos ir kt., 2018);
- rudoji biotechnologija – biotechnologijų taikymas sausringose zonose ir dykumose (Rodríguez Núñez ir kt., 2020);
- violetinė biotechnologija – intelektinės nuosavybės apsauga, etinės ir filosofinės problemos biotechnologijų srityje (Kafarski, 2012);
- auksinė biotechnologija – šios srities tikslas yra taikyti nanotechnologijas ir bioinformatiką biotechnologijose (DaSilva, 2004);
- pilkoji biotechnologija – (dar vadinama klasikine fermentacija) dažniausiai ši sritis prijungiama kartu su baltosiomis biotechnologijomis (Šostko ir Jakubavičius, 2018);

- juodoji biotechnologija – bioterorizmas ir biologiniai ginklai (Šostko ir Jakubavičius, 2018).

Dar vienas galimas biotechnologijų klasifikavimo metodas minimas Matyushenko ir kt. (2016) bei Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (OECD) (2005) yra biotechnologijų klasifikavimas pagal taikymo sritį (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal taikymo sritį

Biotechnologijų taikymo sritis	Konkreti taikymo sritis
Gyvūninės kilmės biotechnologijos	Gyvūnų genomika; gyvūninės kilmės produktų (ne maisto) biofarmacija; gyvūnų tobulinimo, reprodukcijos technologijos, sveikatos priežiūra
Augalinės biotechnologijos	Augalų genomika; augalų sveikata ir tobulinimas; auginimo biofarmacija
Inovatyvūs maisto produktai ir žmonių mityba	Maisto medžiagų kūrimas, perdirbimo, konservavimo technologijos; maisto gamybos technologijos; funkcinis maistas; maistinės medžiagos; diagnostika, biojutikliai
Bioapdorojimo technologijos ir biogamyba	Naujos medžiagos; biogamyba; proceso stebėjimas; fermentai
Jūrų biotechnologijos	Akvakultūra
Aplinkosaugos technologijos	Bioremediacija; biologinio saugumo, kenkėjų kontrolės technologijos; aplinkos rodikliai; biologinė įvairovė, ekologija, evoliucija
Biomedicinos mokslas ir vaistų atradimas	Bioinžinerija; ligos; medicinos diagnostika bei prietaisai; reprodukcija; smegenų, nervų tyrimai
Naujų technologijų poveikis ir integravimas	Aplinkosauga; socialinis poveikis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Matyushenko ir kt. (2016) ir OECD (2005)

Matyushenko ir kt. (2016) kartu su Skeberdyte (2015) taip pat pateikia dar vieną biotechnologijų klasifikavimo metodą, išskirdami, kad biotechnologijas galima skirstyti pagal technologinius kriterijus (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal technologinius kriterijus

Biotechnologijų panaudojimo sritis	Mokslinės technologijos ir metodai
DNR – kodavimas	Genomika; genų zondai; genetinė modifikacija; DNR sekos nustatymas bei sintezė
Baltymai ir molekulės – funkciniai blokai	Baltymų sekos nustatymas; hormonai; ląstelių receptoriai
Ląstelių/audinių kultūrų inžinerija	Audinių inžinerija; vakcinos; ląstelių ir audinių kultūra; embrionų manipuliacija; ląstelių sintezė hibridizacija;
Procesų biotechnologijos	Biofiltracija; bioreaktoriai; fermentacija, biologinis apdorojimas;
DNR ir RNR vektoriai	Virusiniai vektoriai; genų terapija
Kita	Bioinformatika; nanobiotechnologijos; kita

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Matyushenko ir kt. (2016) ir Skeberdyte (2015)

Dar vienas biotechnologijų skirstymo modelis, kurį pateikia Matyushenko ir kt. (2016), yra biotechnologijų skirstymas pagal tyrimo objektus:

- gyvūnų biotechnologijos;
- augalų biotechnologijos;
- mikroorganizmų bei jų kolonijų biotechnologijos;
- ląstelių ir ląstelių kultūrų biotechnologijos;
- viduląstelinių sistemų (organelių) biotechnologijos.

Martin'as ir kt. (2021) išskiria dar vieną biotechnologijų skirstymo metodiką, teigdamas, kad taip pat galimas biotechnologijų skirstymas pagal sektorius:

- biofarmacija;
- bioinformatika;
- pramoninės biotechnologijos;
- žemės ūkio biotechnologijos;
- maisto biotechnologijos;
- aplinkos biotechnologijos.

Biotechnologijų sektorius modernizuoja Europos pramonę, o biotechnologijų sektoriaus suteikiama nauda palaiko Europos Sąjungos ekonomikos plėtrą, taip generuojant naujas darbo vietas ir nukreipiant pasaulį link tvaresnės plėtros (Martin ir kt., 2021). Kadangi biotechnologijos yra naujomis žiniomis ir inovacijomis grįstas sektorius, moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (MTEP) yra svarbi šio sektoriaus dedamoji. Autoriai Cornelissen'as ir kt. (2021) teigia, kad būtina numatyti biotechnologijų sektoriaus MTEP veiklos augimą, nes esamos biotechnologijų MTEP veiklos rezultatai gali tapti ateities inovacijų fundamentu. Dar vienas svarbus biotechnologijų sektoriaus rodiklis yra NASDAQ biotechnologijų indeksas, kuris nurodo kokios būklės yra biotechnologijų sektorius. NASDAQ – tai vertybinių popierių prekiautojų automatinio kotiravimo nacionalinė asociacija, kuri dar 1971 m. vasario 8 d. buvo įsteigta Volstryte ir tapo pirmąja pasaulyje vertybinių popierių birža veikiančia elektroniniu pagrindu (Ficara, 2022). NASDAQ biotechnologijų indeksas yra svarbus finansų rodiklis, atspindintis biotechnologijų sektoriaus įmonių veiklą ir rezultatus. NASDAQ biotechnologijų indeksas yra sudaromas remiantis įmonių, vykdančių biotechnologijomis grįstą veiklą, duomenimis, siekiant sistemingai analizuoti viso sektoriaus tendencijas ir suteikti investuotojams išsamesnę informaciją, leidžiančią priimti pagrįstus investavimo sprendimus. Kaip teigia Dorey (2004), NASDAQ biotechnologijų indeksą galima laikyti patikimu sektoriaus veiklos rodikliu.

Bioekonomikos apibrėžimas atsirado kaip rezultatas plataus biotechnologijų diegimo įvairiose pramonės šakose (*En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy*, 2007). Europos

Sąjungos bioekonomikos strategijoje minima, kad bioekonomika „apima tvarią atsinaujinančių biologinių išteklių gamybą ir tų išteklių bei atliekų srautų perdirbimą į pridėtinę vertę turinčius produktus, kaip antai į maistą, pašarus, biotechnologinius produktus ir bioenergiją“ (European Commission, 2012). Mokslinėje literatūroje bioekonomika apibrėžiama kiek kitaip ir Aguilar'is ir kt. (2019) teigia, kad bioekonomika – tai besiformuojanti paradigma, pagal kurią visame pasaulyje sparčiai plinta ekonominių sistemų kūrimas, plėtra ir atgaivinimas, grindžiamas subalansuotu atsinaujinančių biologinių išteklių naudojimu. Ye ir kt. (2024) teigia, kad bioekonomika – tai strategija, skirta panaudoti biologinius procesus ir produktus, kad būtų pagaminta daug atsinaujinančių medžiagų, tokių kaip cheminės medžiagos ir energija.

Biotechnologijos yra svarbi bioekonomikos dalis, kadangi integruojant biotechnologijas į gamtos ir technikos mokslus, bioekonomikos sektoriaus plėtra auga, o biotechnologijų sukuriama nauda praplečia galimybes produktų bei paslaugų gamybai (Kargytė ir kt., 2020). Nepaisant augimo, bioekonomika laikoma ankstyvos stadijos šaka, kuriai reikia naujovių, siekiant sustiprinti savo poziciją ir padidinti vertę (Bröring ir kt., 2020). Bioekonomikos sektorius yra imlus inovacijoms, kadangi jis yra grįstas įvairiomis mokslo sritimis, įskaitant gyvybės mokslus, veterinariją, ekologiją, biotechnologijas, nanotechnologijas, inžineriją bei informatiką ir kt., dėl to įvairios inovacijos gali būti diegiamos į bioekonomikos sektoriaus pramonę (Kargytė ir kt., 2020).

Atlikus mokslinės literatūros analizę atskleistas biotechnologijų sektoriaus daugialypiškumas bei išskirtinumas. Biotechnologijos apibrėžiamos skirtingai, tačiau autoriai vieningai pabrėžia, kad biotechnologijos apima gyvų organizmų taikymą produktams, žinioms ar paslaugoms kurti. Kadangi biotechnologijų pritaikymas yra labai platus, egzistuoja keli biotechnologijų klasifikavimo būdai pagal:

- spalvas;
- taikymo sritis;
- technologinius kriterijus;
- tyrimo objektus;
- sektorius.

Tačiau dažniausiai taikomas ir daugiausiai mokslinėje literatūroje aprašomas yra biotechnologijų klasifikavimas pagal spalvas.

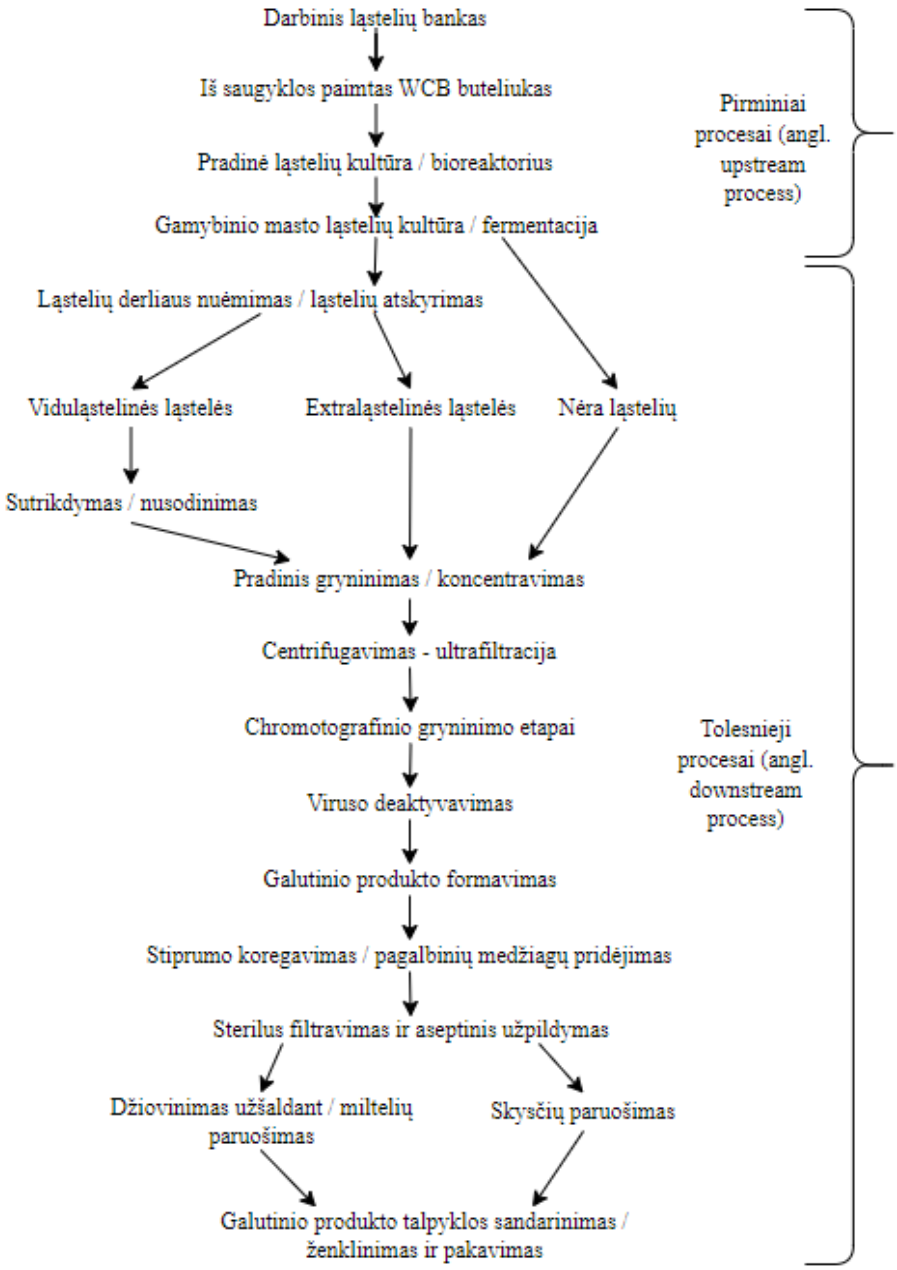
1.2. Gamybos logistikos samprata ir sistematika

Gamybos logistika apima įmonės logistikos uždavinių ir priemonių rinkinį, užtikrinantį, kad gamybos procesų transformacijai reikalingi informacijos, medžiagų ir vertybių

srautai vyktų optimaliai (Minalga, 2001). Gamybos logistikos sąvoka sudaryta iš gamybos bei logistikos sąvokų junginio. Kaip pateikiama visuotinėje lietuvių kalbos enciklopedijoje, gamyba – „tai materialinių ir dvasinių gėrybių kūrimo procesas naudojant gamybos veiksnius“ (*Visuotinė lietuvių enciklopedija*, s.a.). Šia sąvoka autoriai atskiria materialinės ir nematerialinės gamybos tipus. Materialinė gamyba apima pramonę, žemės ūkį, energetiką, transportą, statybas ir kt., o nematerialinė gamyba apima švietimą, mokslą, meną, mediciną, valdymą ir kt.

Anglų kalbos literatūroje, siekiant apibrėžti tiek materialinę tiek nematerialinę gamybą, naudojamas apibrėžimas (*angl. production*), tačiau siekiant išvengti dviprasmybių ir norint pabrėžti materialinę gamyba naudojamas terminas (*angl. manufacturing*) (*Cambridge Dictionary | English Dictionary*, s.a.).

Mokslinės literatūros analizės metu pastebėta, kad autorių gamybos apibrėžimai skiriasi. Autorius Appleby (2003) gamybą apibrėžia kaip bet kokią veiklą, kuriančią dabartinę arba būsimą naudą. Tokiu apibrėžimu autorius pažymi, pagrindinį gamybos tikslą – vertės kūrimą. Sakalas (2000) pabrėžia gamybos orientaciją į pardavimą ir teigia, jog gamyba – tai žaliavų pavertimas į gaminius skirtus parduoti arba vartoti. Panašiai gamybą apibrėžia Jančiauskas ir kt. (2012) teigdami, kad gamyba apima visą seką žingsnių reikalingų medžiagų, komponentams ar dalims išbaigti į gaminius, atitinkančius vartotojų lūkesčius. Autoriai Gleissner’is bei Femerling’as (2013) pabrėžia, kad viena iš pagrindinių gamybinių įmonių užduočių yra efektyviai paskirstyti išteklius. Skirtingai nei kiti autoriai, Zinkevičiūtė ir Vasiliauskas (2013) papildo gamybos apibrėžimą ir teigia, jog gamyba – tai ne tik žaliavų transformacijos procesas, tačiau ir įmonės aprūpinimas žaliavomis, žaliavų panaudojimas ir produkcijos paskirstymas. Kaip pažymi Bagdonavičius ir kt. (1999), gamybos procesas – tai įvairių technologijų seka, kurių rezultatas yra vienų objektų pavertimas kitais objektais. Biotechnologijų pramonėje gamybos procesai yra sudėtingi ir jautrūs išoriniams veiksmams (Chen ir Jiang, 2018). 2 paveiksle pavaizduoti pagrindiniai biotechnologinio gamybos proceso etapai (Aksu ir kt., 2016).



2 pav. Biotechnologijų produktų gamybos procesų modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Aksu ir kt. (2016)

Biotechnologijų pramonės gamybos procesai susideda paprastai iš dviejų etapų: pirminių procesų (*angl. upstream process*) ir tolesniųjų procesų (*angl. downstream process*) (Guajardo ir Schrebler, 2023). Biotechnologijų gamyboje taikomi pirminiai ir tolesnieji procesai tobulina gamybos procesą, darant jį veiksmingesnį, tvaresnį ir lengviau pritaikomą (Mehta ir kt., 2024).

Nors logistikos mokslo šaka dar neseniai sukurta, pati samprata apie logistiką egzistuoja dar nuo antikos laikų. Logistikos terminas kilęs iš graikiško žodžio (*gr. logistike*), kuris reiškia meną apimantį skaičiavimą ir mąstymą.

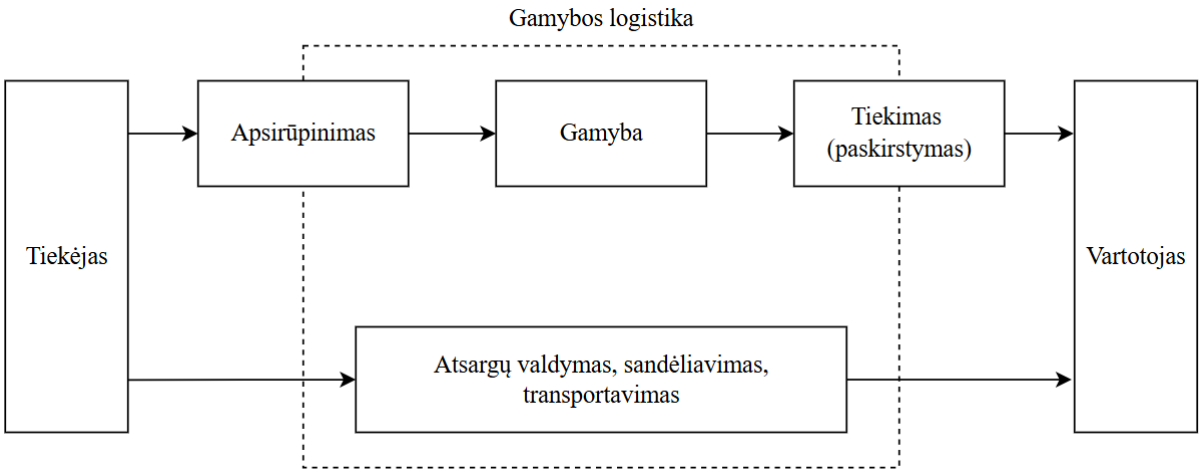
Mokslinėje literatūroje logistikos sąvoką autoriai apibrėžia įvairiai. Bazaras (2005) išskiria, kad logistikoje yra nepaprastai svarbus materialinių srautų judėjimas, apimantis medžiagų ir produktų nuoseklų judėjimą į įmonę, įmonėje ar iš įmonės. Kaip teigia Saini ir Hrušecka (2021), logistikos sektorius išties pagerina prekybos plėtrą bei išplečia produktų paskirstymą tarp regionų bei pasaulio rinkoje. Autorius Minalga (2008) pabrėžia planavimo ir valdymo svarbą ir išskiria, jog logistika apima materialinių srautų optimizavimą, planavimą bei realizavimą ir valdymą. Paulauskas (2007) pažymi, jog logistika nagrinėja ne tik materialinius srautus, tačiau ir informacinius srautus bei nurodo, kad pagrindiniai logistikos uždaviniai yra srautų planavimas, organizavimas, valdymas bei kontrolė visame gaminio gamybos procese nuo žaliavų transportavimo iki galutinio vartotojo. Kaip teigia autoriai Bugarčić ir kt. (2020), logistika yra tiekimo grandinės dalis, kurios tikslas yra planuoti, kontroliuoti bei didinti srautų efektyvumą, siekiant klientų pasitenkinimo. Christopher'is (2007) pabrėžia strategiško valdymo dedamąją, siekiant valdyti pirkinius, medžiagas, detales ir organizuoti bei valdyti sandėliavimą, žaliavų judėjimą bei informacijos srautus organizacijoje, taip palaikant maksimalų galimą pelną ir sudarant visas galimybes jį didinti. Vieną iš plačiausių logistikos apibrėžimų pateikia Garalis (2003), apibūdindamas logistiką kaip mokslą apie transportavimą, sandėliavimą ir kitų, tiek nematerialinių, tiek materialinių operacijų koordinavimą.

Daugelis autorių teigia, kad gamybinių įmonių logistiką galima dalinti į tris sritis pagal atliekamas funkcijas:

- aprūpinimo logistika – apima įmonių aprūpinimą žaliavomis ir kitomis reikiamomis medžiagomis, reikalingoms gamybos vykdymui ir įmonės eksploatavimo reikmėms (Minalga, 2008);
- gamybos logistika – sinchronizuoja ir optimizuoja visus gamybos padalinius ir gamybos procesus, mažinant resursų naudojimą (Zinkevičiūtė ir Vasiliauskas, 2013);
- tiekimo arba paskirstymo logistika – užtikrina materialinių srautų judėjimą bei sieja gamintojų, prekybininkų, logistikos įmonių ir finansinių struktūrų veiklas su galutiniu vartotoju (Garjonis, 2023).

Autoriai Zinkevičiūtė ir Vasiliauskas (2013) išskiria, kad gamybos logistika yra tarp aprūpinimo logistikos ir tiekimo logistikos bei apima dalį tiek aprūpinimo, tiek tiekimo logistikos užduočių, tokių kaip: apsirūpinimas žaliavomis, pagamintos produkcijos sandėliavimas bei tokius procesus kaip: atsargų valdymas, sandėliavimas ir transportavimas tarp gamybos procesų ir sandėlių (žr. 3 pav.). Visų pirma, prieš prasidedant gamybos logistikos procesams, žaliavų tiekėjas aprūpina įmonę reikiamomis žaliavomis. Gamybos logistikos procesų metu, planuojant gamybą, reikiamos žaliavos imamos iš sandėlių ir pradedamas gamybos procesas, kuriam pasibaigus pagaminta produkcija keliauja į pagamintos produkcijos

sandėlį. Po gamybos logistikos procesų logistikos skyrius pagamintą produkciją paima iš gamybos sandėlių ir pristato vartotojams (Zinkevičiūtė ir Vasiliauskas, 2013).



3 pav. Gamybos logistikos modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Zinkevičiūte ir Vasiliausku (2013)

Gamybos logistika – tai integracija visų veiklų susijusių su žaliavų ir kitų medžiagų judėjimu gamyboje ir produkcijos sandėliavimu (Pfohl, 2022). Adamczak'as ir kt. (2016) sulygina gamybos bei logistikos sistemas ir teigia, kad jos yra lygiavertės ir susijusios tarpusavyje bei turi glaudų sąryšį gamybos proceso metu. Pagrindiniai skirtumai išskiriantys gamybą ir logistiką yra funkcijos, medžiagų srauto fazės bei organizaciniai vienetai. Siekiant, kad padidėtų logistikos svarbos suvokimas tarp gamybos įmonių, gamyba ir logistika sujungiama į vieną sistemą – gamybos logistiką (Adamczak ir kt., 2016). Gamybos logistika iš viso apima apie 95 procentus visų gamybos procesų vykdymo laiko (Tu ir kt., 2018). Kaip teigia Tu ir kt. (2018), gamybos logistika – tai gamybos įmonių veikla, apimanti gamybos vykdymo procesų logistikos veiklą, kuri susijusi su medžiagų judėjimu gamybos proceso metu bei keičiantis gamybos etapams. Adamczak'as ir kt. (2016) pabrėžia, kad gamybos logistika apima ne tik žaliavų judėjimą gamybos procesų metu, bet ir išskiria, kad gamybos logistikoje tarpusavio santykiais siejamos patalpos, žmonės, mašinos, programinė įranga, įrenginiai, procedūros ir sprendimo priėmimo procesai. Autorius Minalga (2008) pažymi gamybos logistikos materialinių srautų koordinacijos svarbą siekiant valdyti materialiuosius išteklius ir jų judėjimą gamybos procesų metu. Panašumų turi ir Zafarzadeh'o ir kt. (2021) pateikiamas gamybos logistikos apibrėžimas, kuriame autoriai teigia, kad gamybos logistika – tai įmonių vidinės veiklos sistema, naudojama gamybos ir produkcijos judėjimo srauto valdymui ir kontrolei, o siekiant subalansuotos ir efektyvios gamybos logistikos veiklos būtina užtikrinti tinkamą žaliavų bei informacijos srautą. Kaip teigia autoriai Gnanasekaran'as ir

Shanmugasundaram'as (2008), svarbiausios gamybos logistikos dedamosios, siekiant užtikrinti sėkmingą gamybinę veiklą, yra planavimas, koordinavimas ir paslaugų funkcijos.

Atlikus mokslinės literatūros analizę, nustatyta, kad autorių apibrėžiama gamybos logistikos sąvoka skiriasi ir autoriai išskiria tam tikrus skirtingus požymius, apibūdinančius gamybos logistiką (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Gamybos logistikos pagrindinės savybės

Požymis	**Zinkevičiūtė ir Vasiliauskas (2013)**	**Pfohl'as (2022)**	**Adamczak'as ir kt. (2016)**	**Tu ir kt. (2018)**	**Minalga (2008)**	**Zafarzadeh'as ir kt. (2021)**	**Gnanasekaran'as ir Shanmugasundaram 'as (2008)**
Išteklių transformacija		+	+				
Vertės kūrimas	+						
Procesas			+		+	+	
Srautas		+	+	+	+	+	
Planavimas/valdymas			+			+	+
Optimizavimas	+						

Šaltinis: Sudaryta autoriaus

Kaip teigia Šostko ir Jakubavičius (2018), gamybos logistika apima:

- produktų kūrimą bei tobulinimą (apima vartotojų poreikių analizę bei produktų išleidimą rinkai);
- produktų pardavimą;
- produktų užsakymų realizavimą;
- produktų tiekimą;
- produktų gamybą (apimant tiek vartotojų poreikių identifikavimą, tiek produktų gamybos procesų koordinavimą);
- produktų paskirstymą;
- garantinę priežiūrą, siekiant klientų lojalumo.

Taip pat Šostko ir Jakubavičiaus (2018) apibūdina ir pagrindinį gamybos logistikos tikslą, kuris yra gamybos proceso informacijos srauto judėjimo užtikrinimas ir aprūpinimas medžiagomis, o kaip pagrindinius uždavinius išskiria planavimą, organizavimą bei tokių vidinių procesų, kaip medžiagų srauto, sandėliavimo ir vidinio transporto kontrolę.

Kaip teigia Kampf'as ir kt. (2018), gamybos logistikos procesuose priimami sprendimai turi įtakos ne tik gamybos padalinio veiklai, bet ir visai logistikai, kliento pasitenkinimo lygiui, įmonės gebėjimui konkuruoti bei bendrai įmonės finansinei būklei.

Kappauf'as ir kt. (2011) išskiria, kad svarbiausi gamybos logistikos tobulinimo aspektai yra orientuoti į:

- gamybos tobulinimą, siekiant sutrumpinti pristatymo laiką;
- gamybos lakstumo didinimą taikant alternatyvias gamybos galimybes;
- pristatymo laiko trumpinimą, siekiant laiku aprūpinti gamybą medžiagomis, laiku vykdyti transportavimą, keičiantis gamybos etapams ir siekiant laiku išvežti pagamintą produkciją;
- atsargų mažinimą, siekiant tinkamai planuoti gamybos medžiagas;
- transporto maršrutų optimizavimą tarp gamybos zonų;
- gamybos metu naudojamų medžiagų įvairovės mažinimą;
- sandėlio logistikos ir vidinio transportavimo derinimą su gamybos partijomis;
- protingą derinimą tarp vidaus gamybos ir išorinių pirkimų.

Autoriai Zasadzień'is ir Zarnovský (2018) taip pat aprašo gamybos logistikos tobulinimo rekomendacijas ir skirtingai nei kiti autoriai pateikia gamybos logistikos tobulinimą kaip gamybos logistikos rekomendacijų seką:

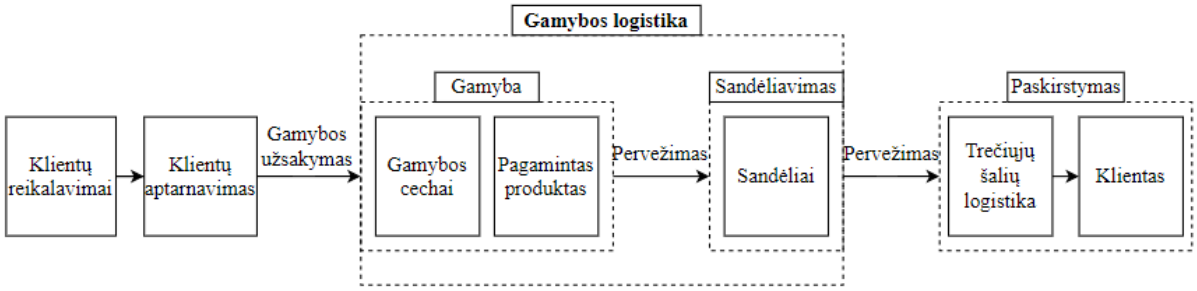
1. Problemos identifikavimas ir prioritetų išsiaiškinimas.
2. Identifikavimas probleminių sričių, kurių tobulinimas galėtų būti naudingiausias bei galimų tobulinimo kaštų įvertinimas.
3. Problemos atsiradimo priežasties išsiaiškinimas ir nustatymas kaip problema lemia proceso veikimą.
4. Tobulinimo veiksmų plano sudarymas ir tobulinimo įgyvendinimo pradžia.
5. Prevencinių veiksnių nustatymas, siekiant užkirsti kelią tokių pačių problemų pasikartojimui.
6. Atlikti patobulinimo efektyvumo vertinimą.
7. Atlikti tobulinimo veiksmų plano korekcijas.

Atlikus mokslinės literatūros analizę, pastebėta, kad dauguma autorių apibūdindami gamybos sąvoką išskiria žaliavų transformacijos dedamąją. Autoriai apibrėždami logistikos sąvoką akcentuoja, kad svarbiausias logistikos bruožas yra materialiųjų bei nematerialiųjų srautų judėjimas ir kontrolė. Gamybos logistikos sąvoką autoriai apibrėžia įvairiai, pažymėdami glaudų ryšį su bendra įmonės logistikos sistema ir išskirdami materialinio, žaliavų ir produkcijos srauto bei nematerialinio informacijos srauto svarbą. Visumoje gamybos logistika apima medžiagų aprūpinimo sandėlį, gamybos procesų metu vykstantį žaliavų ir produkcijos judėjimą bei pagamintos produkcijos sandėliavimą. Mokslinėje literatūroje autoriai pažymi, kad siekiant tobulinti gamybą, mažinti gamybos išlaidas, sutrumpinti gamybos terminus bei tenkinti klientų poreikius, reikia nuolat tobulinti gamybos logistikos procesus.

1.3. Gamybos logistikos teoriniai modeliai

1.3.1. Linijinis gamybos logistikos modelis

Jiang'as ir kt. (2020) pateikia gamybos logistikos operacijų procesų modelį, susidedantį iš klientų aptarnavimo, gamybos, sandėliavimo ir paskirstymo etapų (žr. 4 pav.).



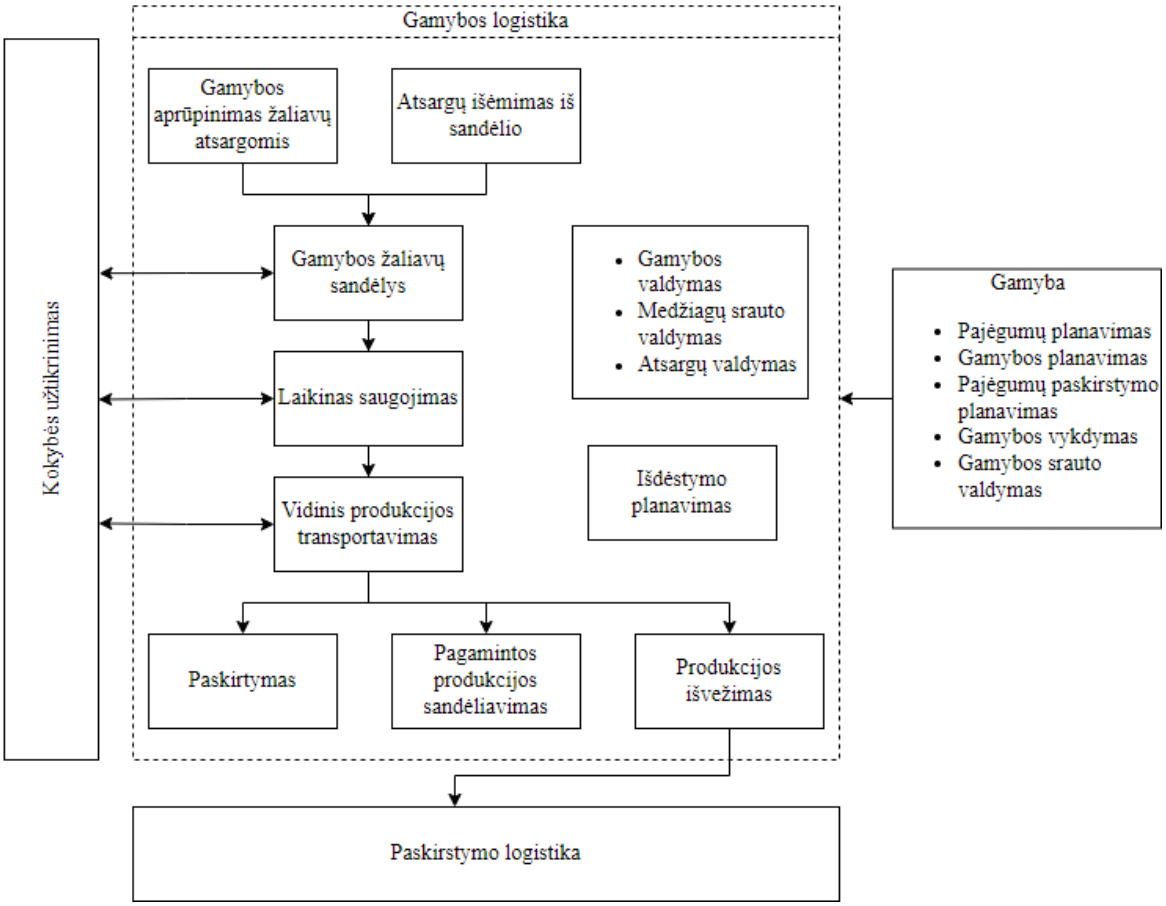
4 pav. Gamybos logistikos operacijų procesų modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Jiang'u ir kt. (2020)

Jiang'as ir kt. (2020) apibūdina pagrindinius gamybos logistikos operacijų procesų modelio žingsnius:

1. Visų pirma, įmonėje esantis klientų aptarnavimo skyrius identifikuoja kliento reikalavimus ir suformuluoja gamybos užsakymo informaciją, kurią perduoda gamybos cechams.
2. Gamybos cechuose išanalizuojamas užsakymas, nustatoma gamybos trukmė, procesų eiga bei produkto gamybai reikalingi įrenginiai. Pagaminta produkcija laikinai sandėliuojama gamyklos patalpose, o vėliau produkcija perkeliama į produkcijos sandėlį.
3. Operacijų procesas užsibaigia, kai išorės logistikos įmonės produktą pristato klientams.

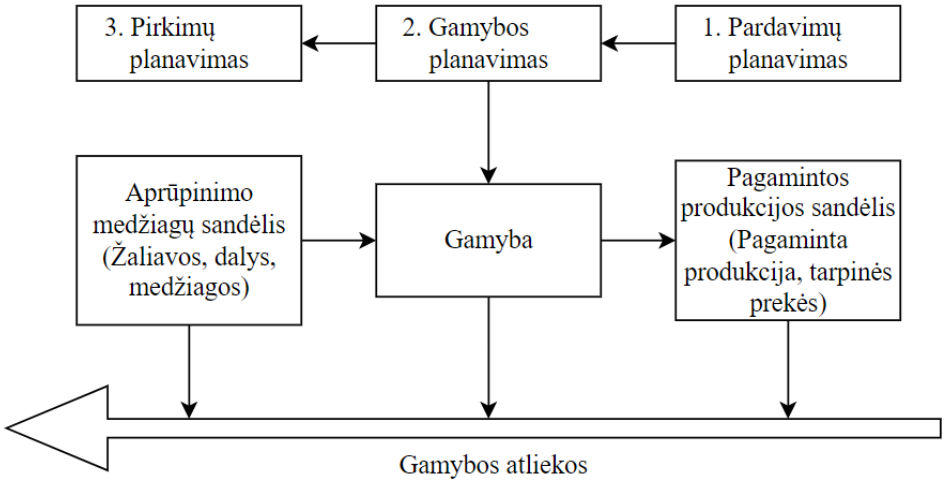
Detalesnį gamybos logistikos modelį pateikia autoriai Kappauf'as ir kt. (2011), akcentuodami, kad gamybos logistika apima ne tik vidinių logistikos procesų planavimą, kontrolę ir kitas vidines gamybos logistikos procedūras, bet ir gamybos planavimą, reikiamų žaliavų ir medžiagų tiekimo planavimą, medžiagų ir atsargų srauto valdymą, susijusį su aprūpinimo logistika bei pagamintos produkcijos transportavimą, susijusį su paskirstymo logistika (žr. 5 pav.).



5 pav. Gamybos logistikos modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Kappauf'u ir kt. (2011)

Nowakowska Grunt ir Sałek'as (2010) akcentuoja, gamybos planavimo ir kitų etapų planavimo svarbą gamybos logistikoje bei pabrėžia gamybos atliekų susidarymą kiekviename etape (žr. 6 pav.).



6 pav. Linijinis gamybos logistikos modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Nowakowska Grunt ir Sałek'u (2010)

Gamybos logistika yra vienas svarbiausių veiksnių siekiant tobulinti valdymo sistemą įmonėje, kadangi tinkamai vykdomas žaliavų srautų planavimas, gamybos organizavimas ir kontrolė padeda valdyti gamybos procesą (Nowakowska Grunt ir Sałek, 2010).

1.3.2. Žiedinės ekonomikos principais grįstas gamybos logistikos modelis

Kaip teigia Donner'is ir de Vries'as (2021), ribotų gamtos išteklių, klimato kaitos ir augančio gyventojų skaičiaus kontekste, žiedinė ekonomika tapo populiaria darnios plėtros koncepcija, kuria vis labiau domisi politikos formuotojai, įmonės ir pilietinė visuomenė.

Mokslinėje literatūroje autoriai žiedinės ekonomikos apibrėžimą apibūdina skirtingai, tačiau visi sutinka su tuo, kad žiedinės ekonomikos siekis yra geriau panaudoti išteklius. Žiedinę ekonomiką Morseletto (2020) apibūdina kaip ekonominį modelį, skirtą efektyviam išteklių naudojimui, o šio modelio siekis yra atliekų kiekio bei pirminių gamybos išteklių mažinimas bei aplinkosaugos ir perdirbamos produkcijos skatinimas. Žiedinę ekonomiką Kirchherr'is ir kt. (2023) apibūdina kaip regeneracinę ekonominę sistemą, kuri siekia pakeisti gyvavimo ciklo pabaigos koncepciją mažinant medžiagų sunaudojimą, skatinant pakartotinį naudojimą, perdirbimą ir tinkamų naudoti medžiagų sugrąžinimą į tiekimo grandinę. Autorius Kirchherr'is ir kt. (2023) pabrėžia, kad žiedinė ekonomika skatina vertės išlaikymą, tvarią plėtrą bei skatina gerinti aplinkos kokybę, ekonominę plėtrą, socialinį teisingumą, naudingą dabartinei ir būsimoms kartoms. Panašiai žiedinę ekonomiką apibūdina Nobre ir Tavares'as (2021) teigdami, kad žiedinė ekonomika – tai naujas ekonominės plėtros modelis, kuris skatina kuo daugiau pakartotinai naudoti ir perdirbti medžiagas, prekes ir sudedamąsias dalis, siekiant kuo labiau sumažinti atliekų susidarymą.

Įmonių daromas neigiamas poveikis aplinkai sukėlė mokslininkų susirūpinimą tvarumo, darnios plėtros ir aplinkosaugos srityse. Didėjant aplinkosaugos iššūkiams, ypač susijusiems su klimato kaitos poveikiu ir pertekliniu gamtos išteklių naudojimu, sprendimus priimantys asmenys, ekonomikos veikėjai ir pilietinės visuomenės organizacijos atkreipia dėmesį į ekologiško augimo strategijas ir visiems naudingus tvarumo sprendimus (Yuliantini ir kt., 2023). Šiuolaikinėje verslo aplinkoje gamintojai yra suinteresuoti taikyti tvarios gamybos praktiką ne tik siekiant įvykdyti savo atsakomybės reikalavimus, bet ir siekiant padidinti konkurencingumą ir išskirtinumą rinkoje. Dėl to gamintojai į savo gamybos procesus siekia integruoti tvarios ir ekologiškos gamybos strategijas (Govindan, Kannan ir kt., 2015).

Nors gamybos žalumo standartus ir reikalavimus reguliuoja daug aplinkosauginių sutarčių, tačiau šiuo metu be tarptautinių aplinkosaugos sutarčių, įmonės taip pat pradėjo pripažinti aplinkos apsaugą kaip įmonių socialinės atsakomybės dalį. Įmonės, reaguodamos į tarptautinį aplinkosauginį mąstymą ir didesnius bendruomenės lūkesčius, siekia apriboti

išmetamų teršalų kiekį bei susilpninti daromą neigiamą poveikį ateities kartoms (Chuang ir Huang, 2018). Socialinės atsakomybės pricipai tvarumo kontekste pastebimi ne tik iš įmonių pusės, bet ir iš šiandieninių vartotojų. Šiandieniniai vartotojai ir gamintojai stengiasi pasaulį paversti švaresne ir ekologiškesne vieta gyventi, todėl pastebimas augantis įsipareigojimas laikytis tvarių principų, didėja ekologiškų produktų ir paslaugų paklausa (Gast ir kt., 2017).

Siekiant spręsti ekologines problemas gamybos principuose taikoma žalioji gamyba. Žalioji gamyba – tai sistema, kuri sujungia gaminio ir proceso projektavimo klausimus su gamybos planavimo ir kontrolės klausimais taip, kad būtų galima nustatyti, kiekybiškai įvertinti ir valdyti aplinkosauginių atliekų srautą, siekiant apriboti ir galiausiai iki minimumo sumažinti poveikį aplinkai, kartu stengiantis maksimaliai efektyviai naudoti išteklius (Govindan ir kt., 2015). Kiek kitaip žaliąją gamybą apibūdina Leong'as ir kt. (2019) teigdami, kad žalioji gamyba – tai verslo strategija, kurioje daugiausia dėmesio skiriama pelningumui, taikant aplinkai nekenksmingus veiklos procesus. Paprasčiau tariant, žalioji gamyba orientuojasi į aplinkosauginį sąmoningumą gamyboje.

Šiuolaikiniame Pramonės 4.0 ir gamybos amžiuje žalia gamyba, energijos taupymas ir aplinkosauginis sąmoningumas laikomi gyvybiškai svarbiomis gamybos procesų temomis, kad būtų sumažintas anglies dioksido išmetimo kiekis ir pasiekta tvari plėtra (Pei ir kt., 2021). Norint vykdyti žaliąją gamybą, gamybos įmonėse naudojamos sistemos, produktai ir įranga, kurie gali prisidėti prie aplinkos išteklių išsaugojimo, naudojamos technologijos, kurios mažina žalą aplinkai ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, skatina atsinaujinančių išteklių paiešką ir naudojimą, tausoja gamtos išteklius ir energiją, yra saugios naudoti ir gerina visų nuo aplinkos priklausančių gyvybės formų sveikatą bei aplinkos tvarumą (Fernando ir kt., 2019). Tam, kad įmonės galėtų stebėti ir optimizuoti savo gamybos taršą, įmonės gamybos patalpose integruojamos naujausios Pramonės 4.0 technologijos. Gamybos aplinkos valymui sukurta daug išmanių valdymo sistemų, kuriose taikomi dirbtinio intelekto metodai, kurie patikimai atvaizduoja tiesioginę taršą, taiko prognozavimo modelius bei kuria optimizavimo ir valdymo algoritmus, kuriais tiriami teršalų šalinimo procesai (Ye ir kt., 2020). Tvarumui užtikrinti ir daromai taršai stebėti bei kontroliuoti taip pat taikomi didieji duomenys (*angl. big data*), mobilusis internetas ir debesų kompiuterija, o siekiant atlikti nuodugnius aplinkos valdymo darbus, naudojamos aplinkos informacijos gyvavimo ciklo sistemos ir kuriamos asmeninės aplinkos kokybės stebėsenos platformos (Yang ir kt., 2021).

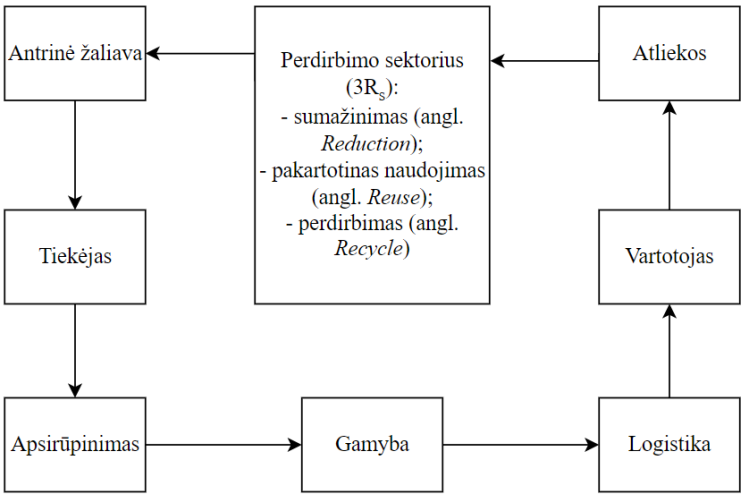
Sėkmingai verslo veiklai ir plėtrai svarbus yra ir tvarumas. Pasaulio bankas žaliąjį augimą apibrėžia kaip ekonomikos augimą, kuris yra tvarus aplinkosaugos požiūriu ir kurio tikslas – įgyvendinti tvarią plėtrą (Yuliantini ir kt., 2023). Pagal Gast'ą ir kt. (2017), tvarumas apima darnią plėtrą, tenkinančią dabartinius poreikius, bet nekeliančią grėsmės ateitiems

kartoms patenkinti savo poreikius. Nepaisant to, kad tvarumas ir perėjimas prie ekologiškesnių sprendimų yra neišvengiama ateitis visiems verslams, praktikoje pokyčiai link tvaresnio pasaulio vyksta labai lėtai, todėl organizacijos, švietimo įstaigos ir vyriausybės skubiai reikalauja tolesnių investicijų ir iniciatyvų, kad įgyvendintų novatoriškus daugiadisciplininius metodus, padedančius spręsti dabartines ir neatidėliotinas tvarumo problemas (Silvestre ir Ţîrcă, 2019).

7 paveiksle pateiktas gamybos logistikos modelis grįstas žiedine ekonomika ir 3Rs principo taikymu. Žiedinės ekonomikos tikslas yra pereiti nuo dabartinio linijinio modelio „pagaminti – suvartoti – išmesti“ prie uždaro gamybos ciklo, perdirbant ir pakartotinai panaudojant produktus, komponentus ir medžiagas bei iki minimumo sumažinant atliekų kiekį (Donner ir de Vries, 2021). 3Rs principą sudaro trys pagrindiniai žingsniai (Huang ir kt., 2018):

- sumažinimas (*angl. reduce*);
- pakartotinis naudojimas (*angl. reuse*);
- perdirbimas (*angl. recycle*).

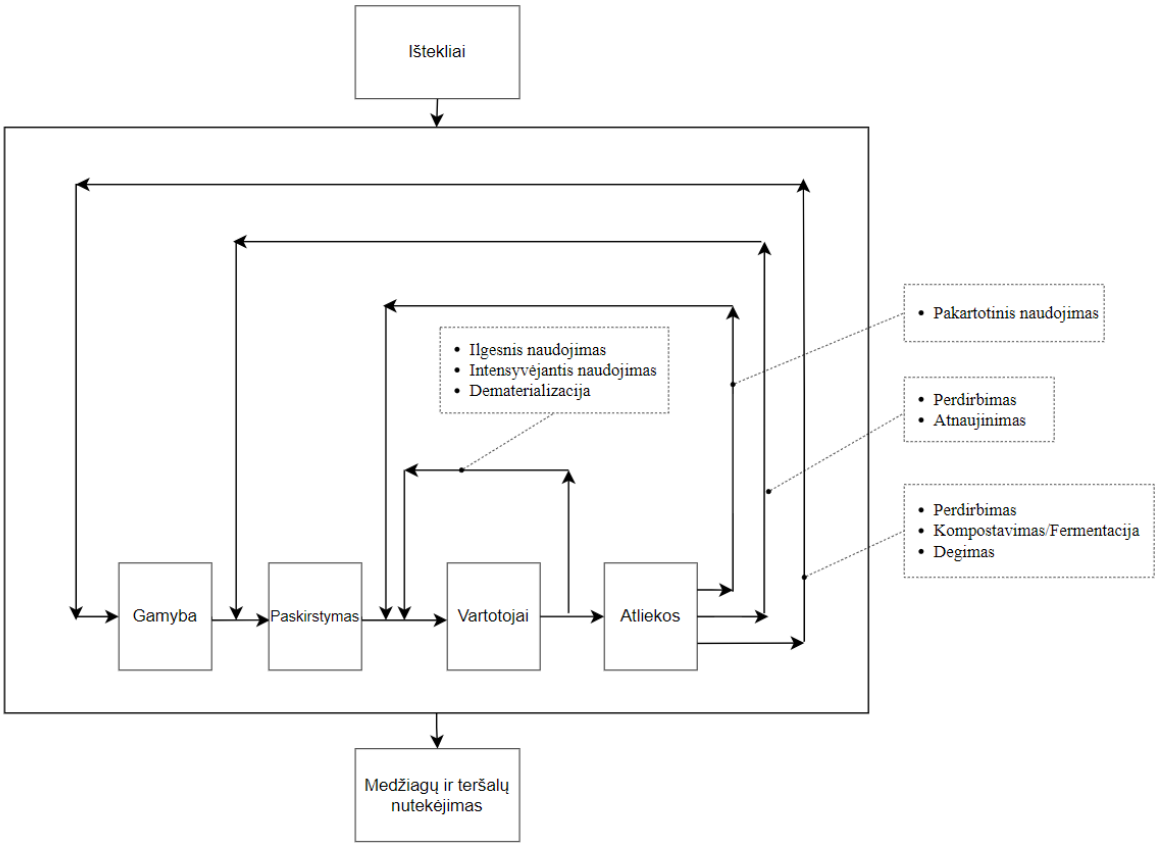
Taikant tokį gamybos logistikos modelį optimizuojamas žaliavų naudojimas bei sumažinamas atliekų susidarymas, dėl to šiuolaikinėje pramonėje ir aplinkos apsaugos kontekste toks gamybos logistikos modelis yra aktualus (Šostko ir Jakubavičius, 2018).



7 pav. Gamybos logistikos modelis, taikantis žiedinės ekonomikos ir 3Rs principus
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Šostko ir Jakubavičiumi (2018)

Geissdoerfer'is ir kt. (2020) išskiria, kad pilnai uždaro gamybos logistikos ciklo egzistavimas yra neįmanomas, dėl to pabrėžia, kad gamybos metu sugeneruojamos atliekos ar teršalai, kurių perdirbti ar sugražinti į gamybos ciklą yra neįmanoma, sudaro atliekų nutekėjimą. 8 paveiksle pateikiamas žiedinės gamybos logistikos modelis, kuriame etapai vyksta ratu ir

pabrėžiama, kad etapai gali grįžti į prieš tai buvusius etapus, taip prailginant vartojimą ir mažinant švaistymą.



8 pav. Žiedinės gamybos logistikos modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Geissdoerfer'iu ir kt. (2020)

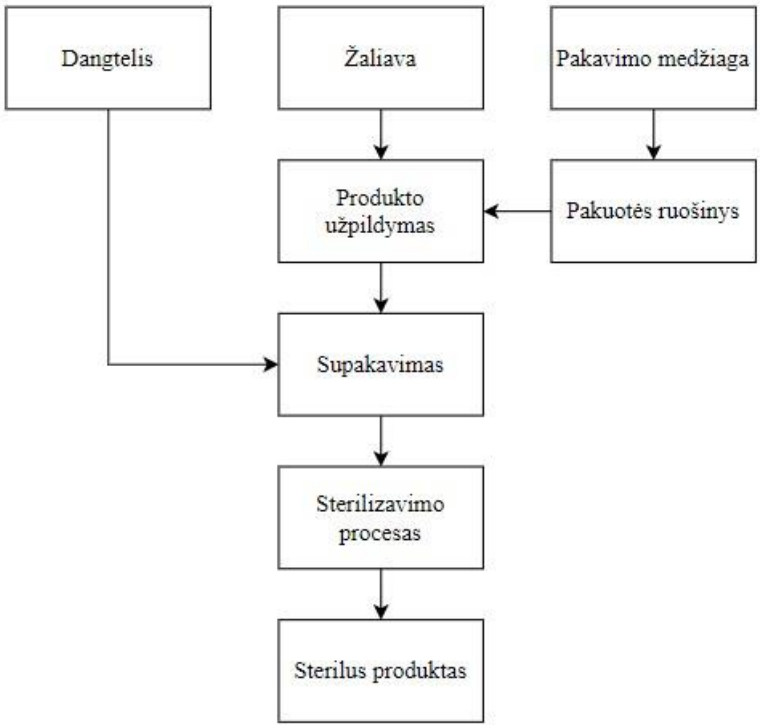
1.3.3. Biotechnologijų pramonės gamybos logistikos procesų modeliavimo ypatumai

Klasikinių linijinių ar žiedinių gamybos logistikos modelių integravimas į biotechnologijų pramonę susiduria su biotechnologijoms keliamais išskirtiniais reikalavimais, kadangi gamybos logistika biotechnologijų pramonėje yra išskirtinė. Biotechnologinių produktų gamyba, o ypač biologinių vaistų gamyba yra daug sudėtingesnė nei cheminių junginių pagrindu pagrįsta vaistų gamyba ar kita gamyba, nes biologinių vaistų gamybos procesas yra labai jautrus aplinkai ir net nežymūs pokyčiai gali paveikti ląsteles ir pakeisti gaminamo produkto savybes (J. J. Choi, 2014). Gamybos logistikos procesų metu, vaistų ir biotechnologijų pramonėje, gamintojai susiduria su įvairiais iššūkiais, tokiais kaip, žaliavų ir produktų saugojimas, apsauga nuo užteršimo ir sumaišymo bei tinkamas žaliavų ar produktų transportavimas tarp gamybos procesų bei gamybos terminų palaikymas (Alsaidalani ir Elmadhounb, 2021). Biotechnologijų įmonių gamybos metu dirbama su gyvais organizmais, patogenais bei kitomis pavojingomis medžiagomis, taip sukeliant neigiamo poveikio riziką

darbuotojams bei aplinkai, dėl to reguliavimo institucijoms tenka užtikrinti visos gamybos logistikos saugą bei spręsti kylančias problemas ir palaikyti nuolatinius saugos standartus (Shokoohi ir Attar, 2024). Siekiant užtikrinti galutinio produkto kokybę ir gamybos nuoseklumą, būtina griežta gamybos logistikos kontrolė ir visi gamybos logistikos aspektai, įskaitant konkrečią gamyboje naudojamų žaliavų partiją, yra dokumentuojami, tam, kad užtikrinti visišką gamybos atsekamumą ir jei kiltų problemų būtų galima identifikuoti pagrindinę priežastį ir ją ištaisyti (J. J. Choi, 2014). Vaistinių preparatų gamintojai turi išlaikyti produkto kokybę per visą vaisto gyvavimo ciklą, todėl geras supratimas apie tiekimo grandinės ir sandėliavimo procesus bei galimų rizikų įvertinimas, leidžia gamintojams veiksmingiau vykdyti ir kontroliuoti gamybos logistikos procesus (Alsaidalani ir Elmadhounb, 2021). Laikantis gerosios gamybos praktikos principų GMP (*angl. good manufacturing practice*), visos į gamybos vietą patekusios žaliavos turi būti patikrinamos ir atliekamas žaliavų identifikavimas, kokybės ir teršalų tyrimas ir kol žaliava nėra ištiriama, jos negalima naudoti gamyboje (J. J. Choi, 2014).

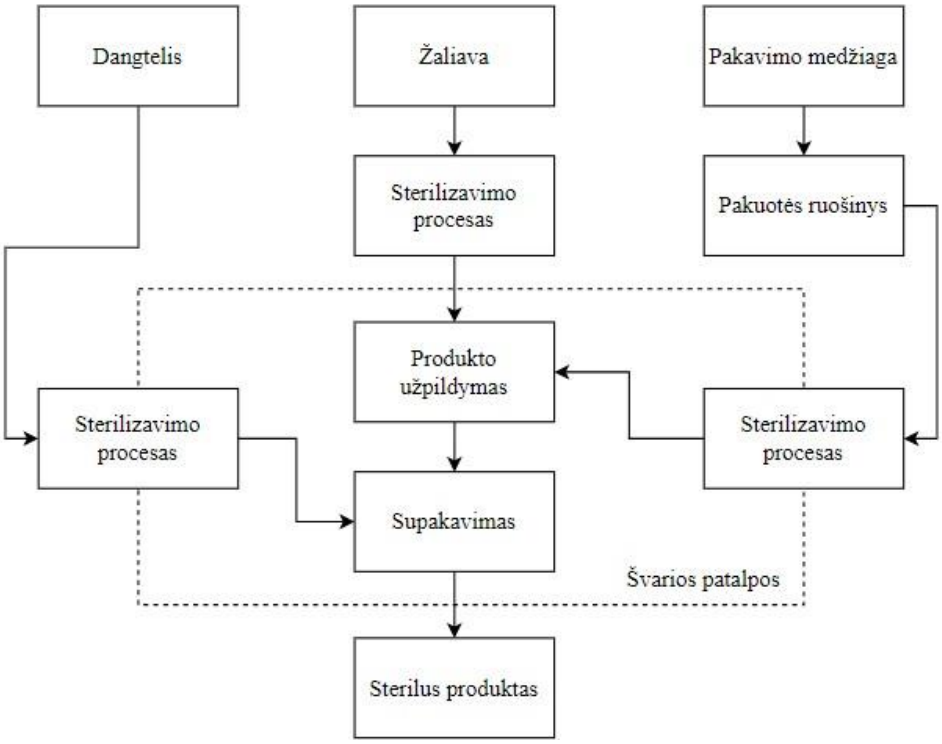
Biotechnologijų sektoriaus gamyboje svarbus veiksnys yra gaminio sterilumas, dėl to daugelis biotechnologijų pramonės gamybos procesų turi vykti švariose patalpose ir gamybos patalpos turi būti sandariai uždarytos ir visiškai sterilizuotos, tam, kad išvengti kenksmingų dalelių, mikrobų ir kitų biologinių teršalų įsiskverbimo (Chen ir Jiang, 2018). Biologiniai teršalai – tai ląstelės arba biologiniai dariniai, galintys patekti ant gaminio ar pakuotės paviršiaus, tačiau kurių neturi ir negali būti gaminamame produkte, kadangi jie gali sukelti sveikatos problemų ar sugadinti produktą (Jildeh ir kt., 2021). Tam, kad užtikrinti aukštą gamybos kokybę bei tinkamai prižiūrėti ir valdyti aplinką, biotechnologijų pramonės švarioms patalpoms keliami aukšti reikalavimai, pagal kuriuos turi būti palaikomas slėgių skirtumas tarp patalpų, reguliuojama temperatūra, drėgmė bei oro srautai (Z. Yang ir kt., 2021). Siekiant išvengti problemų dėl galimo produkto užterštumo, tam tikri gaminiai yra sterilizuojami, taip visiškai pašalinant arba nukenksminant visus esančius mikroorganizmus (Jildeh ir kt., 2021).

Biotechnologijų pramonėje pakuojant biologiškai jautrius produktus, tokius kaip vaistai arba naudojant daugkartinio naudojimo chirurginę įrangą, visi gamybos procese naudojami elementai turi būti sterilūs, dėl to vienas iš galimų sterilizavimo metodų yra sterilizavimas galutinėje pakuotėje (žr. 9 pav.) (Jildeh ir kt., 2021).



9 pav. Sterilios gamybos modelis, kai sterilizuojama po gamybos proceso
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Jildeh'u ir kt. (2021)

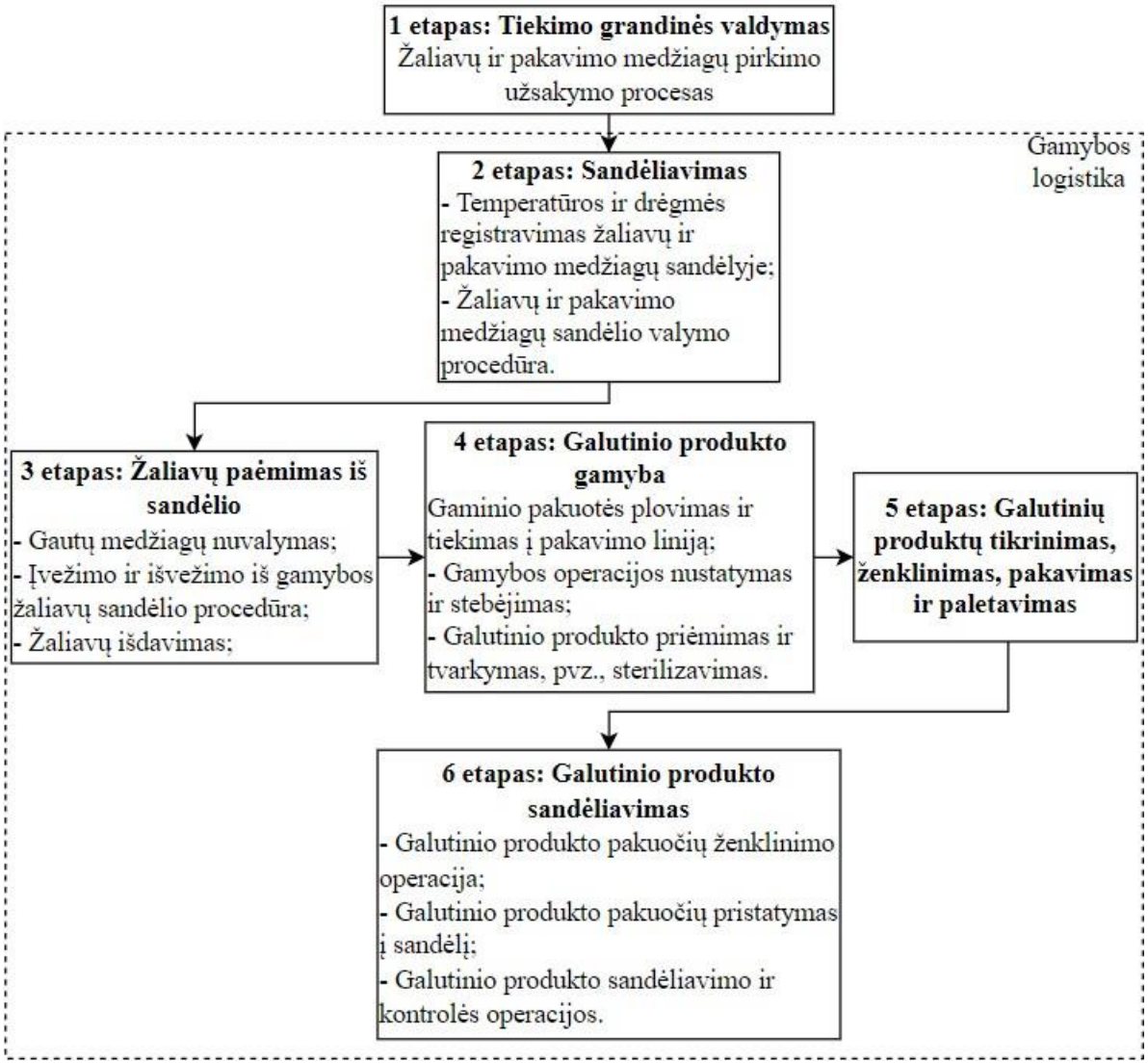
Kitas galimas produkto sterilizavimo metodas yra produktą gaminti sterilioje aplinkoje su steriliais komponentais (žr. 10 pav.).



10 pav. Sterilios gamybos modelis, kai sterilizuojama prieš gamybos procesą
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Jildeh'u ir kt. (2021)

Sterilios gamybos modelio pasirinkimas priklauso nuo gaminamo produkto ir pakavimo medžiagų terminio, fizinio ir cheminio suderinamumo su sterilizacijos procesu, kadangi tam tikrų medicinos produktų, kurių sudėtyje yra baltymų ar kurių pakuotės yra jautrios šilumai ar spinduliuotei, negalima sterilizuoti, dėl to tokie produktai gaminami sterilioje aplinkoje (Jildeh ir kt., 2021).

Biotechnologijų pramonės ir farmacijos gamybos ir gamybos logistikos procesai apima tiekimo grandinę, žaliavų ir pakavimo medžiagų sandėliavimą ir kontrolę, gamybos proceso valdymą, žaliavų išdavimą, preparatų formulavimą, gamybą, pildymą, tikrinimą, ženklinimą, pakavimą ir galiausiai sandėliavimą ir platinimą (Alsaidalani ir Elmadhounb, 2021) (žr. 11 pav.).



11 pav. Biotechnologijų pramonės gamybos logistikos etapai

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Alsaidalani ir Elmadhounb'u (2021)

Atlikta mokslinės literatūros analizė parodo gamybos logistikos modelių skirtumus bei identifikuota, kad gamybos logistikos modeliai yra sąlygojami įvairių dedamųjų. Nors teoriniai modeliai skiriasi, pastebima, kad juos vienija keli pagrindiniai etapai apimantys:

- žaliavų tiekimą;
- žaliavų apdorojimą;
- sandėliavimą;
- orientavimąsi į vartotojų patenkinimą.

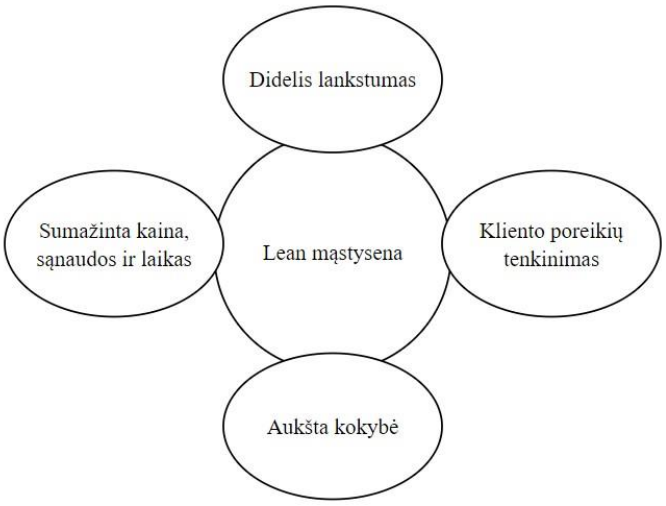
Plėtojant gamybinę veiklą svarbu įvertinti galimus gamybos logistikos modelius ir atsižvelgiant į įmonės veiklą ir strategiją rinktis tinkamiausią. Kadangi žiedinė gamyba orientuota į išteklių gražinimą į gamybos grandinę ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimą, dėl to žiedinė gamybos logistika yra pranašesnė nei linijinė. Biotechnologijų pramonės gamybos logistika yra išskirtinė, kurioje labai svarbu užtikrinti aukštą kokybę, sterilumą ir tinkamas aplinkos sąlygas.

1.4. Gamybos valdymo tobulinimo modeliai

Šiuo metu rinka tampa vis reiklesnė ir vis labiau orientuojasi į ekonomiškesnius sprendimus (Hemalatha ir kt., 2021). Gamybos įmonės, siekdamos užtikrinti konkurencingumą ir patenkinti vartotojų reikalavimus, veiklos procesuose turi skirti vis daugiu dėmesio kokybei, našumui ir mažoms sąnaudoms (Valamede ir kt., 2020). O tam, kad pagerinti veiklos efektyvumą reikia iš naujo peržiūrėti gamybos procesus ir sistemas, kad būtų galima priimti geriausius sprendimus ir pagerinti gamybos kokybę (Hemalatha ir kt., 2021). Įmonės bandydamos patobulinti savo gamybos valdymo sistemas, siekdamos konkuruoti skaitmeniniame ir dinamiškame pasaulyje ir norinčios gauti geresnius rezultatus tobulinant gamybos procesus, diegia įvairius procesus ir įrankius (Hemalatha ir kt., 2021). Pastaraisiais dešimtmečiais labai išplito dvi svarbiausios gamybos paradigmos *Lean* gamyba ir *Agile* gamyba, kuriomis siekiama sumažinti sąnaudas bei atliekas ir užtikrinti gamybos lankstumą (Ding ir kt., 2023).

Mokslinėje literatūroje *Lean* gamybos sąvoka apibrėžiama įvairiai. Womack'as ir kt. (1990) *Lean* gamybą apibrėžia kaip dinamišką, principais ir praktika paremtą procesą, kurio tikslas – pasiekti nuolatinį tobulėjimą pašalinant resursų švaistymą. Kumar'is ir kt. (2022) pabrėžia, kad *Lean* gamyba – tai nuolatinio tobulinimo filosofija, sukurta siekiant maksimaliai išnaudoti išteklius, mažinant švaistymą. *Lean* gamybos prioritetas yra teikti pirmenybę pridėtinę vertę keliantiems faktoriams ir pašalinti pasikartojančius, nenaudingus procesus gamybos cikle (Hemalatha ir kt., 2021). *Lean* gamybos mąstysena naudojama siekiant

geriausiai išnaudoti kiekvieną gamybos etapą, taip, kad būtų sumažinta kaina, laiko ir sąnaudų švaistymas, gerinamas prisitaikymas ir lankstumas, taip pat atsižvelgiama į vartotojo poreikius ir aukštą kokybę (Kumar ir kt., 2022) (žr. 12 pav.).



12 pav. *Lean* mąstysenos komponentai

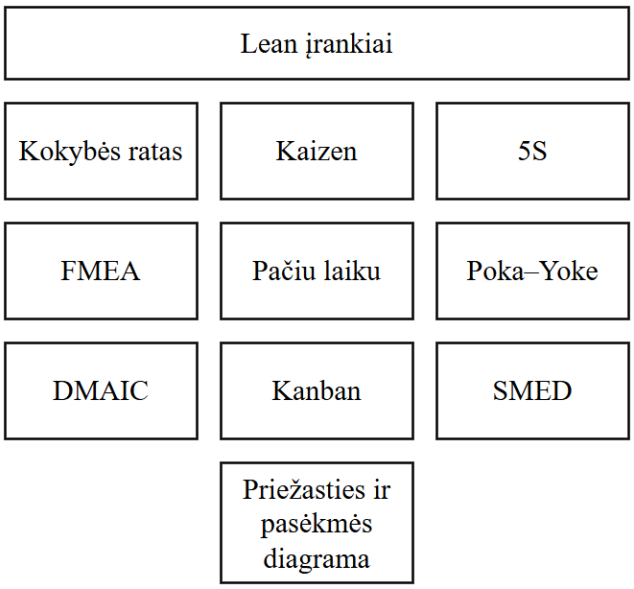
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Kumar'u ir kt. (2022)

Tam, kad *Lean* gamyba būtų įgyvendinama reikia laikytis penkių pagrindinių *Lean* gamybos principų:

- vertė (*angl. value*) – šis principas apima vertybių, kurias klientas sieja su produktu, supratimą.
- vertės srauto identifikavimas (*angl. value stream mapping*) – šis principas apima įvairių grandžių sujungimą, siekiant sukurti tobulą darbo aplinką;
- srautas (*angl. flow*) – šis principas užtikrina, kad produkto gyvavimo cikle nuo planavimo, gamybos iki produkto pasiekimo pas klientą nebūtų jokių trukdžių;
- ištraukimas (*angl. pull*) – šis principas teigia, kad niekas nebus pradėta, kol nebus gautas signalas iš kliento pusės;
- tobulumas (*angl. perfection*) – šis principas orientuotas į stengimąsi nuolat tobulėti ir būti geresniu už konkurentus (Kumar ir kt., 2022; Womack ir Jones, 1997)

Shahin'as ir kt. (2024) pabrėžia, kad *Lean* gamybos principai gali būti taikomi daugelyje sektorių, tačiau labiausiai pritaikomi fizinės gamybos, inžinerijos ir susijusiuose sektoriuose.

Siekiant sėkmingai įgyvendinti *Lean* gamybą pasitelkiami *Lean* gamybos įrankiai (Palange ir Dhatrak, 2021) (žr. 13 pav.).



13 pav. *Lean* įrankiai

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Palange ir Dhatrak'u (2021)

- Kokybės ratas (*angl. quality circle*) – tai įrankis naudojamas nuolatiniam procesų tobulinimui bei siekiant spręsti produktyvumo bei kokybės problemas (Palange ir Dhatrak, 2021). Kokybės ratą paprastai sudaro nuo 4 iki 10 darbuotojų, kurie rengia susirinkimus ir vadovaujami koordinatoriaus sprendžia problemas susijusias su kokybe, produktyvumu, siekiant pagerinti įmonės veiklos rezultatus (Goyal ir kt., 2022).
- Kaizen – tai veiksmų visuma, kuria siekiama nuolat tobulinti organizacijos procesus (Alsmairat ir kt., 2024). Kaizen sąvoką sudaro du japoniški žodžiai „*kai*" (pokytis) ir „*zen*" (dėl gėrio). Kaizen – tai japonų nuolatinio tobulėjimo filosofija, kuri gali būti taikoma kaip valdymo strategija padedanti racionalizuoti verslo operacijas, didinti gamybos apimtis ir mažinti švaistymą (Kazancoglu ir kt., 2024). Autoriai Androniceanu ir kt. (2023) kaizen apibrėžia kaip metodą, kurio dėmesio centre yra procesas, produktas, žmonės ir aplinka bei taikant šį požiūrį siekiama tobulinti kiekvieną koncepcijos, gamybos ir pardavimo komponentą.
- 5S – tai japonų švarios, efektyvios ir saugios darbo vietos palaikymo metodas, skirtas pagerinti darbo aplinką (Veres ir kt., 2018). 5S susideda iš penkių principų:
  - rūšiuoti (*angl. sort*) – pašalinti kas nereikalinga;
  - sutvarkyti (*angl. set in order*) – sutvarkyti likusius daiktus;
  - blizginti (*angl. shine*) – palaikyti švarą ir tikrinti darbo vietą;
  - standartizuoti (*angl. standardize*) – sudaryti reikiamus standartus;

  - palaikyti (*angl. sustain*) – reguliariai taikyti standartus (Palange ir Dhatrak, 2021).
- Priežasties ir pasekmės diagrama (*angl. cause and effect diagram*) – tai įrankis, naudojamas siekiant nustatyti pagrindinę tiriamos problemos priežastį ir padeda vizualiai pateikti veiksnius lemiančius problemą, taip palengvinant problemų analizę (Palange ir Dhatrak, 2021).
- Gedimo režimo ir padarinių analizė (FMEA) (*angl. failure mode and effects analysis*) – tai metodika, taikoma siekiant geriau valdyti galimus įrangos gedimus, nustatant galimą įrangos gedimą ir jo poveikį bei atsižvelgiant į gedimo sunkumą, dažnumą priskiriant jam prioritetinį rizikos numerį (PRN) pagal kurį aukščiausios vertės įranga turi būti taisoma pirmiausiai (Palange ir Dhatrak, 2021). Emekdar'is ir kt. (2023) FMEA apibrėžia kaip galimų gedimų nustatymą, nurodant išsamią informaciją, taip įvertinant ir sumažinant riziką.
- Poka Yoke – tai metodiniai apribojimai ir sprendimai, kurių tikslas – išvengti žmogiškųjų klaidų, taikant proceso apribojimo dizainą, tam, kad klientą pasiektų tik geros kokybės gaminiai (Zawadzki ir kt., 2022). Terminas „Poka Yoke" sudarytas iš dviejų japoniškų žodžių „*poka*" – netyčinė klaida ir „*yokeru*" – išvengti ir reiškia „apsauga nuo klaidų" (Trojanowska ir kt., 2023).
- SMED (*angl. single minute exchange of dies*) – tai toks metodas, kuris naudojamas siekiant sumažinti gamybos laiką, mažinant gamyklos prastovas keičiant, gaminį, dizainą ar žaliavas (Emekdar ir kt., 2023).
- Pačiu laiku (*angl. just in time*) (trumpinys – JIT) – tai atsargų valdymo strategija, kuria nustatoma ką gaminti, kada gaminti ir kiek gaminti, taip užtikrinant atsargų ir laiko sąnaudų mažinimą (Kumar ir kt., 2022). JIT koncepcijos pradininkas yra „Toyota Motor Company" Japonijoje, vėliau ši koncepcija paplito įvairiose pasaulio pramonės šakose, kadangi taikant JIT galima greitai reaguoti į klientų poreikius ir nereikia kaupti perteklinių atsargų (Balkhi ir kt., 2022). Biotechnologijų ir daugelyje kitų sektorių dėl Covid-19 pandemijos ir kitų įvykusių trikdžių 2020-ųjų pradžioje verslo spaudoje pasirodė straipsnių, kuriuose dėl veiklos nesėkmių buvo kaltinama JIT praktika, tačiau tinkamai taikomas JIT metodas yra naudingas ir tik sustiprina tiekimo grandinę (T. Y. Choi ir kt., 2023).
- Kanban – tai į paklausą orientuota planavimo sistema naudojama JIT gamyboje ir jos tikslas yra padėti sukurti ir palaikyti gamybos srautą orientuotą į vartotojo poreikius ir rinką (Zeng ir kt., 2023). Kiek kitaip Kanban apibūdina Canales'as ir kt. (2022) teigdami, kad Kanban – tai signalizacijos metodika, skirta pagerinti veiklos kontrolę

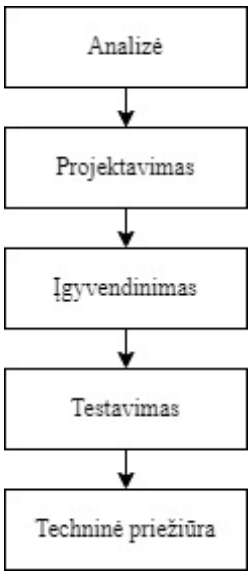
bei užtikrinti paklausos ar gamybos prognozes, taip pat naudojama siekiant optimizuoti gamybos procesus ir supaprastinti pažangos stebėjimą kalendoriuje.

- DMAIC – tai duomenimis pagrįsta kokybės technika, naudojama gamybos procesams tobulinti. DMAIC yra akronimas, reiškiantis:
  - apibrėžti (*angl. define*) problemą, kuriai reikia patobulinimo;
  - išmatuoti (*angl. measure*) problemą;
  - analizuoti (*angl. analyse*) problemą keliančius veiksnius;
  - tobulinti (*angl. improve*) procesus arba diegti naujus;
  - kontroliuoti (*angl. control*) procesus (Palange ir Dhatrak, 2021; Venkat Jayanth ir kt., 2020).

Kadangi biotechnologijų sektoriaus gamybos procesai yra sudėtingi ir išskirtiniai, *Lean* gamyba gali iš esmės padėti tobulinti veiklą didinant efektyvumą ir kokybę bei mažinant tiekimo ir gamybos laiką (Ogami, 2007).

Gamybos tobulinimo modelius galima suskirstyti į planavimu pagrįstus krioklio modelius ir Agile modelius (tokius kaip *Scrum* ir *Kanban*) (Thesing ir kt., 2021).

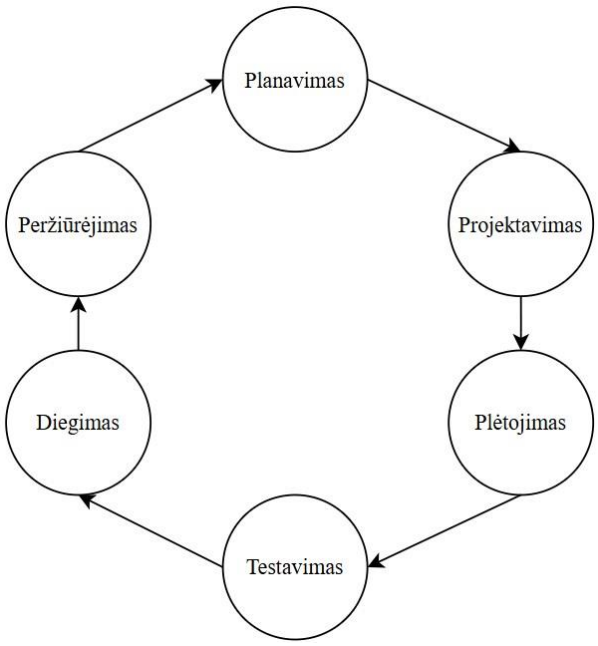
Kaip teigia Aroral (2021), krioklio modelis visų pirma buvo taikomas kaip programinės įrangos kūrimo strategija, tačiau, kadangi jis buvo sėkmingas, jį pradėjo taikyti ir daugelis kitų įmonių bei pramoninių gamintojų. Krioklio modelis arba dar vadinamas krioklio metodas yra vienas iš pirmųjų kūrimo gyvavimo ciklų, kuris vis dar plačiai taikomas sistemoms kurti (Aroral, 2021). Taikant krioklio modelį daroma prielaida, kad išsiaiškinus pradinius reikalavimus bei visus neaiškumus ir tikslus kiekviename etape, visas projektas turi vykti be trukdžių, vienas etapas po kito, projekto užbaigimo link (Andrei ir kt., 2019). Siekiant įgyvendinti projektą naudojant krioklio modelį, projektas planuojamas nuo pradžios iki pabaigos, nurodant terminus, taip užtikrinant projekto stabilumą, struktūrą, numatomus išteklius ir dokumentuojamą planavimą (Thesing ir kt., 2021). Taikant krioklio metodą visas gamybos procesas suskirstomas į atskirus etapus ir kiekvieno etapo rezultatai naudojami kitam etapui vykdyti (žr. 14 pav.) (Fagarasan ir kt., 2021; Senarath, 2021).



14 pav. Krioklio modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Fagarasan'u ir kt. (2021) bei Senarath'u (2021)

Krioklio metodo mąstysena reiškia, kad projekto pabaigoje reikia pateikti jau veikiantį produktą, o *Agile* mąstysena reiškia, kad reikia periodiškai pateikti nedideles darbo dalis, todėl teigiama, kad krioklio metodas tinka lengvai nuspėjamoje aplinkoje, o *Agile* metodas geriau veikia greitai kintančioje aplinkoje (Fagarasan ir kt., 2021). *Agile* modelis priešingai nei krioklio modelis nėra linijinis, jį sudaro procesai besikartojantys ratu, tol kol bus pasiektas norimas rezultatas ir tam, kad pasiekti norimą rezultatą, gali būti naudojamos kelios iteracijos (žr. 15 pav.) (Thesing ir kt., 2021).



15 pav. *Agile* modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Fagarasan'u ir kt. (2021)

Yra manančių, kad *Agile* gamyba – tai tolesnė raida *Lean* gamybos, tačiau iš tikrųjų *Agile* gamybą galima laikyti nauja gamybos sistema, kurioje *Lean* gamybos sąvoka kartu su tiekimo grandinės valdymo sąvokomis panaudotos naujai gamybos strategijai sukurti (Ding ir kt., 2023). *Agile* gamyba orientuota į gamybos procesų optimizavimą, standartizavimą ir automatizavimą, siekiant užtikrinti klientų pasitenkinimą efektyvia kainodara, kartu išlaikant optimalias procesų atsargas gamybos sraute (Hemalatha ir kt., 2021). Didelė konkurencija tarp gamintojų ir reikli rinka sudaro poreikį gamybos įmonėms padidinti savo gamybos lankstumą ir ekonomiškumą, tokiu tikslu diegiant Pramonės 4.0 technologijas, kadangi tiek *Lean* gamybos, tiek *Agile* gamybos tikslai atitinka Pramonės 4.0 tikslus (Ding ir kt., 2023). *Agile* gamyba orientuota į:

- išlaidų mažinimą verslo nuosmukio metu;
- prognozavimą ir aktyvų planavimą;
- kelių gamybos programų kūrimą, kurių aktyvavimas naudotų kiek įmanoma mažiau įrangos ir išteklių;
- preliminarių gamybos grafikų sudarymą remiantis prognozėmis (Hemalatha ir kt., 2021).

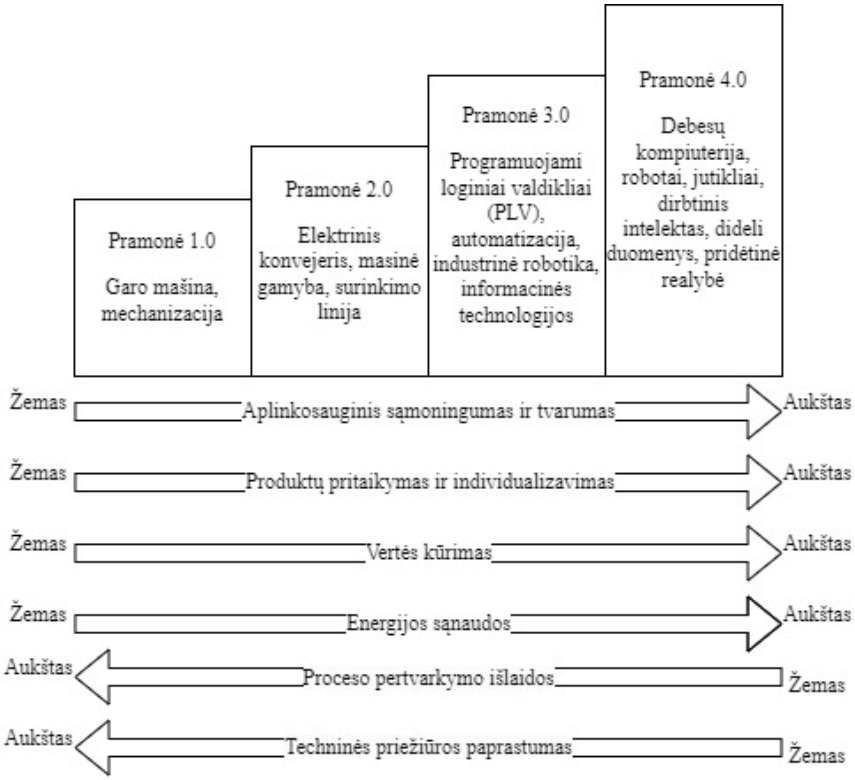
Atlikta analizė rodo, kad gamyba ir gamybos logistika negali būti atsieta, kadangi gamybos logistika apima ir gamybą ir kitus pagalbinius procesus. Dėl to šie gamybos valdymo ir tobulinimo modeliai tiesiogiai veikia gamybos logistiką. Gamybos valdymo ir tobulinimo modeliai suteikia aiškias gaires, padedančias nuosekliai gerinti gamybos procesus ir yra esminiai siekiant sumažinti sąnaudas, efektyviai organizuoti gamybos procesus bei padidinti gamybos lankstumą ir produktyvumą.

1.5. Pramonės 4.0 sistematika biotechnologijų pramonės kontekste

Pastaraisiais metais Pramonė 4.0 tampa vis populiarėjančia tema tarp akademikų ir pramonės atstovų (Ding ir kt., 2023). Technologiniai pokyčiai ir naujų technologijų diegimas tampa plačiai taikomu įmonių investavimo metodu, kuris lemia ekonomikos augimą (Babina ir kt., 2024). Pramonės 4.0 koncepcija atsirado 2011 m. Vokietijoje ir apibūdina šiuolaikinę gamybos paradigmą, kurioje integruojamos informacinės bei ryšių technologijos, kartu su skaitmeninėmis gamybos sistemomis (Kang ir kt., 2016). Kaip teigia Abdirad'as ir Krishnan'as (2021), Pramonė 4.0 yra žinoma keliais vardais ir gali būti vadinama ketvirtąja pramonės revoliucija, išmaniąja gamyba bei integruota pramone. Sąvoka Pramonė 4.0 mokslinėje literatūroje yra apibrėžiama įvairiai. Autoriai Arden'is ir kt. (2021) pažymi, kad terminas Pramonė 4.0 jungia įvairias išmaniąsias technologijas, siekiant tobulinti gamybą bei gamybos

procesus. Krishnan'as (2021) apibūdina Pramonę 4.0 kaip revoliuciją, kuri intensyviai skaitmenina bei keičia senesnes technologijas. Autoriai Abdirad'as ir Krishnan'as (2021) pažymi, kad Pramonė 4.0 – tai sistemų bei procesų automatizavimas, skaitmeninimas ir duomenų keitimasis pramonės įmonėse. Panter'is ir kt. (2024) taip pat pabrėžia, kad Pramonė 4.0 – tai nuolatinis gamybos pramonės skaitmeninimo procesas. Įdiegus Pramonės 4.0 sprendimus, pastebimai pasikeitė šiuose procesuose dalyvaujančių žmonių ir įrenginių sąveika (Panter ir kt., 2024). Tačiau Mourtzis ir kt. (2019) pabrėžia, kad nepaisant didelės automatizacijos, būdingos šiuolaikinei gamybai, žmonės operatoriai vis dar užima svarbią vietą gamyboje, kuri turėtų būti sustiprinta pereinant į Pramonės 4.0 erą.

Technologijų raida nuolatos darė įtaką visai pramonei, kadangi naujų technologijų diegimas į gamybos procesus tobulino gamybos veiklą (žr. 16 pav.).



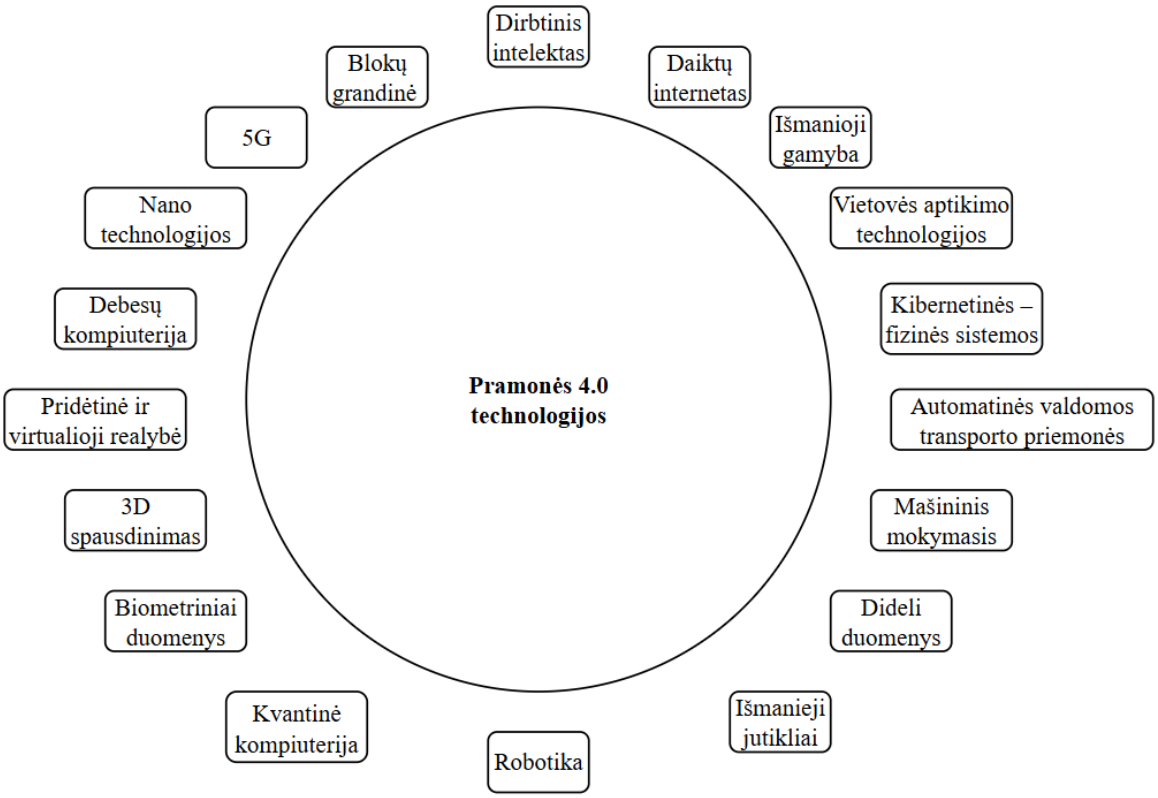
16 pav. Pramonės revoliucijų raida

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Abdirad'u ir Krishnan'u (2021) bei Hassoun'u ir kt. (2023)

Pirmąją pramonės revoliuciją (18–19 a. pradžia) sukėlė garo varikliu varomų įrenginių diegimas gamyboje, dėl to šiuo laikotarpiu plėtojosi anglies, geležies, tekstilės bei chemijos sektoriai (Hassoun ir kt., 2023). Antrąją pramonės revoliuciją (19 a.) sukėlė elektros tinklo, telefono, telegrafo bei vidaus variklio taikymas gamyboje (Akundi ir kt., 2022). Taip pat gamyboje pradėti taikyti elektriniai konvejeriai paskatino masinės gamybos atsiradimą (Abdirad ir Krishnan, 2021). Farmacijos ir biotechnologijų pramonėje, ši revoliucija pasireiškė

elektroninėmis smulkinimo, maišymo, malimo ir kitomis mašinomis, leidžiančiomis atlikti didesnių mastų gamybą ir geriau stebėti procesus ir kokybę (Arden ir kt., 2021). Trečiąją pramonės revoliuciją (1969–2011) paskatino kompiuterių bei interneto atsiradimas ir prieinamumas, kurio rezultatas buvo gamybos automatizavimas, realizuojamas vykdant kompiuterių diegimą į gamybos procesus (Arden ir kt., 2021; Khang ir kt., 2023). Ketvirtąją pramonės revoliuciją (2011–dabar) sukėlė naujausių skaitmeninių technologijų, tokių kaip dirbtinis intelektas, debesų kompiuterija ir kt. diegimas į gamybos procesus (Yin ir kt., 2018). Pagrindinis Pramonės 4.0 bruožas yra naujausių skaitmeninių technologijų integravimas, siekiant sukurti sistemas, kurios galėtų veikti nereikalaujant žmogaus įsikišimo (Arden ir kt., 2021).

Ketvirtoji pramonės revoliucija reikalauja inovatyvių sprendimų, susijusių su didelėmis investicijomis į automatizavimą ir robotiką bei sudėtingesnių techninių filosofijų ir koncepcijų taikymo, kad būtų pasiekta visiška transformacija (Okwu ir kt., 2022). Didžiausią poveikį Pramonė 4.0 daro gamybos sričiai ir apima įvairias sritis, nuo gamybos procesų tobulinimo iki veiklos rezultatų optimizavimo bei produktų ar paslaugų kūrimo ir tiekimo grandinės planavimo (Zheng ir kt., 2021). Pramonės 4.0 technologijos – tai įvairios informacinės, skaitmeninės, operacijų ir pažangiosios gamybos technologijos, kurios kartu skatina skaitmeninę pramonės revoliuciją (Ching ir kt., 2022). Tyrėjai Okwu ir kt. (2022) teigia, kad pagrindinės skaitmeninės Pramonės 4.0 technologijos tobulinančios šiuolaikinę gamybą apima dirbtinį intelektą (angl. artificial intelligence), didžiuosius duomenis (angl. big data), daiktų internetą (angl. internet of things), debesų kompiuteriją (angl. cloud computing), robotiką, 3D spausdinimą, nanotechnologijas (*angl. nanotechnology*), virtualiąją ir papildytą realybę (*angl. virtual reality and augmented reality*), blokų grandinę (*angl. blockchain*), 5G, biometrinius duomenis (*angl. biometrics*), išmaniąją gamybą (*angl. smart factory*), kvantinę kompiuteriją (*angl. quantum computing*), kibernetines fizines sistemas (*angl. cyber-physical systems*), mašininį mokymąsi (*angl. machine learning*) bei automatines valdomas transporto priemones (*angl. automatic guided vehicles*) ir kitas (žr. 17 pav.).



17 pav. Pagrindinės Pramonės 4.0 technologijos

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Okwu ir kt. (2022) bei Oztemel'iu ir Gursev (2020)

Skaitmenizacija ir pažangus procesų automatizavimas gali padėti įmonėms efektyviau koordinuoti tiekimo grandinę, sukuriant ekonomiškai efektyvius ir patikimus procesus (Taylor ir kt., 2020).

Biotechnologijų pramonėje taikomos įvairios Pramonės 4.0 technologijos galinčios patobulinti biotechnologijų pramonės gamybos procesus. Autoriai Kamalapuram'as ir Choudhury (2024) išskyrė, kad pirminiuose (*angl. upstream process*) ir tolesniuose (*angl. downstream process*) biotechnologijų gamybos procesuose taikytinos šios Pramonės 4.0 technologijos (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Gamybos Pramonės 4.0 technologijų pritaikymas biotechnologijų pramonėje

Gamybos stadija	Pramonės 4.0 technologijos	Pritaikymas
Pirminiai procesai (*angl. upstream process*)		
Ląstelių linijų kūrimas ir ląstelių saugojimas	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, daiktų internetas, blokų grandinės	Automatizuotos ląstelių atrankos sistemos, biosaugyklos
Ląstelių kultūrų terpės ir sudedamosios dalys	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas	Ląstelių kultūrai skirtų negyvūninės kilmės ingredientų kūrimas; augimo veiksnių identifikavimas

4 lentelės pabaiga

Gamybos stadija	Pramonės 4.0 technologijos	Pritaikymas
Struktūra	Mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, daiktų internetas, procesų robotizavimas, pažangus procesų automatizavimas	Biospausdinimo gamybos strategijos
Bioreaktoriai	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, daiktų internetas, blokų grandinės	Automatinių bioreaktorių valdymo sistemos; išmanieji jutikliai ląstelių augimui valdyti ir stebėti
Tolesnieji procesai (*angl. downstream process*)		
Gamyba	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, daiktų internetas, blokų grandinės, pridėtinė realybė, virtuali realybė, skaitmeninė transformacija	Gaminių projektavimas; išmaniųjų pakuočių projektavimas; produkto vizualizavimas, prekės ženklo kūrimas ir reklaminės akcijos
Pardavimai ir platinimas	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, blokų grandinės, verslo analitika, elgesio internetas	Verslo operacijų valdymas, apimant rinkodarą, pardavimus ir platinimą; ateities verslo tendencijų prognozavimas ir analizė
Tiekimo grandinės valdymas	Dirbtinis intelektas, mašininis mokymas, skaitmeninio parašo algoritmas, blokų grandinės, verslo analitika	Kokybės kontrolė, produkto sekimas ir tiekimo grandinės valdymas
Reguliavimas, verslo ir vartotojų elgesio analizė	Dirbtinis intelektas, skaitmeninio parašo algoritmas, blokų grandinės, verslo analitika, elgesio internetas, daiktų internetas	Produktų saugos etikečių ir reglamentavimo vertinimas; vartotojų lūkesčių identifikavimas

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Kamalapuram'u ir Choudhury (2024)

Dėl didėjančios globalizacijos gamybos įmonės susiduria su didėjančiomis sąnaudomis ir laiko trūkumu, o galimybė kovoti su šiais iššūkiais yra Pramonė 4.0, kurioje daugiausia dėmesio skiriama pramoninių procesų optimizavimui ir kuriai būdingas visų vertės grandinės dalyvių skaitmeninimas ir sujungimas į bendrą tinklą (Dillinger ir kt., 2022). Įmonės siekia integruoti pažangias skaitmenines technologijas, kad sukurtų išmaniąsias decentralizuotas gamyklas, dar vadinamas išmaniosiomis gamyklomis (Panter ir kt., 2024). Pagrindinis Pramonės 4.0 tikslas – padidinti veiksmingumą per visą gaminio gyvavimo ciklą panaudojant realaus laiko duomenis, esančius tarpusavyje sujungtose mašinose, saugojimo sistemose ir įrangos sistemose, vadinamose kibernetinėmis fizinėmis sistemomis (CPS) (Panter ir kt., 2024). Šiuo metu pasaulinė gamybos pramonė vis dar pereina nuo Pramonės 3.0 prie Pramonės 4.0 (Yi ir kt., 2023). Tačiau kaip teigia Okwu ir kt. (2022), Pramonė 4.0 sparčiai žengia į priekį kaip transformacijos procesas ir tai vyksta eksponentiniu greičiu.

Dirbtinio intelekto revoliucija tapo vienu iš pagrindinių Pramonės 4.0 variklių (Hassoun ir kt., 2023). Per pastarąjį dešimtmetį dirbtinis intelektas sukėlė naują technologinį poslinkį, kadangi esminiai dirbtinio intelekto technologijų pokyčiai ir jų pritaikymas leidžia

įmonėms geriau ir greičiau mokytis iš didžiulio duomenų kiekio, o tai gali žymiai pagerinti verslo sprendimų priėmimą (Babina ir kt., 2024). Dirbtinio intelekto taikymas gali patobulinti ir pagreitinti visus gamybos etapus, įskaitant žaliavų įsigijimą, procesų optimizavimą, kokybės kontrolę ir tiekimo grandinės valdymą, taip pat gali optimizuoti gamybos grafikus ir atsargų lygius, taip panaikinant atsargų perteklių ar trūkumą sandėlyje (Mehta ir kt., 2024).

Skaitmeninių dvynių koncepciją (*angl. digital twin*) 2002 m. pateikė Greevesas, kuriant produkto gyvavimo ciklo valdymo simuliacijas, o vėliau ją perėmė ir daugelis kitų pramonės sektorių ir šį terminą naudoja apibūdindami didelio tikslumo skaitmeninių modeliavimų kūrimą (A. Udugama ir kt., 2021). Skaitmeniniai dvyniai yra novatoriška modeliavimo technologija, kuri kompiuterinį modeliavimą įtraukia į realias operacijas (Hassoun ir kt., 2023).

Papildytoji realybė (*angl. augmented reality*) yra Pramonės 4.0 technologija, kuri šiuo metu sulaukia didelio pramonės susidomėjimo ir apima virtualios informacijos pridėjimą prie realios „juntamos“ aplinkos naudojant atitinkamus prietaisus, padedančius naudotojui atlikti kasdienes užduotis, pavyzdžiui, surinkti detales gaminiui sukurti, procesų stebėsenai ir kontrolei, įrenginių išdėstymo įvertinimui realiuoju laiku, įrenginių techninei priežiūrai, taip pat pramoninei saugai (Plakas ir kt., 2020). Pridėtinė realybė atvaizduoja darbuotojui informaciją taip, kad ji būtų gerai suvokiama ir neatitrauktų darbuotojo nuo realios aplinkos (Mourtzis ir kt., 2019).

Daiktų internetas (*angl. IoT*) – tai kompiuterinės aplinkos, pramoninės ir susijusios visuomeninės praktikos bei žmogiškųjų vertybių, darančių įtaką duomenų generavimui ir įsisavinimui, tarpusavio ryšys. Taigi daiktų internetas kuria išmanesnį ir geriau reaguojantį pasaulį (Okwu ir kt., 2022). Susidomėjimas daiktų internetu išaugo ir apima prietaisų ir kitų fizinių objektų, prijungtų prie interneto naudojant įvairias technologijas: jutiklius ir programinę įrangą, tinklą, leidžiantį rinkti duomenis ir jais keistis, o surinkti duomenys leidžia įvertinti tam tikros sistemos būklę ir vėliau gali būti naudojami tos sistemos veikimui optimizuoti (Hassoun ir kt., 2023).

Debesijos technologija suteikia galimybę dalytis, keistis ir redaguoti duomenis internetu, sujungiant kompiuterių sistemas į bendrą tinklą (Dillinger ir kt., 2022). Tai sistema, leidžianti saugoti ir naudotis visomis programomis ir duomenimis, kurie yra virtualiame serveryje, nereikalaujant jų įsidiegti (Zheng ir kt., 2021).

Gamybos srityje naudojamos įrenginio ir vartotojo sąsajos (HMI) apima proceso duomenų stebėjimą ir vizualizavimą realiuoju laiku, darbo sąlygų priežiūrą ir reguliavimą, pavojaus signalų valdymą gedimams aptikti, proceso valdymą, siekiant išlaikyti kintamųjų

saugos ribas, veiklos registravimą ir peržiūrą, siekiant gauti naujausius gamybos proceso duomenis ir metaduomenis (Panter ir kt., 2024).

Mašininio mokymosi algoritmai biotechnologijų gamyboje naudojami siekiant išsamiai analizuoti duomenis, patobulinti robotiką ir automatizavimą, taip pat dirbtinio intelekto valdomus bioreaktorius, leidžiančius efektyviau bei tiksliau gaminti biotechnologinius produktus (Mehta ir kt., 2024).

Didieji duomenys padeda realiuoju laiku rinkti bei analizuoti didelį duomenų kiekį iš įvairių procesų. Duomenys yra gaunami ir apdorojami iš gamybos sistemų arba įrenginių, taip pat, santykių su klientais valdymo (CRM) arba verslo valdymo (ERP) sistemų (Dillinger ir kt., 2022). Zheng'as ir kt. (2021) teigia, jog didieji duomenys bei analizė – tai didelio kiekio turimų duomenų rinkimas ir analizė naudojant įvairius metodus, skirtus įžvalgoms filtruoti, užfiksuoti ir pranešti, kai duomenys apdorojami didesniais kiekiais, didesniu greičiu ir didesne įvairove.

Mourtzis ir kt. (2019) pateikia Operatoriaus 4.0 tipologija, kurioje vaizduojama, kaip Pramonės 4.0 technologijos gali padėti operatoriams tapti išmanesniais operatoriais būsimose gamyklų darbo vietose ir išvardytos jų sąveikos:

- operatorius + egzoskeletas = itin stiprus operatorius (fizinė sąveika);
- operatorius + dėvimas seklys = sveikas operatorius (fizinė ir kognityvinė sąveika);
- operatorius + išmanusis asmeninis asistentas = išmanesnis operatorius (kognityvinė sąveika);
- operatorius + bendradarbiaujantis robotas = bendradarbiaujantis operatorius (fizinė sąveika);
- operatorius + socialiniai tinklai = socialinis operatorius (kognityvinė sąveika);
- operatorius + didžiųjų duomenų analizė = analitinis operatorius (kognityvinė sąveika);
- operatorius + virtuali realybė = virtualus operatorius (pažintinė sąveika);
- operatorius + papildyta realybė = papildytas operatorius (pažintinė sąveika).

Biotechnologijos ir Pramonės 4.0 integracija – tai skaitmeninių sistemų ir technologijų (didieji duomenys, daiktų internetas, debesų kompiuterija, pažangioji robotika, virtualus modeliavimas, dirbtinis intelektas, 3D spausdinimas ir kt.) įtraukimas į biotechnologijos veiklą, kad būtų galima integruoti fizines sistemas su virtualiomis sistemomis (kibernetinėmis-fizinėmis sistemomis) (Massabni ir Silva, 2019). Per pastaruosius kelerius metus dirbtinio intelekto taikymas labai prisidėjo prie biotechnologijų sektoriaus pažangos (Mehta ir kt., 2024). Dirbtinio intelekto taikymas plačiai integruojamas biotechnologijų sektoriuje siekiant spręsti įvairias problemas bei tobulinti vaistų kūrimą, vaistų saugumą ir kt. (Holzinger ir kt., 2023). Pramonės 4.0 technologijų taikymas biotechnologijų sektoriuje leidžia realiuoju laiku stebėti jutiklių duomenis gamybos proceso metu ir numatyti gedimus, taip paskatinant imtis

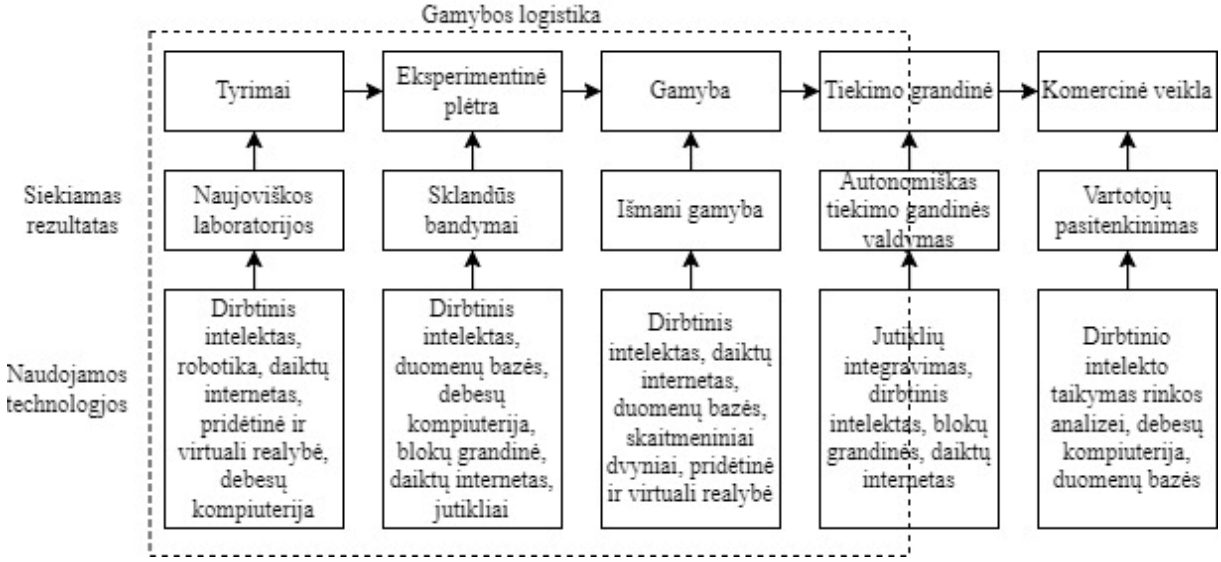
prevencinių priemonių, tam, kad būtų išvengiama brangiai kainuojančių prastovų (Mehta ir kt., 2024). Taikant dirbtinį intelektą biotechnologijų pramonėje galima pagerinti visus biotechnologijų gamybos etapus: žaliavų įsigijimą, gamybos procesų optimizavimą, kokybės kontrolę, tiekimo kokybės valdymą ir kitą (Mehta ir kt., 2024). Žaliųjų biotechnologijų įmonės šiuo metu naudoja dirbtinio intelekto ir mašininio mokymo (*angl. machine learning*) sprendimus, kad sukurtų autonominius robotus, kurie atliktų svarbias žemės ūkio užduotis, pavyzdžiui, nuimtų derlių greičiau nei žmonės (Holzinger ir kt., 2023). Taikant Pramonės 4.0 technologijas taip pat pagreitinama ir patobulinama MTEP veikla, kadangi technologijos sukuria naujas galimybes mokslininkams efektyviau atlikti tyrimus ir bandymus bei padeda lengviau apdoroti sudėtingus duomenis, taip sutaupant laiką ir pinigus (Mehta ir kt., 2024).

Tikimasi, kad Pramonė 4.0 taip pat prisidės prie aplinkosauginio gamybos tvarumo aspekto mažinant atliekų kiekį vertės kūrimo veikloje ir skatinant naudoti švaresnius energijos ir medžiagų išteklius (Ching ir kt., 2022). Taip pat Zheng ir kt. (2021) teigia, kad įmonės siekia diegti Pramonės 4.0 technologijas tam, kad įgyvendintų efektyvesnius ir automatizuotus gamybos procesus, aukštesnę kokybę, greitesnį pristatymo laiką ir galimybę prisitaikyti prie individualių poreikių produktų gamybos.

Inovacijos kartu su Pramonės 4.0 technologijomis tobulina farmacijos ir biotechnologijų MTEP veiklą diegiant įvairias technologijas, taip sukuriant galimybę farmacijos ir biotechnologijų įmonėms įgyvendinti naujus produktus ar technologijas (Pammolli ir kt., 2020). Taip pat dirbtinis intelektas ir didieji duomenys taikomi biotechnologijų sektoriuje siekiant automatizuoti tam tikrus veiksmus ir užduotis, siekiant gerinti MTEP tikslumą bei efektyvumą (Holzinger ir kt., 2023).

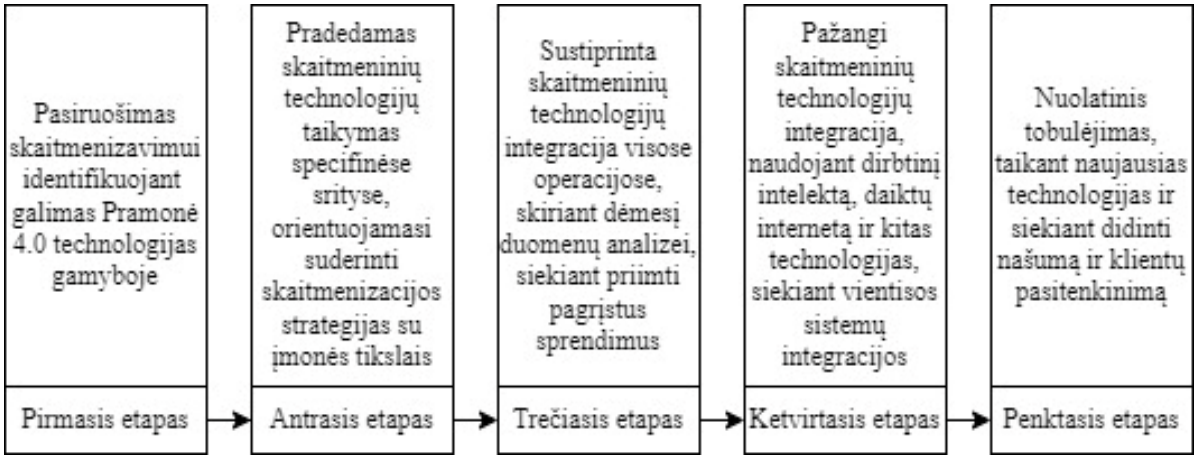
Gamybos logistikoje taikomos Pramonės 4.0 technologijos daugiausia apima įrangą (pvz., automatizuotai valdomos transporto priemonės (AGV), automatinė sandėliavimo ir paėmimo sistema (AS/RS), informacinės sistemos, verslo valdymo sistemos (ERP), sandėlio valdymo sistema (WMS) ir šiuolaikinės informacinės technologijos, pvz., daiktų internetas (IoT), skaitmeninės dvynės (DT)) (Yi ir kt., 2023).

Autoriai Kudumala ir kt. (2021) pateikia, biotechnologijų pramonės skaitmenizavimo modelį, išskiriant kokių technologijų diegimas, gali didinti vertę ir didinti įmonės pažangą (žr. 18 pav.).



18 pav. Biotechnologijų sektoriaus skaitmenizavimo modelis išskiriant gamybos logistikos procesus
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Kudumala ir kt. (2021)

Autorius DuJack'as (2023) suskirsto gamybos įmonių skaitmeninę brandą etapais, siekiant geriau suprasti įmonių padėtį skaitmeninės transformacijos metu ir kokius žingsnius reikia atlikti norint sėkmingai skaitmenizuoti procesus (žr. 19 pav.).



19 pav. Gamybos organizacijų skaitmeninės brandos lygiai
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis DuJack'u (2023)

Pasak Ta ir kt. (2023), yra trys pagrindiniai veiksniai lemiantys skaitmenizavimą:

- technologiniai;
- organizaciniai;
- aplinkos.

Pagrindiniai technologiniai kintamieji, kurie yra svarbūs norint pritaikyti skaitmeninę transformaciją, yra skaitmeninių technologijų diegimo santykinis pranašumas, suderinamumas,

sudėtingumas ir suvokiamas naudingumas (Ta ir kt., 2023). Organizaciniai kintamieji lemiantys gamybos procesų skaitmenizavimą yra novatoriškumas, įmonės dydis, aukščiausios vadovybės palaikymas ir žmogiškieji ištekliai, o aplinkos veiksnius sudaro vyriausybės parama, rinkos neapibrėžtumas, konkurencinis spaudimas, klientų patirtis, konkurencija (Ta ir kt., 2023).

Pagrindinės skaitmenizavimo kliūtys yra skaitmeninių žmogiškųjų išteklių trūkumas, informacinių technologijų platformų trūkumas, finansinių išteklių investicijoms į technologijas trūkumas ir nepriklausomų skaitmeninės transformacijos galimybių trūkumas (Álvarez Jaramillo ir kt., 2019).

Atlikta analizė rodo, kad Pramonės 4.0 sąvoką autoriai apibrėžia skirtingai, tačiau dauguma autorių akcentuoja skaitmeninių technologijų integravimo svarbą. Identifikuota, kad siekiant sėkmingai atlikti įmonės skaitmenizavimą, reikia atlikti technologinių, organizacinių ir aplinkos veiksnių analizę. Kadangi biotechnologijų sektorius yra inovatyvus ir imlus naujausioms technologijoms, Pramonės 4.0 technologijos plačiai taikomos biotechnologijų sektoriuje, siekiant spręsti įvairias problemas, didinti gamybos produktyvumą ir tikslumą bei efektyvinti MTEP veiklą.

1.6. Mokslinių tyrimų, eksperimentinės plėtros ir inovacijų dedamoji biotechnologijų sektoriuje

Biotechnologijų sektorius yra adaptyvus naujovėms ir inovacijoms bei daro įtaką mokslo ir ekonomikos pažangai. Tokie veiksniai, kaip patentai, investicijos į MTEP, tyrėjų tankis ir farmacijos rinka, yra labai svarbūs spartinant biotechnologijų inovacijas bei formuojant šalies reputaciją pasaulio mokslo ir ekonomikos srityse (Liu ir Singh, 2024). Šiandienos greitai kintančioje pasaulinio verslo aplinkoje, inovacijos, skaitmenizacija ir tvari plėtra tapo pagrindinėmis jėgomis, kurios keičia pramonės šakas ir skatina ekonomikos augimą (Abbas ir kt., 2024). Žaliosios technologinės naujovės, kartu su finansiniais ir skaitmeniniais laimėjimais pakeitė verslo veiklą ir suteikė galimybę kurti tvaresnį pasaulį ir kovoti su aplinkosaugos rūpesčiais (Abbas ir kt., 2024).

Literatūroje inovacijų sąvoka nėra tiksliai apibrėžiama, dėl to apibrėžimai skiriasi tiek mokslinių tyrimų, tiek viešosios politikos kontekste (Hartley ir kt., 2022). Vienas iš populiariausių inovacijų apibrėžimų teigia, kad inovacijos yra procesas, kai nauji deriniai sukuria naują produktą, procesą ar paslaugą (Callegari ir Nybakk, 2022). Panašiai inovacijas apibrėžia Morad ir kt. (2021) teigdami, kad inovacijos – tai kūrybinių idėjų generavimo ir jų įgyvendinimo naudinguose naujuose produktuose procesas, o novatoriškas mąstymas – tai pažinimo procesas, vedantis į inovacijas. Bizri (2018) pabrėžia, kad inovacija – tai išradimas

arba naujovė, įtraukta arba taikoma ekonominėje srityje, dėl to inovacijų taikymas lemia pramonės ar sektorių pokyčius. Saunila (2020) inovacijas apibrėžia kaip žinių ir idėjų nuolatinį transformavimą į naujus produktus, procesus ir sistemas, įmonės ir jos suinteresuotų šalių naudai. Plačiausiai inovacijos apibrėžiamos Oslo vadove (2018), kuriame teigiama, kad „inovacija tai naujas arba patobulintas produktas ar procesas (arba jų derinys), kuris ženkliai skiriasi nuo ankstesnių vieneto produktų ar procesų ir kuris yra prieinamas potencialiems naudotojams (produkto atveju) arba kuris vieneto yra naudojamas (proceso atveju)“.

Inovacijos yra kiekvienos organizacijos išsigelbėjimas, o pagrindinis inovacijų tikslas – taikyti naujas idėjas ar technologijas kuriant pridėtinę vertę organizacijai (Lee, 2018). Aukštųjų technologijų įmonių plėtrai labai svarbu nuolat investuoti į inovacijas, įgyti naujų žinių ir taikyti inovacijas naujiems produktams ir paslaugoms kurti, kadangi aukštųjų technologijų įmonių plėtra turi įtakos šalies ekonomikos plėtrai (Cao ir kt., 2022)

Siekiant geriau suprasti inovacijų procesus ir rezultatus, buvo sukurtos įvairios inovacijų tipologijos, pripažįstant, kad procesai gali skirtis atsižvelgiant į inovacijų tipą (Hartley ir kt., 2022). Acosta ir kt. (2016) išskiria keturis inovacijų tipus: produkto inovacija, proceso inovacija, organizacijos inovacija ir marketingo inovacija. Pasak Snihur ir Wiklund’o (2019), yra trys pagrindiniai inovacijų tipai: verslo modelio inovacija, produkto inovacija ir proceso inovacija. O Cinar’is ir kt. (2024) išskiria dar keturis inovacijų tipus: produkto inovacija, proceso inovacija, organizacijos inovacija ir komunikacijos inovacija.

Pasak Kanbach’as ir kt. (2024), verslo modelio inovacija – tai bandymas sukurti, įgyvendinti ir palaikyti strategijas, skirtas generuoti, pristatyti ir užfiksuoti vertę bei siekis pakeisti verslo modelio konfigūraciją. Verslo modelio inovacijos pavyzdys gali būti IKEA naujas verslo modelis parduodant nesurinktus baldus (Snihur ir Wiklund, 2019).

Produkto inovaciją Gault’as (2018) apibrėžia kaip potencialiems vartotojams sukurtą produktą, kuris yra naujas arba iš esmės pakeistas, atsižvelgiant į jo savybes ar paskirtį. Produkto inovacijos pavyzdys gali būti naujo energetinio gėrimo komercializavimas arba nauja einamoji sąskaita (Snihur ir Wiklund, 2019).

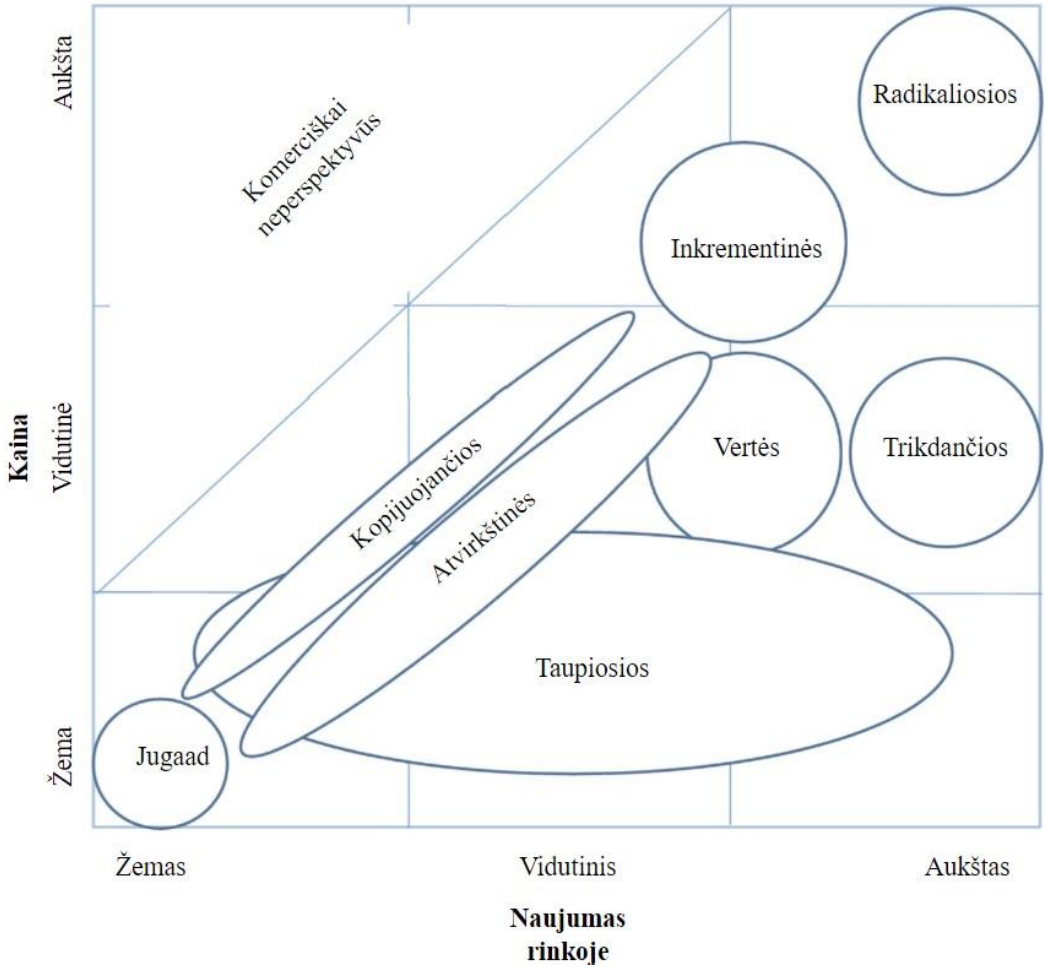
Proceso inovacija, pasak Naila ir kt. (2024) – tai naujos arba žymiai patobulintos paslaugos arba produkto gamybos proceso, paskirstymo metodo ar pagalbinės veiklos įgyvendinimas. Proceso inovacijos pavyzdys gali būti naujo atsargų valdymo proceso įvedimas (Snihur ir Wiklund, 2019).

Organizacijos inovacija, pasak Wang ir Chen’o (2020) – tai įmonės struktūra arba valdymo metodas, kuriuo siekiama pagerinti įmonės žinias, prekių ir paslaugų kokybę arba darbo srautų efektyvumą. Organizacinės inovacijos, dar vadinamos valdymo inovacijomis,

daugiausia susijusios su naujo produkto/paslaugos kūrimu (t.y. produkto/paslaugos inovacija), naujais gamybos procesais, proceso inovacijomis ir operacijomis (Tsou ir Chen, 2023).

Marketingo inovacija, pasak Purchase ir Volery (2020), apibrėžiama kaip naujos marketingo praktikos įgyvendinimas, apimantis reikšmingus produkto ar paslaugos dizaino, platinimo, reklamavimo pokyčius.

Dar daugiau inovacijų tipų išskiria Klarin'as (2019) (žr. 20 pav.).



20 pav. Inovacijų tipologijos matrica

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Klarin'u (2019)

- Taupiosios inovacijos orientuotos į mažesnes pajamas gaunančius vartotojus ir pasitelkia paprastus, bet veiksmingus sprendimus (Klarin, 2019). Trumpai tariant, taupiosios inovacijos – tai siekis sukurti didesnę vertę naudojant mažiau išteklių (Dabić ir kt., 2022). Pastaruoju metu, išsivysčiusios ekonomikos šalyse daug dėmesio skiriama taupiosioms inovacijoms kaip filosofijai, kuri leidžia kurti įperkamus, tvarius ir aukštos kokybės produktus ir paslaugas, sunaudojant minimaliai išteklių ir pagaminant per trumpą laiką (Vesci ir kt., 2021). Nuo tada, kai buvo pristatytos

taupiosios inovacijos, jos tapo populiarios įvairiuose sektoriuose, tokiuose kaip: sveikatos priežiūros, gamybos, maisto, automobilių pramonės, energetikos ir mokslo sektoriuose visame pasaulyje (Chandni ir kt., 2021).

- Atvirkštinės inovacijos – tai inovacijų procesas, kai inovacijos diegiamos besiformuojančioje rinkoje, o išbandytos, patvirtintos ir pritaikytos inovacijos bei įgytos žinios pritaikomos išsivysčiusiose šalyse (Bode ir Umuerri, 2022). Atvirkštinių inovacijų kryptis yra priešinga įprastoms inovacijoms, kadangi atvirkštinių inovacijų srautas prasideda nuo besivystančių šalių ir vėliau adaptuojamos išsivysčiusios ekonomikos šalyse. Nors besiformuojančios rinkos šalys technologiškai mažiau pažengusios nei išsivysčiusios ekonomikos šalys, tačiau jos aktyviai ieško naujų ir išradingų sprendimų, tam, kad galėtų išspręsti įvairias tai vietovei būdingas problemas (Hashmi ir kt., 2023).
- Kopijuojančios inovacijos apibūdinamos kaip naujų produktų ar paslaugų kūrimas kopijuojant jau esamus produktus ar sprendimus, taip siekiant sukurti panašų arba identišką produktą ar paslaugą. Kopijuojančios inovacijos taiko atvirkštinę inžineriją ir gali būti tiek grynas kopijavimas, tiek kopijavimas pasitelkiant kūrybą (Klarin, 2019).
- Vertės inovacijos arba mėlynojo vandenyno strategijos – tai tokios inovacijos, kurios pabrėžia, kad svarbu rasti nišas rinkose, kuriose galima būtų siūlyti naujas paslaugas ar produktus ir užuot taikant ištekliais pagrįstą požiūrį į įmonę ir siekį gerinti esamus produktus ar paslaugas, įmonės turėtų ieškoti perspektyviausių augimo galimybių ir sutelkti dėmesį į rinkos spragas, taip siekiant nenukonkuruoti konkurentus, o pasiūlyti kažką naujo, kas dar neturi konkurencijos (Klarin, 2019).
- Trikdančios inovacijos – tai produktų ar paslaugų inovacijos, kurios gali būti prastesnės už šiuo metu turimus produktus, tačiau klientams suteikiamos kitos naudos, tokios kaip paprastumas ar patogumas, taip pasiekiant naują rinką (Kivimaa ir kt., 2021). Trikdančių inovacijų taikymas rodo, kad sėkmingiausia diegiama technologija nebūtinai turi būti radikali ar pažangiausia (Si ir Chen, 2020).
- Jugaad – tai toks inovacijos tipas kuriame priimami nestandartiniai kasdieniai sprendimai, siekiant atlikti užduotį su minimaliomis išlaidomis bei su ypatingai ribotais ištekliais, dėl to šis inovacijos tipas nėra skirtas komercializuoti (Klarin, 2019).
- Radikaliosios inovacijos – tai aukštą naujumo laipsnį turinčios inovacijos, kurios orientuotos į naujų žinių kūrimą ir pritaikymą, siekiant sukurti visiškai naujus produktus ar paslaugas naujoms rinkoms (Gui ir kt., 2022).

- Inkrementinės inovacijos – tai mažą naujumo laipsnį turinčios inovacijos, kurios orientuotos į įmonės turimų žinių tobulinimą ir taikant nedidelius technologijų ar produktų patobulinimus siekiama pagerinti esamus produktus ar paslaugas. Inkrementinės inovacijos dėl mažesnio modifikavimo ir naujumo nėra tokios brangios ir rizikingos kaip radikalios inovacijos (Gui ir kt., 2022).

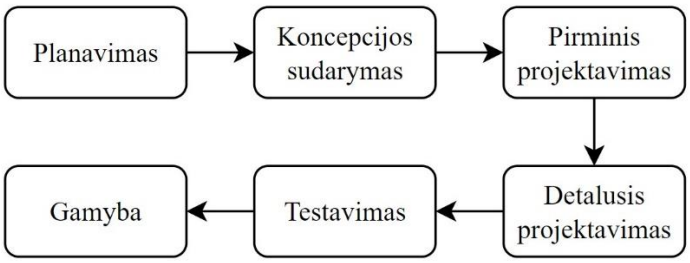
Viešojo sektoriaus inovacijos, palyginus su privataus sektoriaus inovacijomis, turi panašumų, tačiau turi ir skirtumų. Atsižvelgiant į viešojo sektoriaus inovacijas buvo pridėta daugiau inovacijų tipų, tarp jų: konceptualios inovacijos (dalyvių požiūrio pasikeitimas), politikos inovacijos ir sisteminės inovacijos, taip pat strateginės inovacijos, retorinės inovacijos ir valdymo inovacijos (naujos sprendimų priėmimo formos, demokratiniai bruožai ir piliečių įsitraukimas) (Hartley ir kt., 2022).

Inovacijas kuriančios ir taikančios įmonės kuria naudą ne tik sau, bet ir visai ekonomikai, kadangi novatoriai gali tik iš dalies užkirsti kelią kitiems pasinaudoti jų sukurtomis inovacijomis, taip sukuriant žinių sklaidą, kuri sukuria naujovių naudą visoje ekonomikoje (Glaeser ir Lang, 2024). Inovacijų išskirtinė savybė yra įgyvendinimas, skiriantis inovacijas nuo išradimų, prototipų ir naujų idėjų, dėl to siekiant naują idėją, modelį, metodą ar prototipą paversti inovacija, ją reikia įgyvendinti, o sėkmingam įgyvendinimui pasiekti reikalingas sistemingas stengimasis užtikrinti, kad inovacija būtų prieinama potencialiems naudotojams (Oslo vadovas, 2018).

Taip pat dar vienas svarbus aspektas, skatinantis biotechnologijų sektoriaus inovacijas, yra lėšų skyrimas mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros veiklai (MTEP), kadangi tai rodo įmonės siekį atlikti naujus tyrimus ir įgyti naujų mokslo žinių (Liu ir Singh, 2024). Mokslinėje literatūroje atsispindi, kad MTEP yra svarbi dedamoji inovacijų kūrimo procesui, kadangi MTEP sukuria žinių fondą ir padidina būsimų mokslinių tyrimų potencialą, siekiant išnaudoti technologines galimybes (Sarpong ir kt., 2023). Frascati vadove (2015) teigiama, kad „moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (MTEP) – tai kūrybiškas ir sistemingas darbas, atliekamas siekiant plėsti turimas žinias, įskaitant žinias apie žmoniją, kultūrą ir visuomenę, ir rasti naujų tokių žinių pritaikymo būdų“. MTEP biotechnologijų srityje vaidina svarbų vaidmenį ir daro įtaką daugeliui sektorių (Jimenez ir kt., 2024). Investicijos į MTEP yra būtinos naujų žinių kūrimui bei gali pagerinti įmonės inovacinės veiklos rezultatus (Xu ir kt., 2021). Tarp investicijų į MTEP intensyvumo ir inovacinės veiklos rezultatų yra tiesioginis ryšys, lemiantis, kad išlaidos MTEP teigiamai veikia inovacijų plėtrą ir įmonės patentų skaičių. Žinių patentavimas apsaugo įmonių MTEP rezultatus, taip leidžiant išlaikyti išradimų teikiamą konkurencinį pranašumą (Xu ir kt., 2021).

Investicijos į MTEP matuoja indėlį į inovacijas, tačiau patentų ir patentais pagrįstų priemonių skaičius yra tiksliausias būdas įvertinti inovacijų rezultatus, kadangi patentų ekspertai atidžiai analizuoja patentuotas inovacijas ir vertina jų naujumą ir naudingumą, patentai yra gana tikslus pagrindinių inovacijų egzistavimo matas ir vienintelis inovacijų matas, tiesiogiai atspindintis visuomenei naujas inovacijas (Glaeser ir Lang, 2024). Patentai geriausiai parodo įmonės atsidavimą kuriant naujas technologijas, todėl patentų skaičius yra konkretus biotechnologijų naujovių rodiklis (Liu ir Singh, 2024).

MTEP veiklą paprastai sudaro keli procesai, nuo galimybių atpažinimo, projektavimo, kūrimo, gamybos iki įvedimo į rinką (Il ir Hwa, 2022). Vienas iš MTEP procesų modelių vaizduojamas 21 paveiksle.

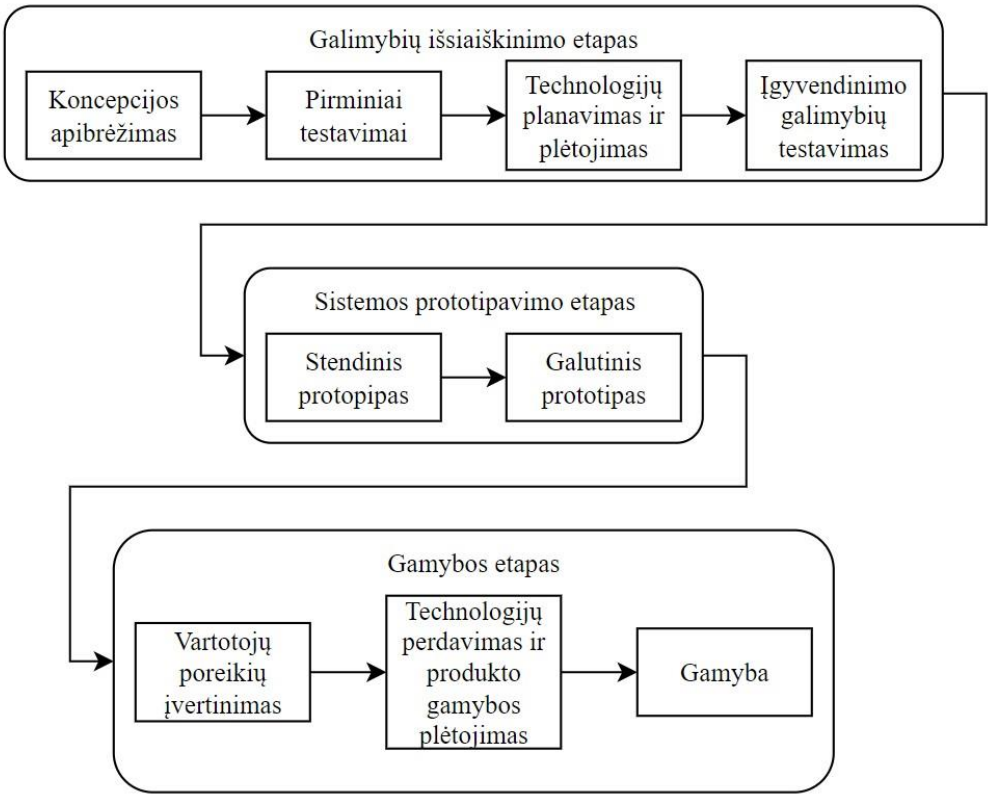


21 pav. Bendrinis MTEP procesų modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Il'u ir Hwa (2022)

MTEP procesas prasideda produkto planavimo etapu, po jo sudaroma produkto koncepcija ir pradedamas projektavimas, kuris susideda iš dviejų etapų: pirminis projektavimas ir detalusis projektavimas. Po to pradedami patikrinamieji bandymai ir testavimai ir kai rezultatai tenkina pradedamas gamybos procesas (Il ir Hwa, 2022) (žr. 21 pav.).

Panašų MTEP procesų modelį aprašo Verma ir kt. (2011) (žr. 22 pav.).

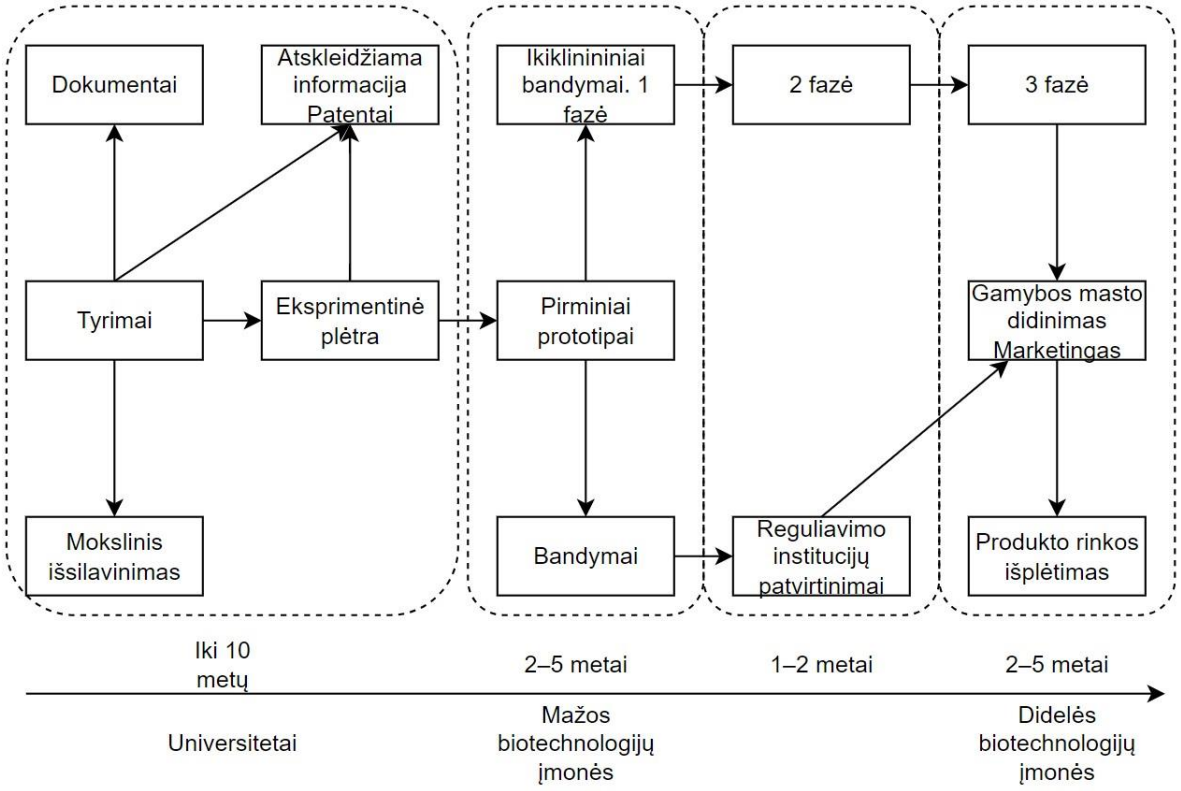


22 pav. MTEP procesų modelis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Verma ir kt. (2011)

Šiame modelyje MTEP procesų modelis suskirstomas į tris pagrindines dalis: galimybių išsiaiškinimo etapas, sistemos prototipavimo etapas ir gamybos etapas (žr. 22 pav.). Galimybių išsiaiškinimo etape apibrėžiama norimo projekto koncepcija ir pradedami pirmieji testavimai bei reikiamų technologijų planavimas ir įgyvendinimo galimybių testavimas. Sistemos prototipavimo etape kuriami prototipai, kuriuose galimybių išsiaiškinimo etape planuotos technologijos integruojamos į realią sistemą. Galiausiai, gamybos etape prototipo projektas perduodamas komercijos padaliniui, vykdyti gamybai (Verma ir kt., 2011).

23 paveiksle pateiktas MTEP procesų modelis biotechnologijų pramonėje.



23 pav. MTEP procesų modelis Biotechnologijų pramonėje

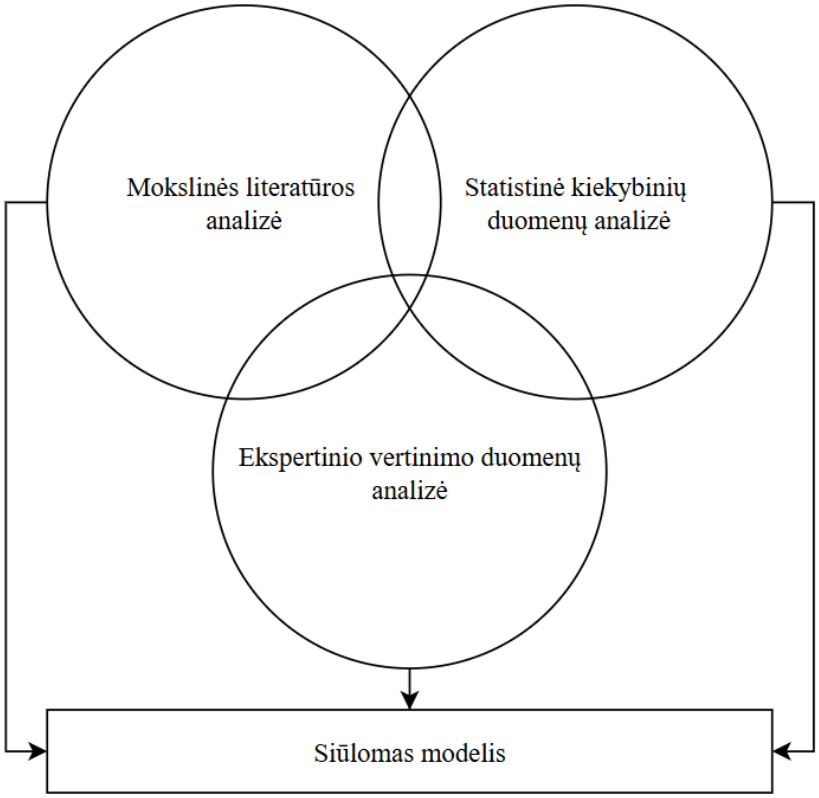
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Verma ir kt. (2011)

Šiame modelyje procesai išskirstyti į keturis etapus ir išskiriama orientacinė kiekvieno etapo trukmė. Pirmasis etapas apima įmonės lygmens MTEP veiklą, kurios metu atliekami įvairūs moksliniai tyrimai, kuriami patentai ir produktas paruošiamas bandymams. Pirmasis etapas yra ilgiausias ir gali užtrukti iki 10 metų ir dažniausiai jį atlieka universitetai ar kitos laboratorijos ar mokslinės įstaigos. Antrajame etape atliekami bandymai, kurių metu siekiama, kad produktas atitiktų saugos reikalavimus ir įrodytų savo veiksmingumą. Antrasis etapas trunka nuo 2 iki 5 metų ir jį dažniausiai atlieka mažesnės biotechnologijų įmonės. Trečiasis biotechnologinio produkto kūrimo proceso etapas yra reguliavimo etapas ir išleidimo į rinką įvertinimo etapas. Šis etapas trunka nuo 1 iki 2 metų. Galiausiai ketvirtajame vystoma gamybą ir komercializaciją ir produktas paleidžiamas į rinką. Šis etapas trunka apie 2–5 metus ir jį dažniausiai atlieka didelės biotechnologijų įmonės (Van Moorsel ir kt., 2007) (žr. 23 pav.).

Atlikta analizė rodo, kad inovacijų sąvoka yra plati ir kompleksiška, o skirtingi autoriai ją apibūdina skirtingai, tačiau daugiausiai autoriai išskiria naujumo ir įgyvendinimo svarbos dedamąsias. Nustatyta, kad biotechnologijų sektorius yra adaptyvus naujovėms ir tokie veiksniai, kaip patentai, investicijos į MTEP ir skaitmeninių technologijų taikymas, skatina biotechnologijų sektoriaus inovacijų kūrimą.

2. Metodologija, skirta biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo tyrimui Pramonės 4.0 iššūkių kontekste

Šiame magistro darbe taikoma literatūros analizė, statistiniai bei ekspertiniai tyrimo metodai. Magistro darbo metu vadovaujamasi tokia tyrimo metodika (žr. 24 pav.).



24 pav. Tyrimo metodika

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Mokslinis tyrimas – tai sudėtingas ir nevienalytis procesas, kuris apima: tyrimo planavimą, empirinio tyrimo etapą, mokslinės literatūros analizę ir statistinių duomenų apdorojimą bei gautų rezultatų praktinį pritaikymą (Kardelis, 2002). Mokslinės literatūros analizės metu siekiama įvertinti ar keliama mokslinė problema yra aktuali ir svarbi bei išanalizuoti kitų tyrėjų atliktus tyrimus susijusius su tiriama tematika bei išsiaiškinti esminius gautus rezultatus ir dar neišspręstus klausimus (Tautkevičienė, 2019). Mokslinė literatūra apima įvairius mokslinius darbus: monografijas, disertacijas, mokslinius straipsnius, tyrimų ataskaitas ir kt. Mokslinio tyrimo metu atliekamos mokslinės literatūros analizės tikslas yra metodologiškai pagrįsti tiriamąją analitinę dalį (Daubarienė, 2018). Atliekant mokslinės literatūros analizę naudojamos įvairios duomenų bazės: „Google Scholar“, „Emerald insight“, „Springer“, „Taylor & Francis“, „ScienceDirect“ ir kt. Ieškant mokslinių darbų šaltinių buvo taikomi tokie raktiniai

žodžiai kaip: biotechnologijos (*angl. biotechnology*), gamybos logistika (*angl. production logistics*), Pramonė 4.0 (*angl. industry 4.0*). Mokslinė literatūra buvo nagrinėjama trimis aspektais:

1. Biotechnologijų samprata ir sistematika.
2. Gamybos logistikos samprata ir galimi modeliai.
3. Pramonės 4.0 technologijų taikymas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesams gerinti.

Analizuojant mokslinę literatūrą buvo išanalizuotos galimos biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos. Reikalinga informacija buvo sintetinama ir susisteminta bei apibendrinta ir pateikta.

Šiame darbe atlikta statistinė analizė apima Lietuvos, pasaulio bei Europos statistinius duomenis. Statistiniai tyrimo metodai atliekami siekiant apibūdinti tiriamųjų reiškinių kiekybines charakteristikas, o atliekant kiekybinį tyrimą siekiama statistiškai pagrįsti kintamųjų ryšį. Statistinių duomenų rinkimui buvo naudojamos viešos statistinių duomenų bazės, tokios kaip OECD, European Commission, Lietuvos oficialiosios statistikos portalas, Eurostat ir kiti šaltiniai. Darbe taip pat taikyti aprašomosios statistikos metodai, kurie analizuoja kintamųjų grupavimą, padeda interpretuoti duomenis ir išgauti naudingas įžvalgas (Kasiulevičius ir Denapienė, 2008).

Statistinių duomenų tyrimo metu siekiama ištirti kokie faktoriai lemia biotechnologijų sektoriaus plėtrą. Tyrimo pradžioje taikoma aprašomoji statistika. Analizuojamas biotechnologijų ir bioekonomikos sektorių įmonių augimas Europoje, sukuriama pridėtinė vertė, investicijos MTEP veiklai bei inovacijas diegiančių įmonių pasiskirstymas. Analizuojamos biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos skaitmeninimo tendencijos.

Šiame magistro darbe atliekant kiekybinį tyrimą pasirinkta taikyti koreliacijos ir regresijos analizes, siekiant nustatyti dviejų tiriamų kintamųjų tarpusavio priklausomybę ir gauto ryšio stiprumą. Koreliacija tinkama naudoti, kai siekiama išmatuoti dviejų intervalinių kintamųjų tiesinę priklausomybę ir taip pat nusako ar egzistuoja tiesinis kintamųjų ryšys, tačiau nenusako ryšio atsiradimo priežasties (Čekanavičius ir Murauskas, 2014).

Siekiant įvertinti ryšio stiprumą tarp dviejų kintamųjų, įvertinamas Pirsono koreliacijos koeficientas, kuris apskaičiuojamas pagal formulę (Berman, 2016):

$$r = \frac{\sum(x-\overline{x})(y-\overline{y})}{\sqrt{\sum(x-\overline{x})^2}\sqrt{\sum(y-\overline{y})^2}} \quad (1)$$

x, y – kintamieji;

$\overline{x}, \overline{y}$ – kintamųjų vidurkiai.

5 lentelėje pateikta koreliacijos koeficiento reikšmių skalė rodo, jog koreliacijos koeficiento vertė galima intervale nuo -1 iki 1, gavus koeficiento reikšmę lygią nuliui, nustatoma, kad ryšys tarp rodiklių neegzistuoja (Pabedinskaitė, 2010).

5 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė

Labai stipri	**Stipri**	**Vidutinė**	**Silpna**	**Labai silpna**	**Nėra ryšio**	**Labai silpna**	**Silpna**	**Vidutinė**	**Stipri**	**Labai stipri**
-1	nuo -1 iki -0,7	nuo -0,7 iki -0,5	nuo -0,5 iki -0,2	nuo -0,2 iki 0	0	nuo 0 iki 0,2	nuo 0,2 iki 0,5	nuo 0,5 iki 0,7	nuo 0,7 iki 1	1

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Pabedinskaite (2010)

Siekiant nustatyti ar gauta koreliacija reikšminga ir nėra atsitiktinė, apskaičiuojama p reikšmė. P reikšmė – tai tikimybė, kad pakartojus analogišką tyrimą su tais pačiais parametrais būtų gauti kiti rezultatai ir parodo kokia yra tikimybė suklysti teigiant, jog parametrai skiriasi (Čekanavičius ir Murauskas, 2014). Tuomet apskaičiuota p reikšmė lyginama su reikšmingumo lygmeniu α = 0,05 ir gavus p vertę mažesnę arba lygią 0,05, koreliacija laikoma statistiškai reikšminga, o jei p reikšmė gaunama didesnė nei 0,05, tai koreliacija laikoma statistiškai nereikšminga.

Regresinė analizė atliekama siekiant prognozuoti ryšį tarp priklausomojo ir nepriklausomojo kintamųjų ir leidžia apskaičiuoti, kaip priklausomasis kintamasis keičiasi keičiantis nepriklausomajam kintamajam. Atliekant regresinę analizę reikia pasirinkti modelio tipą pagal duomenų pobūdį:

Tiesinės regresijos lygtis:

$$\overline{y}_x = ax + b \tag{2}$$

$\overline{y}_x$ – priklausomojo y vidutinė vertė, kai x turi tam tikrą reikšmę;

a, b, c – konstantos.

Atvirkštinė regresijos lygtis:

$$\overline{y}_x = a + \frac{b}{x} \tag{3}$$

Kvadratinė regresijos lygtis:

$$\overline{y}_x = ax^2 + bx + c \tag{4}$$

Laipsninė regresijos lygtis:

$$\overline{y}_x = ax^b \tag{5}$$

Rodiklinė regresijos lygtis:

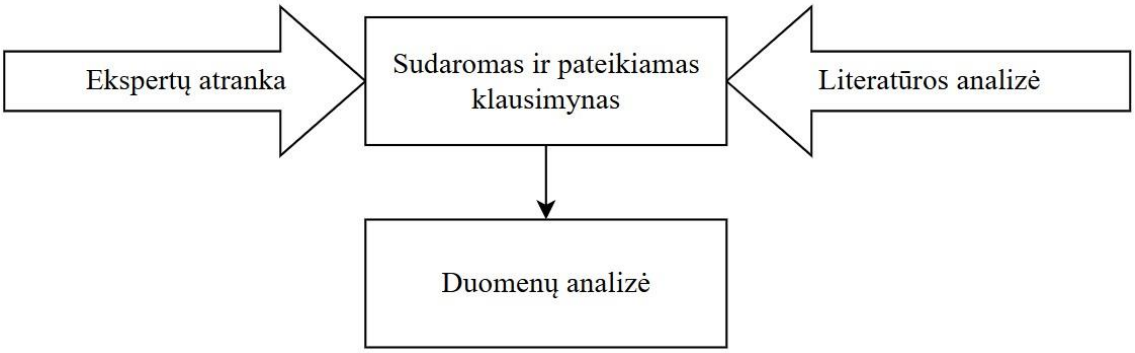
$$\overline{y}_x = ab^x \tag{6}$$

Siekiant įvertinti duomenų pasiskirstymą, skaičiuojamas determinacijos koeficientas R^2, kuris parodo, kaip gerai regresijos modelis paaiškina duomenis. Čekanavičius ir Murauskas

(2014) determinacijos koeficientą apibūdina kaip rodiklį, rodantį kiek skiriasi modeliuojamos ir tikrosios priklausomojo kintamojo reikšmės. Determinacijos koeficiento reikšmė gali būti intervale nuo 0 iki 1 ir kuo didesnė gauta determinacijos koeficiento reikšmė, tuo modelis tinkamesnis duomenims (Čekanavičius ir Murauskas, 2014).

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}-\overline{y})^2}{\sum(y_i-\overline{y})^2} \quad (7)$$

Remiantis išanalizuota moksline literatūra, tyrime buvo atlikta ekspertų apklausa, siekiant nustatyti biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančius veiksnius (žr. 25 pav.).



25 pav. Ekspertinio tyrimo schema

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kaip teigia Tidikis (2003), „ekspertų vertinimo metodas – specialiai parinktos grupės žmonių, kurie išmano tam tikrą sritį, specifinės rūšies apklausa“. Siekiant sėkmingai atlikti ekspertų vertinimo metodą, reikia atlikti šiuos etapus: tinkamai pasirinkti ekspertus, sudaryti anketą, atlikti ekspertų apklausą anketinės apklausos būdu, pateikti ekspertų vertinimą, atlikti ekspertinio vertinimo suderinamumo analizę ir galiausiai apibendrinti ekspertinį vertinimą (Lalas ir Merkevičius, 2023). Atliekant ekspertinį vertinimą taip pat svarbu, kad ekspertas turėtų pakankamai žinių ir patirties reikiamoje srityje, kad būtų galima jį laikyti patikimos informacijos šaltiniu ir ekspertų grupės nuomonė negali daug skirtis nuo tikrojo problemos sprendinio.

Kendalo suderinamumo koeficientas (Kendall’s W) naudojamas įvertinti, kiek ekspertų rangavimai sutampa ir jis skaičiuojamas taip (Legendre, 2005):

$$W = \frac{12\sum_{i=1}^{n}(R_i-\bar{R})^2}{p^2(n^3-n)-\mathrm{pT}} \quad (8)$$

R_i – eksperto i-ojo elemento rangų suma.

$\overline{R}$ – visų rangų vidurkis.

n – rangų skaičius (elementų skaičius).

p – ekspertų skaičius.

T – susietų eilių pataisos koeficientas.

Tyrime dalyvavo 9 ekspertai, kurių išsilavinimas nemažesnis nei magistro laipsnio ir turintys nemažesnę nei 10 metų patirtį biotechnologijų srityje.

Atlikus tyrimą gautas nuomonės suderinamumo Kendalo koeficientas yra 0,91 (detaliau apie tyrimą (3.1.3)). Remiantis atlikta mokslinės literatūros analize ir empirinio tyrimo rezultatais, sudaromas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo modelis. Modelis – tai vizualinė grafinė schema, kuri apima tam tikrų objektų, reiškinių, procesų arba jų sudėtinių dalių veikimo atskleidimą (Rimkutė ir kt., 2016).

3. BIOTECHNOLOGIJŲ SEKTORIAUS GAMYBOS LOGISTIKOS TENDENCIJŲ IR PRAKTIKOS TYRIMAS

3.1. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo tyrimas

3.1.1. Bioekonomikos ir biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijos

Vitunskienė ir kt. (2017) teigia, kad biotechnologijas yra nelengva identifikuoti pagal dabartinius ekonominės veiklos kodus ar klasifikatorius, nes biotechnologija yra ne produktas ar pramonės sritis, bet procesas, tačiau remiantis biotechnologijų samprata ir jos veiklų pobūdžiu, biotechnologijų sektoriui galima priskirti tokias ekonominės veiklos rūšis pagal EVRK2:

- žemės ūkio sektorius (A01), kuriame taikomos biotechnologijos;
- akvakultūros sektorius (A032), kuriame taikomos biotechnologijos;
- apdirbamosios gamybos veiklos sektoriai (C10–C23), kurių gamybos procesuose taikomos biotechnologijos;
- kitos veiklos, kuriose taikomos biotechnologijos (pvz., nuotekų valymas (C37));
- biotechnologijų moksliniai tyrimai ir taikomoji veikla (M7211);
- veterinarinė veikla (M75), kurioje taikomos biotechnologijos;
- ligoninių veikla (Q8610), kurioje taikomos biotechnologijos.

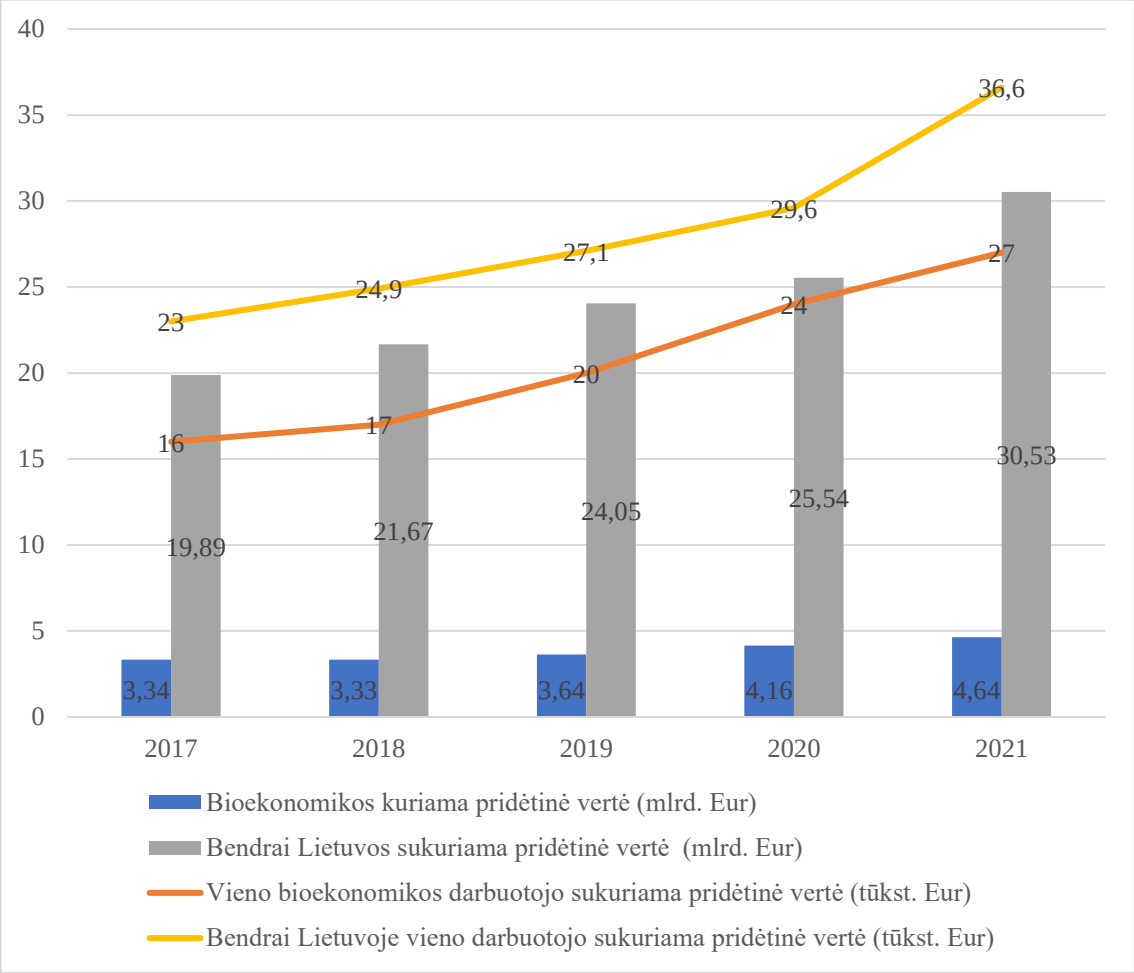
Bioekonomika apima daug skirtingų sektorių, dėl to bioekonomikai priskiriamos šios EVRK2 ekonominės veiklos rūšys (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Bioekonomikos klasifikavimas pagal EVRK2

Kodas EVRK 2 red.	Bioekonomikos subsektorius
Biomasės gamyba	
A01	Žemės ūkis (augalininkystė ir gyvulininkystė)
A02	Miškininkystė ir medienos ruoša
A03	Žvejyba ir akvakultūra
Pilnai biomase grįsta apdirbamoji gamyba	
C10–C12	Maisto produktų, gėrimų ir tabako gaminių gamyba
C16	Medienos ir jos gaminių gamyba
C17	Popieriaus ir jo gaminių gamyba
Dalinai biomase grįsta apdirbamoji gamyba	
C13–C15	Tekstilės, drabužių ir odos gaminių gamyba
C20	Chemijos produktų gamyba
C21	Vaistų ir farmacinių preparatų gamyba
C31–C32	Baldų ir kita gamyba

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Kargyte ir kt. (2020) bei Vitunskiene ir kt. (2017)

Bioekonomikos sektoriaus sukuriama pridėtinė vertė yra reikšminga Lietuvos ekonomikai ir palaipsniui auga (žr. 26 pav.).

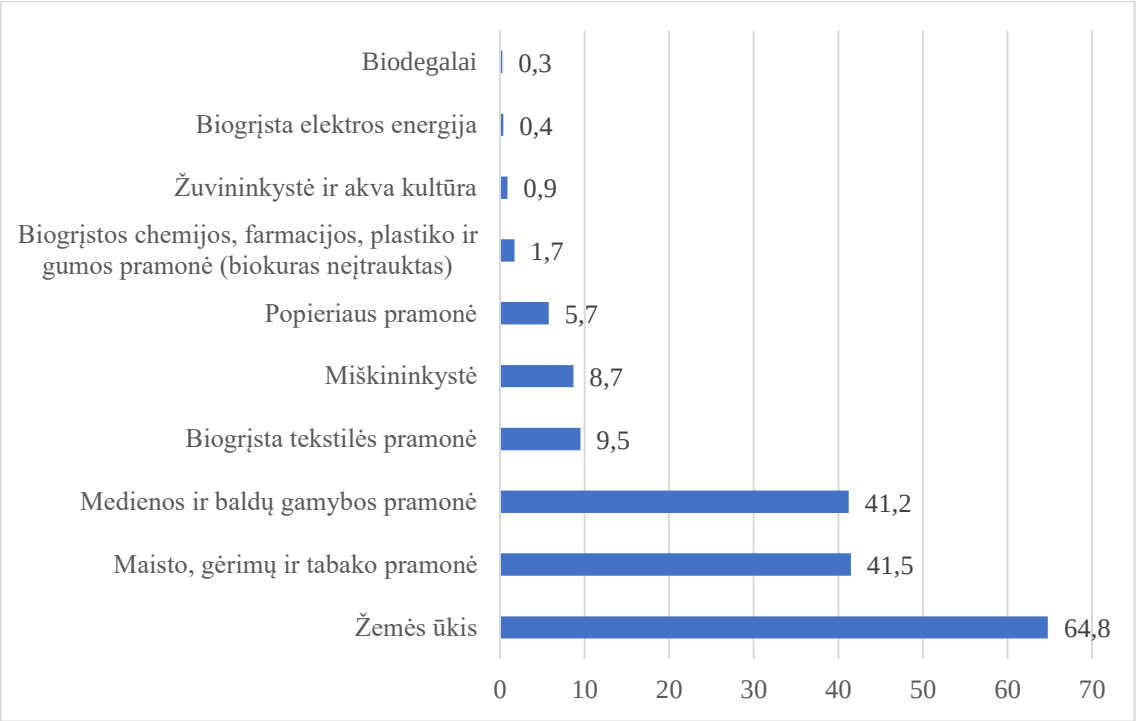


26 pav. Bioekonomikos kuriama pridėtinė vertė

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo ir Eurostat duomenimis

Per laikotarpį nuo 2017 m. iki 2021 m. bioekonomikos sukuriama pridėtinė vertė padidėjo 39 procentais nuo 3,34 mlrd. Eur iki 4,64 mlrd. Eur. Tačiau palyginus su bendrai Lietuvos sukuriama pridėtine verte, kuri per laikotarpį nuo 2017 m. iki 2021 m. padidėjo 53 procentais, bioekonomikos sukuriamos pridėtinės vertės augimas yra lėtesnis. Tačiau vieno bioekonomikos darbuotojo sukuriama pridėtinė vertė per laikotarpį nuo 2017 m. iki 2021 m. padidėjo 68,8 procentais, kai bendrai Lietuvoje vieno darbuotojo sukuriama pridėtinė vertė padidėjo 59,1 proc.

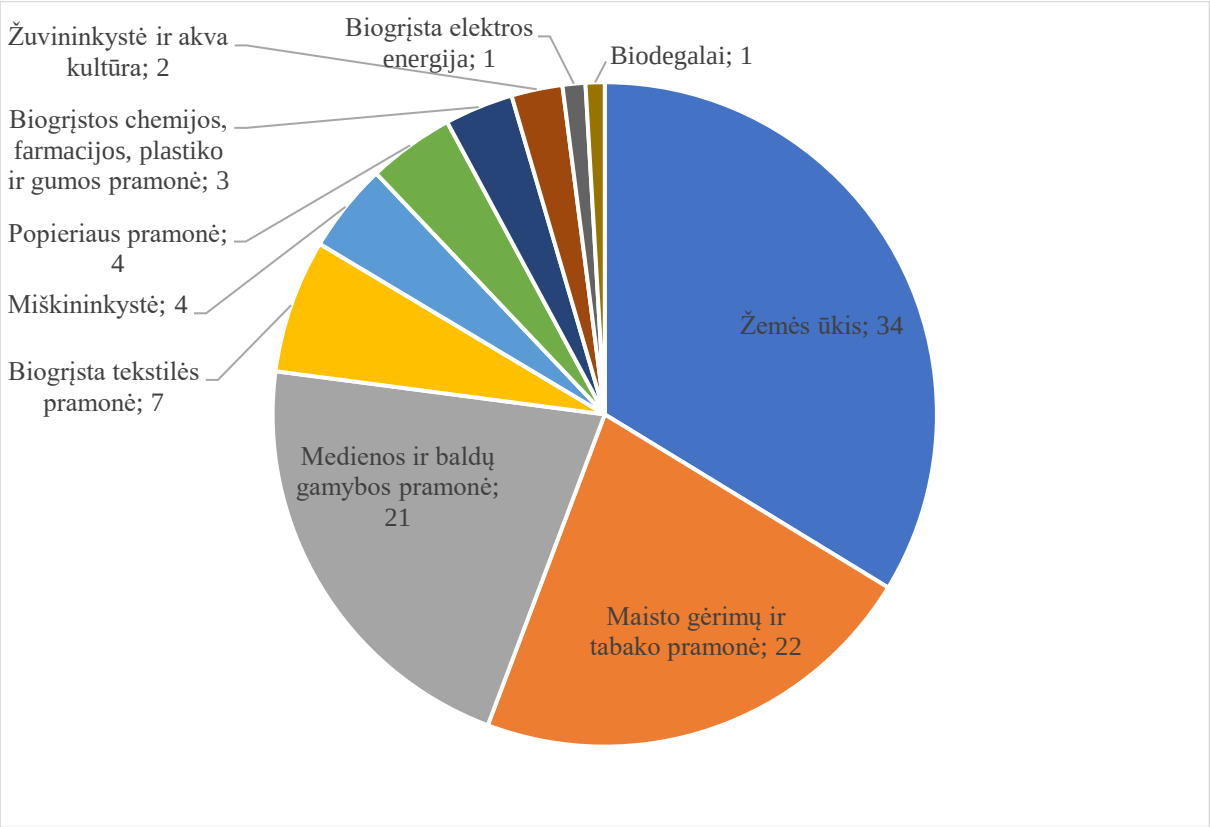
Bioekonomiką apimančiuose sektoriuose dirba daug Lietuvos gyventojų. 27 paveiksle matomas bioekonomikos sektorių darbuotojų skaičius 2021 metais Lietuvoje.



27 pav. Bioekonomikos sektorių darbuotojų skaičius 2021 m., tūkstančiais darbuotojų
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis

2021 metais Lietuvoje daugiausiai darbuotojų turintis bioekonomikos sektorius buvo A01 – žemės ūkio (augalininkystės ir gyvulininkystės), kuriame dirbo 64,8 tūkst. darbuotojų ir šio sektoriaus darbuotojų skaičius sudaro 37,1 proc. visų bioekonomikos sektoriaus darbuotojų. Antroje vietoje C10–C12 – maisto, gėrimų ir tabako gaminių gamyba, kuriame dirbo 41,5 tūkst. darbuotojų (23,7 proc.), o trečioje vietoje C16 ir C31 medienos ir jos gaminių gamybos bei baldų gamybos sektoriuose dirbo 41,2 tūkst. darbuotojų (23,6 proc.). C13–C15 – biologinės kilmės tekstilės, drabužių ir odos gaminių gamyboje dirbo 9,5 tūkst. darbuotojų (5,4 proc.). Kituose sektoriuose darbuotojų skaičius mažesnis ir A02 – miškininkystės ir medienos ruošos sektoriuje dirbo 8,7 tūkst. darbuotojų (5 proc.), C17 – popieriaus ir jo gaminių gamybos sektoriuje dirbo 5,7 tūkst. darbuotojų (5,4 proc.), C20–C22 – biologinės kilmės chemijos produktų, vaistų ir farmacijos preparatų gamyboje bei guminių ir plastikinių gaminių gamybos sektoriuose dirbo 1,7 tūkst. darbuotojų (5,4 proc.), o A03 – žvejybos ir akvakultūros sektoriuje dirbo 880 darbuotojų (5,4 proc.). Biogrįstos elektros energijos sektoriuje dirbo 399 darbuotojų (0,2 proc.), o mažiausiai darbuotojų buvo biodegalų sektoriuje ir siekė vos 270 darbuotojų (0,2 proc.).

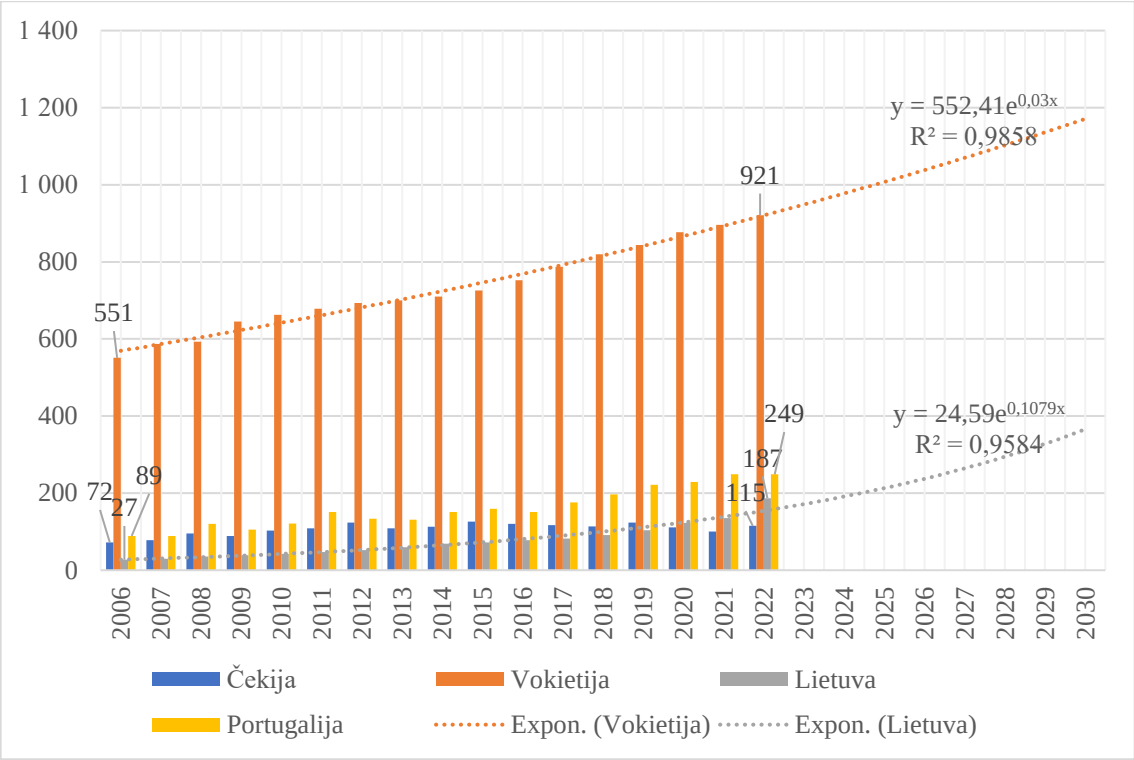
Bioekonomikos industrijų sukuriama pridėtinė vertė Lietuvoje 2021 metais pateikta 28 paveiksle.



28 pav. Lietuvos bioekonomikos industrijos sukuriama pridėtinė vertė 2021 m. (proc.)
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis

Didžiausią dalį (47 proc.) sudaro pilnai biomase grįsta apdirbamoji gamyba: maisto, gėrimų ir tabako pramonė (22 proc.), medienos ir baldų gamyba (21 proc.) bei popieriaus ir jo gaminių gamyba (4 proc.). 41proc. pridėtinės vertės bioekonomikos sektoriuje sudaro biomasės gamyba: žemės ūkis (34 proc.), miškininkystė bei medienos ruoša (4 proc.) ir žvejyba kartu su akvakultūra (3 proc.). Mažąją dalį (12 proc.) pridėtinės vertės sukūrė: biogrįstos chemijos, farmacijos, plastiko ir gumos pramonė (3 proc.), biogrįstos tekstilės pramonė (7 proc.), biodegalai (1 proc.), biogrįsta elektros energija (1 proc.).

Biotechnologijų taikymas per pastarąjį 20 metų sparčiai populiarėjo, dėl to galima pastebėti, kad Europoje biotechnologijų įmonių skaičius auga, o Lietuva šiame sektoriuje išsiskiria iš Europos išskirtinai sparčiai besikuriančiomis naujomis įmonėmis ir lyginant su kitomis Europos šalimis Lietuvoje stebimas didžiausias biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus augimas (žr. 29 pav.).

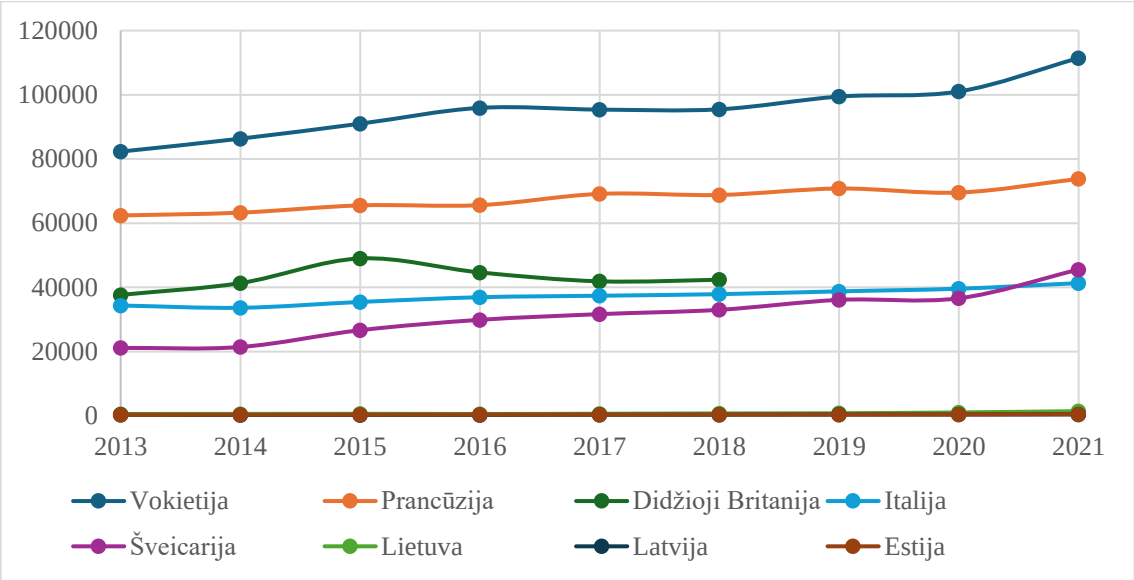


29 pav. Biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus augimas Europoje

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis OECD duomenimis

Remiantis OECD statistiniais duomenimis nustatyta, kad per 16 metų laikotarpį (nuo 2006 m. iki 2022 m.) biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje išaugo 6,93 karto (nuo 27 iki 187 įmonių), tuo tarpu Vokietijoje – 1,67 karto (nuo 551 iki 921 įmonių), Čekijoje – 1,6 karto (nuo 72 iki 115 įmonių) ir Portugalijoje – 2,8 karto (nuo 89 iki 249 įmonių). Atlikus Lietuvos ir Vokietijos biotechnologijų įmonių skaičiaus regresijos analizę gautos eksponentinės lygtys ir R^2 rodo, kad egzistuoja stiprus teigiamas eksponentinis ryšys, dėl to biotechnologijų įmonių skaičius tiek Lietuvoje, tiek Vokietijoje turi tendenciją augti. Prognozuojama, kad 2030 m. Lietuvoje biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius turėtų pasiekti apie 365 įmonių ir gauta R^2 reikšmė 0,9584 rodo, kad modelis labai gerai atitinka duomenis. Vokietijoje prognozuojama, kad 2030 m. biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius turėtų pasiekti apie 1170 įmonių ir gauta R2 reikšmė 0,9858 rodo, kad modelis labai gerai atitinka duomenis. Nors Vokietijoje šiuo metu yra daugiau biotechnologijų sektoriaus įmonių, tačiau prognozuojama, kad įmonių skaičiaus augimas Lietuvoje bus didesnis.

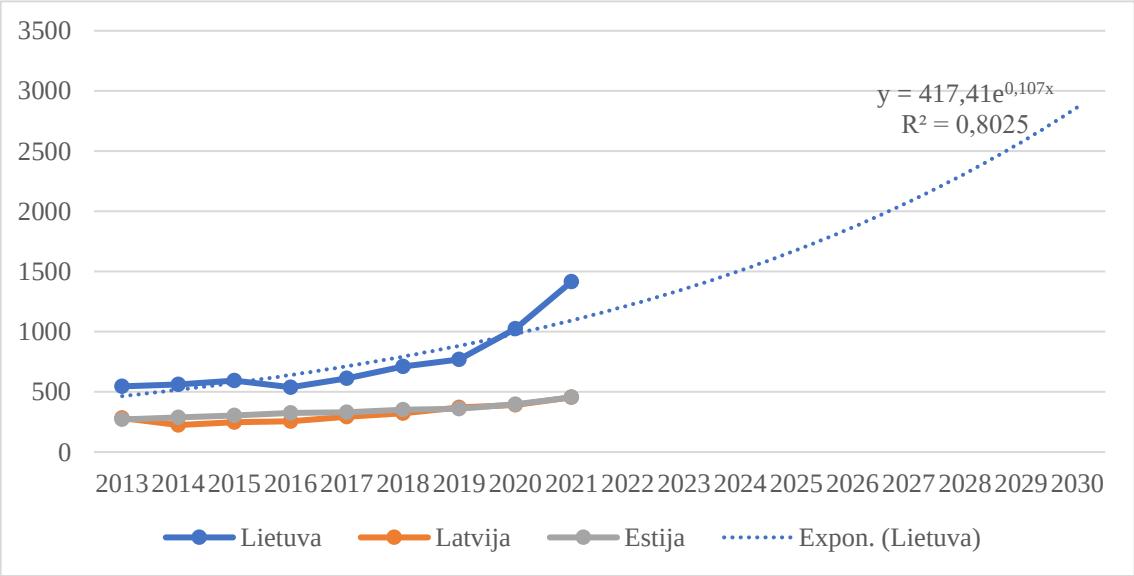
Atliekant biotechnologijų pramonės bendrosios pridėtinės vertės analizę naudojama Eurostat duomenų bazė bei surinkti biotechnologijų sektoriaus šakų duomenys (C20, C21, M72) (žr. 30 pav.). Bendroji pridėtinė vertė (BPV) (2010 m. ESS 9.31) apibrėžiama kaip produkcijos vertė bazinėmis kainomis, atėmus tarpinį vartojimą, įvertintą pirkėjų kainomis.



30 pav. Europoje pirmaujančios šalys pagal biotechnologijų pramonės sukuriamą BPV, mln. Eur
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis

30 paveiksle pateikti Europos šalių biotechnologijų pramonės sukuriamo BPV rodiklių duomenys nuo 2013 m. iki 2021 m. Remiantis Eurostat statistiniais duomenimis nustatyta, kad nuo 2013 m. iki 2021 m. didžiausią BPV sukuria Vokietija, Prancūzija. Vokietijos sukuriama BPV nuo 2013 m. iki 2021 m. padidėjo 35 procentų (nuo 82290 mln. Eur iki 111450 mln. Eur), o Prancūzijos padidėjo 18 procentų (62395 mln. Eur nuo iki 73792 mln. Eur).

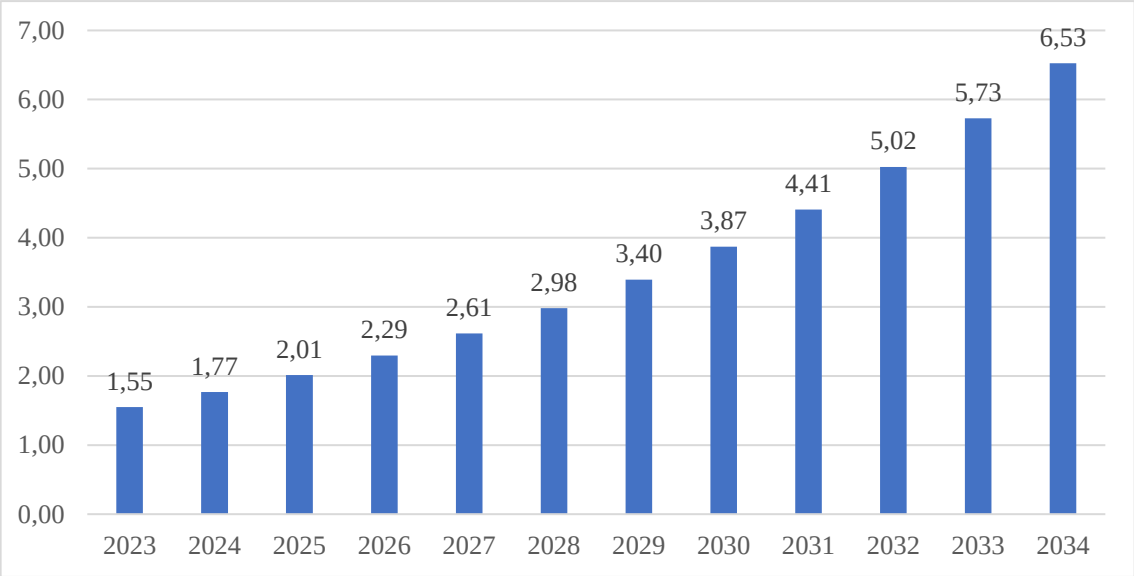
Kadangi palyginant su kitomis Europos šalimis Baltijos šalys sukūrė žymiai mažesnę BPV, dėl to bendrame grafike jų augimo nesimato. Norint stebėti Baltijos šalių BPV rodiklio augimą sudarytas atskiras grafikas (žr. 31 pav.).



31 pav. Baltijos šalyse pirmaujančios šalys pagal biotechnologijų pramonės sukuriamą BPV, mln. Eur.
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis

31 paveiksle matoma kaip Baltijos šalyse keitėsi biotechnologijų pramonės sukuriamo BPV rodikliai nuo 2013 m. iki 2021 m. Aiškiai pastebima, kad Lietuva tarp Baltijos šalių pirmauja ir BPV rodiklio vertė augo sparčiausiai. Nuo 2013 m. iki 2021 m. Lietuvoje BPV vertė padidėjo 2,6 karto (nuo 545 mln. Eur iki 1416 mln. Eur), padidėjo 68 proc. (nuo 271 mln. Eur iki 455 mln. Eur), o Latvijoje padidėjo 61 proc. (nuo 282 mln. Eur iki 455 mln. Eur). Atlikus Lietuvos BPV regresijos analizę, gauta eksponentė lygtis ir R^2 reikšmė rodo, kad egzistuoja stiprus teigiamas eksponentinis ryšys, dėl to biotechnologijų sukuriama BPV turi tendenciją augti ir 2030 m. pasiekti 2,86 mlrd. Eur. Gauta R^2 reikšmė 0,8025 rodo, kad modelis gerai atitinka duomenis.

„Grand View Research“ duomenimis pasaulinės biotechnologijų rinkos dydis 2023 m. buvo vertinamas 1,55 trilijonų JAV dolerių, o nuo 2024 m. iki 2030 m. prognozuojamas pasaulio biotechnologijų sektoriaus metinio augimo koeficientas (CAGR) yra 13,96 proc. (žr. 32 pav.).

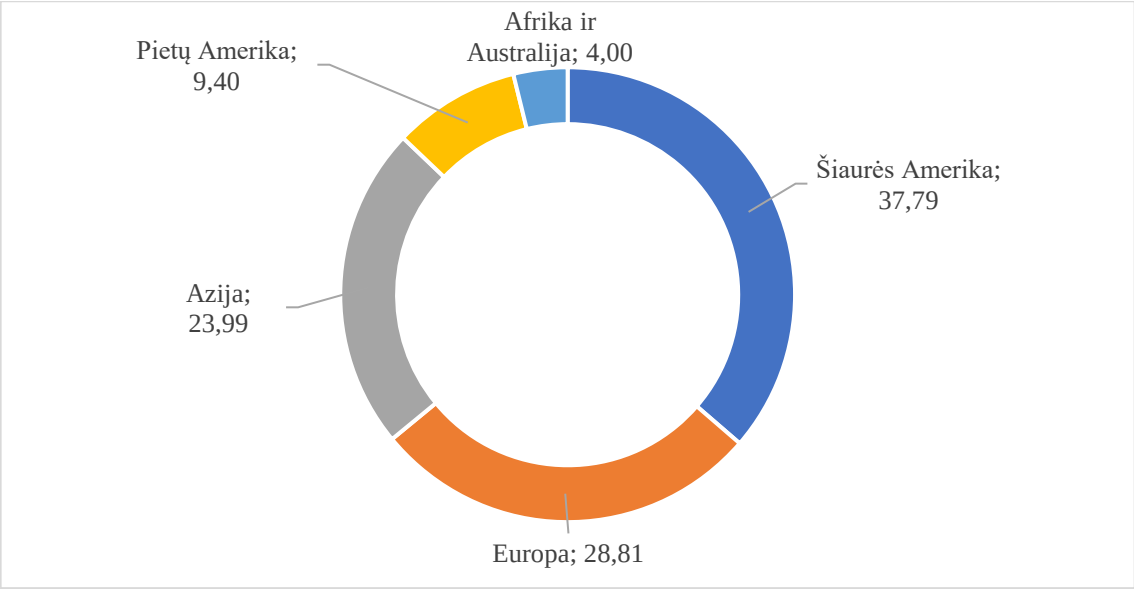


32 pav. Pasaulio biotechnologijų rinkos dydis, 2023–2034 m. (USD trilijonai)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Grand View Research duomenimis

Vertinant pagal prognozuojamą pasaulio biotechnologijų sektoriaus metinio augimo koeficiento (CAGR) vertę 13,96 proc., 2034 metais pasaulio biotechnologijų rinkos dydis padidėtų apie 4,2 kartus ir pasiektų 6,53 trilijonų JAV dolerių vertę.

Biotechnologijų rinka yra labai plati ir išplitusi per visą pasaulį (žr. 33 pav.).

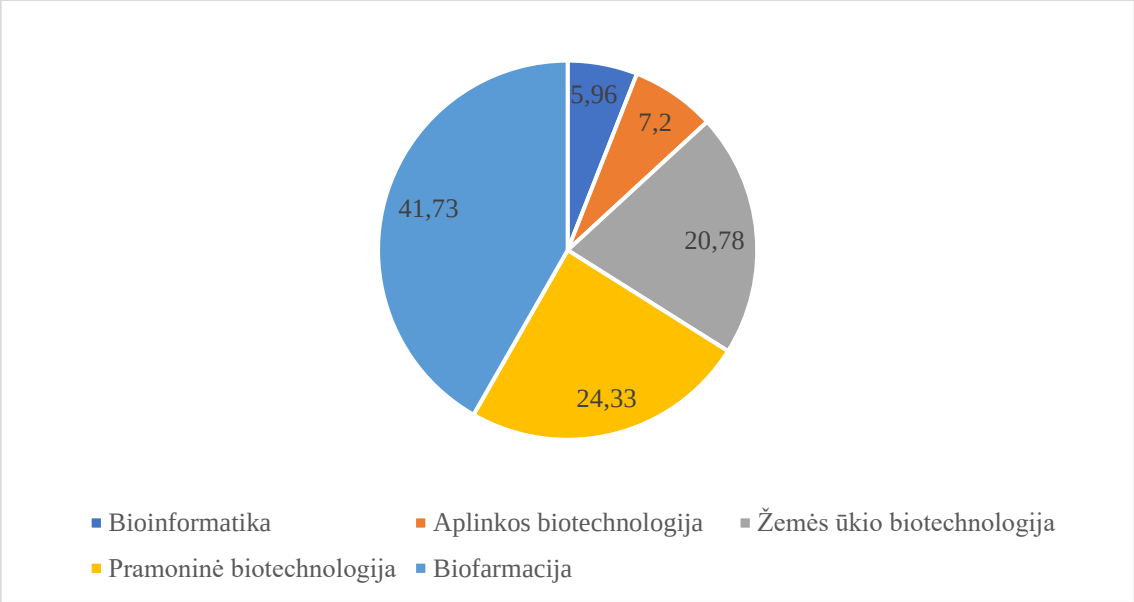


33 pav. Pasaulio biotechnologijų rinkos dalis pagal regioną, 2023 m. (proc.)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Precedence research duomenimis

Didžiausią biotechnologijų rinkos dalį užima Šiaurės Amerika 37,79 proc., antroje vietoje Europa, kuri užima 28,81 proc. rinkos dalies, trečioje vietoje Azija, kurios rinkos dalis yra 23,99 proc. Pietų Amerika užima 9,4 proc. rinkos dalies, o Afrika ir Australija užima 4 proc. rinkos dalies.

Biotechnologijos gali būti taikomos skirtingose srityse, dėl to kiekvienas biotechnologijų sektorius užima skirtinga dalį rinkos (žr. 34 pav.).

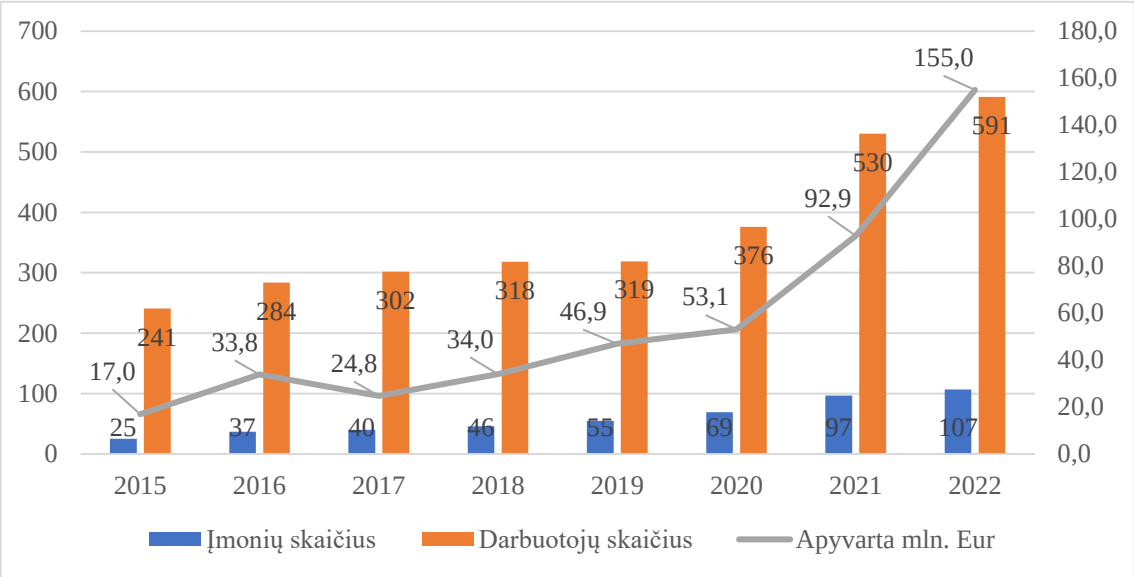


34 pav. Biotechnologijų rinkos dalis pagal taikymą 2023 m. (proc.)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Precedence Research duomenimis

Skirstant biotechnologijas pagal sektorius, pastebima, kad didžiausią pasaulio rinkos dalį 2023 m. užima trys biotechnologijų sritys: biofarmacija 41,73 proc., pramoninė biotechnologija 24,33 proc. ir žemės ūkio biotechnologijos 20,78 proc. Mažiausią pasaulio rinkos dalį užima aplinkos biotechnologijos 7,2 proc. ir bioinformatika 5,96 proc.

Biotechnologijų MTEP sektorius yra labai svarbus visam biotechnologijų sektoriui, kadangi jo dedamoji daro didelę įtaką visam biotechnologijų sektoriui. Lietuvos biotechnologijų MTEP srities verslo aktyvumas nuo 2015–2022 m. nuolat augo (žr. 35 pav.).

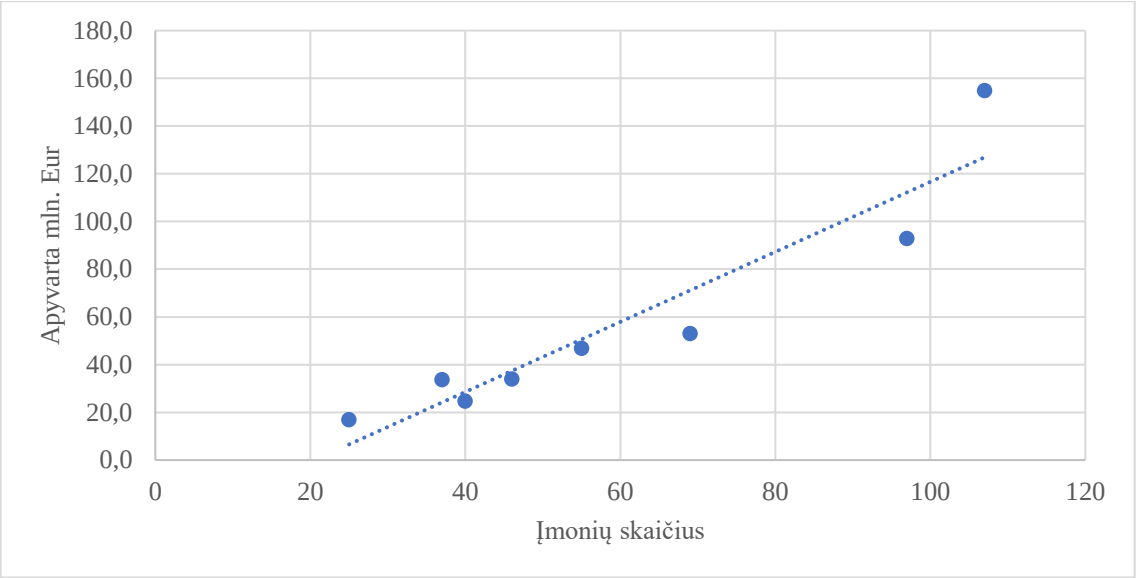


35 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) statistiniai rodikliai verslo sektoriuje

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis KURK LT duomenimis

Įmonių skaičius biotechnologijų MTEP srityje per 2015–2022 m. laikotarpį padidėjo 4,28 karto. Darbuotojų skaičius per 2015–2022 m. laikotarpį padidėjo 2,45 karto, o apyvarta išaugo net 9,14 karto, nuo 17 iki 155 mln. Eur.

Siekiant įvertinti Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus įmonių skaičiaus įtaką Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvartai, atliekama koreliacijos analizė (žr. 36 pav.).

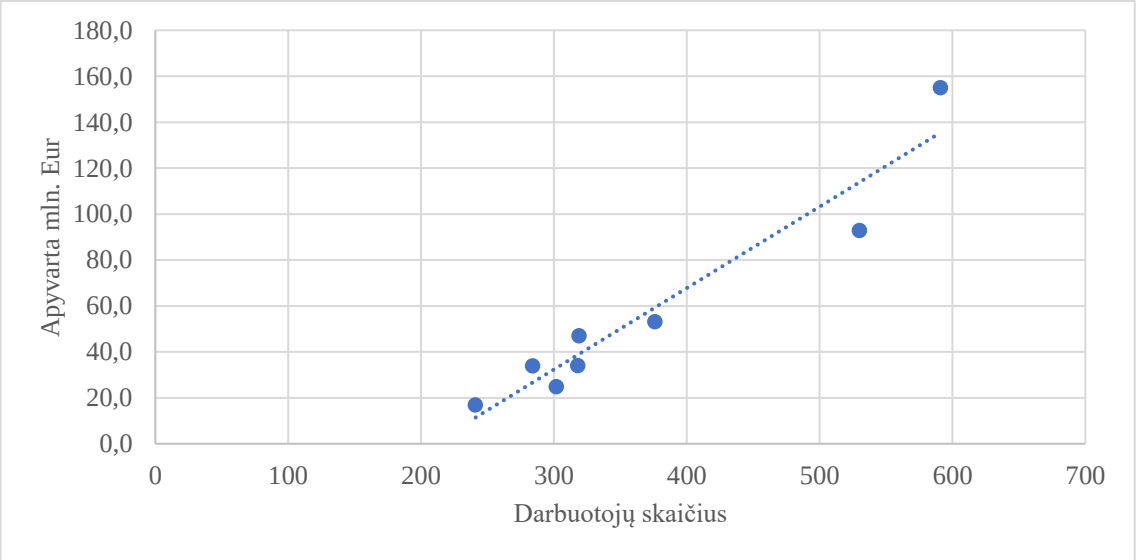


36 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) įmonių skaičiaus ir apyvartos koreliacija

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis KURK LT duomenimis

Atlikta koreliacija rodo, kad Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus įmonių skaičius stipriai koreliuoja su Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvarta, nes gautas koreliacijos koeficientas 0,985, $p < 0,001$. Dėl to galima teigti, kad įmonių steigimas tiesiogiai prisideda prie apyvartos didinimo.

Siekiant įvertinti Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus darbuotojų skaičiaus įtaką Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvartai, atliekama koreliacijos analizė (žr. 37 pav.).

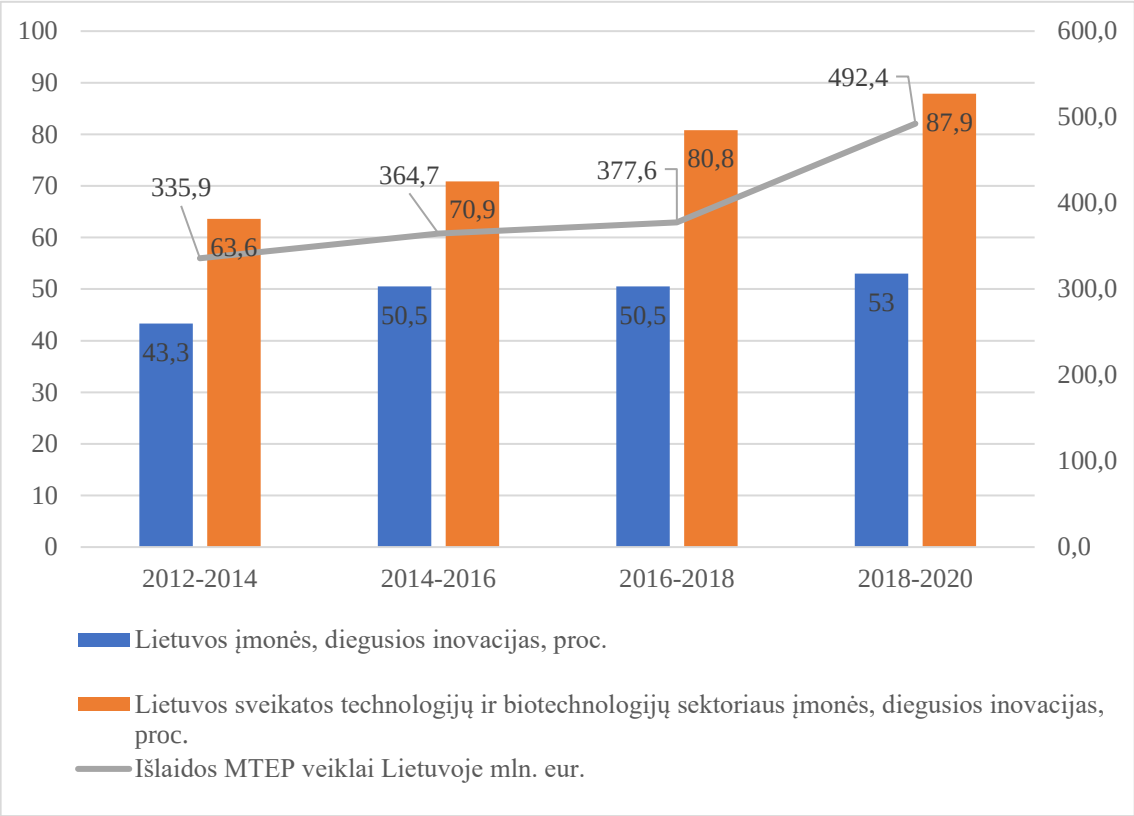


37 pav. Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) darbuotojų skaičiaus ir apyvartos koreliacija

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis KURK LT duomenimis

Atlikta koreliacija rodo, kad Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus darbuotojų skaičius stipriai koreliuoja su Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvarta, nes gautas koreliacijos koeficientas 0,962, $p < 0,001$. Dėl to galima teigti, kad darbuotojų didinimas tiesiogiai prisideda prie apyvartos didinimo.

Inovacijų diegimas yra vienas iš pagrindinių veiksnių siekiant konkurencinio pranašumo ir siekiant stiprinti įmonės poziciją rinkoje (Almeida ir kt., 2020). Per pastarąjį dešimtmetį Lietuvoje inovacijas diegusių įmonių vis daugėja (žr. 38 pav.).

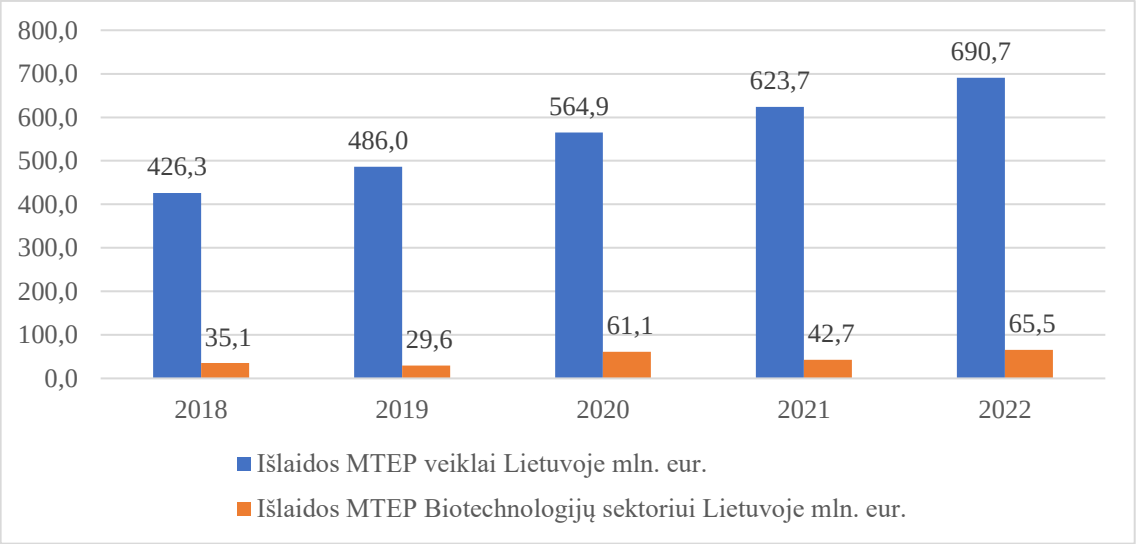


38 pav. Lietuvos įmonės diegiančios inovacijas ir išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis

Remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis nustatyta, kad sveikatos technologijų ir biotechnologijų sektorius yra labiau grįstas inovacijomis nei dauguma kitų Lietuvos sektorių, dėl to 38 paveiksle matome, kad sveikatos technologijų ir biotechnologijų sektorius įmonių, diegiančių inovacijas, procentas yra didesnis nei bendrai Lietuvos įmonių diegiančių inovacijas. 2012–2014 metų laikotarpiu 43,3 procentai Lietuvos įmonių diegė inovacijas, o 2018–2020 metų laikotarpiu inovacijas diegiančių įmonių Lietuvoje padidėjo iki 53 procentų. Sveikatos technologijų ir biotechnologijų sektoriaus įmonių diegusių inovacijas 2012–2014 metų laikotarpiu buvo 63,6 procentai, o 2018–2020 metų periode įmonių diegusių inovacijas padaugėjo iki 87,9 procentų. Sveikatos ir biotechnologijų sektoriuje

inovacijas diegiančių įmonių kas metus daugėja vidutiniškai po 3 procentus, o bendrai inovacijas diegiančių įmonės Lietuvos vidurkis kasmet auga po 1,2 proc.

Biotechnologijų sektorius yra neatsiejamas nuo MTEP veiklos plėtojimo (žr. 39 pav.).

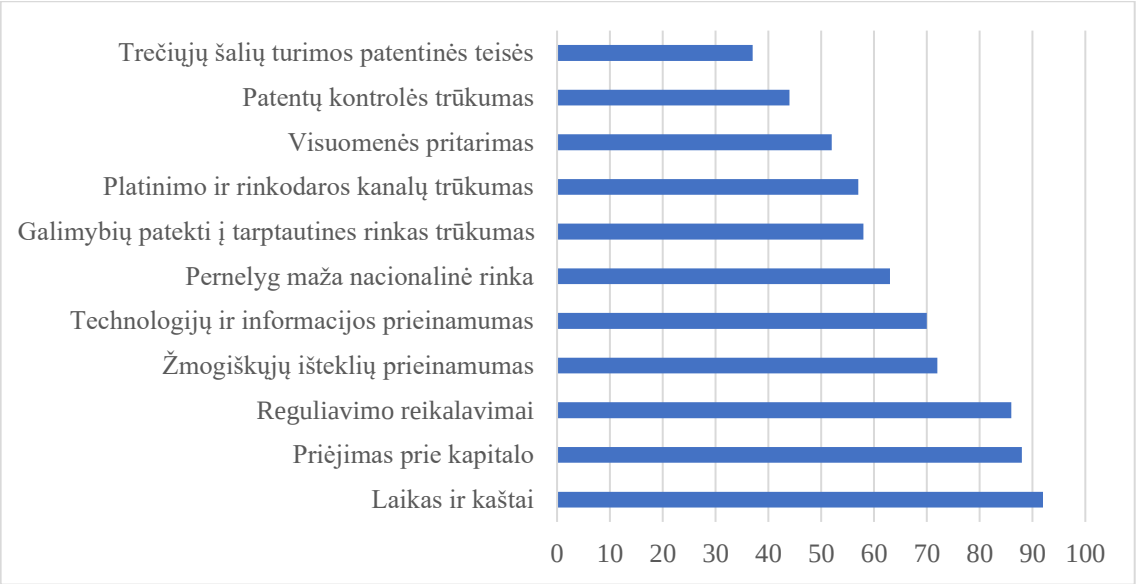


39 pav. Lietuvos įmonių išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis

Tyrimo metu nustatyta, kad išlaidos bendrai MTEP veiklai Lietuvoje 2018 m. siekė 426,3 mln. Eur bei kas metus didėjo vidutiniškai po 12,8 proc. ir 2022 m. pasiekė 690,7 mln. Eur. Biotechnologijų sektoriuje išlaidos MTEP veiklai didėjo nepastoviai. 2018 m. išlaidos MTEP veiklai siekė 35,1 mln. Eur, o 2022 m. pasiekė 65,5 mln. Eur ribą. Per 4 metų laikotarpį (nuo 2018–2020 m.) bendros išlaidos Lietuvoje MTEP veiklai padidėjo 162 procentais, o išlaidos biotechnologijų sektoriaus MTEP veiklai padidėjo 186,6 procentais.

Siekiant identifikuoti kokios yra pagrindinės kliūtys sėkmingam MTEP veiklos vykdymui biotechnologijų srityje, Eustat atliko tyrimą (žr. 40 pav.).

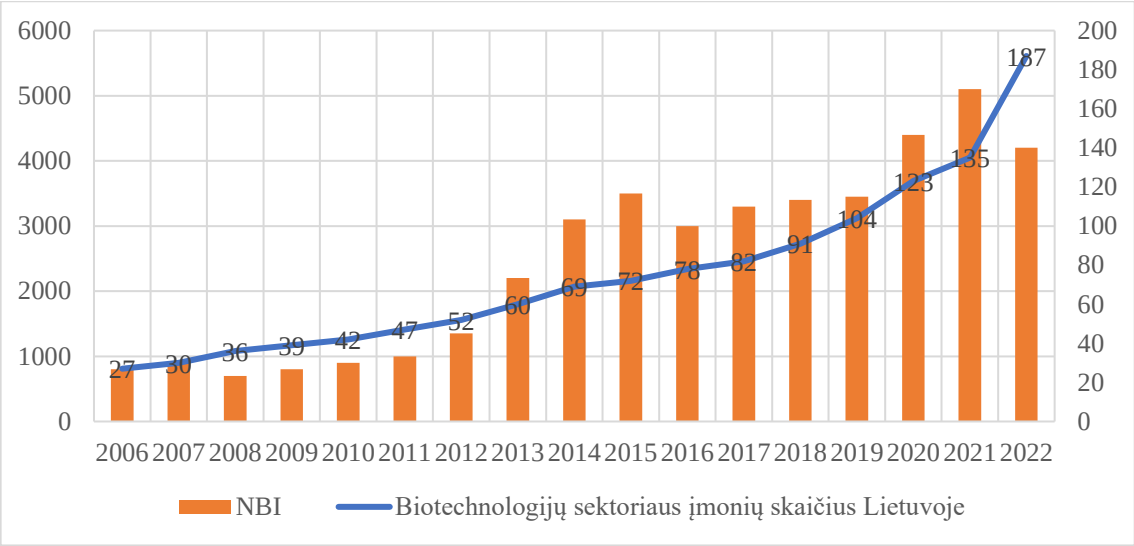


40 pav. Kliūtys vykdant MTEP plėtrą biotechnologijų srityje

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eustat duomenimis

Šiame tyrime identifikuota, kad didžiausios kliūtys MTEP plėtrai biotechnologijų sektoriuje yra: laikas ir kaštai, galimybės gauti kapitalą ir reguliavimo reikalavimai. Pagrindinė kliūtis, kurią įvardijo didžioji dalis respondentų yra laikas ir kaštai (92 proc.), kadangi biotechnologiniams projektams būdingas ilgas realizavimo ciklas ir reikalingos didelės išlaidos, taip apsunkinant įmonių gebėjimą greitai adaptuotis ir plėsti MTEP veiklą. Antroje vietoje pagal respondentus yra galimybės gauti kapitalą (88 proc.) ir trečioje vietoje reguliavimo reikalavimai (86 proc.). Griežti reguliavimo reikalavimai susiję su naujų produktų ir technologijų patvirtinimu bei griežtas ir sudėtingas patvirtinimo procesas sukelia kliūtis MTEP plėtrai.

NBI (NASDAQ Biotechnologijų indeksas) rodo pasaulio biotechnologijų sektoriaus įmonių akcijų bendrą vertę. Jei NBI indekso vertė kyla, tai rodo, kad daugumos įmonių akcijų vertė taip pat auga ir priešingai jei indekso vertė mažėja, tai gali reikšti, kad daugumos įmonių akcijų vertė mažėja (žr. 41 pav.).

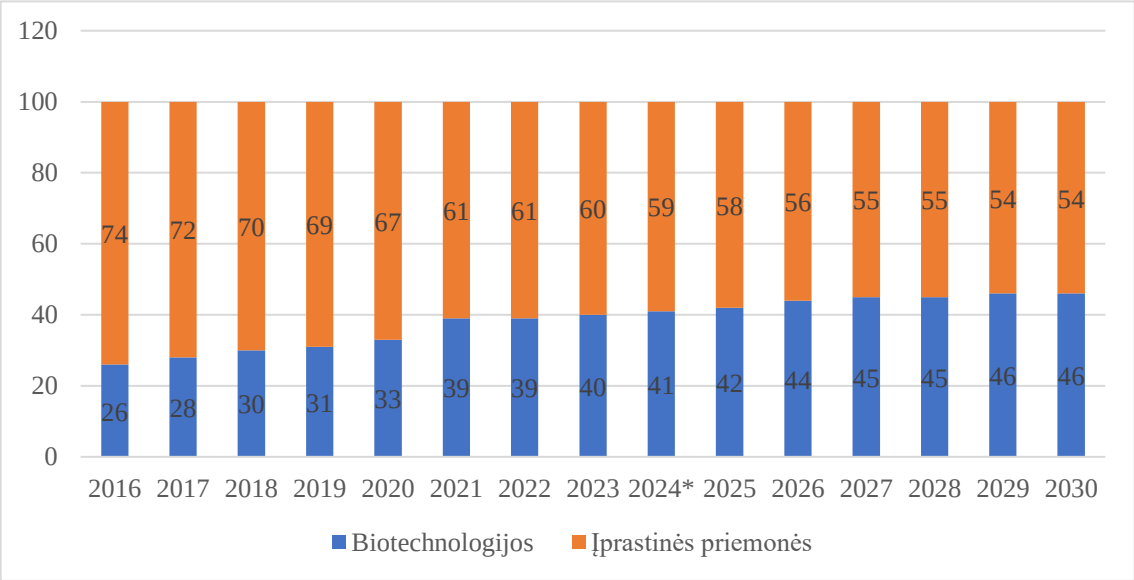


41 pav. Biotechnologijų įmonių skaičiaus augimo Lietuvoje ir NBI indeksas

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis OECD ir NASDAQ biotechnology index biržos duomenimis

Lietuvos biotechnologijų sektoriaus pramonė yra labai integruota į tarptautines biotechnologijų vertės grandines ir tai patvirtina, kad didėjant NASDAQ biotechnologijų indeksui didėja ir Lietuvoje besikuriančių įmonių skaičius (šie rodikliai stipriai koreliuoja, koreliacijos koeficientas 0,88, $p < 0,001$).

Biotechnologijų pritaikymas farmacijoje pastaraisiais metais vis populiarėja bei keičia farmacijos pramonę, kadangi biotechnologijos leidžia panaudoti gyvas sistemas ir organizmus farmacijos produktams kurti. Biotechnologijomis paremtų vaistų rinka užima vis daugiau pardavimų dalies lyginant su įprastomis vaistų gaminimo priemonėmis (žr. 42 pav.).



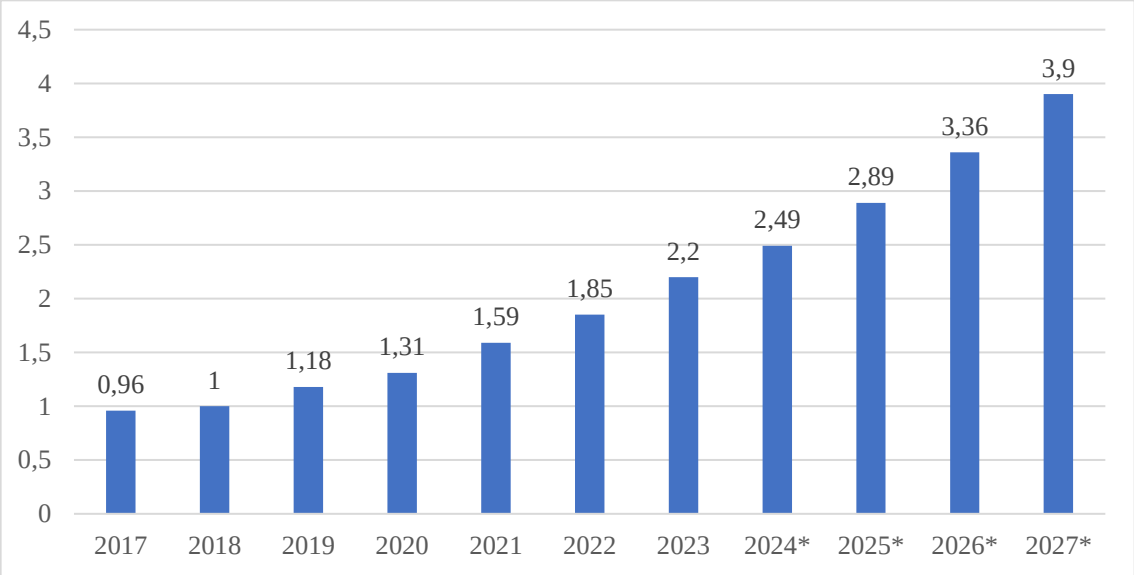
42 pav. Pasaulinės farmacijos rinkos pardavimai suskirstyti pagal technologijas

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Statista duomenimis

42 paveiksle vaizduojama biotechnologijomis ir įprastomis technologijomis kuriamų vaistų pardavimų proporcijos palyginimas išreikštas procentine dalimi. Nuo 2016 metų iki 2024 metų biotechnologijomis paremtų vaistų pardavimų procentas didėjo lyginant su įprastomis priemonėmis gaminamų vaistų, taip užimant vis didesnę dalį rinkos. Prognozuojama, kad biotechnologijomis kuriamų vaistų pardavimai ir toliau didės ir 2030 metais beveik susilygins ir pasieks 46 proc., o įprastomis priemonėmis gaminamų vaistų rinka užims tik 54 procentus. 2016 metais biotechnologijomis paremtų vaistų pardavimai siekė 26 proc., taikant įprastas vaistų gamybos technologijas siekė 74 proc., o 2024 metais biotechnologijomis kuriamų vaistų pardavimai padidėjo beveik 1,6 karto ir pasiekė 41 proc., o taikant įprastas vaistų gamybos technologijas siekė 59 proc. Vidutiniškai nuo 2016 m. iki 2024 m. biotechnologijomis kurtų vaistų pardavimai kasmet didėjo po 1,9 proc. Prognozuojamas kasmetinis biotechnologijomis grįstų vaistų pardavimo augimas nuo 2024 m. iki 2030 m. yra vidutiniškai po 0,83 proc.

3.1.2. Skaitmeninių technologijų diegimo biotechnologijų pramonėje tendencijos

Kadangi skaitmeninės technologijos nuolat tobulėja ir jų integravimas sukuria naujas galimybes ir pagerina įmonės veiklą, vis daugiau įmonių diegia skaitmenines technologijas ir tam išleidžia vis didesnes sumas pinigų. 43 paveiksle pateiktos išlaidos skaitmeninių technologijų diegimui pasaulyje.

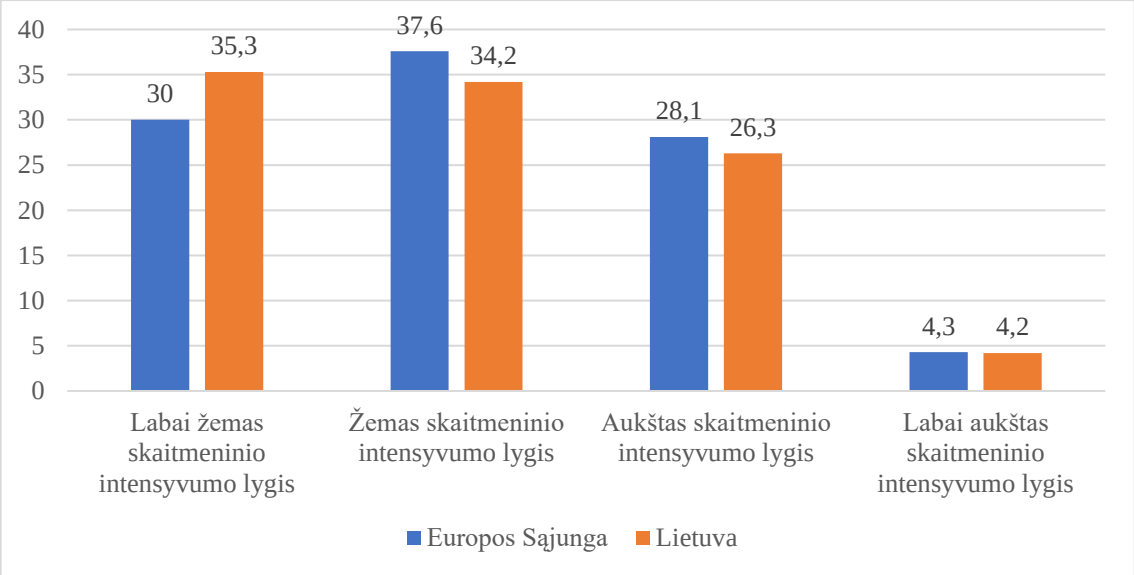


43 pav. Išlaidos skaitmeninių technologijų diegimui pasaulyje (trilijonų JAV dolerių)
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Statista ir IDC duomenimis

Kadangi organizacijos ir toliau sparčiai diegia skaitmenines technologijas, remiantis IDC ir Statista duomenimis prognozuojama, kad dėl investicijų augimo į skaitmenines

technologijas, rinka augs apytiksliai po 16,2 proc. per metus ir pasaulio išlaidos skaitmeninei transformacijai vykdyti 2027 m. gali pasiekti 3,9 trilijonus JAV dolerių.

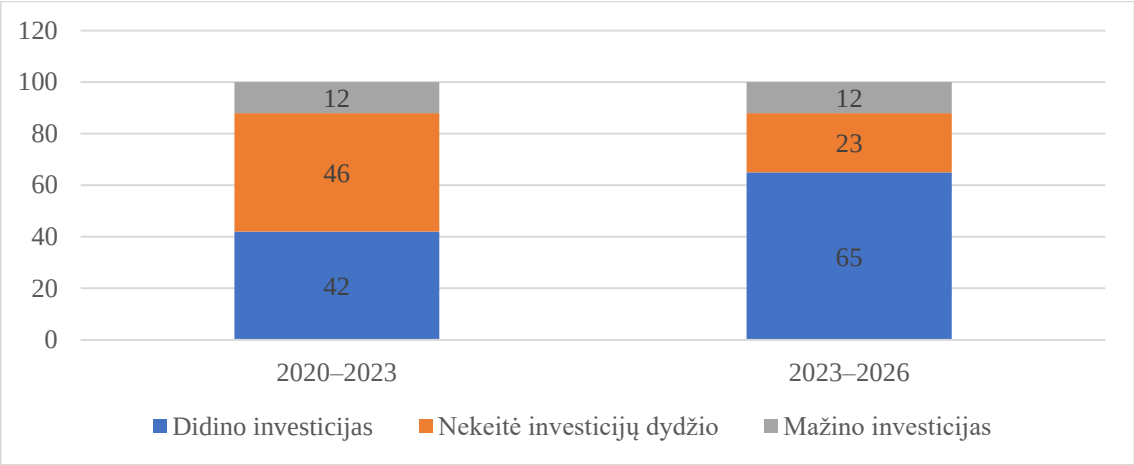
44 paveiksle pateikiami duomenys apie Lietuvos ir Europos Sąjungos įmonių skaitmeninio intensyvumo lygių pasiskirstymą 2022 m.



44 pav. Skaitmenio intensyvumo lygis Lietuvos ir Europos įmonėse 2022 m. (proc. nuo įmonių)
Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis

Skaitmeninis intensyvumas stebimas pagal skaitmeninio intensyvumo indeksą, kuriuo vertinamas 12 skirtingų skaitmeninių technologijų naudojimas įmonėse. Skaitmeninis intensyvumas atspindi įmonių skaitmeninių technologijų taikymą. Kai įmonės taiko iki 3 skaitmeninių technologijų, skaitmeninio intensyvumo lygis laikomas labai žemu, kai nuo 4 iki 6 skaitmeninių technologijų – žemu, kai nuo 7 iki 9 skaitmeninių technologijų – aukštu ir kai nuo 10 iki 12 skaitmeninių technologijų – labai aukštu. Lietuva lyginant su Europos Sąjungos vidurkiu 2022 m. šiek tiek atsilieka pagal skaitmeninį intensyvumą įmonėse. 44 paveiksle pateikiami duomenys suteikia galimybe palyginti Lietuvos skaitmenizacijos lygį su Europos Sąjungos vidurkiu ir galima stebėti, kad Lietuvoje vis dar dominuoja įmonės su žemu skaitmeniniu intensyvumu, kadangi Lietuvoje net 35,3 proc. įmonių turi labai žemą skaitmeninio intensyvumo lygį, kai Europos Sąjungos vidurkis siekia 30 proc. Tačiau aukšto intensyvumo lygio įmonių skaičius Lietuvoje beveik toks pat kaip ir Europos Sąjungos vidurkis.

Gyvybės mokslų sektorius yra imlus skaitmeninimui ir siekiant tobulinti savo veiklą įmonės diegia įvairias skaitmenines technologijas. 45 paveiksle pateikti McKinsey & Company atlikto tyrimo duomenys vaizduojantys apklaustų įmonių investicijas į logistikos skaitmenines technologijas gyvybės mokslų sektoriuje.

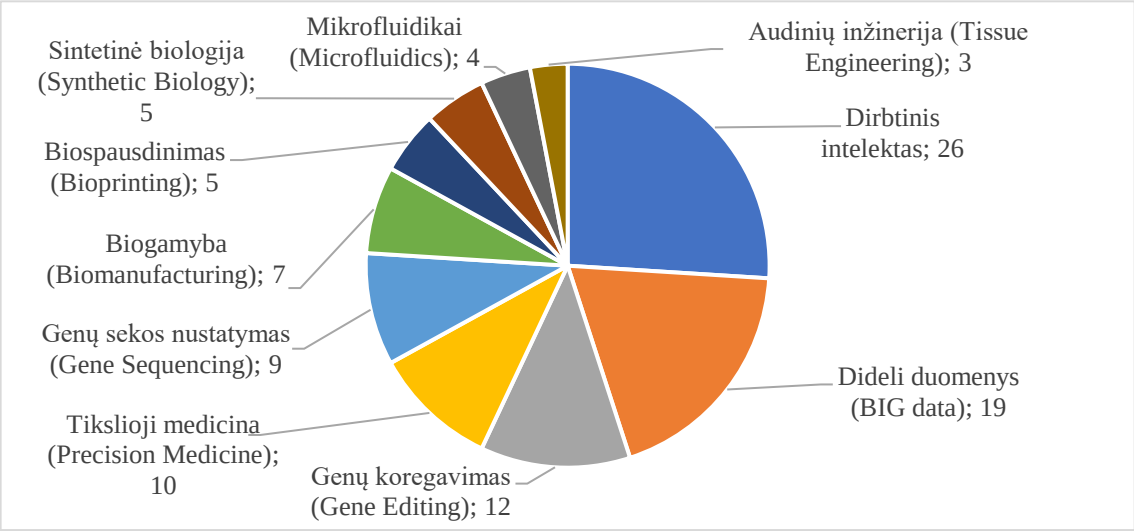


45 pav. Investicijos į logistikos skaitmenines technologijas gyvybės mokslų sektoriuje (proc. nuo apklaustų įmonių)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis McKinsey & Company tyrimo duomenimis

Tarp apklaustų gyvybės mokslų sektoriaus įmonių, 2020–2023 m. laikotarpiu 42 proc. įmonių didino investicijas į logistikos skaitmeninių technologijų diegimą, 46 proc. nekeitė investicijų dydžio ir 12 proc. mažino investicijas. Kadangi dauguma įmonių numato skaitmenizacijos plėtrą, laikotarpiu nuo 2023 iki 2026 m. net 65 proc. įmonių planuoja didinti investicijas, 23 proc. planuoja nekeisti investicijų dydžio ir 12 procentų planuoja mažinti investicijų dydį.

46 paveiksle pateikiamos naujausių technologijų integravimo į biotechnologijų sektorių tendencijos 2024 metams bei grafike vaizduojamas prognozuojamas kiekvienos technologijos poveikio dydis biotechnologijų sektoriaus įmonėms.

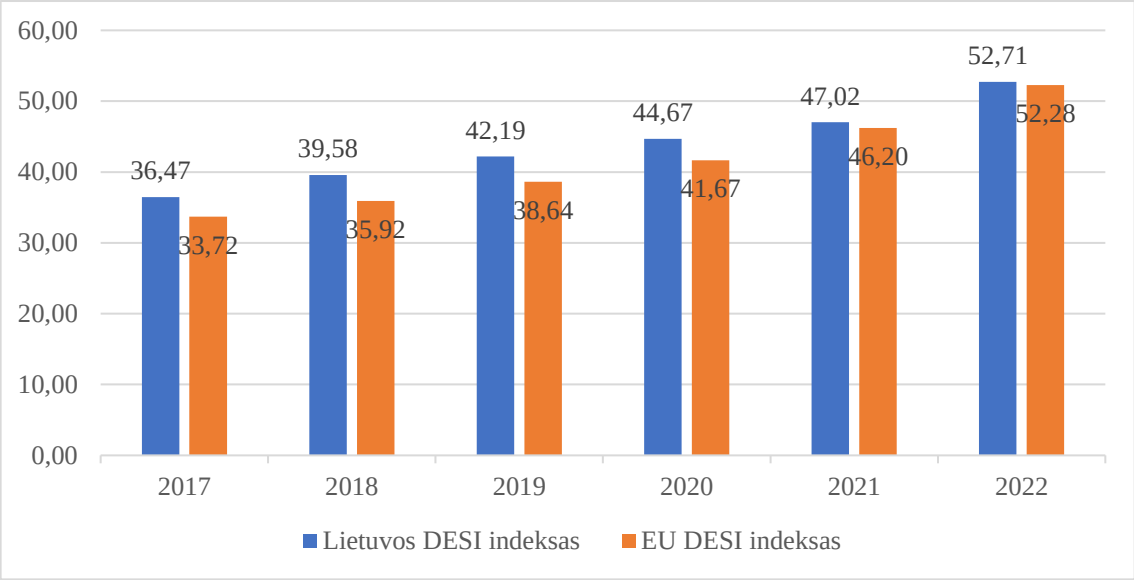


46 pav. Biotechnologijų sektoriaus naujųjų technologijų taikymo tendencijos 2024 m. (proc.)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-biotech-industry-trends-innovations-in-2021/ duomenimis

Biotechnologijų sektoriuje prognozuojama, kad didžiausią poveikį tarp naujausių technologijų turės dirbtinio intelekto (26 proc.) ir didžiųjų duomenų (19 proc.) diegimas. Po to genų koregavimo (12 proc.), tiksliosios medicinos (10 proc.) bei genų sekos nustatymo (9 proc.) technologijų diegimas. Kiek mažesnį poveikį turės biogamybos (7 proc.), biospausdinimo (5 proc.) bei sintetinės biologijos (5 proc.) technologijų integravimas. Mažiausią poveikį turės mikrofluidikų (4 proc.) ir audinių inžinerijos (3 proc.) technologijų diegimas.

DESI indeksas parodo įmonių ir gyventojų skaitmeninės veiklos rezultatus ir pažangą skaitmeninio konkurencingumo srityje (žr. 47 pav.).

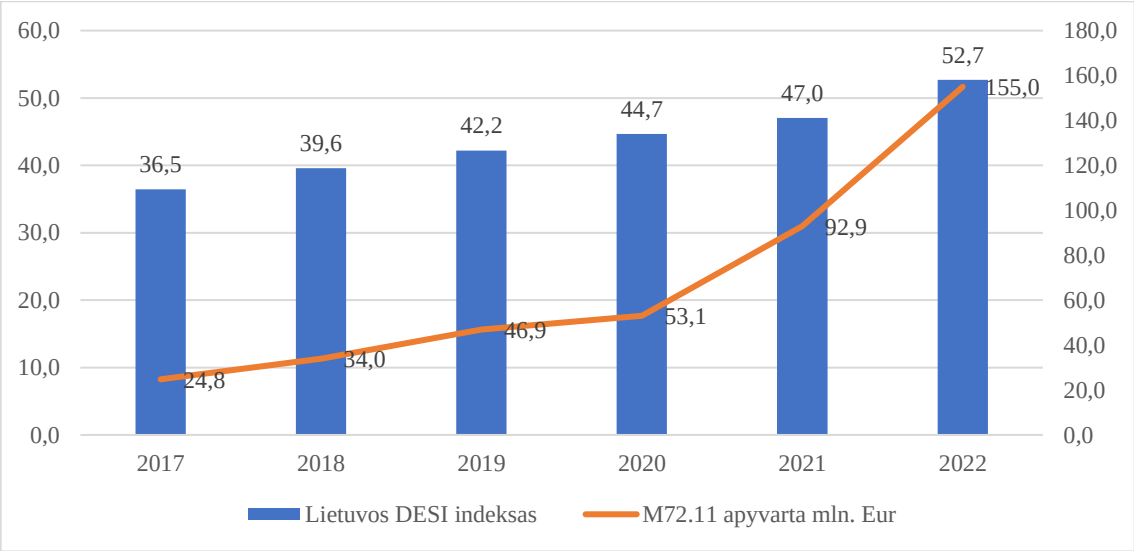


47 pav. Lietuvos ir Europos DESI indeksas

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis European Commission duomenimis

Nuo 2017 m. iki 2022 m. statistiniai duomenys rodo, kad DESI indeksas Lietuvoje kas metus vidutiniškai didėjo po 3,25 balo, o DESI indekso vidurkis Europos šalyse taip pat didėjo vidutiniškai po 3,71 balo per metus. Tai reiškia, kad skaitmeninių technologijų integravimas tiek Lietuvoje, tiek Europos šalyse auga. Lietuvoje DESI indeksas visą laikotarpį išliko didesnis nei Europos vidurkis, tačiau Europos DESI indeksas kyla greičiau nei Lietuvos. 2017 m. Europos DESI indekso vertė buvo 33,72, o Lietuvos buvo didesnis 8,16 proc. ir indeksas siekė 36,47. 2022 Europos DESI indekso vertė buvo 52,28, o Lietuvos buvo 0,82 proc. didesnis ir siekė 52,71 balą.

Biotechnologijų sektorius yra imlus skaitmeninimui, nes jam galioja atsekamumas, reglamentai bei griežta kokybės kontrolė. Tai lemia, jog biotechnologijų sektorius yra vienas iš inovatyviausių ir daugiausiai naujųjų technologijų taikantis sektorius. Biotechnologijų sektorius reikalauja nuolatinio tobulėjimo bei naujausių technologijų taikymo žinių, dėl to reikalingi išsilavinę specialistai, turintys žinių kaip naudotis naujausiomis technologijomis.

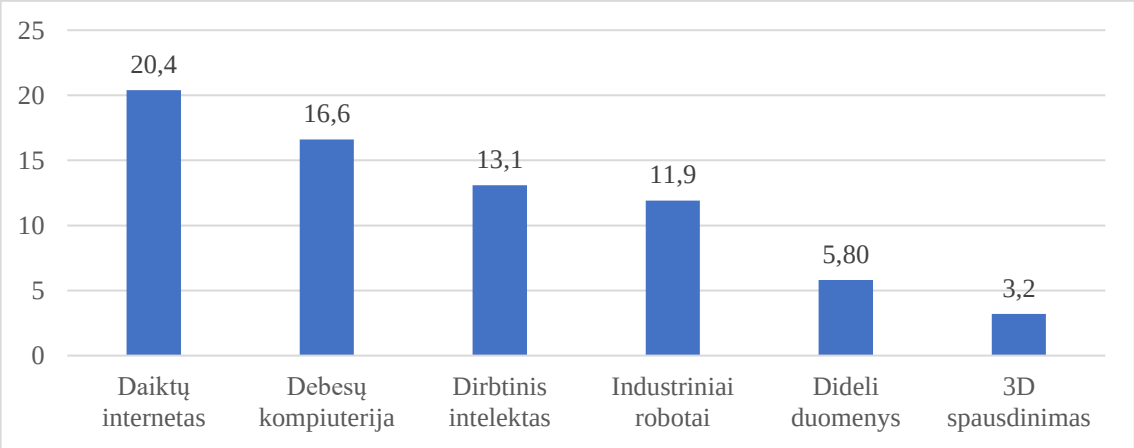


48 pav. DESI ir Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) apyvarta

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis European Commission ir Eurostat duomenimis

Atlikus koreliacijos analizę, nustatyta, kad didėjant Lietuvos skaitmenizavimo lygiui (DESI), biotechnologijų MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) apyvarta Lietuvoje didėja. Dėl to Lietuvos DESI indekso didėjimas daro poveikį Lietuvos biotechnologijų sektoriaus plėtrai. Lietuvos DESI indeksas ir MTEP sektoriaus (M72.11, EVRK) apyvarta stipriai koreliuoja, tai parodo koreliacijos koeficientas 0,956 ($p < 0,001$). Dėl to biotechnologijų sektoriaus plėtrai būtinas skaitmeninimas.

Atliekant biotechnologijų pramonės skaitmeninių technologijų diegimo analizę naudojami Eurostat duomenų bazės duomenys ir LIC suminio pramonės indekso (2023; 2024) tyrimai, kuriais remiantis surinkti biotechnologijų sektoriaus apdirbamosios gamybos duomenys (C19–C23) (žr. 49 pav.).



49 pav. C19–C23 sektorių diegiamos skaitmeninės technologijos (proc. nuo įmonių)

Šaltinis: sudaryta autoriaus remiantis Eurostat ir LIC Suminio pramonės skaitmeninimo indekso (2023; 2024) tyrimo duomenimis

C19–C23 apima kokso, rafinuotos naftos, chemijos ir pagrindinių farmacijos produktų, gumos ir plastikų, kitų nemetalinių mineralinių produktų gamybą, tačiau biotechnologijų sektorius yra viduje tarp C19–C23 sektorių. Statistinių duomenų analizė rodo, kad didžiausia dalis, net 20,4 proc. įmonių yra įsidiegusios daiktų internetą, 16,6 proc. taiko debesų kompiuteriją, 13,1 procentų naudoja dirbtinį intelektą, 11,9 procentų naudoja industrinius robotus, 5,8 proc. naudoja didžiuosius duomenis ir mažiausiai taikoma technologija yra 3D spausdinimas, kai tik 3,2 proc. įmonių taiko 3D spausdinimo technologijas savo veikloje.

3.1.3. Biotechnologijos sektoriaus įmonių gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančių veiksnių tyrimas

Ekspertiniam vertinimui atlikti buvo sudaryta anketa (žr. 1 priedas), kurioje respondentams reikėjo suranguoti veiksnius pagal reikšmingumą. Atlikus ekspertų apklausos rezultatų analizę, pateiktas gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančių veiksnių vertinimas (žr. 7 lentelę). Identifikuota, kad iš technologinių veiksnių svarbiausi yra suvokti diegiamų technologijų naudą (25 iš 27 galimų balų) bei technologijų suderinamumą ir jų parinkimą (20 iš 27 galimų balų). Taip pat ekspertai pabrėžia, kad gamybos logistikos procesų skaitmenizacijos sėkmei svarbu užtikrinti kibernetinį saugumą. Vertinant reikšmingiausias skaitmenizavimo technologijas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų etapuose, ekspertai išskiria, kad medžiagų aprūpinimo etape svarbiausia diegiama technologija yra didieji duomenys (58 iš 63 galimų balų), gamybos planavimo etape svarbiausi yra didieji duomenys (58 iš 63 galimų balų), mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros etape – dirbtinis intelektas (62 iš 63 galimų balų), gamybos etape – daiktų internetas (60 iš 63 galimų balų), kokybės kontrolės etape – dirbtinis intelektas (60 iš 63 galimų balų) ir produkcijos paskirstymo etape – automatinės valdomos transporto priemonės (61 iš 63 galimų balų). Vertinant organizacinius veiksnius ekspertai išskiria, kad kuo daugiau įmonėje dirba darbuotojų, tuo didesnė gamybos procesų skaitmenizavimo nauda ir net 88,9 proc. ekspertų teigia, kad didžiausia nauda būtų skaitmenizuoti gamybos logistikos procesus vykdant masinę gamybą. Taip pat, ekspertinio vertinimo rezultatai atskleidžia, kad didžiausią įtaką biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmei turi skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas (44 iš 45 galimų balų). Vertinant aplinkos veiksnius, tarp reguliacinės aplinkos veiksnių, ekspertai išskyrė, kad didžiausią poveikį biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui turi vyriausybės politika (35 iš 36 galimų balų), o tarp ekonominės aplinkos veiksnių didžiausią poveikį turi investicijų ir finansavimo prieinamumas (35 iš 36 galimų balų).

7 lentelė. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą lemiančių veiksnių vertinimas

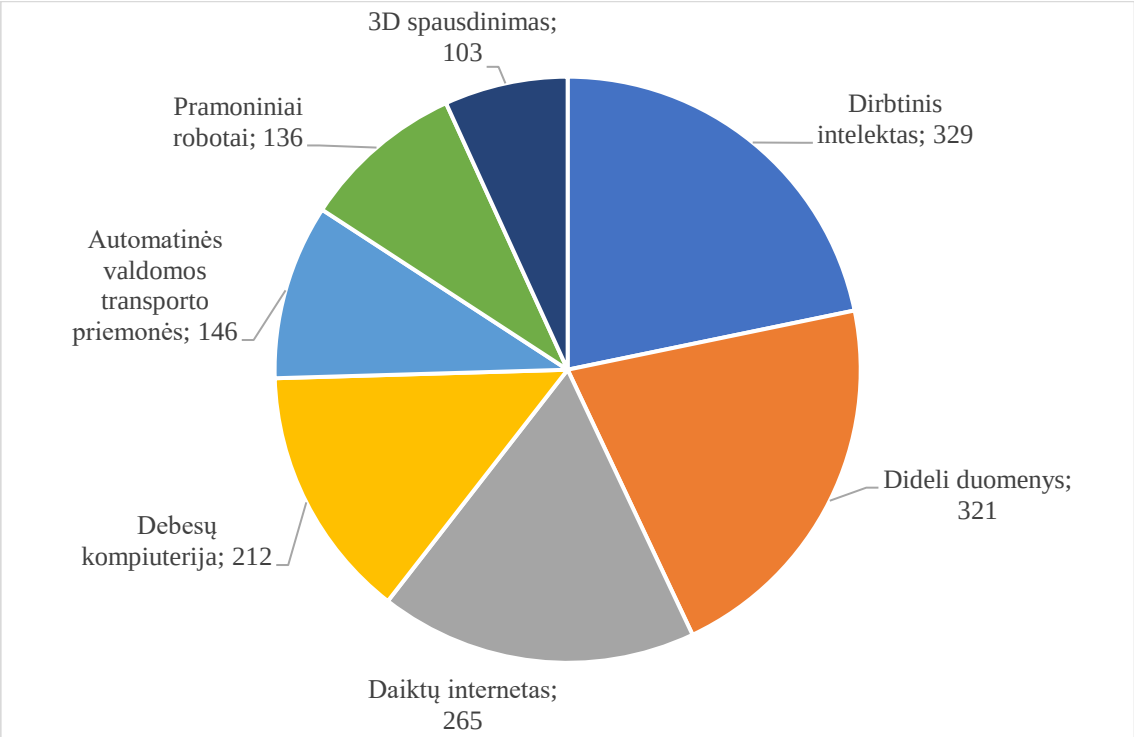
Vertinamieji aspektai	Ekspertų vertinimo rezultatai
Technologiniai veiksniai	
Technologijų diegimo sudėtingumas; Technologijų diegimo suvokiamas naudingumas; Technologijų suderinamumas ir jų parinkimas	Ekspertai, vertindami technologinius veiksnius skaitmenizuojant biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesus, reikšmingiausią išskyrė technologijų diegimo suvokiamą naudingumą (25 iš 27 galimų), technologijų suderinamumą ir jų parinkimą (20 iš 27 galimų) ir mažiausiai reikšmingą technologijų diegimo sudėtingumą (9 iš 27 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas gamybos planavimo etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos gamybos planavimo etape yra: didieji duomenys (58 iš 63 galimų), dirbtinis intelektas (57 iš 63 galimų) ir debesų kompiuterija (46 iš 63 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas medžiagų aprūpinimo etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos medžiagų aprūpinimo etape yra: didieji duomenys (58 iš 63 galimų), daiktų internetas (54 iš 63 galimų) ir dirbtinis intelektas (50 iš 63 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros etape yra: dirbtinis intelektas (62 iš 63 galimų), didieji duomenys (54 iš 63 galimų) ir debesų kompiuterija (46 iš 63 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas gamybos etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos gamybos etape yra: daiktų internetas (60 iš 63 galimų), dirbtinis intelektas (53 iš 63 galimų) ir didieji duomenys (49 iš 63 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas kokybės kontrolės etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos kokybės kontrolės etape yra: dirbtinis intelektas (60 iš 63 galimų), daiktų internetas (52 iš 63 galimų) ir didieji duomenys (48 iš 63 galimų)
Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas produkcijos paskirstymo etape	Ekspertai išskyrė 3 pagrindinius veiksnius ir teigė, kad svarbiausios biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo technologijos produkcijos paskirstymo etape yra: automatinės valdomos transporto priemonės (61 iš 63 galimų), didieji duomenys (54 iš 63 galimų) ir dirbtinis intelektas (47 iš 63 galimų)
Kibernetinio saugumo užtikrinimo svarba skaitmenizuojant gamybos procesus	Ekspertai įvertino, kad svarbu užtikrinti kibernetinį saugumą skaitmenizuojant biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesus. Net 77,8 proc. ekspertų svarbą įvertino 10 balų, 11,1 proc. įvertino 9 balais ir 11,1 proc. įvertino 8 balais

7 lentelės pabaiga

Vertinamieji aspektai	Ekspertų vertinimo rezultatai
Organizaciniai veiksniai	
Įmonės dydis	Ekspertai išskyrė, jog kuo daugiau įmonėje dirba darbuotojų, tuo didesnė gamybos logistikos skaitmenizavimo nauda. 100 proc. ekspertų teigia, kad didžiausia nauda būtų skaitmenizuoti gamybos logistikos procesus, kai įmonėje dirba nuo 100 darbuotojų
Gamybos tipas	Ekspertai išskyrė, jog kuo didesnės gamybos apimtys, tuo didesnė gamybos logistikos skaitmenizavimo nauda. Net 88,9 proc. ekspertų teigia, kad didžiausia nauda būtų skaitmenizuoti gamybos logistikos procesus esant masinei gamybai
Skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas; Vadovų įsitraukimo trūkumas; Kompetentingų darbuotojų trūkumas; Tempo trūkumas; Pinigų trūkumas	Ekspertai išskyrė, kad didžiausią įtaką biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmei turi: skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas (44 iš 45 galimų), kompetentingų darbuotojų trūkumas (36 iš 45 galimų), vadovų įsitraukimo trūkumas (28 iš 45 galimų), tempo trūkumas (17 iš 45 galimų), pinigų trūkumas (10 iš 45 galimų)
Aplinkos veiksniai	
Reguliacinės aplinkos veiksniai	Ekspertai išskyrė, kad didžiausią poveikį biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui turi: vyriausybės politika (35 iš 36 galimų), reguliavimo institucijų lankstumas ir efektyvumas (28 iš 36 galimų), tarptautiniai standartai ir normos (16 iš 36 galimų), intelektinės nuosavybės apsauga (11 iš 36 galimų)
Ekonominės aplinkos veiksniai	Ekspertai išskyrė, kad didžiausią poveikį biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui turi: investicijų ir finansavimo prieinamumas (35 iš 36 galimų), technologijų kainos ir įsigijimo sąnaudos (26 iš 36 galimų), rinkos paklausa ir konkurencija (20 iš 36 galimų), energijos išteklių kainos (9 iš 36 galimų)

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Atlikus ekspertinio vertinimo analizę identifikuotos 5 svarbiausios Pramonės 4.0 technologijos, kurių diegimas gali pagerinti biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesus (žr. 50 pav.). Pasak ekspertų, svarbiausia ir reikšmingiausia technologija biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų tobulinimui yra dirbtinis intelektas (surinko 329 iš 378 balų), antroje vietoje – didieji duomenys (surinko 321 iš 378 balų), trečioje vietoje – daiktų internetas (surinko 265 iš 378 balų), ketvirtoje vietoje – debesų kompiuterija (surinko 212 iš 378 balų) ir penktoje vietoje – automatinės valdomos transporto priemonės (surinko 146 iš 378 balų). Ekspertų nuomone mažiausiai reikšmingos Pramonės 4.0 technologijos biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų tobulinimui yra pramoniniai robotai (surinko 136 iš 378 balų) ir 3D spausdinimas (surinko 103 iš 378 balų).

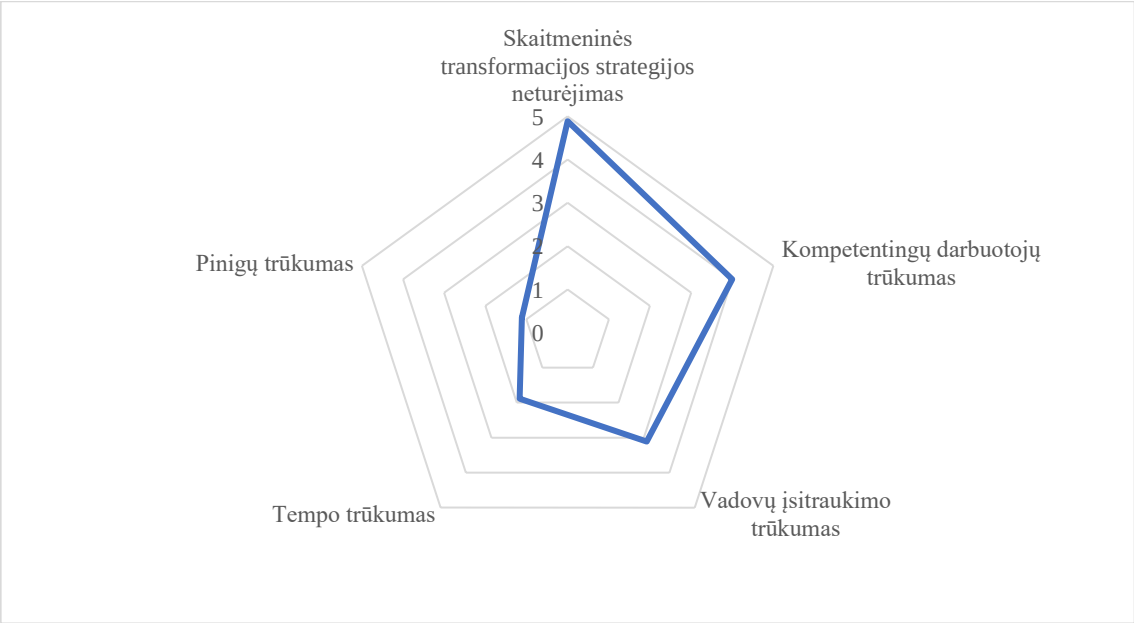


50 pav. Skaitmenizavimo technologijų reikšmingumas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesuose

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Atliktas ekspertinis tyrimas papildo LIC suminio pramonės indekso (2023; 2024) atlikto tyrimo (žr. 49 pav.) C19–C23 sektorių diegiamų skaitmeninių technologijų diegimo analizę, kadangi šiame rašto darbe ekspertinio tyrimo metu analizuojamos tik biotechnologijų sektoriaus įmonių diegiamos skaitmeninės technologijos ir identifikuota, kad biotechnologijų sektoriuje pati svarbiausia technologija yra dirbtinis intelektas, antroje vietoje didieji duomenys ir trečioje vietoje daiktų internetas. C19–C23 sektoriuose Pramonės 4.0 technologijų diegimas pasiskirstęs ne taip pat, kadangi svarbiausios ir daugiausiai diegiamos technologijos yra daiktų internetas, antroje vietoje debesų kompiuterija, o dirbtinis intelektas tik trečioje vietoje pagal diegimo populiarumą. Biotechnologijų pramonėje didieji duomenys identifikuojami kaip antra svarbiausia technologija, o C19–C23 sektoriuose ši technologija užima tik 5 vietą.

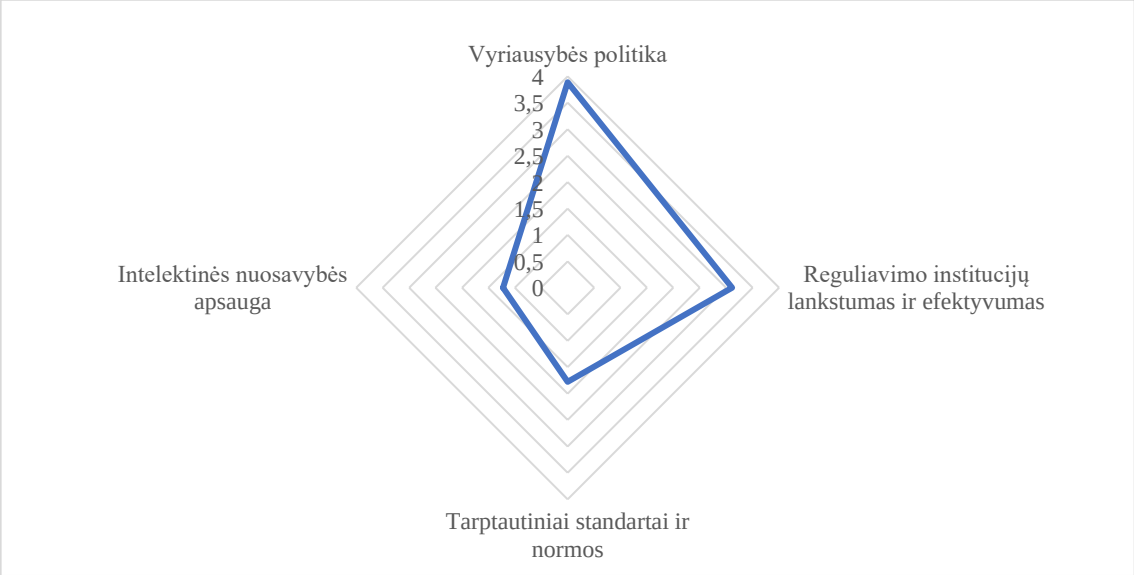
Tarp organizacinių veiksnių ekspertai išskyrė, kad didžiausią įtaką biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmei turi skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas (44 iš 45 galimų balų), taip pat kompetentingų darbuotojų trūkumas (36 iš 45 galimų), vadovų įsitraukimo trūkumas (28 iš 45 galimų), tempo trūkumas (17 iš 45 galimų) ir kaip mažiausiai reikšmingą nesėkmę lemiantį veiksnį ekspertai išskyrė pinigų trūkumą (10 iš 45 galimų) (žr. 51 pav.).



51 pav. Biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmę lemiantys veiksniai (0 mažiausiai reikšminga, 5 labiausiai reikšminga)

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vertinant aplinkos veiksnius, iš reguliacinės aplinkos veiksnių, ekspertai išskyrė, kad didžiausią poveikį biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui turi vyriausybės politika (35 iš 36 galimų balų), antroje vietoje reguliavimo institucijų lankstumas ir efektyvumas (28 iš 36 galimų), trečioje vietoje tarptautiniai standartai ir normos (16 iš 36 galimų) ir kaip mažiausiai įtakos turintį veiksnį ekspertai išskyrė intelektinės nuosavybės apsaugą (11 iš 36 galimų) (žr. 52 pav.).



52 pav. Reguliacinės aplinkos veiksnių įtaka biotechnologijų gamybos logistikos procesų skaitmenizavimui (0 mažiausiai reikšminga, 4 labiausiai reikšminga)

Šaltinis: sudaryta autoriaus

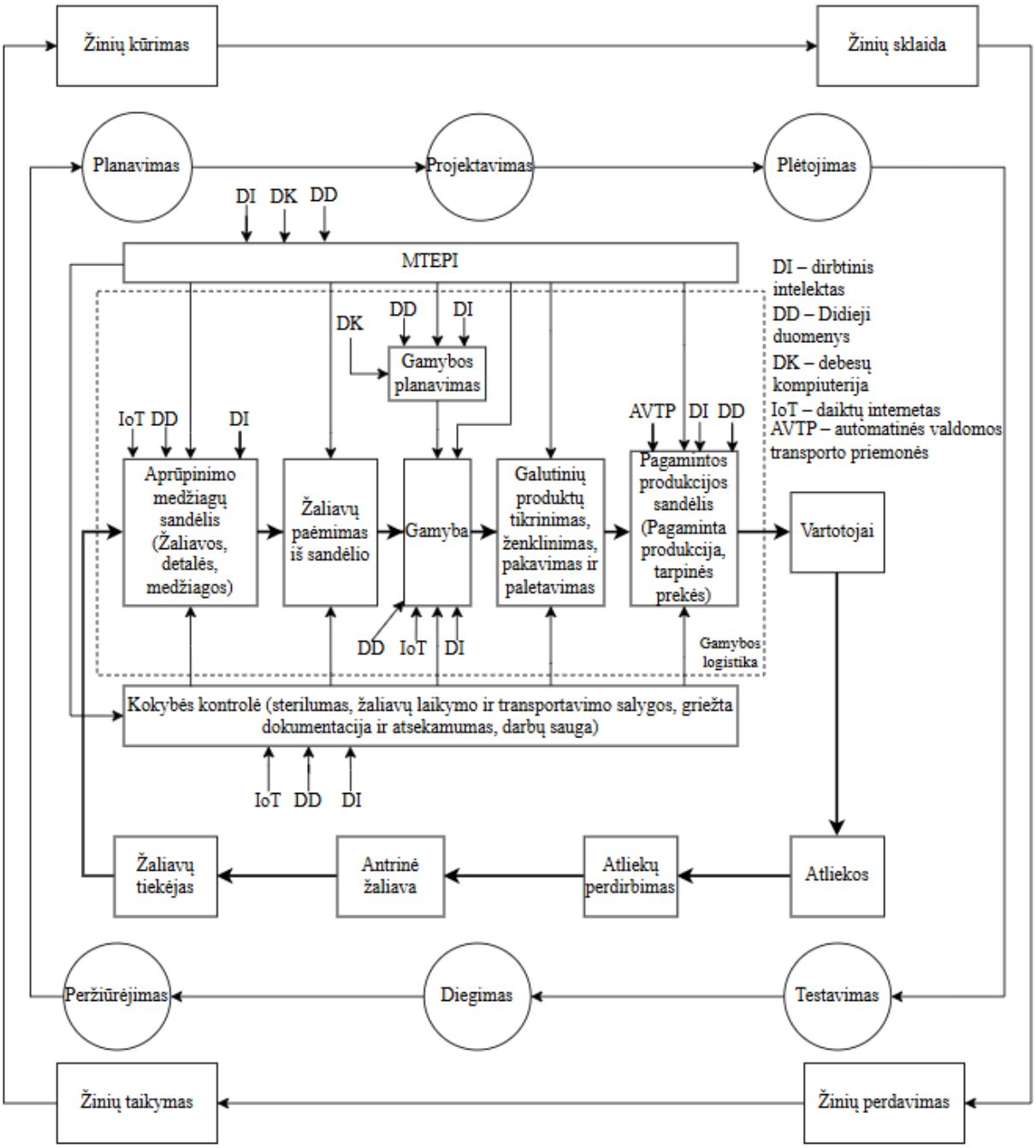
Atlikus ekspertinį vertinimą, patikriname ekspertų nuomonių suderinamumą, pagal Kendalo suderinamumo koeficientą ir gauname, kad W = 0,91, tai parodo didelį ekspertų vertinimų suderinamumą.

3.2. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo modelis

Šiuolaikinėje biotechnologijų pramonėje būdinga didelė produktų dinamika, veiklai keliami griežti reguliavimo reikalavimai, dėl to įmonės siekia ieškoti efektyvesnių gamybos logistikos sprendimų. Šiuolaikinių skaitmeninių technologijų pažanga ir didėjantis globalus susirūpinimas tvarumu skatina pramonę ieškoti naujų priemonių gamybos procesų optimizavimui bei inovacijų kūrimui. Šiame darbe buvo analizuojami teoriniai gamybos logistikos aspektai ir modeliai biotechnologijų sektoriuje Pramonės 4.0 kontekste. Literatūros analizės metu buvo identifikuoti gamybos logistikos teoriniai modeliai, jų etapai ir specifika bei biotechnologijų sektoriaus specifika ir gamybos logistikos procesų ypatumai biotechnologijų sektoriuje. Taip pat buvo analizuojama Pramonės 4.0 specifika ir kompleksiškumas biotechnologijų sektoriuje ir biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesuose. Siekiant nustatyti biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijas ir padėtį, buvo atlikta statistinių duomenų analizė ir lyginamoji analizė. Atlikta ekspertų apklausa leido identifikuoti biotechnologijų sektoriaus gamybos procesų skaitmenizavimą lemiančius veiksnius.

Remiantis atlikto tyrimo rezultatais siūlomas gamybos logistikos tobulinimo modelis (žr. 53 pav.) kurį sudaro 3 pagrindinės dedamosios:

- pirmoji – žinių transformacijos ciklas (MTEPI);
- antroji – projektinės vadybos organizavimo principas (*Agile*);
- trečioji – gamybos logistikos grandinės sudėtinių etapų integravimas ir skaitmeninių technologijų taikymas.



53 pav. Gamybos logistikos tobulinimo modelis biotechnologijų pramonės įmonėse ketvirtosios pramonės revoliucijos kontekste

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Modelio dedamoji – žinių transformacijos ciklas (MTEPI). Kaip rodo tyrimai, biotechnologijų sektorius yra žinioms imlus sektorius ir priklausomas nuo MTEP rezultatų, todėl pagrindinė varomoji jėga yra grįsta žiniomis ir turi užtikrinti ciklą nuo žinių kūrimo, žinių sklaidos, žinių perdavimo ir žinių taikymo. Biotechnologijų sektorius yra vienas iš labiausiai inovatyvių sektorių ir inovacijos bei MTEP veikla turi didelę įtaką biotechnologijų sektoriaus plėtrai. Taip pat inovacijų ir MTEP plėtra sudaro galimybes naujų produktų, žinių, technologijų ir procesų kūrimui, kadangi biotechnologijų sektoriuje remiantis pažangiais moksliniais tyrimais yra nuolat kuriami nauji produktai ir technologijos. MTEPI yra esminis biotechnologijų sektoriaus plėtros veiksnys užtikrinantis tvarumą, technologijų pažangą bei procesų efektyvumą. Šiame modelyje MTEPI apima visas gamybos veiklos sritis, įskaitant ir kokybės kontrolę, kadangi kiekvienas etapas priklauso nuo naujausių technologijų ir sukuriant naujas technologijas jos gali būti taikomos visuose gamybos logistikos etapuose taip lemiant visų gamybos logistikos etapų tobulėjimą. Nevykdant MTEPI veiklos biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesuose, biotechnologijų įmonė negalėtų prisitaikyti prie nuolat kintančių poreikių, negalėtų sparčiai plėtotis ir tobulėti. Žinių kūrimas, žinių sklaida, žinių perdavimas ir žinių taikymas sudaro nuolatinio mokymosi ir inovacijų ekosistemą ir parodo, kad biotechnologijų sektorius yra grįstas žiniomis, kadangi inovacijos ir technologinė pažanga yra būtini norint išlikti ir augti. Cikliškas žiniomis grįstas modelis leidžia biotechnologijų sektoriaus įmonėms prisitaikyti prie naujausių technologijų ir dinamiškai reaguoti į pokyčius bei gerinti gamybos logistikos procesus.

Modelio dedamoji – projektinės vadybos organizavimo principas (*Agile*). Atsižvelgiant į tai, kad biotechnologijų sektorius yra dinamiška sritis, jo veiklos tobulinimą ir plėtojimą reikia grįsti projektine vadyba. Tobulinant biotechnologijų sektoriaus gamybos logistiką ir siekiant rasti efektyviausius skaitmenizavimo sprendimus, modelyje siūloma taikyti *Agile* metodikos pagrindinio ciklo elementus, kurių etapai yra: planavimas, projektavimas, plėtojimas, testavimas, diegimas, peržiūrėjimas. *Agile* metodologija suteikia lankstumo ir galimybę greičiau reaguoti į besikeičiančius technologinius ar rinkos reikalavimus. *Agile* metodologija pagrįsta iteratyviais procesų ciklais, taip suteikiant galimybę laipsniškai išbandyti ir diegti skaitmenizavimo sprendimus, vertinant jų efektyvumą realiuoju laiku ir esant poreikiui adaptuotis prie pasikeitusios situacijos ar poreikių. Kadangi biotechnologijų pramonėje taikomos naujausios technologijos, naujausios žinios ir aplinka yra greitai kintanti, dėl to *Agile* metodologija gali padėti įmonėms efektyviai įgyvendinti gamybos logistikos skaitmenizavimą. *Agile* metodologijos taikymas gamybos logistikos modelyje pagerina projektų valdymą, leidžia greičiau ir lanksčiau integruoti įvairius sprendimus, gerinti tiekimo grandinės efektyvumą, sąnaudų mažinimą bei optimizuoti atsargų valdymą. *Agile* metodologijos taikymas

biotechnologijų sektoriuje padeda efektyviau įsisavinti skaitmenizavimo galimybes bei greitai koreguoti priimtus sprendimus, taip ilgainiui tobulinant gamybos logistikos procesus ir skatinant nuolatinį technologinį tobulėjimą.

Modelio dedamoji – gamybos logistikos grandinės sudėtinių etapų integravimas ir skaitmeninių technologijų taikymas. Siūlomas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo modelis susideda iš žiedinės ekonomikos principais grįsto gamybos logistikos modelio, kurio pagrindinius etapus siekiama tobulinti diegiant skaitmenines technologijas. Žiediniai gamybos principai didina įmonių tvarumą ir gerina aplinkosaugą. Pramonės 4.0 technologijos leidžia iš esmės pakeisti ir patobulinti visus gamybos logistikos procesus, taip atveriant naujas galimybes efektyviau valdyti gamybos procesus ir didinti gamybos efektyvumą. Remiantis atliktos literatūros analizės ir ekspertų apklausos duomenimis nustatyta, kad biotechnologijų sektoriaus skaitmenizavimą lemia įvairūs technologiniai, organizaciniai ir aplinkos veiksniai ir juos reikia įvertinti prieš pasirenkant skaitmenizavimo būdus, tam, kad būtų galima įsivertinti esamą situaciją ir priimti tinkamiausius skaitmenizacijos sprendimus. Identifikuota, kad visų pirma, siekiant sėkmingo įmonės skaitmenizavimo, reikia pradėti nuo skaitmeninės transformacijos strategijos sudarymo. Skaitmeninių technologijų taikymas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimui gali būti daromas etapais, kai visų pirma yra pasiruošiama įmonės gamybos logistikos skaitmeninimui identifikuojant galimas taikyti Pramonės 4.0 technologijas. Tuomet antrajame etape pradedamos integruoti skaitmeninės technologijos reikiamose srityse. Trečiajame etape skaitmeninės technologijos integruojamos visose operacijose, o ketvirtajame etape, kai jau skaitmenizuojama didžioji dalis operacijų, siekiama aukštesnio lygio skaitmenizacijos diegiant pažangias skaitmenines technologijas, tokias kaip dirbtinis intelektas, daiktų internetas, taip sudarant vientisą gamybos logistikos ir kitų procesų integraciją. Galiausiai paskutiniame penktajame etape, sėkmingai skaitmenizavus gamybos logistikos procesus, siekiama neatsilikti nuo naujausių technologijų ir nuolat ieškoti tobulintinų sričių. Siekiant didžiausios skaitmenizacijos naudos neužtenka skaitmenizuoti tik gamybos logistikos procesus, tam reikia skaitmenizuoti visus įmonės procesus, kad būtų pasiekiama įmonės skaitmeninių technologijų tarpusavio integracija. Modelyje siūlomos skaitmeninės technologijos parenkamos remiantis literatūros analize bei atlikto ekspertinio tyrimo rezultatais, kurio metu buvo identifikuotos didžiausią įtaką turinčios skaitmeninės technologijos kiekvienam gamybos logistikos etapui. Siekiant patobulinti gamybos logistikos procesus ir pagerinti biotechnologijų sektoriaus veiką, tobulinamame gamybos logistikos modelyje siūloma diegti debesų kompiuteriją, didžiuosius duomenis, dirbtinį intelektą, automatines valdomas transporto priemones bei daiktų internetą. Gamybos planavimo etape rekomenduojama diegti dirbtinį intelektą, kadangi jis gali padėti prognozuoti

gamybos poreikius, optimizuoti planavimo procesus ir resursų paskirstymą, taip pat svarbu diegti didžiuosius duomenis, kadangi ši technologija leis realiu laiku stebėti kintančius gamybos reikalavimus, o debesų kompiuterijos diegimas užtikrins duomenų saugojimą ir prieinamumą. Aprūpinimo medžiagų sandėlyje siūloma diegti daiktų internetą, kuris leis realiu laiku sekti atsargas, užtikrinant efektyvesnį atsargų valdymą, o dirbtinis intelektas ir didieji duomenys padės optimizuoti galimybes ir automatizuoti procesus bei mažinti klaidas. Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros etape dirbtinio intelekto diegimas pagreitins mokslinių tyrimų procesą analizuojant duomenis, didieji duomenys ir debesų kompiuterija suteiks galimybę saugoti ir apdoroti didelius tiriamų duomenų kiekius. Gamybos etape daiktų interneto diegimas suteiks galimybę stebėti gamybos liniją realiu laiku ir užtikrins tinkamą veikimą, dirbtinis intelektas analizuos surinktus duomenis bei padės optimizuoti gamybos procesus, o didieji duomenys padės nustatyti gamybos tobulinimo galimybes. Kokybės kontrolės etape daiktų internetas nuolat tikrins produktų kokybę gamybos metu, taip užtikrinant nustatytą kokybę, dirbtinis intelektas ir didžiųjų duomenų analitika padės greitai aptikti ir analizuoti kokybės neatitiktis, taip suteikiant galimybę greitai reaguoti ir pašalinti problemas. Produkcijos paskirstymo etape automatinės valdomos transporto priemonės optimizuos gamybos logistikos procesus, užtikrins greitą ir efektyvų produktų ir ruošinių cirkuliavimą visame gamybos procese, o dirbtinis intelektas ir didžiųjų duomenų analitika padės optimizuoti maršrutus, sumažinant sąnaudas ir padidinti tikslumą.

Siūlomas biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos tobulinimo modelis yra išskirtinis ir orientuotas į biotechnologijų sektoriui būdingą griežtą kokybės kontrolę, kiekviename gamybos logistikos etape, pabrėžiant kokybės kontrolės specifiką dėl gaminio sterilumo, žaliavų saugojimo bei transportavimo sąlygų, dokumentacijos, atsekamumo ir darbų saugos.

IŠVADOS

Atlikus mokslinės literatūros analizę, išanalizavus biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos specifiką ir biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijas bei atlikus statistinių duomenų analizę bei ekspertinį tyrimą galima daryti šias išvadas:

1. Mokslinėje literatūroje išskiriama, kad biotechnologijų sektorius yra įvairialypė terpė, kurią sąlygoja daugelis dedamųjų veiksnių, tarp kurių pagrindiniais laikytini biotechnologijų paskirtis ir biotechnologijų prigimtis. Populiariausias biotechnologijų klasifikavimas yra spalvinis klasifikavimas pagal sektorius, išskiriant, kad baltoji biotechnologija apima pramonę, raudonoji – sveikatos priežiūrą, geltonoji – maisto ir maisto papildų kūrimą, mėlynoji – vandens biologinę veiklą, žalioji – žemės ūkio veiklą, rudoji – sausringų zonų biotechnologijas, violetinė – intelektinės nuosavybės apsaugą, auksinė – nanotechnologijų, bioinformatikos taikymą, pilkoji – klasikinę fermentaciją ir juodoji – karo pramonę.
2. Gamybos logistika mokslinėje literatūroje apibrėžiama įvairiai. Nežiūrint to, kad dalis autorių akcentuoja, jog gamybos logistika apima veiklas, susijusias su žaliavų ir pagalbinių medžiagų tiekimu gamybai ir produkcijos sandėliavimu gamykloje, kita dalis autorių papildo, teigdami, kad gamybos logistikoje taip pat svarbu yra ne tik žaliavų ir produkcijos judėjimas, bet ir informacijos srautas ir visų gamybos procesų kontrolė ir valdymas. Bendru atveju galima teigti, kad gamybos logistika – tai integracija visų veiklų susijusių su žaliavų ir kitų medžiagų judėjimu gamyboje ir produkcijos sandėliavimu.
3. Mokslinėje literatūroje išskiriami linijinės ir žiedinės gamybos logistikos modeliai. Nežiūrint to, kad modeliai skiriasi, tačiau juos vienija keturi pagrindiniai etapai: (1) žaliavų tiekimas, (2) žaliavų apdorojimas, (3) sandėliavimas, (4) orientavimasis į vartotojų patenkinimą.
4. Autoriai, apibrėždami Pramonės 4.0 sąvoką, pabrėžia skaitmeninių technologijų integracijos į įmonės procesus svarbą. Nustatyta, kad Pramonės 4.0 įgyvendinimas reikalauja inovatyvių sprendimų ir skaitmeninių technologijų taikymas ne tik tobulina įmonių veiklą, bet ir suteikia naujų plėtros galimybių, todėl Pramonės 4.0 technologijų diegimas tampa būtinu žingsniu siekiant užtikrinti įmonių efektyvumą bei konkurencingumą.
5. Nustatyta, kad 2015–2022 m. laikotarpiu Lietuvoje biotechnologijų MTEP sektoriaus įmonių skaičius padidėjo 4,28 karto, darbuotojų skaičius padidėjo 2,45 karto, o apyvarta padidėjo net 9,14 karto, nuo 17 iki 155 mln. Eur. Biotechnologijų MTEP sektoriaus įmonių skaičiaus steigimas bei naujų darbuotojų įdarbinimas tiesiogiai prisideda prie

biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvartos didinimo, kadangi atlikus koreliacijos tyrimą nustatyta, kad Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus apyvarta stipriai koreliuoja su Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus įmonių skaičiumi (koreliacijos koeficientas 0,985, $p < 0,001$) ir su Lietuvos biotechnologijų MTEP sektoriaus darbuotojų skaičiumi (koreliacijos koeficientas 0,962, $p < 0,001$).

6. Lietuvos biotechnologijų sektoriaus pramonė yra labai integruota į tarptautines biotechnologijų vertės grandines, kadangi didėjant NASDAQ biotechnologijų indeksui didėja ir Lietuvoje besikuriančių įmonių skaičius (šie rodikliai stipriai koreliuoja, koreliacijos koeficientas 0,88, $p < 0,001$).
7. Nuo 2013 m. iki 2021 m. Lietuvoje biotechnologijų pramonės sukuriama BPV vertė padidėjo 2,6 karto (nuo 545 mln. Eur iki 1416 mln. Eur) ir atlikus regresijos analizę, nustatyta, kad egzistuoja stiprus teigiamas eksponentinis ryšys, dėl to biotechnologijų sukuriama BPV turi tendenciją augti ir 2030 m. pasiekti 2,86 mlrd. Eur.
8. Pagrindiniai veiksniai skatinantys biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos skaitmenizavimą yra technologiniai, organizaciniai ir aplinkos. Svarbiausios trys iš septynių skaitmeninių technologijų biotechnologijų pramonės įmonėse yra dirbtinis intelektas, didieji duomenys ir daiktų internetas. Biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimo nesėkmę labiausiai lemiantys veiksniai yra skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas, kompetentingų darbuotojų trūkumas ir vadovų įsitraukimo trūkumas. Svarbiausi reguliacinės aplinkos veiksniai lemiantys biotechnologijų sektoriaus gamybos logistikos procesų skaitmenizavimą yra vyriausybės politika bei reguliavimo institucijų lankstumas ir efektyvumas.
9. Pasiūlytas biotechnologijų gamybos logistikos tobulinimo modelis, grįstas Pramonės 4.0 technologijų diegimu, leidžia įvertinti pagrindinius veiksnius lemiančius skaitmenizacijos sėkmę ir priimti sprendimus dėl biotechnologijų sektoriaus įmonių gamybos logistikos skaitmenizavimo, nes savyje integruoja: (1) žinių perdavimą ir taikymą biotechnologijų sektoriuje, (2) projektinės vadybos principų realizavimą, (3) skaitmeninių technologijų diegimą gamybos logistikos etapuose.

Apibendrinus atlikto tyrimo rezultatus rekomenduojama:

1. Biotechnologijų sektoriaus įmonėms taikyti siūlomą gamybos logistikos tobulinimo modelį, siekiant skaitmenizuoti gamybos logistikos procesus ir didinti gamybos logistikos efektyvumą.
2. Ekonomikos ministerijai kurti paramos programas, skatinančias biotechnologijų sektoriaus įmones skaitmeninti savo gamybos logistikos procesus, siekiant tobulinti įmonės veiklą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

A. Udugama, I., Öner, M., Lopez, P. C., Beenfeldt, C., Bayer, C., Huusom, J. K., Gernaey, K. V., & Sin, G. (2021). Towards Digitalization in Bio-Manufacturing Operations: A Survey on Application of Big Data and Digital Twin Concepts in Denmark. *Frontiers in Chemical Engineering*, *3*, 727152. https://doi.org/10.3389/FCENG.2021.727152

Abbas, J., Balsalobre-Lorente, D., Amjid, M. A., Al-Sulaiti, K., Al-Sulaiti, I., & Aldereai, O. (2024). Financial innovation and digitalization promote business growth: The interplay of green technology innovation, product market competition and firm performance. *Innovation and Green Development*, *3*(1), 100111. https://doi.org/10.1016/J.IGD.2023.100111

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2021). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Engineering Management Journal*, *33*(3), 1–15. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935

Acosta, B., Acosta, M., & Espinoza, B. (2016). Understanding innovation based on company optics: interpretation mistakes on the types of innovation developed. *RAI Revista de Administração e Inovação*, *13*(4), 295–304. https://doi.org/10.1016/J.RAI.2016.03.006

Adamczak, M., Domanski, R., Hadas, L., & Cyplik, P. (2016). The integration between production-logistics system and its task environment - chosen aspects. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(12), 656–661. https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.07.771

Aguilar, A., Twardowski, T., & Wohlgemuth, R. (2019). Bioeconomy for Sustainable Development. *Biotechnology Journal*, *14*(8), 1800638. https://doi.org/10.1002/BIOT.201800638

Aksu, B., Sezer, A. D., Yegen, G., & Kusçu, L. (2016). QbD Implementation in Biotechnological Product Development Studies. *Special Topics in Drug Discovery*. https://doi.org/10.5772/66296

Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. *Applied System Innovation 2022, Vol. 5, Page 27*, *5*(1), 27. https://doi.org/10.3390/ASI5010027

Almeida, F., Duarte Santos, J., & Augusto Monteiro, J. (2020). The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post-COVID-19 World. *IEEE Engineering Management Review*, *48*(3), 97–103. https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206

Alsaidalani, R., & Elmadhounb, B. (2021). Quality Risk Management in Pharmaceutical Supply Chain, Warehousing and Dispensing-Practical Case Study from Sterile

Pharmaceutical Industry. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*.

Alsmairat, M. A. K., El Baz, J., & Al-Ma'aitah, N. (2024). Investigating the performance of quality management practices induced by top management commitment and Kaizen initiatives: evidence from Jordanian public hospitals in the aftermath of COVID-19. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *41*(2), 585–607. https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2022-0316/FULL/PDF

Álvarez Jaramillo, J., Zartha Sossa, J. W., & Orozco Mendoza, G. L. (2019). Barriers to sustainability for small and medium enterprises in the framework of sustainable development—Literature review. *Business Strategy and the Environment*, *28*(4), 512–524. https://doi.org/10.1002/BSE.2261

Andrei, B. A., Casu-Pop, A. C., Gheorghe, S. C., & Boiangiu, C. A. (2019). A study on using waterfall and agile methods in software project management. *Journal of Information Systems & Operations Management*.

Androniceanu, A., Enache, I. C., Valter, E. N., & Raduica, F. F. (2023). Increasing Energy Efficiency Based on the Kaizen Approach. *Energies 2023, Vol. 16, Page 1930*, *16*(4), 1930. https://doi.org/10.3390/EN16041930

Appleby, R. C. (2003). *Šiuolaikinio verslo administravimas*. Charbidė.

Arden, N. S., Fisher, A. C., Tyner, K., Yu, L. X., Lee, S. L., & Kopcha, M. (2021). Industry 4.0 for pharmaceutical manufacturing: Preparing for the smart factories of the future. *International Journal of Pharmaceutics*, *602*, 120554. https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2021.120554

Aroral, H. K. (2021). Waterfall Process Operations in the Fast-paced World: Project Management Exploratory Analysis. *International Journal of Applied Business and Management Studies*.

Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, *151*, 103745. https://doi.org/10.1016/J.JFINECO.2023.103745

Bagdonavičius, J., Stankevičius, P., & Lukoševičius, L. (1999). *Ekonomikos terminai ir sąvokos: (mokomasis žodynas)*. Vilniaus pedagoginis universitetas.

Balkhi, B., Alshahrani, A., & Khan, A. (2022). Just-in-time approach in healthcare inventory management: Does it really work? *Saudi Pharmaceutical Journal*, *30*(12), 1830–1835. https://doi.org/10.1016/J.JSPS.2022.10.013

Barabadi, H. (2017). Nanobiotechnology: A promising scope of gold biotechnology. *Cellular and Molecular Biology*, *63*(12), 3–4. https://doi.org/10.14715/10.14715/CMB/2017.63.12.2

Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: general overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS Microbiology Letters*, *365*(21), 239. https://doi.org/10.1093/FEMSLE/FNY239

Bazaras, D. (2005). *Įvadas į logistiką: mokomoji knyga*. Technika.

Berman, J. J. (2016). Data Simplification. *Data Simplification: Taming Information With Open Source Tools*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803781-2.00002-3

Bizri, O. F. (2018). Arab Science, Technology, and Innovation Systems. *Science, Technology, Innovation, and Development in the Arab Countries*, 503–569. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812577-9.00006-4

Bode, J., & Umuerri, O. (2022). *International Conference „Universities, Entrepreneurship and Enterprise Development in Africa“ - Conference Proceedings 2022*. https://doi.org/10.18418/978-3-96043-104-6

Bröring, S., Laibach, N., & Wustmans, M. (2020). Innovation types in the bioeconomy. *Journal of Cleaner Production*, *266*, 121939. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121939

Bugarčić, F., Skvarciany, V., & Stanišić, N. (2020). Logistics performance index in international trade: case of Central and Eastern European and Western Balkans countries. *Business: Theory and Practice*, *21*(2), 452–459. https://doi.org/10.3846/BTP.2020.12802

Callegari, B., & Nybakk, E. (2022). Schumpeterian theory and research on forestry innovation and entrepreneurship: The state of the art, issues and an agenda. *Forest Policy and Economics*, *138*, 102720. https://doi.org/10.1016/J.FORPOL.2022.102720

Cambridge Dictionary | English Dictionary. (s.a.). Gauta 2023 m. spalio 25 d., https://dictionary.cambridge.org/#google_vignette

Canales-Jeri, L., Rondinel-Oviedo, V., Flores-Perez, A., & Collao-Diaz, M. (2022). Lean model applying JIT, Kanban, and Standardized work to increase the productivity and management in a textile SME. *ACM International Conference Proceeding Series*, 79–84. https://doi.org/10.1145/3524338.3524351

Cao, B., Han, Z., Liang, L., Liu, Y., Wang, J., & Xie, J. (2022). Independent Innovation or Secondary Innovation: The Moderating of Network Embedded Innovation. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 14796*, *14*(22), 14796. https://doi.org/10.3390/SU142214796

Chandni, N. H., Antonacci, G., Barlow, J., & Harris, M. (2021). Defining frugal innovation: a critical review. *BMJ Innovations*, *7*(4), 647–656. https://doi.org/10.1136/BMJINNOV-2021-000830

Chen, G. Q., & Jiang, X. R. (2018). Next generation industrial biotechnology based on extremophilic bacteria. *Current Opinion in Biotechnology*, *50*, 94–100. https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2017.11.016

Ching, N. T., Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Asadi, S. (2022). Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, *334*, 130133. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.130133

Choi, J. J. (2014). *Raw material inventory planning in a serial system with warehouse capacity*. Massachusetts Institute of Technology.

Choi, T. Y., Netland, T. H., Sanders, N., Sodhi, M. M. S., & Wagner, S. M. (2023). Just-in-time for supply chains in turbulent times. *https://doi.org/10.1111/poms.13979*, *32*(7), 2331–2340. https://doi.org/10.1111/POMS.13979

Christopher, M. (2007). *Logistika ir tiekimo grandinės valdymas: pridėtinės vertės tinklų kūrimas*. Eugrimas.

Chuang, S. P., & Huang, S. J. (2018). The effect of environmental corporate social responsibility on environmental performance and business competitiveness: the mediation of green information technology capital. *Journal of Business Ethics*, *150*(4), 991–1009. https://doi.org/10.1007/S10551-016-3167-X/TABLES/6

Cinar, E., Demircioglu, M. A., Acik, A. C., & Simms, C. (2024). Public sector innovation in a city state: exploring innovation types and national context in Singapore. *Research Policy*, *53*(2), 104915. https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2023.104915

Cornelissen, M., Małyska, A., Nanda, A. K., Lankhorst, R. K., Parry, M. A. J., Saltenis, V. R., Pribil, M., Nacry, P., Inzé, D., & Baekelandt, A. (2021). Biotechnology for Tomorrow's World: Scenarios to Guide Directions for Future Innovation. *Trends in Biotechnology*, *39*(5), 438–444. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.09.006

Čekanavičius, V., & Murauskas, G. (2014). *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Vilniaus universiteto leidykla.

Dabić, M., Obradović, T., Vlačić, B., Sahasranamam, S., & Paul, J. (2022). Frugal innovations: A multidisciplinary review & agenda for future research. *Journal of Business Research*, *142*, 914–929. https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2022.01.032

DaSilva, E. J. (2004). The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*, *7*(3), 01–02.

Daubarienė, J. (2018). *Literatūros analizė studijų darbuose*. http://dspace.kaunokolegija.lt//handle/123456789/91

Dillinger, F., Bernhard, O., Kagerer, M., & Reinhart, G. (2022). Industry 4.0 implementation sequence for manufacturing companies. *Production Engineering*, *16*(5), 705–718. https://doi.org/10.1007/S11740-022-01110-5/FIGURES/7

Ding, B., Ferràs Hernández, X., Núria, &, Jané, A., Ferr As Hern Andez, X., Uria, N., & Jan, A. (2023). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *Production Planning & Control*, *34*(5), 442–458. https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934587

Donner, M., & de Vries, H. (2021). How to innovate business models for a circular bio-economy? *Business Strategy and the Environment*, *30*(4), 1932–1947. https://doi.org/10.1002/BSE.2725

Dorey, E. (2004). Nasdaq dilutes its biotech index. *Nature biotechnology*, *22*(1), 9. https://doi.org/10.1038/NBT0104-9

DuJack, E. (2023). Manufacturing Digital Transformation Roadmap. *L2L*.

Emekdar, E., Açikgöz-Tufan, H., Şahin, U. K., Kurşun Bahadir, S., Tuluk, B., & Şimşek, A. N. (2023). Process improvement and efficiency analysis using the Single-Minute Exchange of Dies method applied to the set-up and operation of screen-printing machines. *Coloration Technology*, *139*(2), 209–218. https://doi.org/10.1111/COTE.12676

En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy. (2007). https://dechema.de/en/Analysis+_+Consulting/Reports+and+position+papers/2007+En+Route+to+the+Knowledge_Based+Bio_Economy+_+Cologne_Paper-p-125092.html

European Commission, P. O. of the E. (2012). *Innovating for sustainable growth : a bioeconomy for Europe.* https://doi.org/10.2777/6462

Fagarasan, C., Popa, O., Pisla, A., & Cristea, C. (2021). Agile, waterfall and iterative approach in information technology projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1169*.

Fernando, Y., Chiappetta Jabbour, C. J., & Wah, W. X. (2019). Pursuing green growth in technology firms through the connections between environmental innovation and sustainable business performance: Does service capability matter? *Resources, Conservation and Recycling*, *141*, 8–20. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.09.031

Ficara, V. (2022). *IPO listing of the only Italian company at Nasdaq: Genenta Science S.p.a. case*.

Frascati vadovas 2015: Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros duomenų rinkimo bei teikimo rekomendacijos. Mokslinės, technologinės ir inovacinės veiklos vertinimas (lietuviškas leidimas). (2017).

Garalis, A. (2003). *Logistika: bendrieji pagrindai*. Šiaulių universiteto leidykla.

Garjonis, G. (2023). Innovation and solutions in the supply chain allocation process. *Conference "Young Scientist 2023"*, 63–66. https://ejournals.vdu.lt/index.php/jm2022/article/view/4013

Gast, J., Gundolf, K., & Cesinger, B. (2017). *Doing business in a green way: A systematic review of the ecological sustainability entrepreneurship literature and future research directions*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.065

Gault, F. (2018). Defining and measuring innovation in all sectors of the economy. *Research Policy*, *47*(3), 617–622. https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2018.01.007

Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123741. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123741

Glaeser, S., & Lang, M. (2024). Measuring innovation and navigating its unique information issues: A review of the accounting literature on innovation. *Journal of Accounting and Economics*, 101720. https://doi.org/10.1016/J.JACCECO.2024.101720

Gleissner, H., & Femerling, J. C. (2013). *The Principles of Logistics*. 3–18. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01769-3_2

Gnanasekaran, J. S., & Shanmugasundaram, S. (2008). Role of manufacturing logistics in Indian automobile industries--a case study. *International Journal of Applied Engineering Research*, *3*(9), 1205–1216. https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=09734562&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA215925186&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext

Goyal, A., Agrawal, R., & Kumar Sharma, A. (2022). Green quality circle: Achieving sustainable manufacturing with low investment. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, *15*, 200103. https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2022.200103

Govindan, K., Diabat, A., & Madan Shankar, K. (2015). Analyzing the drivers of green manufacturing with fuzzy approach. *Journal of Cleaner Production*, *96*, 182–193. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.02.054

Govindan, K., Kannan, D., & Shankar, M. (2015). Evaluation of green manufacturing practices using a hybrid MCDM model combining DANP with PROMETHEE. *International Journal of Production Research*, *53*(21), 6344–6371. https://doi.org/10.1080/00207543.2014.898865

Guajardo, N., & Schrebler, R. A. (2023). Upstream and Downstream Bioprocessing in Enzyme Technology. *Pharmaceutics 2024, Vol. 16, Page 38*, *16*(1), 38. https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS16010038

Gui, L., Lei, H., & Le, P. B. (2022). Determinants of radical and incremental innovation: the influence of transformational leadership, knowledge sharing and knowledge-centered culture. *European Journal of Innovation Management*, *25*(5), 1221–1241. https://doi.org/10.1108/EJIM-12-2020-0478/FULL/PDF

Hartley, J., Rønning, R., Fuglsang, L., & Geuijen, K. (2022). Innovation Concepts and Processes. *Valuing Public Innovation*, 21–60. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15203-0_2

Hashmi, H. B. A., Ooms, W., Voinea, C. L., & Caniëls, M. C. J. (2023). Reverse innovations bridging the gap between entrepreneurial orientation and international performance. *International Journal of Emerging Markets*, *ahead-of-print*(ahead-of-print). https://doi.org/10.1108/IJOEM-08-2021-1178/FULL/PDF

Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., Biancolillo, A., Cropotova, J., Galanakis, C. M., Jambrak, A. R., Lorenzo, J. M., Måge, I., Ozogul, F., & Regenstein, J. (2023). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(23), 6547–6563. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735

Hemalatha, C., Sankaranarayanasamy, K., & Durairaaj, N. (2021). Lean and agile manufacturing for work-in-process (WIP) control. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 10334–10338. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.12.473

Ho, T. T., Murthy, H. N., Dalawai, D., Bhat, M. A., Paek, K. Y., & Park, S. Y. (2019). Attributes of Polygonum multiflorum to transfigure red biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*(8), 3317–3326. https://doi.org/10.1007/S00253-019-09709-Y/FIGURES/5

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

Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation and Recycling*, *129*, 36–44. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.09.029

Yang, X., Wu, H., Ren, S., Ran, Q., & Zhang, J. (2021). Does the development of the internet contribute to air pollution control in China? Mechanism discussion and empirical test.

Structural Change and Economic Dynamics, *56*, 207–224. https://doi.org/10.1016/J.STRUECO.2020.12.001

Yang, Z., Hao, Y., Shi, W., Shao, X., Dong, X., Cheng, X., Li, X., & Ma, X. (2021). Field test of pharmaceutical cleanroom cleanliness subject to multiple disturbance factors. *Journal of Building Engineering*, *42*, 103083. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103083

Ye, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Wei, W., Cheng, D., Bui, X. T., Hoang, N. B., & Zhang, H. (2024). Biofuel production for circular bioeconomy: Present scenario and future scope. *Science of The Total Environment*, *935*, 172863. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.172863

Ye, Z., Yang, J., Zhong, N., Tu, X., Jia, J., & Wang, J. (2020). Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review. *Science of The Total Environment*, *699*, 134279. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134279

Yeung, A. W. K., Tzvetkov, N. T., Gupta, V. K., Gupta, S. C., Orive, G., Bonn, G. K., Fiebich, B., Bishayee, A., Efferth, T., Xiao, J., Silva, A. S., Russo, G. L., Daglia, M., Battino, M., Orhan, I. E., Nicoletti, F., Heinrich, M., Aggarwal, B. B., Diederich, M., … Atanasov, A. G. (2019). Current research in biotechnology: Exploring the biotech forefront. *Current Research in Biotechnology*, *1*, 34–40. https://doi.org/10.1016/J.CRBIOT.2019.08.003

Yi, H., Qu, T., Zhang, K., Li, M., Huang, G. Q., & Chen, Z. (2023). Production Logistics in Industry 3.X: Bibliometric Analysis, Frontier Case Study, and Future Directions. *Systems 2023, Vol. 11, Page 371*, *11*(7), 371. https://doi.org/10.3390/SYSTEMS11070371

Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(1–2), 848–861. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664

Il, E., & Hwa, C. (2022). Meaning and Policy of Changing R&D Process for the Digital Transformation(DX). *Journal of Korean Society for Quality Management*, *50*(1), 35–42. https://doi.org/10.7469/JKSQM.2022.50.1.35

Yuliantini, T., Marlapa, E., Asih, D., Srihadi, T. F., Rohman, A., & Soelton, M. (2023). Business planning based on green management, should be sustainable? *ICCD*, *5*(1), 135–140. https://doi.org/10.33068/ICCD.V5I1.573

Jana, T., & Pathak, S. (2018). Biotechnology for human welfare: past and road ahead. *Biotechnology and Nature*, 13–33.

Jančiauskas, B., Maceika, A., Strazdas, R., Toločka, E., & Zabielavičienė, I. (2012). *Pramonės įmonių valdymas: planavimas, organizavimas, vadovavimas*. VGTU leidykla „Technika“.

Jane Jimenez, S. A., Nicole Perez, P. G., Jo Angelique Calpito, K. C., Yvonne Criselle Aman, A. A., & Batucan Jr, L. S. (2024). Towards a sustainable future for health equity: a policy

brief on strengthening the science-policy-society interface in a low-and middle-income country for Biotechnology Research and Health Systems. *Philippines c National Committee on Biosafety of the Philippines (NCBP)*.

Jiang, H., Qu, T., Wan, M., Tang, L., & Huang, G. Q. (2020). Digital-twin-based implementation framework of production service system for highly dynamic production logistics operation. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, *2*(2), 74–80. https://doi.org/10.1049/iet-cim.2019.0065

Jildeh, Z. B., Wagner, P. H., & Schöning, M. J. (2021). Sterilization of Objects, Products, and Packaging Surfaces and Their Characterization in Different Fields of Industry: The Status in 2020. *physica status solidi (a)*, *218*(13), 2000732. https://doi.org/10.1002/PSSA.202000732

Kafarski, P. (2012). Rainbow code of biotechnology. *CHEMIK*.

Kalėdienė, L. (2002). *biotechnologija - Visuotinė lietuvių enciklopedija*. https://www.vle.lt/straipsnis/biotechnologija/

Kamalapuram, S. K., & Choudhury, D. (2024). Industry 4.0 technologies for cultivated meat manufacturing. *Food Bioengineering*, *3*(1), 14–28. https://doi.org/10.1002/FBE2.12080

Kampf, R., Hlatká, M., & Bartuška, L. (2018). Optimization of Production Logistics. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, *Vol. 12*(no 4), 151–156. https://doi.org/10.12913/22998624/100351

Kanbach, D. K., Heiduk, L., Blueher, G., Schreiter, M., & Lahmann, A. (2024). The GenAI is out of the bottle: generative artificial intelligence from a business model innovation perspective. *Review of Managerial Science*, *18*(4), 1189–1220. https://doi.org/10.1007/S11846-023-00696-Z/FIGURES/3

Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, *3*(1), 111–128. https://doi.org/10.1007/S40684-016-0015-5/METRICS

Kappauf, J., Lauterbach, B., & Koch, M. (2011). *Logistic Core Operations with SAP: Procurement, Production and Distribution Logistics*. Springer Berlin Heidelberg.

Kardelis, K. (2002). *Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai*.

Kargytė, V. (2020). Bioekonomikos plėtros perspektyvos Europoje ir Lietuvoje. *balticbiomass4value.eu*. https://doi.org/10.2760/144526

Kasiulevičius, V., & Denapienė, G. (2008). Statistikos taikymas mokslinių tyrimų analizėje. *Gerontologija*.

Kazancoglu, Y., Lafci, C., Berberoglu, Y., Jagtap, S., & Celik, C. C. (2024). The analysis of critical success factors for successful kaizen implementation during the COVID-19 pandemic: a textile industry case study. *TQM Journal*, *36*(6), 1695–1723. https://doi.org/10.1108/TQM-08-2023-0254/FULL/PDF

Khang, A., Jadhav, B., & Birajdar, S. (2023). Industry Revolution 4.0: Workforce Competency Models and Designs. *Designing Workforce Management Systems for Industry 4.0: Data-Centric and AI-Enabled Approaches*, 11–34.

Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, *194*, 107001. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2023.107001

Kivimaa, P., Laakso, S., Lonkila, A., & Kaljonen, M. (2021). Moving beyond disruptive innovation: A review of disruption in sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *38*, 110–126. https://doi.org/10.1016/J.EIST.2020.12.001

Klarin, A. (2019). Mapping product and service innovation: A bibliometric analysis and a typology. *Technological Forecasting and Social Change*, *149*, 119776. https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2019.119776

Krishnan, U. (2021). The Industry 4.0 and its associated technologies. *Journal of Emerging Technologies*, *1*(1), 1–10. https://doi.org/10.57040/JET.V1I1.24

Kudumala, A., Konersmann, T., Israel, A., & Miranda, W. (2021). Biopharma digital transformation: Gain an edge with leapfrog digital innovation. *Deloitte Center for Health Solutions*.

Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, *64*, 1188–1192. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.03.481

Lalas, D., & Merkevičius, J. (2023). Pagrindinių žaidimizacijos elementų el. prekyboje analizė. *26-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminė konferencija „Ekonomika ir vadyba“, 2023 m. spalio 17 d. Vilnius*, 64–72. https://doi.org/10.3846/vvf.2023

Lee, S. M. (2018). Innovation: from small “i” to large “I”. *International Journal of Quality Innovation 2018 4:1*, *4*(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/S40887-018-0022-4

Legendre, P. (2005). Species associations: The Kendall coefficient of concordance revisited. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, *10*(2), 226–245. https://doi.org/10.1198/108571105X46642/METRICS

Leong, W. D., Lam, H. L., Ng, W. P. Q., Lim, C. H., Tan, C. P., & Ponnambalam, S. G. (2019). Lean and Green Manufacturing—a Review on its Applications and Impacts. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, *3*(1), 5–23. https://doi.org/10.1007/S41660-019-00082-X/FIGURES/5

Liu, S., & Singh, A. (2024). Driving Biotech Innovation: An Integrated Analysis of Patents, R&D Spending, Professional Services, Researcher Density, and Pharmaceutical Revenue within the UK. *Journal of Commercial Biotechnology*, *29*(1), 1–11. https://doi.org/10.5912/JCB2214

Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, *270*(1–2), 273–286. https://doi.org/10.1007/S10479-018-2772-8/TABLES/3

Martin, D. K., Vicente, O., Beccari, T., Kellermayer, M., Koller, M., Lal, R., Marks, R. S., Marova, I., Mechler, A., Tapaloaga, D., Žnidaršič-Plazl, P., & Dundar, M. (2021). A brief overview of global biotechnology. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, *35*(1), 354–363. https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1878933

Matyushenko, I., Sviatukha, I., & Grigorova-Berenda, L. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy. *British Journal of Economics, Management & Trade*, *14*(4), 1–14. https://doi.org/10.9734/BJEMT/2016/28151

Mehta, A., Niaz, M., Adetoro, A., & Nwagwu, U. (2024). Advancements in Manufacturing Technology for the Biotechnology Industry: The Role of Artificial Intelligence and Emerging Trends. *International Journal of Chemistry, Mathematics and Physics (IJCMP)*, *8*(2). https://doi.org/10.22161/ijcmp.8.2.3

Minalga, R. (2001). Logistika. *Logistika*. Petro ofsetas.

Minalga, R. (2008). *Aprūpinimo logistika*. Mykolo Romerio universiteto Leidybos centras.

Morad, S., Ragonis, N., & Barak, M. (2021). An integrative conceptual model of innovation and innovative thinking based on a synthesis of a literature review. *Thinking Skills and Creativity*, *40*, 100824. https://doi.org/10.1016/J.TSC.2021.100824

Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, *153*, 104553. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104553

Mourtzis, D., Zogopoulos, V., & Xanthi, F. (2019). Augmented reality application to support the assembly of highly customized products and to adapt to production re-scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *105*(9), 3899–3910. https://doi.org/10.1007/S00170-019-03941-6/TABLES/1

Naila, D. L., Nandonde, F. A., & Makindara, J. (2024). Review of empirical studies on food process innovation: Status quo and future research agenda. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, *3*(3), 100073. https://doi.org/10.1016/J.STAE.2024.100073

Ng, T. C., Lau, S. Y., Ghobakhloo, M., Fathi, M., & Liang, M. S. (2022). The Application of Industry 4.0 Technological Constituents for Sustainable Manufacturing: A Content-Centric Review. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 4327*, *14*(7), 4327. https://doi.org/10.3390/SU14074327

Nobre, G. C., & Tavares, E. (2021). The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*, *314*, 127973. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127973

Nowakowska-Grunt, J., & Sałek, R. (2010). SMED method analysis as a factor supporting enterprise management. *Advanced Logistic Systems, Częstochowa University of Technology*.

OECD. (2005). *A framework for biotechnology statistics*.

Ogami, G. T. (2007). *Implementation of Lean Manufacturing in the Biotech Industry*. California Polytechnic State University.

Okwu, M. O., Tartibu, L. K., Maware, C., Enarevba, D. R., Afenogho, J. O., & Essien, A. (2022). Emerging Technologies of Industry 4.0: Challenges and Opportunities. *5th International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems, icABCD 2022 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/ICABCD54961.2022.9856002

Oslo vadovas 2018: Duomenų apie inovacijas rinkimo, teikimo ir naudojimo gairės. Mokslinės, technologinės ir inovacinės veiklos matavimas (lietuviškas leidimas). (2019).

Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *31*(1), 127–182. https://doi.org/10.1007/S10845-018-1433-8/FIGURES/11

Pabedinskaitė, A. (2010). Kiekybiniai sprendimų metodai. I dalis. Koreliacinė regresinė analizė. Prognozavimas. https://doi.org/10.3846/791-S

Palange, A., & Dhatrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 729–736. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.12.193

Pammolli, F., Righetto, L., Abrignani, S., Pani, L., Pelicci, P. G., & Rabosio, E. (2020). The endless frontier? The recent increase of R&D productivity in pharmaceuticals. *Journal of Translational Medicine*, *18*(1), 1–14. https://doi.org/10.1186/S12967-020-02313-Z/TABLES/2

Panter, L., Leder, R., Keiser, D., & Freitag, M. (2024). Requirements for Human-Machine-Interaction Applications in Production and Logistics within Industry 5.0 – A Case Study Approach. *Procedia Computer Science*, *232*, 1164–1171. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2024.01.114

Paulauskas, V. (2007). *Logistika* (2-asis-asis patais. leid.). Klaipėdos universiteto leidykla.

Pei, Z., Yu, T., Yi, W., & Li, Y. (2021). Twenty-year retrospection on green manufacturing: A bibliometric perspective. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, *3*(4), 303–323. https://doi.org/10.1049/CIM2.12038

Pfohl, H.-C. (2022). *Logistics Systems*. Springer Berlin / Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64349-5

Plakas, G., Ponis, S. T., Agalianos, K., Aretoulaki, E., & Gayalis, S. P. (2020). Augmented Reality in Manufacturing and Logistics: Lessons Learnt from a Real-Life Industrial Application. *Procedia Manufacturing*, *51*, 1629–1635. https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.10.227

Purchase, S., & Volery, T. (2020). Marketing innovation: a systematic review. *Journal of Marketing Management*, *36*(9–10), 763–793. https://doi.org/10.1080/0267257X.2020.1774631

Radhakrishnan, S. (2014). *Application of Biotechnology in the Processing of Textile Fabrics*. 277–325. https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0_9

Rimkutė, A., Jurėnienė, V., & Novelskaitė, A. (2016). *Magistro darbo rengimo metodiniai nurodymai*. Vilniaus universiteto Kauno humanitarinio fakulteto taryba.

Rodríguez-Núñez, K., Rodríguez-Ramos, F., Leiva-Portilla, D., & Ibáñez, C. (2020). Brown biotechnology: a powerful toolbox for resolving current and future challenges in the development of arid lands. *SN Applied Sciences*, *2*(7), 1187. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2980-0

Saini, M., & Hrušecká, D. (2021). Comparative impact of logistics performance index, ease of doing business and logistics cost on economic development: a fuzzy QCA analysis. *Journal of Business Economics and Management*, *22*(6), 1577–1592. https://doi.org/10.3846/jbem.2021.15586

Sakalas, A. (2000). *Pramonės įmonių vadyba*. Technologija.

Sarpong, D., Boakye, D., Ofosu, G., & Botchie, D. (2023). The three pointers of research and development (R&D) for growth-boosting sustainable innovation system. *Technovation*, *122*, 102581. https://doi.org/10.1016/J.TECHNOVATION.2022.102581

Saunila, M. (2020). Innovation capability in SMEs: A systematic review of the literature. *Journal of Innovation & Knowledge*, *5*(4), 260–265. https://doi.org/10.1016/J.JIK.2019.11.002

Senarath, U. S. (2021). Waterfall Methodology, Prototyping and Agile Development. *Tech. Rep*.

Sgarbossa, F., Grosse, E. H., Neumann, W. P., Battini, D., & Glock, C. H. (2020). Human factors in production and logistics systems of the future. *Annual Reviews in Control*, *49*, 295–305. https://doi.org/10.1016/J.ARCONTROL.2020.04.007

Shahin, M., Maghanaki, M., Hosseinzadeh, A., & Chen, F. F. (2024). Improving operations through a lean AI paradigm: a view to an AI-aided lean manufacturing via versatile convolutional neural network. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2024 133:11*, *133*(11), 5343–5419. https://doi.org/10.1007/S00170-024-13874-4

Shokoohi, M., & Attar, T. (2024). Biomanufacturing for a Sustainable Future: Unleashing the Potential of Biotechnology in Pharmaceutical Raw Material Production. *International Journal of New Findings in Health and Educational Sciences (IJHES)*, *2*(2), 142–153. https://doi.org/10.63053/IJHES.81

Si, S., & Chen, H. (2020). A literature review of disruptive innovation: What it is, how it works and where it goes. *Journal of Engineering and Technology Management*, *56*, 101568. https://doi.org/10.1016/J.JENGTECMAN.2020.101568

Silvestre, B. S., & Ţîrcă, D. M. (2019). Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 325–332. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.09.244

Singh, P., & Kumar, S. (2019). Microbial Enzyme in Food Biotechnology. *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, 19–28. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00002-5

Skeberdytė, L. (2015). *Mokslo ir verslo organizacijų tinklaveika: Lietuvos biotechnologijų sektoriaus atvejis* [Mykolo Riomerio Universitetas].

Snihur, Y., & Wiklund, J. (2019). Searching for innovation: Product, process, and business model innovations and search behavior in established firms. *Long Range Planning*, *52*(3), 305–325. https://doi.org/10.1016/J.LRP.2018.05.003

Šostko, A., & Jakubavičius, A. (2018). Gamybos logistikos tobulinimas bioekonomikos iššūkių kontekste. *Mokslas–Lietuvos ateitis/Science–Future of Lithuania*, 10 https://doi.org/10.3846/mla.2018.2864

Ta, V. A., Lin, C.-Y., Program In Business, P. D., Management, O., & Jung, C. (2023). Exploring the Determinants of Digital Transformation Adoption for SMEs in an Emerging Economy. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 7093*, *15*(9), 7093. https://doi.org/10.3390/SU15097093

Taylor, K., Properzi, F., & Cruz, M. J. (2020). Intelligent drug supply chain Creating value from AI. *Deloitte Insights*.

Tautkevičienė, G. (2019). Kaip parengti mokslinį straipsnį publikuoti. *Efektyvus elektroninių mokslo informacijos išteklių naudojimas Mokomoji medžiaga*. Lietuvos mokslinių bibliotekų asociacija.

Thesing, T., Feldmann, C., & Burchardt, M. (2021). Agile versus Waterfall Project Management: Decision Model for Selecting the Appropriate Approach to a Project. *Procedia Computer Science*, *181*, 746–756. https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.01.227

Tidikis, R. Jonas. . (2003). *Socialinių mokslų tyrimų metodologija* . 628.

Trojanowska, J., Husár, J., Hrehova, S., & Knapčíková, L. (2023). Poka Yoke in Smart Production Systems with Pick-to-Light Implementation to Increase Efficiency. *Applied Sciences 2023, Vol. 13, Page 11715*, *13*(21), 11715. https://doi.org/10.3390/APP132111715

Tsou, H. T., & Chen, J. S. (2023). How does digital technology usage benefit firm performance? Digital transformation strategy and organisational innovation as mediators. *Technology Analysis & Strategic Management*, *35*(9), 1114–1127. https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1991575

Tu, M., K. Lim, M., & Yang, M.-F. (2018). IoT-based production logistics and supply chain system – Part 2. *Industrial Management + Data Systems*, *118*(1), 96–125. https://doi.org/10.1108/IMDS-11-2016-0504

Valamede, L., & Akkari, A. (2020). Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering* and management sciences *5*(5), 851–868. https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066

Van Moorsel, D., Cranfield, J. A. L., & Sparling, D. (2007). Factors affecting biotechnology innovation in Canada: Analysis of the 2001 biotechnology use and development survey. *International Journal of Biotechnology*, *9*(1), 39–59. https://doi.org/10.1504/IJBT.2007.012168

Venkat Jayanth, B., Prathap, P., Sivaraman, P., Yogesh, S., & Madhu, S. (2020). Implementation of lean manufacturing in electronics industry. *Materials Today: Proceedings*, *33*, 23–28. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.02.718

Veres, C., Marian, L., Moica, S., & Al-Akel, K. (2018). Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, *22*, 900–905. https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.03.127

Verma, D., Mishra, A., & Sinha, K. K. (2011). The development and application of a process model for R&D project management in a high tech firm: A field study. *Journal of Operations Management*, *29*(5), 462–476. https://doi.org/10.1016/J.JOM.2010.11.010

Vesci, M., Feola, R., Parente, R., & Radjou, N. (2021). How to save the world during a pandemic event. A case study of frugal innovation. *R&D Management*, *51*(4), 352–363. https://doi.org/10.1111/RADM.12459

Vieira, H., Leal, M. C., & Calado, R. (2020). Fifty Shades of Blue: How Blue Biotechnology is Shaping the Bioeconomy. *Trends in Biotechnology (Regular Ed.)*, *38*(9), 940–943. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.03.011

Visuotinė lietuvių enciklopedija. (s.a.). Gauta 2023 m. spalio 25 d., https://www.vle.lt/

Vitunskienė, V., Mizeikienė, A., Aleknevičienė, V., & Čaplikas, J. (2017). *Lietuvos bioekonomikos plėtros galimybių studija*.

Wang, F., & Chen, K. (2020). Do product imitation and innovation require different patterns of organizational innovation? Evidence from Chinese firms. *Journal of Business Research*, *106*, 60–74. https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.08.046

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, *48*(11), 1148–1148. https://doi.org/10.1038/SJ.JORS.2600967

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos., D. (1990). *The machine that changed the world*. 323.

Xu, J., Wang, X., & Liu, F. (2021). Government subsidies, R&D investment and innovation performance: analysis from pharmaceutical sector in China. *Technology Analysis & Strategic Management*, *33*(5), 535–553. https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1830055

Zafarzadeh, M., Wiktorsson, M., Hauge, J. B., Zafarzadeh, M. ;, Wiktorsson, M., & Hauge, B. (2021). A Systematic Review on Technologies for Data-Driven Production Logistics: Their Role from a Holistic and Value Creation Perspective. *Logistics 2021, Vol. 5, Page 24*, *5*(2), 24. https://doi.org/10.3390/LOGISTICS5020024

Zasadzień, M., & Zarnovský, J. (2018). Improvement of Selected Logistics Processes Using Quality Engineering Tools. *Management Systems in Production Engineering*, *26*(1), 55–59. https://doi.org/10.2478/MSPE-2018-0009

Zawadzki, P., Trojanowska, J., Martinelli, M., Lippi, M., & Gamberini, R. (2022). Poka Yoke Meets Deep Learning: A Proof of Concept for an Assembly Line Application. *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 11071*, *12*(21), 11071. https://doi.org/10.3390/APP122111071

Zeng, N., Ye, X., Liu, Y., & König, M. (2023). BIM-enabled Kanban system in construction logistics for real-time demand reporting and pull replenishment. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *31*(8), 3069–3096. https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2022-0036/FULL/PDF

Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *59*(6), 1922–1954. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085

Zinkevičiūtė, V., & Vasiliauskas, A. V. (2013). *Gamybos Logistika Gamybos Vadyba*.

PRIEDAI

1 priedas. Ekspertinio vertinimo apklausos anketa

Užimamos pareigos.....

Išdirbtas laikas biotechnologijų pramonėje (metais).....

Nuomonė apie technologinių veiksnių poveikį plėtojant gamybos procesų skaitmenizavimą biotechnologijų sektoriuje

1. Suranguokite (nuo 1 iki 3) gamybos proceso skaitmenizavimo technologinius veiksnius pagal reikšmingumą (1 – mažiausiai reikšminga; 3 – labiausiai reikšminga)

Technologijų diegimo sudėtingumas .....

Technologijų diegimo suvokiamas naudingumas .....

Technologijų suderinamumas ir jų parinkimas .....

2. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą gamybos planavimo etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

3. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą medžiagų aprūpinimo etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

4. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

5. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą gamybos etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

6. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą kokybės kontrolės etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

7. Suranguokite (nuo 1 iki 7), kokios skaitmenizavimo technologijos turi didžiausią reikšmingumą produkcijos paskirstymo etape? (1 – mažiausiai reikšminga; 7 – labiausiai reikšminga)

Dirbtinis intelektas .....

Pramoniniai robotai .....

Debesų kompiuterija .....

Daiktų internetas .....

Didieji duomenys .....

Automatinės valdomos transporto priemonės .....

3D spausdinimas .....

8. Kiek svarbu užtikrinti kibernetinį saugumą skaitmenizuojant gamybos procesus? (1 – mažiausiai reikšminga; 10 – labiausiai reikšminga) .....

Nuomonė apie organizacinių veiksnių poveikį plėtojant gamybos procesų skaitmenizavimą biotechnologijų sektoriuje

1. Suranguokite (nuo 1 iki 4) gamybos proceso skaitmenizavimo naudą pagal įmonės dydį (1 – mažiausia nauda; 4 – didžiausia nauda)/

Kai gamybos procese dirba iki 10 darbuotojų .....

Kai gamybos procese dirba nuo 10 iki 50 darbuotojų .....

Kai gamybos procese dirba nuo 50 iki 100 darbuotojų .....

Kai gamybos procese dirba nuo 100 darbuotojų .....

2. Suranguokite (nuo 1 iki 6) gamybos proceso skaitmenizavimo naudą pagal gamybos tipą (1 – mažiausia nauda; 6 – didžiausia nauda).

Projektinė .....

Vienetinė gamyba .....

Mažų serijų .....

Serijinė .....

Srovinė .....

Masinė .....

3. Suranguokite (nuo 1 iki 5) kas turi didžiausią įtaką gamybos procesų skaitmenizavimo nesėkmei (1 – mažiausia įtaka; 5 – didžiausia įtaka).

Skaitmeninės transformacijos strategijos neturėjimas .....

Vadovų įsitraukimo trūkumas .....

Kompetentingų darbuotojų trūkumas .....

Tempo trūkumas .....

Pinigų trūkumas .....

Nuomonė apie aplinkos veiksnių poveikį plėtojant gamybos procesų skaitmenizavimą biotechnologijų sektoriuje

1. Suranguokite (nuo 1 iki 4) reguliacinės aplinkos veiksnių poveikį plėtojant gamybos procesų skaitmenizavimą biotechnologijų sektoriuje (1 – silpnas poveikis; 4 – stiprus poveikis).

Vyriausybės politika .....

Intelektinės nuosavybės apsauga .....

Tarptautiniai standartai ir normos .....

Reguliavimo institucijų lankstumas ir efektyvumas .....

2. Suranguokite (nuo 1 iki 4) ekonominės aplinkos veiksnių poveikį plėtojant gamybos procesų skaitmenizavimą biotechnologijų sektoriuje (1 – silpnas poveikis; 4 – stiprus poveikis)

Investicijų ir finansavimo prieinamumas .....

Technologijų kainos ir įsigijimo sąnaudos .....

Energijos išteklių kainos .....

Rinkos paklausa ir konkurencija .....

2 priedas. Straipsnis „Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba“

BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖS PLĖTROS TENDENCIJOS LIETUVOJE PRAMONĖ 4.0 IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE

Marius MATULAITIS*, Artūras JAKUBAVIČIUS

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Verslo vadybos fakultetas, Vadybos technologijų ir verslininkystės katedra, Saulėtekio al. 11, LT-10223, Vilnius, Lietuva

*El. paštas marius.matulaitis@stud.vilniustech.lt

Santrauka. Biotechnologijos taikomos žmonių gyvenime dar nuo civilizacijos pradžios, tačiau per pastaruosius dešimtmečius biotechnologijų taikymo perspektyva įgavo dar didesnį dėmesį ir biotechnologijos tapo neatsiejama šiuolaikinio mokslo ir modernaus pasaulio dalimi. Šiuolaikinėje biotechnologijų pramonėje taikomos įvairios Pramonės 4.0 technologijos, gerinančios biotechnologijų sektoriaus veiklą. Šiame straipsnyje analizuojama biotechnologijų sektoriaus raida ir plėtros tendencijos Pramonė 4.0 kontekste. Taip pat analizuojama biotechnologijų klasifikacija, jų rūšys ir taikymo sritys bei Pramonė 4.0 specifika ir taikymas biotechnologijų pramonėje. Atlikto tyrimo rezultatai parodo, kad biotechnologijų pramonė Lietuvoje sparčiai plečiasi ir nuo 2006 m. iki 2022 m. biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje padidėjo beveik 7 kartus. Sėkmingai biotechnologijų sektoriaus plėtrai reikalingos investicijos į inovacijas, mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros (toliau MTEP) veiklą ir skaitmenizaciją. Šio straipsnio tikslas – nusakyti biotechnologijų pramonės plėtros tendencijas Lietuvoje, Pramonė 4.0 kontekste. Straipsnio tikslui įgyvendinti taikoma literatūros analizė ir statistiniai tyrimo metodai, bei grafinių duomenų vaizdavimo, palyginamosios analizės metodai.

Reikšminiai žodžiai: biotechnologijos, biotechnologijų sektorius, Pramonė 4.0, skaitmeninimas, MTEP, inovacijos, tendencijos.

Įvadas

Biotechnologijos – tai novatoriška ir sparčiai besivystanti sritis, turinti įtakos daugeliui skirtingų sektorių. Platus biotechnologijų pritaikymas ir jų praktinė nauda lemia didėjantį šio sektoriaus populiarumą. Biotechnologijos tampa viena iš pirmaujančių technologijų skatinanti atsisakyti anglies naudojimą kurui bei sprendžia kritines socialines problemas, tokias kaip sveikatos apsauga, klimato kaita, maisto ir energijos paklausos didėjimas (Martin ir kt., 2021). Biotechnologijos yra viena iš pažangiųjų technologijų į kurias valstybės investuoja tam, kad stiprintų savo ekonomiką ir didintų tvarią plėtrą (Aghmiuni ir kt., 2020). Pastaraisiais metais biotechnologijos keičia pramonės ir žemės ūkio praktiką gerindamos produktų kiekį ir kokybę, todėl komercinių biotechnologijų produktų kasmet daugėja (Lokko ir kt., 2018). Biotechnologijų pritaikymas yra labai platus ir kompleksiškas. Biotechnologijų pramonė apima daug skirtingų sektorių ir dėl naujų mokslinių ir technologinių atradimų, biotechnologijų pritaikymo galimybės didėja (Shimasaki, 2014). Nuo 1980 m. biotechnologijos tapo labai populiariu terminu tarp mokslinių publikacijų ir straipsnių apie verslą, pramonę, biomediciną, chemijos inžineriją, žemės ūkio mokslus ir net socialinius mokslus. Biotechnologijų pritaikymas sudarė sąlygas naujam požiūriui į daugelį pramonės šakų (Yeung ir kt., 2019).

Biotechnologijų sektoriaus plėtra ypač pastebima per pastarąjį dešimtmetį. Didelis kiekis mokslinės literatūros rodo biotechnologijų sektoriaus svarbą ir didelį potencialą. 2017–2020 m. pasaulinėje biotechnologijų literatūroje buvo paskelbta daugiau nei 12000 straipsnių (Martin ir kt., 2021). Lietuvoje biotechnologijų pramonė įgavo didelį augimo pagreitį prasidėjus COVID – 19 epidemijai ir 2020 metais Lietuvos biotechnologijų sektoriaus pajamos buvo 1,9 mlrd. Eur, o 2021 metais padidėjo 37 proc. iki 2,6 mlrd. Eur. (Rekordinis Lietuvos biotechnologijų sektoriaus augimas: pernai įmonių pajamos artėjo prie trijų milijardų, 2022). Biotechnologijos gausiai prisideda prie naujovių kūrimo ir ateities problemų sprendimo. Investicijos į mokslinius tyrimus ir plėtrą yra būtinos kuriant naujas žinias, kurios gali pagerinti įmonės novatoriškumą ir išradingumą (Xu ir kt., 2021).

Biotechnologijų ir skaitmeninių technologijų pažanga turi didelį potencialą mūsų ateities formavimui ir žmonijos gyvenimo gerinimui. Tinkamai integruojami Pramonė 4.0 įrankiai prisideda prie įmonės efektyvumo, pelningumo, konkurencingumo ir klientų pasitenkinimo didinimo. Biotechnologijų pramonėje skiriamas specialus dėmesys naujų technologijų diegimui, kadangi gamyboje dažnai naudojamos specifinės žaliavos, kurioms reikia didelio tikslumo bei turi būti griežtai kontroliuojama kokybė. Organizacijos neišvengiamai juda skaitmeninės transformacijos keliu (Almeida ir kt., 2020). Didėjantis ryšys tarp žmonių ir mobiliųjų įrenginių, skatinamas naujų technologijų, skatina nuolatinį Pramonės 4.0 augimą (Krishnan, 2021).

Šiame straipsnyje analizuojama biotechnologijų ir Pramonė 4.0 samprata, aprašoma klasifikacija bei analizuojamos biotechnologijų sektoriaus plėtros kryptys. Pasitelkiant mokslinę literatūrą ir oficialią statistiką vertinamos biotechnologijų sektoriaus plėtros tendencijos Lietuvoje Pramonė 4.0 kontekste.

Mokslinio tyrimo objektas – biotechnologijų pramonės plėtros tendencijos.

Tikslas: nusakyti biotechnologijų pramonės plėtros tendencijas Lietuvoje, Pramonė 4.0 kontekste.

Uždaviniai:

1. Apibūdinti ir susisteminti biotechnologijų pramonės sektoriaus sistematiką ir tipologiją;
2. Apibūdinti Pramonė 4.0 sampratą ir sistematiką;
3. Įvertinti biotechnologijų sektoriaus plėtros ir skaitmeninimo tendencijas Lietuvoje.

1. Biotechnologijų sektoriaus ir Pramonė 4.0 sistematika

1.1. Biotechnologijų pramonės sektoriaus sistematika ir samprata

Terminą „biotechnologija“ 1919 m. sugalvojo vengrų inžinierius Karlas Erkey. Jis apibrėžė, kad biotechnologijos – tai darbas kurio metu produktai gaminami iš gyvų žaliavų pasitelkiant organizmų pagalbą (Jana ir Pathak, 2018).

Visuotinėje lietuvių kalbos enciklopedijoje biotechnologijų terminas pateikiamas taip – „Biotechnologija (gr. bios – gyvenimas, gyvybė + gr. technē – menas, amatas + gr. logos – sąvoka, žodis, mokslas), gyvųjų organizmų ir biologinių procesų panaudojimas pramonėje, medicinoje, žemės ūkyje“ (Kalėdienė, 2002). Šiuo termino apibrėžimu autorė pabrėžia, kad biotechnologijos apjungia gyvybę, technologijas ir mokslą.

Nuo civilizacijos pradžios žmogus savo kasdieniame gyvenime naudojo biotechnologijas ir sąmoningai ar nesąmoningai plėtojo biotechnologijas spontaniškais veiksmais žemės ūkyje, maisto gamyboje, natūralių produktų kūrime bei gydyme.

Barabadi (2017) biotechnologijas apibrėžia kaip mokslo ir technologijų taikymą gyviems organizmams, taip pat jų dalims, gaminiams ir modeliams, siekiant pakeisti gyvąsias arba negyvąsias medžiagas žinioms, prekėms ar paslaugoms gaminti.

Panašiai biotechnologijas apibūdina Barcelos ir kt. (2018) teigdami, kad biotechnologijos yra atsakingos už manipuliavimą gyvais organizmais ar jų komponentais gaminant produktus, kurie yra naudingi žmonėms.

Tam, kad sumažinti kompleksiškumą biotechnologijų sektoriuje, 2003 m. Dr. Rita R. Colwell pasiūlė biotechnologijas skirstyti pagal tris spalvas priskiriant konkrečiai spalvai skirtingą biotechnologijų sektorių: raudona skirta medicinos reikmėms, žalia žemės ūkiui ir balta pramonei (DaSilva, 2004). 2004 metais DaSilva pasiūlė papildyti biotechnologijų skirstymą pagal spalvas, išskaidant į daugiau skirtingų spalvų (Barabadi, 2017):

- Baltoji (pramonės) – dar vadinama pramonės biotechnologija. Sutelkta į chemikalų, medžiagų ir energijos gamybą ir perdirbimą, naudojant gyvąsias ląsteles, tokias kaip mielės, grybai, bakterijos, augalai ir fermentai pramoninei produktų sintezei (Barcelos ir kt., 2018);
- Raudonoji – sutelkta į biologinių metodų taikymą kuriant produktus, susijusius su sveikatos priežiūros pramonėmis (Ho ir kt., 2019);
- Geltonoji – sutelkta į maisto ir maisto papildų kūrimą (Šostko ir Jakubavičius, 2018);
- Mėlynoji – sutelkta į vandens biologinę veiklą, žuvininkystę ir akvakultūrą. Pavyzdžiui jūros gėrybių pramonė. Mėlynoji biotechnologija taip pat prisideda prie jūrų išsaugojimo per pagalbinę evoliuciją, taip padedant jūrų organizmams geriau susidoroti su aplinkos veiksniais, tokiais kaip klimato kaita (Vieira ir kt., 2020);
- Žalioji – sutelkta į žemės ūkio veiklą. Siekia sumažinti žemės ūkio priklausomybę nuo mechaninių ir cheminių priemonių bei mažiau teršti aplinką. Žalioji biotechnologija siekia prisidėti prie geresnio maisto auginimo, didesnio produktyvumo ir mažesnių gamybos sąnaudų (Barcelos ir kt., 2018);
- Rudoji – sutelkta į sausringų zonų ir dykumų biotechnologiją (Rodríguez-Núñez ir kt., 2020);
- Violetinė – sutelkta į intelektinės nuosavybės apsaugą biotechnologijų srityje (patentai, mokslinės publikacijos, išradimai) (Šostko ir Jakubavičius, 2018);
- Auksinė – sutelkta į nanotechnologijų, bioinformatikos taikymą biotechnologijoje (DaSilva, 2004).
- Pilkoji – klasikinė fermentacija (dažniausiai jungiama prie baltosios biotechnologijos) (Šostko ir Jakubavičius, 2018);
- Juodoji – bioterorizmas ir biologiniai ginklai (Šostko ir Jakubavičius, 2018).

Matyushenko ir kt. (2016) bei OECD (2005) pateikia dar vieną biotechnologijų klasifikavimo metodą – biotechnologijų klasifikavimas pagal taikymo sritis (lentelė 1).

1 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal taikymo sritis

Biotechnologijų taikymo sritis	Konkreti taikymo sritis
Gyvūninės kilmės biotechnologijos	Gyvūnų genomika; Gyvūninės kilmės produktų (ne maisto) biofarmacija; Gyvūnų tobulinimo / reprodukcijos technologijos; Gyvūnų sveikata, mityba.
Augalinės biotechnologijos	Augalų genomika; Augalų sveikata; Augalų tobulinimas; Augalų auginimo biofarmacija;

Inovatyvūs maisto produktai ir žmonių mityba	Maisto medžiagos; Maisto perdirbimo / konservavimo technologijos; Maisto gamybos technologijos; Funkcinis maistas / maistinės medžiagos; Diagnostika, biojutikliai;
Bioapdorojimo technologijos ir biogamyba	Biogamyba; Naujos medžiagos; Proceso stebėjimas; Fermentai
Jūrų biotechnologijos	Akvakultūra
Aplinkosaugos technologijos	Bioremediacija; Biologinio saugumo, kenkėjų kontrolės technologijos; Aplinkos rodikliai; Biologinė įvairovė, ekologija, evoliucija
Biomedicinos mokslas ir vaistų atradimas	Bioinžinerija; Onkologija, vėžys; Diabetas, širdies ir kraujagyslių ligos; Neurologinės / raumenų ligos; Imunologinės ligos; Parazitologija; Užkrečiamos ligos; Osteoperozė, kaulų sveikata; Medicinos diagnostika bei prietaisai; Reprodukcija; Smegenų, nervų tyrimai
Naujų technologijų poveikis ir integravimas	Aplinkosaugos poveikis; Socialinis poveikis

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (Matyushenko ir kt., 2016; OECD, 2005)

Taip pat Matyushenko ir kt. (2016) bei Skeberdytė (2015) išskiria dar kelis biotechnologijų klasifikavimo metodus. Vienas iš jų yra biotechnologijų klasifikavimas pagal technologinius kriterijus (lentelė 2).

2 lentelė. Biotechnologijų klasifikavimas pagal technologinius kriterijus

Biotechnologijų panaudojimo sritis	Mokslinės technologijos ir metodai
DNR – kodavimas	Genomika; DNR sekos nustatymas bei sintezė; genų zondai; Genetinė modifikacija
Baltymai ir molekulės – funkciniai blokai	Baltymų / peptidų sekos nustatymas / sintezė; Hormonai; Ląstelių receptoriai, feromonai
Ląstelių/audinių kultūrų inžinerija	Audinių inžinerija; ląstelių ir audinių kultūra; Embrionų manipuliacija; Ląstelių sintezė; Hibridizacija; Vakcinos
Procesų biotechnologijos	Bioreaktoriai; Fermentacija, biologinis apdorojimas; Biofiltracija
DNR ir RNR vektoriai	Virusiniai vektoriai; Genų terapija
Kita	Bioinformatika; Nanobiotechnologijos; Kita

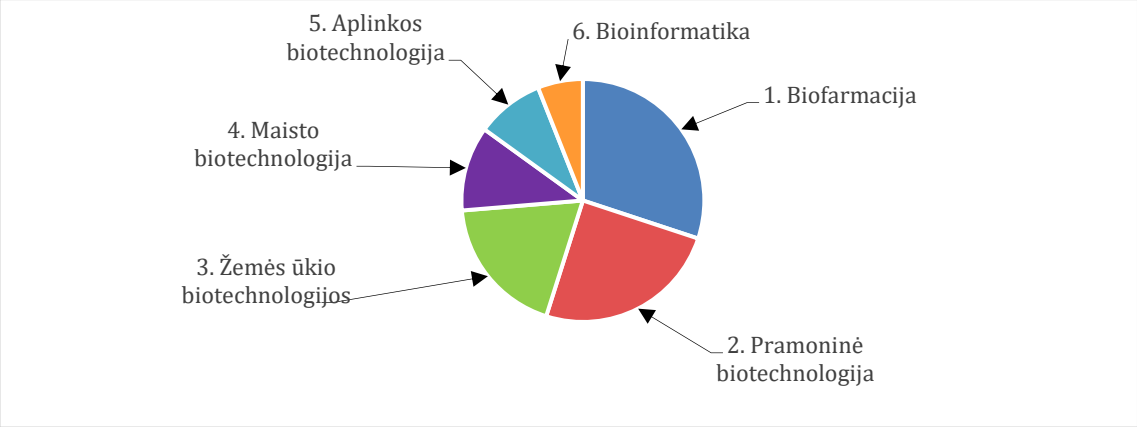
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (Matyushenko ir kt., 2016; Skeberdytė, 2015)

Dar vienas biotechnologijų skirstymo modelis, kurį pateikia Matyushenko ir kt. (2016) yra biotechnologijų skirstymas pagal tyrimo objektus:

- gyvūnų biotechnologija;
- augalų biotechnologija;
- ląstelių ir ląstelių kultūrų biotechnologija;
- mikroorganizmų ir jų kolonijų biotechnologija;
- viduląstelinių sistemų (organelių) biotechnologija.

Panašų biotechnologijų skirstymo metodą pateikia Martin ir kt. (2021) teigdami, kad biotechnologijas galima suskirstyti pagal sektorius (1 pav.):

- biofarmacija;
- pramoninė biotechnologija;
- žemės ūkio biotechnologija;
- maisto biotechnologija;
- aplinkos biotechnologija;
- bioinformatika.



1 pav. Biotechnologijų klasifikacija pagal sektorius
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (Martin ir kt., 2021)

1 paveiksle autoriai atvaizduoja proporcingą šių sektorių įnašą į pasaulinę biotechnologijų pramonę. Kaip matoma grafike, didžiausias indėlis yra biofarmacijos ir pramoninių biotechnologijų.

Biotechnologijos prisideda prie Europos pramonės modernizavimo bei biotechnologijų teikiama nauda padeda Europos Sąjungos ekonomikai augti sukuriant naujų darbo vietų bei orientuoja pasaulį į tvarų vystymąsi ir aplinkos apsaugą (Martin ir kt., 2021). Biotechnologijų sektoriaus plėtrai svarbi dedamoji yra moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (MTEP). Kaip teigia Cornelissen ir kt., (2021) dabartinė biotechnologijų MTEP veikla turi didelį potencialą tapti daugelio ateities inovacijų pagrindu, dėl to norint patenkinti pramonės ar vartotojų poreikius, reikia plėtoti MTEP veiklą. Taip pat svarbus rodiklis rodantis biotechnologijų sektoriaus būklę yra NASDAQ biotechnologijų indeksas. Vertybinių popierių prekiautojų automatinio kotiravimo nacionalinė asociacija, geriau žinoma kaip NASDAQ, buvo įkurta Volstryte 1971 m. vasario 8 d. ir buvo pirmoji pasaulyje išskirtinai elektroninė vertybinių popierių birža (Ficara, 2022). NASDAQ biotechnologijų indeksas – tai įmonių vertybinių popierių indeksas, sudarytas lyginant biotechnologijų sektoriaus įmonių duomenis. Šis indeksas atspindi biotechnologijų sektoriaus įmonių veiklą ir leidžia investuotojams stebėti ir analizuoti sektoriaus veiklą rinkoje bei investuoti į biotechnologijų įmonių vertybinius popierius. NASDAQ indekso vertė atspindi šių įmonių akcijų bendrą vertę ir keičiasi priklausomai nuo šių įmonių akcijų kainų pokyčių. NASDAQ biotechnologijų indeksas – tai geras sektoriaus veiklos rodiklis (Dorey, 2004).

Atlikta analizė rodo, kad biotechnologijų sektorius yra daugialypis bei sąlygojamas įvairių dedamųjų ir norint priimti sprendimus dėl biotechnologijų sektoriaus tobulinimo reikia įvertinti sektoriaus specifiką pagal biotechnologijų taikymo sritį, technologinius kriterijus bei pagal tyrimo objektą. Nors yra daug pateiktų biotechnologijų klasifikavimo būdų, populiariausias ir daugiausiai aprašomas literatūroje yra klasifikavimas pagal spalvas.

1.2. Pramonė 4.0 sistematika

Pramonės 4.0 koncepcija yra gana nauja, ji buvo pristatyta Vokietijoje 2011 m. ir atspindi dabartinę gamybos paradigmą, kuri sujungia informacines ir ryšių technologijas su skaitmeninėmis gamybos technologijomis (Kang ir kt., 2016). Pasak Abdirad ir Krishnan (2021) „Pramonė 4.0“ vadinama ketvirtoji pramonės revoliucija dar žinoma kaip „išmanioji gamyba“, „pramoninis internetas“ arba „integruota pramonė“. Pramonė 4.0 neturi vieno priimto apibrėžimo, todėl autoriai šią sąvoką apibrėžia skirtingai.

Krishnan (2021) teigia, kad „Pramonė 4.0“ – tai revoliucija, intensyviai sujungta su skaitmeninimu bei keičianti senesnes analogines automatizavimo versijas. Panašiai Pramonė 4.0 terminą apibrėžia ir Abdirad ir Krishnan (2021) teigdami, kad Pramonė 4.0 yra koncepcija, orientuota į sistemų ir procesų automatizavimą, skaitmeninimą ir keitimąsi duomenimis pramonės šakose.

Lopes de Sousa Jabbour ir kt. (2018) akcentuoja, jog Pramonė 4.0 – tai keitimasis duomenimis tarp mašinų, užsakymų, darbuotojų, tiekėjų ir klientų sukuriamas naudojant daiktų internetą ir leidžiantis įmonėms gaminti produktus naudojant decentralizuotus sprendimus ir autonomines sistemas.

Pasaulio pramonės raidos metu naujausi išradimai ir jų pritaikymas keitė pramonės veiklą (lentelė 3).

1. Pirmoji pramonės revoliucija (XVIII–XIX a. pradžia) pasižymėjo pirmaisiais gamybos pokyčiais, siekiant suaktyvinti darbinę veiklą naudojant garo varikliu varomas mašinas. Šiuo laikotarpiu suaktyvėjo tekstilės, anglies, geležies, taip pat chemijos sektoriai, pradėta kai kurių maisto produktų gamyba gamyklose (Hassoun ir kt., 2023).
2. Antroji pramonės revoliucija (XIX a.) pasižymėjo elektros tinklo, telefonų, telegrafo ir vidaus degimo variklių atsiradimu (Akundi ir kt., 2022). Taip pat prasidėjo masinė gamyba, sukurtas elektrinis konvejeris (Abdirad ir Krishnan, 2021).
3. Trečioji pramonės revoliucija (1969–2011) pasižymėjo gamybos proceso automatizavimo pradžia bei kompiuterių diegimu į gamybą (Khang ir kt., 2023). Ketvirtoji pramonės revoliucija (2011–dabar) apima

naujausias technologijas tokias kaip daiktų internetas, dideli duomenys, elektrinės transporto priemonės, 3D spausdinimas, debesų kompiuterija, dirbtinis intelektas, kibernetinės fizinės sistemos ir kt. (Yin ir kt., 2018).

3 lentelė. Pramonės revoliucijų raida

Pramonė 1.0	Pramonė 2.0	Pramonė 3.0	Pramonė 4.0
Garo mašina	Elektrinis konvejeris	Programuojami loginiai valdikliai (PLV), automatizacija	Debesų kompiuterija, robotai, jutikliai

Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (Hassoun ir kt., 2023) ir (Abdirad ir Krishnan, 2021)

Tyrėjai Okwu ir kt. (2022) išskiria šias Pramonė 4.0 apimančias technologijas, kurios tobulina šiuolaikinę pramonę: daiktų internetas (angl. internet of things), blokų grandinė (angl. blockchain), penktosios kartos belaidžio ryšio technologijos (5G), 3D spausdinimas (angl. 3D printing), biometriniai duomenys (angl. biometrics), virtualioji ir papildyta realybė (angl. virtual reality and augmented reality), dideli duomenys (angl. big data), debesų kompiuterija (angl. cloud computing), nanotechnologijos (angl. nanotechnology), biotechnologijos, išmanioji gamyba (angl. smart factory), kvantinė kompiuterija (angl. quantum computing), išmanioji gamykla (angl. smart factory), kibernetinės fizinės sistemos (angl. cyber-physical systems), mašininis mokymasis (angl. machine learning), robotika, dirbtinis intelektas (angl. artificial intelligence), automatinė valdoma transporto priemonė (angl. automatic guided vehicle) ir kitos.

Inovacijos ir Pramonė 4.0 formuoja farmacijos MTEP veiklą – nuo dirbtinio intelekto iki 3D spausdinimo vaistų kūrimui ir gamybai. Taip pat skaitmeninių technologijų taikymas farmacijos įmonėse patobulino visą MTEP procesą, įgyvendino naujus organizacinius sprendimus ir padeda vaistų gamyboje ir tyrimuose (Pammolli ir kt., 2020). Dirbtinis intelektas jau plačiai naudojamas biotechnologijų sektoriuje sprendžiant įvairias problemas, tokias kaip vaistų kūrimas, vaistų saugumas, genomika ir kt. (Holzinger ir kt., 2023). Taip pat dirbtinio intelekto ir didelių duomenų taikymas biotechnologijų sektoriuje automatizuoja tam tikras užduotis, kurios gali padėti pagerinti MTEP efektyvumą ir tikslumą (Holzinger ir kt., 2023).

Atlikta analizė rodo, kad Pramonė 4.0 sąvoką autoriai apibrėžia skirtingai, tačiau dauguma autorių akcentuoja skaitmeninimo ir skaitmenizavimo svarbą. Pramonės 4.0 technologijos plačiai taikomos biotechnologijų sektoriuje siekiant spręsti įvairias problemas, didinti gamybos produktyvumą ir tikslumą, bei efektyvinti MTEP veiklą.

2. Metodologija

Šiame darbe yra taikoma literatūros analizė ir statistiniai tyrimo metodai.

Literatūros analizė – tai sistemingas teorinis tyrimo metodas, kurio metu analizuojami ir vertinami kitų tyrėjų sukurti darbai. Šis metodas siejamas su poreikiu sužinoti, kokius tyrimus jau atliko kiti tyrėjai analizuojamoje temoje, kokie esminiai rezultatai buvo gauti ir kokie klausimai dar lieka neišspręsti. Mokslinė literatūra apima monografijas, disertacijas, mokslinius straipsnius ir tyrimų ataskaitas. Literatūros analizės paskirtis yra metodologiškai pagrįsti tiriamąją analitinę dalį (Daubarienė, 2018). Literatūros analizei atlikti buvo naudojamos tokios duomenų bazės kaip: „Google Scholar“ ir „ScienceDirect“. Taikant tokius raktinius žodžius kaip: biotechnology, industry 4.0, buvo ieškomi moksliniai darbai ir analizuojama literatūra. Reikalinga informacija buvo sintetinama ir susisteminta bei apibendrinta ir pateikta.

Statistiniai tyrimo metodai apibūdina tiriamų reiškinių ir procesų kiekybines charakteristikas. Kiekybinis tyrimas, tai sisteminis empirinis tyrimas, kurio metu siekiama statistiškai pagrįsti kintamųjų ryšį. Kiekybinio tyrimo metu duomenys tyrimui surinkti remiantis viešai prieinamomis statistikos duomenų bazėmis, tokiomis kaip OECD, European Commission, Lietuvos oficialiosios statistikos portalu ir kitais šaltiniais.

Tyrimo metu siekiama ištirti kokie faktoriai lemia biotechnologijų sektoriaus plėtrą. Tyrimo pradžioje taikoma aprašomoji statistika. Analizuojamas biotechnologijų sektoriaus įmonių augimas Europoje, investicijos MTEP veiklai bei inovacijas diegiančių įmonių pasiskirstymas. Palyginamas Lietuvos ir Europos vidurkio skaitmeninimo indeksas (DESI). Analizuojamos biotechnologijų sektoriaus naujųjų technologijų taikymo tendencijos. Norint nustatyti ryšį tarp biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus ir šalies skaitmeninimo indekso (DESI) bei NASDAQ biotechnologijų indekso taikoma koreliacinė regresinė analizė.

Šiame straipsnyje tyrimo metu taikomi kiekybiniai metodai – koreliacinė ir regresinė analizė, siekiant nustatyti dviejų kintamųjų priklausomumą ir ryšio stiprumą.

4 lentelėje pateikta koreliacijos koeficiento reikšmių skalė rodo, kad koreliacijos koeficiento reikšmė gali būti tarp -1 ir +1, jei koeficiento reikšmė lygi nuliui, tai ryšio tarp rodiklių nėra.

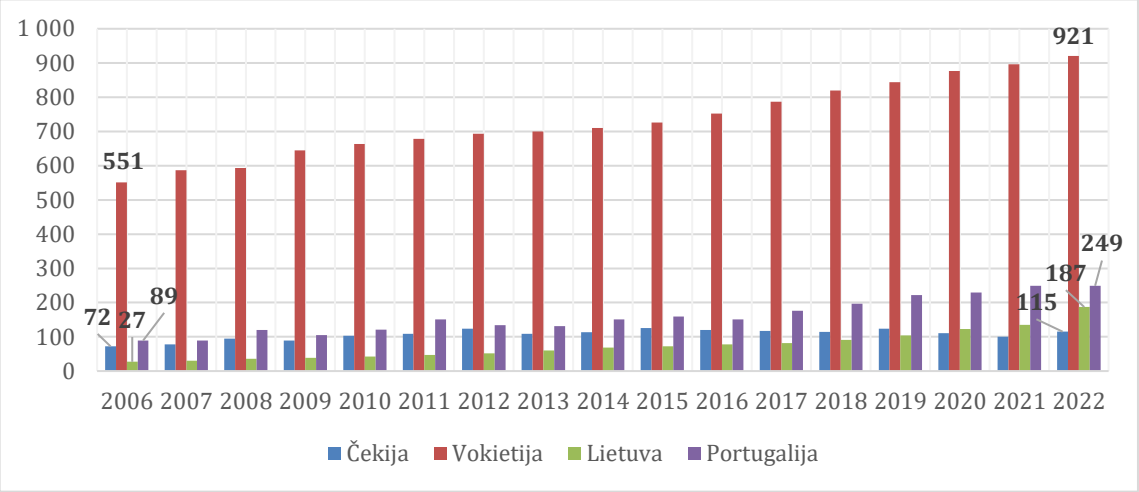
4 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė

Labai stipri	Stipri	Vidutinė	Silpna	Labai silpna	Nėra ryšio	Labai silpna	Silpna	Vidutinė	Stipri	Labai stipri
–1	nuo –1 iki –0,7	nuo –0,7 iki –0,5	nuo –0,5 iki –0,2	nuo –0,2 iki 0	0	nuo 0 iki 0,2	nuo 0,2 iki 0,5	nuo 0,5 iki 0,7	nuo 0,7 iki 1	1

Tam, kad įsitikinti, jog gauta koreliacija tai neatsitiktinis sutapimas apskaičiuojama p reikšmė. p reikšmė parodo, ar koreliacija statistiškai reikšminga. Apskaičiuota p reikšmė palyginama su reikšmingumo lygmeniu α = 0,05. Jei p vertė mažesnė už 0,05, tuomet koreliacija laikoma statistiškai reikšminga.

3. Biotechnologijų sektoriaus ir skaitmeninimo plėtros tendencijos

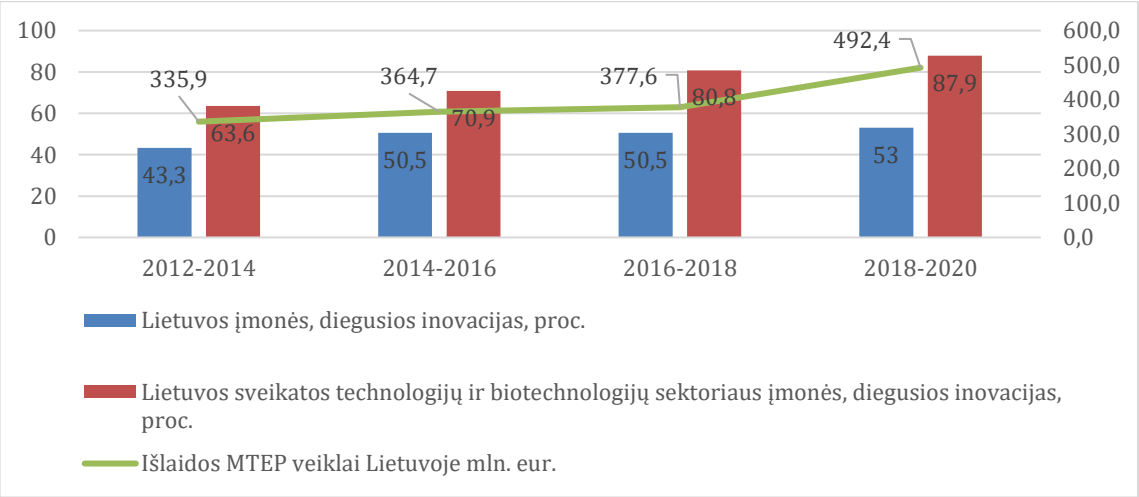
Biotechnologijos pastaruosius dešimtmečius vis populiarėja, dėl to pastebime, kad biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Europos šalyse auga. Lietuvoje biotechnologijų sektoriaus įmonių plėtra palyginus su kitomis Europos šalimis buvo viena iš didžiausių.



2 pav. Biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus augimas Europoje
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis OECD duomenimis

Remiantis OECD statistiniais duomenimis nustatyta, kad per 16 metų (nuo 2006 m. iki 2022 m.) biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje išaugo 6,93 karto (nuo 27 iki 187 įmonių), tuo tarpu Vokietijoje – 1,67 karto (nuo 551 iki 921 įmonių), Čekijoje – 1,6 karto (nuo 72 iki 115 įmonių) ir Portugalijoje – 2,8 karto (nuo 89 iki 249 įmonių) (2 pav.).

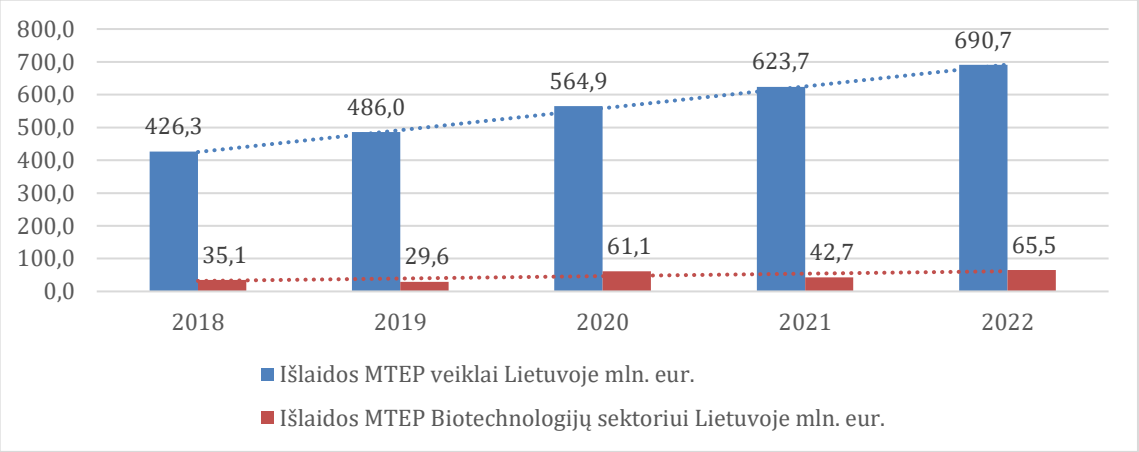
Inovacijų diegimas stiprina įmonių poziciją rinkoje ir tai yra pagrindinis veiksnys kuriant naujus konkurencinius pranašumus (Almeida ir kt., 2020). Per pastarąjį dešimtmetį inovacijas diegusių įmonių Lietuvoje vis daugėja.



3 pav. Lietuvos įmonės diegiančios inovacijas ir išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis

Remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis nustatyta, kad 2012–2014 m. periode inovacijas diegė 43,3 proc. Lietuvos įmonių, o 2018–2020 m. periode inovacijas diegiančių įmonių padidėjo iki 53 proc. Sveikatos technologijų ir biotechnologijų sektoriaus įmonių diegiančių inovacijas statistiškai yra daugiau nei Lietuvos vidurkis. 2012–2014 m. periode sveikatos technologijų ir biotechnologijų sektoriaus įmonių diegusių inovacijas buvo 63,6 proc., o 2018–2020 m. periode įmonių diegusių inovacijas padaugėjo iki 87,9 proc. Sveikatos ir biotechnologijų sektoriuje inovacijas diegiančių įmonių kas metus daugėja vidutiniškai po 3 proc., o bendrai inovacijas diegiančių įmonių Lietuvoje kasmet vidutiniškai auga po 1,2 proc. Analizuojant 2012–2020 m. duomenis apie inovacijas diegusias įmones ir MTEP veiklai skirtas išlaidas Lietuvoje, stebima tendencija, kad didėjant išlaidoms MTEP veikloje, daugėja inovacijas diegiančių įmonių (3 pav.).

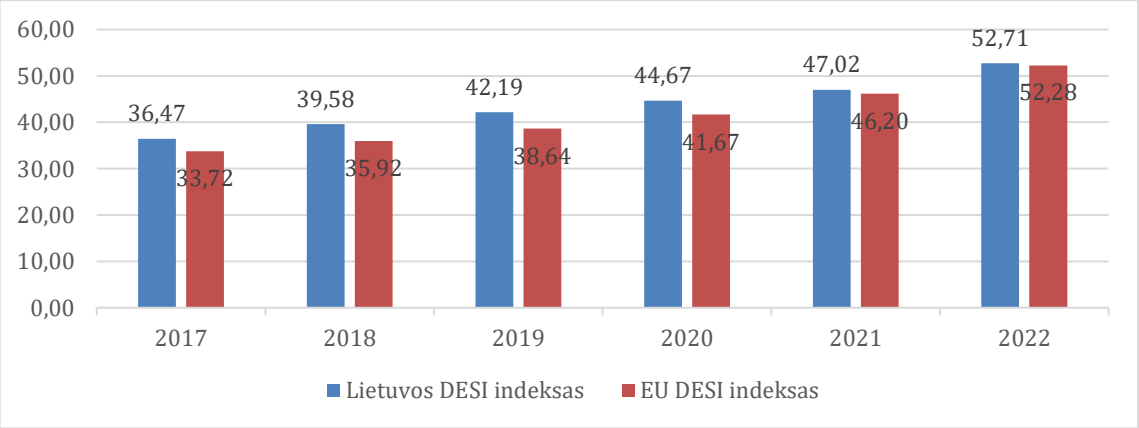
Biotechnologijų sektorius yra neatsiejamas nuo MTEP veiklos plėtojimo.



4 pav. Lietuvos įmonių išlaidos MTEP veiklai Lietuvoje
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis Lietuvos oficialiosios statistikos portalo duomenimis

Tyrimo metu nustatyta, kaip kinta išlaidos bendrai MTEP veiklai Lietuvoje ir kaip kinta MTEP išlaidos biotechnologijų sektoriaus įmonėse Lietuvoje. Išlaidos bendrai MTEP veiklai Lietuvoje 2018 m. siekė 426,3 mln. Eur bei kas metus didėjo vidutiniškai po 12,8 proc. ir 2022 m. pasiekė 690,7 mln. Eur. Biotechnologijų sektoriuje išlaidos MTEP veiklai didėjo nepastoviai. 2018 m. išlaidos MTEP veiklai siekė 35,1 mln. Eur, o 2022 m. pasiekė 65,5 mln. Eur ribą. Per 4 metų laikotarpį (nuo 2018–2022 m.) bendros išlaidos Lietuvoje MTEP veiklai padidėjo 162 proc., o išlaidos biotechnologijų sektoriaus MTEP veiklai padidėjo 186,6 proc. (4 pav.).

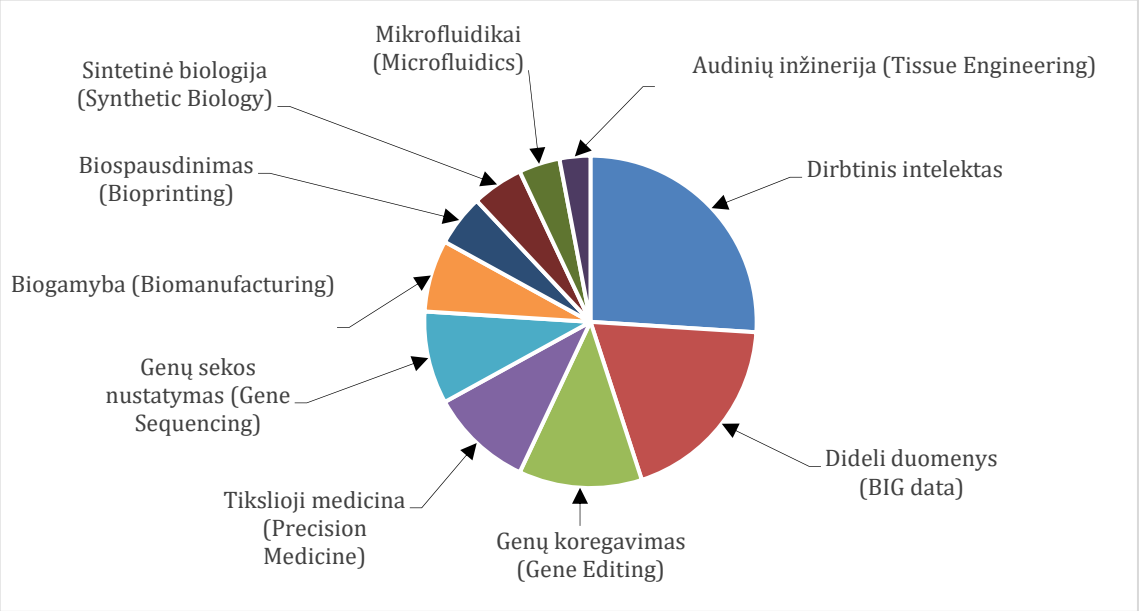
DESI indeksas parodo įmonių ir gyventojų skaitmeninės veiklos rezultatus ir pažangą skaitmeninio konkurencingumo srityje.



5 pav. Lietuvos ir Europos DESI indeksas
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis European Commission duomenimis

Nuo 2017 m. iki 2022 m. statistiniai duomenys rodo, kad DESI indeksas Lietuvoje kas metus vidutiniškai didėjo po 3.25 balo, o DESI indekso vidurkis Europos šalyse taip pat didėjo vidutiniškai po 3,71 balo per metus. Tai reiškia, kad skaitmeninių technologijų integravimas tiek Lietuvoje tiek Europos šalyse auga. Lietuvoje DESI indeksas visą laikotarpį išliko didesnis nei Europos vidurkis, tačiau Europos DESI indeksas kyla greičiau nei Lietuvos. 2017 m. Europos DESI indekso vertė buvo 33,72 balai, o Lietuvos DESI indekso vertė buvo didesnė 8,16 proc. ir indeksas siekė 36,47 balus. 2022 Europos DESI indekso vertė buvo 52,28 balai, o Lietuvos DESI indekso vertė buvo 0,82 proc. didesnė ir siekė 52,71 balus (5 pav.).

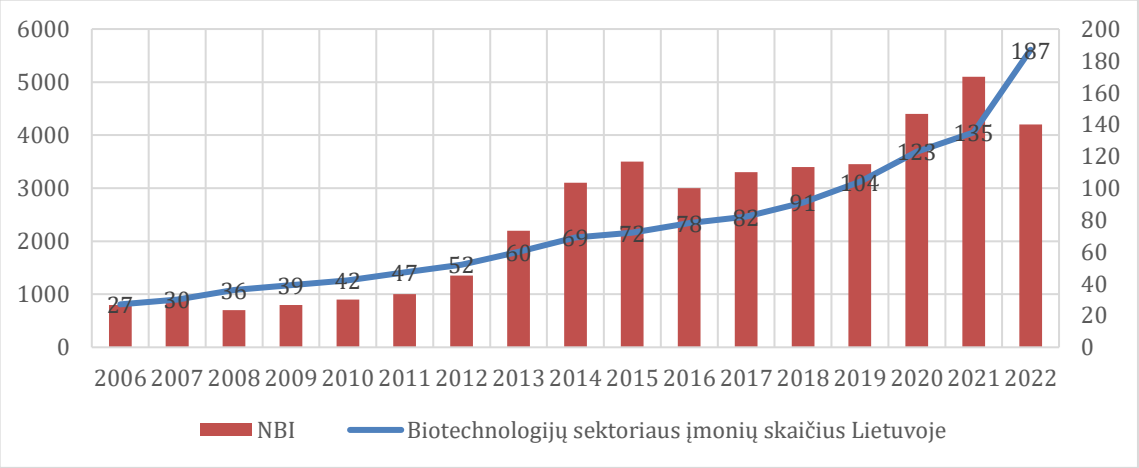
6 paveiksle pateikta naujųjų technologijų taikymo tendencijos biotechnologijų sektoriuje 2024 metams bei kokį poveikį jų taikymas turės biotechnologijų sektoriaus įmonėms.



6 pav. Biotechnologijų sektoriaus naujųjų technologijų taikymo tendencijos 2024 m.
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-10-biotech-industry-trends-innovations-in-2021/ duomenimis

Biotechnologijų sektoriuje prognozuojama, kad didžiausią poveikį iš visų naujųjų technologijų turės dirbtinis intelektas (26 proc.) ir dideli duomenys (19 proc.). Po to genų koregavimas (12 proc.), tikslioji medicina (10 proc.) bei genų sekos nustatymas (9 proc.). Dar mažesnį poveikį darys biogamyba (7 proc.), biospausdinimas (5 proc.) bei sintetinė biologija (5 proc.). Mažiausią poveikį turės mikrofluidikai (4 proc.) ir audinių inžinerija (3 proc.) (6 pav.).

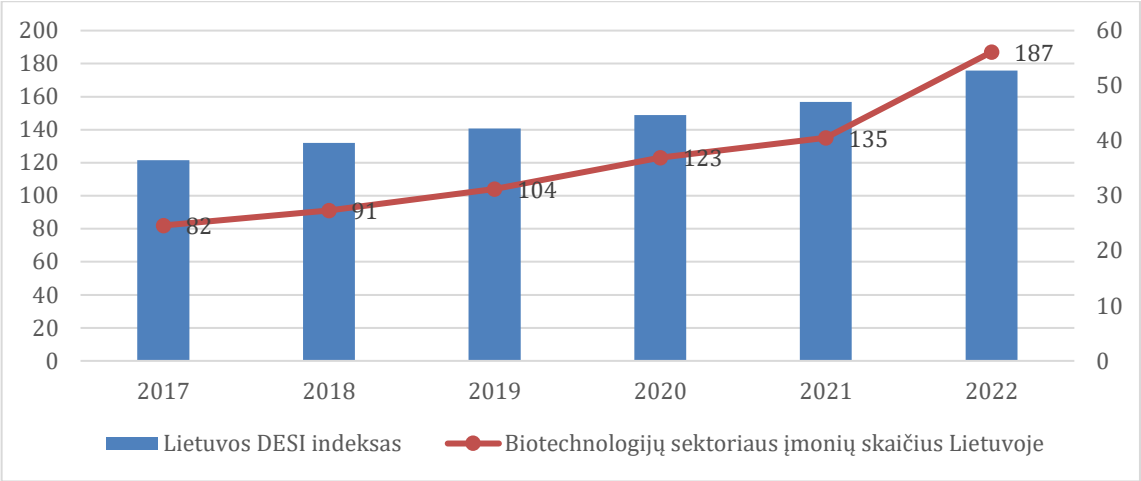
NBI (NASDAQ Biotechnologijų indeksas) rodo pasaulio biotechnologijų sektoriaus įmonių akcijų bendrą vertę. Jei NBI indekso vertė kyla, tai rodo, kad daugumos įmonių akcijų vertė taip pat auga ir priešingai jei indekso vertė mažėja, tai gali reikšti, kad daugumos įmonių akcijų vertė mažėja.



7 pav. Biotechnologijų įmonių skaičiaus augimo Lietuvoje ir NBI indeksas
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis OECD ir NASDAQ biotechnology index biržos duomenimis

NBI indeksas per pastaruosius 16 metų kryptingai didėjo ir stebima tendencija, kad didėjant NBI indeksui biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje taip pat didėja (šie rodikliai stipriai koreliuoja, koreliacijos koeficientas 0,88, $p < 0,001$) (7 pav.).

Biotechnologijų sektorius yra imlus skaitmeninimui, nes jam galioja atsekamumas, reglamentai bei griežta kokybės kontrolė. Tai lemia, jog biotechnologijų sektorius yra vienas iš inovatyviausių ir daugiausiai naujųjų technologijų taikantis sektorius. Biotechnologijų sektorius reikalauja nuolatinio tobulėjimo bei naujausių technologijų taikymo žinių, dėl to reikalingi išsilavinę specialistai, turintys žinių kaip naudotis naujausiomis technologijomis.



8 pav. DESI ir biotechnologijų įmonių skaičius
Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis European Commission ir OECD duomenimis

Atlikus koreliacijos regresijos analizę, nustatyta, kad didėjant Lietuvos skaitmenizavimo lygiui (DESI), biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje didėja. Dėl to Lietuvos DESI indekso didėjimas daro poveikį Lietuvos biotechnologijų sektoriaus plėtrai. Lietuvos DESI indeksas ir biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius stipriai koreliuoja, tai parodo koreliacijos koeficientas 0,983 ($p < 0,001$) (8 pav.). Dėl to biotechnologijų sektoriaus plėtrai būtinas skaitmeninimas.

Išvados

Atlikta mokslinės literatūros analizė rodo, kad biotechnologijų sąvoka apibrėžiama įvairiai bei kiekvienas autoriaus išskiria skirtingus aspektus. Sisteminiu požiūriu biotechnologijos tai veiklos sritis grįsta technologijomis kuriose esminį vaidmenį atlieka gyvųjų organizmų panaudojimas.

Biotechnologijų sektorius yra daugialypis bei sąlygojamas įvairių dedamųjų todėl norint priimti sprendimus dėl biotechnologijų sektoriaus tobulinimo reikia įvertinti sektoriaus specifiką pagal biotechnologijų taikymo sritį, technologinius kriterijus bei pagal tyrimo objektą.

Išskiriamos įvairios biotechnologijų sektoriaus klasifikacijos. Apibendrinant galima teigti, kad biotechnologijos dažniausiai būna klasifikuojamos pagal penkis pagrindinius požymius: sektorius, tyrimo objektus, technologinius kriterijus, spalvas, taikymo sritis.

Populiariausias ir daugiausiai literatūroje aprašomas klasifikavimas yra pagal spalvas.

Pramonė 4.0 sąvoka moksliniuose šaltiniuose neturi tikslaus apibrėžimo, dėl to autoriai ją apibūdina įvairiai. Daugumoje mokslinių literatūros šaltinių Pramonė 4.0 yra siejama su naujausių skaitmeninių technologijų taikymu ir dauguma autorių akcentuoja skaitmeninimo ir skaitmenizavimo svarbą. Pramonės 4.0 technologijos plačiai taikomos biotechnologijų sektoriuje siekiant spręsti įvairias problemas, didinti gamybos produktyvumą ir tikslumą, bei efektyvinti MTEP veiklą. Biotechnologijų pramonėje dažniausiai pritaikomos Pramonė 4.0 technologijos yra: dirbtinis intelektas ir dideli duomenys (angl. big data).

Išanalizavus statistinius duomenis ir literatūrą, matoma, kad sėkmingą biotechnologijų pramonės plėtrą lemia: investicijos į inovacijas, investicijos į MTEP veiklą, NBI indeksas, DESI.

Nuo 2006 m. biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičius Lietuvoje pastoviai didėjo. Skaičiuojant nuo 2006 m., kai Lietuvoje veikė 27 biotechnologijų sektoriaus įmonės, iki 2022 m., kai Lietuvoje veikė 187 biotechnologijų sektoriaus įmonės, įmonių skaičius padidėjo 6,93 kartais.

Kadangi biotechnologijų sektorius imlus skaitmeninių technologijų diegimui, tai lemia, kad biotechnologijų sektorius yra vienas iš inovatyviausių ir daugiausiai naujųjų technologijų taikantis sektorius. Dėl to Lietuvos DESI indekso didėjimas daro poveikį Lietuvos biotechnologijų sektoriaus plėtrai. Tai rodo Lietuvos DESI indekso ir biotechnologijų sektoriaus įmonių skaičiaus stipri koreliacija (koreliacijos koeficientas 0,983, $p < 0,001$).

Atlikus tyrimą pastebima tendencija, kad biotechnologijų sektoriaus įmonių plėtra Lietuvoje didės, kadangi biotechnologijų sektoriaus įmonių diegusių inovacijas kas metus daugėjo vidutiniškai po 3 proc., investicijos į MTEP veiklą biotechnologijų sektoriui per laikotarpį nuo 2018–2022 m. padidėjo 186,6 proc. ir Lietuvos skaitmeninimo lygis DESI taip pat per laikotarpį nuo 2017–2022 m. vidutiniškai augo po 3,71 balo.

Literatūra

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2021). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Engineering Management Journal*, *33*(3), 1–15. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935

Aghmiuni, S. K., Siyal, S., Wang, Q., & Duan, Y. (2020). Assessment of factors affecting innovation policy in biotechnology. *Journal of Innovation & Knowledge*, *5*(3), 180–190. https://doi.org/10.1016/J.JIK.2019.10.002

Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A., & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0—Analysis and Identification of Current Research Trends. *Applied System Innovation 2022, Vol. 5, Page 27*, *5*(1), 27. https://doi.org/10.3390/ASI5010027

Almeida, F., Duarte Santos, J., & Augusto Monteiro, J. (2020). The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post-COVID-19 World. *IEEE Engineering Management Review*, *48*(3), 97–103. https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206

Barabadi, H. (2017). Nanobiotechnology: A promising scope of gold biotechnology. *Cellular and Molecular Biology*, *63*(12), 3–4. https://doi.org/10.14715/10.14715/CMB/2017.63.12.2

Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: general overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS Microbiology Letters*, *365*(21), 239. https://doi.org/10.1093/FEMSLE/FNY239

Cornelissen, M., Małyska, A., Nanda, A. K., Lankhorst, R. K., Parry, M. A. J., Saltenis, V. R., Pribil, M., Nacry, P., Inzé, D., & Baekelandt, A. (2021). Biotechnology for Tomorrow's World: Scenarios to Guide Directions for Future Innovation. *Trends in Biotechnology*, *39*(5), 438–444. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.09.006

DaSilva, E. J. (2004). The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*, *7*(3), 01–02. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582004000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Daubarienė, J. (2018). *Literatūros analizė studijų darbuose*. http://dspace.kaunokolegija.lt//handle/123456789/91

Dorey, E. (2004). Nasdaq dilutes its biotech index. *Nature biotechnology*, *22*(1), 9. https://doi.org/10.1038/NBT0104-9

Ficara, V. (2022). *IPO listing of the only Italian company at Nasdaq: Genenta Science S.p.a. case*.

Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., Biancolillo, A., Cropotova, J., Galanakis, C. M., Jambrak, A. R., Lorenzo, J. M., Måge, I., Ozogul, F., & Regenstein, J. (2023). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(23), 6547–6563. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735

Ho, T. T., Murthy, H. N., Dalawai, D., Bhat, M. A., Paek, K. Y., & Park, S. Y. (2019). Attributes of Polygonum multiflorum to transfigure red biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*(8), 3317–3326. https://doi.org/10.1007/S00253-019-09709-Y/FIGURES/5

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

Yeung, A. W. K., Tzvetkov, N. T., Gupta, V. K., Gupta, S. C., Orive, G., Bonn, G. K., Fiebich, B., Bishayee, A., Efferth, T., Xiao, J., Silva, A. S., Russo, G. L., Daglia, M., Battino, M., Orhan, I. E., Nicoletti, F., Heinrich, M., Aggarwal, B. B., Diederich, M., … Atanasov, A. G. (2019). Current research in biotechnology: Exploring the biotech forefront. *Current Research in Biotechnology*, *1*, 34–40. https://doi.org/10.1016/J.CRBIOT.2019.08.003

Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(1–2), 848–861. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664

Jana, T., & Pathak, S. (2018). Biotechnology for human welfare: past and road ahead. *Biotechnology and Nature*, 13–33.

Kalėdienė, L. (2002). *biotechnologija - Visuotinė lietuvių enciklopedija*. https://www.vle.lt/straipsnis/biotechnologija/

Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, *3*(1), 111–128. https://doi.org/10.1007/S40684-016-0015-5/METRICS

Khang, A., Jadhav, B., & Birajdar, S. (2023). Industry Revolution 4.0: Workforce Competency Models and Designs. *Designing Workforce Management Systems for Industry 4.0: Data-Centric and AI-Enabled Approaches*, 11–34. https://doi.org/10.1201/9781003357070-2/INDUSTRY-REVOLUTION-4-0-ALEX-KHANG-BABASAHEB-JADHAV-SPHURTI-BIRAJDAR

Krishnan, U. (2021). The Industry 4.0 and its associated technologies. *Journal of Emerging Technologies*, *1*(1), 1–10. https://doi.org/10.57040/JET.V1I1.24

Lokko, Y., Heijde, M., Schebesta, K., Scholtès, P., Van Montagu, M., & Giacca, M. (2018). Biotechnology and the bioeconomy—Towards inclusive and sustainable industrial development. *New Biotechnology*, *40*, 5–10. https://doi.org/10.1016/J.NBT.2017.06.005

Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, *270*(1–2), 273–286. https://doi.org/10.1007/S10479-018-2772-8/TABLES/3

Martin, D. K., Vicente, O., Beccari, T., Kellermayer, M., Koller, M., Lal, R., Marks, R. S., Marova, I., Mechler, A., Tapaloaga, D., Žnidaršič-Plazl, P., & Dundar, M. (2021). A brief overview of global biotechnology. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, *35*(1), 354–363. https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1878933

Matyushenko, I., Sviatukha, I., & Grigorova-Berenda, L. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy. *British Journal of Economics, Management & Trade*, *14*(4), 1–14. https://doi.org/10.9734/BJEMT/2016/28151

OECD. (2005). *A framework for biotechnology statistics*.

Okwu, M. O., Tartibu, L. K., Maware, C., Enarevba, D. R., Afenogho, J. O., & Essien, A. (2022). Emerging Technologies of Industry 4.0: Challenges and Opportunities. *5th International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems, icABCD 2022 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/ICABCD54961.2022.9856002

Pammolli, F., Righetto, L., Abrignani, S., Pani, L., Pelicci, P. G., & Rabosio, E. (2020). The endless frontier? The recent increase of R&D productivity in pharmaceuticals. *Journal of Translational Medicine*, *18*(1), 1–14. https://doi.org/10.1186/S12967-020-02313-Z/TABLES/2

Rekordinis Lietuvos biotechnologijų sektoriaus augimas: pernai įmonių pajamos artėjo prie trijų milijardų – Lithuaniabio. (2022). https://lithuaniabio.com/rekordinis-lietuvos-biotechnologiju-sektoriaus-augimas-pernai-imoniu-pajamos-artejo-prie-triju-milijardu/

Rodríguez-Núñez, K., Rodríguez-Ramos, F., Leiva-Portilla, D., & Ibáñez, C. (2020). Brown biotechnology: a powerful toolbox for resolving current and future challenges in the development of arid lands [Article]. *SN Applied Sciences*, *2*(7), 1187. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2980-0

Shimasaki, C. (2014). Understanding Biotechnology Product Sectors. *Biotechnology Entrepreneurship: Starting, Managing, and Leading Biotech Companies*, 113–138. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404730-3.00009-9

Skeberdytė, L. (2015). *mokslo ir verslo organizacijų tinklaveika: lietuvos biotechnologijų sektoriaus atvejis* [Mykolo Romerio Universitetas]. www.mruni.eu

Šostko, A., & Jakubavičius, A. (2018). *Gamybos logistikos tobulinimas bioekonomikos iššūkių kontekste*. https://doi.org/10.3846/mla.2018.2864

Vieira, H., Leal, M. C., & Calado, R. (2020). Fifty Shades of Blue: How Blue Biotechnology is Shaping the Bioeconomy [Article]. *Trends in Biotechnology (Regular Ed.)*, *38*(9), 940–943. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.03.011

Xu, J., Wang, X., & Liu, F. (2021). Government subsidies, R&D investment and innovation performance: analysis from pharmaceutical sector in China. *Technology Analysis & Strategic Management*, *33*(5), 535–553. https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1830055

3 priedas. Sertifikatas „Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba“

VILNIUS TECH
Verslo vadybos fakultetas

SERTIFIKATAS

Šiuo dokumentu pažymima, kad

Marius Matulaitis

27-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje

„Mokslas – Lietuvos ateitis. Ekonomika ir vadyba“

vykusioje 2024 m. spalio 22 d. Vilniaus Gedimino technikos universiteto
Verslo vadybos fakultete

skaitė pranešimą

BIOTECHNOLOGIJŲ PRAMONĖS PLĖTROS TENDENCIJOS LIETUVOJE
PRAMONĖ 4.0 IŠŠŪKIŲ KONTEKSTE

Verslo vadybos fakulteto mokslo prodekanė
prof. dr. Viktorija Skvarciany