



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Dvigubos transformacijos poveikio vertinimas Europos Sjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams

Baigiamasis magistro projektas

Irma Zapalskytė

Projekto autorė

Prof. dr. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Dvigubos transformacijos poveikio vertinimas Europos Sjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams

Baigiamasis magistro projektas

Verslo ekonomika (6211JX042)

Irma Zapalskytė

Projekto autorė

Prof. dr.

Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Prof. dr.

Jurgita Sekliuckienė

Konsultantė

Prof. dr.

Vaidas Gaidelys

Recenzentas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Irma Zapalskytė

Dvigubos transformacijos poveikio vertinimas Europos Sjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Irma Zapalskytė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Zapalskytė, Irma. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimas Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos ir verslo fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Socialiniai mokslai, Ekonomika.

Reikšminiai žodžiai: dviguba transformacija, skaitmenizacija, tvarumas, maisto pramonė, Europos Sąjunga, produktyvumas.

Kaunas, 2026. 70 p.

Santrauka

Europos Sąjungos maisto pramonė yra viena didžiausių ir ekonomiškai reikšmingiausių apdirbamosios pramonės šakų, kurianti pridėtinę vertę, užtikrinanti aukštą užimtumo lygį ir atliekanti svarbų vaidmenį tiek vidaus rinkoje, tiek tarptautinėje arenoje. Tačiau šis sektorius pasižymi santykinai žemu produktyvumo lygiu, dideliu energijos ir išteklių vartojimo intensyvumu bei didėjančiu aplinkosauginiu reguliavimu. Atsižvelgiant į Europos Sąjungos strategines kryptis, skaitmenizacija ir tvarumo inovacijos vis dažniau vertinamos kaip tarpusavyje susiję procesai, kurių sąveika apibrėžiama dvigubos transformacijos koncepcija. Dvigubos transformacijos poveikio Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams vertinimas tampa aktualia moksline problema.

Šio darbo tikslas – empiriškai įvertinti dvigubos transformacijos pažangos poveikį Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams. Siekiant įgyvendinti tyrimo tikslą, iškelti šie uždaviniai: (1) išanalizuoti tvarumo inovacijų ir skaitmenizacijos problematiką; (2) apžvelgti Europos Sąjungos politikos kryptis, susijusias su skaitmenizacijos ir tvarumo integracija maisto pramonėje; (3) aptarti dvigubos transformacijos teorinius pagrindus ir galimus poveikio mechanizmus įmonių veiklos efektyvumui; (4) empiriškai įvertinti ryšius tarp dvigubos transformacijos rodiklių ir ekonominių rezultatų, taikant koreliacinę ir regresinę analizę; (5) suformuluoti išvadas ir rekomendacijas dėl dvigubos transformacijos taikymo ES maisto pramonėje.

Darbe taikyti mokslinės literatūros analizės ir sintezės, statistinių duomenų analizės, grafinės analizės, laiko eilučių stacionarumo ir normalumo vertinimo, koreliacinės analizės bei porinių tiesinių ir netiesinių regresijos modelių metodai. Empirinis tyrimas atliktas naudojant agreguotus Europos Sąjungos maisto pramonės duomenis. Skaitmenizacijos lygis vertintas pasitelkiant Skaitmeninės ekonomikos ir visuomenės indeksą, o tvarumo inovacijų pažanga – ekoinovacijų indeksą. Ekonominiai rezultatai apėmė darbo našumo, darbo užmokesčio, investicijų, energijos ir anglies dioksido emisijų intensyvumo rodiklius.

Gauti tyrimo rezultatai atskleidė, kad dvigubos transformacijos pažanga yra statistiškai reikšmingai susijusi su tam tikrais Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiais rodikliais. Nustatyta, kad skaitmenizacijos ir tvarumo inovacijų didėjimas siejamas su produktyvumo augimu. Taip pat, empiriniai rezultatai rodo, kad dvigubos transformacijos poveikis nėra vienodas ir priklauso nuo pasirinktų modelių bei kintamųjų, todėl galima teigti, jog dvigubos transformacijos ekonominis poveikis ne visada pasireiškia tiesioginiu būdu.

Zapalskytė, Irma. Assessment of the Impact of Twin Transition on the Economic Performance of the European Union Food Industry. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; School of Economics and Business, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Social Science, Economics.

Keywords: Twin Transition, Digitalization, Sustainability, Food Industry, European Union, Productivity.

Kaunas, 2026. 70 pages.

Summary

The food industry of the European Union is one of the largest and most economically important branches of the manufacturing sector. It creates significant added value, provides a high level of employment, and plays an important role both in the internal market and in international trade. However, the sector is characterised by relatively low productivity, high energy and resource intensity, and increasing environmental regulation. In line with the strategic priorities of the European Union, digitalisation and sustainability-oriented innovations are increasingly seen as interconnected processes, whose interaction is referred to as the concept of the twin transition. Therefore, assessing the impact of the twin transition on the economic performance of the European Union food industry has become an important research issue.

The aim of this study is to empirically assess the impact of progress in the twin transition on the economic performance of the European Union food industry. To achieve this aim, the following objectives were set: (1) to analyse issues related to sustainability-oriented innovations and digitalisation; (2) to review European Union policy directions related to the integration of digitalisation and sustainability in the food industry; (3) to discuss the theoretical foundations of the twin transition and its potential impact mechanisms on business performance; (4) to empirically evaluate the relationships between twin transition indicators and economic outcomes using correlation and regression analysis; and (5) to formulate conclusions and recommendations for the application of the twin transition in the EU food industry.

The study applies methods of scientific literature analysis and synthesis, statistical data analysis, graphical analysis, time series stationarity and normality testing, correlation analysis, as well as pairwise linear and non-linear regression models. The empirical analysis is based on aggregated data for the European Union food industry. The level of digitalisation is measured using the Digital Economy and Society Index, while progress in sustainability-oriented innovations is assessed using the Eco-Innovation Index. Economic performance indicators include labour productivity, wages, investment, energy intensity, and carbon dioxide emissions intensity.

The results of the study show that progress in the twin transition is statistically significantly related to certain economic indicators of the European Union food industry. An increase in digitalisation and sustainability-oriented innovations is associated with productivity growth. At the same time, the empirical results indicate that the impact of the twin transition is not uniform and depends on the applied models and selected variables. This suggests that the economic effects of the twin transition do not always occur directly.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams problemos analizė	12
1.1. Maisto pramonės vaidmuo ES ekonomikoje.....	12
1.2. Sektoriaus struktūra ir pagrindiniai rodikliai.....	12
1.3. Struktūriniai iššūkiai ir ES politika	13
1.3.1. Produktyvumo atotrūkis ir inovacijų plėtros spragos.....	13
1.3.2. Aplinkosaugos politika.....	14
1.3.3. ES politikos kryptys ir dviguba transformacija	14
1.4. Tyrimo problemos pagrindimas	15
1.4.1. Tyrimai apie tvarumo inovacijas	15
1.4.2. Tyrimai apie skaitmenizaciją.....	16
1.4.3. Dvigubos transformacijos tyrimų ribotumas	16
2. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams teoriniai sprendiniai	17
2.1. Tvarumo inovacijų teoriniai sprendiniai	17
2.1.1. Tvarumo inovacijų samprata	17
2.1.2. Tvarumo inovacijų tipai	18
2.1.3. Tvarumo inovacijų diegimas tiekimo grandinėje ir tvarumo veiklos rodikliai	27
2.1.4. Tvarumo inovacijų taikymo praktikų maisto pramonės tiekimo grandinėse prielaidos, pasekmės ir poveikiai tvariems rezultatams	28
2.1.5. Sisteminės tvarumo inovacijų pasekmės ir poveikiai.....	31
2.2. Skaitmenizacijos teoriniai sprendiniai.....	32
2.2.1. Skaitmenizacijos samprata	32
2.2.2. Skaitmenizacijos tipai ir technologijos.....	33
2.2.3. Skaitmenizacijos diegimas pramonėje ir veiklos rodikliai.....	38
2.3. Dvigubos transformacijos koncepcija	39
2.3.1. Dvigubos transformacijos samprata ir kilmė.....	39
2.3.2. Teoriniai dvigubos transformacijos pagrindai ir poveikio mechanizmai	40
3. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams tyrimo metodologija	43
4. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams tyrimo rezultatai ir diskusija.....	46
4.1. ES maisto pramonės ekonominių rodiklių analizė	46
4.2. ES maisto pramonės aplinkosaugos rodiklių analizė	50
4.3. ES maisto pramonės skaitmenizacijos ir TI rodiklių analizė	53
4.4. ES dvigubos transformacijos ir ekonominių rodiklių empirinis tyrimas.....	55
4.4.1. Stacionarumo vertinimas	56
4.4.2. Normalumo vertinimas	56

4.4.3. Koreliacinė analizė	57
4.5. ES dvigubos transformacijos ir ekonominių rodiklių regresinė analizė.....	58
4.5.1. Tiesinė regresinė analizė	58
4.5.2. Netiesinė regresinė analizė	59
4.6. Empirinio tyrimo rezultatų apibendrinimas ir rekomendacijos.....	62
Išvados	63
Literatūros sąrašas	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Pagrindiniai ES maisto pramonės ekonominiai rodikliai (<i>FoodDrinkEurope</i> , 2025).....	13
2 lentelė. Tradicinių inovacijų ir TI palyginimas (Adams et al., 2016; Boons & Lüdeke-Freund, 2013)	17
3 lentelė. Skirtingų autorių TI apibrėžimai	18
4 lentelė. Produktų ingredientų TI maisto pramonės tiekimo grandinėje	20
5 lentelė. Pakuočių TI maisto pramonės tiekimo grandinėje	21
6 lentelė. Procesų TI maisto pramonės tiekimo grandinėje	24
7 lentelė. Organizacinės TI maisto pramonės tiekimo grandinėje	27
8 lentelė. TI diegimas maisto pramonės tiekimo grandinėje (pritaikyta iš Tolentino-Zondervan & DiVito (2024), adaptuota autorės)	27
9 lentelė. Skirtingų autorių skaitmenizacijos ir skaitmeninės transformacijos apibrėžimai	33
10 lentelė. Skaitmenizacijos technologijos ir jų taikymas pramonėje	38
11 lentelė. Dvigubos transformacijos teoriniai pagrindai, poveikio mechanizmai ir ekonominiai efektai (sudaryta autorės).....	42
12 lentelė. Tyrime naudojamų kintamųjų apibūdinimas	44
13 lentelė. Laiko eilučių stacionarumo vertinimo rezultatai	56
14 lentelė. Skirstinių normalumo tikrinimas	57
15 lentelė. Kintamųjų koreliacijos matrica	57
16 lentelė. Tiesinio regresijos modelio parametrai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis $\Delta WAGE$)	58
17 lentelė. Tiesinio regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizės rezultatai.....	59
18 lentelė. Netiesiniai regresijos modeliai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis ΔDTI)	60
19 lentelė. Porinio kvadratinio modelio parametrai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis ΔDTI).....	60
20 lentelė. Netiesinio regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizės rezultatai	61

Paveikslų sąrašas

1 pav. Maisto pramonės tiekimo grandinė (sudaryta autorės)	22
2 pav. Tyrimo eigos schema (sudaryta autorės).....	45
3 pav. ES maisto pramonės darbo našumo kaita 2010–2023 m. (sudaryta autorės remiantis Eurostat)	46
4 pav. ES maisto pramonės darbo našumas (€/darbuotojui) 2023 m. valstybėse narėse (sudaryta autorės remiantis Eurostat)	47
5 pav. Investicijos į ES maisto pramonę 2011-2022 m. (Eurostat).....	48
6 pav. ES valstybių narių maisto sektoriaus BVP dalis 2024 m. (sudaryta autorės remiantis Eurostat)	49
7 pav. ES valstybių narių maisto sektoriaus vidutinis metinis darbo užmokestis 2023 m. (Eurostat)	50
8 pav. ES maisto pramonės energijos ir emisijų intensyvumo kaita 2012–2023 m. (Eurostat).....	51
9 pav. ES maisto pramonės energijos intensyvumas (kWh/€) 2023 m. valstybėse narėse (Eurostat)	52
10 pav. ES maisto pramonės emisijų intensyvumas (t/mln. €) 2023 m. valstybėse narėse (Eurostat)	53
11 pav. ES maisto pramonės DESI ir EII indeksų kaita 2015–2023 m. (sudaryta autorės).....	54
12 pav. ES maisto pramonės DESI ir EII indeksai 2022 m. valstybėse narėse (sudaryta autorės) ..	55

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

DI (AI) – dirbtinis intelektas, kompiuterinės sistemos, kurios gali analizuoti duomenis, mokytis ir priimti sprendimus;

DESI – Skaitmeninės ekonomikos ir visuomenės indeksas (angl. *Digital Economy and Society Index*), naudojamas ES šalių skaitmeninės pažangos vertinimui;

EII – Ekologinių inovacijų indeksas (angl. *Eco-Innovation Index*), matuojantis šalių pažangą tvarumo ir aplinkosauginių inovacijų srityje;

ES – Europos Sąjunga;

ESG – aplinkosauginiai, socialiniai ir valdymo kriterijai (angl. *Environmental, Social, Governance*), naudojami įmonių tvarumo vertinimui;

GDP / BVP – bendrasis vidaus produktas (angl. *Gross Domestic Product*);

I4.0 – ketvirtoji pramonės revoliucija (angl. *Industry 4.0*), grindžiama skaitmeninėmis ir automatizuotomis technologijomis;

IoT – daiktų internetas (angl. *Internet of Things*), tarpusavyje sujungti fiziniai įrenginiai, renkantys ir perduodantys reikalingus duomenis;

MTEP – moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra;

MVĮ – mažos ir vidutinės įmonės;

TI – tvarumo inovacijos (angl. *Sustainability-oriented innovations*).

Terminai:

Dviguba transformacija – procesas, kai skaitmenizacija ir tvarumo inovacijos įgyvendinamos kartu, siekiant ekonominio efektyvumo, aplinkosauginių tikslų ir ilgalaikio konkurencingumo.

Energijos intensyvumas – energijos sąnaudų kiekis, tenkantis sukurtai ekonominei vertei (pvz., kWh/€).

Emisijų intensyvumas – šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kiekis, tenkantis ekonominės veiklos rezultatui (pvz., t/mln. €).

Skaitmenizacija – skaitmeninių technologijų taikymas verslo, gamybos ir valdymo procesuose.

Tvarumo inovacijos – nauji arba patobulinti produktai, procesai ar organizaciniai sprendimai, mažinantys neigiamą poveikį aplinkai ir kuriantys ekonominę vertę.

Žiedinė ekonomika – ekonomikos modelis, grindžiamas išteklių pakartotiniu naudojimu, atliekų mažinimu ir uždarais medžiagų ciklais.

Ivadas

Pastarąjį dešimtmetį Europos Sąjunga vis daugiau dėmesio skiria ekonomikos pertvarkai, kuri būtų grindžiama ne tik sparčiu augimu, bet ir tvarumu bei technologine pažanga. Ši kryptis ypač sustiprėjo reaguojant į klimato kaitos iššūkius, energijos kainų svyravimus, tiekimo grandinių sutrikimus bei didėjantį globalų konkurencingumą. Šiame kontekste išryškėjo dvi pagrindinės transformacijos kryptys – skaitmenizacija ir žalioji transformacija, kurios šiandien vis dažniau suvokiamos ne kaip atskiri procesai, bet kaip tarpusavyje glaudžiai susijusi visuma. Tokia jų sąveika apibrėžiama kaip dviguba transformacija (angl. *twin transition*).

Skaitmenizacija apima skaitmeninių technologijų diegimą gamybos, valdymo ir tiekimo grandinės procesuose, siekiant didinti efektyvumą bei produktyvumą. Tuo tarpu tvarumo inovacijos yra orientuotos į energijos, išteklių vartojimo bei taršos mažinimą, socialinę atsakomybę ir ilgalaikę ekonominę pusiausvyrą. Europos Sąjungos politikoje yra pabrėžiama, kad būtent šių dviejų krypčių derinimas gali tapti pagrindu tvariam konkurencingumui ir atspariai ekonomikos plėtrai – tai atspindi Europos žaliojo kurso, „Nuo ūkio iki stalo“ strategijos bei Skaitmeninio kompasas 2030 tiksluose.

Maisto pramonė šiame kontekste užima ypatingą vietą. Tai viena didžiausių ir ekonomiškai svarbiausių Europos Sąjungos apdirbamosios pramonės šakų, kuri kuria didelę pridėtinę vertę, užtikrina begalę darbo vietų ir atlieka svarbų vaidmenį tiek vidaus rinkoje, tiek tarptautinėje arenoje. Kartu tai ir sektorius, pasižymintis dideliu energijos, vandens ir žaliavų vartojimo intensyvumu bei poveikiu aplinkai. Be to, Europos Sąjungos maisto pramonėje dominuoja mažos ir vidutinės įmonės, kurioms būdingi riboti finansiniai ir technologiniai ištekliai. Dėl šių priežasčių skaitmenizacijos ir tvarumo sprendimų diegimas šiame sektoriuje dažnai vyksta netolygiai ir susiduria su įvairiais praktiniais iššūkiais.

Nepaisant to, maisto pramonė yra laikoma viena sričių, kurioje dviguba transformacija gali turėti reikšmingą poveikį ekonominiams rezultatams. Skaitmeninės technologijos gali padėti optimizuoti gamybos procesus, mažinti nuostolius, gerinti atsekamumą ir sprendimų kokybę, o tvarumo inovacijos – sumažinti energijos sąnaudas, emisijas ir socialines veiklos rizikas. Tačiau praktikoje ne visada aišku, ar ir koku mastu šie procesai iš tiesų prisideda prie geresnių ekonominių rodiklių.

Mokslinėje literatūroje skaitmenizacija ir tvarumo inovacijos dažniausiai analizuojamos atskirai. Skaitmenizacijos tyrimai dažniau orientuojasi į produktyvumo didinimą ir technologinį efektyvumą, o tvarumo inovacijų tyrimai – į aplinkosauginius ir socialinius aspektus. Tuo tarpu jų tarpusavio sąveika ir bendras poveikis ekonominiams rezultatams, ypač konkrečių sektorių lygmeniu, išlieka nepakankamai ištirta. Maisto pramonės kontekste tokių empirinių tyrimų vis dar trūksta, ypač naudojant kiekybinius ekonominės analizės metodus.

Atsižvelgiant į tai, šiame darbe formuluojama tyrimo problema – nėra pakankamai aišku, kaip dvigubos transformacijos pažanga veikia Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominius rezultatus. Nors politiniu lygmeniu dviguba transformacija laikoma strategine kryptimi, empirinių įrodymų apie jos realų ekonominį poveikį šiame sektoriuje vis dar trūksta.

Šio darbo tyrimo objektas – dviguba transformacija Europos Sąjungos maisto (NACE C10–C12) pramonėje.

Tyrimo tikslas – empiriškai įvertinti dvigubos transformacijos pažangos poveikį Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams.

Tyrimo tikslui pasiekti iškelti šie tyrimo uždaviniai:

1. išanalizuoti tvarumo inovacijų ir skaitmenizacijos problematiką;
2. apžvelgti Europos Sąjungos politikos kryptis, susijusias su skaitmenizacijos ir tvarumo integracija maisto pramonėje;
3. aptarti dvigubos transformacijos teorinius pagrindus ir galimus poveikio mechanizmus įmonių veiklos efektyvumui;
4. empiriškai įvertinti ryšius tarp dvigubos transformacijos rodiklių ir ekonominių rezultatų, taikant koreliacinę ir regresinę analizę;
5. suformuluoti išvadas ir rekomendacijas dėl dvigubos transformacijos taikymo ES maisto pramonėje.

Tyrime taikomi moksliniai metodai – mokslinės literatūros analizė ir sintezė, statistinių duomenų analizė, laiko eilučių stacionarumo ir normalumo vertinimas, koreliacinė analizė bei poriniai tiesiniai ir netiesiniai regresijos modeliai. Empirinė analizė atliekama naudojant agreguotus Europos Sąjungos maisto pramonės duomenis, apimančius ekonominius, aplinkosauginius ir skaitmenizacijos rodiklius.

1. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams problemos analizė

1.1. Maisto pramonės vaidmuo ES ekonomikoje

Maisto pramonė yra viena svarbiausių ir didžiausių ekonominę reikšmę turinčių sektorių Europos Sąjungoje (toliau tekste – ES). Ši šaka ne tik užtikrina maisto tiekimą vidaus rinkai, bet ir yra svarbi ekonomikos varomoji jėga, generuojanti reikšmingą pridėtinę vertę, užimtumą ir eksporto pajamas. Remiantis „FoodDrinkEurope“ (2025) duomenimis, Europos maisto ir gėrimų sektorius yra didžiausia apdirbamosios pramonės šaka ES, 2024 m. sukūrusi apie 1,2 trln. eurų apyvartos ir daugiau nei 250 mlrd. eurų pridėtinės vertės. Ši šaka sukuria apie 15 % visos apdirbamosios pramonės pridėtinės vertės ir generuoja didžiausią darbo vietų skaičių visoje pramonės struktūroje – daugiau nei 4,7 mln. darbuotojų.

Pagal užimtumo mastą maisto sektorius yra strategiškai svarbus daugeliui ES regionų. Kai kuriose valstybėse narėse, ypač pietinėse ir rytinėse, jis sudaro didelę dalį visų pramonės darbo vietų – pavyzdžiui, Ispanijoje ir Italijoje šis sektorius sudaro apie 14–16 % visų gamybos pramonės darbuotojų, o Lenkijoje – net apie 18 % (Eurostat, 2024). Toks sektoriaus dydis reiškia, kad bet kokie pokyčiai jo struktūroje ar technologijų diegime turi tiesioginį poveikį ne tik ekonomikai, bet ir socialinei bei regioninei sanglaudai.

Maisto pramonė taip pat yra itin svarbi tarptautinės prekybos kontekste. 2024 m. ES maisto ir gėrimų eksportas sudarė daugiau nei 235 mlrd. € (3 % daugiau nei 2023 m.), o importas – apie 170 mlrd. € (8 % daugiau nei 2023 m.), todėl sektorius išlaiko aiškų teigiamą prekybos balansą (European Commission, 2025). Daugiausia eksportuojama į Jungtinę Karalystę, JAV, Kiniją, Japoniją ir Kanadą. Eksporto sėkmę lemia ne tik produktų kokybė, bet ir griežti ES standartai, susiję su sauga, atsekamumu ir tvarumu. Tai tampa konkurenciniu pranašumu pasaulinėje rinkoje.

Be to, sektorius yra glaudžiai susijęs su kitomis ekonomikos sritimis. Maisto perdirbimo įmonės ES viduje įsigyja apie 90 % žemės ūkio žaliavų iš vietos tiekėjų, todėl sektorius yra svarbi žemės ūkio gamintojų pajamų grandinės dalis (Tidjani et al., 2025). Šis glaudus ryšys su žemės ūkiu reiškia, kad bet kokie technologiniai ar struktūriniai pokyčiai maisto perdirbime turi plačias pasekmes visai agromaisto sistemai.

1.2. Sektoriaus struktūra ir pagrindiniai rodikliai

ES maisto pramonės struktūra yra itin įvairialypė ir pasižymi dideliu įmonių skaičiumi bei didele MVĮ dalimi. Remiantis „Key Figures on the European Food Chain“, sektoriuje veikia daugiau nei 300 tūkst. įmonių, iš kurių daugiau nei 99 % sudaro MVĮ. Nors šios įmonės generuoja apie 50 % visos apyvartos, didelę sektoriaus dalį kontroliuoja keli stambūs tarptautiniai koncernai, kurie lemia inovacijų tempą ir investicijų kryptis.

Maisto pramonė susideda iš kelių segmentų: kepinių ir miltinių produktų (49 %), gėrimų (11 %), mėsos produktų (11 %), vaisių ir daržovių produktų (5 %), pieno produktų (4 %), aliejų ir riebalų (3 %), grūdinių ir krakmolinių produktų (2 %), gyvūnų pašarų (2 %), žuvies, vėžiagyvių ir moliuskų produktų (2 %) bei kitų maisto produktų (12 %) (Tidjani et al., 2025). Tokia struktūra rodo, kad sektorius yra itin diversifikuotas, o tai svarbu vertinant dvigubos transformacijos poveikį – skirtingi segmentai pasižymi skirtingais technologiniais poreikiais ir tvarumo iššūkiais.

Svarbus rodiklis vertinant sektoriaus būklę yra darbo našumas. Nors maisto pramonė yra didžiausias ES darbdavys, jos produktyvumo lygis yra mažesnis lyginant su kitais sektoriais. 2024 m.

duomenimis, vidutinis darbo našumas maisto pramonėje siekė apie 53 000 €/darbuotojui, tuo tarpu bendras pramonės vidurkis buvo apie 74 000 € (*FoodDrinkEurope*, 2025). Šis skirtumas rodo didelį potencialą produktyvumui didėti, kurį galima išnaudoti per skaitmenizaciją ir technologines inovacijas.

Maisto pramonės investicijų intensyvumas taip pat išlieka žemesnis nei aukštųjų technologijų sektoriuose. 2021 m. sektorius investavo apie 45 mlrd. €, daugiausia į gamybos modernizavimą, logistikos tobulinimą ir aplinkosaugos priemones (*FoodDrinkEurope*, 2025). Nors investicijų apimtis auga, jų dalis nuo bendros apyvartos išlieka santykinai maža, todėl skaitmeninės technologijos gali tapti svarbiu svertu didinant efektyvumą ir inovacijų diegimą (1 lentelė).

1 lentelė. Pagrindiniai ES maisto pramonės ekonominiai rodikliai (*FoodDrinkEurope*, 2025)

Rodiklis	Reikšmė
Įmonių skaičius	~300 000
MVĮ dalis	>99 %
Užimtumas	~4,7 mln. darbuotojų
Apyvarta	~1,2 trln. €
Pridėtinė vertė	~250 mlrd. €
Eksportas	~235 mlrd. €
Eksporto/importo balansas	+65 mlrd. €
Vidutinė pelno marža	~ 8 %
Vidutinis darbo našumas	~53 000 €/darbuotojui
Investicijos	~45 mlrd. €

1.3. Struktūriniai iššūkiai ir ES politika

Nors ES maisto pramonė yra viena didžiausių ir ekonomiškai svarbiausių gamybos šakų, jos ilgalaikę plėtrą riboja keli struktūriniai veiksniai, kurie dar labiau išryškėja spartėjant skaitmenizacijos ir TI procesams.

1.3.1. Produktyvumo atotrūkis ir inovacijų plėtros spragos

Vienas iš esminių ES maisto pramonės iššūkių yra nuolat išliekantis produktyvumo atotrūkis lyginant su kitais gamybos sektoriais. Naujausi duomenys rodo, kad 2024 m. darbo našumas šiame sektoriuje sudarė apie 53 tūkst. €/darbuotojui, kai bendras apdirbamosios pramonės vidurkis viršijo 74 tūkst. €. Šis skirtumas reiškia, kad maisto pramonės darbuotojai vidutiniškai sukuria beveik trečdaliu mažiau pridėtinės vertės nei kitų pramonės šakų darbuotojai, ir tokia disproporcija išlieka jau daugiau nei dešimtmetį (*FoodDrinkEurope*, 2025).

Mokslinėje literatūroje akcentuojama, kad šio produktyvumo deficito priežastys yra struktūrinės, todėl jas sunku įveikti vien technologinėmis priemonėmis (Galindo-Rueda & Verger, n.d.). Visų pirma, maisto pramonės struktūroje dominuoja mažos ir vidutinės įmonės, kurios sudaro daugiau nei 99 % visų sektoriaus įmonių (*FoodDrinkEurope*, 2025). Tokių įmonių riboti finansiniai ir technologiniai resursai dažnai neleidžia diegti kapitalui imlių inovacijų, todėl skaitmenizacijos ir tvarumo sprendimai plinta fragmentiškai. Be to, mažesnės įmonės rečiau dalyvauja tarptautinėse tiekimo grandinėse, todėl nepatiria tokio pat spaudimo modernizuoti procesus kaip stambūs rinkos dalyviai (Frank, Mendes, et al., 2019).

Antra, maisto pramonės investicijos į mokslinius tyrimus ir eksperimentinę plėtrą (toliau tekste – MTEP) yra itin ribotos. Vageningeno universiteto mokslininkų (2025) duomenimis, šio sektoriaus MTEP intensyvumas nesiekia 1 % apyvartos, kai aukštųjų technologijų pramonėje šis rodiklis yra 5–

10 %. Vadinasi, dauguma įmonių dažniau pasitelkia jau egzistuojančių technologijų adaptaciją, o ne kuria naujus sprendimus, todėl inovacijų potencialas neišnaudojamas.

Trečia, inovacijų diegimo pobūdis dažnai yra reaktyvus, o ne proaktyvus. Tyrimai rodo, kad naujovės dažniausiai atsiranda kaip atsakas į išorinius veiksnius – reguliacinius pokyčius, vartotojų spaudimą ar konkurenciją – o ne kaip strateginė įmonių plėtros kryptis (Frank, Mendes, et al., 2019).

Ketvirta, inovacijų difuzija sektoriuje yra labai netolygi. Europos investicijų banko (2023) duomenimis, 30 % mikroįmonių ES teigė, kad 2022 m. ėmėsi žingsnių skaitmenizacijai, palyginti su 63 % didelių įmonių, todėl produktyvumo prieaugiai dažniausiai koncentruojasi dideliuose rinkos dalyviuose. Tuo tarpu MVĮ lieka „skaitmeniškai atskirtos“, nes neturi nei kapitalo, nei kompetencijų brangiems technologiniams projektams įgyvendinti.

Kita kliūtis yra žmogiškųjų išteklių kompetencijos. Muench'as ir kt. (2022) pabrėžia, kad skaitmeninių įgūdžių lygis maisto pramonėje yra vienas žemiausių tarp ES gamybos sektorių, todėl net ir turint prieigą prie technologijų, jų integracija į procesus dažnai būna paviršutiniška. Tai stabdo ne tik produktyvumo augimą, bet ir mažina investicijų grąžą, nes technologijos nėra neišnaudojamos maksimaliai.

Galiausiai, maisto pramonėje ribotą inovacijų plėtrą lemia ir kapitalo prieinamumo problema. Vidutinės pelno maržos šiame sektoriuje svyruoja tarp 7–9 % (Tidjani et al., 2025), todėl įmonės linkusios vengti rizikingų investicijų į lėtai atsiperkančias technologijas.

1.3.2. Aplinkosaugos politika

Maisto pramonė yra viena labiausiai aplinką veikiančių ES gamybos šakų. Jos veiklos procesai pasižymi dideliu energijos, vandens ir žaliavų intensyvumu, o tai lemia didelę šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų dalį. Maisto, gėrimų ir tabako pramonė sudaro apie 11,5 % viso ES pramonės energijos suvartojimo (*FoodDrinkEurope*, 2025). Energijai imliausi yra šaldymo, šildymo, džiovavimo ir transportavimo procesai, be kurių maisto produktų gamyba būtų neįmanoma.

Šio sektoriaus poveikis aplinkai neapsiriboja tik energijos vartojimu. Apskaičiuota, jog 2021 m. ES maisto pramonė sugeneravo 85 mln. t CO₂ emisijų (*FoodDrinkEurope*, 2025). Nors dalis emisijų kyla žemės ūkyje, maisto perdirbimo sektorius taip pat prisideda prie didelio energijos naudojimo, logistikos bei pakuočių atliekų srautų.

Maisto pramonės energijos intensyvumas taip pat yra aukštas. Europos investicijų banko (2022) tyrimas rodo, kad energijos sąnaudos šio sektoriaus bendrose išlaidose 2021–2022 m. smarkiai išaugo dėl energijos kainų krizės, kilusios po Rusijos karo Ukrainoje pradžios. Tai lėmė, kad daugelis įmonių pradėjo ieškoti energijos efektyvumo sprendimų – nuo procesų optimizavimo iki atsinaujinančių energijos išteklių integravimo. Tačiau mažos ir vidutinės įmonės dažnai neturi kapitalo tokioms investicijoms, todėl rizikuoja prarasti konkurencingumą.

1.3.3. ES politikos kryptys ir dviguba transformacija

Per pastaruosius kelerius metus ES iš esmės perorientavo savo ekonomikos strategiją, siekdama sujungti dvi didžiausias transformacijos kryptis – žaliąją ir skaitmeninę. Šis požiūris atsispindi dviejuose kertiniuose strateginiuose dokumentuose – Europos žaliajame kurse ir ES skaitmeninės

transformacijos strategijoje, kurie laikomi konkurencingumo ir tvarumo pagrindais. Jų sąveika sudaro vadinamąją dvigubą transformaciją (angl. *twin transition*) – procesą, kai skaitmenizacijos ir tvarumo tikslai stiprina vienas kitą ir kartu tampa ekonominės politikos branduoliu.

Europos žaliasis kursas, priimtas 2019 m., įtvirtina tikslą pasiekti klimatui neutralią ekonomiką iki 2050 m. bei sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas bent 55 % iki 2030 m. Jis apima energijos vartojimo efektyvinimą, žiedinės ekonomikos stiprinimą, išteklių naudojimo mažinimą, taršos prevenciją ir bioįvairovės apsaugą (European Commission, n.d.-e). Maisto sektoriui ypač svarbi iniciatyva – „Nuo ūkio iki stalo“ (angl. *Farm to Fork*) strategija, kuri siekia sukurti tvarią, klimato kaitai atsparią maisto sistemą, mažinti maisto švaistymą, didinti maisto produktų atsekamumą bei mažinti poveikį aplinkai (European Commission, n.d.-d).

Skaitmenizacijos dimensiją ES politika plėtoja per tokias programas kaip „Skaitmeninis kompasas 2030“ ir „Skaitmeninė Europa“. Pagrindiniai tikslai – iki 2030 m. užtikrinti, kad bent 90 % visų įmonių pasiektų bazinį skaitmeninį brandos lygį, 75 % įmonių naudotų debesų kompiuteriją, DI ar didžiųjų duomenų sprendimus (European Commission, n.d.-c). Svarbios iniciatyvos, tokios kaip Europos duomenų strategija ar Dirbtinio intelekto aktas (angl. *AI Act*), nustato reguliacinius pagrindus, kuriuos įmonės privalės taikyti kokybės kontrolėje, tiekimo grandinės valdyme, atsekamumo procesuose ir kitose srityse (European Commission, n.d.-a). Tai lemia, kad skaitmenizacija nebėra vien technologinis klausimas, o tampa integruotu ekonominės politikos elementu.

Šių dviejų kryptių susiliejimas rodo esminį pokytį ES politikoje – žalioji transformacija nebėra tik aplinkosaugos sritis, o skaitmeninė transformacija nebėra vien technologijų klausimas. Jos abi suvokiamos kaip būtini ilgalaikio augimo, konkurencingumo ir atsparumo pagrindai. Toks reguliacinis kontekstas reiškia, kad maisto pramonei tenka ypatingas vaidmuo – iš vienos pusės ji privalo mažinti emisijas, energijos ir žaliavų sąnaudas, iš kitos – spartinti technologinę modernizaciją ir skaitmeninį atsinaujinimą.

Kaip pažymi Veugelers’as et al. (2023), tik suderintas abiejų transformacijų įgyvendinimas leidžia pasiekti sinerginį efektą – skaitmenizacija padeda optimizuoti procesus, mažinti sąnaudas ir užtikrinti duomenų skaidrumą, o žaliosios inovacijos užtikrina atitikimą reguliavimui ir ilgalaikį konkurencingumą. Todėl dviguba transformacija tampa ne pasirinkimu, o strategine būtinybe ES maisto pramonės ateičiai.

1.4. Tyrimo problemos pagrindimas

Pastarąjį dešimtmetį tiek akademiniuose tyrimuose, tiek politiniuose dokumentuose vis daugiau dėmesio skiriama dviem esminėms transformacijoms – TI ir skaitmenizacijai. Šios dvi sritys plačiai analizuojamos atskirai, tačiau jų sąveikos tyrimų vis dar labai trūksta, ypač kalbant apie konkrečius sektorius, tokius kaip maisto pramonė.

1.4.1. Tyrimai apie tvarumo inovacijas

Mokslinėje literatūroje tvarumo inovacijos dažniausiai nagrinėjamos aplinkosauginiu aspektu. Autoriai Carrillo–Hermosilla ir kt. (2010) jas apibrėžia kaip technologinius, organizacinius ar socialinius pokyčius, kurie mažina neigiamą poveikį aplinkai ir skatina efektyvesnį išteklių naudojimą. Tyrimai analizuoja tokių inovacijų tipus – nuo energijos vartojimo efektyvumo

technologijų, žiedinės ekonomikos sprendimų iki ekologinio dizaino ar atliekų mažinimo priemonių. Vis dėlto, dauguma šių darbų koncentruojasi į bendrus pramonės sektorius arba žemės ūkį, o maisto perdirbimo pramonė dažniausiai lieka bendrame agromaisto kontekste, negaudama pakankamai atskiros dėmesio.

Be to, daug tyrimų nagrinėja TI poveikį aplinkai, tačiau palyginti mažai – ekonominius rezultatus. Nors Rennings'as (2000) teigia, kad TI gali didinti našumą ar mažinti sąnaudas, ši dimensija dažniausiai lieka antrine. Vadinasi, mokslinėje literatūroje vis dar trūksta išsamių įžvalgų apie tai, kaip TI veikia įmonių produktyvumą, pelningumą ar konkurencingumą.

1.4.2. Tyrimai apie skaitmenizaciją

Kita kryptis – skaitmenizacijos tyrimai. Čia daug dėmesio skiriama ketvirtosios pramonės revoliucijos technologijoms. Tyrėjai akcentuoja, kad šios technologijos leidžia optimizuoti gamybos procesus, didinti produktyvumą, gerinti logistiką ir užtikrinti atsekamumą tiekimo grandinėse (Jamwal et al., 2021).

Vis dėlto, dauguma šių darbų yra bendro pobūdžio – jie nagrinėja pramonę plačiąja prasme arba atskirus subsektorius, tokius kaip automobilių ar chemijos pramonė, bet maisto pramonė aptariama fragmentiškai. Mažiau dėmesio skiriama ir klausimui, kaip skaitmenizacija veikia tvarumo rodiklius: energijos vartojimą, emisijas, atliekų tvarkymą. Taigi, didžioji dalis literatūros skaitmenizaciją traktuoja kaip produktyvumo ir efektyvumo klausimą, bet ne kaip priemonę derinti ekonominius ir aplinkosaugos tikslus.

1.4.3. Dvigubos transformacijos tyrimų ribotumas

Pastaraisiais metais atsirado naujas tyrimų laukas – vadinamoji dviguba transformacija. Ji akcentuoja, kad skaitmenizacija ir žalioji transformacija nėra atskiri procesai, bet tarpusavyje glaudžiai susiję. Pavyzdžiui, didžiųjų duomenų analizė gali padėti optimizuoti energijos vartojimą, o robotizacija – sumažinti žaliavų nuostolius gamyboje (Tabares et al., 2025).

Vis dėlto, dauguma dvigubos transformacijos tyrimų yra makroekonominio lygmens. Jie nagrinėja bendrą Europos pramonės situaciją, inovacijų plitimo tendencijas, politikos suderinamumą. Maisto pramonė paprastai minima tik kaip viena iš sričių, bet be gilesnės analizės. Čia trūksta sisteminių studijų, kurios parodytų, kaip dvigubos transformacijos procesai atsispindi konkrečiuose ekonominiuose rodikliuose.

2. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams teoriniai sprendiniai

2.1. Tvarumo inovacijų teoriniai sprendiniai

2.1.1. Tvarumo inovacijų samprata

Tvarumo idėja pradėjo formuotis XX a. aštuntajame dešimtmetyje kaip atsakas į stiprėjantį visuomenės susirūpinimą aplinkos būkle. Reikšmingas lūžis įvyko 1987 m., kai Pasaulinė aplinkos ir plėtros komisija paskelbė Brundtlando ataskaitą „Mūsų bendra ateitis“, kurioje pirmą kartą pateiktas oficialus tvarumo apibrėžimas. Po kelerių metų, 1991 m., Jungtinių Tautų aplinkos programa (UNEP) išgrynino tvarios plėtros sampratą, pabrėždama, kad gyvenimo kokybės gerinimas turi vykti neperžengiant ekosistemų pajėgumo. 1992 m. JT pasaulinėje konferencijoje Rio de Žaneire ši samprata dar labiau išsiplėtė, papildyta ekonominiais bei socialiniais ir kultūriniais aspektais. Nuo to laiko tvarumo sampratą sudaro trys pagrindiniai komponentai – aplinkosauginis, ekonominis ir socialinis – kurie laikomi tvarios plėtros pagrindu (Sim,sek et al., 2024).

Tvarumo inovacijos (angl. *sustainability-oriented innovations*, toliau tekste – TI) – tai kompleksiški, kryptingi ir strateginiai įmonių sprendimai, kurių tikslas kurti ekonominę vertę tuo pačiu mažinant neigiamą poveikį aplinkai ir stiprinant socialinę bendruomenės gerovę. Šios inovacijos atsiranda kaip atsakas į globalius XXI amžiaus iššūkius, tokius kaip klimato kaita, gamtinių išteklių išsekvojimas, socialinė nelygybė ir ekonominis nestabilumas (Hermundsdottir & Aspelund, 2022).

TI pasižymi specifinėmis charakteristikomis, skiriančiomis jas nuo tradicinių inovacijų. Jos yra integruotos ir holistinės, apimančios ne tik technologinius sprendimus, bet ir organizacinius, valdymo bei socialinius aspektus. TI iš esmės skiriasi nuo tradicinių inovacijų savo tikslais, turiniu, poveikio sritimis ir diegimo principais. Tradicinės inovacijos dažniausiai yra orientuotos į pelno augimą, rinkos dalies didinimą ar technologinį pranašumą (Zighan et al., 2024). Jų pagrindinis stimulus – konkurencinis spaudimas ir ekonominis efektyvumas. Tuo tarpu TI siekia suderinti ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius (angl. *ESG*) tikslus, siekdamos prisidėti prie ilgalaikio visuomenės ir planetos gerovės (Adams et al., 2016). Tai vadinamoji „Triple Bottom Line“ logika, kuri apjungia pelną, žmones ir planetą kaip vienodai svarbius vertinimo kriterijus (Elkington, 1998) (2 lentelė).

2 lentelė. Tradicinių inovacijų ir TI palyginimas (Adams et al., 2016; Boons & Lüdeke-Freund, 2013)

Kriterijus	Tradicinės inovacijos	Tvarumo inovacijos
Pagrindinis tikslas	Padidinti pelną, efektyvumą, rinkos dalį	Spręsti ESG problemas
Vertės kūrimas	Orientuotas į akcininkus / savininkus ir vartotojus	Visoms suinteresuotosioms šalims, aplinkai ir visuomenei
Požiūris į išteklius	Naudojami tol, kol ekonomiškai apsimoka	Skatinamas išteklių žiediškumas
Poveikis aplinkai	Aplinka laikoma išoriniu veiksniu	Aplinka yra neatsiejama inovacijų dalis, minimizuojamas neigiamas poveikis
Verslo modelio principas	Linijinis	Žiedinis
Sėkmės rodikliai	Pelnas, rinkos augimas	„Triple bottom line“ (žmonės, pelnas planeta), <i>ESG</i> rezultatai

TI pagrindinis tikslas – subalansuoti tris pagrindinius tvarumo aspektus:

- aplinkosauginį – mažinti neigiamą poveikį aplinkai, tausoti gamtinius išteklius, mažinti anglies dioksido emisijas, skatinti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą ir biologinės įvairovės išsaugojimą;
- socialinį – užtikrinti sąžiningas darbo sąlygas, skatinti socialinę įtrauktį, gerinti bendruomenių gerovę, didinti skaidrumą ir atsakomybę tiekimo grandinėse;
- ekonominį – didinti verslo konkurencingumą, efektyvinti išteklių naudojimą, mažinti kaštus, skatinti inovacijų diegimą ir ilgalaikį ekonominį augimą (Sharifpour Arabi et al., 2025).

Skirtingų autorių TI apibrėžimai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Skirtingų autorių TI apibrėžimai

TI apibrėžimas	Autoriai
Tai koncepcija, integruojanti ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius aspektus kaip pagrindines inovacijų proceso temas.	Feniser et al. (2017)
I tvarumą orientuotos inovacijos apima sąmoningus organizacijos filosofijos ir vertybių, taip pat jos produktų, procesų ar praktikos pakeitimus, siekiant konkretaus tikslo – kurti ir realizuoti socialinę ir aplinkosauginę vertę, be ekonominės grąžos.	Adams et al. (2016)
Naujų produktų, procesų ir (arba) valdymo sistemų kūrimas, kurių pagrindas yra aplinkosaugos, socialiniai ir ekonominiai tikslai.	Hansen et al. (2009)
Tai nauji arba patobulinti procesai, organizacinės formos, taip pat produktai ar technologijos, kurios yra naudingos aplinkai, nes sumažina arba išvengia neigiamo poveikio aplinkai.	Klewitz & Hansen (2014)
Naujų arba patobulintų socialinių ar technologinių žinių, kurios transformuoja dabartines gamybos ir vartojimo sistemas, remdamos ilgalaikę bendruomenių ir ekosistemų gerovę, kūrimo ir sklaidos procesas.	Little et al. (2023)
Tai visos atitinkamų veikėjų priemonės, kurios kuria naujas idėjas, elgesį, produktus ir procesus, juos taiko arba pristato ir kurios prisideda prie aplinkos taršos mažinimo arba prie ekologinių požymių nustatytų tvarumo tikslų.	Rennings (2000)
TI pabrėžia organizacinius pokyčius, diegiant tvarumo praktikas, siekiant kurti aplinkai nekenksmingus produktus, vykdyti socialinius įsipareigojimus ir gauti papildomos ekonominės grąžos.	Jum’a et al. (2022)

Apibendrinant, galima matyti, kad TI apima ne tik technologinius pokyčius, bet ir sisteminius, organizacinius bei vertybinius aspektus. Vis dėlto, siekiant giliau suprasti šio koncepto praktinę reikšmę, reikėtų svarbu išnagrinėti, kaip TI yra suprantamos ir įgyvendinamos konkrečiame sektoriuje – šiuo atveju, maisto pramonėje. Maisto pramonė vaidina itin svarbų vaidmenį siekiant tvarios plėtos tikslų – ji gali padėti efektyviau tenkinti augančios pasaulio populiacijos mitybos poreikius, tausoti gamtos išteklius bei prisidėti prie vietos bendruomenių gerovės stiprinimo, tuo pačiu išlaikant konkurencinį pranašumą rinkoje. Šiame sektoriuje tvarumas glaudžiai siejasi su maisto prieinamumu, įmonių ilgalaikiu išlikimu, sveikatos ir mitybos užtikrinimu, taip pat su platesnės visuomenės ir regionų socioekonominė raida (León-Bravo et al., 2019).

2.1.2. Tvarumo inovacijų tipai

TI gali būti klasifikuojamos pagal kelis pagrindinius kriterijus, atsižvelgiant į jų taikymo sritį, pobūdį ir poveikį. Ši Klewitz'o ir Hansen'o (2014) klasifikacija leidžia geriau suprasti inovacijų įvairovę, jų funkcijas ir galimą poveikį tiek verslui, tiek visuomenei bei aplinkai. Kiekvienas inovacijų tipas atlieka svarbų vaidmenį kuriant darnią ir atsakingą verslo praktiką, mažinant neigiamą poveikį aplinkai, stiprinant socialinę atsakomybę ir užtikrinant ekonominį efektyvumą.

2.1.2.1. Produktų inovacijos

Produktų inovacijos maisto sektoriuje apima naujų arba patobulintų maisto produktų kūrimą, kurie prisideda prie tvarumo, didina maistinę vertę, mažina poveikį aplinkai ar gerina vartotojų sveikatą. Maisto tiekimo grandinėje tokios inovacijos gali pasireikšti visuose etapuose – nuo pirminės žaliavos gamybos, perdirbimo, pakavimo iki vartojimo.

Žaliavų ir ingredientų inovacijos

Vienas pagrindinių produkto TI tikslų yra mažinti poveikį aplinkai, tai gali būti įgyvendinta koreguojant gaminamo maisto sudėtį. Vienas iš būdų – naudoti alternatyvius baltymus. Gyvulininkystė itin prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų, sudarydama didelę dalį pasaulinių antropogeninių emisijų, ypač metano, kuris išsiskiria dėl gyvulinių maisto sistemų veiklos (Ning et al., 2024). Siekiant valdyti šią situaciją, daug dėmesio skiriama tvariems baltymų šaltiniams – augaliniams baltymams (žirniai, pupelės, soja), kurie naudojami kaip mėsos analogai ar pieno produktų pakaitalai, baltymams, pagamintiems iš svirplių ar kitų vabzdžių, kurie turi didelę maistinę vertę ir, tuo pačiu, mažą poveikį aplinkai, ar mikrobaltymams, išgaunamiems iš greitai augančių mikroorganizmų, tokių kaip grybai (*Beyond Meat*, n.d.; *Divaks*, n.d.; *Nature's Fynd*, n.d.). Šios inovacijos mažina gyvulinės kilmės produktų poreikį, mažina vandens ir žemės naudojimą bei išmetamą CO₂ kiekį. Siekiant sumažinti transportavimo atstumus ir priklausomybę nuo globalių tinklų, pasirenkama naudoti lokalias žaliavas, kurios taip pat sumažina emisijų kiekį (Chi Ffoleau & Dourian, 2020).

Taip pat, įgyvendinant tvarumo principus, siekiama kurti sveikatai palankesnius pakaitalus – vietoje cukraus naudojami saldikliai (stevija, polioliai), siekiant sumažinti suvartojamo natrio kiekį naudojami druskos pakaitalai (pvz., kalio chloridas) bei vis plačiau yra kalbama apie funkcinių ingredientų (prebiotikų, probiotikų, vitaminų) pritaikymą (Asioli et al., 2017). Tvarumo principus atliepia ir „švarios etiketės“ (angl. „*clean label*“) konceptas – taip vadinami produktai, savo sudėtyje turintys nedaug, tačiau natūralių bei lengvai atpažįstamų ingredientų, neturintys dirbtinių priedų ir kuriuose pateikiama skaidri informacija apie sudėtį ir kilmę. Kadangi tokie produktai gaminami iš natūralių, vietinės kilmės ir mažai apdorotų žaliavų, jie turi mažesnę anglies dioksido pėdsaką, kas atliepia aplinkosauginį TI aspektą. Socialiniu požiūriu vartotojai yra skatinami daryti informuotus sprendimus – kadangi gaminio etiketė yra aiški ir skaidri, klientai gali rinktis sveikesnę ir etiškai pagamintą alternatyvą. Ekonomiškai tokia koncepcija padeda kurti aukštesnės pridėtinės vertės produktus bei didina žaliavų tiekimo grandinės skaidrumą (Asioli et al., 2017).

Kalbant apie žaliavų tiekėjus, jų atranka vis dažniau paremta sertifikatais, kurie užtikrina tvarią ir etišką žaliavų kilmę. Dažniausiai naudojami šie žaliavų sertifikatai: *EU Organic / USDA Organic*, užtikrinantis, jog žaliavos yra augintos be sintetinių pesticidų, GMO ir laikantis ekologiško ūkininkavimo, *Fairtrade*, kuris žymi sąžiningą užmokestį augintojams ir etiškas darbo sąlygas, *Rainforest Alliance*, taikomas kakavos, kavos, arbatos ir palmių aliejaus žaliavoms, užtikrinantis socialinę ir aplinkosauginę atsakomybę (*All Ecolabels on Food | Ecolabel Index*, n.d.). Šie sertifikatai būna pažymėti ant pakuotės, neretai kartu su QR kodais ar NFC žymomis, todėl vartotojas gali realiu laiku patikrinti informaciją (4 lentelė).

4 lentelė. Produktų ingredientų TI maisto pramonės tiekimo grandinėje

Inovacijos kryptis	Pritaikytas sprendimas	Poveikis
Aplinkai draugiški ingredientai	Augaliniai pieno ir mėsos analogai (sojos, avižos, žirniai)	Mažinamas gyvūninės kilmės žaliavų poreikis, Mažesnis CO ₂ pėdsakas, vandens sąnaudos, metano emisija
Sveikatai palankesni ingredientai	Mažiau cukraus turinčios arba becukrės, mažiau druskos turinčios alternatyvos (stevija, polioliai, KCl)	Socialinis tvarumas, gerinama vartotojų sveikata
„Švarios etiketės“	Paprasta ir aiški sudėtis, nenaudojami dirbtiniai priedai	Informuojami vartotojai, propaguojamas skaidrumas ir sąmoningas vartojimas
Funkciniai ingredientai	Prebiotikai, probiotikai, skaidulos	Atliepiamos sveikatingumo tendencijos
Žaliavų ir tiekėjų sertifikavimas	<i>EU Organic / USDA Organic, Fairtrade, Rainforest Alliance</i> ir kt.	Užtikrinama skaidri ir atsakinga tiekimo grandinė, mažinamas neigiamas poveikis aplinkai, vykdoma darbuotojų apsauga bei keliamas vartotojų pasitikėjimas

Pakuočių inovacijos

Pakuotės vaidmuo maisto pramonės tiekimo grandinėje atlieka reikšmingą vaidmenį – ji ne tik apsaugo produktą ir užtikrina jo galiojimo laiką, bet ir suteikia informaciją vartotojui. Tradicinės pakuotės, kuriose naudojamas nemažas kiekis plastiko, yra patogios, pigios, puikiai apsaugo nuo drėgmės ir nepageidaujamų mikroorganizmų, tačiau taip pat daro didelį poveikį aplinkai, todėl tvarių pakavimo sprendimų poreikis darosi vis aktualesnis. Pakuočių inovacijos ne tik prisideda prie žiedinės ekonomikos vystymo, bet ir padeda didinti tiekimo grandinės skaidrumą bei atitikti reguliacinius reikalavimus (Donkor et al., 2023). Svarbu pažymėti, kad šios inovacijos dažniausiai nėra kuriamos maisto pramonės įmonių, jos yra sukurtos technologinių sprendimų kūrėjų, tačiau maisto pramonės atstovai jas pritaiko savo sektoriuje.

Viena pagrindinių pakuočių inovacijų krypčių – perėjimas nuo naftos pagrindu pagaminto plastiko prie bioskaidžių, kompostuojamų arba perdirbtų medžiagų. Polilaktinės rūgšties (PLA), polihidroksialkanoatų (PHA) ar polibutileno sukcinato (PBS) kūrimas parodė, kad produktai gali būti gaminami iš atsinaujinančių šaltinių, pavyzdžiui, kukurūzų krakmolo, cukranendrių ar žemės ūkio atliekų. Taip pat, naudojamos ir naujos medžiagos, tokios kaip dumbliai ar grybiena, kurios pasižymi ne tik geresniu skaidumu bet ir didesniu tvarumu (Donkor et al., 2023). Bioskaidžių medžiagų technologijos apima ne tik polimerų kūrimą, bet ir jų mechaninių savybių gerinimą, integruojant nanodalis ar stiprinančius komponentus, kad būtų pasiektos tradicinių plastikų charakteristikos (S. Lee, 2025). Biologiškai skaidūs plastikai vis dažniau integruojami į žiedinės ekonomikos modelius, kuriuose pabrėžiamas medžiagų pakartotinis naudojimas ir perdirbimas, siekiant sumažinti atliekas ir poveikį aplinkai. Įmonės investuoja į sistemas, kurios užtikrina, kad biologiškai skaidžius plastikus būtų galima kompostuoti arba perdirbti pasibaigus jų gyvavimo ciklui. Ši integracija atitinka platesnius aplinkosaugos tikslus ir skatina tvarų požiūrį į medžiagų naudojimą.

Pakuočių srityje TI taip pat apima pažangių pakavimo sprendimų kūrimą, integruojant skaitmenines technologijas. QR kodų, artimojo lauko komunikacijos (NFC) technologijos ir radijo dažnių identifikavimo technologijos (RFID) žymų integravimas į pakuotes leidžia vartotojams sekti produkto kelionę per tiekimo grandinę, suteikiant realaus laiko informaciją apie kilmę, gamybos sąlygas, sertifikavimą ir aplinkosauginį poveikį. Tokiu būdu įmonės gali užtikrinti skaidrumą jau pardavimo vietoje, atsakydamos į augantį vartotojų poreikį etiškai ir tvariai gaminamiems produktams. Pavyzdžiui, naudodamos perdirbtas medžiagas, įmonės gali per QR kodus pateikti

duomenis apie šių medžiagų kilmę, perdirbimo procesą ar jų procentą galutiniam produkte (Meyers, n.d.). Tokie sprendimai ne tik didina skaidrumą, ugdo vartotojų sąmoningumą, bet ir atliepia įmonių ESG įsipareigojimus.

Dar vienas pakuočių inovacijų pavyzdys – funkcinės pakuotės. Jų paskirtis yra ne tik fiziškai apsaugoti produktą, bet ir aktyviai daryti poveikį produkto kokybei. Pavyzdžiui, antimikrobinės pakuotės, savo sudėtyje turinčios sidabro jonų, eterinių aliejų ar fermentų, slopina mikroorganizmų dauginimąsi, todėl yra prailginamas produktų galiojimo terminas. Toks sprendimas yra aktualus greitai gendančių produktų asortimentui. Taip pat, gali būti naudojamos reaktyvios arba indikacinės pakuotės, kurios reaguoja į įvairius išorės veiksnius, pvz., staigų temperatūros pokytį, galiojimo laiką, mikrobiologinę taršą. Užfiksavus išorės veiksnį pakuotė pakeičia savo spalvą arba struktūrą taip įspėjant vartotoją apie produkto saugos pokytį. Dažniausiai naudojami šviežumo arba laiko-temperatūros indikatoriai (Donkor et al., 2023). Toks sprendimas palengvina tiekimo grandinės stebėseną bei prisideda prie vartotojų sveikatos apsaugos ir maisto švaistymo mažinimo (5 lentelė).

5 lentelė. Pakuočių TI maisto pramonės tiekimo grandinėje

Inovacijos kryptis	Pritaikytas sprendimas	Poveikis
Bioskaidžios medžiagos	PLA, PHA, PBS plastikai, grybiena, dumbliai, žemės ūkio atliekos	Mažinamas netvaraus plastiko naudojimas, propaguojama žiedinė ekonomika
Skaitmeninės pakuotės	QR kodai, NFC, RFID žymos	Didinamas skaidrumas, galima realiu laiku patikrinti informaciją apie produktų kilmę
Funkcinės pakuotės	Antimikrobinų medžiagų panaudojimas, laiko ir temperatūros, šviežumo indikatoriai	Mažinamas maisto švaistymas, vykdoma vartotojų sveikatos apsauga

2.1.2.2. Procesų inovacijos

Procesų inovacijos yra susijusios su pačia maisto pramonės tiekimo grandine – gamybos, logistikos ar kitų verslo procesų tobulinimu, siekiant sumažinti energijos ir žaliavų sąnaudas, atliekų kiekį bei taršą. Šios inovacijos dažnai yra technologinio pobūdžio, tačiau atliepia ir aplinkosauginius, ekonominius ir socialinius įmonių tikslus (Cheng et al., 2023). Maisto pramonės tiekimo grandinė (žr.1 pav.) apima visą kelią nuo pirminių žaliavų iki pat vartotojo stalo, joje vyksta daug tarpusavyje susijusių procesų, todėl kiekviena jos grandis gali tapti potencialia procesų inovacijų taikymo vieta, siekiant didesnio efektyvumo, tvarumo ir pridėtinės vertės.



1 pav. Maisto pramonės tiekimo grandinė (sudaryta autorės)

Lean gamybos praktika

Efektyvios gamybos praktikos kilo iš „Toyota“ gamybos sistemos, kuri buvo sukurta siekiant didinti produktyvumą gamyboje. Jos esmė – maksimalus efektyvumas ir atliekų šalinimas, pasitelkiant tiek technologinius, tiek organizacinius sprendimus. Mokslinėje literatūroje identifikuojami pagrindiniai efektyvios gamybos elementai dažniausiai apima tris praktikas (Jum’a et al., 2022):

1. *just in time* (JIT) srautas – metodų rinkinys, leidžiantis tiksliai valdyti žaliavų ir produktų judėjimą gamybos procese, kad būtų išvengta perprodukcijos ir perteklinių atsargų;
2. kokybės valdymas – apimantis nuoseklias priemones, padedančias užtikrinti gaminamų produktų bei įrangos kokybę;
3. darbuotojų įsitraukimas – skatina aktyvų darbuotojų dalyvavimą sprendžiant problemas, mokantis ir dirbant komandose.

Taikant *Lean* gamybos praktiką yra reikšmingai prisidedama prie tvarumo tikslų: mažinamos žaliavų, energijos, atliekų ir vandens sąnaudos, gerinami ESG rodikliai, matoma sąsaja tarp *Lean* ir „*Triple bottom line*“ principų. Taip pat, *Lean* metodika didina efektyvumą bei pelningumą, kas savo ruožtu stiprina ekonominį tvarumą. Nors tyrimų nedaug, manoma, kad *Lean* gali būti TI katalizatorius (Jum’a et al., 2022).

Skaitmenizacija ir I4.0 technologijos

Procesų inovacijos taip pat apima ir pažangių skaitmeninių technologijų integravimą. Skaitmenizacija yra vienas esminių procesų inovacijų variklių ketvirtojoje pramonės revoliucijoje, kuri keičia maisto tiekimo grandinės valdymą tvarumo link. Moksliniai tyrimai rodo, kad I4.0 technologijų panaudojimas prisideda prie žiedinės ekonomikos vystymo – blokų grandinės (angl. *blockchain*) ir *IoT* padeda didinti produktų atsekamumą ir gerinti procesų valdymą, o didieji duomenys (angl. *Big Data*), DI ir automatizuotos sekimo sistemos mažina energijos suvartojimą ir atliekų susidarymą tiekimo grandinėje. Be to, skaitmeniniai sprendimai padeda mažinti maisto falsifikavimo rizikas, kas lemia didesnę vartotojų pasitikėjimą produktu ir tvaria veikla. Apskritai, pritaikant skaitmenizacijos įrankius maisto pramonės tiekimo grandinėje, sukurama pridėtinė vertė tiek verslui, optimizuojant

kaštus ir padidinant našumą, tiek aplinkai, sumažinant perteklinį švaistymą ir emisijas, tiek vartotojui, gerinant maisto kokybės ir saugos rodiklius (Quiroz-Flores et al., 2024).

Žiedinės ekonomikos principai

Žiedinė ekonomika – tai sistema, kurios tikslas yra užtikrinti išteklių efektyvumą, mažinti atliekas ir maksimaliai panaudoti proceso metu susidariusius šalutinius produktus perdirbimui ar naujiems gaminiams sukurti. Maisto tiekimo grandinėje šie principai padeda sumažinti poveikį aplinkai, tuo pačiu kuriant ekonominę vertę (Hamam et al., 2021).

Pagrindiniai žiedinės ekonomikos aspektai:

- uždaras žaliavų ciklas;
- ilgesnis produktų gyvavimo laikas;
- išteklių vartojimo mažinimas;
- regeneracija.

Maisto pramonėje žiedinė ekonomika pasireiškia antriniu žaliavų panaudojimu, pavyzdžiui, maisto gamybos likučiai gali būti perdirbami į naujus produktus, tokius kaip skaidulos, pašarai, baltymai. Taip pat, bioskaidžios, daugkartinės pakuotės gali būti grąžinamos, kompostuojamos ir naudojamos pakartotinai, kas mažina atliekų kiekį. Pieno pramonėje vykdoma anaerobinė fermentacija, galinti bioatliekas paversti į biometaną, naudojamą energijai arba šildymui (Hamam et al., 2021).

Energijos ir vandens vartojimo optimizavimas

Vienas iš tvarumo aspektų maisto pramonėje yra efektyvus išteklių, ypač energijos ir vandens, naudojimas visoje tiekimo grandinėje. Dėl aukšto energijos ir vandens suvartojimo gamybos, perdirbimo ir valymo procesuose, šios sritys yra prioritetinės diegiant proceso inovacijas, kurios padeda ne tik sumažinti aplinkos poveikį, bet ir padidinti operacinį efektyvumą bei sumažinti sąnaudas.

Energijos vartojimo efektyvumas apima įvairias priemones – nuo energiją taupančių technologijų diegimo iki atsinaujinančių šaltinių integracijos. Pavyzdžiui, šilumos regeneravimo sistemos leidžia pernaudoti proceso metu susidariusią šilumą kitiems technologiniams etapams. Toks sprendimas pastebimas duonos ir konditerijos pramonėje, kur kepimo metu išmetami garai ar karštas oras yra perdirbami ir grąžinami į gamybos procesą (Rabbi & Amin, 2024). Taip pat, naudojami energiją taupantys prietaisai, išmaniosios apšvietimo sistemos, atliekamas energetinis monitoringas. Tai savo ruožtu mažina energijos suvartojimą, anglies dioksido pėdsaką, pastebimas efektyvesnis procesų valdymas ir sumažėjusios gamybos sąnaudos (6 lentelė).

Vandens vartojimo efektyvumas taip pat yra svarbi inovacijų sritis. Maisto pramonė pasižymi dideliu vandens poreikiu – ypač mėsos, pieno, vaisių ir daržovių perdirbimo srityse. Daugiausiai vandens, apie 70 %, yra sunaudojama įrenginių priežiūrai ir plovimui. Proceso inovacijos, tokios kaip vandens recirkuliacija, „valymas vietoje“ (angl. *CIP*) technologijos, membranų filtravimo sistemos (pvz., atvirkštinis osmosas) leidžia ženkliai sumažinti vandens sąnaudas ir kartu sumažinti nuotekų kiekį (IChemE, n.d.).

6 lentelė. Procesų TI maisto pramonės tiekimo grandinėje

Inovacijos kryptis	Pritaikytas sprendimas	Poveikis
<i>Lean</i> gamyba	<i>Junt-in-time</i> , kokybės valdymas, darbuotojų įsitraukimas	Mažinamos atliekos, didinamas efektyvumas ir gerinami TBL rodikliai
Skaitmenizacija ir technologijos	<i>IoT</i> , blokų grandinė, didieji duomenys, DI, automatizuotos sistemos	Didinamas atsekamumas, mažinamas energijos ir išteklių vartojimas, falsifikavimo rizika
Žiedinės ekonomikos principai	Šalutinių produktų perdirbimas, daugkartinis panaudojimas	Mažinamas atliekų kiekis, maksimalus išteklių panaudojimas
Energijos ir vandens optimizavimo sistemos	Šilumos regeneracija, <i>CIP</i> , vandens recirkuliacija	Mažinamos gamybinės sąnaudos, anglies dioksido pėdsakas, optimizuojami gamybos kaštai

2.1.2.3. Organizacinės inovacijos

Organizacinės inovacijos apima naujų valdymo praktikų, verslo modelių ar bendradarbiavimo formų diegimą, kurie skatina tvarumą. Šios inovacijos orientuotos į įmonių struktūrų, procesų ir kultūros pokyčius, kurie leidžia efektyviau integruoti tvarumo principus (Van Oppen & Brugman, n.d.).

Darbuotojų sauga ir įtraukimas

Darbuotojų sauga, sveikata ir įtrauktis yra neatsiejama organizacinio tvarumo dalis. Maisto pramonėje darbo aplinka gali būti pakankamai intensyvi, drėgna, temperatūriškai nepalanki, reikalauja nemažai fizinio darbo ir darbo su pavojingomis medžiagomis, todėl svarbu užtikrinti, kad darbo vietos būtų saugios, o darbuotojai motyvuoti ir tinkamai informuoti apie galimas rizikas. Organizacinės inovacijos šioje srityje apima (S. H. N. Lee & Ha-Brookshire, 2018):

- fizinės saugos gerinimą: diegiamos ergonomiškos darbo vietos, mažinami rizikos veiksniai, reguliariai atnaujinamos higienos, dezinfekcijos ir ventiliacijos sistemos;
- psichologinės sveikatos stiprinimą: diegiamos programos, skirtos darbuotojų emocinei gerovei, darbo ir asmeninio gyvenimo balansui kurti, stresui valdyti. Investuojama į mokymus, kokybišką vidinę komunikaciją, mentorystę;
- darbuotojų įtrauktį į sprendimų priėmimą: pagal šią koncepciją, darbuotojai turėtų būti ne tik užduočių vykdytojai, bet ir procesų tobulinimo dalyviai, teikiantys pasiūlymus ir besimokantys praktiškai;
- nuolatinį mokymą: organizuojami mokymai apie tvarumo principus, maisto saugą, efektyvų darbo organizavimą.

Mokslinėje literatūroje pastebima, kad tvari organizacija investuoja į darbuotojus kaip į ilgalaikį turtą, skatindama jų įsitraukimą, užtikrindama orias darbo sąlygas ir saugią bei motyvuojančią aplinką. Tokia praktika ne tik didina darbuotojų pasitenkinimą, lojalumą ir produktyvumą, bet ir sulėtina darbuotojų kaitą, nelaimingų atsitikimų darbovietėje skaičių bei padeda įgyvendinti ESG strategiją (S. H. N. Lee & Ha-Brookshire, 2018).

Integruotos vadybos sistemos

Norėdamos įgyvendinti tvarumo principus ne tik gamybos ar produkto lygmenyje, bet ir visos organizacijos mastu, maisto pramonės įmonės vis dažniau diegia tarptautinius vadybos standartus, tokius kaip ISO 9001, ISO 14001 ir SA8000. Šiuolaikinės maisto pramonės įmonės veikia sudėtingose, globaliose tiekimo grandinėse, kuriose būtina užtikrinti ne tik produktų kokybę ir saugą, bet ir atitikti aplinkosauginius bei socialinius reikalavimus. Šie standartai keičia įmonių veiklos

valdymą, skatina atsakingą praktiką bei padeda sistemingai integruoti socialinius, aplinkosauginius ir ekonominius tikslus į kasdienes sprendimus.

ISO 9001 apima kokybės vadybos principus ir padeda užtikrinti aukštą produktų bei paslaugų kokybę, procesų nuoseklumą ir klientų pasitenkinimą. Tai ypač svarbu maisto sektoriuje, kur gaminių kokybė ir sauga yra kritiškai svarbios vartotojų pasitikėjimui ir rinkos konkurencingumui. ISO 9001 sertifikavimas yra laikomas pradiniu ir esminiu žingsniu, patvirtinančiu, kad organizacija siekia nuolatinio procesų tobulinimo. Šis sertifikatas siejamas su tvarumo gerinimu ir nuolatinio mokymosi praktika visos organizacijos mastu (Ikram et al., 2020).

ISO 14001 orientuotas į aplinkosaugos vadybos sistemą. Jis įpareigoja įmones mažinti poveikį aplinkai – efektyviai naudoti energiją, valdyti atliekas, kontroliuoti emisijas ir siekti nuolatinio aplinkosauginių rodiklių gerinimo. Toks sisteminis požiūris prisideda prie žiedinės ekonomikos ir anglies pėdsako mažinimo tikslų bei suteikia skaidrumo įvairioms suinteresuotoms šalims, tokioms kaip valdžios institucijos, investuotojai ir gyventojai. Mokslinių šaltinių duomenimis, ISO 14001 diegimas yra susijęs su geresniais aplinkosauginiais rodikliais bei stipresne įmonės reputacija (Delmas & Toffel, 2008).

SA8000 – tai vienas pagrindinių standartų, orientuotų į socialinę atsakomybę. Jis apima darbuotojų teisių apsaugą, darbo sąlygų užtikrinimą, vaikų darbo draudimą, teisingą darbo užmokestį ir laisvę burtis į profsąjungas. Šio standarto taikymas ypač svarbus globaliose tiekimo grandinėse, kai žaliavos dažnai perkamos iš besivystančių šalių, kur darbo sąlygų kontrolė yra ribota (*SA8000® Standard - SAI*, n.d.).

Maisto saugos vadybos sistemos

Maisto saugos vadybos sistemos yra esminė maisto pramonės dalis, padedanti užtikrinti, kad galutinis produktas būtų saugus vartotojui visais tiekimo grandinės etapais – nuo žaliavų iki pateikimo vartotojui. Jos taip pat laikomos organizacinėmis inovacijomis, nes keičia įmonės veiklos valdymo specifiką, įtvirtina prevencines praktikas. Viena plačiausiai taikomų sistemų – ISO 22000, tarptautinis standartas, apimantis tiek RVASVT (rizikos veiksnių analizės ir svarbių valdymo taškų) principus, tiek bendrus vadybos sistemos elementus. ISO 22000 leidžia įmonėms sistemingai identifikuoti, įvertinti ir kontroliuoti galimas rizikas, susijusias su maisto sauga bei užtikrinti nuolatinį procesų tobulinimą (Luning & Marcelis, 2020). Taip pat, verta paminėti ir GGP (geros gamybos praktikos) sistemą – tai yra bazinis reikalavimų rinkinys, kuriuo grindžiama visa maisto saugos vadyba. GGP užtikrina, kad maistas būtų gaminamas, apdorojamas ir laikomas laikantis higienos, technologinių ir personalo valdymo taisyklių (Luning & Marcelis, 2020). GGP atliepia tvarumo tikslus, padedant išvengti gamybinio broko, atliekų ir sumažinant klaidų riziką, dėl ko yra taupomi ištekliai.

Globaliai veikiančioms įmonėms, kurios reikia atitikti ne tik nacionalinius, bet ir tarptautinius reikalavimus, didžiųjų mažmeninės prekybos tinklų kokybės ir saugos kriterijus, papildomai taikoma ir kompleksinė maisto saugos vadybos sistema FSSC 22000, grindžiama ISO 22000 standartu, bet papildyta privalomaisiais reikalavimais. Šie papildomi reikalavimai apima konkrečias higienos, sanitarijos, infrastruktūros, personalo ir procesų kontrolės priemones, reikalingas pramoninei maisto gamybai. FSSC 22000 išsiskiria tuo, kad atitinka GFSI (angl. *Global Food Safety Initiative*) pripažinimo kriterijus, todėl yra plačiai pripažįstamas tarptautinėje maisto tiekimo grandinėje. FSSC

22000 ne tik užtikrina aukštą produktų saugos lygį, bet ir padeda mažinti tiekimo rizikas, didina klientų pasitikėjimą bei atveria galimybes eksportui (Karaman et al., 2012).

Kalbant apie maisto saugos vadybos sistemas, svarbu nepamiršti ir kito esminio tvarumo aspekto – sertifikavimo sistemų, kurios užtikrina produktų ir jų ingredientų kokybę, saugą ir kilmės skaidrumą. Šiuolaikinėje maisto pramonėje pripažįstami sertifikatai leidžia įmonėms eksportuoti savo produkciją ir dalyvauti globalioje tiekimo grandinėje. Vienas iš jų – BRCGS (angl. *British Retail Consortium Global Standard*), užtikrinantis maisto saugą, kokybę ir teisinę atitiktį. Neturint šio standarto eksportas į Jungtinę Karalystę, Airiją, Kanadą ar kitas Vakarų Europos rinkas yra neįmanomas (Safe Food Alliance, n.d.). Kitas pavyzdys yra IFS (angl. *International Featured Standards*) standartas, kuris yra ypač svarbus tiekėjų vertinimui ir privalomas dirbant su Vokietijos, Prancūzijos ar Italijos rinkomis (International Featured Standards, n.d.).

Tvarumo integracija į strateginį valdymą

Tvarumas organizacijos lygmeniu vis dažniau tampa strateginiu prioritetu. Įmonės atitinkamai peržiūri savo vizijas, misijas, vertybes ir tikslus, juos papildydamos tvarumo principais. Taip pat, formuluojami ir strateginiai tikslai, apimantys aplinkosauginius ir socialinius aspektus, į veiklos valdymą integruojami ESG kriterijai – pradedant tiekimo grandinės sprendimais, baigiant investicijų planavimu ar naujų produktų kūrimu. Tvarumo rodikliai tampa svarbia įmonės rezultatų analizės dalimi. Tokie pokyčiai skatina kurti ilgalaikę vertę ir didina atsparumą įvairiems išorės veiksniams. Tiek mokslinėje literatūroje, tiek verslo praktikoje pabrėžiama, kad strateginis tvarumo integravimas didina įmonių konkurencinį pranašumą, stiprina santykius su vartotojais ir investuotojais bei gerina reputaciją (Eccles & Klimenko, 2019).

Mokslas taip pat akcentuoja šio reiškinio svarbą. Porter'is ir Kramer'is (2006) iškėlė „dalijamos vertės kūrimo“ (angl. *Creating Shared Value*) koncepciją, kuri pabrėžia, kad verslas turi ne tik generuoti pelną, bet ir spręsti socialines bei aplinkos problemas.

Organizacinė kultūra ir lyderystė

TI gali būti sėkmingai diegiamos tik tuomet, kai įmonėje egzistuoja tvarią plėtrą palaikanti organizacinė kultūra. Organizacinė kultūra formuoja darbuotojų elgesį, vertybes ir nusiteikimą pokyčiams, todėl ji tampa esminiu veiksmu įgyvendinant aplinkosaugos ir socialinės atsakomybės strategijas. Tvarumo principus integruojanti kultūra dažniausiai pasižymi šiomis savybėmis: darbuotojų įtraukimu, skaidria komunikacija, bendru sprendimų priėmimu, orientacija į ilgalaikius tikslus bei atvirumu mokymuisi ir klaidų pripažinimui. Tokią kultūrą palaiko ir formuoja žalioji lyderystė (angl. *green leadership*), kuri suprantama kaip gebėjimas įkvėpti, įgalinti ir nukreipti organizacijos narius tvarumo tikslų link. Tai lyderiai, kurie ne tik vadovaujasi klasikinėmis valdymo funkcijomis, bet ir aktyviai skatina ekologiškai atsakingą elgseną, diegia tvarumo vertybes bei remia inovatyvių sprendimų paiešką (Robertson & Barling, 2013).

Tinklų ir partnerystės valdymas

TI diegimas nebūtinai priklauso nuo pačios organizacijos vidinių sprendimų, tai lemia ir jos gebėjimas bendradarbiauti su išorės partneriais. Tinklų ir partnerystės valdymas tampa strategine organizacine inovacija, kuri leidžia pasiekti sinergiją ir kurti sprendimus, naudingesnius nei pavieniai veiksmai (Harrison et al., 2023). Tokia bendradarbiavimo nauda ypač pastebima maisto tiekimo grandinėje, kur sprendimų koordinacija tarp suinteresuotųjų šalių yra neišvengiama. Per tvarumo partnerystes galima spręsti bendras problemas, tokias kaip maisto švaistymas, emisijų mažinimas ir

pan. Vienas iš galimų tokio bendradaravimo modelių – trigubos spiralės modelis (angl. *Triple Helix*), kuris apima verslo, mokslo ir valdžios institucijų bendrą siekį inovuotis (Zadegan et al., 2025). Kitas pavyzdys galėtų būti įtraukiantis inovacijų kūrimo modelis (angl. *open innovation*), kai įmonės atveria savo procesus išorei – startuoliams, universitetams ar socialiniams partneriams (Chesbrough, 2003) (7 lentelė).

7 lentelė. Organizacinės TI maisto pramonės tiekimo grandinėje

Inovacijos kryptis	Pritaikytas sprendimas	Poveikis
Darbuotojų sauga ir įtraukimas	Ergonomiškos darbo vietos, psichologinės gerovės programos, mokymai ir darbuotojų įtraukimas	Sumažėja nelaimingų atsitikimų, padidėja darbuotojų lojalumas, efektyvumas, tvari darbo kultūra
Integruotos vadybos sistemos	ISO 9001, ISO 14001, SA8000 standartų diegimas	Pagerėja kokybės, socialinės ir aplinkosauginės veiklos valdymas bei įmonės reputacija
Maisto saugos vadybos sistemos	ISO 22000, BRCGS, IFS, GGP sistemų taikymas	Užtikrinama maisto sauga, produktų atsekamumas, sudaromos sąlygos eksportui
Tvarumo integracija į strateginį valdymą	ESG kriterijų įtraukimas į įmonės viziją, misiją, tikslus	Sustiprinamas tvarumo prioritetasis, didinamas atsparumas pokyčiams
Organizacinė kultūra ir lyderystė	Žalioji lyderystė, vertybių komunikacija	Stiprinama organizacinė atsakomybė ir bendruomeniškumas
Tinklų ir partnerystės valdymas	Triple Helix, atvirų inovacijų modeliai	Kuriami pažangesni sprendimai, didinamas TI efektyvumas ir poveikio mastas

2.1.3. Tvarumo inovacijų diegimas tiekimo grandinėje ir tvarumo veiklos rodikliai

Siekiant įvertinti TI diegimą maisto pramonės tiekimo grandinėje, būtina analizuoti aplinkosauginius, socialinius ir ekonominius rodiklius, kurie gali būti įvertinami kiekybiškai (angl. *KPI*). Šie rodikliai padeda stebėti inovacijų diegimo pažangą, įvertinti veiklos poveikį bei nustatyti tolesnes inovacijų kryptis. Žemiau pateikiama, apžvelgianti pagrindinius tvarumo aspektus, jų praktinį taikymą maisto pramonėje, įgyvendinimo vietą tiekimo grandinėje ir rodiklio išraišką (8 lentelė).

8 lentelė. TI diegimas maisto pramonės tiekimo grandinėje (pritaikyta iš Tolentino-Zondervan & DiVito (2024), adaptuota autorės)

Tvarumo aspektas	Konkrečios indikacijos maisto pramonėje	Įgyvendinimo vieta tiekimo grandinėje	Rodiklio išraiška
<i>Aplinkosauginiai veiksniai</i>			
Anglies pėdsakas	ŠESD emisijų mažinimas, atsinaujinanti energija	Žaliavų tiekimas, gamyba, logistika	CO ₂ kg/produkto, % atsinaujinančios energijos visoje energijos sąnaudų struktūroje
Vandens naudojimas	Perdirbimas, efektyvūs drėkinimo sprendimai	Gamyba, perdirbimas	m ³ vandens/produkto
Agrocheminių medžiagų mažinimas	Ekologiška žemdirbystė, biologinės trąšos	Pirminė gamyba	% ekologiškų žaliavų
Energijos efektyvumas	Procesų optimizavimas, automatizacija	Gamyba, sandėliavimas, logistika	kWh/produkto
Maisto atliekos	Šalutinių produktų perdirbimas, aukojimas	Gamyba, paskirstymas, mažmena	% atliekų sumažinimas, % perdirbtų šalutinių produktų
Tvari pakuotė	Kompostuojamų, perdirbamų medžiagų panaudojimas	Pakavimas	% tvarių pakuočių
<i>Socialiniai veiksniai</i>			
Atsakinga žaliavų kilmė	Partnerystės su mažais ir vidutiniais ūkiais, sertifikuoti tiekėjai	Žaliavų tiekimas	% sertifikuotų tiekėjų

Darbuotojų sveikata ir sauga	Darbo saugos normų laikymasis (ISO 45001, HACCP), fizinės ir psichologinės gerovės programos, sveikatos patikrinimai	Visa tiekimo grandinė	Darbo nelaimių skaičius per metus, darbuotojų pasitenkinimo indeksas
Darbuotojų kvalifikacijos kėlimas	Mokymai apie maisto saugą, tvarumo mokymai, skaitmeninių kompetencijų ugdymas	Visa tiekimo grandinė	Vidutinis mokymų valandų skaičius/žmogui per metus, % darbuotojų, dalyvavusių kvalifikacijos kėlimo programose per metus
Sąžiningas darbo užmokestis ir darbo sąlygos	Skaidrios darbo sąlygos, sąžiningas atlygis viršvalandžiams, diskriminacijos prevencija	Visa tiekimo grandinė	Vidutinis atlyginimas/val., darbuotojų apklausos rezultatai
Lyčių lygybė ir įtrauktis	Moterų įtraukimas į visus hierarchijos lygius, vadovavimo įvairovė, vienodos galimybės	Visa tiekimo grandinė	Moterų dalis vadovaujančiose pareigose (%), lyčių atlyginimų skirtumo indeksas
<i>Ekonominiai veiksniai</i>			
Produkto gyvavimo ciklo optimizavimas	Maisto atliekų kiekio sumažinimas, galiojimo laiko prailginimas, perdirbimas	Gamyba, logistika, mažmeninė prekyba	Maisto atliekų kiekis (kg/vnt.), galiojimo laiko vidurkis, perdirbamų komponentų dalis (%)
Veiklos efektyvumo stebėseną ir KPI	Tvarumo KPI įtraukimas į ataskaitas, ekonominių ir ESG rodiklių monitoringas	Visa tiekimo grandinė	% tvarumo KPI integruotų į bendrą veiklos ataskaitą, % priimtų sprendimų, pagrįstų ESG analize
Inovacijų investicijos	Lėšos, skiriamos TI vystymui	Gamyba, R&D, logistika	% bendrų investicijų skirta TI, inovacijų ROI
Investicijų pritraukimas	Gautos tvarios investicijos, dalyvavimas žaliųjų projektų finansavime	Visa tiekimo grandinė	Tvarių investicijų suma, ESG reitingo pozicija, gautų paramos projektų skaičius

Apibendrinant galima teigti, kad tvarumo KPI maisto tiekimo grandinėje apima tiek aplinkosauginius, tiek socialinius ir ekonominius aspektus, kurie tarpusavyje yra glaudžiai susiję ir vienas kitą papildo. Kiekvienas tiekimo grandinės etapas gali būti vertinamas pagal specifinius rodiklius, atskleidžiančius tvarumo pažangą ar trūkumus. Tinkamai parinkti ir įgyvendinami rodikliai ne tik padeda objektyviai vertinti įmonės veiklą, bet ir sudaro prielaidas geresniam sprendimų priėmimui, ESG strategijos formavimui bei suinteresuotųjų šalių pasitikėjimui stiprinti.

2.1.4. Tvarumo inovacijų taikymo praktikų maisto pramonės tiekimo grandinėse prielaidos, pasekmės ir poveikiai tvariems rezultatams

Maisto pramonės tiekimo grandinės yra sudėtingos ir daugiasluoksnės, todėl TI diegimas šioje srityje reikalauja išsamios analizės ne tik apie taikymo galimybes, bet ir apie sąlygas, kurios lemia jų sėkmę bei poveikį tvariems rezultatams. Šiame skyriuje aptariamos pagrindinės prielaidos, pasekmės ir efektyvumo veiksniai, apimantys visus „*Triple bottom line*“ komponentus, ir kurie daro įtaką TI integracijai tiekimo grandinėse.

2.1.4.1. Prielaidos tvarumo inovacijoms

Siekiant efektyviai diegti TI maisto pramonės tiekimo grandinėse, būtina identifikuoti ir suprasti tiek vidines, tiek išorines prielaidas, kurios lemia šių inovacijų sėkmę. Vidinės prielaidos apima

organizacijos kultūrą bei vidinius išteklius, tuo tarpu išorinės susijusios su rinkos aplinka, reguliavimo politika ir vartotojų lūkesčiais.

Vidinės organizacinės prielaidos

Įmonės kultūra ir vadovybės įsipareigojimas yra kertiniai, diegiant TI – tyrimai rodo, kad kūrybiška ir grupinė organizacinės kultūros dalys skatina aukštesnį tvarumo tikslų įgyvendinimo lygį. Tuo pačiu stipri vadovų lyderystė ir tvarumo vertybių integravimas į visus sprendimus yra būtini sėkmingam inovacijų įgyvendinimui (Alamandi, 2025). Kitaip tariant, be pažangios organizacinės kultūros ir vadovybės įsipareigojimo tvarumui, inovatyvūs sprendimai gali likti neįgyvendinti.

Dinaminiai gebėjimai nusako organizacijos lankstumą bei gebėjimą keisti savo esmines kompetencijas ir vidinę struktūrą reaguojant į greitus aplinkos pokyčius. Ši sąvoka tampa ypač aktuali šiandieninėje ekonominėje situacijoje, kai įmonių darbuotojai turi operatyviai prisitaikyti prie perėjimo prie tvarumo ir gebėti suderinti ekonominius interesus su socialiniais bei aplinkos tikslais. Tokiu būdu dinaminiai gebėjimai tampa itin reikšmingi organizacijoms, siekiančioms kurti ir taikyti tvarią veiklą (Gonera et al., 2023).

Organizacinis gebėjimas keistis ir prisitaikyti leidžia sklandžiai įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus, integruoti ESG rodiklius į veiklos valdyseną, reaguoti į rinkos ir reguliacinius pokyčius. Neturint šio gebėjimo, net ir turinti kitų išteklių, TI gali likti fragmentuotos ar daugiau formalaus pobūdžio.

Institucinis reguliavimas

Institucinė ir reguliacinė aplinka yra viena svarbiausių išorinių TI taikymo prielaidų. ES tai yra itin aktualu dėl vis didėjančių reikalavimų verslui ESG srityse, be to, institucinė ir reguliacinė aplinka maisto pramonėje veikia kaip sistema, kuri ne tik nustato ribas, bet ir nukreipia įmonės tvarumo link. Tinkamai suformuotos politikos kuria sąlygas inovacijoms, skatina investicijas ir mažina neapibrėžtumą..

Pagrindiniai ES politikos dokumentai, darantys įtaką TI įgyvendinimui:

- **Europos žaliasis kursas**, kuriuo siekiama, kad ES iki 2050 m. taptų klimatui neutraliu regionu. Ši programa įpareigoja įmones mažinti išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, pereiti prie atsinaujinančios energijos, taikyti žiedinės ekonomikos principus ir skaidrinti tiekimo grandines (European Commission, n.d.-e).
- **ES tvarios veiklos taksonomija** – dokumentas, apibrėžiantis kokia ekonominė veikla yra laikoma tvaria. Tai savo ruožtu leidžia įmonėms ir investuotojams vienodai vertinti tvarumo rodiklius (European Commission, n.d.-b). Maisto pramonės įmonėms tai yra ypač svarbu, kadangi atitiktis rodikliams suteikia sąlygas gauti žaliąsias investicijas ar ES finansavimą.
- **Įmonių tvarumo ataskaitų teikimo direktyva** (angl. *CSRD*), įpareigojanti dideles ir vidutines įmones nuo 2024 m. teikti ESG ataskaitas, kurios grindžiamos Europos tvarumo atskaitomybės standartais (angl. *ESRS*) (European Commission, n.d.-b). Direktyvos įsigaliojimas iš esmės keičia tvarumo atskaitomybės praktiką iš savanoriškos į privalomą.
- **ES įmonių tvarumo patikros direktyva** (angl. *CSDDD*), įpareigojanti dideles ES įmones įvertinti, valdyti, nutraukti ir pašalinti arba visiškai nutraukti neigiamą poveikį žmogaus

teisėms ir aplinkai jų vykdomoje veikloje. Ši direktyva žymi esminį pokytį – pereinama nuo savanoriškos socialinės atsakomybės link teisinio įpareigojimo veikti atsakingai visoje tiekimo grandinėje (Official Journal of the European Union, 2024).

Rinkos spaudimas ir vartotojų lūkesčiai

Šiuolaikinė maisto pramonė veikia itin konkurencingoje ir dinamiškoje rinkos aplinkoje, kur vartotojų lūkesčiai dėl tvarumo tampa vis reikšmingesniu veiksnium, lemiančiu tam tikrus verslo sprendimus. Vartotojai vis dažniau reikalauja, kad produktai būtų ne tik kokybiški ir saugūs, bet ir etiškai pagaminti, aplinkai draugiški bei socialiai atsakingi (Grunert et al., 2014).

Mokslinė literatūra rodo, kad vartotojai yra susipažinę su klimato kaita, socialine nelygybe ir tiekimo grandinės ypatumais. Tai ypač atsispindi pirkimo sprendimuose, kai dažniau pasirenkami ekologiški, „fair trade“ pažymėti ar vietiniai produktai. Tyrimais patvirtinta, kad vartotojų pasitikėjimas *eco-label* ženklais, tokiems kaip anglies pėdsako (CF) sertifikatai, tiesiogiai lemia vartotojų norą pirkti ekologiškai gaminamus produktus. Pavyzdžiui, alyvuogių aliejaus gamintojams taikomi CF sertifikatai buvo susieti su aukštesniais pirkimo ketinimų rodikliais rinkose, kuriose galima patikrinti sumažintas emisijas (Paffarini et al., 2025). Taip pat, atlikti tyrimai patvirtina, kad tiek maisto produktų, tiek pakuotės *eco-label* ženklinimas gali padidinti vartotojų suvokiamą produkto kokybę ir saugumą. Jei ženklinimą lydi aiškus ekologinis paaiškinimas, vartotojai jaučiasi atsakingai pasirinkę tvarų produktą, o tai tik sustiprina motyvaciją pirkti (Donato & D’Aniello, 2022).

Spaudimą pramonės įmonėms daro ne tik galutiniai, bet ir verslas–verslui (angl. *B2B*) klientai, ypač didieji mažmeninės prekybos tinklai. Maisto pramonės įmonių gali būti prašoma pateikti dokumentuotas ESG strategijas ar trečiųjų šalių sertifikavimą. Neretu atveju, tiekimo sutartys sudaromos tik su tomis įmonėmis, kurios gali įrodyti savo tvarumo standartų laikymąsi, todėl tai tampa verslo išlikimo sąlyga tiek vietinėse, tiek tarptautinėse rinkose ir paskata vykdyti TI (Wiese et al., 2012).

Tyrimai taip pat atskleidžia, kad įmonės, aktyviai diegiančios TI, gali įgyti konkurencinį pranašumą, nes tampa patrauklesnės investuotojams. Pastaruoju metu, investuotojai vis dažniau teikia pirmenybę ESG veiksniams, priimdami investicinius sprendimus. Įmonės, kurios demonstruoja tvirtus įsipareigojimus tvarumo srityje, pritraukia kapitalą per tokius mechanizmus kaip žaliosios obligacijos, su tvarumu susijusios paskolos ir į ESG orientuoti investiciniai fondai (Alamandi, 2025).

Technologinis pasirengimas

Neturint tinkamo technologinio pasirengimo, įgyvendinti TI gali būti sudėtinga, ypač maisto pramonėje, kur technologinė pažanga yra kritinis veiksnys, kadangi tiekimo grandinė pasižymi sudėtingais srautais ir griežtais maisto kokybės ir saugos reikalavimais. Skaitmeninės technologijos, tokios kaip jau anksčiau minėtos blokų grandinės, *IoT*, *DI* ar didieji duomenys, reikalauja infrastruktūrinių investicijų, pradedant įranga ir baigiant žmogiškųjų išteklių pasirengimu. To neturinčios įmonės dažnu atveju negali diegti TI (Kamble et al., 2020). Technologinis pasirengimas lemia, kaip sklandžiai TI bus integruojamos visoje tiekimo grandinėje. Esant nepakankamam pasiruošimui bet kuriame tiekimo grandinės etape, inovacijų diegimas gali stoti visoje grandinėje, ypač kai yra kalbama apie integruotas tvarumo strategijas, tokias kaip CO₂ stebėseną ar žiedinės ekonomikos principų taikymą (Kamble et al., 2020).

Be tinkamos infrastruktūros, būtinas ir įmonės gebėjimas vykdyti MTEP projektus bei perimti išorinius sprendimus iš išorės. Moksliniai šaltiniai pabrėžia, kad technologinis pasirengimas turi apimti ne tik įrangą, bet ir žmonės, jų gebėjimą pasinaudoti duomenimis, įvertinti jų poveikį ir pritaikyti praktiškai (Zhang & Qu, 2023).

2.1.5. Sisteminės tvarumo inovacijų pasekmės ir poveikiai

Akivaizdu, kad TI maisto tiekimo grandinėje daro įvairialypį poveikį tiek įmonių, tiek visos tiekimo grandinės veiklai. Įdiegus TI maisto pramonės tiekimo grandinėje, poveikis aplinkai gali būti matomas ne tik per tiesioginius skaičius, bet ir per ilgalaikius pokyčius, kurie keičia visą verslo logiką ir bendrą požiūrį į aplinkosaugą.

Aplinkosauginiai aspektai

TI transformuoja tradicinę aplinkosaugos sampratą – nuo ganėtinais pasyvios taršos kontrolės pereinama prie prevencijos. Įmonės pradeda iš anksto modeliuoti aplinkosauginius padarinius visame produkto gyvavimo cikle, dar prieš imantis konkrečių sprendimų. Tokiu būdu yra pereinama prie ekologinio projektavimo (angl. *eco-design*) koncepto, kada žiedinės ekonomikos principai yra svarstomi dar inovacijų planavimo etape, siekiant užkirsti kelią problemoms dar prieš joms atsirandant (Donnelly et al., 2006). Šiuolaikinių technologijų panaudojimas leidžia stebėti ir įvertinti vykdomos veiklos poveikį aplinkai nuo žaliavų iki galutinio produkto – tokie metodai, kaip produkto gyvavimo ciklo analizė (angl. *LCA*) padeda įvertinti sprendimų poveikį visoje grandinėje. Tyrimai rodo, kad organizacijos, kurios naudoja visuminį LCA metodą, 40 % dažniau pasiekia tvarumo rodiklių sinergiją (Finkbeiner, 2014).

Socialiniai aspektai

Socialinis poveikis, kylantis iš TI diegimo, neapsiriboja darbuotojų gerovės pagerinimu ar socialinės atsakomybės deklaracijomis. Kai TI diegiamos nuosekliai ir visoje tiekimo grandinėje, jos transformuoja organizacijų santykį su darbuotojais, bendruomenėmis ir visuomene, stiprina pasitikėjimą bei kuria ilgalaikę vertę. Toks sisteminis poveikis gali būti apibendrintas keliais pagrindiniais aspektais:

- **orumo ekonomika ir įtraukti darbo rinka:** TI diegimas reikalauja investicijų į darbuotojų mokymą, kompetencijų ugdymą ir saugią darbo aplinką, o tai padeda pereiti nuo „žemos kvalifikacijos, mažų atlyginimų“ modelio prie orios, įtraukios darbo rinkos. Įdarbinamos pažeidžiamos grupės, kurios tradiciškai neturėjo prieigos prie formalaus darbo, SA8000 ir kiti socialinės atsakomybės standartai padeda užtikrinti žmogaus teises visose grandinės dalyse, ypač besivystančiose šalyse. Tokia praktika iš esmės transformuoja požiūrį į darbuotoją, todėl mažėja socialinė nelygybė, didėja darbuotojų lojalumas (Welford & Frost, 2006).
- **žinių demokratizacija:** TI paprastai apima naujų žinių, tvarumo kompetencijų ir inovacijų supratimo sklaidą visoje organizacijoje. Tai reiškia ne tik vadovų, bet ir paprastų darbuotojų įtraukimą į sprendimų priėmimą, problemų analizę ir pokyčių valdymą. Tokiu būdu yra skatinamos vidinės inovacijų programos, kur darbuotojai gali teikti idėjas, per žaliąją lyderystę stiprinamas bendradarbiavimas ir pasitikėjimas, o įvairūs mokymai ir mentorystės programos padeda mažinti žinių atotrūkį (Robertson & Barling, 2013).

- **vartotojų pasitikėjimas:** TI prisideda prie tiekimo grandinės skaidrumo ir atsekamumo, o tai stiprina vartotojų pasitikėjimą ne tik produktu, bet ir jo kilme bei atsakingumu. Vykdomas socialinis atskaitingumas, kai viešai deklaruojami poveikio rodikliai. Tokiu būdu auga įmonės reputacija, stiprėja ryšys su vartotoju (Kasim & Sann, 2022).

Socialinis TI poveikis apima ne tik geresnį darbinį mikroklimatą, bet ir iš esmės keičia visą sistemą – darbo santykius, žinių prieinamumą bei socialinio poveikio matavimą. Tai kuria ilgalaikį pasitikėjimą, stiprina bendradarbiavimą ir užtikrina sąžiningą vertės paskirstymą tiekimo grandinėje.

Ekonominiai aspektai

TI sukuria ilgalaikę ekonominę naudą, kuri pasireiškia per efektyvumo augimą, rizikų prevenciją, vertės kūrimą ir konkurencinio pranašumo stiprinimą. Šios pasekmės išryškėja tik tuo atveju, jei TI yra nuosekliai integruojamos į organizacijų valdymą, tiekimo grandinės struktūrą ir bendradarbiavimą su išorės partneriais.

TI, tokios kaip energijos ir vandens vartojimo efektyvinimas, atliekų mažinimas, *Lean* praktika ar skaitmenizacija, tiesiogiai prisideda prie sąnaudų mažinimo ir augančio produktyvumo. Tyrimai rodo, kad procesų inovacijos turi didžiausią teigiamą poveikį aplinkosauginiam ir ekonominiam veiklos efektyvumui (Dangelico & Pujari, 2010). Pavyzdžiui, automatizacija ir I4.0 technologijos mažina žmogiškųjų klaidų, perteklinės produkcijos ir švaistymo riziką (Beier et al., 2020), o atliekų perdurbimo technologijos padeda gamybos išteklius naudoti efektyviau, taip sukuriant uždarą ciklą. TI taip pat mažina tiekimo grandinės pažeidžiamumą. Diegiant tvarumo standartus įmonės tampa mažiau priklausomos nuo išorinių šokų, kaip kad žaliavų kainų svyravimai ar geopolitiniai konfliktai, todėl didėja finansinis stabilumas (Eccles et al., 2014).

Be to, TI tampa viena pagrindinių sąlygų patekti į tam tikras rinkas – *BRCGS*, *IFS* ir kiti maisto saugos standartai bei tvarumo sertifikatai „atveria duris“ į Vakarų Europos, JK ir Kanados rinkas. ESG integraciją į verslo modelį leidžia įmonėms konkuruoti ne tik kaina, bet ir vertybėmis, kas yra aktualu *B2B* sektoriuje. Kalbant apie optimizavimą, TI ne tik mažina veiklos sąnaudas, bet ir suteikia galimybes atsirasti naujiems pajamų srautams – įmonės, taikančios žiedinės ekonomikos principus, kurią logiką, kur ištekliai virsta papildomu pelnu. *Accenture* ir Pasaulio ekonomikos forumas savo ataskaitoje nurodo, kad įmonės, kurios įtraukė tvarumą į savo strategiją, veikia vidutiniškai 21 % pelningiau (*Accenture*, 2021).

Apibendrinant, ekonominė nauda iš TI ne visada yra momentinė, bet dažnai ji yra didesnė, ilgalaikė ir tvaresnė. TI čia tampa ne sąnaudomis, o vertės kūrimo strategija, kuri formuoja atsparų ir atsakingą verslą.

2.2. Skaitmenizacijos teoriniai sprendiniai

2.2.1. Skaitmenizacijos samprata

Skaitmenizacija pastaraisiais metais tapo vienu aktualiausių mokslinės ir praktinės analizės objektų. Šis terminas literatūroje interpretuojamas įvairiai – vieni autoriai jį sieja tik su technologijų diegimu, kiti – su platesne organizacijos transformacija.

Pasak Brennen'o ir Kreiss'o (2016), skaitmenizacija yra laikoma procesu, kai socialinė veikla ir ekonominiai procesai vis labiau remiasi skaitmeninėmis technologijomis. Vial'as (2019) išskiria, kad

skaitmeninė transformacija apima ne tik technologijų diegimą, bet ir visos organizacijos veiklos modelio, kultūros bei struktūros pokyčius. Kagermann'as ir Wahlster'is (2022) skaitmenizaciją sieja su I4.0, kuriai būdinga kibernetinių–fizinųjų sistemų, robotikos, DI ir *IoT* integracija.

Tyrėjai taip pat pabrėžia skirtumą tarp skaitmeninimo (angl. *digitization*), skaitmenizacijos (angl. *digitalization*) ir skaitmeninės transformacijos (angl. *digital transformation*). Skaitmeninimas apima analoginės informacijos pavertimą skaitmenine forma, pvz., popieriaus skenavimas, konvertavimas), skaitmenizacija – skaitmeninių technologijų įtraukimą į procesus ir jų pritaikymą veikloje, pvz., įmonės išteklių planavimo sistema (angl. *ERP*), *IoT*, DI sprendimai pramonėje, o skaitmeninė transformacija – visos organizacijos pertvarką, kai skaitmeninės technologijos tampa konkurencinio pranašumo pagrindu (Reis et al., 2018).

Verhoef'as et al. (2021) skaitmenizaciją apibrėžia kaip įmonės gebėjimą integruoti skaitmenines technologijas į rinkodarą, operacijas ir klientų sąveikas, sukuriant naujas vertės kūrimo formas. Šis daugialypis požiūris rodo, kad skaitmenizacija yra ne vien techninis reiškiny, bet ir platesnis ekonominis, socialinis bei organizacinis pokytis, kuris daro reikšmingą poveikį įmonių konkurencingumui.

Skirtingų autorių skaitmenizacijos ir skaitmeninės transformacijos apibrėžimai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Skirtingų autorių skaitmenizacijos ir skaitmeninės transformacijos apibrėžimai

Apibrėžimas	Autorius
Skaitmenizacija apima vis didesnį socialinių ir ekonominių procesų priklausymą nuo skaitmeninių technologijų	Brennen & Kreiss (2016)
Skaitmenizacija – tai procesas, kai informacinės technologijos tampa pagrindine infrastruktūra, palaikančia inovacijas įvairiose srityse.	Tilson et al. (2010)
Skaitmenizacija – skaitmeninių technologijų įtraukimas į organizacijos procesus, siekiant didesnio efektyvumo ir lankstumo.	Parviainen et al. (2017)
Skaitmeninė transformacija – tai procesas, kurio metu organizacijos perkuria savo verslo modelius, struktūrą ir kultūrą, remdamosi skaitmeninėmis technologijomis.	Vial (2019)
Skaitmenizacija – įmonių gebėjimas integruoti skaitmenines technologijas į esamus procesus, siekiant sukurti naują pridėtinę vertę.	Verhoef et al. (2021)

Iš esmės, skaitmenizacija yra daugialypė sąvoka, apimanti technologinį, ekonominį, socialinį ir organizacinį poveikį. Galima teigti, kad skaitmenizacija yra ne tik konkurencingumo, bet ir TI prielaida.

2.2.2. Skaitmenizacijos tipai ir technologijos

Skaitmenizacija nėra vienašalis procesas – tai įvairių technologijų visuma, kurios, veikdamos kartu, keičia įmonių veiklą, gamybos logiką bei tiekimo grandinių valdymą. Tokių technologijų diegimas pramonėje glaudžiai siejamas su I4.0 koncepcija, apibrėžiančia kibernetinių fizinių sistemų, DI, *IoT*, robotikos, debesų kompiuterijos, blokų grandinės sprendimų integraciją į organizacijų procesus (Frank, Dalenogare, et al., 2019).

Šios technologijos lemia reikšmingus pokyčius pramonėje – jos leidžia efektyvinti gamybos procesus, sumažinti energijos sąnaudas, optimizuoti tiekimo grandines, padidinti atsekamumą bei pagerinti sąveiką su vartotojais. Maisto pramonėje jų taikymas tampa ypač aktualus dėl didelio tiekimo grandinės sudėtingumo, produktų kokybės ir saugos reikalavimų bei augančio vartotojų poreikio skaidrumui.

Dirbtinis intelektas

DI yra apibrėžiamas kaip technologijų rinkinys, leidžiantis kompiuterinėms sistemoms atlikti užduotis, kurios įprastai reikalauja žmogaus intelekto – mokytis, priimti sprendimus, atpažinti kalbą ir t.t. Pagrindiniai DI bruožai yra mokymasis – DI sistemos gali mokytis iš naujų duomenų, tobulinti savo sprendimus, adaptuotis, problemų sprendimas – DI geba analizuoti situacijas, rasti tinkamiausius sprendimus, duomenų analizė – kompiuterinės sistemos gali analizuoti didelius kiekius duomenų, žmogaus intelekto imitacija – DI geba argumentuoti, planuoti, veikti kūrybiškai ir kitais būdais imituoti žmogiškas savybes (Russell & Norvig, 2022).

DI tampa vis svarbesniu įrankiu maisto pramonėje, nes leidžia efektyviau valdyti tiekimo grandines, gerinti maisto saugą ir kurti naujus produktus. Vienas iš svarbiausių DI privalumų yra atliekų mažinimas ir atsargų valdymo optimizavimas. DI gali tiksliai prognozuoti paklausą, analizuodamas istorinius pardavimų duomenis, sezoninius svyravimus ir vartotojų elgseną, taip sumažindamas perprodukciją ir atliekas. Ši galimybė ne tik mažina ekonominius nuostolius, bet ir turi teigiamą poveikį aplinkai, nes mažina švaistymą.

Be to, DI prisideda prie maisto saugos gerinimo. Pabrėžiama, kad DI algoritmai, integruoti su *IoT* jutikliais, gali realiu laiku stebėti temperatūrą, drėgmę ir kitus kritinius parametrus tiekimo grandinėje, užtikrinant, kad produktai būtų laikomi tinkamomis sąlygomis ir sumažinant užteršimo riziką (TagoIO, 2024). Tai atitinkamai leidžia įmonėms laikytis griežtų maisto saugos standartų ir užtikrinti vartotojų pasitikėjimą.

DI taip pat skatina produktų inovacijas ir leidžia geriau atsižvelgti į vartotojų poreikius. Anot Yang'o et al. (2025), DI gali analizuoti vartotojų atsiliepimus, socialinės medijos duomenis ir pirkimo istoriją, kad padėtų kurti naujus produktus ar receptūras, labiau atitinkančias rinkos tendencijas. Tokiu būdu įmonės gali greičiau reaguoti į pokyčius rinkoje ir išlikti konkurencingos.

Nepaisant akivaizdžių privalumų, DI diegimas maisto pramonėje susiduria su keliais iššūkiais. Vienas iš jų – didelės investicijos į techninę infrastruktūrą ir kvalifikuotą personalą. Pastebima, kad DI sistemų diegimas reikalauja galingų serverių, duomenų saugyklų, *IoT* jutiklių ir specialistų komandos, kad technologija būtų naudojama efektyviai (Jano et al., 2024). Be to, DI sistemoms reikalingi dideli duomenų kiekiai, įskaitant vartotojų elgsenos informaciją, todėl būtina užtikrinti duomenų apsaugą ir laikytis teisės aktų, pvz., BDAR. Dar vienas iššūkis – darbuotojų kompetencijų stoka. Norint sėkmingai naudoti DI sistemas, reikalingi kvalifikuoti duomenų analitikai ir IT specialistai, taip pat, gamybos darbuotojai, gebantys integruoti naujas technologijas į kasdienę veiklą (Rott et al., 2022).

Apibendrinant, DI suteikia maisto pramonei galimybę sumažinti atliekas, pagerinti maisto saugą ir kurti inovatyvius produktus, tačiau sėkmingam jo diegimui būtina pasirūpinti tinkama infrastruktūra, duomenų apsauga ir kvalifikuotu personalu. Moksliniai tyrimai patvirtina, kad šių technologijų integracija gali ženkliai pagerinti įmonių efektyvumą, tačiau kartu reikalauja nuoseklaus planavimo ir strategijos.

Robotizacija

Robotizacija yra vienas iš seniausių, bet kartu nuolat tobulėjančių pramonės skaitmenizacijos komponentų. Tarptautinė robotikos federacija (angl. *International Federation of Robotics*) pramoninį

robotą apibrėžia kaip „automatiškai valdomą, programuojamą, daugiavfunkcij manipuliatorių, turintį bent tris ašis, kuris gali būti fiksuotas arba pritvirtintas prie judančios platformos ir naudojamas automatikos taikymų pramonės aplinkoje“. Robotai įprastai klasifikuojami pagal jų mechaninę struktūrą (karteziniai, SCARA, sukamieji, paraleliniai, cilindriniai, poliariniai). Pastaraisiais metais ypač daug dėmesio sulaukia vadinamieji bendradarbiaujantys robotai (angl. *cobots*), kurie ne tik pakeičia žmogaus darbą, bet ir dirba greta jo, taip užtikrindami didesnę gamybos lankstumą ir saugumą.

Robotizacija yra esminis veiksnys, norint įgyvendinti efektyvią gamybą. Ji plačiai naudojama gamybos linijose, pakavimo ir rūšiavimo procesuose, sandėliavimo bei logistikos operacijose. Robotai padeda sumažinti klaidų tikimybę, užtikrina nuoseklų gamybos tempą bei leidžia vykdyti darbus pavojingomis sąlygomis, kurių atlikimas žmonėms būtų rizikingas – tai ne tik padidina gamybos efektyvumą, bet ir prisideda prie darbuotojų saugos gerinimo. Maisto pramonėje robotizacija atlieka svarbų vaidmenį užtikrinant aukštą higienos lygį, nes sumažina tiesioginį žmogaus kontaktą su produktais (Demartini et al., 2018).

Vienas iš pagrindinių robotizacijos privalumų yra produktyvumo augimas – robotai gali dirbti nenutrūkstamai, todėl įmonės gali užtikrinti stabilų gamybos srautą, net ir esant dideliui paklausos svyravimui. Be to, naudojant robotus, produkcijos kokybė tampa pastovesnė, nes užduotys yra atliekamos nuosekliai, sumažinant žmogiškąjį klaidų faktorių. Taip pat, robotizacija atitinkamai prisideda prie socialinio tvarumo – gerinamos darbuotojų darbo sąlygos, užtikrinama sauga.

Vis dėlto robotizacijos diegimas neapsieina be iššūkių. Vienas iš didžiausių barjerų yra reikšmingos kapitalo investicijos, reikalingos modernių robotinių sistemų įsigijimui ir integravimui į esamą infrastruktūrą. Tai ypač aktualu mažoms ir vidutinėms įmonėms, kurios dažnai neturi pakankamai finansinių išteklių. Kita problema yra darbo rinkos transformacija – robotai pakeičia žemos kvalifikacijos darbus, o tai kelia socialinių įtampų ir reikalauja darbuotojų perkvalifikavimo (Stock & Seliger, 2016). Be to, sėkmingam robotizacijos diegimui būtini kvalifikuoti specialistai, galintys prižiūrėti ir valdyti šias sistemas.

Daiktų internetas

Daiktų internetas (angl. *IoT*) apibrėžiamas kaip skaitmeninių jutiklių, įrenginių ir sistemų tinklas, leidžiantis rinkti, perduoti ir analizuoti duomenis realiuoju laiku. Ši technologija suteikia galimybę fizinius objektus paversti „išmaniaisiais“, nes jie nuolat generuoja informaciją apie savo būklę, aplinkos sąlygas ar naudojimo intensyvumą. *IoT* laikomas vienu kertinių I4.0 elementų, nes sujungia skaitmenines technologijas su fiziniais procesais, sudarydamas sąlygas visiškai naujam gamybos ir tiekimo grandinių valdymo modeliui (Atzori et al., 2017).

IoT diegimas pramonėje suteikia daug galimybių, tačiau jo poveikis maisto sektoriuje yra ypatingai reikšmingas. Vienas svarbiausių aspektų yra produktų saugos užtikrinimas – maisto produktų kokybė labai priklauso nuo temperatūros, drėgmės ir kitų aplinkos sąlygų, todėl *IoT* jutikliai leidžia nuolat stebėti šiuos parametrus tiekimo grandinės metu, nuo gamybos iki transportavimo ir sandėliavimo. Tokiu būdu galima laiku identifikuoti nukrypimus ir užkirsti kelią galimai žalai vartotojui (Verdouw et al., 2016). Kitas *IoT* pritaikymo aspektas yra atsekamumas. Integruoti jutikliai leidžia užtikrinti skaidrumą visoje tiekimo grandinėje, nes kiekviena produkto judėjimo grandis gali būti registruojama realiuoju laiku (Kumar et al., 2020). Tai ypatingai aktualu atsižvelgiant į ES reikalavimus dėl maisto produktų kilmės žymėjimo bei vartotojų lūkesčius dėl informacijos prieinamumo. *IoT* taip pat padeda

spřesti tvarumo problemas. Nuolat stebint žaliavų naudojimą, energijos sąnaudas ir atliekų susidarymą, įmonės gali tiksliau planuoti savo gamybą bei efektyviau naudoti resursus. Pavyzdžiui, *IoT* jutikliai gali perspėti apie gamybos įrenginių gedimus, taip leidžiant atlikti prevencinę priežiūrą ir išvengti nenumatytų sustojimų ar broko (Kiel et al., 2017).

Visgi, *IoT* diegimas maisto pramonėje kelia ir tam tikrų iššūkių. Vienas iš didžiausių – kibernetinis saugumas, nes nuolat perduodami duomenys gali būti pažeidžiami ar net panaudojami nesažiningomis aplinkybėmis. Taip pat, reikšmingi iššūkiai susiję su investicijų dydžiu, įrangos suderinamumu ir darbuotojų kompetencijų stoka. Nepaisant to, tyrėjai pabrėžia, kad *IoT* diegimas maisto pramonėje yra viena esminių sąlygų siekiant skaidresnės, efektyvesnės ir tvaresnės tiekimo grandinės (Tavakkoli-Moghaddam et al., 2022).

Debesų kompiuterija ir didieji duomenys

Debesų kompiuterija apibrėžiama kaip technologija, leidžianti naudotojams internetu pasiekti bendrinamus IT išteklius, tokius kaip serveriai, duomenų bazės, programinė įranga ar analizės įrankiai, nereikalaujant investicijų į nuosavą IT infrastruktūrą (Mell & Grance, 2011). Tuo tarpu, didieji duomenys apima didelio masto, įvairių formatų, greitai generuojamus duomenis, kuriems būdingi vadinamieji penki „V“ aspektai – tūris (angl. *volume*), greitis (angl. *velocity*), įvairovė (angl. *variety*), tikslumas (angl. *veracity*) ir vertė (angl. *value*) (Gandomi & Haider, 2015). Šių duomenų analizė suteikia galimybių atskleisti paslėptus dėsningumus, optimizuoti procesus ir prognozuoti tendencijas, kas tampa itin svarbu pramonėje, kur sprendimai turi būti priimami remiantis realaus laiko informacija.

Debesų kompiuterijos ir didžiųjų duomenų sąveika leidžia įmonėms apdoroti ir saugoti didelius informacijos srautus be didelių kapitalo investicijų į vidines sistemas. Ypač reikšminga tai tampa gamybos ir tiekimo grandinėse, kur reikia analizuoti nuolat generuojamus duomenis iš *IoT* jutiklių, ERP sistemų ar robotizuotų procesų (Hashem et al., 2015). Tokia integracija suteikia galimybę kurti prognozavimo modelius, numatyti galimus paklausos pokyčius, identifikuoti potencialius tiekimo sutrikimus ir atitinkamai efektyviau planuoti resursų naudojimą.

Maisto pramonėje debesų kompiuterija ir didieji duomenys yra ypač reikšmingi, nes šis sektorius generuoja didelius duomenų kiekius visose tiekimo grandinės stadijose, nuo pat žaliavų išgavimo, gamybos ir pakavimo iki logistikos bei galutinės prekybos. Duomenų analizė leidžia prognozuoti paklausą, optimizuoti gamybos planus, mažinti atliekų kiekius bei užtikrinti, kad gamybos procesai atitiktų tvarumo reikalavimus (Tsolakis et al., 2023). Vienas svarbiausių didžiųjų duomenų pritaikymo aspektų yra vartotojų elgsenos analizė. Įmonės, naudodamos debesų pagrindu veikiančius analitinius įrankius, gali apdoroti įvairių šaltinių duomenis ir taip nustatyti specifinius vartotojų pageidavimus bei tendencijas. Tokiu būdu galima greičiau pritaikyti produktų portfelį prie rinkos poreikių bei sumažinti nepaklausios produkcijos gamybą (Wang et al., 2018). Debesų kompiuterija taip pat suteikia galimybę įmonėms, ypač mažoms ir vidutinėms, naudotis pažangiomis technologijomis be didelių kapitalo investicijų. Pavyzdžiui, nuotolinės kokybės kontrolės sistemos leidžia gamintojams realiuoju laiku stebėti gamybos linijas, o surinkti duomenys automatiškai analizuojami debesų aplinkoje (Marston et al., 2011). Taip yra užtikrinamas nepertraukiamas gamybos procesas, sumažinama broko tikimybė, taupomi ištekliai.

Be to, didžiųjų duomenų analitika yra itin reikšminga tiekimo grandinės skaidrumui ir atsekamumui. Naudojant debesų pagrindu veikiančias sistemas, galima integruoti duomenis iš skirtingų tiekėjų,

gamybos padalinių ar logistikos partnerių, sukuriant vientisą informacinę erdvę. Tokia sistema ne tik padeda užtikrinti maisto saugą, bet ir leidžia lengviau įvertinti viso proceso poveikį aplinkai, pavyzdžiui, apskaičiuojant anglies pėdsaką ar vandens sąnaudas (Tavakkoli-Moghaddam et al., 2022).

Vis dėlto, debesų kompiuterijos ir didžiųjų duomenų diegimas susiduria su keliais iššūkiais. Pirmiausia, tai duomenų saugumo ir privatumo klausimai, nes jautri informacija apie gamybą, receptūras ar vartotojus gali būti pažeidžiama. Taip pat, kyla suderinamumo problemų tarp skirtingų IT sistemų ir tiekėjų. Sėkmingai proceso vykdymui reikalingos aukštos darbuotojų kompetencijos, kad įmonės galėtų tinkamai naudotis šiomis technologijomis bei gauti maksimalią naudą.

Blokų grandinės technologija

Blokų grandinės (angl. *blockchain*) technologija apibrėžiama kaip decentralizuota ir paskirstyta duomenų saugojimo sistema, kurioje informacija kaupiama blokų grandinėje ir yra beveik nepakitusi bei skaidri visiems tinklo dalyviams. Kiekvienas duomenų blokas yra susietas su ankstesniu, o tam, kad būtų pakeistas įrašas, reikėtų pakeisti visą grandinę, todėl ši technologija užtikrina aukštą saugumo lygį (Nawari & Ravindran, 2019). Pramonėje blokų grandinės technologija ypač siejama su tiekimo grandinės valdymu, nes suteikia galimybę užtikrinti duomenų atsekamumą ir skaidrumą – visi grandinės dalyviai gali turėti prieigą prie vienodai patikimos informacijos, kas leidžia sumažinti klaidų tikimybę, išvengti dokumentų klastojimo bei padidina pasitikėjimą tarp partnerių (Kshetri, 2014).

Maisto pramonėje blokų grandinės tampa itin reikšminga dėl kelių priežasčių. Pirmiausia – maisto sauga. Įvykus maisto produktų užterštumo atvejui, atsiranda galimybė greitai identifikuoti užterštos partijos kilmę ir apriboti jos platinimą rinkoje (Galvez et al., 2018). Realus pavyzdys rinkoje galėtų būti „Walmart“ kartu su „IBM Food Trust“. Bendradarbiaujant šioms įmonėms įdiegta blokų grandinės sistema, leidžianti per kelias sekundes nustatyti produkto kilmę, nors anksčiau tam prireikdavo kelių dienų (LF Decentralized Trust, n.d.). Antra, ši technologija padeda užtikrinti vartotojų pasitikėjimą. Augant vartotojų poreikiui žinoti, iš kur atkeliavo jų maistas, blokų grandinės leidžia suteikti patikimą informaciją apie produkto kilmę, auginimo sąlygas, transportavimo bei perdorbimo etapus (Tian, 2016). Trečia, blokų grandinės yra glaudžiai siejama su tvarumo tikslų įgyvendinimu. Ji leidžia registruoti ir tikrinti duomenis apie žaliavų kilmę, darbo sąlygų laikymąsi ar ekologinius rodiklius, kas ypač aktualu ES maisto pramonei, kuriai keliami aukšti aplinkosaugos ir socialinės atsakomybės standartai.

Kita vertus, blokų grandinės diegimas yra sudėtingas, nes didelė dalis maisto tiekimo grandinės dalyvių yra smulkūs gamintojai, kurie gali neturėti išteklių ar technologinių žinių blokų grandinės sistemoms diegti. Be to, kyla standartizacijos klausimas – kol kas trūksta bendrų protokolų, leidžiančių skirtingoms sistemoms veikti suderintai. Taip pat, svarbi problema yra ir energijos sąnaudos, nes kai kurie blokų grandinės modeliai (pvz., atlikto darbo, angl. „*proof-of-work*“) yra itin energijai imlūs, nors pastaraisiais metais aktyviai vystomi tvaresni sprendimai (Tapscott & Tapscott, 2018).

Skaitmenizacijos technologijų taikymo pramonėje santrauka pateikta 10 lentelėje.

10 lentelė. Skaitmenizacijos technologijos ir jų taikymas pramonėje

Technologija	Taikymo sritis	Poveikis
Dirbtinis intelektas	Paklausos prognozavimas, kokybės kontrolė, procesų optimizacija	Gamybos efektyvumas, mažesnės atliekos, personalizuoti sprendimai
Robotizacija	Gamybinės linijos, pakavimas, sandėliavimas	Didinamas našumas, darbo sauga, mažesni broko kiekiai
Daiktų internetas	Jutikliai gamyboje, sandėliuose, logistikoje	Stebėjimas realiu laiku, prevencija, atsekamumas
Debesų kompiuterija ir didieji duomenys	Duomenų analizė, atsargų valdymas, prognozės	Greitesni sprendimai, sąnaudų mažinimas, didesnis skaidrumas
Blokų grandinės technologijos	Tiekimo grandinės atsekamumas, kilmės kontrolė	Skaidrumas, pasitikėjimo didinimas, sukčiavimo prevencija

2.2.3. Skaitmenizacijos diegimas pramonėje ir veiklos rodikliai

Skaitmenizacijos technologijų diegimas pramonėje nėra vien tik techninis sprendimas – tai kompleksinis procesas, reikalaujantis investicijų, organizacinės kultūros pokyčių ir ilgalaikės strategijos. Įmonės, siekiančios sėkmingai įgyvendinti skaitmeninius sprendimus, dažniausiai remiasi etapiniu diegimo modeliu, kai pirmiausia pritaikomi atskiri sprendimai, o vėliau šie sprendimai integruojami į bendrą ekosistemą, kurioje duomenys tampa pagrindiniu valdymo įrankiu (Ghobakhloo, 2018).

Diegiant skaitmenizacijos priemones, svarbiausia užtikrinti, kad jos kurtų matomą naudą organizacijai. Todėl skaitmeninės transformacijos poveikis dažniausiai vertinamas pagal tam tikrus veiklos rodiklius, kitaip vadinamus *KPI*, kurie leidžia objektyviai įvertinti pokyčius. Moeuf et al. (2018) išskiria kelias pagrindines rodiklių grupes:

1. *efektyvumo rodikliai* – gamybos ciklo trukmė, įrangos panaudojimo laikas, našumo padidėjimas, gamybos sąnaudų sumažėjimas;
2. *kokybės rodikliai* – broko lygis, neatitikimų skaičius, atsekamumo sistemos tikslumas, vartotojų pasitenkinimas;
3. *tvarumo rodikliai* – energijos suvartojimo pokyčiai, CO₂ emisijų sumažėjimas, atliekų kiekio mažinimas, žaliavų naudojimo efektyvumas;
4. *ekonominiai rodikliai* – investicijų grąža (angl. *ROI*), pardavimų augimas, pelno maržos pokyčiai;
5. *organizaciniai rodikliai* – darbuotojų produktyvumas, įgūdžių lygio pokyčiai, inovacijų diegimo greitis, skaitmeninių kompetencijų ugdymas.

Svarbu pabrėžti, kad skaitmenizacijos poveikis nėra vienkartinis – rodikliai turi būti stebimi nuolat, kad būtų galima įvertinti ilgalaikę naudą. Be to, rodiklių pasirinkimas priklauso ir nuo įmonės strateginių tikslų, pavyzdžiui, vienos organizacijos daugiausia dėmesio skiria sąnaudų mažinimui, o kitos – kokybės ar tvarumo užtikrinimui.

2.3. Dvigubos transformacijos koncepcija

2.3.1. Dvigubos transformacijos samprata ir kilmė

XXI a. Europos pramonės raidoje išryškėjo dvi kertinės transformacijos kryptys – žilioji transformacija ir skaitmeninė transformacija. Abi jos kyla iš poreikio spręsti globalius iššūkius – klimato kaitą, gamtinių išteklių senkančią potencialą, vartotojų lūkesčių pokyčius ir sparčią technologinę pažangą. Ilgą laiką šios dvi kryptys buvo traktuojamos atskirai – aplinkosaugos politika daugiausia orientavosi į emisijų mažinimą, atliekų prevenciją ir efektyvesnį išteklių naudojimą, o skaitmenizacija – į produktyvumo didinimą, automatizaciją ir verslo modelių skaitmeninimą. Tačiau tampa vis labiau akivaizdu, kad šie procesai yra neatskiriama susiję ir vienas kitą stiprinantys, todėl ES atsirado naujas strateginis požiūris – vadinamoji dviguba transformacija (angl. *twin transition*).

Dviguba transformacija apibrėžiama kaip viena laikis ir tarpusavyje susijęs skaitmeninės ir žaliosios transformacijos procesas, siekiant užtikrinti ilgalaikį ekonominį konkurencingumą, aplinkosauginį tvarumą ir socialinę gerovę (Europos Komisija, 2020). Kitaip tariant, tai yra strateginis modelis, kuriame skaitmeninės technologijos veikia kaip įrankis ir savotiškas katalizatorius žaliosios pertvarkos tikslams pasiekti, o tvarumo tikslai savo ruožtu skatina naujų technologinių sprendimų kūrimą ir diegimą. Dvigubos transformacijos esmė – ne atskirų technologijų ar aplinkosauginių priemonių taikymas, o jų sąveikos ir sinergijos išnaudojimas.

Ši sąvoka Europos politiniame diskurse pirmą kartą plačiau įsitvirtino 2020 m. kovo mėn. paskelbtoje Europos Komisijos „Naujojoje pramonės strategijoje“ (angl. *A New Industrial Strategy for Europe*), kurioje teigiama, kad „svarbiausia – Europos pramonės gebėjimas vadovauti dvigubai pertvarkai ir skatinti mūsų konkurencingumą. Ji negali sau leisti tiesiog prisitaikyti – dabar ji turi tapti pokyčių ir inovacijų akseleratoriumi ir įgalintoju“. 2021 m. strategijos atnaujinime akcentuota, kad dviguba transformacija nėra pasirenkamas kelias, o būtina sąlyga siekiant Europos žaliojo kurso tikslų ir konkurencingumo pasaulinėje rinkoje (Europos Komisija, 2021).

Dvigubos transformacijos idėja išsivystė iš dviejų lygiagrečių tendencijų:

- žaliosios transformacijos ištakos siekia 1987 m. Pasaulio aplinkos ir plėtros komisijos ataskaitą „Mūsų bendra ateitis“, kurioje pirmą kartą įtvirtintas tvaraus vystymosi principas – ekonominė pažanga negali vykti aplinkosaugos ir socialinės gerovės sąskaita. XX a. pabaigoje tai tapo ES aplinkosaugos politikos pagrindu;
- skaitmeninės transformacijos pradžia siejama su 1990–2000 m. informacinės visuomenės plėtra, o vėliau – su I4.0 koncepcija.

Iki 2010 m. abi kryptys buvo daugiausia plėtojamos savarankiškai. Tik vėliau pradėta suprasti, kad skaitmenizacija gali tapti esminiu įrankiu tvarumo tikslams pasiekti, o tvarumo siekis – inovacijų ir technologinės pažangos katalizatoriumi. Šis suvokimas sustiprėjo po 2015 m. Paryžiaus klimato susitarimo ir 2019 m. Žaliojo kurso (angl. *European Green Deal*), kuriuose nurodyta, kad žalieji tikslai reikalauja inovatyvių technologinių sprendimų. Tuo pat metu „Skaitmeninės Europos“ (angl. *Digital Europe*) ir Europos horizonto (angl. *Horizon Europe*) programos pradėjo akcentuoti technologijų diegimą tvarumo kontekste.

Mokslinėje literatūroje dviguba transformacija apibūdinama kaip sisteminė transformacija, keičianti ne tik technologijas, bet ir verslo modelius, institucines struktūras, vartotojų elgseną bei vertės kūrimo

logiką (Kovacic et al., 2024). Skirtingai nuo tradicinių inovacijų, kurios daugiausia dėmesio skiria atskiroms technologijoms ar sektoriams, dviguba transformacija orientuota į visos vertės grandinės pokyčius.

Pasak Tabares'o et al. (2025), dviguba transformacija grindžiama trimis pagrindiniais principais:

- sinergija – skaitmeninės technologijos ir žaliosios inovacijos sustiprina viena kitą. Pvz., *IoT* ir didieji duomenys leidžia efektyviau valdyti energijos vartojimą, o žiedinės ekonomikos modeliai skatina blokų grandinės sprendimų taikymą tiekimo grandinėse;
- sisteminis požiūris – transformacija apima visą pramonės ekosistemą – technologijas, organizacines struktūras, vartotojų elgseną, reguliavimą ir finansavimą;
- vertės kūrimas per integraciją – ilgalaikė konkurencinė nauda atsiranda ne iš atskirų technologijų diegimo, o iš jų derinimo su tvarumo tikslais.

Vienas iš svarbiausių dvigubos transformacijos tikslų yra ne tik sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, bet ir sustiprinti Europos pramonės konkurencingumą globalioje rinkoje. Anot Europos Komisijos atnaujintos pramonės strategijos (2021), įmonės, kurios vienu metu investuoja į skaitmenines technologijas ir TI, pasiekia žymiai geresnių veiklos rezultatų nei tos, kurios koncentruojasi tik į vieną iš šių sričių. Šios įmonės pasižymi aukštesniu produktyvumo lygiu, mažesnėmis veiklos sąnaudomis, aukštesniu inovacijų lygiu bei stipresne reputacija rinkoje, nes geba efektyviau išnaudoti duomenis ir išteklius, optimizuoti procesus bei kurti naujus verslo modelius. Empiriniai duomenys šią tendenciją patvirtina. Europos investicijų banko analizė (2022) rodo, kad įmonės, sėkmingai derinančios skaitmenizaciją su TI, vidutiniškai 15–25 % greičiau didina produktyvumą, palyginti su tomis, kurios investuoja tik į skaitmenines technologijas arba tik į žaliąsias inovacijas.

2.3.2. Teoriniai dvigubos transformacijos pagrindai ir poveikio mechanizmai

Dvigubos transformacijos idėja remiasi tuo, kad skaitmenizacija ir TI veikia kartu ir papildo viena kitą, o jų sinergija lemia ne tik technologinius, bet ir ekonominius pokyčius. Vadinasi, įmonės, investuojančios į abi sritis vienu metu, pasiekia geresnių rezultatų nei tos, kurios koncentruojasi tik į vieną.

2.3.2.1. Komplementarumo ir sinergijos principas

Svarbiausias dvigubos transformacijos teorinis pagrindas yra komplementarumo principas (Milgrom & Roberts, 1990), kuris reiškia, kad dvi investicijų sritys kartu duoda didesnę grąžą nei kiekviena atskirai. Skaitmeninės technologijos ir TI yra būtent tokio tipo papildiniai – skaitmenizacija leidžia efektyviau naudoti išteklius, automatizuoti procesus, mažinti klaidų skaičių ir greičiau reaguoti į rinkos pokyčius, tuo tarpu TI padeda mažinti neigiamą poveikį aplinkai, optimizuoti žaliavų naudojimą, didinti energijos efektyvumą ir gerinti įmonės reputaciją.

Kartu šie veiksniai lemia didesnį produktyvumą ir mažesnes sąnaudas. Ekonominiu požiūriu tai reiškia, kad derinant abi inovacijų kryptis, didėja bendrasis veiksmų produktyvumas (angl. *TFP*) – rodiklis, rodantis, kiek efektyviai įmonė naudoja kapitalą ir darbą (Solow, 1957). Pavyzdžiui, DI sprendimai leidžia optimizuoti gamybos procesus, o energiją taupančios technologijos sumažina sąnaudas – kartu tai sukuria didesnę pridėtinę vertę nei kiekviena technologija atskirai.

Be to, skaitmenizacija ir tvarumas padeda mažinti vidines ir išorines sąnaudas. Vidinės sąnaudos – tai gamybos, darbo, logistikos kaštai, o išorinės – neigiamas poveikis aplinkai, emisijos ar atliekos. Dviguba transformacija leidžia optimizuoti abu šiuos aspektus: technologijos mažina energijos ir darbo sąnaudas, o tvarumo sprendimai mažina neigiamus aplinkos efektus, kurie ilgainiui taip pat tampa finansine našta įmonei.

2.3.2.2. Ekologinės modernizacijos ir išorės kaštų mažinimo teorijos

Kitas svarbus teorinis pagrindas – ekologinės modernizacijos teorija (Gibbs et al., 2001), kuri teigia, kad ekonomikos augimas ir aplinkosaugos tikslai gali būti suderinami, jei įmonės taiko inovatyvias technologijas. Skaitmenizacija suteikia galimybes efektyviau stebėti ir valdyti išteklių naudojimą, o TI leidžia tą naudojimą optimizuoti.

Ši teorija svarbi ekonominiu požiūriu, nes ji susijusi su išorės efektų internalizavimu – tai reiškia, kad įmonės į savo sprendimus įtraukia anksčiau ignoruotas sąnaudas, tokias kaip tarša ar emisijos. Skaitmeninės technologijos leidžia tiksliai stebėti emisijas ir išteklių naudojimą, o tvarumo sprendimai padeda jas sumažinti. Tokiu būdu mažėja ne tik poveikis aplinkai, bet ir rizika dėl galimų reguliacinių mokesčių, reputacijos nuostolių ar papildomų kaštų ateityje.

2.3.2.3. Endogeninio augimo teorija ir inovacijų vaidmuo

Pagal endogeninio augimo teoriją, technologinės inovacijos ir žinių kaupimas yra pagrindiniai ilgalaikio ekonomikos augimo varikliai (Romer, 1989). Dviguba transformacija šią teoriją papildo tuo, kad jungia dvi inovacijų kryptis – technologinę ir ekologinę. Technologinės inovacijos spartina žinių sklaidą, leidžia įmonėms dirbti efektyviau ir kurti naujas vertės grandines. TI skatina paklausą naujiems produktams, atveria naujas rinkas ir mažina priklausomybę nuo ribotų išteklių. Jų derinys stiprina inovacijų ekosistemą ir kuria ilgalaikį augimo potencialą. Ilgainiui šis mechanizmas užtikrina aukštesnį bendrą veiksmų produktyvumą ir inovacijų grąžą, kuri tampa svarbiu konkurencingumo šaltiniu.

2.3.2.4. Organizaciniai gebėjimai ir valdymo aspektai

Nors ekonominė logika yra esminė dvigubos transformacijos dalis, svarbus vaidmuo tenka ir organizaciniais gebėjimams. Pagal Teece'o et al. (1997) dinaminių gebėjimų teoriją, įmonės, kurios geba greitai prisitaikyti prie pokyčių, mokytis ir integruoti naujas technologijas, lengviau išnaudoja dvigubos transformacijos teikiamas galimybes.

Vadinasi, ekonominė nauda iš skaitmenizacijos ir TI neatsiranda savaime – ji priklauso nuo to, kaip įmonės organizuoja savo procesus, kokią strategiją taiko, kaip valdo duomenis ir kokius gebėjimus turi tų įmonių darbuotojai. Organizacijos, kurios geba sujungti technologinį potencialą su tvarumo tikslais, dažniausiai pasiekia didesnę produktyvumą, mažesnes sąnaudas ir geresnius veiklos rezultatus.

2.3.2.5. Valstybės ir politikos vaidmuo

Svarbų vaidmenį dvigubos transformacijos teorijoje atlieka ir valstybės politika. Pagal transformacinės inovacijų politikos požiūrį, viešasis sektorius turi aktyviai formuoti rinkas, nukreipdamas inovacijas į visuomenės tikslus. ES strategijos, tokios kaip Europos žaliasis kursas,

„Fit for 55“, ar „Skaitmeninės Europos“ programa, kuria ekonomines paskatas skaitmeninėms ir TI, mažina investicijų riziką ir spartina naujų technologijų diegimą (Weber & Rohrer, 2012).

Valstybinė parama taip pat padeda sumažinti pradinius kaštus, kurie dažnai yra pagrindinė kliūtis, ypač mažoms ir vidutinėms įmonėms. Tokiu būdu inovacijų plėtra tampa prieinamesnė platesniam verslo ratui, o tai stiprina bendrą ekonomikos konkurencingumą.

Dvigubos transformacijos teoriniai konstruktai, galimi poveikio mechanizmai ir jų ekonominiai efektai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Dvigubos transformacijos teoriniai pagrindai, poveikio mechanizmai ir ekonominiai efektai (sudaryta autorės)

Teorinis pagrindas	Poveikio mechanizmas	Ekonominis efektas
Komplementarumo ir sinergijos principas	Skaitmenizacija ir TI veikia kaip papildiniai, nes technologijos leidžia efektyviau naudoti išteklius, o tvarumo sprendimai mažina aplinkos poveikį	Didesnis produktyvumas, mažesnės veiklos ir energijos sąnaudos, didesnis bendrasis veiksmų produktyvumas
Ekologinės modernizacijos teorija	Inovatyvios technologijos leidžia derinti ekonominį augimą su aplinkos tikslais, mažinant išorės kaštus ir emisijas	Mažesnis energijos intensyvumas, mažesnės emisijos, geresnis kapitalo panaudojimas, didesnis pelningumas
Endogeninio augimo teorija	Žinių kaupimas ir technologinės inovacijos skatina ilgalaikį produktyvumo augimą bei naujų rinkų kūrimą	Ilgalaikis produktyvumo augimas, didesnė inovacijų grąža, didesnis konkurencingumas
Dinaminių gebėjimų teorija	Įmonės, gebančios prisitaikyti, mokytis ir integruoti inovacijas, efektyviau išnaudoja dvigubos transformacijos galimybes	Efektyvesnis procesų valdymas, didesnis organizacinis lankstumas, aukštesni veiklos rezultatai
Transformacinės inovacijų politikos požiūris	Viešasis sektorius formuoja paskatas inovacijoms ir mažina investicijų riziką per subsidijas, reguliavimą ir finansines programas	Didesnis investicinis aktyvumas, greitesnis technologijų diegimas, spartesnė pramonės transformacija

3. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams tyrimo metodologija

Skaitmenizacija ir TI šiuo metu yra vienos pagrindinių ES ekonominės politikos kryptių, apibrėžtų Žaliajame kurse ir Skaitmeniniame kompase 2030. Dvigubos transformacijos esmė – šių dviejų procesų derinimas, leidžiantis kurti pažangesnę, mažiau išteklių reikalaujančią ir konkurencingesnę ekonomiką. Maisto pramonėje šios transformacijos poveikis yra itin ryškus dėl didelio energijos intensyvumo, sudėtingų tiekimo grandinių ir būtinybės užtikrinti tiek aplinkosauginių, tiek ekonominių tikslų įgyvendinimą.

Siekiant empiriškai įvertinti, kaip skaitmenizacijos ir TI derinimas veikia ES maisto pramonės ekonominius rezultatus, šiame tyrime taikomi ekonominės analizės metodai, paremti oficialiais Europos statistikos duomenimis.

Tyrimo problema: Nors skaitmenizacijos ir TI poveikis atskirai yra plačiai analizuojamas, jų sąveikos poveikis ekonominiams rezultatams (produktyvumui, sąnaudoms, konkurencingumui) ES maisto pramonėje išlieka menkai ištirtas. Ankstesni tyrimai daugiausia analizavo atskirus veiksnius, tačiau retai vertino jų integruotą poveikį. Šiame tyrime keliama problema – kaip dvigubos transformacijos procesai veikia ES maisto pramonės įmonių ekonominius rezultatus.

Tyrimo tikslas: Empiriškai įvertinti ryšius tarp dvigubos transformacijos ir įmonių ekonominių rezultatų ES maisto pramonėje, taikant ekonometrinės analizės metodus.

Tyrimo objektas: ES maisto pramonės sektorius (NACE C10-C12)

Tyrimo pobūdis: Atliekamas tyrimas yra kiekybinis, grindžiamas antrinais duomenimis iš Europos statistikos šaltinių. Tyrimas atliekamas agreguotu ES lygmeniu, analizuojant duomenis 2010–2024 m. laikotarpiu. Agreguoto ES lygmens analizė pasirinkta todėl, nes dvigubos transformacijos procesai yra formuojami ir skatinami bendru ES politikos ir reguliavimo lygmeniu. Dėl šios priežasties jų poveikį maisto pramonės ekonominiams rezultatams tikslinga vertinti kaip visos ES masto reiškinį. Taip pat, agreguoti duomenys leidžia išryškinti bendras ilgalaikes tendencijas ir ryšius tarp dvigubos transformacijos rodiklių ir ekonominių rezultatų, sumažinant atskirų valstybių narių struktūrinių skirtumų įtaką.

Tyrimo loginė seka: Loginė seka grindžiama prielaida, kad skaitmenizacija ir TI veikia kaip tarpusavyje papildantys veiksniai. Iš pradžių atliekama aprašomoji analizė, siekiant nustatyti ES šalių maisto pramonės ekonominių rodiklių tendencijas. Vėliau taikoma koreliacinė analizė, padedanti įvertinti pirminius ryšius tarp kintamųjų. Galiausiai atliekama regresinė analizė, leidžianti įvertinti skaitmenizacijos ir TI sąveikos poveikį ekonominiams rezultatams (žr. 2 pav.).

Tyrimo kintamųjų apibūdinimas:

Darbo našumas / produktyvumas – apibrėžiamas kaip vienam darbuotojui tenkanti pridėtinė vertė, išreikšta eurai. Šis rodiklis naudojamas kaip pagrindinis ekonominio efektyvumo matas ir leidžia vertinti, kaip efektyviai darbo jėga naudojama kuriant ekonominę vertę.

Skaitmenizacijos lygis – matuojamas naudojant Skaitmeninės ekonomikos ir visuomenės indeksą (DESI), kuris apibūdina skaitmeninių technologijų plėtrą, skaitmeninių paslaugų naudojimą ir skaitmeninės infrastruktūros lygį.

TI lygis – matuojamas naudojant EII indeksą, kuris atspindi aplinkosauginių ir energinio efektyvumo inovacijų diegimo mastą bei jų pažangą.

Dvigubos transformacijos sąveikos indeksas – standartizuotas rodiklis, apjungiantis skaitmeninės transformacijos (DESI) ir TI (EII) dimensijas, leidžiantis vertinti jų tarpusavio sąveiką ir bendrą poveikį ekonominiams rezultatams.

Investicijos į R&D sektorių – kintamasis apima investicijas į mokslinius tyrimus ir eksperimentinę plėtrą, išreikštas milijonais eurų, ir naudojamas vertinant inovacinės veiklos intensyvumą bei technologinio progreso potencialą.

Bendrasis vidaus produktas – išreiškia galutinę per metus sukurtą ekonominę vertę, matuojamą milijonais eurų, ir naudojamas kaip bendro ekonominio aktyvumo ir augimo rodiklis.

Vidutinis darbo užmokestis – apibrėžiamas kaip vidutinės darbo pajamos vienam darbuotojui, išreikštos eurai, ir atspindi darbo sąnaudų lygį bei darbo rinkos situaciją.

Energijos intensyvumas – apibrėžiamas kaip energijos sąnaudos, tenkančios vienam pridėtinės vertės eurui, išreikštos kilovatvalandėmis, ir naudojamas vertinant energijos naudojimo efektyvumą.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų intensyvumas – parodo išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, tenkantį vienam milijonui eurų sukurtos pridėtinės vertės, ir naudojamas aplinkosauginio efektyvumo vertinimui.

Tyrime naudojami kintamieji pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Tyrime naudojamų kintamųjų apibūdinimas

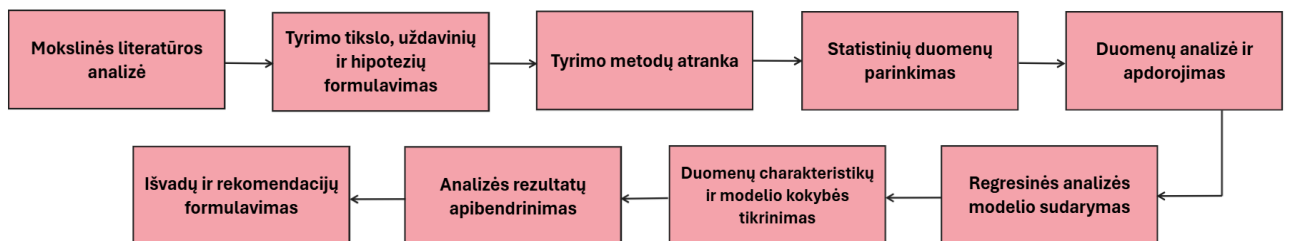
Kintamasis	Žymėjimas	Matavimo vienetas
Darbo našumas (pridėtinė vertė / darbuotojui)	PROD	€ / darbuotojui
Skaitmenizacijos lygis	DESI	DESI indeksas
TI lygis	EII	EII indeksas
Dvigubos transformacijos sąveikos indeksas	DTI	Standartizuotas rodiklis
Investicijos į R&D sektorių	INVEST	mln. €
BVP	GDP	mln. €
Vidutinis metinis darbo užmokestis	WAGE	€ / darbuotojui
Energijos intensyvumas (energijos sąnaudos / GVA)	ENERG	kWh / €
ŠESD emisijų intensyvumas	EMIS	t CO ₂ / mln. € GVA

Tyrimo metodai:

Koreliacinė analizė – leidžia nustatyti ryšio stiprumą ir kryptį tarp dviejų ar daugiau kintamųjų. Konkrečiai šiame tyrime koreliacinė analizė padeda išsiaiškinti, kaip skaitmenizacijos lygis ir TI rodikliai yra susiję su įmonių ekonominiais rezultatais. Naudojamas *Pearson* koreliacijos koeficientas, kuris svyruoja nuo -1 iki +1. Teigiama koreliacija ($r > 0$) reiškia, kad kintamųjų reikšmės didėja kartu, o neigiama ($r < 0$), kad vienai didėjant kita mažėja. Kai *Pearson* koeficientas yra lygus 0 ryšio nėra arba jis labai silpnas. Koreliacijos reikšmingumas vertinamas pagal p reikšmę, kuri parodo, ar ryšys yra statistiškai patikimas. Jeigu $p < 0,05$, laikoma, kad tarp kintamųjų egzistuoja statistiškai reikšmingas ryšys.

Regresinė analizė – vienas svarbiausių kiekybinių metodų, kuris leidžia nustatyti priklausomo ir nepriklausomų kintamųjų ryšį, įvertinti jo stiprumą, kryptį ir reikšmingumą. Šiame tyrime regresinė analizė taikoma siekiant empiriškai įvertinti, kaip skaitmenizacijos ir TI sąveika veikia įmonių ekonominius rezultatus. Šis metodas leidžia ne tik nustatyti, ar egzistuoja statistiškai reikšmingas poveikis, bet ir įvertinti jo dydį – kiek vieno veiksnio pokytis lemia priklausomo kintamojo pokytį, kai kiti veiksniai išlieka pastovūs.

Tyrimo ribotumai: Šis darbas turi ir tam tikrų ribotumų, kurie gali turėti įtakos rezultatų interpretavimui ir apibendrinamumui, Pagrindinis ribojantis veiksnys – antrinių duomenų prieinamumas ir jų detalumo lygis. Tyrime naudojami DESI ir EII indeksai yra sudaromi ir skelbiami nacionaliniu, o ne sektoriniu lygmeniu. Todėl šie rodikliai tyrime bus naudojami kaip aproksimacijos ES maisto pramonės skaitmenizacijos ir tvarumo lygiui įvertinti. Papildomas ribotumas susijęs su pačios ES maisto pramonės struktūra. Šis sektorius pasižymi dideliu heterogeniškumu, kadangi jame veikia tiek aukštųjų technologijų, tiek tradicinės įmonės. Dėl šios priežasties nustatyti ryšiai tarp skaitmenizacijos, TI ir ekonominių rodiklių gali nepilnai atspindėti skirtingų įmonių grupių situaciją. Kadangi tyrimas atliekamas agreguotu ES lygiu, jo rezultatai leis identifikuoti tik bendras tendencijas, o ne atskirų įmonių ar valstybių elgsenos skirtumus. Skirtingos nacionalinės ekonominės struktūros, inovacijų politikos ir skaitmeninės brandos lygiai gali lemti nevienodus dvigubos transformacijos ir ekonominių rezultatų ryšius, kurie šiame darbe nėra detalčiai išskiriami. Taip pat, svarbu pažymėti, kad dalis analizuojamų ekonominių rodiklių gali būti paveikti išorinių veiksnių, tokių kaip ekonominiai ciklai, energetikos kainų svyravimai ar geopolitiniai įvykiai. Šie veiksniai gali turėti įtakos tiek investicijoms, tiek produktyvumui ar darbo užmokesčiui, nepriklausomai nuo skaitmenizacijos ar TI pažangos. Atsižvelgiant į išvardytus ribotumus, tyrimo rezultatai turėtų būti interpretuojami kaip kryptiniai, atspindintys bendrą ES masto situaciją, bet ne kaip universalūs ar tiesiogiai perkeltami į kiekvienos atskiros valstybės ar įmonės kontekstą.

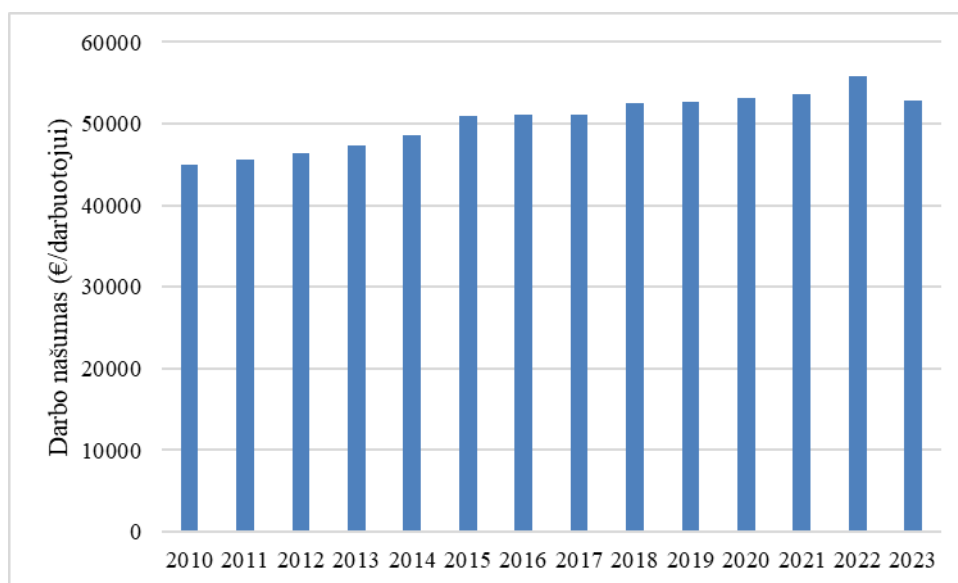


2 pav. Tyrimo eigos schema (sudaryta autorės)

4. Dvigubos transformacijos poveikio vertinimo Europos Sąjungos maisto pramonės ekonominiams rezultatams tyrimo rezultatai ir diskusija

4.1. ES maisto pramonės ekonominių rodiklių analizė

3 pav. pateikiama ES maisto pramonės darbo našumo dinamika 2010–2023 m. laikotarpiu. Per šį laikotarpį darbo našumas, išreikštas euraiis vienam darbuotojui, rodė aiškią augimo tendenciją, tačiau su tam tikrais svyravimais pastaraisiais metais. 2010 m. darbo našumas siekė apie 45 tūkst. €/darbuotojui, o jau 2014 m. pakilo iki maždaug 48 tūkst. €, t. y. padidėjo apie 7 %. Šis augimas rodo laipsnišką ekonomikos atsigavimą po 2008–2009 m. krizės ir didesnę gamybos efektyvumą. 2015–2017 m. laikotarpiu produktyvumo augimas stabilizavosi – darbo našumas išliko apie 50–51 tūkst. €, o tai rodo pasiektą tam tikrą brandos lygį ir tolygų efektyvumo didėjimą. Nuo 2018 m. iki 2020 m. našumas toliau po truputį didėjo, pasiekdamas apie 52–53 tūkst. €/darbuotojui. Pandemijos laikotarpis reikšmingo neigiamo poveikio neparodė – priešingai, produktyvumas netgi šiek tiek augo, kas galėjo būti susiję su spartesniu automatizacijos diegimu, nuotolinio darbo plėtra ir struktūriniais pokyčiais gamyboje. 2021–2022 m. fiksuotas dar spartesnis šuolis – 2021 m. našumas pakilo iki apie 54 tūkst. €, o 2022 m. pasiekė aukščiausią viso laikotarpio lygį – beveik 56 tūkst. €. Tai rodo, kad po pandemijos įmonės veikė efektyviau, didėjo skaitmenizacijos mastai ir investicijos į technologijas, ypač pramonėje ir paslaugų sektoriuose. Vis dėlto 2023 m. pirmą kartą po daugiau nei dešimtmečio užfiksuotas nedidelis nuosmukis, kai darbo našumas sumažėjo iki maždaug 53 tūkst. €/darbuotojui. Nepaisant to, našumo lygis išliko aukštesnis nei bet kuriais metais iki 2020 m., todėl šis sumažėjimas galėtų būti laikomas tik laikinu svyravimu, o ne ilgalaikės tendencijos pasikeitimu.

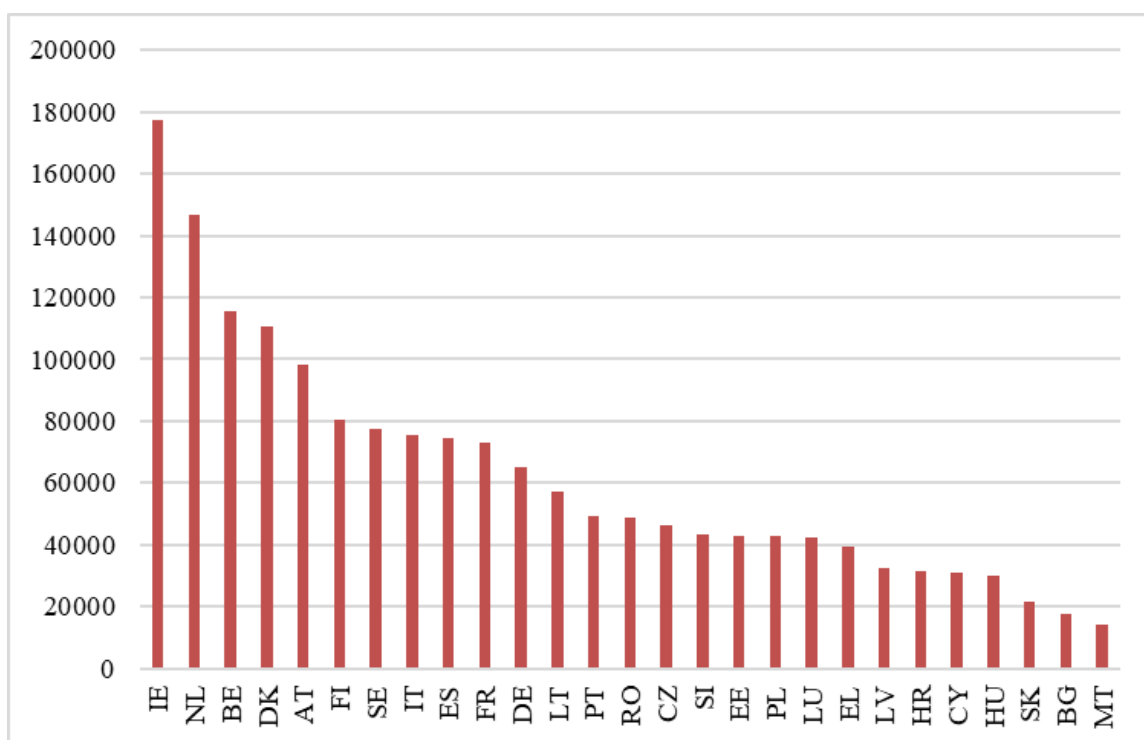


3 pav. ES maisto pramonės darbo našumo kaita 2010–2023 m. (sudaryta autorės remiantis Eurostat)

2023 m. ES maisto pramonės darbo našumo duomenys (žr. 4 pav.) atskleidžia ryškų sektoriaus fragmentuotumą ir didelį skirtumą tarp šalių. Vertinant pridėtinę vertę, tenkančią vienam darbuotojui (€/darbuotojui), išryškėja aiški Rytų ir Vakarų Europos diferenciacija. Didžiausiu našumu pasižymi Airijos, Nyderlandų, Belgijos ir Danijos maisto pramonė, kur rodikliai viršija 100 tūkst. €/darbuotojui. Ypač išsiskiria Airija, kurios darbo našumas artėja prie 180 tūkst. €/darbuotojui ribos. Tokių rezultatų lemia aukštas kapitalo intensyvumas, pažangi technologinė bazė, automatizuoti gamybos procesai bei aukštos pridėtinės vertės produktų gamyba (ypač pieno, gėrimų ir

biotechnologijų subsektoriuose). Vidutinį produktyvumo lygį (60–80 tūkst. €/darbuotojui) demonstruoja Vokietija, Prancūzija, Italija, Suomija, Ispanija ir Švedija. Šiose šalyse maisto pramonė išlieka svarbia ekonomikos dalimi, o našumo augimą palaiko nuolatinės investicijos į procesų efektyvinimą, energetinį taupymą ir inovacijas tiekimo grandinėse. Tuo tarpu mažiausiu produktyvumu išsiskiria Bulgarija, Slovakija ir Malta, kur našumas neviršija 25 tūkst. €/darbuotojui. Šiose šalyse maisto sektorius vis dar grindžiamas tradiciniais gamybos metodais, o investicijos į skaitmenines technologijas bei TI yra ribotos.

Bendra tendencija rodo, kad Vakarų ir Šiaurės Europos šalys lenkia Rytų ir Pietų Europą beveik du kartus pagal darbo našumo lygį, o šis atotrūkis glaudžiai susijęs su inovacijų ekosistemos brandumu. Šalyse, kuriose sparčiau diegiamos skaitmeninės technologijos ir tvarumo sprendimai pasiekiamas spartesnis produktyvumo augimas bei mažesnės sąnaudos.



4 pav. ES maisto pramonės darbo našumas (€/darbuotojui) 2023 m. valstybėse narėse (sudaryta autorės remiantis Eurostat)

5 pav. pateikta ES maisto pramonės sektoriaus investicijų dinamika 2011–2022 metais. Grafikas rodo nuoseklų sektoriaus investicijų augimą 2011–2022 m., išreikštą mln. €. Analizuojamu laikotarpiu investicijos padidėjo daugiau nei dvigubai – nuo maždaug 24 mlrd. € 2011 m. iki beveik 49 mlrd. € 2022 m., kas rodo ilgalaikę investicinio aktyvumo stiprėjimo tendenciją.

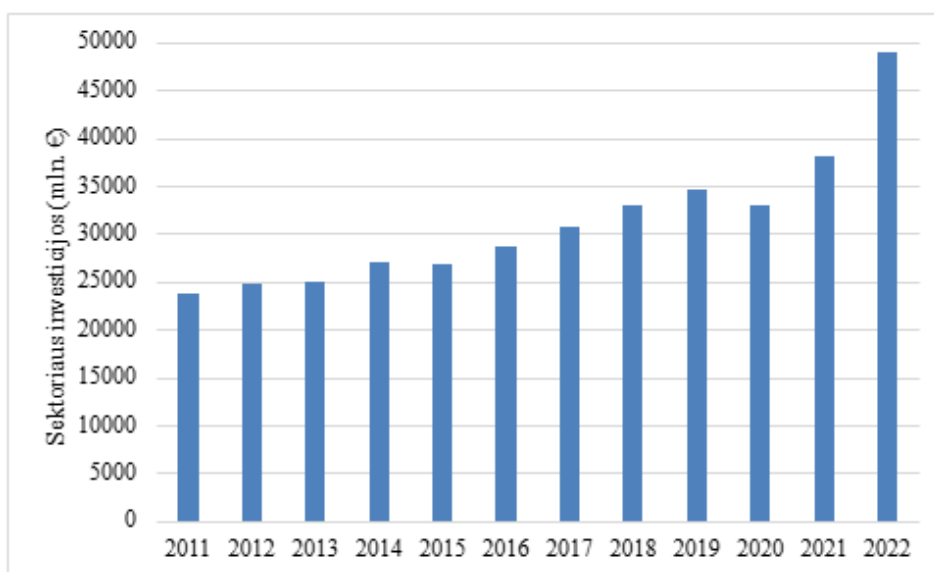
2011–2014 m. investicijos augo santykinai tolygiai, be ryškių šuolių. Tai yra būdinga laikotarpiui po pasaulinės finansų krizės, kai verslo sektorius palaipsniui atkūrė investicinius pajėgumus ir vengė per didelės rizikos. 2015 m. matomas nedidelis investicijų sumažėjimas, kuris gali būti siejamas su didesniu ekonominiu neapibrėžtumu Europos Sąjungoje.

2016–2019 m. investicijų augimas tampa vis spartesnis ir stabilesnis. Šis laikotarpis sutampa su ES struktūrinių fondų panaudojimu, technologiniu atsinaujinimu bei didėjančiomis investicijomis į

automatizaciją, skaitmenizaciją ir gamybos efektyvumą. Tai iš esmės parodo struktūrinį sektoriaus stiprėjimą ir orientaciją į ilgalaikį konkurencingumą.

2020 m. fiksuojamas aiškus investicijų sumažėjimas, kuris sutampa su COVID-19 pandemijos pradžia – pandemija sukėlė tiekimo grandinių sutrikimus, neapibrėžtumą ir privertė dalį įmonių atidėti arba sumažinti planuotas investicijas.

2021–2022 m. vėl stebimas ryškus investicijų augimas, o 2022 m. pasiekia aukščiausią analizuojamo laikotarpio lygį. Šis šuolis gali būti siejamas su ekonomikos atsigavimu po pandemijos, atidėtų investicijų realizavimu, didesniu ES finansavimo intensyvumu bei augančiomis investicijomis į tvarius ir skaitmeninius sprendimus.



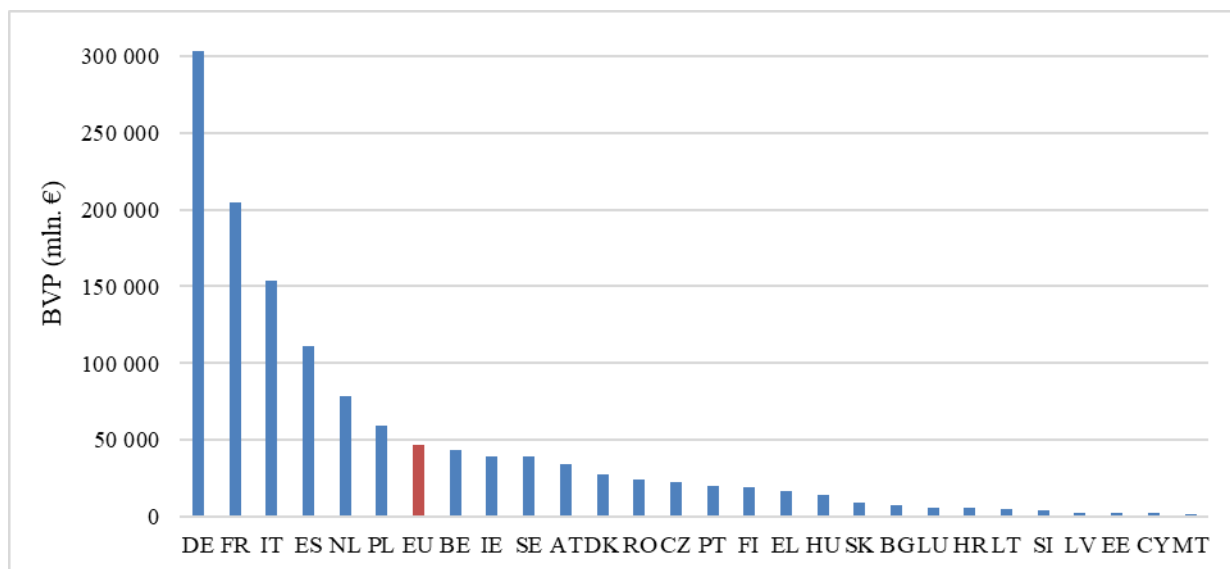
5 pav. Investicijos į ES maisto pramonę 2011-2022 m. (Eurostat)

6 pav. grafikas rodo maisto pramonės bendrosios pridėtinės vertės pasiskirstymą tarp Europos šalių, išreikštą mln. eurų, ir atskleidžia ryškią šio sektoriaus ekonominės reikšmės koncentraciją. Vokietija išsiskiria kaip didžiausia maisto pramonės BPV kūrėja – jos rodiklis siekia apie 300 mlrd. €, o tai sudaro aiškiai dominuojančią dalį visos imties. Prancūzija (~200 mlrd. €) ir Italija (~155 mlrd. €) sudaro antrąją lyderių grupę, tačiau jų maisto pramonės sukuriama BPV vis dar yra reikšmingai mažesnė nei Vokietijos, kas rodo didesnę Vokietijos pramoninį mastą ir rinkos apimtį.

Toliau seka Ispanija (~110 mlrd. €) ir Nyderlandai (~80 mlrd. €), kurių maisto pramonės indėlis į BVP yra vidutinis ES mastu. Palyginus su Vokietija, šių šalių BPV yra atitinkamai beveik tris ir keturis kartus mažesnis, tačiau vis dar gerokai lenkia mažesnių ekonomikų rodiklius. Lenkijos (~60 mlrd. €) rezultatas rodo sparčiai augančios ekonomikos vaidmenį, kur maisto pramonė sudaro reikšmingą nacionalinės gamybos dalį.

Vidurinėje pasiskirstymo dalyje esančios šalys – Belgija, Airija, Estija, Švedija ir Austrija – generuoja maždaug 30-50 mlrd. € BPV. Šios šalys pasižymi labiau specializuota, dažnai į eksportą orientuota maisto pramone. Jų maisto pramonės BPV yra 6-10 kartų mažesnė nei Vokietijos, kas pabrėžia ES ekonominės struktūros netolygumą.

Mažesnėse šalyse – Danijoje, Kroatijoje, Čekijoje, Portugalijoje, Suomijoje ir Graikijoje – maisto pramonės BPV siekia apie 10-30 mlrd. €, o tai rodo ribotą sektoriaus mastą arba didesnę ekonomikos diversifikaciją kitų sektorių atžvilgiu. Grafiko dešinėje dalyje esančios valstybės – Vengrija, Slovakija, Bulgarija, Liuksemburgas, Lietuva, Latvija, Slovėnija, Islandija, Estija, Kipras ir Malta – pasižymi itin maža maisto pramonės BPV, dažnai neviršijančia 5-10 milijardų eurų, kas atspindi mažą vidaus rinką ir ribotus gamybos pajėgumus.



6 pav. ES valstybių narių maisto sektoriaus BVP dalis 2024 m. (sudaryta autorės remiantis Eurostat)

7 pav. atspindi vidutinį darbo užmokestį maisto pramonėje ES šalyse (€/darbuotojui) ir aiškiai parodo ryškius atlyginimų skirtumus tarp valstybių. Didžiausi vidutiniai darbo užmokesčiai fiksuojami Danijoje (~61 tūkst. €), Belgijoje (~50 tūkst. €) ir Nyderlanduose (~47 tūkst. €). Šios šalys pasižymi aukštu darbo našumu, didesne pridėtine verte vienam darbuotojui bei stipriai kolektyvinėmis darbo santykių sistemomis, kas atspindi ir atlyginimų sistemoje.

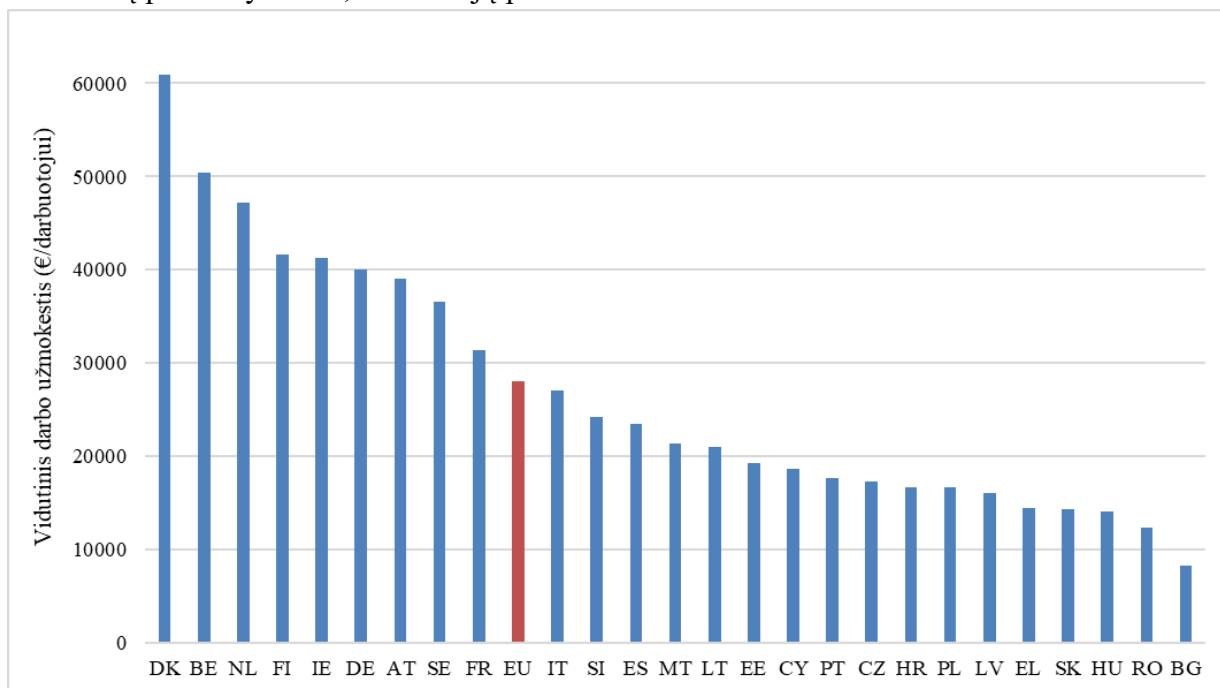
Antroje grupėje – Suomija, Airija, Vokietija, Austrija ir Švedija – vidutinis darbo užmokestis svyruoja maždaug 36–42 tūkst. €. Nors šių šalių maisto pramonė dažnai pasižymi dideliu mastu ir technologiniu išsivystymu, atlyginimų lygis čia yra šiek tiek mažesnis nei absoliučių lyderių, tačiau vis dar gerokai viršija ES vidurkį.

ES vidurkis (~ 28 tūkst. €) grafike pažymėtas atskirai ir leidžia aiškiai palyginti šalių pozicijas. Virš ES vidurkio esančios šalys sudaro mažumą, o didžioji dalis ES valstybių pasižymi žemesniu atlyginimų lygiu. Italija (~27 tūkst. €) yra arti ES vidurkio, tačiau jau patenka į žemesnę atlyginimų grupę.

Toliau sekančiose šalyse (Slovėnijoje, Ispanijoje, Maltoje, Lietuvoje, Estijoje ir Kipre) vidutinis darbo užmokestis siekia 20–25 tūkst. €, t. y. yra apie 15–30 % mažesnis nei ES vidurkis. Šiose ekonomikos maisto pramonė dažniau orientuota į mažesnės pridėtinės vertės produktus, o darbo sąnaudos išlieka santykinai žemesnės.

Mažiausi vidutiniai atlyginimai fiksuojami Portugalijoje, Čekijoje, Kroatijoje, Lenkijoje, Latvijoje, Slovakijoje, Vengrijoje, Rumunijoje ir Bulgarijoje, kur jie dažniausiai neviršija 15–18 tūkst. €, o

Bulgarijoje siekia apie 8 tūkst. €. Tai lemia tam tikrą konkurencingumą kainos prasme, tačiau kartu kelia iššūkių produktyvumui, darbuotojų pritraukimui ir sektoriaus modernizavimui.



7 pav. ES valstybių narių maisto sektoriaus vidutinis metinis darbo užmokestis 2023 m. (Eurostat)

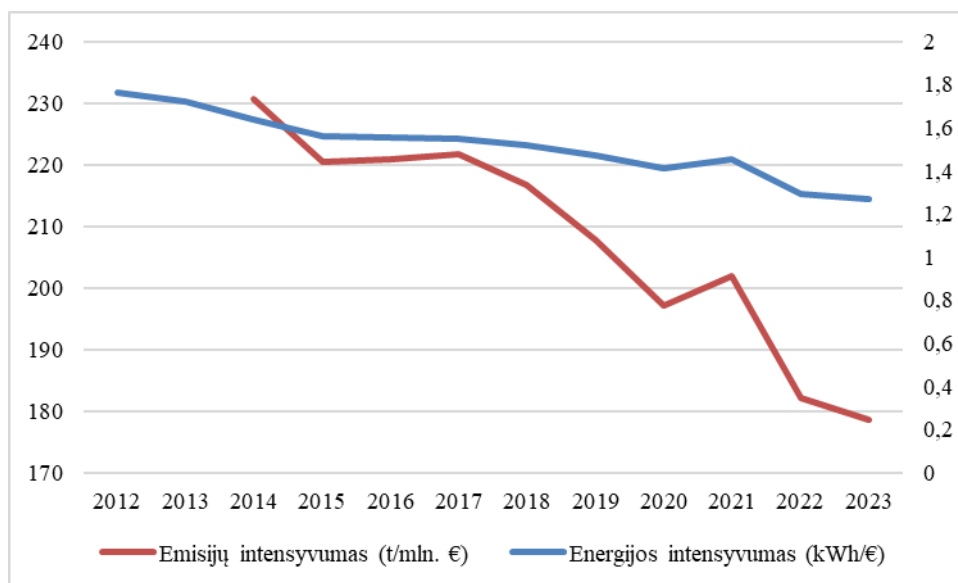
4.2. ES maisto pramonės aplinkosaugos rodiklių analizė

8 pav. grafike pateikti du rodikliai – emisijų intensyvumas ir energijos intensyvumas laikotarpiu nuo 2012 iki 2023 m. Emisijų intensyvumo reikšmės pateiktos kairėje ašyje, o energijos intensyvumo – dešinėje ašyje. Per 2012–2023 m. laikotarpį tiek energijos, tiek emisijų intensyvumo rodikliai rodo aiškų efektyvumo augimą ir pereinamąjį laikotarpį link tvaresnės gamybos. Energijos intensyvumas, išreikštas kilovatvalandėmis vienam eurui sukurtos vertės, 2012 m. siekė 1,76 kWh/€, o 2023 m. sumažėjo iki 1,27 kWh/€. Vadinasi, per dvylika metų energijos sąnaudos, tenkančios vienam ekonominės vertės eurui, sumažėjo apie 28 %. Šis nuoseklus mažėjimas rodo ilgalaikį energijos vartojimo efektyvumo didėjimą – gamybos procesai tapo modernesni, labiau automatizuoti, buvo diegiamos energiją taupančios technologijos. Ypač pastebimas intensyvumo mažėjimas vyko 2014–2019 m., kai rodiklis sumažėjo nuo 1,64 iki 1,47 kWh/€, o tai sutapo su spartėjančia skaitmenizacija ir energetinio efektyvumo didinimo programų įgyvendinimu. 2020 m. energijos intensyvumas sumažėjo iki 1,41 kWh/€, tačiau 2021 m. trumpam padidėjo iki 1,45 kWh/€ – šį svyravimą galima sieti su pandemijos metu sutrikusiomis tiekimo grandinėmis, energijos kainų šuoliu ir struktūriniais gamybos pokyčiais. Po to rodiklis vėl sparčiai sumažėjo ir 2023 m. pasiekė žemiausią viso laikotarpio reikšmę – 1,27 kWh/€.

Emisijų intensyvumo duomenys atskleidžia dar ryškesnį tvarumo progresą. 2014 m. emisijų intensyvumas siekė 230,7 t/mln. €, o 2023 m. sumažėjo iki 178,7 t/mln. €, t. y. daugiau nei 22 % mažėjimas. Pirmuosius kelerius metus (2014–2017 m.) rodiklis kito nedaug – išliko ties 220 t/mln. € riba, tačiau po 2018 m. prasidėjo spartesnis mažėjimas, pasiekęs reikšmingą kritimą 2022–2023 m. laikotarpiu. Tai sutampa su Europos žaliojo kurso įgyvendinimu, didėjančiomis investicijomis į atsinaujinančius energijos išteklius ir gamybos modernizaciją.

Lyginant abu rodiklius matyti, kad jų mažėjimo kryptys yra panašios, tačiau emisijų intensyvumas mažėjo sparčiau nei energijos intensyvumas. Tai rodo, kad šalia energijos vartojimo efektyvumo

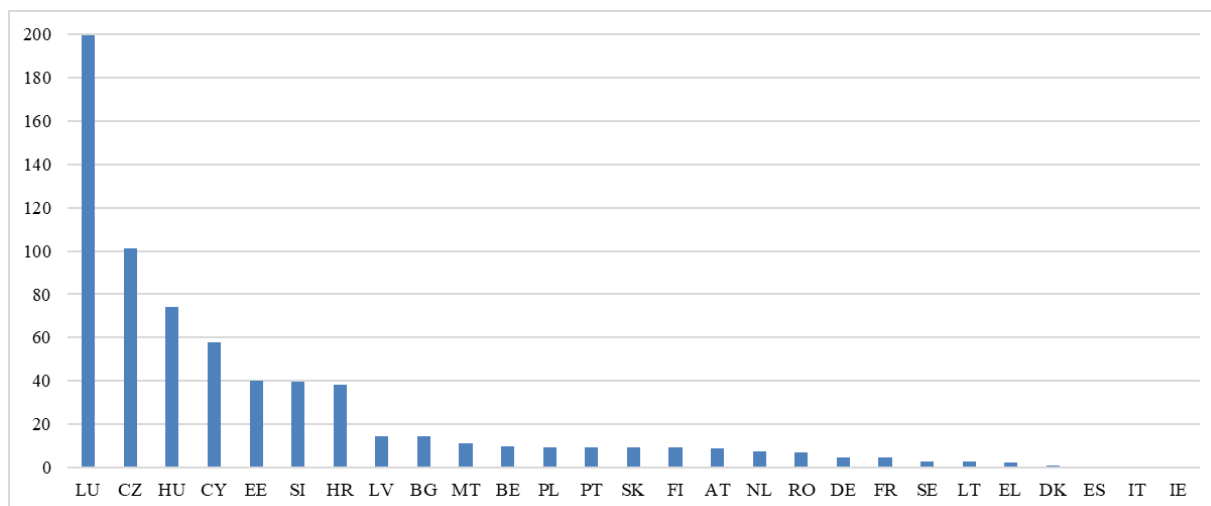
didinimo įvyko ir struktūrinis perėjimas prie švaresnių energijos šaltinių. 2021 m. abu rodikliai buvo trumpam pakilę, tačiau 2022–2023 m. vėl pradėjo mažėti, o tai leidžia daryti išvadą, kad šis svyravimas buvo laikinas ir nesudaro ilgalaikės tendencijos pasikeitimo.



8 pav. ES maisto pramonės energijos ir emisijų intensyvumo kaita 2012–2023 m. (Eurostat)

9 pav. pateikti 2023 m. ES šalių energijos intensyvumo rodikliai (kWh/€) atskleidžia itin didelę pramonės struktūrinę diferenciaciją tarp valstybių narių. Ekonominiu požiūriu šis rodiklis parodo, kiek energijos reikia tam, kad būtų sukurta vieno euro vertės pridėtinė vertė maisto pramonėje. Todėl jis tiesiogiai siejasi su produktyvumu, technologiniu pažangumu ir sąnaudų struktūra. Palyginus ES šalių duomenis matyti, kad skirtumai yra kelių kartų dydžio – Liuksemburge energijos intensyvumas viršija 190 kWh/€, o Čekijoje siekia apie 100 kWh/€. Tuo tarpu tokiose šalyse kaip Airija, Italija ar Ispanija šis rodiklis nesiekia net 5 kWh/€. Tokie skirtumai rodo ne tik technologinius, bet ir ekonominės struktūros netolygumus. Aukštas energijos intensyvumas dažniausiai būdingas toms šalims, kurių maisto pramonėje vyrauja mažesnės pridėtinės vertės gamyba, didesnė priklausomybė nuo tradicinių gamybos metodų bei mažesnis automatizacijos lygis. Šiose valstybėse energija sudaro didesnę gamybos sąnaudų dalį, todėl įmonės tampa labiau pažeidžiamos energijos kainų šokams.

Priešingai, žemo energijos intensyvumo šalys (pvz., Danija, Airija, Nyderlandai, Švedija) pasižymi aukštu darbo našumu ir pažangiomis procesų valdymo sistemomis, leidžiančiomis mažinti energijos nuostolius ir emisijas. Šiose ekonomikose maisto pramonė dažnai grindžiama aukštos pridėtinės vertės, todėl energijos sąnaudos sudaro santykinai mažesnę bendrųjų kaštų dalį.

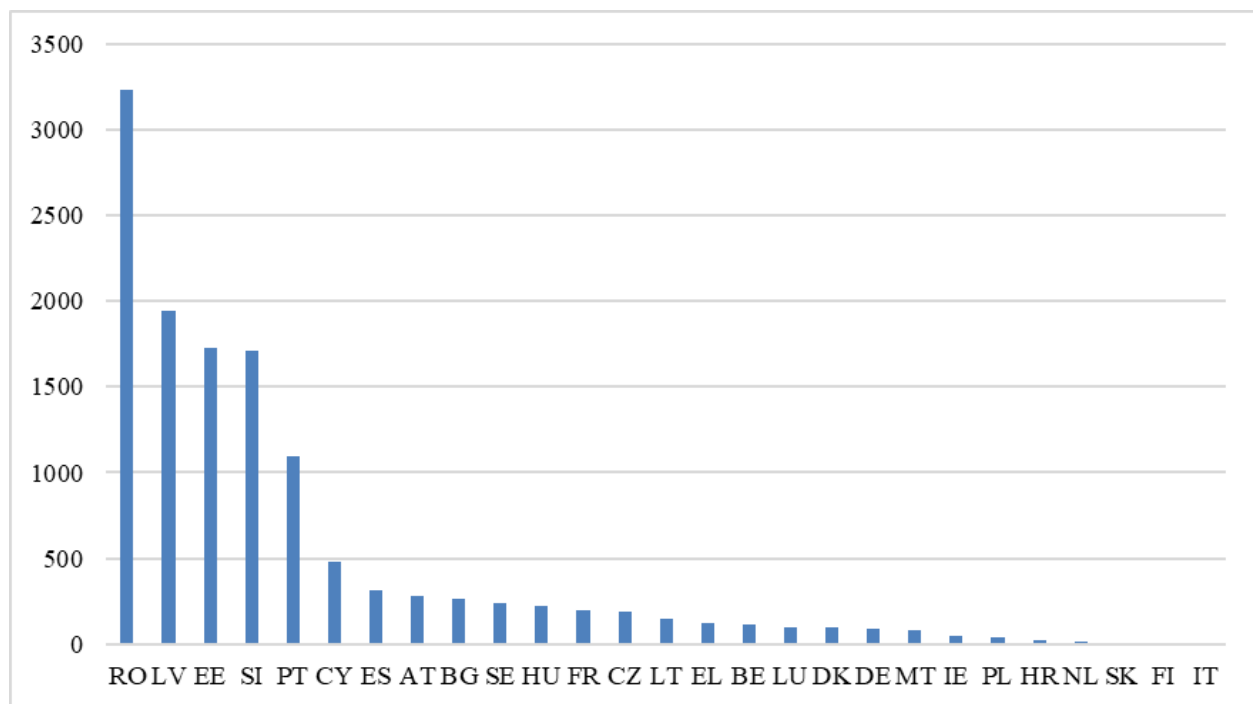


9 pav. ES maisto pramonės energijos intensyvumas (kWh/€) 2023 m. valstybėse narėse (Eurostat)

10 pav. pateikti duomenis rodo, kiek tonų CO₂ tenka vienam mln. eurų pridėtinės vertės maisto pramonėje. Tai labai informatyvus rodiklis – jis vienu metu pasako ir apie technologinį lygį, ir apie energijos struktūrą, ir apie sektoriaus sąnaudų bei rizikų profilį. Pagal grafiką šalis aiškiai galima suskirstyti į tris emisijų intensyvumo grupes. Spektro pradžioje dominuoja Rumunija – pagal grafiką absoliuti lyderė su gerokai didesniu emisijų intensyvumu nei visos kitos šalys. Latvija ir Estija – taip pat labai aukštos reikšmės, bet mažesnės nei Rumunijoje. Čia emisijų intensyvumas kelis kartus didesnis nei ES šalių, esančių skalės gale (pvz., Italija, Suomija, Slovakija). Tai indikuoja, kad šiose šalyse gamyba labai imli energijai ir iškastiniams ištekliams – didelė dalis reikalingos energijos vis dar gaunama iš anglies ar dujų, neefektyvių šilumos sistemų. Taip pat, tokie rezultatai atspindi ir mažesnę technologinę ir procesų modernizaciją – mažiau automatizacijos, jutiklių, realaus laiko energijos monitoringo, silpnesnės ekoinovacijos. Be abejo, tai lemia ir aukštą riziką dėl klimato politikos, nes esant didesniai emisijų intensyvumui, kyla grėsmė, kad anglies kainodarą darys įtaką maržoms, ypač energijai imliose įmonėse.

Toliau seka vidurinė grupė – Slovėnija, Portugalija, Kipras, Ispanija, Austrija, Bulgarija, taip pat kelios kitos, kurių rezultatai jau gerokai žemesni, bet dar ne minimalūs. Čia emisijų intensyvumas mažesnis nei Rytų lyderių, bet vis dar gerokai didesnis nei pačių pažangiausių šalių. Galima daryti išvadą, kad čia dalis sektoriaus jau modernizuota, tačiau struktūriškai vis dar daug tradicinės, energijai imlios gamybos, politikoje ir investicijose tvarumo tema jau nagrinėjama, bet transformacija vyksta netolygiai.

Grafiko gale matome šalis, kurių emisijų intensyvumo rezultatai praktiškai artimi nuliui – Italija, Suomija, Slovakija, Nyderlandai, Airija. Čia emisijų intensyvumas keliolika-keliasdešimt kartų mažesnis nei Rumunijoje ar Latvijoje. Tai indikuoja labai aukštą energijos ir procesų efektyvumą, modernią techniką, nuolatinį energijos suvartojimo monitoringą, platų tvarių technologijų taikymą. Šios šalys atsiduria dvigubos transformacijos „laimėtojų“ pozicijoje, kadangi jos vienu metu turi ir aukštą produktyvumą, ir žemą emisijų intensyvumą.

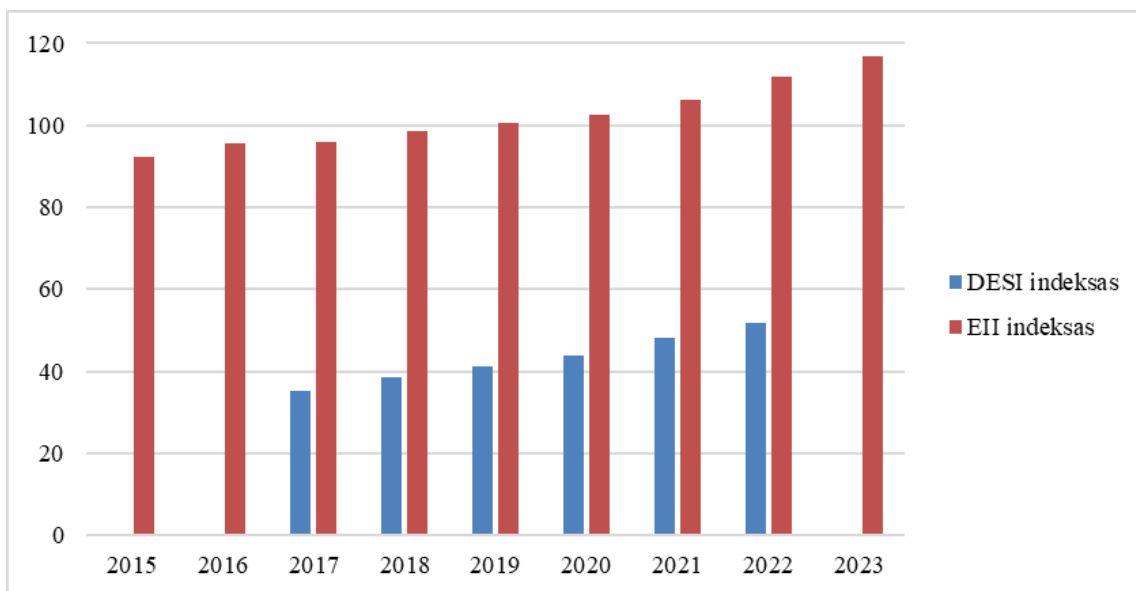


10 pav. ES maisto pramonės emisijų intensyvumas (t/mln. €) 2023 m. valstybėse narėse (Eurostat)

4.3. ES maisto pramonės skaitmenizacijos ir TI rodiklių analizė

11 pav. pateikiama skaitmenizacijos (DESI) ir TI (EII) indeksų dinamika Europos Sąjungos šalyse 2015–2023 m. laikotarpiu. Akivaizdu, kad abu rodikliai nuosekliai didėjo, atspindėdami sparčią technologinę pažangą bei aplinkosauginių inovacijų plėtrą ES. DESI indeksas, matuojantis šalių skaitmeninę pažangą pagal tokias dimensijas kaip ryšiai, žmogiškasis kapitalas, technologijų integracija ir viešosios paslaugos, per nagrinėjamą laikotarpį išaugo nuo maždaug 35 punktų 2017 m. iki beveik 55 punktų 2023 m. Nors Europos Komisija DESI skaičiuoja nuo 2015 m., iki 2017 m. buvo taikoma kita metodologija ir skalė, todėl siekiant duomenų palyginamumo šiame tyrime naudojami tik 2017–2022 m. rodikliai.

Taip pat, reikia pažymėti, kad DESI duomenys skelbiami nacionaliniu, o ne sektoriniu lygmeniu, todėl jie naudojami kaip aproksimacija maisto pramonės skaitmenizacijos lygiui įvertinti. EII indeksas, atspindintis tvarumo inovacijų pažangą (ekologinės inovacijos, išteklių efektyvumas, politikos palaikymas ir rezultatai), per tą patį laikotarpį padidėjo nuo 90 iki 118 punktų. Tai rodo, kad ES valstybės vis labiau orientuojasi į žiedinę ekonomiką, taršos mažinimą ir ekoinovacijų skatinimą.



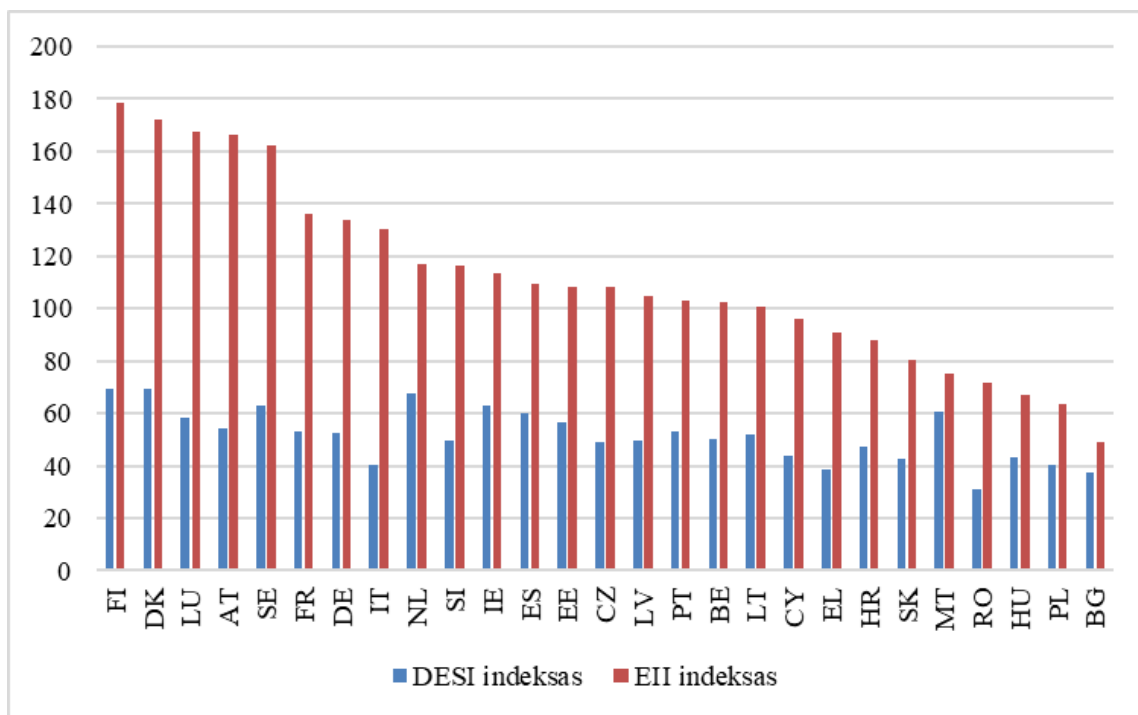
11 pav. ES maisto pramonės DESI ir EII indeksų kaita 2015–2023 m. (sudaryta autorės)

DESI ir EII indeksai 2022 m. rodo didelius skirtumus tarp ES valstybių. Abu rodikliai yra nacionalinio lygmens – jie apibūdina kiekvienos šalies technologinės pažangos bei aplinkosauginių inovacijų integracijos lygį visos ekonomikos mastu, todėl leidžia įvertinti bendrą aplinką, kurioje veikia maisto pramonės įmonės.

Analizuojant duomenis matyti, kad aukščiausi rodikliai abiejuose indeksuose pasiekti Skandinavijos šalyse – Švedijoje, Suomijoje ir Danijoje, taip pat Nyderlanduose ir Airijoje. Šių šalių DESI reikšmės viršija 60 punktų ribą, o EII indeksas siekia 150–180 punktų. Tai rodo pažangią skaitmeninę infrastruktūrą, plačiai taikomus duomenų valdymo sprendimus bei didelę orientaciją į TI. Šiose valstybėse maisto pramonė aktyviai diegia automatizaciją, DI, išteklių efektyvumo stebėsenos sistemas bei tvarius gamybos modelius, o tai lemia aukštesnį produktyvumą ir konkurencingumą.

Vidutinį pažangos lygį demonstruoja Austrija, Vokietija, Prancūzija, Ispanija ir Italija. Šių šalių DESI indeksas siekia 45–55 punktus, o EII indeksas – apie 110–130 punktų. Tokios reikšmės atspindi, kad tiek skaitmenizacijos, tiek TI srityse dar yra neišnaudoto potencialo. Tuo tarpu žemiausi DESI ir EII rodikliai stebimi Bulgarijoje, Rumunijoje, Kroatijoje ir Slovakijoje, kur skaitmenizacijos indeksas nesiekia 40 punktų, o inovacijų lygis mažesnis nei 100 punktų. Tai atspindi vangų technologijų diegimą ir ribotas investicijas į tvarumo sprendimus.

Apskritai, tarp DESI ir EII indeksų egzistuoja teigiamas ryšys – šalys, pasižyminčios aukštu skaitmenizacijos lygiu, dažniausiai rodo ir aukštus TI rezultatus. Tai patvirtina prielaidą apie dvigubos transformacijos sinergiją, kai skaitmeninės technologijos tampa pagrindu aplinkosauginių ir efektyvumo inovacijų diegimui.



12 pav. ES maisto pramonės DESI ir EII indeksai 2022 m. valstybėse narėse (sudaryta autorės)

4.4. ES dvigubos transformacijos ir ekonominių rodiklių empirinis tyrimas

Šiame darbe duomenų analizė atliekama su IBM SPSS bei EViews 12 programinėmis įrangomis.

Dvigubos transformacijos indekso (DTI) apskaičiavimas

Siekiant įvertinti skaitmeninės ir tvarumo transformacijų sąveiką, tyrime buvo sudarytas dvigubos transformacijos indeksas (DTI). Šis indeksas naudojamas kaip sudėtinis rodiklis, leidžiantis vienu metu įvertinti skaitmeninės transformacijos ir tvarumo inovacijų pažangą bei jų tarpusavio sąveiką. DTI sudarymas pagrįstas prielaida, kad ekonominiai rezultatai, tokie kaip produktyvumas, yra veikiami ne atskirų skaitmenizacijos ar tvarumo veiksnių, o jų bendro poveikio.

Pirmuoju etapu buvo naudojami du pagrindiniai rodikliai: bendrą ES skaitmenizacijos lygį apibūdinantis Skaitmeninės ekonomikos ir visuomenės indeksas (DESI) bei ES TI lygį apibūdinantis ekoinovacijų (EII) indeksas. Kadangi šie rodikliai yra matuojami skirtingais masteliais, prieš juos jungiant buvo atliktas jų standartizavimas. Standartizavimas atliktas taikant z-reikšmių metodą, pagal kurį kiekvieno rodiklio reikšmė buvo transformuota atimant vidurkį ir padalijant iš standartinio nuokrypio. Tokiu būdu abu rodikliai tapo palyginami tarpusavyje.

Antruoju etapu dvigubos transformacijos indeksas buvo apskaičiuotas kaip standartizuotų skaitmenizacijos ir tvarumo rodiklių aritmetinis vidurkis. Matematiškai DTI indeksas gali būti išreikštas taip:

$$DTI_t = \frac{Z(DESI_t) + Z(EII_t)}{2}, \quad (4.1)$$

čia: $Z(DESI_t)$ ir $Z(EII_t)$ – atitinkamai standartizuotos skaitmenizacijos ir TI indeksų reikšmės laiko momentu t .

Tokia DTI konstrukcija leidžia vienodai įvertinti abi dvigubos transformacijos dimensijas, neprioritetizuojant nei skaitmenizacijos, nei TI komponento. Indekso reikšmė didėja, kai tiek skaitmeninės transformacijos, tiek TI lygiai yra aukšti, ir mažėja, kai bent viena iš šių dimensijų silpnėja. Todėl DTI indeksas atspindi bendrą dvigubos transformacijos pažangą, o ne atskirų jos komponentų sąveiką.

4.4.1. Stacionarumo vertinimas

Prieš atliekant koreliacinę ir regresinę analizę, tyrime buvo įvertintas naudojamų laiko eilučių stacionarumas. Stacionarumo patikrinimas yra būtinas ekonometrinės analizės etapas, nes nestacionarios laiko eilutės gali lemti klaidingas regresijos išvadas, kai statistiškai reikšmingi ryšiai atsiranda vien dėl susidariusių bendrų tendencijų, o ne dėl realaus ekonominio ryšio.

Stacionarumas šiame tyrime buvo vertinamas taikant išplėstinį Dikio–Fulerio (angl. *Augmented Dickey–Fuller, ADF*) testą, kuris yra vienas plačiausiai naudojamų metodų laiko eilučių vienetinės šaknies egzistavimui tikrinti. ADF testas leidžia nustatyti, ar laiko eilutė yra stacionari aplink vidurkį ar tendenciją, ar visgi joje egzistuoja vienetinė šaknis, rodanti nestacionarumą.

Atliekant ADF testą buvo vertinama nulinė hipotezė, kuri teigia, kad laiko eilutė turi vienetinę šaknį ir yra nestacionari. Alternatyvioji hipotezė H_1 sako, kad laiko eilutė yra stacionari. Testo rezultatai buvo vertinami taikant 5 % reikšmingumo lygį – jei p reikšmė yra mažesnė nei 0,05, nulinė hipotezė atmetama ir laikoma, kad laiko eilutė yra stacionari. Gauti ADF testo rezultatai pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Laiko eilučių stacionarumo vertinimo rezultatai

Kintamasis	Laiko eilutės integruotumas
<i>Priklausomas kintamasis</i>	
PROD	I(1)
<i>Nepriklausomi kintamieji</i>	
DESI	I(1)
EII	I(1)
DTI	I(1)
INVEST	I(1)
GDP	I(1)
WAGE	I(1)
ENERG	I(0)
EMIS	I(0)

Stacionarumo vertinimo rezultatai parodė, kad didžioji dalis tiriamų kintamųjų lygių pavidalu nėra stacionarūs. Darbo našumo (PROD), skaitmenizacijos lygio (DESI), tvarumo inovacijų lygio (EII), dvigubos transformacijos indekso (DTI), bendrojo vidaus produkto (GDP), investicijų (INVEST) bei darbo užmokesčio (WAGE) laiko eilutės pasižymėjo vienetinės šaknies požymiais, todėl buvo priskirtos pirmojo integracijos laipsnio procesams I(1). Energijos intensyvumo (ENERG) ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų intensyvumo (EMIS) rodikliai yra stacionarūs.

4.4.2. Normalumo vertinimas

Kintamųjų skirstinių normalumas bus vertinamas taikant Šapiro-Vilko kriterijų, kadangi stebinių imtis yra pakankamai maža ($N < 50$), todėl Kolmogorovo-Smirnovo kriterijus gali būti netikslus. Testu buvo tikrinama nulinė hipotezė, teigianti, kad duomenys yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Vertinimas atliktas taikant 5 % reikšmingumo lygį. Skirstinių normalumo patikrinimo rezultatai pateikti 14 lentelėje.

14 lentelė. Skirstinių normalumo tikrinimas

Kintamasis	Tikimybė
Δ PROD	0,183
Δ DESI	0,450
Δ EII	0,881
Δ DTI	0,708
Δ INVEST	0,713
Δ GDP	0,514
Δ WAGE	0,894
ENERG	0,550
EMIS	0,949

Gauti rezultatai rodo, kad visų analizuojamų kintamųjų p reikšmės viršija 0,05, todėl nėra pagrindo atmesti nulinės hipotezės apie normalųjį skirstinį.

4.4.3. Koreliacinė analizė

Atlikus laiko eilučių stacionarumo ir normalumo vertinimą, tolesniame tyrimo etape buvo atlikta koreliacinė analizė. Koreliacinės analizės tikslas – įvertinti tiesinius ryšius tarp produktyvumo pokyčių, dvigubos transformacijos rodiklių, ekonominių veiksnių bei tvarumo rodiklių. Ši analizė leidžia nustatyti ryšio kryptį ir stiprumą, tačiau, visgi, nėra skirta priežastiniams ryšiams identifikuoti.

Koreliacinė analizė buvo atlikta taikant Pirsono koreliacijos koeficientą, kuris yra tinkamas, kai analizuojami kintamieji pasižymi artimu normaliam skirstiniui pasiskirstymu ir yra stacionarūs. Pirsono koreliacija ir jos patikimumas vertinant ryšį tarp kintamųjų pateikta 15 lentelėje. Statistinis reikšmingumas vertinamas taikant 5 % reikšmingumo lygį. Ryšio stiprumas interpretuojamas pagal koreliacijos koeficiento absoliučią reikšmę: silpnas ryšys – $|r| < 0,3$, vidutinio stiprumo ryšys – $0,3 \leq |r| < 0,6$, stiprus ryšys – $|r| \geq 0,6$.

15 lentelė. Kintamųjų koreliacijos matrica

	Δ PROD	Δ DESI	Δ EII	Δ DTI	Δ INVEST	Δ GDP	Δ WAGE	ENERG	EMIS
Δ PROD	1	0,562 (0,324)	-0,172 (0,657)	0,352 (0,561)	0,357 (0,280)	-0,108 (0,766)	-0,622 (0,023)	0,354 (0,259)	0,405 (0,245)
Δ DESI	0,562 (0,324)	1	-0,569 (0,317)	0,906 (0,034)	-0,875 (0,052)	0,715 (0,175)	0,645 (0,240)	-0,858 (0,063)	-0,880 (0,049)
Δ EII	-0,172 (0,657)	0,569 (0,317)	1	0,415 (0,487)	0,577 (0,135)	0,627 (0,052)	0,608 (0,082)	-0,555 (0,121)	-0,588 (0,096)
Δ DTI	0,352 (0,561)	0,906 (0,034)	0,415 (0,487)	1	0,597 (0,287)	0,370 (0,540)	0,277 (0,652)	-0,894 (0,041)	-0,951 (0,013)
Δ INVEST	0,357 (0,280)	-0,875 (0,052)	0,577 (0,135)	0,597 (0,287)	1	0,865 (0,003)	0,873 (0,001)	-0,573 (0,066)	-0,590 (0,095)
Δ GDP	-0,108 (0,766)	0,715 (0,175)	0,627 (0,052)	0,370 (0,540)	0,865 (0,003)	1	0,676 (0,032)	-0,473 (0,167)	-0,467 (0,174)
Δ WAGE	-0,622 (0,023)	0,645 (0,240)	0,608 (0,082)	0,277 (0,652)	0,873 (0,001)	0,676 (0,032)	1	-0,651 (0,022)	-0,709 (0,022)
ENERG	0,354 (0,259)	-0,858 (0,063)	-0,555 (0,121)	-0,894 (0,041)	-0,573 (0,066)	-0,473 (0,167)	-0,651 (0,022)	1	0,995 (0,001)
EMIS	0,405 (0,245)	-0,880 (0,049)	-0,588 (0,096)	-0,951 (0,013)	-0,590 (0,095)	-0,467 (0,174)	-0,709 (0,022)	0,995 (0,001)	1

Koreliacinė analizė su Pirsono koreliacijos koeficientais parodė nevienalytį ryšių pasiskirstymą tarp tiriamų ekonominių, skaitmeninės transformacijos ir tvarumo rodiklių. Produktyvumo pokyčiai (Δ PROD) pasižymi statistiškai reikšmingu stipriu neigiamu ryšiu su darbo užmokesčio pokyčiais

($\Delta WAGE$), kur koreliacijos koeficientas siekia $-0,622$ ($p < 0,05$). Tai rodo, kad trumpuoju laikotarpiu spartesnis darbo užmokesčio augimas gali būti susijęs su produktyvumo augimo sulėtėjimu. Tuo tarpu produktyvumo ryšiai su investicijų ($\Delta INVEST$), bendrojo vidaus produkto (ΔGDP), skaitmenizacijos ($\Delta DESI$), dvigubos transformacijos (ΔDTI) bei tvarumo rodikliais ($ENERG$, $EMIS$, ΔEII) statistiškai reikšmingi nėra, nors kai kuriais atvejais pasižymi vidutinio stiprumo koreliacijomis. Tai leidžia teigti, kad trumpuoju laikotarpiu produktyvumo pokyčiai nėra tiesiogiai susieti su skaitmeninės ar dvigubos transformacijos procesais.

Skaitmeninės transformacijos rodikliai tarpusavyje pasižymi itin stipriu ir statistiškai reikšmingu ryšiu. Tarp $\Delta DESI$ ir ΔDTI nustatyta labai stipri teigiama koreliacija ($r = 0,906$, $p < 0,05$), patvirtinanti, kad dvigubos transformacijos indeksas didele dalimi atspindi skaitmeninės transformacijos dinamiką. Tuo pačiu ΔDTI ir $\Delta DESI$ ryšiai su tvarumo rodikliais yra ryškiai neigiami ir daugeliu atvejų statistiškai reikšmingi. Dvigubos transformacijos indeksas pasižymi labai stipriu neigiamu ryšiu su emisijų intensyvumu ($EMIS$), kur $r = -0,951$ ($p < 0,05$), taip pat stipriu neigiamu ir statistiškai reikšmingu ryšiu su energijos intensyvumu ($ENERG$), kur $r = -0,894$ ($p < 0,05$). Šie rezultatai empiriškai patvirtina dvigubos transformacijos koncepciją, pagal kurią skaitmeninė pažanga yra glaudžiai susijusi su aplinkosauginio efektyvumo didėjimu.

Ekonominiai kintamieji tarpusavyje pasižymi stipriais ir statistiškai reikšmingais teigiamais ryšiais. Investicijų pokyčiai ($\Delta INVEST$) yra glaudžiai susiję su bendrojo vidaus produkto pokyčiais (ΔGDP), kur koreliacijos koeficientas siekia $0,865$ ($p < 0,05$), taip pat su darbo užmokesčio pokyčiais ($\Delta WAGE$), kur $r = 0,873$ ($p < 0,05$). Be to, tarp bendrojo vidaus produkto ir darbo užmokesčio nustatytas statistiškai reikšmingas teigiamas ryšys ($r = 0,676$, $p < 0,05$). Šie rezultatai atspindi makroekonominių procesų tarpusavio priklausomybę.

Tvarumo rodikliai tarpusavyje pasižymi itin stipriu ir statistiškai reikšmingu ryšiu. Tarp energijos intensyvumo ($ENERG$) ir emisijų intensyvumo ($EMIS$) nustatyta beveik tobula koreliacija ($r = 0,995$, $p < 0,01$), rodanti, kad šie rodikliai empiriškai apibūdina glaudžiai susijusius gamybos aplinkosauginius aspektus. Tuo pačiu tiek $ENERG$, tiek $EMIS$ dažniausiai pasižymi neigiamais ryšiais su skaitmeninės ir dvigubos transformacijos rodikliais, kas rodo, jog technologinė ir organizacinė pažanga yra susijusi su efektyvesniu išteklių naudojimu.

4.5. ES dvigubos transformacijos ir ekonominių rodiklių regresinė analizė

4.5.1. Tiesinė regresinė analizė

Remiantis koreliacinės analizės rezultatais, kurie parodė statistiškai reikšmingą ryšį tarp $\Delta PROD$ ir $\Delta WAGE$ kintamųjų, tolesniame tyrimo etape buvo atlikta regresinė analizė. Modelio statistinis reikšmingumas buvo vertinamas taikant 5 % reikšmingumo lygį, modelio parametrai ir jų reikšmingumas pateikti 16 lentelėje.

16 lentelė. Tiesinio regresijos modelio parametrai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis $\Delta WAGE$)

	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t statistika	p reikšmė
	B	Standartinė paklaida	Beta		
(Konstanta)	1396,516	416,838		3,350	0,006
$\Delta WAGE$	-0,001	0	-0,622	-2,636	0,023

Tiesinės regresijos rezultatai parodė, kad darbo užmokesčio pokyčiai turi statistiškai reikšmingą poveikį produktyvumo pokyčiams. Gauta, kad darbo užmokesčio pokyčio koeficientas yra neigiamas ir statistiškai reikšmingas, kas reiškia, jog darbo užmokesčio augimas trumpuoju laikotarpiu yra susijęs su produktyvumo augimo sumažėjimu. Nestandartizuoto koeficiento reikšmė rodo, kad padidėjus darbo užmokesčiui 1 €, produktyvumo pokytis vidutiniškai sumažėja apie 0,001 €. Modelio konstanta yra statistiškai reikšminga, kas rodo, jog net ir esant nulinėms darbo užmokesčio pokyčių reikšmėms, produktyvumo pokytis išlieka teigiamas.

Modelio reikšmingumas, paskaičiuotas pagal Fišerio statistiką, su tikimybe 0,023 ($p < 0,05$) yra lygus 6,95, vadinasi, modelis yra reikšminis. Modelio tikslumas, paskaičiuotas pagal determinacijos koeficientą $R^2 = 0,331$.

Modelio išraiška:

$$\Delta PROD_t = 1396,516 - 0,001 \cdot \Delta WAGE_t + \varepsilon_t$$

Toliau atliekama modelio liekamųjų paklaidų analizė, kurios santrumpa pateikta 17 lentelėje.

17 lentelė. Tiesinio regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizės rezultatai

Vidurkis	Normalumo vertinimas pagal Šapiro-Vilko kriterijų	Paklaidų dispersija	Autokoreliacija
0	$p = 0,094$	Homoskedastinė	Nėra reikšmingos autokoreliacijos (DW = 2,484)

Regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizė parodė, kad pagrindinės regresijos prielaidos yra tenkinamos. Liekamosios paklaidos yra apytiksliai normaliai pasiskirsčiusios, jų dispersija yra pastovi, o autokoreliacijos požymių nenustatyta, kadangi DW reikšmė artima 2. Tai leidžia laikyti gautus regresijos rezultatus statistiškai patikimais.

Apibendrinant galima teigti, kad darbo užmokesčio pokyčiai yra vienintelis analizuotas ekonominis veiksnys, kuris trumpuoju laikotarpiu statistiškai reikšmingai siejasi su produktyvumo pokyčiais. Šis rezultatas leidžia daryti išvadą, jog darbo sąnaudų augimas gali sukelti trumpalaikį produktyvumo spaudimą, o tai yra svarbi prielaida tolesnei analizės daliai, kurioje vertinamas dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui sudėtingesniais ir netiesiniais modeliais.

4.5.2. Netiesinė regresinė analizė

Kadangi koreliacinė ir tiesinė regresinė analizė neatskleidė statistiškai reikšmingo tiesinio ryšio tarp dvigubos transformacijos rodiklio ir produktyvumo pokyčių, tolesniame tyrimo etape buvo taikyti netiesiniai poriniai regresijos modeliai. Toks metodinis sprendimas grindžiamas prielaida, kad dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui gali pasireikšti netiesiniu būdu, ypač trumpuoju laikotarpiu, kai pradines transformacijos stadijas lydi didesni kaštai, o teigiami efektai atsiskleidžia vėliau.

Analizėje buvo taikomi keli poriniai regresijos modeliai – tiesinis, logaritminis, atvirkštinis, kvadratinis (antrojo laipsnio polinomas) ir kubinis (trečiojo laipsnio polinomas). Modelių tinkamumas buvo vertinamas pagal determinacijos koeficientą R^2 , F statistikos reikšmingumą ir regresijos koeficientų statistinį reikšmingumą, taikant 5 % reikšmingumo lygį. Priklausomu

kintamuoju visuose modeliuose buvo naudojamas produktyvumo pokytis ($\Delta PROD$), o nepriklausomu – dvigubos transformacijos indekso pokytis (ΔDTI). Netiesinių regresijos modelių tarp šių kintamųjų suvestinė pateikta 18 lentelėje.

18 lentelė. Netiesiniai regresijos modeliai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis ΔDTI)

Modelis	R^2	F	p reikšmė
Tiesinis	0,124	0,425	0,561
Logaritminis	0,039	0,121	0,751
Atvirkštinis	0,003	0,008	0,934
Antrojo laipsnio polinomas	0,974	37,903	0,026
Trečiojo laipsnio polinomas	0,994	56,741	0,097

Netiesinių porinių regresijos modelių rezultatai parodė, kad dauguma taikytų modelių (tiesinis, logaritminis ir atvirkštinis) neatskleidė statistiškai reikšmingo ryšio tarp dvigubos transformacijos indekso pokyčių ir produktyvumo pokyčių. Tai patvirtina ankstesnius koreliacinės analizės rezultatus, rodančius, kad trumpuoju laikotarpiu šių kintamųjų ryšys nėra tiesinis.

Tuo tarpu kvadratinis regresijos modelis pasižymėjo statistiškai reikšmingu tinkamumu ir tikslumu, kuris, paskaičiuotas pagal determinacijos koeficientą $R^2 = 0,974$. Tai iš esmės parodo, kad dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui yra netiesinis.

Kubinis (trečiojo laipsnio polinomo) modelis pasižymėjo dar didesne paaiškinamąja galia, tačiau jo statistinis reikšmingumas buvo nepakankamas taikant 5 % reikšmingumo lygį.

Atsižvelgiant į tai, kad kvadratinis modelis geriausiai aprašo dvigubos transformacijos ir produktyvumo pokyčių ryšį, toliau atliekama detalesnė šio modelio parametrų analizė, kurios rezultatai pateikti 19 lentelėje.

19 lentelė. Porinio kvadratinio modelio parametrai ir jų reikšmingumas (nepriklausomas kintamasis ΔDTI)

	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t statistika	p reikšmė
	B	Standartinė paklaida	Beta		
(Konstanta)	4422,451	553,229		7,994	0,015
$\Delta WAGE$	-21 449,094	2847,942	-5,342	-7,531	0,017
$\Delta WAGE^2$	26 057,652	3203,998	5,768	8,133	0,015

Modelio parametrų analizė atskleidžia, jog modelio konstanta yra statistiškai reikšminga ir teigiama, kas reiškia, kad net ir esant nuliniam dvigubos transformacijos pokyčiui, produktyvumo pokytis išlieka teigiamas. Pirmojo laipsnio dvigubos transformacijos indekso pokyčio koeficientas yra neigiamas (-21449,094) ir statistiškai reikšmingas ($p = 0,017$). Šis rezultatas reiškia, kad pradiniam dvigubos transformacijos etape didėjantis transformacijos intensyvumas trumpuoju laikotarpiu siejasi su produktyvumo augimo sulėtėjimu.

Antrojo laipsnio dvigubos transformacijos indekso pokyčio koeficientas yra teigiamas (26057,652) ir statistiškai reikšmingas ($p = 0,015$). Šis koeficientas rodo, kad pasiekus tam tikrą dvigubos

transformacijos intensyvumo lygį, neigiamas poveikis produktyvumui palaipsniui silpnėja, o vėliau tampa teigiamas.

Modelio išraiška:

$$\Delta PROD_t = 4422,451 - 21\,449,094 \cdot \Delta DTI_t + 26\,057,652 \cdot (\Delta DTI_t)^2 + \varepsilon_t$$

Toliau atliekama modelio liekamųjų paklaidų analizė, kurios santrumpa pateikta 20 lentelėje. Liekamųjų paklaidų analizė apėmė paklaidų vidurkio, jų pasiskirstymo, dispersijos pastovumo ir tarpusavio nepriklausomumo vertinimą.

20 lentelė. Netiesinio regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizės rezultatai

Vidurkis	Normalumo vertinimas pagal Šapiro-Vilko kriterijų	Paklaidų dispersija	Autokoreliacija
0	p = 0,556	Homoskedastinė	Galima neigiama autokoreliacija (DW = 3,175)

Regresijos modelio liekamųjų paklaidų analizė parodė, kad liekamosios paklaidos yra apytiksliai normaliai pasiskirsčiusios, jų dispersija yra pastovi, o vidurkis lygus nuliui. Autokoreliacijos buvimas buvo vertinamas taikant Durbin–Watson statistiką. Gauta Durbin–Watson reikšmė (DW = 3,175) viršija 2, todėl rodo galimos neigiamos autokoreliacijos požymius liekamosiose paklaidose. Atsižvelgiant į tai, kad analizėje naudojami pirmųjų skirtumų duomenys ir labai ribotas stebėjimų skaičius, toks rezultatas nelaikomas esmine regresijos modelio patikimumą paneigiančia problema.

4.5.2.1. Lūžio taško skaičiavimas

Kadangi kvadratinis porinis regresijos modelis parodė statistiškai reikšmingą netiesinį ryšį tarp dvigubos transformacijos indekso pokyčių ir produktyvumo pokyčių, tolesniame analizės etape buvo apskaičiuotas šio ryšio lūžio taškas. Lūžio taško nustatymas leidžia identifikuoti momentą, nuo kurio dvigubos transformacijos poveikio kryptis keičiasi iš neigiamos į teigiamą, ir suteikia ekonominę prasmę nustatytai priklausomybei. Analizuoto tipo modelyje lūžio taškas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta DTI^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}; \quad (4.2)$$

čia: ΔDTI^* – DTI lūžio taškas; β_1 – linijinio nario koeficientas; β_2 – kvadratinio nario koeficientas.

Įstatant modelio koeficientų reikšmes, gauta, kad lūžio taškas yra:

$$\Delta DTI^* = -\frac{-21\,449,094}{2 \cdot 26\,057,652} \approx 0,412$$

Toks rezultatas reiškia, kad kol dvigubos transformacijos indekso pokytis yra mažesnis nei 0,412, modelis prognozuoja neigiamą arba silpną produktyvumo pokytį. Tačiau viršijus šį slenkstinį dydį, dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui tampa teigiamas, o tai rodo, kad pasiekus pakankamą skaitmeninės ir tvarumo transformacijos intensyvumą, pradeda dominuoti efektyvumo, inovacijų ir masto ekonomijos efektai.

4.6. Empirinio tyrimo rezultatų apibendrinimas ir rekomendacijos

Atliktas empirinis tyrimas leidžia kompleksiskai įvertinti dvigubos transformacijos vaidmenį ES maisto pramonės ekonominiuose procesuose. Gauti rezultatai patvirtina, kad dviguba transformacija nėra vienareikšmis ar linijinis reiškiny, o jos poveikis įmonių produktyvumui pasireiškia per netiesinius mechanizmus.

Pirmiausia, atlikta koreliacinė analizė parodė, kad trumpuoju laikotarpiu, naudojant pirmuosius skirtumus, tiesiniai ryšiai tarp dvigubos transformacijos rodiklių ir produktyvumo dažniausiai nėra statistiškai reikšmingi. Šis rezultatas atitinka mokslinėje literatūroje išsakomas įžvalgas, kad tiek skaitmenizacijos, tiek TI ekonominis poveikis dažnai pasireiškia su laiko vėlavimu ir priklauso nuo pasiektos brandos lygio.

Svarbiausias šio empirinio tyrimo rezultatas yra nustatytas statistiškai reikšmingas kvadratinis ryšys tarp dvigubos transformacijos indekso ir darbo našumo. Tai rodo, kad pradinuose dvigubos transformacijos etapuose produktyvumas gali mažėti arba augti labai nežymiai dėl didėjančių investicinių ir organizacinių kaštų, tačiau pasiekus tam tikrą slenkstinį lygį, transformacijos nauda ima ryškiai didėti. Apskaičiuotas lūžio taškas patvirtina, jog dviguba transformacija tampa ekonomiškai naudinga tik tada, kai ji yra pakankamai intensyvi ir nuosekli.

Tyrimas taip pat parodė, kad darbo užmokestis atlieka svarbų tarpinį vaidmenį šiame procese. Nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp darbo užmokesčio ir produktyvumo, leidžia daryti prielaidą, kad dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui iš dalies realizuojamas per darbo rinkos kanalą. Šis rezultatas dera su naujausia literatūra, kurioje pabrėžiama, kad žaliosios ir skaitmeninės inovacijos didina kvalifikuotos darbo jėgos paklausą, o kartu ir atlyginimus, kas ilgainiui gali lemti didesnę darbo našumą.

Šio darbo rezultatai papildė esamą mokslinę literatūrą dviem svarbiais aspektais. Pirmia, dauguma ankstesnių tyrimų analizuoja skaitmenizaciją ir TI atskirai, tuo tarpu šiame darbe jos vertinamos kaip integruotas dvigubos transformacijos procesas. Antra, nustatytas netiesinis ryšys leidžia paaiškinti, kodėl dalis ankstesnių empirinių tyrimų kartais pateikia prieštaringus rezultatus – tiesiniai modeliai gali neatskleisti transformacijos poveikio dinamikos, ypač pereinamuoju laikotarpiu.

Remiantis tyrimo rezultatais, galima pateikti kelias praktines rekomendacijas:

1. politikos formuotojai turėtų vertinti dvigubą transformaciją kaip ilgalaikį procesą ir vengti trumpalaikiais produktyvumo rodikliais grįstą vertinimą;
2. būtina derinti skaitmenizacijos ir tvarumo politikos priemones, nes atskirai taikomos iniciatyvos gali nesukurti sinerginio efekto;
3. maisto pramonės įmonėms svarbu planuoti pakankamą investicijų mastą ir darbuotojų kompetencijų ugdymą, siekiant pasiekti transformacijos slenkstinį lygį, nuo kurio pradeda dominuoti teigiami produktyvumo efektai.

Išvados

1. Išanalizavus TI ir skaitmenizacijos sampratą mokslinėje literatūroje nustatyta, kad šie procesai vis dažniau nagrinėjami kaip tarpusavyje susiję ir vienas kitą papildantys reiškiniai, o ne atskiri aspektai. Literatūros analizė parodė, kad skaitmenizacija laikoma svarbiu veiksniu, didinančiu įmonių veiklos efektyvumą per procesų automatizavimą, duomenų analitiką ir inovacijų diegimą, tuo tarpu TI orientuotos į ilgalaikį išteklių naudojimo efektyvumą, aplinkosauginio poveikio mažinimą ir atsparumo didinimą. Vis dėlto dauguma ankstesnių tyrimų šiuos procesus analizuoja fragmentiškai, todėl dvigubos transformacijos koncepcija literatūroje dar nėra iki galo empiriškai įtvirtinta, ypač maisto pramonės sektoriuje.
2. Apžvelgus ES politikos kryptis nustatyta, kad skaitmeninė ir žalioji transformacijos yra strategiškai integruojamos, tačiau jų įgyvendinimas maisto pramonėje susiduria su struktūriniais iššūkiais. ES strateginiai dokumentai, tokie kaip Europos žaliasis kursas ir „Skaitmeninės Europos“ iniciatyvos, akcentuoja būtinybę vienu metu didinti sektoriaus konkurencingumą ir mažinti aplinkosauginį poveikį. Vis dėlto maisto pramonė pasižymi dideliu heterogeniškumu, dominuoja MVĮ, kurioms dviguba transformacija reiškia didesnę finansinę ir technologinę naštą. Tai leidžia suprasti, kad ES politikos priemonės yra būtinos, tačiau jų efektyvumas priklauso nuo gebėjimo sumažinti trumpalaikius transformacijos kaštus.
3. Aptarus dvigubos transformacijos teorinius pagrindus, nustatyta, kad skaitmenizacijos ir TI poveikis įmonių veiklos efektyvumui pasižymi sudėtingu ir dažnai netiesiniu pobūdžiu. Teoriniai modeliai rodo, jog pradinėse transformacijos stadijose įmonės susiduria su didesniais investiciniais, organizaciniais ir žmogiškųjų išteklių kaštais, kurie trumpuoju laikotarpiu gali neigiamai veikti produktyvumą. Tačiau ilgainiui, pasiekus pakankamą transformacijos brandos lygį, pradeda dominuoti teigiami efektai – efektyvesnis išteklių naudojimas, didesnė pridėtinė vertė ir inovacinis potencialas.
4. Koreliacinė ir tiesinė regresinė analizė neatskleidė statistiškai reikšmingo tiesinio ryšio tarp dvigubos transformacijos indekso ir produktyvumo pokyčių. Tačiau taikant kvadratinį porinį regresijos modelį nustatytas statistiškai reikšmingas netiesinis ryšys ir apskaičiuotas lūžio taškas, nuo kurio dvigubos transformacijos poveikis produktyvumui tampa teigiamas.
5. Remiantis gautais rezultatais, akivaizdu, kad dviguba transformacija ES maisto pramonėje turėtų būti vertinama kaip ilgalaikė strateginė investicija, o ne trumpalaikis produktyvumo didinimo įrankis. Įmonėms rekomenduojama nuosekliai derinti skaitmenizacijos sprendimus su TI, atsižvelgiant į galimus trumpalaikius neigiamus ekonominius efektus. Politikos formuotojams svarbu orientotis į priemones, kurios padėtų įmonėms įveikti pradinį transformacijos etapą – didinti paramą investicijoms, žmogiškųjų išteklių kompetencijų ugdymui ir technologijų diegimui. Tyrimo rezultatai papildė esamą literatūrą, empiriškai pagrįsdami dvigubos transformacijos netiesinį poveikį produktyvumui ir išryškindami specifinius maisto pramonės sektoriaus ypatumus ES kontekste.

Literatūros sąrašas

1. Accenture. (2021). *Shaping the Sustainable Organization How responsible leaders create lasting value and equitable impact for all stakeholders*. <https://raiseyourhands.org.uk/wp-content/uploads/Accenture-Shaping-the-Sustainable-Organization-Executive-Summary.pdf>
2. Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. (2016). Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review. *International Journal of Management Reviews*, 18(2), 180–205. <https://doi.org/10.1111/IJMR.12068>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER
3. Alamandi, M. (2025). Sustainable Innovation Management: Balancing Economic Growth and Environmental Responsibility. *Sustainability 2025*, Vol. 17, Page 4362, 17(10), 4362. <https://doi.org/10.3390/SU17104362>
4. *All ecolabels on food | Ecolabel Index*. (n.d.). Retrieved July 27, 2025, from <https://www.ecolabelindex.com/ecolabels/?st=category,food>
5. Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the “clean label” trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58–71. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.07.022>
6. Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122–140. <https://doi.org/10.1016/J.ADHOC.2016.12.004>
7. Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120856. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120856>
8. *Beyond Meat*. (n.d.). Retrieved July 28, 2025, from <https://www.beyondmeat.com/en-GB/>
9. Boons, F., & Lüdeke-Freund, F. (2013). Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 45, 9–19. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2012.07.007>
10. Brennen, J. S., & Kreiss, D. (2016). Digitalization. *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, 1–11. <https://doi.org/10.1002/9781118766804.WBIECT111>
11. Carrillo-Hermosilla, J., Del Río, P., & Könnölä, T. (2010). Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, 18(10–11), 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2010.02.014>
12. Cheng, C., Ahmad, S. F., Irshad, M., Alsanie, G., Khan, Y., Ahmad, A. Y. A. B., & Aleemi, A. R. (2023). Impact of Green Process Innovation and Productivity on Sustainability: The Moderating Role of Environmental Awareness. *Sustainability 2023*, Vol. 15, Page 12945, 15(17), 12945. <https://doi.org/10.3390/SU151712945>
13. Chesbrough, H. W. (2003). Open innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. In *IESE Insight*. Harvard Business Press. https://books.google.com/books/about/Open_Innovation.html?hl=lt&id=4hTRWStFhVgC
14. Chi Ffoleau, Y., & Dourian, T. (2020). Sustainable Food Supply Chains: Is Shortening the Answer? A Literature Review for a Research and Innovation Agenda. *Sustainability 2020*, Vol. 12, Page 9831, 12(23), 9831. <https://doi.org/10.3390/SU12239831>

15. Dangelico, R. M., & Pujari, D. (2010). Mainstreaming green product innovation: Why and how companies integrate environmental sustainability. *Journal of Business Ethics*, 95(3), 471–486. <https://doi.org/10.1007/S10551-010-0434-0/METRICS>
16. Delmas, M. A., & Toffel, M. W. (2008). Organizational responses to environmental demands: Opening the black box. *Strategic Management Journal*, 29(10), 1027–1055. <https://doi.org/10.1002/SMJ.701;SUBPAGE:STRING:ABSTRACT;WEBSITE:WEBSITE:SMS;JOURNAL:JOURNAL:10970266;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:10970266;WGROU P:STRING:PUBLICATION>
17. Demartini, M., Pinna, C., Tonelli, F., Terzi, S., Sansone, C., & Testa, C. (2018). *Food industry digitalization: from challenges and trends to opportunities and solutions*. 51(11), 1371–1378. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.08.337>
18. Divaks. (n.d.). Retrieved July 28, 2025, from <https://divaks.com/products/the-beetles-protein-snack/>
19. Donato, C., & D’Aniello, A. (2022). Tell me more and make me feel proud: the role of eco-labels and informational cues on consumers’ food perceptions. *British Food Journal*, 124(4), 1365–1382. <https://doi.org/10.1108/BFJ-04-2021-0416>
20. Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J. K., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: relevance, challenges, and prospects. *Applied Food Research*, 3(2), 100356. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100356>
21. Donnelly, K., Beckett-Furnell, Z., Traeger, S., Okrasinski, T., & Holman, S. (2006). Eco-design implemented through a product-based environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1357–1367. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2005.11.029>
22. Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The impact of corporate sustainability on organizational processes and performance. *Management Science*, 60(11), 2835–2857. <https://doi.org/10.1287/MNSC.2014.1984>
23. Eccles, R. G., & Klimenko, S. (2019). The investor revolution : shareholders are getting serious about sustainability. *Harvard Business Review : HBR*, 97(3).
24. EIB. (2022). *Evidence from the EIB Investment Survey*.
25. Elkington, J. (1998). ACCOUNTING FOR THE TRIPLE BOTTOM LINE. *Measuring Business Excellence*, 2(3), 18–22. <https://doi.org/10.1108/EB025539>
26. European Commission. (n.d.-a). *AI Act | Shaping Europe’s digital future*. Retrieved November 11, 2025, from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>
27. European Commission. (n.d.-b). *EU taxonomy for sustainable activities*. Retrieved July 27, 2025, from https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en
28. European Commission. (n.d.-c). *Europe’s Digital Decade | Shaping Europe’s digital future*. Retrieved November 11, 2025, from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade>
29. European Commission. (n.d.-d). *Farm to Fork Strategy*. Retrieved November 11, 2025, from https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
30. European Commission. (n.d.-e). *The European Green Deal*. Retrieved July 27, 2025, from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
31. European Commission. (2025, April 8). *EU agri-food exports reach record levels of €235.4 billion in 2024 - Agriculture and rural development*. https://agriculture.ec.europa.eu/media/news/eu-agri-food-exports-reach-record-levels-eu2354-billion-2024-2025-04-08_en

32. European Investment Bank. (2022). *EIB Investment Report 2021/2022*.
33. European Investment Bank. (2023). *Digitalisation in Europe 2022–2023*.
https://www.eib.org/attachments/lucalli/20230112_digitalisation_in_europe_2022_2023_en.pdf
34. Europos Komisija. (2020). *Komisijos komunikatas Europos Parlamentui, Europos Vadovų Tarybai, Tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir Regionų komitetui: Naujoji Europos pramonės strategija*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0102>
35. Europos Komisija. (2021). *2020 m. pramonės strategijos atnaujinimas. Siekiant Europos ekonomikos atsigavimo – stipresnė bendroji rinka*.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/lt/ip_21_1884
36. Eurostat. (2024). *Key figures on the European food chain – 2024 edition*.
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-01-24-000>
37. Feniser, C., Burz, G., Mocan, M., Ivascu, L., Gherhes, V., & Otel, C. C. (2017). The Evaluation and Application of the TRIZ Method for Increasing Eco-Innovative Levels in SMEs. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 1125, 9(7), 1125. <https://doi.org/10.3390/SU9071125>
38. Finkbeiner, M. (2014). Product environmental footprint - Breakthrough or breakdown for policy implementation of life cycle assessment? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 266–271. <https://doi.org/10.1007/S11367-013-0678-X/METRICS>
39. *FoodDrinkEurope*. (2025, January 6). <https://www.fooddrinkeurope.eu/resource/data-trends-of-the-european-food-and-drink-industry-2024/>
40. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.01.004>
41. Frank, A. G., Mendes, G. H. S., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014>
42. Galindo-Rueda, F., & Verger, F. (n.d.). *OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity*. <https://doi.org/10.1787/5jlv73sqqp8r-en>
43. Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222–232. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2018.08.011>
44. Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 35(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/J.IJINFOMGT.2014.10.007>
45. Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
46. Gibbs, D., Mol, A. P. J., & Sonnenfeld, D. A. (2001). Ecological Modernisation around the World: Perspectives and Critical Debates. *Economic Geography*, 77(4), 392. <https://doi.org/10.2307/3594110>
47. Gonera, A., Nykamp, H. A., & Carraresi, L. (2023). Incumbents' Capabilities for Sustainability-Oriented Innovation in the Norwegian Food Sector—an Integrated Framework. *Circular Economy and Sustainability*, 3(3), 1299–1326. <https://doi.org/10.1007/S43615-022-00234-1/TABLES/2>

48. Grunert, K. G., Hieke, S., & Wills, J. (2014). Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. *Food Policy*, 44, 177–189. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2013.12.001>
49. Hamam, M., Chinnici, G., Di Vita, G., Pappalardo, G., Pecorino, B., Maesano, G., & D'Amico, M. (2021). Circular economy models in agro-food systems: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/SU13063453>
50. Hansen, E. G., Grosse-Dunker, F., & Reichwald, R. (2009). Sustainability innovation cube - A framework to evaluate sustainability-oriented innovations. *International Journal of Innovation Management*, 13(4), 683–713. <https://doi.org/10.1142/S13639196090002479>
51. Harrison, D., Prenkert, F., Hasche, N., & Carlborg, P. (2023). Business networks and sustainability: Past, present and future. *Industrial Marketing Management*, 111, A10–A17. <https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2023.03.011>
52. Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A., & Ullah Khan, S. (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 47, 98–115. <https://doi.org/10.1016/J.IS.2014.07.006>
53. Hermundsdottir, F., & Aspelund, A. (2022). Competitive sustainable manufacturing - Sustainability strategies, environmental and social innovations, and their effects on firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133474. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133474>
54. IChemE. (n.d.). *Water Management in the Food and Drink Industry*. Retrieved August 8, 2025, from <https://www.icheme.org/media/4808/an-icheme-green-paper-water-management-in-the-food-and-drink-industry.pdf>
55. Ikram, M., Sroufe, R., Rehman, E., Shah, S. Z. A., & Mahmoudi, A. (2020). Do Quality, Environmental, and Social (QES) Certifications Improve International Trade? A Comparative Grey Relation Analysis of Developing vs. Developed Countries. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 545, 123486. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.123486>
56. International Featured Standards. (n.d.). *IFS Portfolio*. Retrieved August 8, 2025, from <https://www.ifs-certification.com/en/ifs-portfolio/standards/food-standard>
57. International Federation of Robotics. (n.d.). Retrieved November 11, 2025, from <https://ifr.org/industrial-robots>
58. Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., & Giallanza, A. (2021). Industry 4.0 technologies for manufacturing sustainability: A systematic review and future research directions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/APP11125725>
59. Jano, T., Hamila, R., Touati, F., & Kharbeche, M. (2024). *Advancing Agri-Food Supply Chain Management Under Industry 5.0 Framework: An Edge-AI Approach*. <https://doi.org/10.46254/AP05.20240114>
60. Jum'a, L., Zimon, D., Ikram, M., & Madzík, P. (2022). Towards a sustainability paradigm; the nexus between lean green practices, sustainability-oriented innovation and Triple Bottom Line. *International Journal of Production Economics*, 245, 108393. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2021.108393>
61. Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci 2022, Vol. 4, Page 26*, 4(3), 26. <https://doi.org/10.3390/SCI4030026>
62. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 219, 179–194. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2019.05.022>

63. Karaman, A. D., Cobanoglu, F., Tunalioglu, R., & Ova, G. (2012). Barriers and benefits of the implementation of food safety management systems among the Turkish dairy industry: A case study. *Food Control*, 25(2), 732–739. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2011.11.041>
64. Kasim, A., & Sann, R. (2022). Sustainability and Consumer Behaviour. *Sustainability and Consumer Behaviour*. <https://doi.org/10.3390/BOOKS978-3-0365-4957-6>
65. Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(8). <https://doi.org/10.1142/S1363919617400151>
66. Klewitz, J., & Hansen, E. G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57–75. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.07.017>
67. Kovacic, Z., García Casañas, C., Argüelles, L., Yáñez Serrano, P., Ribera-Fumaz, R., Prause, L., & March, H. (2024). The twin green and digital transition: High-level policy or science fiction? *Environment and Planning E: Nature and Space*, 7(6), 2251–2278. <https://doi.org/10.1177/25148486241258046>
68. Kshetri, N. (2014). The emerging role of Big Data in key development issues: Opportunities, challenges, and concerns. *Big Data and Society*, 1(2). <https://doi.org/10.1177/2053951714564227>
69. Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124063>
70. Lee, S. (2025). *The Future of Biodegradable Materials*. <https://www.numberanalytics.com/blog/future-biodegradable-materials-innovations>
71. Lee, S. H. N., & Ha-Brookshire, J. (2018). The effect of ethical climate and employees' organizational citizenship behavior on U.S. fashion retail organizations' sustainability performance. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25(5), 939–947. <https://doi.org/10.1002/CSR.1510>
72. León-Bravo, V., Moretto, A., Cagliano, R., & Caniato, F. (2019). Innovation for sustainable development in the food industry: Retro and forward-looking innovation approaches to improve quality and healthiness. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(5), 1049–1062. <https://doi.org/10.1002/CSR.1785>; JOURNAL: JOURNAL:10990925
73. LF Decentralized Trust. (n.d.). *How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric*. Retrieved November 12, 2025, from <https://www.lfdecentralizedtrust.org/case-studies/walmart-case-study>
74. Little, V. J., Holmlund, M., Polsa, P., & Naidu, M. (2023). Towards more resilient food production systems: Implanting sustainability-oriented innovation. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135708. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.135708>
75. Luning, P. A., & Marcelis, W. J. (2020). Food quality management: technological and managerial principles and practices. *Food Quality Management*. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-899-5>
76. Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2011). Cloud computing — The business perspective. *Decision Support Systems*, 51(1), 176–189. <https://doi.org/10.1016/J.DSS.2010.12.006>
77. Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
78. Meyers, D. (n.d.). *Enhancing Supply Chain Transparency Through Innovative Packaging Solutions — Portco Packaging*. Retrieved July 28, 2025, from <https://www.portco.com/portco-packaging/enhancing-supply-chain-transparency-through-innovative-packaging-solutions>

79. Milgrom, P., & Roberts, J. (1990). The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization. *American Economic Review*, 80(3), 511–528. <https://ideas.repec.org/a/aea/aecrev/v80y1990i3p511-28.html>
80. Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
81. Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., & Sscapolo, F. (2022). Towards a green & digital future. *Publications Office of the European Union*, 1–27. <https://doi.org/10.2760/977331>
82. *Nature's Fynd*. (n.d.). Retrieved July 28, 2025, from <https://www.naturesfynd.com/>
83. Nawari, N. O., & Ravindran, S. (2019). Blockchain and the built environment: Potentials and limitations. *Journal of Building Engineering*, 25, 100832. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100832>
84. Ning, J., Zhang, C., Hu, M., & Sun, T. (2024). Accounting for Greenhouse Gas Emissions in the Agricultural System of China Based on the Life Cycle Assessment Method. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 2594, 16(6), 2594. <https://doi.org/10.3390/SU16062594>
85. Official Journal of the European Union. (2024). *Directive - EU - 2024/1760 - EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1760/oj>
86. Paffarini, C., Torquati, B., & Cecchini, L. (2025). The impact of multiple labeling on consumer choices for extra virgin olive oil: A cross-country study. *Agricultural and Food Economics*, 13(1), 1–28. <https://doi.org/10.1186/S40100-025-00363-9/METRICS>
87. Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.12821/IJISPM050104>
88. Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2006). Strategy and society: the link between competitive advantage and corporate social responsibility. *Harvard Business Review*, 84(12), 78–163.
89. Quiroz-Flores, J. C., Aguado-Rodriguez, R. J., Zegarra-Aguinaga, E. A., Collao-Diaz, M. F., & Flores-Perez, A. E. (2024). Industry 4.0, circular economy and sustainability in the food industry: a literature review. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 6(1), 1–24. <https://doi.org/10.1108/IJIEOM-12-2022-0071/FULL/PDF>
90. Rabbi, M. F., & Amin, M. Bin. (2024). Circular economy and sustainable practices in the food industry: A comprehensive bibliometric analysis. *Cleaner and Responsible Consumption*, 14, 100206. <https://doi.org/10.1016/J.CLRC.2024.100206>
91. Reis, J., Amorim, M., Melão, N., & Matos, P. (2018). Digital transformation: A literature review and guidelines for future research. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 745, 411–421. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77703-0_41
92. Rennings, K. (2000). Redefining innovation — eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*, 32(2), 319–332. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3)
93. Robertson, J. L., & Barling, J. (2013). Greening organizations through leaders' influence on employees' pro-environmental behaviors. *Journal of Organizational Behavior*, 34(2), 176–194. <https://doi.org/10.1002/JOB.1820;WGROU:STRING:PUBLICATION>
94. Romer, P. M. (1989). *Endogenous Technological Change*. <https://papers.ssrn.com/abstract=226703>
95. Rott, K. J., Lao, L., Petridou, E., & Schmidt-Hertha, B. (2022). Needs and requirements for an additional AI qualification during dual vocational training: Results from studies of apprentices

- and teachers. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100102. <https://doi.org/10.1016/J.CAEAI.2022.100102>
96. Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial Intelligence A Modern Approach Fourth Edition Global Edition*.
 97. SA8000® Standard - SAI. (n.d.). Retrieved July 27, 2025, from <https://sa-intl.org/programs/sa8000/>
 98. Safe Food Alliance. (n.d.). *What is BRCGS*. Retrieved August 8, 2025, from <https://safefoodalliance.com/food-safety-resources/what-is-brcgs/>
 99. Sharifpour Arabi, H., Fallah Lajimi, H., Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., & Hosseini, S. K. (2025). Enhancing food supply chain sustainability: exploring the role of IoT enablers and sustainable development goals. *Sustainable Futures*, 10, 100979. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2025.100979>
 100. Sim,sek, S., Kara, E. K. ;, Kadir,sim,sek, E., Kadir,sim,kadir,sim,sek, K., Kara, M., Kalıpçı, M. B., & Eren, R. (2024). Sustainability and the Food Industry: A Bibliometric Analysis. *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 3070, 16(7)*, 3070. <https://doi.org/10.3390/SU16073070>
 101. Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312. <https://doi.org/10.2307/1926047>
 102. Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.01.129>
 103. Tabares, S., Parida, V., & Chirumalla, K. (2025). Twin transition in industrial organizations: Conceptualization, implementation framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 123995. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2025.123995>
 104. TagoIO. (2024, November 28). *IoT and the Future of Food Safety and Quality Control*. <https://tago.io/blog/iot-and-the-future-of-food-safety>
 105. Tapscott, Don., & Tapscott, Alex. (2018). *Blockchain Revolution How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies Is Changing the World*.
 106. Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghahremani-Nahr, J., Samadi Parviznejad, P., Nozari, H., & Najafi, E. (2022). Application of internet of things in the food supply chain: a literature review. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 9(4), 475–492. <https://doi.org/10.22105/JARIE.2021.301205.1368>
 107. Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). DYNAMIC CAPABILITIES AND STRATEGIC MANAGEMENT. *Strategic Management Journal*, 18, 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7)
 108. Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management, ICSSSM 2016*. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>
 109. Tidjani, F., Selten, M., & Galen, M. van. (2025). *The EU food and drink industry: a competitiveness analysis*. <https://doi.org/10.18174/689558>
 110. Tilson, D., Lyytinen, K., & Sørensen, C. (2010). Digital infrastructures: The missing IS research agenda. *Information Systems Research*, 21(4), 748–759. <https://doi.org/10.1287/ISRE.1100.0318>
 111. Tolentino-Zondervan, F., & DiVito, L. (2024). Sustainability performance of Dutch firms and the role of digitalization: The case of textile and apparel industry. *Journal of Cleaner Production*, 459, 142573. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.142573>
 112. Tsolakakis, N., Harrington, T. S., & Srai, J. S. (2023). Digital supply network design: a Circular Economy 4.0 decision-making system for real-world challenges. *Production Planning and Control*, 34(10), 941–966. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980907>

113. Van Oppen, C., & Brugman, L. (n.d.). *Organizational capabilities as the key to Sustainable Innovation*. Retrieved August 8, 2025, from https://squarewise.nl/downloads/publicaties/Organizational_Capabilities_as_the_Key_to_Sustainable_Innovation2.pdf
114. Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). Virtualization of food supply chains with the internet of things. *Journal of Food Engineering*, 176, 128–136. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2015.11.009>
115. Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.09.022>
116. Veugeliers, R., Faivre, C., Rückert, D., & Weiss, C. (2023). The Green and Digital Twin Transition: EU vs US Firms. *Intereconomics*, 58(1), 56–62. <https://doi.org/10.2478/IE-2023-0010>
117. Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/J.JSIS.2019.01.003>
118. Wang, Y., Kung, L. A., & Byrd, T. A. (2018). Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 126, 3–13. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2015.12.019>
119. Weber, K. M., & Rohrer, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework. *Research Policy*, 41(6), 1037–1047. <https://doi.org/10.1016/J.RESPOL.2011.10.015>
120. Welford, R., & Frost, S. (2006). Corporate social responsibility in Asian supply chains. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 13(3), 166–176. <https://doi.org/10.1002/CSR.121>
121. Wiese, A., Kellner, J., Lietke, B., Toporowski, W., & Zielke, S. (2012). Sustainability in retailing - a summative content analysis. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 40(4), 318–335. <https://doi.org/10.1108/09590551211211792>
122. Yang, H., Jiao, W., Zouyi, L., Diao, H., & Xia, S. (2025). Artificial intelligence in the food industry: innovations and applications. *Discover Artificial Intelligence*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/S44163-025-00296-8>
123. Zadegan, M. G., Ghazinoory, S., & Nasri, S. (2025). The Triple Helix Model of Innovation and Sustainable Development Goals: A Literature Review. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/SD.70041;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:10991719;CTYPE:STRING:JOURNAL>
124. Zhang, B., & Qu, S. (2023). Green Supply Chain Game: Decision-Making and Coordination Mechanism Design. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 15608, 15(21), 15608. <https://doi.org/10.3390/SU152115608>
125. Zighan, S., Abuhussein, T., Al-Zu'bi, Z., & Dwaikat, N. Y. (2024). A qualitative exploration of factors driving sustainable innovation in small-and medium-sized enterprises in Jordan. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, 18(2), 372–391. <https://doi.org/10.1108/JEC-11-2022-0174>