



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje

Baigiamasis magistro projektas

Ovidijus Kalinauskas

Projekto autorius

Prof. dr. Vytautas Snieška

Vadovas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje

Baigiamasis magistro projektas

Verslo ekonomika (6211JX042)

Ovidijus Kalinauskas

Projekto autorius

**Prof. dr.
Vytautas Snieška**

Vadovas

**Prof. Dr.
Daiva Dumčiuvienė**

Recenzentė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Ovidijus Kalinauskas

Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje

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.

Ovidijus Kalinauskas

Patvirtinta elektroniniu būdu

Kalinauskas, Ovidijus. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Vytautas Snieška; Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: bioanglis, anglies kreditai, tvari žemdirbystė.

Kaunas, 2026. 69 p.

Santrauka

Pastaraisiais metais žemės ūkio sektorius susiduria su didėjančiu spaudimu ne tik užtikrinti ekonominį gyvybingumą, bet ir prisidėti prie klimato kaitos švelninimo tikslų. Europos Sąjungos klimato politika vis labiau orientuojasi ne tik į šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimą, bet ir į anglies dioksido pašalinimą iš atmosferos. Šiame kontekste bioanglis ir anglies dioksido kreditavimo mechanizmai tampa reikšmingomis tvarios žemdirbystės priemonėmis, galinčiomis vienu metu spręsti dirvožemio degradacijos, emisijų mažinimo ir ūkių ekonominio stabilumo problemas. Tačiau Lietuvoje šių sprendimų praktinis taikymas išlieka ribotas, o jų ekonominis pagrįstumas nėra pakankamai sistemiškai ištirtas.

Baigiamojo projekto objektas – bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje. Darbe siekiama įvertinti, kokiomis ekonominėmis sąlygomis bioanglies taikymas ir anglies kreditų generavimas gali būti ekonomiškai pagrįsti bei prisidėti prie tvarios žemdirbystės rinkos plėtos.

Baigiamojo projekto tikslas – įvertinti bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo ekonominį poveikį tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje, atsižvelgiant į makroekonominius ir mikroekonominius veiksnus.

Tyrimo metodai: darbe taikoma kompleksinė tyrimo metodologija, apimanti mokslinės literatūros analizę, statistinių duomenų analizę, koreliacinę analizę ir analizuojamo ūkio bazinio bei alternatyvaus ekonominių scenarijų vertinimą. Empirinio tyrimo metu vertinamas bioanglies taikymo ekonominis efektas, anglies kreditų kainų dinamika, bioanglies taikymo kaštai ir trąšų sąnaudų sutaupymo potencialas skirtingomis makroekonominėmis sąlygomis.

Rezultatai: pagrindiniai tyrimo rezultatai parodė, kad bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo ekonominis poveikis nėra vienareikšmis ir priklauso nuo makroekonominių veiksnių, tokių kaip trąšų kainų svyravimai, žemės ūkio produkcijos kainos ir anglies kreditų rinkos dinamika. Nustatyta, kad kai kuriais laikotarpiais bioanglies taikymas generuoja neigiamą grynąjį ekonominį efektą, tačiau esant palankioms kainų ir sąnaudų kombinacijoms gali tapti ekonomiškai pagrįsta ir prisidėti prie ūkių finansinio stabilumo. Tyrimo rezultatai leidžia daryti išvadą, kad bioanglis gali būti vertinama kaip ilgalaikė, cikliška ir prie rinkos sąlygų prisitaikanti tvarios žemdirbystės priemonė, galinti prisidėti prie tvarios žemdirbystės rinkos plėtos Lietuvoje.

Kalinauskas, Ovidijus. The Use of Biochar and Carbon Credit Schemes for the Development of the Sustainable Agriculture Market in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor Prof. Dr. Vytautas Snieška; School of Economics and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: biochar, carbon credits, sustainable agriculture

Kaunas, 2026. 69 pages.

Summary

In recent years, the agricultural sector has faced increasing pressure not only to ensure economic viability but also to contribute to climate change mitigation objectives. European Union climate policy is increasingly focused not only on reducing greenhouse gas emissions but also on the removal of carbon dioxide from the atmosphere. In this context, biochar and carbon credit schemes are becoming significant tools for sustainable agriculture, as they have the potential to simultaneously address soil degradation, emission reduction, and farm economic stability. However, in Lithuania, the practical application of these solutions remains limited, and their economic justification has not yet been sufficiently and systematically analysed.

The object of the master's thesis is the use of biochar and carbon dioxide credit schemes for the development of the sustainable agriculture market in Lithuania. The study seeks to assess under which economic conditions the application of biochar and the generation of carbon credits can be economically justified and contribute to the development of the sustainable agriculture market.

The aim of the master's thesis is to evaluate the economic impact of biochar and carbon dioxide credit schemes on the development of the sustainable agriculture market in Lithuania, taking into account both macroeconomic and microeconomic factors.

Research methods: the study applies a comprehensive research methodology, including scientific literature analysis, statistical data analysis, correlation analysis, and the evaluation of baseline and alternative economic scenarios of the analysed farm. The empirical analysis assesses the economic effect of biochar application, the dynamics of carbon credit prices, biochar application costs, and the potential for fertiliser cost savings under different macroeconomic conditions.

Results: the main results of the study indicate that the economic impact of biochar and carbon dioxide credit schemes is not uniform and depends on macroeconomic factors such as fertiliser price fluctuations, agricultural commodity prices, and the dynamics of the carbon credit market. It was found that in certain periods biochar application generates a negative net economic effect; however, under favourable price and cost combinations, it can become economically justified and contribute to improved farm financial stability. The findings suggest that biochar can be regarded as a long-term, cyclical, and market-adaptive sustainable agriculture tool with the potential to support the development of the sustainable agriculture market in Lithuania.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Įvadas.....	9
1. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai problematikos analizė	11
1.1. Lietuvos žemės ūkio šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo problematika.....	12
1.2. Anglies pašalinimo iš atmosferos politika Europos Sąjungoje ir trūkstama Lietuvos strateginė kryptis	13
1.3. Lietuvos žemės ūkio ekonominės problemos: emisijų intensyvumas, nepastovumas ir pažeidžiamumas.....	14
2. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystei rinkos plėtrai teoriniai pagrindai.....	18
2.1. Tvarios žemdirbystės samprata	18
2.1.1. Tvarios žemdirbystės praktikos	19
2.1.2. Tvarios žemdirbystės ekonominiai ir socialiniai aspektai	20
2.1.3. Bioekonomika ir žiedinė ekonomika tvarioje žemdirbystėje	22
2.2. Bioanglies literatūrinė analizė	24
2.2.1. Bioanglies poveikis dirvožemiui ir ūkių ekonomikai.....	24
2.2.2. Bioanglies tvarumas ir klimatui naudingumo poveikio vertinimas.....	25
2.2.3. Bioanglies ekonominis potencialas ir rinkos logika.....	26
2.3. Anglies dioksido kreditų rinkos teoriniai pagrindai, veikimo mechanizmas ir žemės ūkių įsitraukimo galimybės	27
2.3.1. Anglies kreditų rinkų tipai.....	28
2.3.2. Žemės ūkio įsitraukimas į anglies dioksido mažinimo sistemas	30
2.3.3. Anglies dioksido kreditų generavimo metodikos žemės ūkyje	30
3. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje vertinimo metodika	34
4. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje empirinio tyrimo rezultatai ir diskusija.....	38
4.1. Makroekonominių veiksmų dinamikos analizė.....	38
4.2. Tiriamojo ūkio ekonominių rodiklių, taikant bioanglį kaip tvarios žemdirbystės įrankį, vertinimas	43
4.3. Analizuojamo ūkio bazinio ir alternatyvaus ekonominių scenarijų vertinimas	51
4.3.1. Ūkio scenarijų skaičiavimo metodika	52
4.3.2. Trašų sąnaudų sutaupymo metodika	54
4.3.3. Ūkio ekonominės padėties apibūdinimas taikant ir netaikant bioanglies technologijos	56
Išvados	61
Literatūros sąrašas	64
Priedai.....	70
1 priedas. Analizuojamo ūkio ir Lietuvos makroekonominių rodiklių normalumo testai (SPSS duomenys)	70

2	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio pardavimo pajamų ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)	71
3	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio bendrų trąšų sąnaudų ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)	71
4	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp Ūkio bendro pelno (nuostolio) ir makroekonominių bei ūkio rodiklių (SPSS duomenys)	72
5	priedas. Bioanglies rodiklių normalumo testai (SPSS duomenys).....	73
6	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp vidutinės bioanglies kreditų kainos ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)	74
7	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje iš 1 tonos bioanglies ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)	74
8	priedas. Koreliacijos koeficientas tarp Bioanglies taikymo kaštų vienai tonai ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)	75
9	priedas. Analizuojamo ūkio ir bioanglies duomenys	75

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Bendras trąšų suvartojimas Lietuvoje (2020–2024 m.) (sudaryta autoriaus remiantis <i>Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu</i>)	15
2 lentelė. Pagrindinės tvarios žemdirbystės praktikos, jų bruožai ir iššūkiai (sudaryta darbo autoriaus)	20
3 lentelė. Bioanglies taikymo metodo preliminarūs kaštai (sudaryta darbo autoriaus)	25
4 lentelė. 2015-2025 metų bioanglies kainos (sudaryta darbo autoriaus)	27
5 lentelė. 2015-2025 metų vidutinės bioanglies generuojamų kreditų kainos (sudaryta darbo autoriaus)	28
6 lentelė. Tyrimui atrinkti priklausomi kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)	35
7 lentelė. Tyrimui atrinkti nepriklausomi kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)	35
8 lentelė. Tyrimui atrinkti kontekstiniai kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)	36
9 lentelė. Tyrimui atrinkti scenariiniai kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)	36
10 lentelė. Normalaus skirstinio neatitinkantys rodikliai pagal <i>Shapiro-wilk</i> testą (remiantis SPSS duomenimis)	43
11 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio pardavimo pajamų ir makroekonominių rodiklių (remiantis SPSS duomenimis)	45
12 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio bendrų trąšų sąnaudų ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)	45
13 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp Ūkio bendro pelno (nuostolio) ir makroekonominių bei ūkio rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)	46
14 lentelė. Normalumo tikrinimas pagal <i>Shapiro-wilk</i> testą (remiantis SPSS duomenimis)	47
15 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp vidutinės bioanglies kreditų kainos ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)	47
16 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje iš 1 tonos bioanglies ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)	48
17 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp Bioanglies taikymo kaštų vienai tonai ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)	49
18 lentelė. 2015 -2024 m. EF lūžio taško skaičiavimas (sudaryta darbo autoriaus)	53
19 lentelė. 2015-2024 metų bioanglies grynas efektas Eur/t. (sudaryta darbo autoriaus)	53
20 lentelė. Apskaičiuotas trąšų sąnaudų sutaupymas, taikant $\alpha_A - 10\text{proc.}$, $\alpha_P - 5\text{proc.}$, $\alpha_K - 0 \text{ proc.}$ (sudaryta darbo autoriaus)	55
21 lentelė. Bendras metinis efektas su bioanglies taikymu bei trąšų sutaupymu (sudaryta darbo autoriaus)	55

Paveikslų sąrašas

1 pav. Žemės ūkio dalis ŠESD emisijose pagal šalį , 2023 m. (sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis)	15
2 pav. Azoto, fosforo ir kalio trąšų procentinė struktūra (2020-2024) (sudaryta autoriaus remiantis Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu)	16
3 pav. Žemės ūkio plotų naudojimas, 2023m.) (sudaryta autoriaus remiantis LAMMC, 2022)	16
4 pav. Pajamų iš grūdų kaita (2020-2023 m.) (sudaryta autoriaus remiantis Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu)	17
5 pav. Bioekonomikos modelis (sudaryta autoriaus remiantis Topliceanu ir Datcu, 2024.)	22
6 pav. Žiedinės ekonomikos modelis (sudaryta autoriaus remiantis Europos Parlamento duomenimis)	23
7 pav. „ <i>Label Bas Carbone</i> “ sistema (sudaryta autoriaus remiantis Blacku, 2022)	32
8 pav. BVP vienam gyventojui (Eur) (sudaryta darbo autoriaus)	38
9 pav. Žemės ūkyje sunaudotos mineralinės trąšos (sudaryta darbo autoriaus)	39
10 pav. Žemės ūkio produkcijos reikmėms įsigytų trąšų kainų indeksas	40
11 pav. Žemės ūkio produkcija	41
12 pav. Žemės ūkio produkcijos kainos metų ketvirčiais	42
13 pav. Bendras ir žemės ūkio vidutinis darbo užmokestis per mėnesį	43
14 pav. Normalumo tikrinimas pagal <i>Shapiro-wilk</i> testą po logaritmvimo (remiantis SPSS duomenimis)	44

Įvadas

Temos aktualumas. Pastaraisiais metais žemės ūkio sektoriaus plėtrai vis didesnę įtaką daro ne tik technologiniai ar aplinkosauginiai sprendimai, bet ir makroekonominiai veiksniai, tokie kaip ekonomikos augimo tempai, infliacija, palūkanų normų pokyčiai, bei valstybės taikomos ekonominės ir aplinkosaugos politikos priemonės. Šie veiksniai tiesiogiai veikia ūkių veiklos kaštus, investicinius sprendimus ir ilgalaikį ekonominį tvarumą (FAO, 2022). Didėjant klimato kaitos poveikiui ir Europos Sąjungos aplinkosauginiams reikalavimams, žemės ūkio subjektai vis dažniau ieško sprendimų, kurie leistų derinti ekonominį efektyvumą ir tvarios plėtros principus (OECD, 2021). Bioanglies panaudojimas ir anglies kreditavimo mechanizmai tampa vis svarbesnėmis priemonėmis tvarios žemdirbystės kontekste. Bioanglis gali prisidėti prie dirvožemio kokybės gerinimo, anglies sekvestracijos bei emisijų mažinimo, o anglies kreditavimas sudaro galimybes ūkiams gauti papildomas pajamas už aplinkosaugines veiklas (O’Laughlin et al, 2009). Tačiau šių priemonių ekonominis efektyvumas ir praktinis taikymas priklauso nuo platesnės makroekonominės aplinkos, kuri lemia investicijų atsiperkamumą, sąnaudų struktūrą ir ūkių finansinius rezultatus. Nepaisant didėjančio susidomėjimo tvaria žemdirbyste, Lietuvoje trūksta tyrimų, kurie sistemiškai vertintų bioanglies ir anglies kreditavimo panaudojimą, atsižvelgiant į makroekonominius veiksnius ir jų sąveiką su ūkių ekonominiais rodikliais. Dėl šios priežasties tampa ypač svarbu analizuoti, kaip skirtingos makroekonominės sąlygos veikia bioanglies taikymo rezultatus ir tvarios žemdirbystės rinkos plėtrą. Tai yra aktualu tiek teoriniu, tiek praktiniu požiūriu, nes toks tyrimas leidžia įvertinti inovatyvių sprendimų ekonominį pagrįstumą realiomis rinkos sąlygomis.

Tyrimo problema. Nors bioanglis ir anglies kreditavimo mechanizmai pripažįstami kaip perspektyvios tvarios žemdirbystės priemonės, Lietuvoje trūksta kompleksinių ekonominių tyrimų, vertinančių jų poveikį tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai. Neaišku, kokiomis ekonominėmis sąlygomis šių priemonių taikymas yra finansiškai pagrįstas ir kokią realią naudą jos gali sukurti žemės ūkio subjektams.

Tyrimo objektas – bioanglies ir anglies kreditavimo panaudojimas tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje.

Tyrimo tikslas – įvertinti bioanglies ir anglies kreditavimo panaudojimo ekonominį poveikį tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje.

Tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti tvarios žemdirbystės, bioanglies ir anglies kreditavimo problematiką.
2. Išanalizuoti tvarios žemdirbystės, bioanglies ir anglies kreditavimo teorinį pagrindą.
3. Sudaryti bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje vertinimo metodologiją.
4. Atlikti makroekonominį ir mikroekonominį bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje empirinį vertinimą.
5. Atlikti analizuojamo ūkio bazinio ir alternatyvaus, naudojant bioanglį, ekonominių scenarijų vertinimą.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė ir sintezė, statistinių duomenų analizė, lyginamoji analizė ir tyrimo objekto bazinio ir alternatyvaus scenarijaus vertinimas.

1. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai problematikos analizė

Pastangos švelninti klimato kaitą siekiant tvarumo tikslų, kuriuos valstybės yra priverstos pasiekti dėl Europos sąjungos nustatytų įpareigojimų apima tiek šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimą, tiek anglies sancaupų didinimą. Daugelis Europos Sąjungos (ES) valstybių narių, taip pat ir Lietuva, susiduria su reikšmingais sunkumais siekiant žemės naudojimo, žemės naudojimo keitimo ir miškininkystės sektoriaus anglies sancaupų tikslų (Hyrynen et al., 2023). Viena svarbi galimybė yra didinti dirvožemio anglies atsargas, naudojant anglies kreditų kaupimo sistemas. Dabartinės pasaulinės dirvožemio anglies atsargos vertinamos nuo 1 500 iki 2 500 mlrd. tonų anglies (Lal et al., 2021), tačiau tai, tikėtina, tik 50–66 % potencialios dirvožemio talpos (Lal, 2004). Dirvožemio anglies valdymas laikomas vienu perspektyviausių klimato kaitos švelninimo metodų ir suteikia papildomos ekonominės naudos (Lal et al., 2021; Smith, 2016). Dirvožemio anglies valdymas kartu gerina dirvožemio kokybę, o tai gali tiesiogiai didinti maisto gamybą. Anglies atsargos dirvožemyje gali būti didinamos užkertant kelią sukauptos anglies išsiskyrimui arba papildomai įterpiant organinę anglį, tokią kaip bioanglis (Roe et al., 2019). Bioanglis yra anglies turinti medžiaga, gaunama deginant biomasę aukštos temperatūros ir mažo deguonies kiekio sąlygomis (Zilberman et al., 2023). Šis procesas, vadinamas pirolize, kuris sukuria medžiagą, kurios anglies kiekis siekia 35–88 % (Woolf et al., 2021a). Ji yra labai atspari skaidymuisi dirvožemyje o iki 82 % bioanglies anglies išlieka dirvoje net po 100 metų (Woolf et al., 2021; Smith, 2016).

Bioanglis žemės ūkyje buvo naudojama šimtmečius, išskyrus Vakarų industrines šalis, siekiant pagerinti dirvožemio kokybę (FAO, 2021). Kaip klimato kaitos švelninimo priemonė, bioanglis yra brangesnė nei kitos anglies ūkininkavimo priemonės, tokios kaip tausojamoji žemdirbystė, kuriai būdingi neariminiai arba mažo arimo metodai, sėjomaina ir tarpiniai pasėliai (Smith, 2016). Tačiau bioanglis užtikrina patikimesnį ilgalaikį anglies kaupimą. Tausojamojoje žemdirbystėje sukaupta anglis yra labai jautri atvirkštiniais pokyčiams, jei pasikeičia dirvožemio tvarkymo praktika ar įvyksta žemės naudojimo konversija, ir todėl reikalauja ilgalaikio įsipareigojimo laikytis nustatytų režimų (Lötjönen et al., 2024; Lal, 2004). Kitaip tariant, jei ūkininkas pradeda daugiau arti, ar žemės naudojimo paskirtis pasikeičia iš miško į žemės ūkio žemę, anglis vėl gali išsiskirti į atmosferą. Be to, dirvožemio organinės anglies kiekio stebėseną, ataskaitų teikimas ir tikrinimas yra sudėtingi, o anglies įnešimą su bioanglimi yra kur kas lengviau įvertinti. Dėl šios priežasties yra sukurtos kelios metodikos tiek bioanglies anglies kreditams, kaip *Puro.earth Standart*. *Puro* – tai pasaulyje pirmasis ir šiandien vienas svarbiausių pašalinto anglies dioksido sertifikavimo standartų (Berruti et al., 2022; Smith et al., 2020).

Pasaulinis klimato kaitos švelninimo potencialas naudojant bioanglį vertinamas apie 130 mlrd. tonų CO₂ ekvivalento per šimtmetį (Woolf et al., 2010). Europoje teorinis potencialas vertinamas 70–290 mln. tonų CO₂ ekvivalento per metus (Tisserant et al., 2023). Papildoma klimato kaitos švelninimo nauda gaunama iš išvengtų metano ir azoto oksido emisijų, kurios susidarytų, jei organinės atliekos nebūtų apdorotos, o tiesiog pūtų (Woolf et al., 2010). Priešingai, dabartinė Europos bioanglies gamyba yra maža: iš viso pagaminama apie 130 tūkst. tonų CO₂ ekvivalento per metus, o prognozuojama, kad su dabartinėmis investicijomis iki 2030 m. gamyba gali pasiekti 1,5 mln. tonų CO₂ ekvivalento per metus (*European Biochar Market Report 2024/2025*, 2025).

Bioanglis yra viena iš anglies dioksido pašalinimo (angl. Carbon Dioxide Removal, CDR) technologijų, kurias greičiausiai naudos dauguma šalių, siekdamos įgyvendinti nacionalinius klimato

tikslus (Buylova et al., 2021a). Ypač tikimasi, kad išsivysčiusios šalys vienu metu mažins emisijas ir investuos į CDR technologijas, kad laikui bėgant sumažintų jų sąnaudas (Honegger et al., 2021). Vis dėlto nacionalinės klimato strategijos dažniau apima planus naudoti pigesnes, gamtinėmis sąlygomis paremtas CDR technologijas, tokias kaip tausojamoji žemdirbystė ir miškininkystė, o ne investuoti į naujas technologijas. Tik Kanada, Japonija ir Danija aiškiai mini bioanglį savo klimato strategijose. Kanada bioanglį įvardija kaip galimą naudoti CDR technologiją, tačiau neturi konkrečių tikslų dėl su jos pagalba pašalinamų emisijų kiekio (Buylova et al., 2021a). Strategijoje bioanglis vertinama kaip ilgalaikė anglies pašalinimo ir saugojimo priemonė, kuri yra labiau išvystyta nei kitos CDR technologijos (Canada, 2023). Japonija skiria valstybės finansavimą įvairioms klimato iniciatyvoms Pietryčių Azijoje, įskaitant programas, skatinančias bioanglies diegimą. Be to, jų planuose numatytos mokslinių tyrimų ir technologinės plėtros investicijos į bioanglį, kurios vienu metu didintų žemės ūkio derlių ir kauptų anglį dirvožemyje (Hougaard, 2024). Danija yra vienintelė šalis, kuri savo klimato politikoje kiekybiškai įvardijo bioanglies naudojimą – iki 2030 m. kasmet pašalinti du milijonus tonų CO₂ ekvivalento. Vis dėlto tuo metu, kai buvo rengiamas dokumentas, planai, kaip ši bioanglis bus gaunama ir naudojama, dar nebuvo parengti (Chiaramonti et al., 2025). Todėl tik nedaugelis išsivysčiusių šalių savo klimato strategijose įtraukia bioanglį, o net ir tais atvejais planai dažniausiai išlieka migloti ir nepakankamai išvystyti.

Be vietinių ekonominių veiksnių, bioanglies naudojimo dirvožemio anglies didinimui ekonominis pagrindumas priklauso ir nuo vietos ekologinių faktorių. Šie veiksniai dažnai yra panašūs visose šalčiu pasižymintiose šalyse. Pirma, žaliava bioanglies gamybai tokiose šalyse yra panaši, nes vietinė flora – pušys ir eglės – yra artimos rūšys (Shen et al., 2024). Pasirinkta žaliava lemia ir bioanglies anglies koncentraciją, ir jos skilimo dirvožemyje tempus (Calvin et al., 2023). Antra, bioanglies žemės ūkio nauda dirvožemio kokybei ir derlingumui šaltuose klimatuose paprastai yra mažesnė nei šiltose vietovėse (Jeffery et al., 2017). Kadangi šaltuose regionuose auginamos panašios javų kultūros bioanglies poveikis derliui taip pat gali būti panašus.

1.1. Lietuvos žemės ūkio šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo problematika

Lietuvos žemės ūkio sektorius susiduria su dviguba struktūrine problema, kuri išryškina būtinybę ieškoti naujų tvarumo sprendimų: viena vertus, žemdirbystė išlieka vienu didžiausių šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) šaltinių, kita vertus, šalies dirvožemių kokybė ir organinės anglies atsargos nuosekliai blogėja. Oficialūs Europos Komisijos duomenys rodo, kad 2022 m. Lietuva į atmosferą išmetė apie 19,3 mln. tonų CO₂ dujų, o žemės ūkis sudarė daugiau apie 21 % visų nacionalinių emisijų. Tai išlieka vienu didžiausių rodiklių ES mastu, ypač vertinant tai, kad žemės ūkio emisijos Lietuvoje per pastarąjį dešimtmetį mažėjo labai lėtai, o 2021 metais padidėjo 2,3 proc. lyginant su 2020 metais (*Climate Action Commission*, 2022).

Taip pat metu moksliniai duomenys patvirtina dirvožemio degradaciją: Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras (LAMMC) fiksuoja nuoseklų dirvožemio organinės anglies mažėjimą – tai lemia didesnę trąšų poreikį, didesnę jautrumą sausroms ir mažėjančią derliaus stabilumą. Europos aplinkos agentūra Lietuvą priskiria prie regionų, kur dirvožemio degradacijos rizika didėja sparčiausiai dėl klimato kaitos, intensyvaus žemės dirbimo ir nepakankamo anglies kaupimo žemės ūkio sistemose (LAMMC, 2022).

Būtent organinė anglis lemia dirvožemio gebėjimą išlaikyti drėgmę, aprūpinti augalus maisto medžiagomis, formuoti struktūrą, ir veikti kaip ilgalaikis anglies kaupimo rezervuaras. Lietuvos

dirvožemiai iš prigimties pasižymi gana žemu humuso kiekiu – daug kur humuso lygis nesiekia 2–3 %, o tai smarkiai viršija degradacijos rizikos ribą, kuri tarptautiniu mastu laikoma žemesnė nei 3,4 %. Šios sąlygos lemia tai, kad net ir nedideli pokyčiai klimato sąlygose, žemės dirbimo intensyvume ar trąšų naudojime gali turėti neproporcingai didelį poveikį dirvožemio būklei ir žemės ūkio ekonomikai. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro (LAMMC) duomenys rodo, kad pastaruosius kelis dešimtmečius nacionaliniu mastu stebimas aiškus dirvožemio organinės anglies mažėjimo trendas. Kai kuriuose Lietuvos regionuose kasmetinis mažėjimas siekia 0,3–0,5 %, o tai reiškia, kad per 20–30 metų dirvožemis praranda reikšmingą dalį savo organinės medžiagos. Tai nėra tik agronominė problema – tai struktūrinis ekonominis iššūkis. Organinės anglies mažėjimas tiesiogiai didina ūkininkų priklausomybę nuo mineralinių trąšų, nes blogėjant dirvožemio struktūrai ir humuso kiekiui, augalai tampa mažiau pajėgūs įsisavinti maisto medžiagas, o trąšų efektyvumas mažėja. Finansiniu požiūriu tai reiškia didesnes sąnaudas ir mažesnę investicijų į trąšas grąžos koeficientą (LAMMC, 2022).

Europos aplinkos agentūra (EEA) pažymi, kad Baltijos regionas yra vienas labiausiai klimato kaitos paveikiamų žemės ūkio regionų Europoje (*Soil Moisture Deficit*, 2021). Dėl didėjančio sausrų dažnio, aukštesnių temperatūrų ir netolygiai pasiskirstančių kritulių Lietuvos dirvožemiai praranda drėgmės balansą. Organinė anglis yra tiesiogiai susijusi su dirvožemio gebėjimu išlaikyti vandenį – kuo humuso mažiau, tuo labiau dirvožemis praranda drėgmę per sausringus periodus, o tai lemia ne tik mažesnę derlių, bet ir didesnę jo nepastovumą. Tai reiškia didesnę finansinę riziką ūkiams, nes pajamos tampa mažiau prognozuojamos (LAMMC, 2022).

Europos Komisija visą Europą, o taip pat ir Lietuvą įvardija kaip „prastėjančio dirvožemio rizikos zonoje“, kur organinės anglies trūkumas gali sukelti ne tik agronomines, bet ir ekonomines pasekmes: mažėja žemės ūkio našumas, didėja trąšų poreikis, ūkininkai patiria didesnes sąnaudas prasto klimato metais. Pagal Europos Komisijos Žemės ūkio ir kaimo plėtros generalinio direktorato vertinimą, kiekvienas humuso sumažėjimas vienu procentiniu punktu lemia 5–10 % derliaus kritimą. Remiantis 2024 m. oficialiosios statistikos duomenimis, Lietuvos sąlygomis tai nacionaliniu mastu sudaro apie 120–240 mln. EUR prarastų pajamų. Todėl organinės anglies mažėjimas turėtų būti vertinamas ne tik kaip ekologinė problema, bet ir kaip akivaizdi ekonominė grėsmė. (EU Soil Strategy for 2030, 2021).

1.2. Anglies pašalinimo iš atmosferos politika Europos Sąjungoje ir trūkstama Lietuvos strateginė kryptis

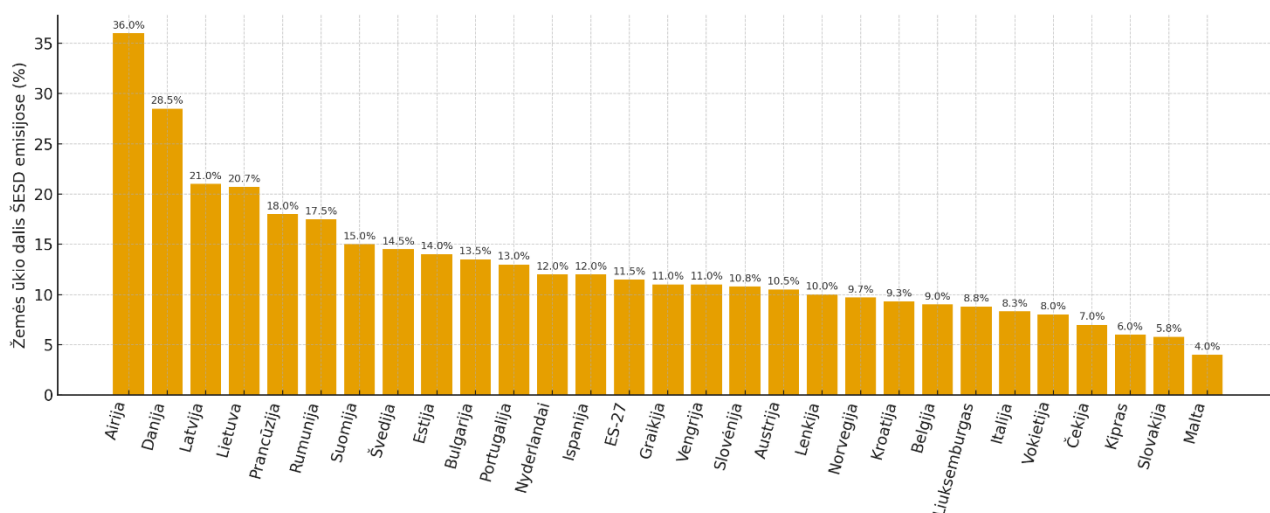
Europos Sąjunga iki 2050 m. yra numčiusi pasiekti klimatui neutralų ūkį, o tai reiškia, kad vien emisijų mažinimo priemonės nebėra pakankamos. Oficialūs Europos Komisijos skaičiavimai rodo, kad net ir įgyvendinus visus „Fit for 55“ plano reikalavimus, 2050 m. ES liks apie 450600 mln. tonų anglies dioksido ekvivalento nepanaikintų emisijų, kurios privalo būti kompensuotos būtent anglies pašalinimo technologijomis (CDR). „Fit for 55“ yra Europos Sąjungos paketas, skirtas Europos Sąjungos šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijai sumažinti iki 2030 m. 55 proc. Šis skaičius pateikiamas 2021 m. Europos Komisijos ilgalaikėse mažo šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų plėtros strategijose („Long-term Climate Strategy“) ir patvirtinamas 2023 m. Europos Aplinkos Agentūros (EEA) stebėsenos ataskaitoje. Šiuo metu ES šalys pašalina mažiau nei 2 % reikalingo CO₂ kiekio, todėl CDR tampa strateginiu prioritetu (Schlacke et al., 2022).

Atsižvelgiant į šią situaciją, 2024 m. Europos Parlamentas ir Taryba priėmė anglies dioksido pašalinimo ir anglies gavybos reglamentą (angl. Carbon Removal Certification Framework, CRCF) reglamentą, kuris sukuria pirmąją ES masto sistemą ilgalaikiam Anglies dioksido pašalinimui sertifikuoti. CRCF aiškiai įvardija keturias pagrindines Anglies pašalinimo iš atmosferos kategorijas: bioanglis, mineralizacija, biogeninis CO₂ surinkimas ir geologinis saugojimas bei dirvožemio anglies atkūrimas. Bioanglis yra viena iš nedaugelio technologijų, kuri CRCF dokumentuose priskiriama prie „ilgalaikio saugojimo sprendimų“, užtikrinančių emisijų pašalinimą šimtmečiams (Terlouw et al., 2021). ES politikoje CDR tampa vienu svarbiausių ateities ekonomikos ramsčių, tačiau Lietuva kol kas neturi jokios specializuotos CDR strategijos. Nacionalinė klimato kaitos valdymo darbotvarkė iki 2050 m. orientuojasi tik į emisijų mažinimą, o anglies pašalinimas iš esmės nefigūruoja nei politikos dokumentuose, nei finansavimo mechanizmuose. Lietuva iki šiol nėra parengusi nei nacionalinės CDR klasifikacijos, nei CO₂ pašalinimo registro, kurios leistų sertifikuoti, sekti ir komercializuoti pašalintą anglies dioksidą (Schenuit & Geden, 2023). Ekonominiu požiūriu tai yra reikšminga prarasta galimybė. Pagal Europos Komisijos ir naujienlaiškio „McKinsey“ analizę, Europos CDR rinka iki 2050 m. gali siekti 30–60 mlrd. EUR kasmet, o didžiausia paklausa prognozuojama būtent bioanglies ir BECCS technologijoms (McKinsey, 2023). BECCS technologija – tai metodas, naudojamas šilumai, energijai arba biokurui gaminti iš biomasės, pavyzdžiui, medžių ar augalų, tačiau neišskiriant anglies dioksido į atmosferą (Zetterberg et al., 2021). Jau šiandien globalios įmonės, tokios kaip *Microsoft* ir *Google* kasmet perka ilgalaikio CO₂ pašalinimo kreditus už 300–1200 €/t CO₂, o bioanglies kreditų vidutinė sandorio kaina 2023 m. siekia apie 170–600 €/t CO₂ (Fraser et al., 2022). Lietuva, neturėdama nacionalinės infrastruktūros šiems kreditams generuoti, nesugeba pasinaudoti rinkos augimu – nors teoriškai galėtų eksportuoti bioanglies kreditus kaip Lenkija, Estija ar Suomija.

Lietuva taip pat neišnaudoja sinergijų su savo žemės ūkio sektoriumi. Oficialūs EEA duomenys rodo, kad Lietuvos žemės ūkio emisijos per pastaruosius 10 metų mažėjo gerokai lėčiau nei kitų ES šalių (*Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in Europe*, 2025). Taip pat Lietuvos dirvožemiai turi vienas mažiausių organinės anglies atsargų visoje ES. Pagal CRCF, šalys, kurių dirvožemiai pasižymi anglies stygiumi, turėtų būti prioritetinės bioanglies ir dirvožemio anglies projektams, tačiau Lietuva šiam potencialui išnaudoti kol kas neturi jokių priemonių (Europos Komisija, 2025). Strateginiu požiūriu Lietuva rizikuoja tapti anglies pašalinimo importuotoja, nors galėtų būti eksportuotoja, turėdama didžiulės biomasės atliekų atsargas ir agrarinį sektorių, kuris natūraliai tinkamas anglies kaupimui. Kol Lietuva nepritaiko esamų ES įrankių ir nesukuria nacionalinės CDR sistemos, šalies ūkininkai ir bioanglies gamintojai lieka uždaryti nuo vienos sparčiausiai augančių klimatinų rinkų Europoje

1.3. Lietuvos žemės ūkio ekonominės problemos: emisijų intensyvumas, nepastovumas ir pažeidžiamumas

Lietuvos žemės ūkio sektorius išsiskiria struktūriniu emisijų intensyvumu, kuris yra didesnis nei daugelyje ES valstybių, ypač Vakarų ir Šiaurės Europos. Remiantis Eurostat duomenis, Lietuvoje, tik iš žemės ūkio ŠESD dujų išskyrimas sudaro sudaro apie 21 proc. visos Lietuvos teršalų, kai Europos sąjungos vidurkis yra apie 12proc. Lietuva pagal šį reitingą yra ketvirtoje vietoje, atsiliekia tik nuo Airijos, Danijos ir Latvijos. 2023 m. ŠESD emisijų dalis iš žemės ūkio Europos šalyse pateiktas 1 pav.

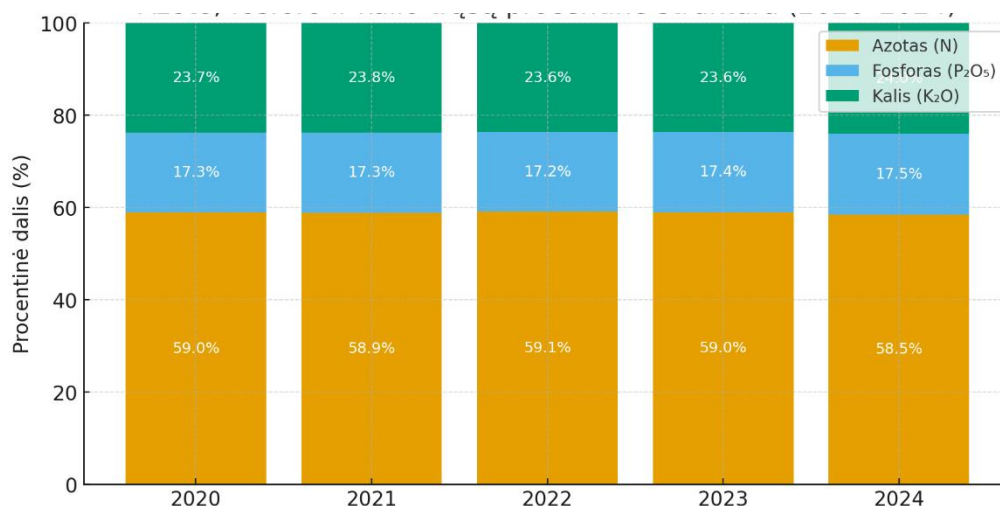


1 pav. Žemės ūkio dalis ŠESD emisijose pagal šalį, 2023 m. (sudaryta autoriaus remiantis Eurostat duomenimis)

Tai lemia keli tarpusavyje susiję veiksniai. Pirmiausia, Lietuvos ūkių sistema yra stipriai orientuota į intensyvų mineralinių trąšų naudojimą: Nors nuo 2022m. iki 2024m. mineralinio azoto, fosforo ir kalio trąšų sunaudojimas sumažėjo apie 33proc., dėl trąšų kainų didžiulio šuolio, karo Ukrainoje ir dėl jau pamažu diegiamų tvarumo praktikų, 2024 metais Azotas vis tiek sudaro apie 59proc. naudojamos mineralinės trąšos. Intensyvus azoto trąšų naudojimas tiesiogiai susijęs su didėjančiomis emisijomis. Bendras trąšų suvartojimas Lietuvos ir trąšų procentinė struktūra pateikta 1 lentelėje ir 2 pav.

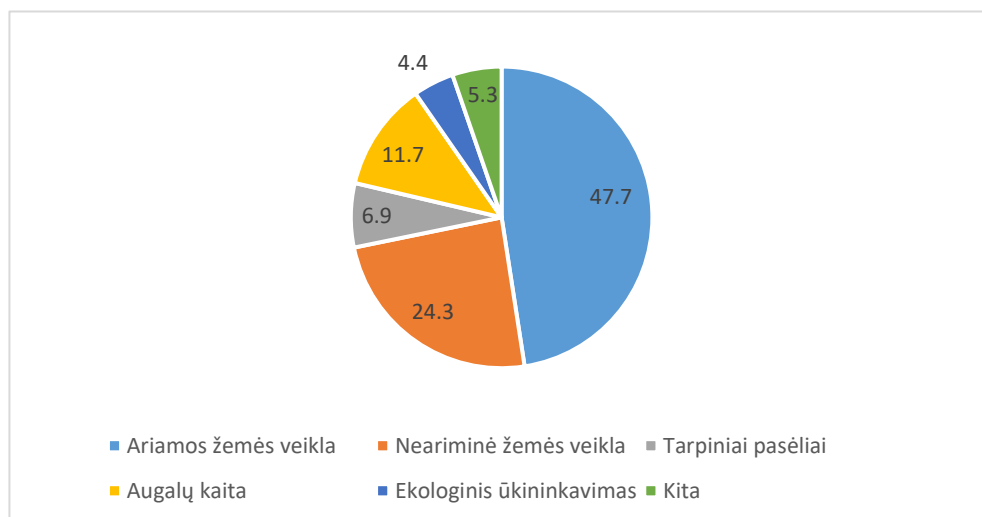
1 lentelė. Bendras trąšų suvartojimas Lietuvoje (2020–2024 m.) (sudaryta autoriaus remiantis *Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu*)

Metai	Azotas (N) / t	Fosforas (P)/ t	Kalis (K)/ t	Iš viso (NPK) (t)
2020	185 778,7	54 512,7	74 632,0	314 923,4
2021	187 505,9	55 220,0	75 615,4	318 341,3
2022	130 791,9	38 124,3	52 298,7	221 214,9
2023	127 594,2	37 542,6	51 003,8	216 140,6
2024	124 860,5	37 428,0	51 195,8	213 484,3



2 pav. Azoto, fosforo ir kalio trąšų procentinė struktūra (2020-2024) (sudaryta autoriaus remiantis Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu)

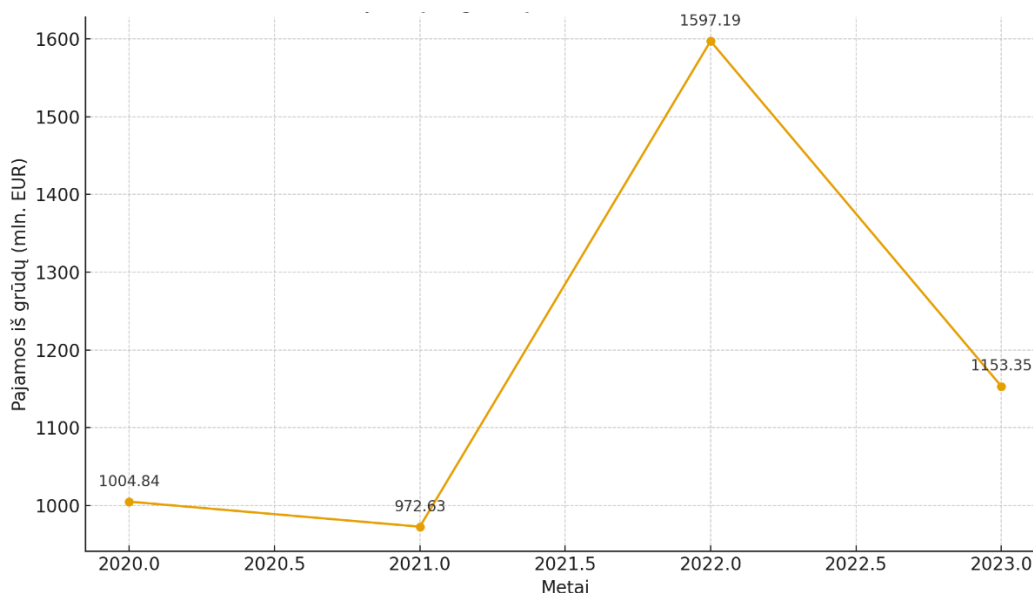
Lietuvos žemdirbystėje neariminė ir regeneracinė žemdirbystė diegiama lėtai. Nors šios praktikos didina dirvožemio organinės anglies atsargas ir mažina emisijas, Lietuvoje 2023 metais neariminių technologijų taikymas buvo vykdomas 1,22 mln. Hektarų plotuose. Ši dalis sudaro tik apie 24.3proc. pasėlių ploto dalį, smarkiai atsilikdama nuo tokių šalių kaip Prancūzija, Vokietija ar Ispanija. (VĮ Žemės ūkio centras, 2024). Dėl to Lietuvos dirvožemiai dažniau praranda organinę anglį, tampa jautresni erozijai ir mažiau atsparūs klimatui. Lietuvos Agrarinių ir miškų Mokslų centro tyrimai rodo, kad didžioji dalis Lietuvos dirvožemių turi mažiau nei 3,5 % humuso — ribą, žemiau kurios dirvožemis laikomas degraduojančiu. Tai turi tiesioginių ekonominių pasekmių: mažėjant humusui, ūkininkai turi naudoti daugiau trąšų tam, kad išlaikytų tą patį derliaus lygį, o tai didina kintamąsias sąnaudas ir mažina pelningumą (LAMMC, 2022). Žemės ūkio plotų naudojimas 2023 metais pateiktas 3 pav.



3 pav. Žemės ūkio plotų naudojimas, 2023m.) (sudaryta autoriaus remiantis LAMMC, 2022)

Lietuvos pasėlių struktūra iš esmės vienpusiška – didžioji dalis ariamosios žemės skirta grūdiniams kultūroms, kurios yra jautriausios ir sausroms, ir dirvožemio degradacijai. Toks specializacijos modelis didina sektoriaus rizikingumą ir priklausomybę nuo pasaulinių žemės ūkio prekių kainų svyravimų. Tai ypač aktualu mažiems ir vidutiniams ūkiams, kurių veiklos pelno marža siekia vos 3–

6%. Tai puikiai parodo 2023 metų grūdų kainų kritimas kai pajamos už grūdus sumažėjo net 444 mln. EUR dėl rinkos veiksnių: globalių grūdų kainų korekcija, po istorinių pikų kainų, kurias išskėlė karas Ukrainoje, infliacijos slopinimas, trąšų bei energijos kainų normalizacija ir pasaulinės pasiūlos atsigavimas (Oficialios Statistikos Portalas, 2025). Pajamų iš grūdų kaita (2020-2023 m.) pateikta 4 pav.



4 pav. Pajamų iš grūdų kaita (2020-2023 m.) (sudaryta autoriaus remiantis Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu)

Apibendrinant galima teigti, kad Lietuvos žemės ūkis šiandien susiduria su dviem esminiais ir tarpusavyje susijusiais iššūkiais: sparčiai blogėjančia dirvožemio kokybe ir augančiu spaudimu mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. Humuso ir organinės anglies mažėjimas, didelis mineralinių trąšų intensyvumas ir prastų klimato sąlygų didėjimas mažina derliaus stabilumą, o kartu didina ūkininkų finansinę riziką. Lietuva taip pat neturi aiškos anglies pašalinimo strategijos, nepaisant to, kad Europos Sąjunga įvardija bioanglį kaip vieną svarbiausių ilgalaikio CO₂ sekvestravimo technologijų ir numato sertifikavimo sistemą, kuri atveria naujas ekonomines galimybes. Ši neatitiktis tarp nacionalinės politikos ir ES krypties reiškia, kad Lietuva nesugeba pasinaudoti atsirandančiomis rinkomis, o žemės ūkio sektorius lieka be įrankių, galinčių mažinti sąnaudas, stabilizuoti derlių ir generuoti papildomas pajamas iš anglies kreditų.

Nors bioanglis gali kartu gerinti dirvožemio savybes, mažinti trąšų poreikį ir užtikrinti ilgalaikį anglies saugojimą, jos naudojimo potencialas Lietuvoje lieka neišnaudotas. Trūksta nacionalinės CO₂ pašalinimo apskaitos sistemos, metodikų ir ekonominių paskatų, kurios leistų ūkiams ir gamintojams dalyvauti augančioje anglies kreditų rinkoje. Dėl to formuojasi struktūrinė problema: Lietuva, turėdama didelį biomasės potencialą ir degradacijos rizikos zonas žemės ūkyje, galėtų tapti bioanglies ir CO₂ kreditų tiekėja, tačiau išlieka tik šių technologijų vartotoja „ant popieriaus“. Ši situacija kelia klausimą – kokiomis sąlygomis bioanglis ir CO₂ kreditavimo mechanizmai galėtų realiai prisidėti prie tvarios žemdirbystės plėtros ir suteikti ekonominę naudą Lietuvos ūkiams?

2. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystei rinkos plėtrai teoriniai pagrindai

Tvari žemdirbystė yra pagrindinė bioekonomikos ir klimato politikos dalis, nes tradicinės žemės ūkio praktikos vis dažniau nebeatitinka ilgalaikio gamtinių išteklių naudojimo tvarumo poreikių (Francaviglia et al., 2023). Dirvožemis yra ribotas, tačiau gyvybiškai svarbus išteklius, veikiantis ne tik kaip produkcijos šaltinis, bet ir kaip ekosistemų funkcijų teikėjas: reguliuoja vandens srautus, kaupia anglies atsargas ir palaiko biologinę įvairovę (Cárceles Rodríguez et al., 2022). Globalūs aplinkosauginiai iššūkiai, tokie kaip dirvožemio degradacija, organinės anglies mažėjimas ir ekosisteminių paslaugų silpnėjimas, lemia poreikį iš naujo įvertinti tradicinės žemdirbystės praktikas ir pereiti prie gamtos procesais pagrįstų sprendimų (Francaviglia et al., 2023).

2.1. Tvarios žemdirbystės samprata

Tvarios žemdirbystės koncepcijos pagrindu laikomas dirvožemio sveikatos principas, kuris literatūroje apibrėžiamas kaip dirvožemio gebėjimas funkcionuoti kaip gyva sistema, užtikrinanti augalų ir gyvūnų produktyvumą, palaikanti vandens bei oro kokybę ir prisidedanti prie ekosistemų stabilumo (M. Tahat et al., 2020). Dirvožemio sveikata yra vidinė, nuo pačio dirvožemio savybių priklausanti charakteristika, susijusi su jo struktūra, organine medžiaga, biologiniu aktyvumu ir gebėjimu palaikyti augalų augimą. Dirvožemio kokybė dažniau apibrėžiama kaip dirvožemio tinkamumas konkrečiai žmogaus veiklai, pavyzdžiui, žemės ūkio produkcijai ar ekosisteminių paslaugų teikimui (Omer et al., 2024).

Sparčiai auganti pasaulio gyventojų populiacija ir prognozuojama maisto paklausos plėtra kelia poreikį didinti žemės ūkio produktyvumą nenaudojant papildomų žemės resursų. Todėl tvarių žemdirbystės praktikų diegimas tampa svarbiu veiksmu siekiant užtikrinti ilgalaikį maisto gamybos stabilumą (M. Tahat et al., 2020).

Tvari žemdirbystė grindžiama mokslo žiniomis apie dirvožemio funkcijas ir siekia suderinti žemės išteklių naudojimą su aplinkosaugos tikslais, taip išvengiant dirvožemio degradacijos, organinės anglies nuostolių ir ekosistemų pažeidimų. Mokslinėje literatūroje nurodoma, kad pagrindiniai tvarios žemdirbystės tikslai yra didinti dirvožemio organinės medžiagos kiekį, mažinti eroziją ir išsaugoti dirvožemio struktūrą įvairiomis tausojamosiomis praktikomis, tokiomis kaip augalų įvairovės didinimas, pasėlių rotacija ir neariminė žemdirbystė (M. Tahat et al., 2020). Šios priemonės padeda palaikyti dirvožemio funkcionalumą, pagerinti vandens išlaikymo gebą ir mažinti žemės ūkio poveikį klimatui. Didėjanti priklausomybė nuo sintetinių trąšų ir pesticidų ilgą laiką prisidėjo prie intensyvaus žemės ūkio augimo, tačiau taip pat sukėlė aplinkosauginių problemų: dirvožemio degradaciją, vandens taršą ir ekosistemų disbalansą. Todėl tvari žemdirbystė yra vertinama kaip alternatyvi ir integruota žemės ūkio praktika, orientuota į maisto gamybos efektyvumą, ekosistemų apsaugą ir klimato kaitos švelninimą (M. Tahat et al., 2020).

Apibendrinant, tvari žemdirbystė remiasi principu, kad dirvožemis yra ribotas, tačiau atkuriamas gamtos išteklius, kurio funkcionalumas tiesiogiai lemia žemės ūkio sistemų produktyvumą ir atsparumą. Dirvožemio sveikata – apimanti fizines, chemines ir biologines savybes – laikoma vienu svarbiausių ilgalaikio žemės ūkio gyvybingumo ir ekosistemų paslaugų teikimo rodiklių. Todėl ūkininkai ir politikos formuotojai vis dažniau pabrėžia, jog žemdirbystės praktikos turi būti orientuotos ne tik į momentinį derlingumo didinimą, bet ir į dirvožemio išteklių atkūrimą, organinės medžiagos gausinimą, biologinės įvairovės palaikymą bei klimato kaitos švelninimą. Šiuo požiūriu

dirvožemio būklės išlaikymas ir sistemingas stiprinimas tampa ne tik agronominiu, bet ir ekonominiu bei aplinkosauginiu prioritetu, kuris yra būtina sąlyga siekiant tvarios žemės ūkio sistemos tikslų ir užtikrinant ilgalaikį ūkių konkurencingumą (M. Tahat et al., 2020).

2.1.1. Tvarios žemdirbystės praktikos

Tvarios žemdirbystės kontekste kelios praktikos išsiskiria kaip ypač veiksmingos gerinant dirvožemio sveikatą, didinant organinės anglies kaupimą ir mažinant aplinkos degradaciją: konservacinė žemdirbystė, regeneracinė žemdirbystė ir organinė žemdirbystė.

Konservacinė žemdirbystė yra pagrįsta trimis principais: minimaliu dirbimu (neariminė ar beariminė žemdirbystė), nuolatinės augalų dangos palaikymu (dangos augalai, piktžolės) ir pasėlių rotacija. Tiek teoriniai modeliai, tiek empiriniai tyrimai rodo, kad tokios praktikos gali reikšmingai padidinti dirvožemio organinės anglies atsargas ir pagerinti dirvos struktūrą. Konservacinė žemdirbystė sudaro vieną iš efektyviausių būdų gerinti dirvožemių tvarumą per organinės anglies kaupimą ir stabilizavimą (Francaviglia et al., 2023). Be to, ilgalaikiai eksperimentai rodo, kad net esant klimato kaitai ir aukštesnei temperatūrai, konservacinės žemdirbystės plotuose dirvožemių organinės anglies kiekis ilguoju laikotarpiu gali didėti, o derlius išlieka stabilus (Keenor et al., 2025). Toks stabilus organinės anglies kaupimas pasiekiamas ne tik per biologinį organinės medžiagos įsijungimą, bet ir fizinį anglies apsaugojimą agregatuose, kurie sumažina anglies mineralizaciją.

Regeneracinė žemdirbystė - tai platesnė koncepcija, apimanti ne tik neariminę žemdirbystę ir rotacijas, bet ir gyvūnų integraciją (pvz., integruotą gyvulininkystę), kompostavimą, biologinių sistemų sukūrimą ir dirvos gyvybingumo atstatymą. Vienas iš naujausių tyrimų parodė, kad regeneracinės praktikos efektyviai didina tiek dalinę organinę anglies, tiek su mineralais susijusią organinę anglies frakciją, kurios abi saugomos ilgam laikotarpiui (Prairie et al., 2023). Ypatingai svarbu, kad regeneracinėje žemdirbystėje vyksta ne tik anglies kaupimas, bet ir jos stabilizacija - anglis patenka į fizinius dirvos struktūrinius vienetus (agregatus), kurie apsaugo organinę medžiagą nuo greitos mineralizacijos (Keenor et al., 2025). Tai leidžia siekti ilgalaikės anglies sekvestracijos.

Organinė žemdirbystė remiasi cheminės trąšų ir sintetinių pesticidų naudojimo ribojimu bei natūralių organinių medžiagų (kompostas, žaliomis trąšomis) naudojimu. Naujausi tyrimai pabrėžia, kad organinė žemdirbystė prisideda prie dirvožemių organinės anglies kaupimo, o ilgalaikė praktika gali pagerinti dirvožemių tvarumą ir ekosistemų atsparumą (Gamage et al., 2023). Be to, organinės sistemos dažnai naudoja pasėlių rotaciją, kultūrų įvairovę ir dangos augalus, kurie skatina biologinę veiklą dirvoje ir gerina maistinių medžiagų ciklą bei dirvožemių struktūrą. Tokie metodai ne tik leidžia kaupti anglies atsargas, bet ir mažina aplinkos taršą bei tenkina darnaus žemės ūkio tikslus (Gamage et al., 2023).

Šios trys praktikos nėra viena kitam prieštaraujančios - priešingai, jos dažnai veikia sinergiškai. Pavyzdžiui, regeneracinėje žemdirbystėje gali būti taikomi konservacinės žemdirbystės metodai (neariminė dirva, rotacija) kartu su gyvūnų integracija ar kompostavimu, taip sustiprinant anglies sekvestracijos efektus (Prairie et al., 2023). Organinės žemdirbystės sistemos, kurios skatina biologinę įvairovę ir natūralių trąšų naudojimą, gali dar labiau praturtinti dirvožemį ir padidinti jo ilgalaikį produktyvumą (Gamage et al., 2023).

Nepaisant privalumų, tvarios žemdirbystės praktikos susiduria su realiais barjeriais. Konservacinė žemdirbystė reikalauja investicijų į specialią techniką, o ūkininkams gali būti sudėtinga pereiti nuo

tradicinių metodų. Regeneracinė žemdirbystė su gyvūnų integracija gali kelti papildomų logistikos iššūkių ir infrastruktūros reikalavimų. Organinė žemdirbystė turi susidurti su kitaip paskirstytu derliumi, trąšų alternatyvų prieinamumu ir žinių trūkumu. Be to, ilgalaikiai privalumai (pvz., organinės anglies kaupimas) dažnai pasireiškia tik po daugelio metų, todėl būtinos politinės ir finansinės paskatos, kad ūkininkai drįstų priimti šias praktikas. Tvarių žemdirbysčių praktikos, bruožai ir iššūkiai pateikti 2 lentelėje.

Apibendrinant, konservacinė, regeneracinė ir organinė žemdirbystės praktikos sudaro tvarios žemdirbystės pagrindą, leidžiantį ne tik stiprinti dirvožemių sveikatą, bet ir prisidėti prie klimato kaitos švelninimo per organinės anglies kaupimą. Šių praktikų sinergija padaro jas dar efektyvesnes, tačiau tam, kad jos būtų plačiai diegiamos, reikalingos investicijos bei mokymai.

2 lentelė. Pagrindinės tvarios žemdirbystės praktikos, jų bruožai ir iššūkiai (sudaryta darbo autoriaus)

Praktika	Pagrindiniai bruožai	Pagrindiniai iššūkiai
Konservacinė žemdirbystė	Minimalus dirbimas (neariminė arba beariminė žemdirbystė)	Reikalauja investicijų į specialią techniką
	Nuolatinė augalų danga (dangos augalai, piktžolės)	Sudėtinga pereiti nuo tradicinių ūkininkavimo metodų
	Pasėlių rotacija	-
	Didina dirvožemio organinės anglies atsargas ir gerina struktūrą	-
Regeneracinė žemdirbystė	Ištraukia neariminę žemdirbystę, pasėlių rotacijas ir gyvūnų integraciją	Logistikos ir infrastruktūros iššūkiai dėl gyvūnų integracijos
	Kompostavimas ir biologinių sistemų kūrimas	Ilgalaikiai rezultatai (pvz., anglies kaupimas) pasireiškia tik po daugelio metų
	Didina dalinę ir mineralais susijusią organinę anglies frakciją	-
	- Stabilizuoja dirvožemio struktūrą	-
Organinė žemdirbystė	Sintetinių trąšų ir pesticidų ribojimas	Pradinės investicijos ir darbo sąnaudos
	Naudojamos natūralios organinės trąšos (kompostas, žali trąšos)	Derliaus kintamumas
	Pasėlių rotacija ir kultūrų įvairovė	Trąšų alternatyvų prieinamumo ir žinių apie organinę žemdirbystę stoka
	Pagerina dirvožemio organinės anglies kiekį ir ekosistemų tvarumą	-

2.1.2. Tvarios žemdirbystės ekonominiai ir socialiniai aspektai

Tvarios žemdirbystės praktikos pasižymi sudėtingais ekonominiais ir socialiniais padariniais: nors jų diegimas dažnai reikalauja esminių pradinių investicijų, ilgalaikėje perspektyvoje jos gali reikšmingai sumažinti kaštus, padidinti ūkių finansinį atsparumą ir sukurti naujas darbo vietas bioekonomikos bei kaimo bendruomenėse.

Tvarios žemdirbystės modeliai gali generuoti kaštų taupymą per optimizuotą trąšų naudojimą ir keitimą sintetinių medžiagų natūraliais sprendimais. Pvz., eksperimentai su sumažintu azoto trąšų naudojimu parodė, kad derliaus kokybė ir derlius gali būti išlaikytas, kai dalis sintetinio azoto pakeičiamas organinėmis trąšomis, o kartu ženkliai padidėja ekonominė grąža (–9,90 %-14,10 % azoto sumažinimas ir ~16,60-17,60 % organinių trąšų substitucija) (He et al., 2024). Taip pat tyrimai rodo, kad tvarios praktikos, tokios kaip mažesnis tręšimas, mažesnis pesticidų naudojimas ar optimizuotas ūkininkavimo technologijų taikymas, leidžia ženkliai sumažinti produkcijos sąnaudas. Pavyzdžiui, naujas apžvalgos tyrimas parodė, kad skaitmeninės žemės ūkio technologijos (pvz., precizinė žemdirbystė) gali sumažinti trąšų naudojimą net iki 59,6 proc. ir pesticidų – net iki 80 proc., kartu mažinant darbo ir kuro sąnaudas (Papadopoulos et al., 2024). Tokie sutaupymai prisideda prie ūkių pelningumo ir stabilumo, ypač esant svyruojančioms trąšų kainoms ar ekonominio nestabilumo laikotarpiu (Kareska, 2025).

Taip pat tvarios žemdirbystės modeliai gali sukurti naujas pajamų srauto galimybes ir papildomas vertės grandines. Pavyzdžiui, ūkininkai, taikantys tokias praktikas, gali gauti priedą iš vartotojų, kurie yra pasirengę mokėti daugiau už ekologiškai ar tvariai pagamintus produktus (Team, 2024). Be to, diversifikacija – pvz., pasėlių rotacijos, gyvulininkystės integracija ar agroekologinės sistemos - gali prisidėti prie pajamų stabilizavimo ir sumažinti riziką, susijusią su vieno produkto rinkos svyravimais (Raveloaritiana & Wanger, 2024).

Yra reikšmingas tvarios žemdirbystės ir socialinis poveikis. Tvarios žemdirbystės praktikos gali skatinti bendruomenių įsitraukimą ir kurti darbo vietų bioekonomikos sektoriuje. Kooperatyvų modeliai yra vienas iš efektyvių būdų dalintis resursais, pavyzdžiui, bendras įrangos, lauko ar rinkos kanalų naudojimas sumažina vieneto kaštus ir padidina ūkininkų derybinę galią (Kalogiannidis et al., 2024). Tokie modeliai ne tik sukuria ekonominę naudą dalijimosi principu, bet ir kuria socialinę struktūrą, kuri remia tarpusavio pasitikėjimą, žinių mainus ir bendrą tvarumo viziją. Be to, bioekonomikos plėtra, skatinama per žemės ūkio ir žaliųjų technologijų politiką, gali sukurti naują darbo vietų potencialą kaimo vietovėse. ES lygiu pripažinta, kad bioekonomika prisideda prie kaimo atgaivinimo, inovacijų ir jaunų žmonių įtraukimo į žemės ūkio sektorių - tai rodo ES Tarybos dokumentai, kuriuose pabrėžiamas bioekonomikos vaidmuo kaimo bendruomenių stiprinime ir darbo vietų kūrimo (EU Council, 2023).

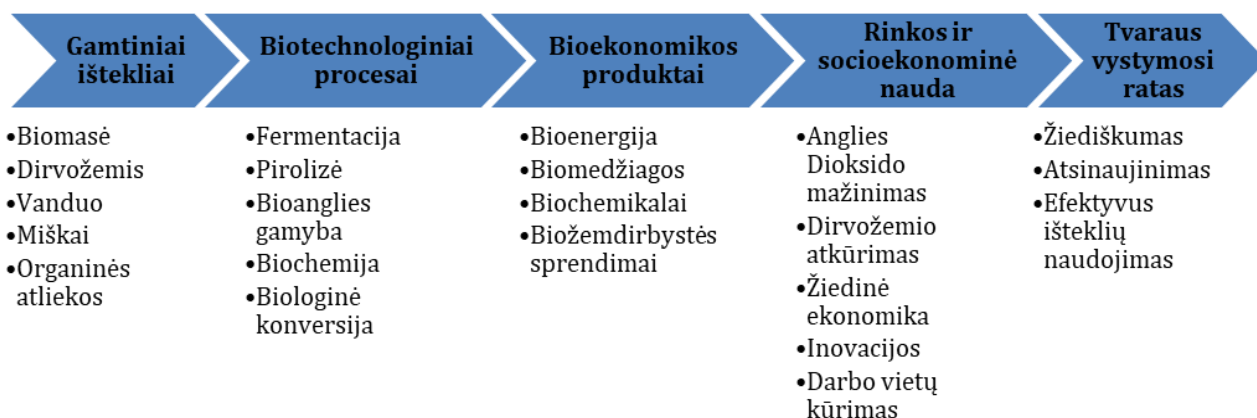
Tvarios žemdirbystės ekonominiai ir socialiniai privalumai priklauso nuo paramos mechanizmų ir viešosios politikos. Valstybės ir tarptautinės programos, skatinančios bioekonomiką ir tvarius ūkininkavimo modelius, gali padėti sumažinti pradines investicijų kliūtis, suteikti finansinę ir techninę pagalbą bei skatinti inovacijų diegimą (Baigal, 2025). Lietuvos kontekste, strateginiai planai ir politika atitinka šiuos socialinius ir ekonominius tikslus. Lietuvos BŽŪP strateginiame plane (2023–2027 m.) numatyta parama tvarioms ūkininkavimo praktikoms ir inovatyvioms bioekonomikos veikloms, siekiant ne tik didinti ūkio konkurencingumą, bet ir gerinti kaimo gyvybingumą bei tvarumą (*Lietuva - Žemės ūkis ir kaimo plėtra - Europos Komisija*, 2025). Be to, nacionaliniame bioekonomikos koncepcijos dokumente identifikuota galimybė plėtoti „žaliąsias“ žemės ūkio praktikas bei bioresursų pramonę, kas gali atverti verslo ir darbo galimybes kaimo bendruomenės (Vitunskienė & Aleksandravičienė, 2023).

Apibendrinant galima teigti, nors tvarios žemdirbystės praktikos turi pradinį kaštų barjerą, jos siūlo ilgalaikį ekonominį atsparumą, sąnaudų taupymą ir socialinę naudą. Šios savybės daro jas

patraukliomis ne tik ūkininkams, bet ir vietos bendruomenėms, o plėtra priklauso nuo politiškai ir instituciškai remiamų mechanizmų.

2.1.3. Bioekonomika ir žiedinė ekonomika tvarioje žemdirbystėje

Bioekonomika – tai ekonomikos modelis, kuriame biologiniai ištekliai (pvz., biomasė) yra naudojami maistui, medžiagoms ir energijai sukurti, siekiant sumažinti priklausomybę nuo iškastinių išteklių ir skatinti tvarų vystymąsi (Toplicean & Datcu, 2024). Šis modelis orientuotas į atsinaujinančių išteklių panaudojimą taip, kad būtų ne tik tausojama aplinka, bet ir užtikrinamas ekonomikos atsparumas bei inovacijų plėtra. Bioekonomika apima platų procesų spektrą – nuo biologinių išteklių auginimo ir perdirbimo iki jų pavertimo aukštos pridėtinės vertės produktais, kurie gali pakeisti tradicines, aplinkai kenksmingas medžiagas. Be to, bioekonomika remiasi biologinių, technologinių ir socialinių sistemų integracija, leidžiančia kurti biobazės produktus, energiją ir įvairias paslaugas, atitinkančias žiedinės ir tvarios ekonomikos principus (Toplicean & Datcu, 2024). Technologinė pažanga, tokia kaip biotechnologijos, pirolizės procesai, pažangūs fermentacijos sprendimai ar bioanglies gamyba, suteikia galimybių efektyviau panaudoti biologinius išteklius ir mažinti aplinkos taršą. Bioekonomikos modelis pavaizduotas 5 pav.



5 pav. Bioekonomikos modelis (sudaryta autoriaus remiantis Topliceanu ir Datcu, 2024.)

Žiedinė ekonomika grindžiama cikliniu išteklių naudojimo modeliu, kuriame žaliavos, produktai ir atliekos nuolat juda per tarpusavyje susijusias grandis: žaliavų gavimą, tvarų dizainą, gamybą, paskirstymą, vartojimą ir pakartotinį naudojimą, surinkimą, atliekų tvarkymą ir galiausiai – likutinių atliekų minimizavimą. Šiame modelyje žaliavos siejamos su minimalia aplinkos apkrova, o gaminių dizainas orientuotas į jų ilgaamžiškumą, taisomumą ir perdirbamumą. Po gamybos ir paskirstymo etapo produktai patenka į vartojimo fazę, kurioje ypatingas dėmesys skiriamas pakartotiniam naudojimui, remontui ar gyvenimo trukmės prailginimui. Pasibaigus vartojimo ciklui, gaminiai surenkami, o jų medžiagos kiek įmanoma grąžinamos atgal į ekonomiką per perdirbimą ar regeneraciją. Atliekų tvarkymo sistemos siekia maksimaliai sumažinti likutines atliekas, kurios nebegali būti panaudotos, taip užtikrinant, kad medžiagos kuo ilgiau išliktų ekonominiame cikle ir būtų išsaugoma jų vertė. Žiedinės ekonomikos modelis pavaizduotas 6 pav.



6 pav. Žiedinės ekonomikos modelis (sudaryta autoriaus remiantis Europos Parlamento duomenimis)

Žiedinė ekonomika – tai sistemos požiūris, kuriame atliekos ir šalutiniai produktai yra vertinami kaip vertingi ištekliai, juos perdirbant arba regeneruojant cikliška („nuo atliekos iki vertės“), o ne tiesiog pašalinant. Taikant agrokultūroje, tai reiškia, kad augalinės atliekos (pvz., pasėlių liekanos) nebėra tiesiog „atliekos“, bet tampa biomasė bioekonomikos ciklui (Oberč et al., 2022). Šios dvi sąvokos glaudžiai siejasi: žiedinė ekonomika suteikia bioekonomikai vertingą paradigmą, nes biorešursai gali būti cikliška regeneruojami ir naudojami, o tvarios žemdirbystės modeliai (pvz., atliekų panaudojimas) yra vienas esminių mechanizmų, leidžiančių sujungti biomasės naudojimą, dirvožemio atstatymą ir energetinę naudą. Vienas pagrindinių tvarios žemdirbystės, bioekonomikos ir žiedinės ekonomikos jungčių taškų, tai atliekos iš tvarios žemdirbystės. Pasėlių liekanos, tokios kaip stiebai, lapai, šiaudai, gali būti transformuojamos į vertingus produktus: bioanglį, biokurą arba kompostą. Tai ne tik sumažina atliekų poveikį aplinkai, bet ir stiprina bioekonomikos grandinę, sukuriant pridėtinę vertę iš gaunamos biomasės.

Bioanglies technologija ypač tinka į žiedinės ekonomikos koncepciją: pirolizės metu iš atliekų atskiriami maistiniai elementai (pvz., azotas, fosforas), kurie vėliau gali būti grąžinami į dirvą, o likęs anglies stabilus komponentas – bioanglis – gerina dirvožemį ir padeda kaupti anglies atsargas (Abbas et al., 2021). Bioanglis taip pat mažina transportavimo ir laikymo kaštus, nes pirolizės metu atliekų tūris ir drėgmės kiekis ženkliai sumažėja (Ghorbani et al., 2022). Be to, biorefinavimo procesai leidžia žemės ūkio atliekas paversti biokuru ir kitais bioproduktais (pvz., bioplastiku), taip užtikrinant, kad šios liekanos būtų panaudotos efektyviausiu pridėtinės vertės ciklu (Buylova et al., 2021). Tokios technologijos kuria bioekonomikos grandines, kurios vienu metu prisideda prie maisto gamybos, energetikos ir žaliavų sektorių plėtros (Pan et al., 2023).

Bioekonomikos ir žiedinės ekonomikos modelių taikymas tvarioje žemdirbystėje gali reikšmingai prisidėti prie CO₂ mažinimo bei klimato kaitos švelninimo. Bioanglis, kaip stabilus anglies talpyklos komponentas, padeda sekvestruoti anglies dioksidą dirvoje ir taip sumažina atmosferos CO₂ koncentraciją (Singh et al., 2024). Taip pat žemės ūkio biomasės liekanų panaudojimas

biorefiniruojančią (pvz., gaminant biokurą ar bioproduktus) sumažina priklausomybę nuo iškastinės energijos ir kuriamos pridėtinės vertės rinkos. Tai leidžia ūkininkams ir regionams tapti labiau atspariais energetiškai ir ekonomiškai, sukuriant naujas bioekonomikos grandines ir darbo vietas.

2.2. Bioanglies literatūrinė analizė

Bioanglis (angl. *biochar*) – tai kietas anglies turintis produktas, susidarantis pirolizės arba dujinimo metu, kai biomasė apdorojama aukštoje temperatūroje esant ribotam deguonies kiekiui. Šis procesas ne tik leidžia efektyviai konvertuoti žemės ūkio ar miškininkystės atliekas į stabilų anglies produktą, bet ir sumažina metano bei kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išsiskyrimą biodegradacijos metu. Dėl savo anglies struktūros bioanglis yra biochemiškai inertiška ir gali išlikti dirvožemyje nuo kelių dešimtmečių iki daugiau nei šimtmečio, todėl vertinama kaip viena patikimiausių ilgalaikės anglies sekvestracijos technologijų (Calvin et al., 2023; Woolf et al., 2021). Tai suteikia bioangliai pranašumą prieš kitas anglies kaupimo technologijas, kurioms būdingas trumpesnis saugojimo laikotarpis ar didesnė anglies sugrįžimo į atmosferą rizika (Calvin et al., 2023). Bioanglis pasižymi „dviguba nauda“ – vienu metu mažina atmosferos anglies dioksido kiekį ir gerina dirvožemio savybes, o tai turi tiek ekologinį, tiek ekonominį poveikį ūkiams. Agronominiu požiūriu bioanglis gali pagerinti dirvožemio struktūrą, padidinti vandens sulaikymą, sumažinti maistinių medžiagų išplovimą ir pagerinti trąšų panaudojimo efektyvumą (Smith, 2016). Meta-analizėse nustatyta, kad bioanglis ypač efektyvus rūgščiuose ir mažo humuso kiekio dirvožemiuose, kuriuose derliaus padidėjimas gali siekti 10–25 % (Jeffery et al., 2017). Ekonominiu aspektu bioanglis suteikia ūkiams galimybę sumažinti trąšų sąnaudas ir stabilizuoti derlingumą sausros sąlygomis, o tai ypač aktualu klimato kaitos kontekste. Kartu bioanglies naudojimas tampa pagrindu anglies kreditų generavimui, nes sertifikuota anglies sekvestracija leidžia ūkiams gauti papildomas pajamas iš anglies rinkų. Tokiu būdu bioanglis tampa ne tik tvarumo technologija, bet ir ekonominiu instrumentu, didinančiu ūkių atsparumą ir konkurencingumą (*Biochar Carbon Removal* | *Puro.Earth*, 2025).

2.2.1. Bioanglies poveikis dirvožemiui ir ūkių ekonomikai

Mokslinėje literatūroje išskiriamos dvi pagrindinės bioanglies poveikio kryptys: dirvožemio atkūrimas ir ūkių ekonominio produktyvumo didinimas. Bioanglis veikia kaip ilgalaikė dirvožemio gerinimo forma, sukurianti pagrindą fizinei, cheminei ir biologinei dirvožemio regeneracijai. Ryšys tarp dirvožemio organinės anglies augimo ir žemės ūkio derlingumo - didėjimas lemia geresnį dirvožemio stabilumą, kas lemia geresnį maisto medžiagų prieinamumą. Šie pokyčiai ilgainiui mažina ūkių sąnaudas, nes geresnės dirvožemio savybės sumažina poreikį papildomai tręšti arba drėkinti (Lal, 2004). Taip pat, bioanglis gerina poringumą ir aeraciją (Smith, 2016). Tai reiškia, kad ūkininkai gali pasiekti tokį patį derlių su mažesniu trąšų kiekiu, o tai sukuria tiesioginį kaštų taupymo efektą. Be to, bioanglis gerina azoto įsisavinimą, todėl mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas (Dillaway & Kruger, 2014).

Vis dėlto bioanglies poveikis nėra universalus. Moksliniame tyrime nustatyta, kad tropiniuose regionuose bioanglis gali padidinti derlių net iki 25–30 %, tačiau vidutinio klimato zonose, tokiuose regionuose kaip Lietuva, poveikis dažnai būna nuo neutralaus iki nežymaus (Jeffery et al., 2017). Ši variacija aiškinama keliais veiksniais: dirvožemio rūgštingumas, klimato sąlygos, biomasės žaliavos tipas, pirolizės temperatūra, bioanglies dozavimas ir įterpimo būdas. Pavyzdžiui, rūgščiuose dirvožemiuose bioanglis veikia kaip kalkinimo priemonė, todėl derlius padidėja labiau (Zheng & Marschner, 2017). Neutraliuose ar molinguose dirvožemiuose efektas būna silpnesnis. Dėl to

bioanglies ekonominis efektyvumas priklauso nuo lokalaus pritaikymo – kaip ši technologija derinama su kitomis ūkininkavimo praktikomis, tokiomis kaip kompostavimas, kalkinimas, tarpinių kultūrų auginimas ar mažo įdirbimo technologijos. Bioanglies poveikis ūkiui yra kaupiamasis procesas: kuo ilgiau biologinė anglis išlieka dirvožemyje, tuo labiau gerėja struktūra, humuso kiekis ir vandens balansas, o ūkininko ekonominė grąža išryškėja per kelerius metus, o ne iš karto po įterpimo (FAO, 2021). Tai itin svarbu regionuose su sausros rizika, nes bioanglis gerokai padidina dirvožemio gebėjimą išlaikyti drėgmę (Grusson et al., 2021).

Be tiesioginės ekonominės naudos dėl ūkio veiklos sąnaudų mažinimo, bioanglis suteikia ir netiesioginę ekonominę naudą – galimybę gauti pajamų iš anglies dioksido kreditų rinkų. Sertifikuota bioanglies sekvestracija gali būti monetizuojama kaip ilgalaikis anglies pašalinimas, o tai suteikia papildomą pajamų šaltinį ūkiams, ypač tuose regionuose, kur agronominis efektas ribotas. Šis dvigubas naudos modelis („derlius + kreditai“) tampa viena iš pagrindinių ekonominių paskatų integruoti bioanglį į tvarios žemdirbystės sistemą (Grusson et al., 2021).

2.2.2. Bioanglies tvarumas ir klimatui naudingumo poveikio vertinimas

Bioanglis išsiskiria tuo, kad anglies saugojimo laikotarpis yra ne tik ilgas, bet ir prognozuojamas, todėl ši technologija laikoma viena patikimiausių klimato kaitos švelninimo priemonių žemės ūkio sektoriuje. Bioanglies stabilumas vertinamas remiantis jo cheminėmis savybėmis ir skilimo kinetika, o pagrindinis kriterijus – gebėjimas išsaugoti anglį dirvožemyje per kelias dešimtis ar net šimtus metų (Calvin et al., 2023). Ši savybė leidžia bioanglį priskirti prie ilgalaikio anglies pašalinimo technologijų, kurios, skirtingai nei tradicinės kompensacijos, realiai mažina atmosferos anglies dioksido kiekį. Tačiau bioanglies poveikio klimatui įvertinimas nėra vien tik anglies masės matavimas. Tikrasis klimatinis efektyvumas paaiškėja tik tada, kai įvertinamas visas technologijos gyvavimo ciklas (angl. *Life Cycle Assessment*, LCA). Tai reiškia, kad turi būti atsižvelgiama į žaliavų surinkimo, biomasės transportavimo, pirolizės proceso energijos poreikio, įrangos gamybos, sandėliavimo ir bioanglies įterpimo metu susidarancias emisijas. Bioanglies taikymo metodo preliminarūs kaštai pavaizduoti 3 lentelėje (žr. 3 lentelę).

3 lentelė. Bioanglies taikymo metodo preliminarūs kaštai (sudaryta darbo autoriaus)

Komponentas	Kaštai (€/t)	Šaltinis
Žaliavos (atliekos/mediena)	30–100	(Haeldermans et al., 2020)
Gamyba (pirolizė, energija)	100–300	(Haeldermans et al., 2020)
Transportas ir platinimas	40–150	(New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR, 2025)
Dirvos įterpimas ir priežiūra	30–100	(New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR, 2025)
Bendra suma	200–650	-

Jei bent viena grandis yra neefektyvi, galima situacija, kad bendras anglies balansas tampa mažiau teigiamas, nei tikimasi (Woolf et al., 2021a). Klimatui naudingo poveikio vertinimą komplikuoja tai, kad bioanglis gali turėti ne tik tiesioginį, bet ir netiesioginį poveikį emisijoms. Pavyzdžiui, tyrimai rodo, kad bioanglis gali reikšmingai sumažinti metano ir kitų dujų emisijas iš dirvožemio, o tai yra svarbu, nes šios dujos pasižymi daug didesniu šiltnamio efektu nei anglies dioksidas. Tokie efektai

nėra vienareikšmiški ir priklauso nuo dirvožemio savybių, todėl vertinant klimatinę naudą būtina įtraukti ir šiuos netiesioginius šiltnamio dujų srautus (Dillaway & Kruger, 2014).

Ekonominiu požiūriu bioanglies tvarumas daro tiesioginę įtaką anglies kreditų vertei rinkoje. Kreditų platformos, tokios kaip *Puro.earth*, vertina ne tik sekvestruotos anglies kiekį, bet ir pastovumo riziką, kuri lemia kreditų kainą. Kuo ilgesnis anglies saugojimo laikotarpis ir kuo mažesnė rizika, kad anglis bus vėl išskirta į atmosferą, tuo didesnę ekonominę vertę gali turėti sertifikuotas pašalinimas (Lötjönen et al., 2024). Todėl bioanglies kreditai pasaulio rinkose dažnai yra vertinami brangiau nei trumpalaikės kompensacijos, tokios kaip miškų atsodinimas, energijos vartojimo mažinimas, nes jų poveikis klimatui yra ilgesnis ir stabilesnis. Be to, klimatinio efektyvumo vertinimas yra glaudžiai susijęs su papildomumo principu. Anglies kreditai turi būti suteikiami tik tokioms veikloms, kurios nebūtų įvykusios be finansinio mechanizmo (Honegger et al., 2021). Tai reiškia, kad ūkininkai turi įrodyti, jog bioanglies įterpimas yra papildoma, klimato atžvilgiu naudinga praktika, o ne įprasta ūkio operacija. Dėl šios priežasties būtina tiksliai dokumentuoti žaliavų kilmę, įrangos energijos balansą ir dirvožemio pokyčius.

Galiausiai, bioanglies tvarumas turi ir socialinę-ekonominę naudą, nes tvarus anglies kaupimas gali būti laikomas viešąja gėrybe, kurios nauda pasiskirsto tarp ūkininkų, visuomenės ir valstybės. Literatūroje pabrėžiama, kad klimatinės ir ekonominės naudos pasireiškia tik tada, kai egzistuoja skaitmenizuota, standartizuota ir audituojama apskaitos sistema, kuri sumažina informacijos asimetriją ir leidžia rinkai veikti skaidriai (Schneider & La Hoz Theuer, 2019). Tokia sistema yra būtina, norint užtikrinti, kad bioanglies kreditai būtų patikimi, lyginami ir turėtų realią finansinę vertę tarptautinėje rinkoje.

2.2.3. Bioanglies ekonominis potencialas ir rinkos logika

Bioanglis yra vienas iš nedaugelio žemės ūkio produktų, kuris įgyja vertę ne tik per fizinį naudojimą ūkyje, bet ir per finansines rinkas, kuriose prekiaujama anglies pašalinimo sertifikatais. Dėl šios priežasties bioanglis tampa hibridiniu ekonominiu produktu – jis turi tiek materialią, tiek nematerialią finansinę vertę. Pastaroji priklauso nuo to, kaip veiksmingai anglies pašalinimas gali būti paverstas paklausiu, patikimu ir rinkoje parduodamu anglies kreditu. Bioanglies pagrindu sukurti anglies pašalinimo (CORC) sertifikatai laikomi aukštos kokybės anglies pašalinimo vienetais, nes jie atitinka tarptautinius papildomumo, patikimumo ir patikrinamumo kriterijus. Tai reiškia, kad į rinką gali patekti tik tie kreditai, kuriems yra aiškiai įrodyta anglies pašalinimo kilmė, apskaita ir ilgalaikė vertė (*Biochar Carbon Removal | Puro.Earth*, 2025). Tokiu būdu anglies pašalinimo sertifikatai įgauna savybių, būdingų finansiniams aktyvams – juos galima kaupti, parduoti, perleisti ar naudoti korporatyvinėms tvarumo strategijoms. Ekonominę bioanglies vertę rinkoje lemia keli tarpusavyje susiję veiksniai. Pirmiausia, savanoriškos anglies rinkos pasižymi informacijos asimetrija: pirkėjai dažnai nežino, kiek patikimi yra kreditai ir kaip apskaičiuotas anglies pašalinimo kiekis. Dėl to kainų intervalas yra labai platus – nuo 300 iki 500 USD/tCO_{2e} (*Quantum Commodity Intelligence | News, Prices, Analysis & Data*, 2025). Kiti šaltiniai kainas išskiria dar įvairiau, nuo 140 EUR iki 950 EUR nuo 2015 metų iki dabar. Šis kainų išsiskyrimas nėra susijęs tik su technologiniais skirtumais, jis daugiausia kyla iš pasitikėjimo lygio (žr 4 lentelę). Projektai, kurie turi aiškią sertifikavimo istoriją ir audituotas ataskaitas, įgauna didesnę vertę nei tie, kurių duomenys yra riboti arba fragmentiški (Schneider & La Hoz Theuer, 2019).

4 lentelė. 2015-2025 metų bioanglies kainos (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	Kainos intervalas (€/t)	Vidurkis (€/t)	Šaltinis
2015–2017	380–820	600	(Haeldermans et al., 2020b)
2018–2020	190–950	570	(Thengane et al., 2021)
2021–2022	180–900	540	(Elias et al., 2022)
2023	300–570	435	(Quantum Commodity Intelligence News, Prices, Analysis & Data, 2025)
2024	140–320	230	(New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR, 2025)
2025	140–180	160	(New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR, 2025)

Potencialūs pirkėjai – tarptautinės bendrovės, finansų institucijos ir investiciniai fondai – anglies kreditus vertina ne tik kaip kompensavimo priemonę, bet ir kaip reputacinį turtą. Tyrimai rodo, kad įmonės labiau linkusios mokėti už projektus, kurie turi aiškų veiksmų logikos pagrindimą ir yra suderinami su būsimais ES ir JAV reguliavimais. Todėl aukščiausią vertę rinkoje turi projektai, kurių apskaita yra suderinta su tarptautinėmis gairėmis. Trečia, bioanglies rinka veikia pagal masto ekonomikos principus: kuo didesnis projektų mastas, tuo mažesnė vieneto kaina ir tuo labiau nuspėjami grąžos rodikliai. Tai lemia, kad bioanglies projektai tampa patrauklūs investuotojams tik tuomet, kai turi aiškų tiekimo grandinės modelį, stabilias žaliavų atsargas ir prognozuojamus pinigų srautus. Tokie projektai dažnai finansuojami per mišrias struktūras – subsidijų, privataus kapitalo ir kreditų pardavimo derinį (Zilberman et al., 2023). Šiuo požiūriu bioanglies kreditai tampa klimato finansų instrumentu, kurio vertę lemia ne žemės ūkio našumas, o finansinis pasitikėjimas, rizikos valdymas ir sertifikavimo architektūra. Jei kitose anglies kreditų kategorijose dažnai dominuoja trumpalaikės kompensacijos (pvz., energijos vartojimo mažinimas), bioanglies kreditai sukuria ilgalaikio klimato turto sampratą, kuri gali būti naudojama kaip reputacinė investicija ir tvarumo rodiklis.

Apibendrinant galima teigti, kad bioanglies ekonominis potencialas kyla iš to, kad jis veikia rinkoje kaip patikimumu pagrįstas finansinis aktyvas. Jo vertė priklauso ne vien nuo anglies kiekio, bet ir nuo sertifikavimo kokybės, metodikos skaidrumo ir investuotojų pasitikėjimo. Todėl pagrindinis šios rinkos veiksnys yra ne technologija, o standartizacija, apskaitos griežtumas ir duomenų atsekamumas, kurie lemia kreditų kainą ir paklausą globalioje klimato finansų sistemoje.

2.3. Anglies dioksido kreditų rinkos teoriniai pagrindai, veikimo mechanizmas ir žemės ūkių įsitraukimo galimybės

CO₂ kreditų rinka yra globali ekonominė sistema, kuri leidžia finansuoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimą ir ilgalaikį anglies pašalinimą, suteikdama rinkos vertę kiekvienai atmosferoje neatsiradusiai arba joje stabiliai sukauptai tonai anglies dioksido ekvivalento. Ši rinka veikia kaip mechanizmas, skirtas klimato kaitos kaštus perkelti iš visuomenės ant emisijų generuotojų, taip sukuriant ekonominę paskatą investuoti į tvarias technologijas. Kitaip tariant, kreditų rinka remiasi fundamentalia prielaida, kad klimato kaitos iššūkiui spręsti būtina ne tik mokslo ir technologijų

pažanga, bet ir ekonominiai instrumentai. Kaip pabrėžiama „Voluntary Carbon Markets“ studijoje, anglies rinka atsirado kaip atsakas į poreikį sukurti sistemą, kuri įkainoja taršą ir paverčia ją ekonomine atsakomybe.

Europos Komisija, Jungtinės Tautos, Pasaulio Bankas ir Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisija (IPCC) pripažįsta anglies kreditų sistemą kaip vieną iš centrinių įrankių, reikalingų pasiekti pasaulinius „net-zero“ tikslus iki 2050 metų. Pagal 2023–2024 m. Pasaulio banko „Carbon Pricing Dashboard“ duomenis, anglies kainodaros mechanizmai globaliai generuoja daugiau kaip 100 mlrd. JAV dolerių per metus, o savanoriškoji anglies kreditų rinka (VCM) yra vienas sparčiausiai augančių klimato finansų segmentų. Ekonomiškai CO₂ kreditų generavimas ūkiui gali tapti papildomu pajamų šaltiniu. Tipinis skaičiavimas: 1 tona bioanglies gali atitikti apie 2–3 tCO₂. Jei kredito vidutinė rinkos kaina yra 150 €/tCO₂, o ūkis įterpia, tarkime, 50 tonų bioanglies, tai potencialiai galima generuoti 150–225 kredito vienetų vertę, kuri sudarytų apie 22 500–33 750 EUR. Realios ūkininko pajamos priklauso nuo sutartinių sąlygų, tačiau praktikoje ūkininkas gauna 50–70% grynosios kredito vertės. Taigi, net konservatyviu atveju, pajamos gali siekti 10–20 tūkst. vienkartinę aplikacijai 20–50 ha lauke. Tačiau nuo 2015 metų bioanglies kreditų kainos buvo skirtingos, jos kito per laikotarpį (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. 2015-2025 metų vidutinės bioanglies generuojamų kreditų kainos (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	Vidurkis (€/t CO ₂ e)	Mediana (€/t CO ₂ e)	Šaltinis
2015–2019	200–300	250	(Elias et al., 2022)
2020–2022	170–250	200	(L, 2025)
2023–2024	160–200	175	(Sherrard, 2024b)
2025	140–180	150	(L, 2025)

Anglies rinkos teorinis pagrindas yra paprastas, tačiau giliai transformuojantis: paverčiant taršą nuosavybės vienetais (tCO₂ ekvivalento kreditais), atsiranda galimybė prekybai, kuri per kainų signalus skatina teršėjus mažinti emisijas, o investicijas nukreipia į pigiausias ir efektyviausias išmetimų mažinimo būdus. Ši teorija remiasi prielaida, kad kuo platesnė rinka – tiek geografiškai, tiek veiklos mastu – tuo didesnė tikimybė rasti emisijų mažinimą ten, kur tai padaryti pigiausia, ir taip užtikrinti bendrą ekonominį efektyvumą.

2.3.1. Anglies kreditų rinkų tipai

Teoriniame lygmenyje CO₂ kreditų sistema gali būti dviejų tipų: reguliuojama rinka, paremta „cap-and-trade“ mechanizmu, ir savanoriškoji rinka, kurioje dalyvavimas nėra teisinis įpareigojimas. *Cap-and-trade* – tai politinis klimato mechanizmas, kai valstybė ar reguliuotojas nustato bendrą leidžiamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį tam tikram laikotarpiui, kuris įvardijamas kaip leidimai ar kvotos, kur vienas leidimas suteikia teisę išmesti vieną toną CO₂ ekvivalentų. Reguluojamoje rinkoje viršutinei emisijų ribai (*cap*) aplinkosauginė institucija išduoda tam tikrą leidimų kiekį, o įmonės gali jais prekiauti, taip finansiniu būdu skatindamos sumažinti emisijas žemiau leistinos ribos. Kitaip tariant, leidimai gali tapti preke, kurią įmonės turi teisę prekiauti. Jei įmonė išskiria teršalų, gali jais naudotis, jei išskiria mažiau teršalų – juos parduoti, o jei viršija savo išmetimų ribą – pirkti papildomai arba teks mokėti baudas. Tai svarbu, nes kai tarša įkainojama, įmonės susiduria su alternatyviais sprendimais – arba mažinti taršą viduje, arba įsigyti kreditų iš kitų subjektų. Ši lanksti struktūra leidžia

optimizuoti kaštus ir skatinti inovacijas. Pavyzdžiui, jei įmonė mano, kad taršos sumažinimas gamyboje kainuos daug, ji gali pirkti kreditus dabar, tikėdamasi, kad ateityje technologijos leis sumažinti emisijas pigiau. Be to, rinkos leidžia dalyvauti ir trečiosioms šalims, tokioms kaip spekuliantai ar nevyriausybinės organizacijos, kurios, siekdamos sumažinti emisijas, gali pirkti ir išimti kreditus iš apyvartos, taip pakeldamos taršos kainą ir stiprindamos rinkos poveikį. Todėl reguliuojamoji rinka apima tokias sistemas kaip Europos Emisijų Prekybos sistemą (EU ETS), kurioje valstybės nustato emisijų ribas ir įmonės privalo įsigyti apyvartinius taršos leidimus. Šie mechanizmai apima tik pramonę, energetiką ir aviaciją, bet ne žemės ūkį, todėl ūkininkai per šį kanalą negali gauti pajamų.

Savanoriškosios rinkos veikimas grindžiamas visiškai kitokia logika – čia nėra iš išorės nustatytos ribos, todėl kreditų paklausa kyla iš organizacijų savanoriško siekio kompensuoti savo taršą reputaciniais, strateginiais ar moraliniais sumetimais. Savanoriškajai rinkai būdingas fragmentiškumas, aukšta sandorių įvairovė ir nevienoda kreditų kokybė, nes čia sandoriai dažnai derinami individualiai ir ne visada remiasi vieningais standartais ar apskaitos principais. Savanoriška rinka galima apibūdinti kaip decentralizuota ir nuo valstybinio reguliavimo nepriklausoma sistema, kurioje įmonės, finansų institucijos ar privatūs investuotojai savanoriškai perka anglies kreditus iš projektų, mažinančių ar pašalinančių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas už teisinės prievolės ribų. Kitaip tariant, šie rinkos dalyviai neprivalo įsigyti kreditų pagal jokių teisinių ar reguliacinių reikalavimus, tačiau tai daro siekdami kompensuoti sunkiai sumažinamas emisijas, gerinti tvarumo rodiklius ar išpildyti visuomenės ir investuotojų lūkesčius. Būtent ši decentralizuota struktūra suteikia erdvės inovacijoms ir naujiems projektų tipams, tarp jų – žemės ūkio ir bioanglies iniciatyvoms, kurie gali generuoti papildomas pajamas ūkininkams ir kartu prisidėti prie ilgalaikio anglies sekvestravimo dirvožemyje. Taip pat, vertinant CO₂ kreditų rinkų teorinius mechanizmus, svarbu suprasti, kad savanoriškoji rinka vystėsi lygiagrečiai su tarptautine klimato politika ir dažnai išliko mažiau reguliuota. Tai lėmė ne tik didelę metodinių ir apskaitos įrankių įvairovę, bet ir didesnę riziką dėl kreditų kokybės. Savanoriškosios rinkos nuolat susiduria su įtampa dėl kreditų vertinimo – viena vertus, siekiama suvienodinti kreditus kaip mainomus vienetų, kita vertus, būtina įvertinti jų skirtingus socialinius, ekologinius ir technologinius aspektus, kurie lemia realią klimato naudą. Todėl kreditų kokybės užtikrinimas tampa nuolatiniu procesu, kurio metu tobulinami metodai, papildomumo tikrinimas, poveikio koeficientai ir rizikos vertinimai. Tai lemia, kad rinka vystosi cikliška – kritika skatina reformą, reforma sukuria naujus instrumentus, o šie vėl tampa kritikos objektu. Svarbu paminėti, kad 2023 m. ši rinka pasiekė apie 2 mlrd. USD vertę, o tarptautiniai analitikai (McKinsey, BloombergNEF) prognozuoja, kad iki 2030 m. ji gali išaugti iki 30–50 mlrd. USD. CO₂ pašalinimo kreditai yra brangesni ir paklausesni nei emisijų vengimo kreditai, nes užtikrina realų atmosferos teršalų mažinimą – dekarbonizavimą. Pašalinimo kreditai yra būtini ilgalaikiam klimato balanso pasiekimui – tai aiškiai įvardija Tarpyvyriausybės klimato kaitos komisija (IPCC AR6), Europos Sąjungos anglies pašalinimo sertifikavimo pagrindas (CERF) ir ES klimato strategija

Sparčiai auganti privataus sektoriaus paklausa anglies kreditams dar labiau išryškina savanoriškosios rinkos vaidmenį ir kartu kelia iššūkių jos aplinkosauginei patikrai bei suderinamumui su Paryžiaus susitarimu. Savanoriškoji rinka per pastaruosius metus stipriai išaugo dėl didėjančių verslo „net-zero“ įsipareigojimų ir įmonių socialinės atsakomybės, kuri verčia tausoti aplinką ir prisidėti prie visuomenės gerovės, bei aplinkosauginių, socialinių bei valdysenos kriterijų, kurie svarbūs investuotojams, bankams, reguliatoriams ir reitingų agentūroms. Kitaip tariant, taip yra nustatoma ir matuojama įmonės veiklos tvarumas. Aplinkosauga: taršos emisijos, energijos vartojimas, atliekų

tvarumas, tarša ir biologinė įvairovė. Socialinis poveikis: darbuotojų sauga, lygybė, bendruomenių gerovė, darbo praktikos. Valdysena: skaidrumas, valdybos sudėtis, korupcijos prevencija ir rizikų valdymas.

2.3.2. Žemės ūkio įsitraukimas į anglies dioksido mažinimo sistemas

Tvaraus žemės ūkio įsitraukimas į anglies dioksido mažinimo sistemas šiandien vis mažiau atrodo kaip nišinė „žaliųjų ūkių“ praktika ir vis labiau – kaip struktūrinė agrarinės ekonomikos transformacija. Tiek Tarpvyriausybinė klimato kaitos komisija (angl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) , tiek Jungtinių Tautų Maisto ir žemės ūkio organizacija (angl. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO) analizuojant žemės ūkį ir žemės naudmenų sektorių pabrėžia, kad būtent čia slypi vienas didžiausių pasaulinio švelninimo potencialų: AFOLU sektorius iki 2030 m. galėtų sumažinti 7–11 Gt CO₂ ekv. kasmet, iš kurių didelė dalis susijusi su dirvožemio ir biomasės anglies didinimu. AFOLU – tai tarptautinis klimato politikos ir mokslinių tyrimų terminas, kuris apima žemės ūkio, miškininkystės ir žemės naudojimo funkcijas: gyvulinkystę, pasėliai, tręšimas, dirvožemio emisijos, mėšlo tvarkymas, medžių augimas, naikinimas, miškų atkūrimas, bei žemės paskirties keitimas, durpynai, pievos ir agromiškininkystė. Tai reiškia, kad žemės ūkis iš tradicinio emisijų šaltinio tampa vienu pagrindinių globalios anglies apskaitos žaidėjų. Šis vaidmuo realizuojamas per konkrečias anglies kreditų ir žemo anglies intensyvumo sertifikavimo sistemas. Teoriškai jos remiasi klasikine rinkos logika: ūkininkai, kurie įgyvendina praktikas, mažinančias emisijas ar didinančias anglies atsargas dirvožemyje, generuoja papildomą produktą – sertifikuotas emisijų mažinimo ar pašalinimo vienetus, kurie gali būti parduoti rinkoje. Taip sukuriamas papildomas pajamų srautas, o kartu – kainos signalas, skatinantis racionalų išteklių naudojimą ir emisijų mažinimą ten, kur tai padaryti pigiausia. Žemės ūkio anglies kreditų sistemos iš esmės yra „tiltas“ tarp ūkių biogeocheminių procesų ir finansinių rinkų, nors jos vis dar ankstyvoje raidos stadijoje ir pasižymi dideliu neapibrėžtumu (Lokuge & Anders, 2022).

Europos lygmeniu šią teorinę logiką į konkrečią reguliacinę architektūrą perkelia jau minėtas Europos Sąjungos anglies pašalinimo sertifikavimo pagrindas – *Carbon Removal Certification Framework* (CRCF), kuris nuo 2024 m. Europos Sąjungoje nustato kokybės kriterijus anglies šalinimo ir anglies kaupimo veikloms: reikalaujama aiškos kvantifikacijos, papildomumo, ilgalaikio saugojimo ir tvarumo užtikrinimo. Kitaip tariant, Europos Sąjunga formuoja bendrą taisyklių rinkinį, kuris leidžia lyginti skirtingus projektus ir kurti patikimus, investuotojams suprantamus anglies vienetus.

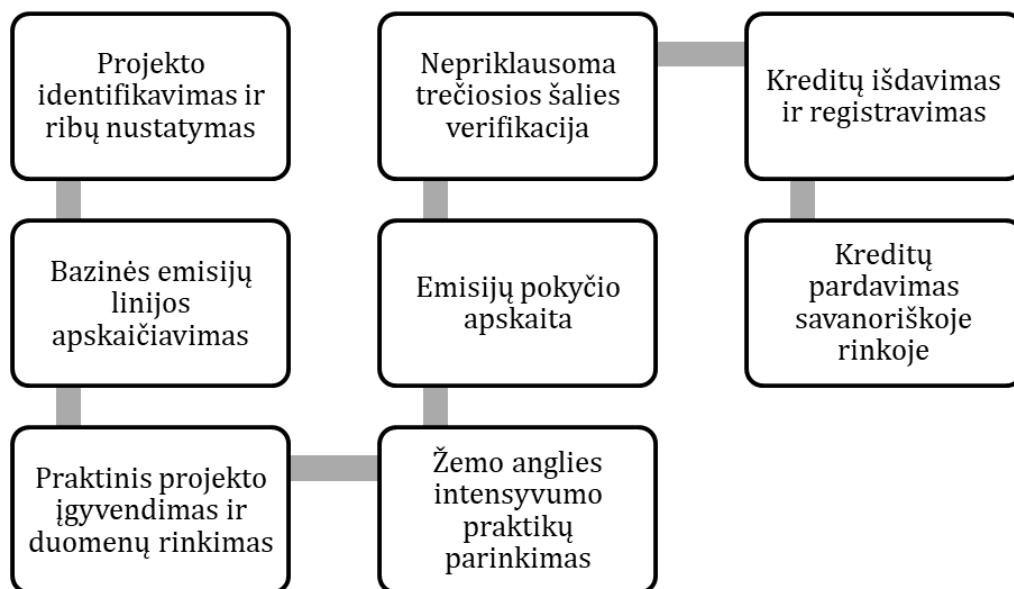
Remiantis bendra teorija, sertifikavimo sistemos žemės ūkyje veikia kaip mechanizmas, leidžiantis ūkio lygmens pokyčius paversti ekonomiškai pripažįstamais anglies vienetais. Tokios iniciatyvos kaip „Solagro“ pilotinė sistema, prancūziškasis „Label Bas Carbone“, „LEAF Marque“ ar „Wineries for Climate Protection“ parodo, kad praktinis įgyvendinimas grindžiamas trečiųjų šalių sertifikavimu, griežta metodika ir MRV (monitoringo, ataskaitų teikimo ir tikrinimo) infrastruktūra. Šios sistemos sudaro sąlygas tiksliai įvertinti ūkių taikomus sprendimus – mažesnių trąšų normų taikymą, tarpinius pasėlius, agromiškininkystę ar efektyvesnį energijos naudojimą – ir įtraukti juos į anglies apskaitą bei rinkos mechanizmus. Tokiu būdu teoriniai principai įgauna praktinę formą realiuose žemės ūkio anglies kreditavimo modeliuose (Bartzas et al., 2025).

2.3.3. Anglies dioksido kreditų generavimo metodikos žemės ūkyje

„Solagro“ pilotinė sistema yra ankstyviausia ES mastu atlikta metodinė studija, kurios tikslas buvo įvertinti, ar įmanoma sukurti vieningą ir patikimą žemės ūkio ŠESD apskaitos metodą, galintį tapti

sertifikavimo ir finansinių paskatų pagrindu. Projektas, inicijuotas Europos Komisijos 2010 m., buvo suskirstytas į tris etapus: pirma, atlikta esamų ŠESD apskaitos sistemų analizė visoje ES; antra, sukurta atvirojo kodo anglies skaičiuoklė, vertinanti ūkio emisijas pagal gyvavimo ciklo (LCA) principą; trečia, parengtos politikos kryptys, kaip šią sistemą būtų galima integruoti į bendrosios žemės ūkio politikos (BŽŪP) paramos mechanizmus. Skaičiuoklė leido ūkiams įvesti visus pagrindinius veiklos parametrus – trąšas, pašarus, energijos sąnaudas, dirvožemio emisijas, iš gyvulių mėšlo išskirtą metaną – ir apskaičiuoti bendrą CO₂ ekvivalentą. Tokiu būdu buvo sukurtas mechanizmas, kuris pirmą kartą ES mastu leido vienodai vertinti emisijas įvairių ūkio tipų. Nors pilotinė sistema nebuvo paversta oficialiu ES sertifikatu, jos struktūra tapo teoriniu pagrindu vėlesnėms metodikoms: aiškus bazinės linijos nustatymas, duomenų rinkimas, monitoringo būtinybė ir trečiosios šalies verifikacija. Tai svarbu todėl, kad būtent „Solagro“ logika vėliau atsispindėjo ir „Carbon Agri“ metodikoje, ir naujajame ES *Carbon Removal Certification Framework* (CRCF).

Prancūziškoji „Label Bas Carbone“ (LBC) sistema, o ypač jos žemės ūkio metodika „Carbon Agri“, yra pirmoji Europoje visiškai sukurta ir valdžios institucijų patvirtinta schema, leidžianti generuoti tikrus, registruose apskaitomus anglies kreditus. Ši metodika taikoma nacionaliniu mastu ir turi griežtus kriterijus, pateiktus Prancūzijos ekologinės transformacijos ministerijos. „Carbon Agri“ veikia per aiškų aštuonių etapų procesą: 1) projekto identifikavimas ir ribų nustatymas; 2) bazinės emisijų linijos apskaičiavimas, naudojant istorinius ūkio duomenis ir regioninius emisijų koeficientus; 3) žemo anglies intensyvumo praktikų parinkimas (tarpiniai pasėliai, dirvos įdirbimo mažinimas, organinių trąšų optimizavimas, pašarų vietiskumas, gyvulių bandos valdymo pokyčiai); 4) praktinis projekto įgyvendinimas ir duomenų rinkimas; 5) emisijų pokyčio apskaita naudojant metodikoje pateiktus emisijų faktorius; 6) nepriklausoma trečiosios šalies verifikacija; 7) kreditų išdavimas ir registravimas; 8) kreditų pardavimas savanoriškojoje rinkoje arba panaudojimas privačių įmonių klimato tikslams. Kitaip tariant, nustato bazinę emisijų liniją, detalai apskaičiuoja išmetimus iš gyvulininkystės, trąšų naudojimo, dirvožemio procesų ir energijos sąnaudų, o vėliau vertina faktinius pokyčius diegiant tvarias praktikas. Rezultatas – tonomis CO₂ ekv. išreikštas sumažinimas, kurį, atlikus nepriklausomą auditą, galima paversti sertifikuotais kreditais. Šis modelis yra griežčiausias iš visų metodikų, nes tik jis turi pilną ciklą: duomenys → apskaita → verifikacija → registras → kredito pardavimas“. Todėl LBC metodika šiandien laikoma vienu iš pagrindinių pavyzdžių, kaip praktiškai turi atrodyti žemės ūkio įtraukimas į CO₂ kreditų rinkas (Black et al., 2022).



7 pav. „Label Bas Carbone“ sistema (sudaryta autoriaus remiantis Blacku, 2022)

„LEAF Marque“ sistema, atsiradusi Jungtinėje Karalystėje, iš esmės veikia skirtingu principu. Ji nėra metodika, apskaičiuojanti Anglies kiekį tonomis, bet veikiau sertifikavimo sistema, kuri padeda ūkiams įgyvendinti integruotą tvarumo valdymą (*Integrated Farm Management*, IFM). Jos struktūra remiasi procesiniais reikalavimais: dirvožemio sveikatos išlaikymas, tikslus maistinių medžiagų balansas, vandens valdymas, biologinės įvairovės saugojimas, energijos naudojimo optimizavimas, aplinkosauginis monitoringas ir kraštovaizdžio planavimas. LEAF metodikoje ūkiams taikoma savikontrolė, o po to – išorinis auditas, užtikrinantis, kad laikomasi IFM principų. Nors LEAF sistema nevirsta tiesioginiais CO₂ kreditais, ji yra praktinis instrumentas, leidžiantis ūkiui įrodyti tvarumo praktikų įgyvendinimą. Tai svarbu anglies rinkoms, nes visos kreditų metodikos reikalauja „įrodyti pokytį“, o LEAF sistema sudaro administracinę ir praktinę pagrindą tam pokyčiui. Ekonomiškai LEAF padeda sukurti „rinkos signalą“ – sertifikuoti ūkiai dažnai gauna didesnę produkto kainą, jų produkcija patrauklesnė mažmeniniams tinklams, o tai netiesiogiai gali būti susieta su klimatui palankių praktikų vertinimu (Bartzas et al., 2025).

Taip pat yra ir tokių metodikų kaip „Wineries for Climate Protection“ (WfCP). Ši metodika yra sektoriškai specifinis pavyzdys, įrodantis, kad anglies mažinimo metodikos gali būti pritaikytos ne tik ūkiams, bet ir agroperdirbimo grandinėms. WfCP apima keturias pagrindines vertinimo sritis: ŠESD emisijos ir energija, vandens naudojimas, atliekų tvarkymas ir biologinė įvairovė. Sertifikavimas vyksta etapais: pirmiausia vyninė turi išmatuoti esamas emisijas, tada parengti tikslų planą emisijoms mažinti, tuomet įgyvendinti priemones (dažnai energijos efektyvumo ar perdirbimo srityse), reguliariai teikti duomenis ir pereiti periodinį auditą. Tikslas – sumažinti emisijas 30 % iki 2030 m. Nors WfCP nėra tiesiogiai susieta su kreditų generavimu, ji formuoja MRV (*monitoring-reporting-verification*) pagrindą, kurį galima naudoti skaičiuojant emisijų sumažinimo vienetus. Taip susidaro situacija, kai vyninės, įgyvendinusios WfCP reikalavimus, gali pereiti į kreditų rinką, jei atsiranda metodika, kuri leidžia šį emisijų sumažinimą paversti CO₂ kreditais (Bartzas et al., 2025).

Šių metodikų analizė leidžia suvokti, kad žemės ūkio anglies apskaita nėra vien techninis skaičiavimų procesas; tai struktūruota, instituciškai reguliuojama sistema, kurios tikslas – paversti biologinius ir agrarinius procesus aiškiais ekonominiais rodikliais. „Solagro“ sistema parodė, kad įmanoma sukurti

vieningą skaičiavimo modelį; LBC sistema įrodė, kad įmanoma tokį modelį paversti kreditų sistema; LEAF sistema parodė, kad ūkio valdymo pokyčiai gali būti integruojami į plačią tvarumo sistemą; o WfCP metodika įrodė, kad ir specializuoti sektoriai gali pereiti prie anglies mažinimo logikos. Ši metodinė įvairovė atitinka ekonominę realybę: nėra vieno ūkio tipo, nėra vienos gamybos grandinės, todėl vieno standarto visiems modelis čia neveiktų (Bartzas et al., 2025).

Visos aptartos metodikos dalijasi trimis bendrais principais. Pirma – bazinių emisijų nustatymas yra būtinas, nes tik taip galima apskaičiuoti realų pokytį. Antra – MRV sistemos yra neatsiejama dalis: be monitoringo, ataskaitų ir verifikavimo kreditų rinka negali funkcionuoti. Trečia – papildomumo ir papildomų reikalavimų patikra, kuri užtikrina, kad kreditai nebūtų išduodami už tai, kas būtų įvykę savaime. Šie principai yra esminiai ir jie atsikartoja visose metodikose, nepriklausomai nuo jų techninio išsivystymo lygio.

Apibendrinant galima teigti, kad nagrinėjamos metodikos kartu atskleidžia visą žemės ūkio integracijos į anglies kreditų rinką evoliuciją: nuo eksperimentinio „Solagro“ modelio, per nacionaliniu mastu taikomą LBC kreditų sistemą, iki integruotų valdymo standartų, tokių kaip LEAF ir WfCP. Tai nėra tarpusavyje konkuruojančios sistemos – veikiau jos atspindi skirtingas pakopas, būtinas tam, kad žemės ūkis galėtų patikimai ir ekonomiškai pagrįstai dalyvauti klimato kaitos švelninimo procese. Lietuvos kontekste ši analizė yra ypač svarbi: norint plėtoti bioanglies, agromiškininkystės ar tvarių dirvožemio praktikų kreditų rinką, būtina suprasti, kaip šie metodiniai modeliai veikia iš vidaus, ir kaip jie gali būti adaptuoti nacionalinei klimato ir žemės ūkio politikai. Kadangi ES CRCF įveda naują vieningą standartą anglies šalinimui ir ūkininkavimui, tikėtina, kad būtent tokios metodikos kaip LBC taps pagrindu būsimoms kreditų schemoms, o LEAF ir WfCP padės užtikrinti platesnį tvarumo integravimą žemės ūkio grandinėse.

Taip pat svarbu, kad Europos Sąjungos žemės ūkio anglies sistemos nėra atskirtos nuo platesnės agrarinės politikos. Visų minėtų sistemų ir metodikų, „Solagro“, LCL, LEAF ir WfCP, raida glaudžiai siejasi su Bendra žemės ūkio politika (BŽŪP), Žaliojo kursu, „Nuo ūkio iki stalo“ strategija ir naujuoju anglies ūkininkavimo bei pašalinimų reguliavimu. Tai reiškia, kad klimato paskatos vis labiau persipina su tradicinėmis pajamų palaikymo, kaimo plėtros ir aplinkosaugos priemonėmis. Anglies sertifikavimas tampa ne priedu, o integruota ekonominių signalų sistema greta ekosistemų, tiesioginių išmokų ir kaimo plėtros priemonių.

3. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje vertinimo metodika

Magistro darbo tyrimo dalyje analizuojamas bioanglies naudojimo ir CO₂ kreditavimo ekonominis poveikis žemės ūkio veiklos rezultatams, taikant mikroekonominio (ūkio lygio) ir makroekonominio (nacionalinio lygio) duomenų analizę. Tyrime vertinami ūkio kaštų, pajamų ir pelningumo rodikliai bei jų ryšys su nacionaliniais žemės ūkio sektoriaus ir makroekonominiais veiksniais.

Tyrimo tikslas – įvertinti, kaip trąšų sąnaudos, pajamos iš žemės ūkio produkcijos, darbo užmokesčio kaštai ir reguliaciniai veiksniai ūkio lygiu, kartu su nacionaliniais makroekonominiais rodikliais, veikia žemės ūkio veiklos ekonominius rezultatus ir sudaro prielaidas bioanglies bei CO₂ kreditavimo taikymo ekonominiam pagrįstumui Lietuvoje.

Tyrimo imtis. Tyrimui naudojami dviejų lygių duomenys. Mikro lygio duomenys – individualių žemės ūkio ūkių ekonominiai duomenys, surinkti metiniu laikotarpiu, o esant galimybei – ir ketvirtiniu periodiškumu. Duomenys apima 2015–2024 m. laikotarpį. Makro lygio duomenys – nacionaliniai Lietuvos žemės ūkio sektoriaus ir bendrieji makroekonominiai rodikliai, apimantys tą patį laikotarpį.

Tyrimo metodai. Tyrimo tikslui įgyvendinti pasirinkta mikro ir makro lygio rodiklių dinamikos analizė, atliekama naudojant Microsoft Excel, aprašomoji statistika ir duomenų vizualizacija, bei koreliacinė analizė, siekiant nustatyti ryšius tarp ūkių ekonominių rodiklių ir makroekonominių veiksnių. Regresinė analizė, taikoma vertinant, kaip pagrindiniai kaštų, pajamų ir reguliaciniai veiksniai veikia ūkių ekonominius rezultatus. Taip pat analizuojami su Bioanglies taikymu susiję duomenys, siekiant patikrinti ryšius su makroekonominiais rodikliais.

Toliau, tyrime taikoma vieno ūkio atvejo analizė, naudojant laiko eilučių duomenis. Analizuojami ūkio ekonominiai rodikliai per laikotarpį, taikant aprašomąją statistiką, dinamikos analizę ir regresinę analizę, siekiant įvertinti pagrindinių kaštų veiksnių poveikį ūkio pajamoms ir pelningumui. Papildomai atliekama scenarijų analizė, leidžianti įvertinti bioanglies naudojimo ir CO₂ kreditavimo ekonominį poveikį ūkiui.

Magistro baigiamojo darbo tyrimo struktūra apima keletą etapų – žemės ūkio ekonominių rodiklių (mikro lygio) dinamikos analizę, nacionalinių žemės ūkio sektoriaus ir makroekonominių rodiklių analizę bei mikro ir makro lygio duomenų tarpusavio ryšio vertinimą, taikant daugiamatės statistinės analizės metodus. Taip pat bus Bioanglies kainos, jų generuojamų anglies kreditų vertės bei taikymo kaštų su makroekonominiais rodikliais. Įvertinus gautus rezultatus bus modeliuojamas ūkio ekonominis scenarijus taikant ir netaikant tvarios žemdirbystės mechanizmo – bioanglies.

Daugiamatės regresinės analizės „Multivariate Tests“ etape vertinama, ar nepriklausomų kintamųjų grupė (trąšų sąnaudos, darbo užmokesčio kaštai, bei makroekonominiai rodikliai) daro statistiškai reikšmingą poveikį visai priklausomųjų kintamųjų grupei. Tai leidžia įvertinti bendrą ekonominių ir reguliacinių veiksnių poveikį ūkių veiklos rezultatams.

Daugiamatės regresinės analizės „Tests of Between-Subjects Effects“ etape analizuojamas kiekvienas priklausomas kintamasis atskirai, siekiant nustatyti, kuris konkretus veiksnys turi didžiausią įtaką atskiriems ūkių ekonominiams rodikliams. Atsižvelgus į teorinėje darbo dalyje atliktą analizę ir duomenų prieinamumą, priklausomais kintamaisiais tyrime pasirinkti ūkių produkcijos

pardavimo pajamos, bendros veiklos sąnaudos ir pelningumo rodikliai, o nepriklausomais kintamaisiais – trąšų (NPK) sąnaudos, darbo užmokesčio kaštai, energijos ir kuro sąnaudos, reguliaciniai kaštai bei pagrindiniai makroekonominiai ir sektoriaus rodikliai.

Priklausomų kintamųjų ūkio duomenys tyrime išskaidyti pagal pagrindines ūkio veiklos ekonomines kategorijas, sudarant pilną laiko eilučių duomenų rinkinį analizuojamam laikotarpiui. Tai leidžia vertinti skirtingų ūkio veiklos rodiklių tarpusavio sąveiką ir jų pokyčius laiko perspektyvoje (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Tyrimui atrinkti priklausomi kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)

Kintamojo pavadinimas	Kintamojo aprašymas	Duomenų šaltinis	Sutrumpintas žymėjimas
Ūkio pajamos	Bendros ūkio pajamos iš žemės ūkio produkcijos pardavimo per analizuojamą laikotarpį	Konkreto ūkio duomenys	UK
Ūkio pelningumas	Ūkio pelnas, apskaičiuotas kaip pajamų ir bendrų sąnaudų skirtumas	Konkreto ūkio duomenys	UP
Ūkio sąnaudos	Bendros ūkio veiklos sąnaudos per analizuojamą laikotarpį	Konkreto ūkio duomenys	US

Nepriklausomų kintamųjų ūkio duomenys tyrime išskirstyti pagal pagrindinius ūkio veiklos kaštų ir ekonominės aplinkos veiksnius, sudarant pilną laiko eilučių duomenų rinkinį analizuojamam laikotarpiui (žr. 7 lentelę).

7 lentelė. Tyrimui atrinkti nepriklausomi kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)

Kintamojo pavadinimas	Kintamojo aprašymas	Duomenų šaltinis	Sutrumpintas žymėjimas
Trąšų sąnaudos (NPK)	Mineralinių trąšų (NPK) įsigijimo sąnaudos	Konkreto ūkio duomenys	TS
Trąšų kiekis (NPK)	Naudojamų mineralinių trąšų kiekis	Konkreto ūkio duomenys	TK
Darbo užmokesčio sąnaudos	Ūkyje dirbančių darbuotojų darbo užmokesčio sąnaudos	Konkreto ūkio duomenys	DUS
Laikas	Analizuojamas laikotarpis (metai arba ketvirčiai)	Konkreto ūkio duomenys	T

Kontekstinių kintamųjų duomenys tyrime formuojami remiantis oficialiais nacionalinės statistikos šaltiniais ir naudojami siekiant įvertinti bendros ekonominės ir sektoriaus aplinkos poveikį analizuojamo ūkio veiklos rezultatams per nagrinėjamą laikotarpį (žr. 8 lentelę).

8 lentelė. Tyrimui atrinkti kontekstiniai kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)

Kintamojo pavadinimas	Kintamojo aprašymas	Duomenų šaltinis	Sutrumpintas žymėjimas
Trąšų kainų indeksas	Nacionalinis trąšų kainų indeksas Lietuvoje	Lietuvos statistikos portalas / Eurostat	TKI
Žemės ūkio sektoriaus pajamos	Nacionalinio žemės ūkio sektoriaus pajamos	Lietuvos statistikos portalas / Eurostat	NŽUP
BVP	Lietuvos bendrasis vidaus produktas	Lietuvos statistikos portalas / Eurostat	BVP
Vidutinis darbo užmokestis	Vidutinis darbo užmokestis Lietuvoje	Lietuvos statistikos portalas / Eurostat	VDU

Scenarinių kintamųjų duomenys tyrime naudojami modeliavimo tikslais ir sudaromi remiantis mokslinės literatūros bei ankstesnių tyrimų prielaidomis, siekiant įvertinti galimą bioanglies naudojimo ir CO₂ kreditavimo poveikį analizuojamo ūkio ekonominiams rezultatams (žr. 9 lentelę).

9 lentelė. Tyrimui atrinkti scenariiniai kintamieji (sudaryta darbo autoriaus)

Kintamojo pavadinimas	Kintamojo aprašymas	Duomenų šaltinis	Sutrumpintas žymėjimas
Bioanglies naudojimas	Modeliuojamas bioanglies naudojimo poveikis trąšų sąnaudų mažinimui	Literatūros šaltiniai / tarptautinės metodikos dokumentai	BION
Anglies dioksido kreditų pajamos	Modeliuojamos papildomos pajamos iš Anglies kreditavimo	Literatūros šaltiniai / tarptautinės metodikos dokumentai	CO2P

Empiriniam tyrimui buvo iškeltos šios hipotezės:

H1: Analizuojami ūkio ekonominiai rodikliai yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį.

H2: Makroekonominiai rodikliai daro statistiškai reikšmingą poveikį tiriamojo ūkio veiklos rezultatams. (nusistato ar turi poveikį),

H3: Trąšų kainų indeksas, žemės ūkio sektoriaus pajamos, BVP turi įtakos ūkio trąšų naudojimui bei sąnaudoms.

H4: Bioanglies kaina ir Anglies dioksido kreditų kainos rodikliai yra susiję su makroekonominiais veiksniais.

H5: Tiriamajam ūkiui pritaikius tvariosios žemdirbystės bioanglies naudojimo metodą, ūkio veiklos rezultatai pagerėja.

Rodiklių segmentavimas. Tyrimas atliekamas išskaidant analizuojamo ūkio ekonominius duomenis pagal pagrindinius veiklos kaštų ir pajamų komponentus bei jų pokyčius laiko perspektyvoje. Ūkio veiklos rezultatai vertinami atskirai pagal trąšų, darbo, energijos ir kitų sąnaudų struktūrą, taip pat pagal pajamų formavimosi komponentus. Makroekonominiai ir klimato politikos rodikliai tyrime taikomi kaip kontroliniai veiksniai, įvertinant jų poveikį skirtingais laikotarpiais. Toks rodiklių

segmentavimas leidžia tiksliau įvertinti, kaip nepriklausomi kintamieji veikia ūkio ekonominius rezultatus ir pagrįsti tvarių sprendimų taikymo ekonominį poveikį.

Tyrimo apribojimai. Tyrimas atliekamas taikant vieno žemės ūkio ūkio atvejo analizę, todėl gauti rezultatai negali būti tiesiogiai generalizuojami visam žemės ūkio sektoriui. Analizė grindžiama riboto laikotarpio metiniais, o kai kuriais atvejais ir ketvirtiniais duomenimis, todėl galimi tam tikri laiko eilučių išsamumo apribojimai. Dalies makroekonominių ir sektoriaus rodiklių duomenys gali būti pateikiami skirtingu periodiškumu, kas riboja jų tiesioginį lyginamumą.

Papildomai tyrime taikoma scenarijų analizė, kurios rezultatai grindžiami literatūroje pateiktomis prielaidomis apie bioanglies naudojimą ir CO₂ kreditavimą, todėl šie rezultatai atspindi galimus, o ne faktinius ūkio veiklos pokyčius. Nepaisant šių apribojimų, tyrimo metodika leidžia išsamiai įvertinti ekonominius procesus konkretaus ūkio lygmeniu ir sudaro prielaidas tolimesniems platesnio masto tyrimams.

4. Bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje empirinio tyrimo rezultatai ir diskusija

Tvarių sprendimų taikymas žemės ūkyje pastaraisiais metais tampa vis aktualesnis tiek ekonominiu, tiek aplinkosauginiu požiūriu. Mokslinėje literatūroje vis dažniau analizuojamas bioanglies potencialas dirvožemio gerinimui ir anglies dioksido emisijų mažinimui, tačiau empirinių tyrimų, vertinančių šių sprendimų ekonominį poveikį ūkio lygmeniu, vis dar trūksta.

Dauguma iki šiol atliktų tyrimų orientuojasi į makroekonominį ar sektoriaus lygmenį, todėl konkretaus ūkio kaštų struktūros, pajamų formavimosi ir pelningumo pokyčiai, taikant bioanglį ir CO₂ kreditavimo mechanizmus, dažnai lieka nepakankamai išnagrinėti. Atsižvelgiant į tai, šiame skyriuje atliekama vieno žemės ūkio ūkio atvejo analizė, siekiant įvertinti mikro ir makro lygmens veiksmų poveikį ūkio ekonominiams rezultatams.

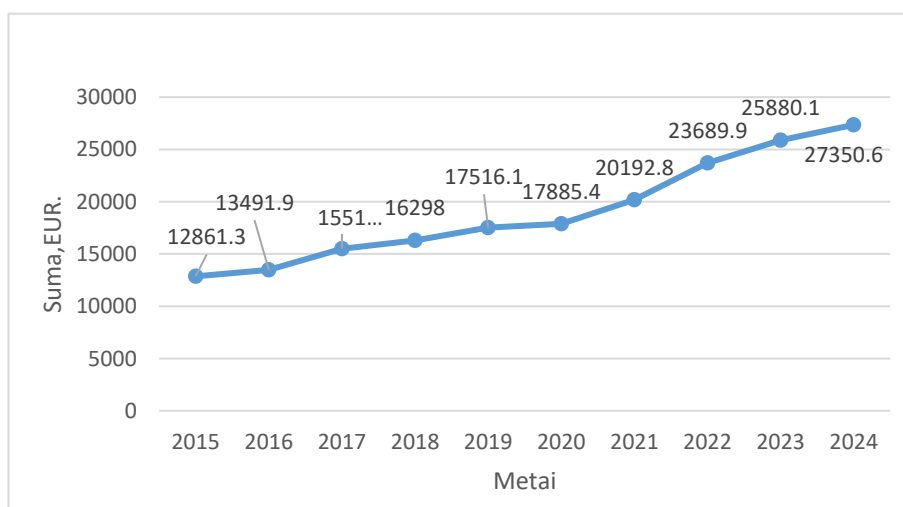
Empiriniame tyrime analizuojami ūkio veiklos ekonominiai rodikliai ir jų dinamika laiko perspektyvoje, taip pat vertinamas bioanglies naudojimo ir CO₂ kreditavimo ekonominis poveikis, pasitelkiant statistinę analizę ir scenarijų modeliavimą.

4.1. Makroekonominių veiksmų dinamikos analizė

Šiame magistrinio darbo poskyryje pateikiama atrinktų makroekonominių rodiklių dinamikos analizė ir jų vizualizacija, naudojant *Microsoft Office* paketo *Excel* įrankius. Analizės tikslas – įvertinti bendrą ekonominę aplinką, kurioje veikė analizuojamas ūkis, ir sudaryti pagrindą tolesnei ūkio veiklos rezultatų interpretacijai.

Vienas pagrindinių makroekonominių rodiklių, naudojamų tyrime, yra bendrasis vidaus produktas (BVP), kuris plačiai taikomas ekonominės raidos ir bendro ekonominio aktyvumo vertinimui. BVP augimas paprastai siejamas su didėjančia paklausa, investicijomis ir palankesnėmis sąlygomis verslo plėtrai, todėl šis rodiklis yra svarbus vertinant ir žemės ūkio veiklos aplinką.

8 pav. pateikiama Lietuvos realaus BVP dinamika 2015–2024 m. laikotarpiu. Iš pateiktų duomenų matyti, kad iki 2019 m. fiksuotas nuoseklus ekonomikos augimas, kuris 2020 m. buvo sutrikdytas dėl COVID-19 pandemijos. Po šio laikotarpio stebimas ekonomikos atsigavimas, nors augimo tempai skirtingais metais išlieka nevienodi (žr. 8 pav.).

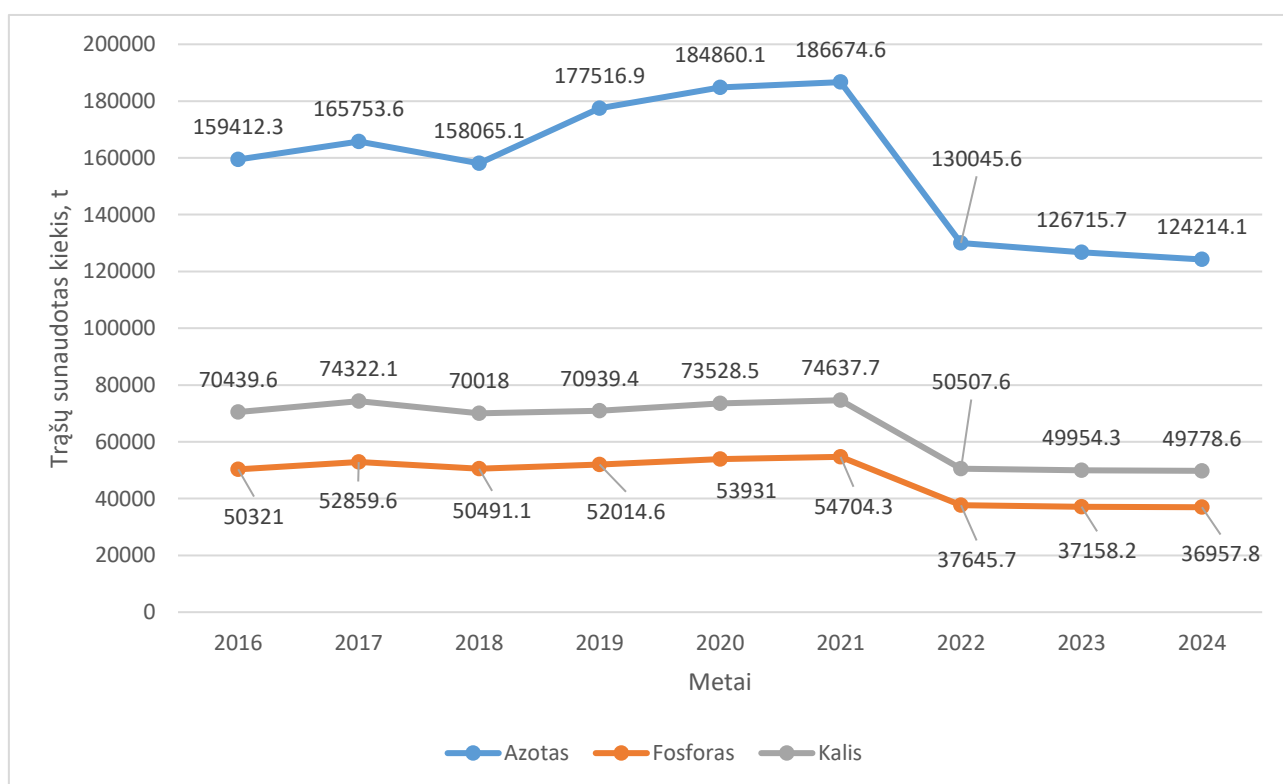


8 pav. BVP vienam gyventojui (EUR) (sudaryta darbo autoriaus)

Makroekonominės aplinkos pokyčiai yra svarbūs interpretuojant analizuojamo ūkio veiklos rezultatus, kadangi ekonomikos nuosmukio ar augimo laikotarpiais keičiasi tiek žemės ūkio produkcijos paklausa, tiek gamybos kaštai. Todėl BVP dinamika tyrime naudojama kaip kontrolinis veiksnys, padedantis atskirti ūkio vidaus sprendimų poveikį nuo bendrų ekonominių tendencijų.

Mineralinės trąšos yra vienas pagrindinių žemės ūkio produkcijos kaštų komponentų, turinčių tiesioginę įtaką ūkių ekonominiams rezultatams. Azoto, fosforo ir kalio trąšos daro reikšmingą poveikį derlingumui, tačiau kartu sudaro reikšmingą sąnaudų dalį, todėl jų panaudojimo ir kainų dinamikos analizė yra svarbi vertinant ūkio veiklos ekonominį efektyvumą.

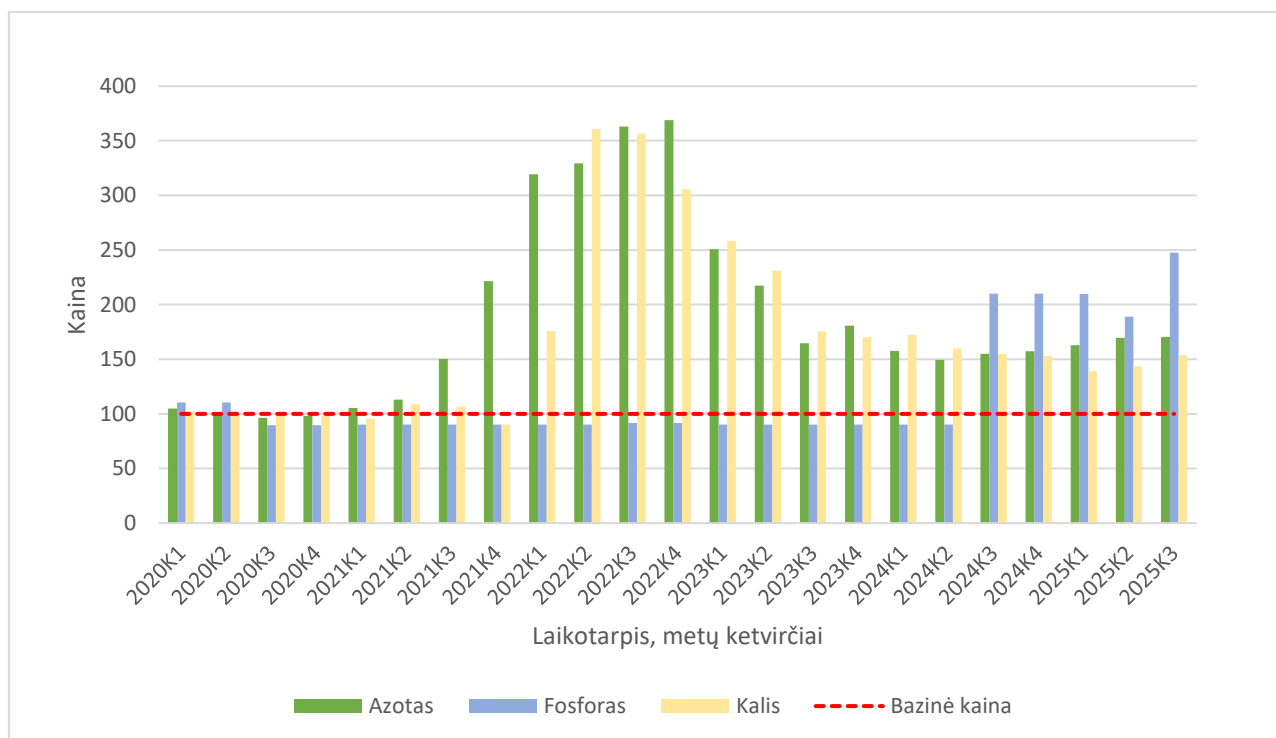
Iš 9 pav. rezultatų matyti, kad 2016–2021 m. laikotarpiu mineralinių trąšų panaudojimas Lietuvos žemės ūkyje buvo santykinai stabilus, su nedidelėmis augimo tendencijomis visų trijų trąšų rūšių atžvilgiu. Didžiausias panaudojimo lygis fiksuojamas azoto trąšų segmente, kuris visą analizuojamą laikotarpį reikšmingai viršijo fosforo ir kalio trąšų kiekius. Tai atitinka bendras augalininkystės tendencijas, kuriose azotas yra pagrindinis produktyvumą lemiantis elementas. Ryškus lūžis pastebimas 2022 m., kai visų trąšų rūšių panaudojimas reikšmingai sumažėjo. Azoto trąšų panaudojimas per metus sumažėjo daugiau nei penktadaliu, o fosforo ir kalio trąšų kiekiai taip pat ženkliai krito. Šis pokytis sutampa su staigiu trąšų kainų augimu tarptautinėse rinkose, energetinių išteklių kainų šoku bei geopolitine įtampa, kuri paveikė trąšų tiekimo grandines (žr. 9 pav.).



9 pav. Žemės ūkyje sunaudotos mineralinės trąšos (sudaryta darbo autoriaus)

Analizuojant žemės ūkio produkcijos reikmėms įsigytų trąšų kainų indeksą (2020 m. – 100), matyti itin spartus kainų augimas 2021–2022 m. laikotarpiu. Azoto ir kalio trąšų kainų indeksai kai kuriais ketvirčiais viršijo 300–350 punktų ribą, o tai reiškia daugiau nei tris kartus išaugusias kainas, lyginant su bazine 2020 m. kaina. Toks kainų šuolis turėjo tiesioginį poveikį ūkių sprendimams mažinti trąšų naudojimą, siekiant kontroliuoti bendrą kaštų lygį.

Vėlesniu laikotarpiu, nuo 2023 m., pastebima kainų indeksų korekcija ir stabilizavimasis, tačiau daugumos trąšų kainos išlieka aukštesnės nei iki 2020 m. lygis. Tai rodo, kad net ir sumažėjus kainų svyravimams, trąšų sąnaudos išlieka reikšmingu ekonominiu veiksniu, darančiu įtaką ūkių pelningumui ir investiciniams sprendimams. Mineralinių trąšų panaudojimo ir kainų dinamika yra glaudžiai susijusi su makroekonominiais ir rinkos veiksniais. Staigus kainų augimas lemia trąšų naudojimo mažėjimą, o tai sudaro prielaidas ūkiams ieškoti alternatyvių sprendimų, tokių kaip efektyvesnis trąšų naudojimas ar tvarių technologijų taikymas. Šie aspektai yra ypač svarbūs tolesnėje tyrimo dalyje, kurioje bus vertinamas trąšų sąnaudų poveikis analizuojamo ūkio ekonominiams rezultatams (žr. 10 pav.).



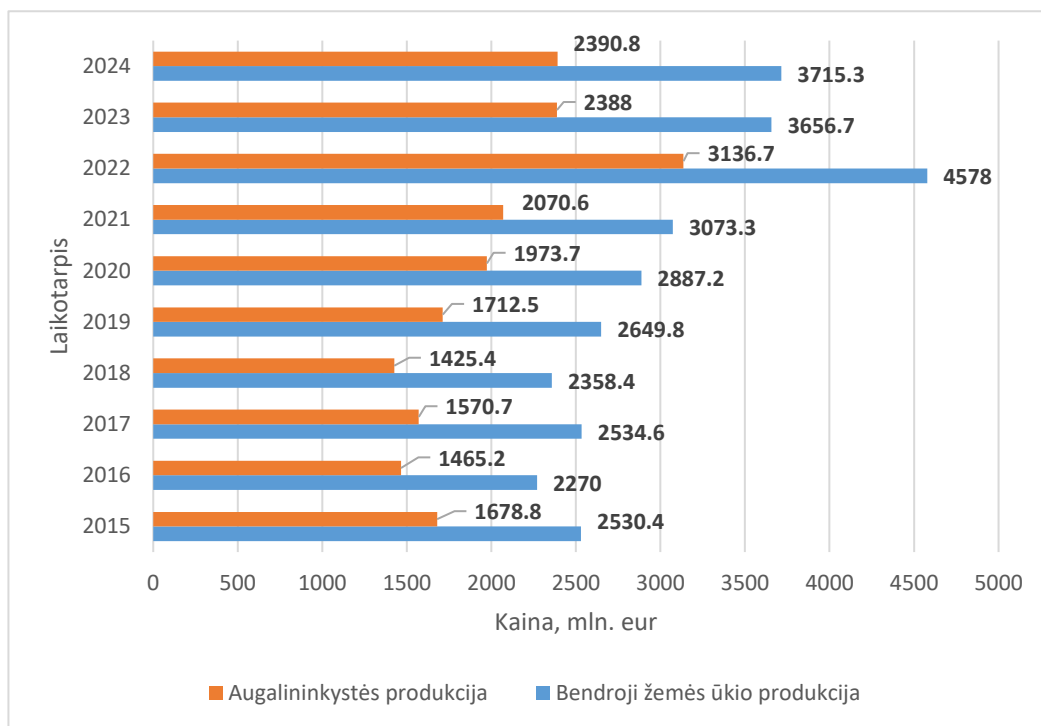
10 pav. Žemės ūkio produkcijos reikmėms įsigytų trąšų kainų indeksas

Analizuojant žemės ūkio produkcijos to meto kainomis dinamika Lietuvoje 2015–2024 m. bendroji žemės ūkio produkcija rodo ilgalaikę augimo tendenciją iki 2022 m., kai pasiekama aukščiausia rodiklio reikšmė – 4 578 mln. EUR. Lyginant su 2015 m., bendroji žemės ūkio produkcija išaugo reikšmingai, kas rodo sektoriaus plėtrą ir didėjančią ekonominę reikšmę šalies ūkiui.

Didžiausias bendrosios žemės ūkio produkcijos šuolis fiksuojamas 2021–2022 m. laikotarpiu, kuris sutampa su padidėjusiomis žemės ūkio produkcijos kainomis ir bendru infliacijos augimu. Nuo 2023 m. stebimas produkcijos vertės sumažėjimas, kuris gali būti siejamas su kainų stabilizavimusi bei sumažėjusia paklausa rinkoje dėl išaugusių žaliavų žemės ūkiui kainų.

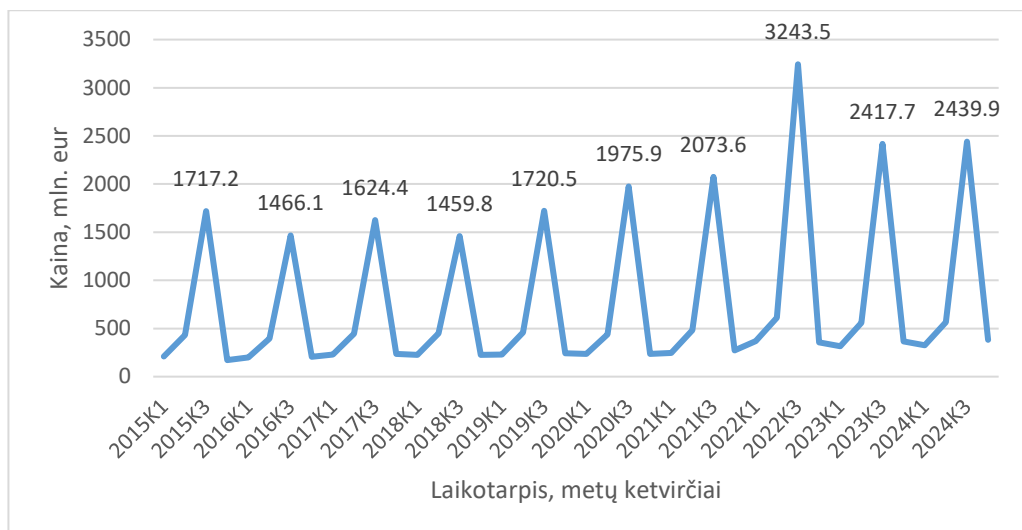
Analizuojant augalininkystės produkcijos dinamiką, matyti panašios tendencijos kaip ir bendrojoje žemės ūkio produkcijoje. Augalininkystės produkcijos vertė nuosekliai augo iki 2022 m., kai pasiekė didžiausią reikšmę – 3 136,7 mln. EUR. Po šio laikotarpio fiksuojamas rodiklio sumažėjimas 2023–2024 m., tačiau augalininkystės produkcija išlieka reikšminga bendrosios žemės ūkio produkcijos dalis.

Lyginant bendrąją žemės ūkio produkciją ir augalininkystės produkciją, matyti, kad augalininkystė sudaro didžiausią žemės ūkio sektoriaus dalį visame analizuojamame laikotarpyje. Tai patvirtina augalininkystės svarbą Lietuvos žemės ūkio struktūroje ir jos reikšmingą indėlį į bendrus sektoriaus ekonominius rezultatus (žr. 11 pav.).



11 pav. Žemės ūkio produkcija

Analizuojant žemės ūkio produkcijos to meto kainomis ketvirtine dinamika, aiškiai matoma ryškus sezoniškumas. Visu analizuojamu laikotarpiu aiškiai išsiskiria trečiojo ketvirčio reikšmės, kurios yra reikšmingai didesnės nei kitais metų ketvirčiais. Tai sietina su žemės ūkio sektoriaus specifika, kuomet pagrindinė augalininkystės produkcijos dalis realizuojama po derliaus nuėmimo sezono. Pirmojo ir antrojo ketvirčių produkcijos apimtys išlieka santykinai mažesnės ir stabilesnės, o ketvirtojo ketvirčio reikšmės paprastai mažėja, lyginant su trečiuoju ketvirčiu, kas rodo sezono pabaigą ir mažesnę produkcijos realizavimo intensyvumą. Didžiausias ketvirtinis produkcijos lygis fiksuojamas 2022 m. trečiąjį ketvirtį, kas gali būti siejama tiek su padidėjusiomis žemės ūkio produkcijos kainomis, tiek su palankiomis rinkos sąlygomis tuo laikotarpiu (žr. 12 pav.).



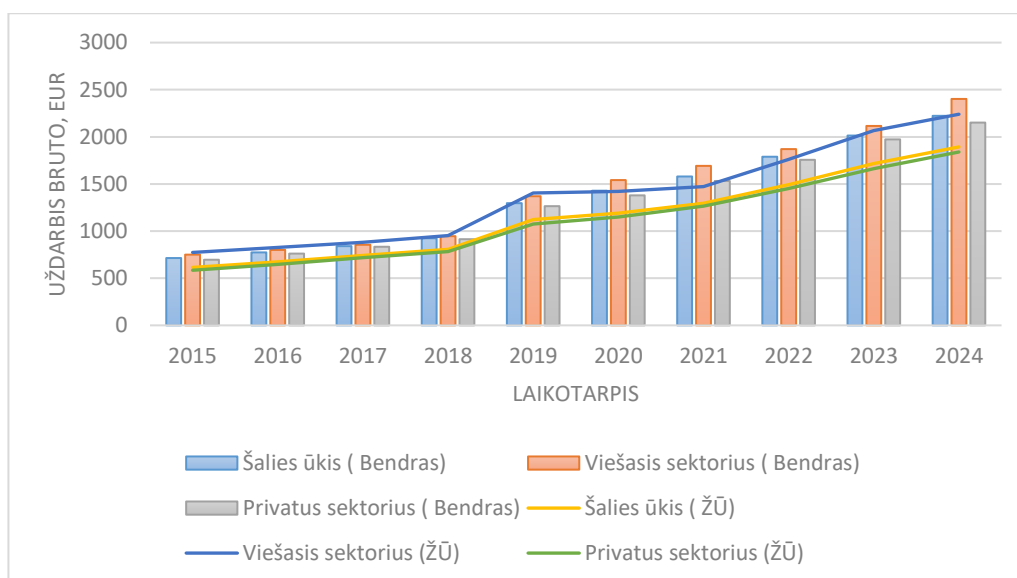
12 pav. Žemės ūkio produkcijos kainos metų ketvirčiais

Bendrai vertinant, žemės ūkio produkcijos ketvirtinė dinamika rodo, kad šio rodiklio pokyčius labiau lemia sezoniški veiksniai ir rinkos kainų svyravimai, o ne tolygi ilgalaikė augimo tendencija. Dėl šios priežasties analizuojant šį rodiklį būtina atsižvelgti į sezoniškumą ir ketvirtinių duomenų specifiką.

Vertinant Bendrojo ir žemės ūkio sektoriaus vidutinio bruto darbo užmokesčio dinamika Lietuvoje 2015–2024 m. laikotarpiu, matoma, kad analizuojamu laikotarpiu tiek bendrame šalies ūkyje, tiek žemės ūkio sektoriuje fiksuojama nuosekli darbo užmokesčio augimo tendencija visose nagrinėjamose sektorių grupėse – viešajame ir privačiame sektoriuose.

Bendrojo šalies ūkio vidutinis darbo užmokestis nagrinėjamu laikotarpiu augo sparčiau nei žemės ūkio sektoriuje, tačiau pastarajame taip pat stebimas stabilus ir nuoseklus atlyginimų didėjimas. Didžiausias darbo užmokesčio šuolis fiksuojamas nuo 2019 m., kai augimas paspartėjo tiek viešajame, tiek privačiame sektoriuose, o ši tendencija išliko ir vėlesniais metais.

Žemės ūkio sektoriaus vidutinio darbo užmokesčio lygis visą analizuojamą laikotarpį išlieka žemesnis nei bendrojo šalies ūkio vidurkis, tačiau atotrūkis palaipsniui mažėja. Tai rodo didėjantį darbo užmokesčio konkurencingumą žemės ūkyje bei augančius kaštus ūkiams, susijusius su darbo jėgos išlaikymu (žr. 13 pav.).



13 pav. Bendras ir žemės ūkio vidutinis darbo užmokestis per mėnesį

Apibendrinant galima teigti, kad vidutinio darbo užmokesčio rodiklis pasižymi aiškia ilgalaikė augimo tendencija, kuri yra svarbi vertinant darbo sąnaudų dinamiką ir jų poveikį ūkio veiklos ekonominiams rezultatams.

4.2. Tiriamojo ūkio ekonominių rodiklių, taikant bioanglį kaip tvarios žemdirbystės įrankį, vertinimas

Šiame magistro darbo skyriuje analizuojamas analizuojamo ūkio ekonominių rodiklių ryšys, pasitelkiant SPSS statistinės analizės programą. Tyrimas atliekamas remiantis vieno ūkio atvejo analize, naudojant laiko eilučių duomenis. Analizuojami ūkio pajamų, sąnaudų, trąšų naudojimo kiekio ir trąšų sąnaudų EUR rodikliai. Sekantys analizuojami rodikliais yra su bioanglies taikymu susiję duomenys – kaina, generuojamų kreditų vertė ir taikymo kaštai.

Tyrimas sudarytas iš kelių etapų. Pirmuoju tyrimo etapu vertinama, ar analizuojami ūkio ir makroekonominiai duomenys yra tinkami tolesnei regresinei analizei. Tam tikrinamas kintamųjų pasiskirstymas pagal normalųjį skirstinį, taikant *Shapiro–Wilk* testą (žr. 10 lentelę). Šis testas rodo, kad Lietuvoje naudotų trąšų kiekis tonomis bei ūkyje gautos dotacijos bei ūkyje sunaudotų trąšų kiekis neatitinka normaliojo skirstinio prielaidos, nes apskaičiuota tikimybė Sig. yra mažesnė už pasikliovimo lygmenį 0,05 (žr. 1 priedą).

10 lentelė. Normalaus skirstinio neatitinkantys rodikliai pagal *Shapiro-wilk* testą (remiantis SPSS duomenimis)

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Azoto kiekis Lietuvoje, tonos	0.278	10	.028	0.749	10	.003
Fosforo kiekis Lietuvoje, tonos	0.279	10	0.027	0.712	10	.001
Kalio kiekis Lietuvoje, tonos	0.292	10	.015	0.712	10	.001

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
X ūkio gautos dotacijos, susijusios su pajamomis, EUR.	.387	10	<.001	.564	10	<.001
X ūkio sunaudoto Azoto kiekis, tonomis	.477	10	<.001	.539	10	<.001
X ūkio sunaudoto Fosforo kiekis, tonomis	.472	10	<.001	.532	10	<.001
X ūkio sunaudoto Kalio kiekis, tonomis	.472	10	<.001	.532	10	<.001

Todėl šiuos rodiklius reikia koreguoti transformuojant šiuos kintamuosius logaritmuotų azoto kiekio Lietuvoje, fosforo kiekio Lietuvoje, kalio kiekio Lietuvoje, ūkyje gautų dotacijų, bei ūkyje sunaudotų azoto, kalio ir fosforo kiekio testu. Testas parodė, kad logaritmavimas padėjo tik azoto kiekiui Lietuvoje rodikliui priartėti prie normaliojo skirstinio (žr. 14 pav.).

Po bandyto šaknies traukimo testo, fosforo kiekio Lietuvoje, kalio kiekio Lietuvoje, X ūkio gautos dotacijos, susijusios su pajamomis, X ūkio sunaudoto Azoto kiekio, X ūkio sunaudoto fosforo kiekio, X ūkio sunaudoto kalio kiekio, rodiklių į regresijos modelį netrauksime. Remiantis gautais duomenimis, H1 hipotezė yra patvirtinama, nes didelė dalis analizuojamų tiek priklausomų, tiek nepriklausomų kintamųjų yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Azotas_LT_Ln	.211	9	.200*	.874	9	.135
Fosforas_LT_Ln	.332	9	.005	.749	9	.005
Dotacijos_Ln	.360	9	.001	.647	9	<.001
Kalis_LT_Ln	.354	9	.002	.717	9	.002
Ūkio_Azotas_Ln	.465	9	<.001	.571	9	<.001
Ūkio_Fosforas_Ln	.458	9	<.001	.562	9	<.001
Ūkio_Kalis_Ln	.458	9	<.001	.562	9	<.001

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

14 pav. Normalumo tikrinimas pagal *Shapiro-wilk* testą po logaritmavimo (remiantis SPSS duomenimis)

Sekančiame etape skaičiuojami koreliacijos koeficientai tarp likusių rodiklių, siekiant išsiaiškinti, kaip ūkio veiklos rezultatus įtakoja analizuojami makroekonominiai veiksniai. Koreliaciją atliksime keliomis grupėmis, tikrindami ūkio pajamas ir makroekonominčius veiksniai, Ūkio bendrą pelną (nuostolius) su makroekonominiais veiksniais bei ūkio sąnaudas trąšoms su makroekonominiais veiksniais.

11 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio pardavimo pajamų ir makroekonominių rodiklių (remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Kalio kainų indeksas (2020 - 100)	Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.
X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	.850	.820	.815	.795

11 lentelėje pateikti koreliacinės analizės rezultatai rodo, kad ūkio pardavimo pajamos turi statistiškai reikšmingą teigiamą ryšį su kai kuriais makroekonominiais ir sektoriaus rodikliais, kadangi jų reikšmingumo lygis neviršija 0,05. Didžiausia teigiama koreliacija nustatyta tarp ūkio pardavimo pajamų ir azoto trąšų kainų indekso, kur *Pearson Correlation* -0,850, kas reiškia, kad didėjant trąšų kainoms, atitinkamai didėja ir ūkio pardavimo pajamos (žr. 2 priedą). Tai leidžia teigti, jog ūkio finansiniai rezultatai glaudžiai susiję su žemės ūkio produkcijos kainų ciklais.

Taip pat nustatytas stiprus teigiamas ryšys tarp ūkio pardavimo pajamų ir augalininkystės produkcijos apimčių Lietuvoje (0,815), bei bendrosios žemės ūkio produkcijos (0,795), kas rodo, kad ūkio veiklos rezultatai priklauso nuo bendrų sektoriaus vystymosi tendencijų. Ryšys tarp ūkio pardavimo pajamų ir bendrųjų makroekonominių rodiklių, tokių kaip bendrasis vidaus produktas ar vidutinis darbo užmokestis, statistiškai reikšmingas nebuvo nustatytas.

Analizuojant logaritmuoto azoto kiekio rodiklį, nustatyta neigiama koreliacija su kai kuriais sektoriaus ir kainų rodikliais. Tai reiškia, kad didėjant žemės ūkio produkcijos apimtims ir trąšų kainoms, azoto naudojimo intensyvumas turi tendenciją mažėti, kas gali būti siejama su efektyvesniu išteklių naudojimu ir tvaresnių žemės ūkio praktikų taikymu.

12 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio bendrų trąšų sąnaudų ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Kalio kainų indeksas (2020 - 100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Augalininkystės produkcija, mln. EUR.
X ūkio bendros trąšų sąnaudos, EUR.	.949	.922	.914	.926

12 lentelėje pateikti koreliacinės analizės rezultatai rodo, kad ūkio bendros trąšų sąnaudos turi statistiškai reikšmingą teigiamą ryšį su daugeliu kainų ir sektoriaus rodiklių, kadangi jų reikšmingumo lygis neviršija 0,05 (žr. 3 priedą). Didžiausia teigiama koreliacija nustatyta tarp ūkio trąšų sąnaudų ir azoto kainų indekso - 0,949 , kas reiškia, jog trąšų kainų augimas tiesiogiai didina ūkio patiriamas sąnaudas.

Taip pat nustatytas stiprus teigiamas ryšys tarp ūkio trąšų sąnaudų ir augalininkystės bei bendrosios žemės ūkio produkcijos apimčių, kas rodo, jog didėjant sektoriaus mastui, ūkyje didėja tręšimo intensyvumas ir su tuo susijusios sąnaudos. Ryšys tarp trąšų sąnaudų ir darbo užmokesčio rodiklių nebuvo statistiškai reikšmingas, leidžiantis teigti, kad trąšų sąnaudų pokyčius daugiausia lemia kainų ir rinkos veiksniai, o ne darbo rinkos pokyčiai.

13 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp Ūkio bendro pelno (nuostolio) ir makroekonominių bei ūkio rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	X ūkio pardavimo pajamos, EUR.
X ūkio bendras pelnas (nuostoliai), EUR.	.689

Trečiojoje koreliacinėje analizėje buvo vertinamas ūkio bendro pelno (nuostolių) ryšys su pagrindiniais ūkio veiklos rodikliais bei makroekonominiais veiksniais, siekiant nustatyti, kurie iš jų sudaryta autoriaus remiantis *Rodiklių Duomenų Baze - Oficialiosios Statistikos Portalu* gali būti siejami su ūkio pelningumo pokyčiais analizuojamu laikotarpiu (žr. 4 priedą). Koreliacinės analizės rezultatai parodė, kad statistiškai reikšmingas teigiamas ryšys nustatytas tik tarp ūkio bendro pelno ir pardavimo pajamų ($p < 0,05$), kas leidžia teigti, jog pajamų augimas yra vienas svarbiausių veiksmų, susijusių su ūkio pelningumo didėjimu. Ryšys tarp ūkio pelno ir bendrų trąšų sąnaudų, taip pat tarp pelno ir trąšų kainų indeksų, nebuvo statistiškai reikšmingas ($p > 0,05$). Tai rodo, kad sąnaudų ir kainų pokyčiai neatsispindi ūkio pelningume tiesioginiu ir vienareikšmiu būdu, o jų poveikis gali būti amortizuojamas kitų veiksmų, tokių kaip produkcijos kainų svyravimai, ūkinės veiklos mastas ar prisitaikymas prie rinkos sąlygų. Analogiškai, statistiškai reikšmingo ryšio nenustatyta ir tarp ūkio pelno bei makroekonominių rodiklių, įskaitant bendrąjį vidaus produktą ir sektoriaus gamybos apimtį, kas leidžia daryti prielaidą, jog bendros ekonominės aplinkos pokyčiai neturi tiesioginio poveikio konkrečiam ūkio pelningumui.

Gauti rezultatai patvirtina, kad ūkio pelningumas yra kompleksinis rodiklis, kurį lemia ne vien atskirų sąnaudų ar kainų dinamika, bet ir kiti tarpusavyje sąveikaujantys veiksniai, tokie kaip derlingumo svyravimai, taikomi technologiniai sprendimai, gamybos efektyvumas bei produkcijos realizavimo sąlygos rinkoje. Atsižvelgiant į tai, galima teigti, kad pelningumo analizė vien remiantis kainų ar sąnaudų rodikliais yra ribota, o siekiant didinti ūkio finansinį tvarumą svarbu vertinti platesnį ekonominių ir technologinių veiksmų kontekstą.

Apibendrinant atliktą ūkio veiklos ir makroekonominių veiksmų koreliacinę analizę, galima teigti, kad ūkinės veiklos finansiniai rezultatai yra glaudžiai susiję su sektoriaus kainų ir gamybos apimčių pokyčiais, tačiau silpniau reaguoja į bendruosius makroekonominius rodiklius. Tai leidžia daryti prielaidą, jog žemės ūkio ir su juo susijusių tvarių sprendimų ekonominiai rodikliai formuojasi veikiami platesnių rinkos ir ekonominės aplinkos procesų.

Atsižvelgiant į tai, tolimesniame tyrimo etape analizė plečiama įtraukiant bioanglies kainas, jos naudojimo kaštų ir bioanglies dioksido kreditų kainų duomenis, siekiant įvertinti, ar šių tvarių sprendimų ekonominiai rodikliai yra susiję su makroekonominiais veiksniais. Šis etapas yra skirtas patikrinti hipotezę, kad bioanglies kaina ir anglies dioksido kreditų kainų rodikliai yra statistiškai reikšmingai susiję su makroekonominėmis aplinka.

Į tyrimą papildomai įtraukus bioanglies ir anglies dioksido kreditų ekonominius rodiklius, pirmiausia buvo įvertintas šių kintamųjų pasiskirstymas pagal normalųjį skirstinį, siekiant nustatyti jų tinkamumą tolesnei koreliacinei analizei (žr. 5 priedą). Normalumo patikrai taikytas *Shapiro–Wilk* testas, kuris yra tinkamas mažoms imtims ($n < 50$).

14 lentelė. Normalumo tikrinimas pagal *Shapiro-wilk* testą (remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Vidutinė Bioanglies kaina, EUR/t.	.344	10	.001	.733	10	.002

Gauti rezultatai parodė, kad vidutinė bioanglies kaina neatitinka normaliojo skirstinio prielaidos ($p < 0,05$), Tačiau šį rodiklį analizuoti yra būtina, todėl šį rodiklį bandome transformuoti. Bet net ir logaritmuotas rodiklis neatitinka normaliojo skirstinio prielaidos ($p < 0,05$). Tai rodo, kad net ir atlikus logaritminę transformaciją, šio kintamojo pasiskirstymas išlieka statistiškai reikšmingai nutolęs nuo normaliojo skirstinio. Atsižvelgiant į tai, tolesnėje analizėje regresijos analizėje šis rodiklis nebus naudojamas. Vidutinė bioanglies kreditų kaina, bioanglies kreditų vertė ūkyje bei bioanglies taikymo kaštai atitinka normaliojo skirstinio prielaidą ($p > 0,05$), todėl gali būti naudojami parametrinei koreliacinei analizei.

Remiantis normalumo testų rezultatais, tolesniame tyrimo etape atliekama koreliacinė analizė tarp bioanglies ir anglies dioksido kreditų ekonominių rodiklių bei atrinktų makroekonominių veiksnių. Ši analizė leidžia patikrinti hipotezę, jog bioanglies kaina ir anglies dioksido kreditų kainų rodikliai yra susiję su makroekonominiais veiksniais.

Šią koreliacinę analizę taip pat atliksime keliais etapais. Pirma, lyginsime Vidutinę Bioanglies kreditų kainą su makroekonominiais rodikliais, tada Bioanglies kreditų vertę ūkyje iš vienos tonos su makroekonominiais veiksniais, bei bioanglies taikymo kaštus su makroekonominiais veiksniais.

15 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp vidutinės bioanglies kreditų kainos ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Vidutinė bioanglies kreditų kaina, EUR.
BVP, vienam gyventojui, EUR	-.953
BVP, su sezoniškumu ir darbo dienų įtaka, mln. EUR.	-.945
BVP, be sezoniškumo ir darbo dienų įtakos, mln. EUR.	-.946
Azoto kainų indeksas (2020-100)	-.677
Fosforo kainų indeksas (2020 -100)	-.703
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	-.714
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	-.749
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	-.689
Bendras vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.919
Bendras ŽŪ. Sek. Vid. Darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.933

Atlikus koreliacinę analizę tarp bioanglies kreditų kainos ir atrinktų makroekonominių rodiklių, nustatyti statistiškai reikšmingi ryšiai su daugeliu analizuotų ekonominių kintamųjų (žr. 6 priedą). Gauti rezultatai rodo, kad vidutinė bioanglies kreditų kaina turi stiprų ir statistiškai reikšmingą

neigiamą ryšį su bendroju vidaus produktu vienam gyventojui ($r = -0,953$, $p < 0,001$), taip pat su bendroju vidaus produktu tiek su sezoniškumu ir darbo dienų įtaka, tiek be jos (atitinkamai $r = -0,945$ ir $r = -0,946$, $p < 0,001$). Tai rodo, kad didėjant bendram ekonomikos aktyvumui, bioanglies kreditų kainos nagrinėjamu laikotarpiu turėjo tendenciją mažėti.

Taip pat nustatyti statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai tarp bioanglies kreditų kainos ir trąšų kainų indeksų. Stipriausia koreliacija nustatyta su kalio kainų indeksu ($r = -0,714$, $p < 0,05$), fosforo kainų indeksu ($r = -0,703$, $p < 0,05$) bei azoto kainų indeksu ($r = -0,677$, $p < 0,05$). Šie rezultatai leidžia teigti, kad bioanglies kreditų kainos pokyčiai yra susiję su bendromis žemės ūkio įvesties kainų tendencijomis.

Analizė taip pat atskleidė statistiškai reikšmingą neigiamą ryšį tarp bioanglies kreditų kainos ir bendrosios žemės ūkio produkcijos vertės ($r = -0,749$, $p < 0,05$), taip pat augalininkystės produkcijos vertės ($r = -0,689$, $p < 0,05$). Tai rodo, kad didėjant žemės ūkio sektoriaus gamybos mastui, bioanglies kreditų kainos nagrinėjamu laikotarpiu buvo linkusios mažėti.

Ypač stiprus neigiamas ryšys nustatytas tarp bioanglies kreditų kainos ir darbo užmokesčio rodiklių. Koreliacija su bendroju vidutiniu darbo užmokesčiu siekė $r = -0,919$ ($p < 0,001$), o su žemės ūkio sektoriaus vidutiniu darbo užmokesčiu – $r = -0,933$ ($p < 0,001$). Tai rodo, kad darbo rinkos sąlygų pokyčiai yra glaudžiai susiję su bioanglies kreditų kainų dinamika.

Siekiant išsamiau įvertinti bioanglies ekonominę reikšmę ūkyje, papildomai buvo atlikta koreliacinė analizė tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje iš vienos bioanglies tonos ir atrinktų makroekonominių bei sektoriaus rodiklių (žr. 7 priedą). Gauti rezultatai parodė, kad bioanglies kreditų vertė ūkyje yra statistiškai reikšmingai susijusi su daugeliu analizuotų ekonominių kintamųjų.

16 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje iš 1 tonos bioanglies ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Bioanglies kreditų vertė ūkyje iš 1 tonos bioanglies, EUR.
BVP, vienam gyventojui, EUR	-.953
BVP, su sezoniškumu ir darbo dienų įtaka, mln. EUR.	-.945
BVP, be sezoniškumo ir darbo dienų įtakos, mln. EUR.	-.946
Azoto kainų indeksas (2020-100)	-.677
Fosforo kainų indeksas (2020 -100)	-.703
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	-.714
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	-.749
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	-.689
Bendras vid. Darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.919
Bendras ŽŪ. Sek. vid. Darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.933

Nustatytas stiprus ir statistiškai reikšmingas neigiamas ryšys tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje ir bendrojo vidaus produkto vienam gyventojui ($r = -0,953$, $p < 0,001$), taip pat su bendruoju vidaus produktu tiek su sezoniškumo ir darbo dienų įtaka, tiek be jos (atitinkamai $r = -0,945$ ir $r = -0,946$, $p < 0,001$). Tai rodo, kad augant bendram ekonomikos aktyvumui, bioanglies kreditų ekonominė vertė ūkyje nagrinėjamu laikotarpiu turėjo tendenciją mažėti.

Nustatyti statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje ir trąšų kainų indeksų. Ryšys su azoto kainų indeksu siekė $r = -0,677$ ($p < 0,05$), su fosforo kainų indeksu – $r = -0,703$ ($p < 0,05$), o su kalio kainų indeksu – $r = -0,714$ ($p < 0,05$). Šie rezultatai rodo, kad bioanglies kreditų ekonominė vertė ūkyje yra susijusi su žemės ūkio įvesties kainų dinamika.

Analizė taip pat atskleidė statistiškai reikšmingą neigiamą ryšį tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje ir bendrosios žemės ūkio produkcijos vertės ($r = -0,749$, $p < 0,05$), taip pat augalininkystės produkcijos vertės ($r = -0,689$, $p < 0,05$). Tai leidžia teigti, kad didėjant žemės ūkio sektoriaus gamybos apimtims, bioanglies kreditų ekonominė reikšmė konkrečiame ūkyje mažėjo. Ypač stiprus ir statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai nustatyti tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje ir darbo užmokesčio rodiklių. Koreliacija su bendruoju vidutiniu darbo užmokesčiu siekė $r = -0,919$ ($p < 0,001$), o su žemės ūkio sektoriaus vidutiniu darbo užmokesčiu – $r = -0,933$ ($p < 0,001$). Tai rodo, kad darbo rinkos sąlygų pokyčiai yra glaudžiai susiję su bioanglies kreditų vertės dinamika ūkyje.

Siekiant įvertinti bioanglies taikymo ekonominį aspektą ūkyje, buvo atlikta koreliacinė analizė tarp bioanglies taikymo kaštų ir atrinktų makroekonominių bei sektoriaus rodiklių (žr. 8 priedą). Gauti rezultatai rodo, kad bioanglies taikymo kaštai yra statistiškai reikšmingai susiję su daugeliu analizuotų ekonominių kintamųjų. Ypač stiprus ir statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai nustatyti tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje ir darbo užmokesčio rodiklių. Koreliacija su bendruoju vidutiniu darbo užmokesčiu siekė $r = -0,919$ ($p < 0,001$), o su žemės ūkio sektoriaus vidutiniu darbo užmokesčiu – $r = -0,933$ ($p < 0,001$). Tai rodo, kad darbo rinkos sąlygų pokyčiai yra glaudžiai susiję su bioanglies kreditų vertės dinamika ūkyje.

17 lentelė. Koreliacijos koeficientas tarp Bioanglies taikymo kaštų vienai tonai ir makroekonominių rodiklių (sudaryta remiantis SPSS duomenimis)

Rodiklis	Bioanglies taikymo kaštai , EUR/t
BVP, vienam gyventojui, EUR	-.977
BVP, su sezoniškumu ir darbo dienų įtaka, mln. EUR.	-.970
BVP, be sezoniškumo ir darbo dienų įtakos, mln. EUR.	-.970
Azoto kainų indeksas (2020-100)	-.793
Fosforo kainų indeksas (2020 -100)	-.894
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	-.821
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	-.816
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	-.784
Bendras vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.987

Bendras ŽŪ. Sek. Vid. Darbo užmokestis kas mėn., EUR.	-.983
---	-------

Nustatytas labai stiprus ir statistiškai reikšmingas neigiamas ryšys tarp bioanglies taikymo kaštų ir bendrojo vidaus produkto vienam gyventojui ($r = -0,977$, $p < 0,001$), taip pat su bendruoju vidaus produktu tiek su sezoniškumo ir darbo dienų įtaka, tiek be jos (atitinkamai $r = -0,970$ ir $r = -0,970$, $p < 0,001$). Tai rodo, kad didėjant bendram ekonomikos aktyvumui, bioanglies taikymo kaštai nagrinėjamu laikotarpiu turėjo tendenciją mažėti.

Taip pat nustatyti statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai tarp bioanglies taikymo kaštų ir trąšų kainų indeksų. Stipriausias ryšys fiksuotas su fosforo kainų indeksu ($r = -0,894$, $p < 0,001$), kiek silpnesnis – su kalio ($r = -0,821$, $p < 0,01$) ir azoto kainų indeksais ($r = -0,793$, $p < 0,01$). Tai leidžia teigti, kad bioanglies taikymo kaštų dinamika yra glaudžiai susijusi su žemės ūkio įvesties kainų pokyčiais.

Statistiškai reikšmingi neigiami ryšiai taip pat nustatyti tarp bioanglies taikymo kaštų ir bendrosios žemės ūkio produkcijos vertės ($r = -0,816$, $p < 0,01$) bei augalininkystės produkcijos vertės ($r = -0,784$, $p < 0,01$). Tai rodo, kad didėjant sektoriaus gamybos apimtims, bioanglies taikymo kaštai konkrečiame ūkyje buvo linkę mažėti.

Ypač stiprūs neigiami ryšiai nustatyti tarp bioanglies taikymo kaštų ir darbo užmokesčio rodiklių. Koreliacija su bendruoju vidutiniu darbo užmokesčiu siekė $r = -0,987$ ($p < 0,001$), o su žemės ūkio sektoriaus vidutiniu darbo užmokesčiu – $r = -0,983$ ($p < 0,001$). Tai rodo, kad darbo rinkos sąlygų pokyčiai yra glaudžiai susiję su bioanglies taikymo kaštų dinamika.

Atlikta koreliacinė analizė parodė, kad tiek ūkio veiklos ekonominiai rodikliai, tiek bioanglies ir anglies dioksido kreditų ekonominiai rodikliai yra statistiškai reikšmingai susiję su atrinktais makroekonominiais ir sektoriaus veiksniais. Gauti rezultatai leidžia teigti, jog analizuojamų ekonominių procesų dinamika yra veikiamą ne pavienių rodiklių, bet kompleksinių ekonominių aplinkos pokyčių. Ūkio veiklos analizė atskleidė, kad ūkio pardavimo pajamos ir trąšų sąnaudos yra glaudžiai susijusios su sektoriaus kainų ir gamybos apimčių rodikliais, tokiais kaip trąšų kainų indeksai bei augalininkystės ir bendrosios žemės ūkio produkcijos apimtys. Ryšiai su bendraisiais makroekonominiais rodikliais, įskaitant bendrąjį vidaus produktą ir vidutinį darbo užmokestį, buvo silpnesni arba statistiškai nereikšmingi, kas rodo, jog konkretaus ūkio finansiniai rezultatai labiau priklauso nuo sektoriaus ciklų nei nuo bendros ekonominės aplinkos. Bioanglies ir anglies dioksido kreditų analizė parodė nuoseklius ir statistiškai reikšmingus ryšius su makroekonominiais bei sektoriaus rodikliais. Nustatyta, kad bioanglies kreditų kaina, jų ekonominė vertė ūkyje ir bioanglies taikymo kaštai pasižymi stipriais neigiamais ryšiais su bendruoju vidaus produktu, darbo užmokesčio rodikliais, trąšų kainų indeksais bei žemės ūkio produkcijos apimtimis. Tai leidžia teigti, kad bioanglies ekonominiai rodikliai yra jautrūs platesniems ekonominės aplinkos pokyčiams.

Apibendrinant galima teigti, kad koreliacinės analizės rezultatai patvirtina hipotezę, jog bioanglies kaina ir anglies dioksido kreditų kainų rodikliai yra susiję su makroekonominiais veiksniais. Kartu nustatyta, kad šių ryšių pobūdis yra nevienalytis ir gali skirtis priklausomai nuo analizuojamo rodiklio bei ekonominio konteksto, todėl koreliacinė analizė sudaro pagrindą tolimesnei rezultatų interpretacijai ir diskusijai apie bioanglies ir Anglies dioksido kreditų vaidmenį tvarios žemdirbystės rinkos plėtroje Lietuvoje.

4.3. Analizuojamo ūkio bazinio ir alternatyvaus ekonominių scenarijų vertinimas

Atlikus koreliacinę analizę, kuri leido nustatyti statistinius ryšius tarp ūkio ekonominių rodiklių, mineralinių trąšų sąnaudų ir bioanglies bei anglies kreditavimo kintamųjų, siekiant įvertinti šių ryšių galimą praktinį ekonominį poveikį, taikoma ūkio ekonominių scenarijų analizė. Scenarijų analizė šiame tyrime naudojama ne kaip prognozavimo metodas, o kaip deterministinis lyginamasis įrankis, leidžiantis įvertinti, kaip keičiasi ūkio finansiniai rezultatai, įtraukus arba neįtraukus bioanglies taikymą. Scenarijų analizė leidžia pereiti nuo statistinių sąsajų vertinimo prie ekonominio sprendimo analizės ir sudaro metodologinį pagrindą įvertinti, ar bioanglies ir anglies kreditavimo integravimas gali būti ekonomiškai pagrįstas Lietuvos žemės ūkio sąlygomis.

Ūkio ekonominių scenarijų sudarymui naudojami faktiniai 2015–2024 m. duomenys, apimantys ūkio pardavimo pajamas, su pajamomis susijusias dotacijas, pardavimo savikainą, bendrąjį pelną, taip pat mineralinių trąšų (azoto, fosforo ir kalio) sunaudojimo kiekius ir jų sąnaudas (žr. 9 priedą). Papildomai naudojami bioanglies rinkos rodikliai: vidutinė bioanglies kaina, bioanglies taikymo kaštai, Anglies kreditų kaina ir kreditų vertė ūkyje iš vienos tonos bioanglies. Tokio duomenų rinkinio panaudojimas leidžia suformuoti scenarijus, kurie yra empiriškai pagrįsti ir atspindi realias ūkio veiklos sąlygas skirtingais ekonominiais laikotarpiais.

Bazinis scenarijus (S0) apibrėžia faktinę ūkio veiklą be bioanglies taikymo. Šiame scenarijuje ūkio pajamos susideda iš žemės ūkio produkcijos pardavimo pajamų ir su pajamomis susijusių dotacijų, o sąnaudos apima visą pardavimo savikainą, į kurią įtrauktos ir mineralinių trąšų sąnaudos. Bazinio scenarijaus ekonominis rezultatas yra faktinis ūkio bendrasis pelnas (nuostoliai), apskaičiuotas kaip pajamų ir savikainos skirtumas. Šis scenarijus laikomas atskaitos tašku, su kuriuo lyginami visi alternatyvūs scenarijai, įtraukiantys bioanglies taikymą.

Alternatyvus scenarijus (S1) modeliuoja ūkio veiklą, kai taikoma bioanglis ir dalyvaujama Anglies kreditavimo sistemoje. Skirtingai nuo bazinio scenarijaus, alternatyviame scenarijuje papildomai įvertinami bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštai, galimos papildomos pajamos iš anglies kreditų bei galimas mineralinių trąšų sąnaudų pokytis. Svarbu pabrėžti, kad šiame tyrime anglies kreditų pajamos nėra laikomos egzogeniniu dydžiu. Jos apskaičiuojamos endogeniškai, tiesiogiai susiejant kreditų kiekį su bioanglies kiekiu, taikomu ūkyje.

Siekiant išvengti per didelio ekonominio efekto pervertinimo, svarbu konservatyviai apibrėžti parenkamas pagrindines alternatyvaus scenarijaus prielaidas:

- 1) viena tona bioanglies sugeneruoja 2–3 t anglies dioksido pašalinimo kreditų,
- 2) bioanglies įsigijimo kaštai lygūs vidutinei bioanglies kainai (EUR/t),
- 3) bioanglies taikymo kaštai lygūs vidutiniams taikymo kaštams (EUR/t).

Taip pat, kaip minėta literatūroje apie bioanglies dirvožemio savybes, papildomai daroma prielaida, kad mažėja trąšų sąnaudos:

- 1) azoto trąšų sąnaudos sumažėja 10 %,
- 2) fosforo trąšų sąnaudos sumažėja 5 %,
- 3) kalio trąšų sąnaudos nesikeičia.

Tokios prielaidos nėra garantuotos kiekvienu atveju, todėl scenarijų analizėje vertinama kaip galimos, o ne užtikrintos naudos.

4.3.1. Ūkio scenarijų skaičiavimo metodika

Siekiant praktiškai pritaikyti sudarytą scenarijų metodiką, alternatyvus scenarijus (S1) empiriškai apskaičiuojamas naudojant faktinius analizuojamo ūkio 2015–2024 m. duomenis. Skaičiavimai atliekami kiekvieniems metams atskirai, kad būtų galima įvertinti bioanglies taikymo ekonominio efekto stabilumą skirtingomis kainų ir sąnaudų sąlygomis.

Alternatyviame scenarijuje laikomasi prielaidos, kad bioanglies kiekis ūkyje yra tiesiogiai susietas su sugeneruojamų CO₂ kreditų kiekiu. Daroma prielaida, jog ūkis kiekvienais metais sugeneruoja 3 tCO₂ kreditų iš vienos tonos bioanglies, o bioanglies kiekis apskaičiuojamas priklausomai nuo kreditų generavimo intensyvumo (EF). Atsižvelgiant į literatūroje nurodomą intervalą, nagrinėjami trys alternatyvūs atvejai:

1. S1a: EF = 2 (nepalankus atvejis);
2. S1b: EF = 2,5 (vidutinis atvejis);
3. S1c: EF = 3 (palankus atvejis).

Tokiu būdu alternatyvus scenarijus leidžia įvertinti, kaip bioanglies ekonominis efektas kinta priklausomai nuo technologinio efektyvumo, kuris realiomis sąlygomis gali skirtis tarp ūkių ir laikotarpių.

Pirmiausia įvertinamas bioanglies taikymo ekonominis pagrįstumas be trąšų sąnaudų sutaupymo efekto, t. y. lyginant tik bioanglies kaštus ir CO₂ kreditų pajamas. Šis žingsnis leidžia nustatyti, ar bioanglis gali būti ekonomiškai pagrįsta vien per kreditavimo mechanizmą. Tai apskaičiuoti naudojame formulę, kuri parodo grynąjį efektą tik iš kreditų:

$$\Delta P_{1t}^{(0)} = EF \times P_{CO_2} - (C_{bio} + C_{app}) \quad (1)$$

Kur:

$(C_{bio} + C_{app})$ – bioanglies kaina + taikymas, EUR/t,

P_{CO_2} – anglies kreditų kaina, EUR/tCO₂.

EF – kreditų iš 1 tonos bioanglies kiekis/t.

Ekonominiam pagrįstumui vertiname taip : jei $\Delta_{1t}^{(0)} > 0$, apsimoka, o jei $\Delta_{1t}^{(0)} < 0$ neapsimoka.

Kai bioanglies ir anglies kreditų kainos laikomos nekintančiomis, ekonominis bioanglies taikymo pagrįstumas priklauso nuo kreditų generavimo intensyvumo (EF). Tokiu atveju vienos tonos bioanglies ekonominis efektas apskaičiuojamas pagal (2) formulę, o lūžio taškas nustatomas pagal formulę (3):

$$EF \times P_{CO_2} - (C_{bio} + C_{app}) \quad (2)$$

$$EF = \frac{(C_{bio} + C_{app})}{P_{CO_2}} \quad (3)$$

Jei $\text{realus EF} < \text{EF}^*$, tuomet bioanglis neatsiperka.

Gauti lūžio taško rezultatai rodo, kad bioanglies taikymas neatsiperka beveik visais metais, išskyrus tik 2024 metus., kurio rezultatas ekonomiškai apsimoka tik jei $\text{EF} > \text{nei } 2.6$. Atlikus grynojo efekto skaičiavimą, rezultatai parodė, kad 2015 – 2022 metais bioanglis yra stipriai neigiama per kreditus, kur nuostolis siekia nuo 195 EUR iki 650 EUR, bet 2024 metais, priartėja prie lūžio taško, tačiau atsiperkamumas yra apie 60 EUR. Ir tai tik tuo atveju, jei iš vienos bioanglies tonos generuojamos 3 tonos anglies kredito. Kitais atvejais, kai generuojama 2 ar 2.5 tonos kreditų – rezultatas ekonomiškai neatsiperka. Šis rezultatas patvirtina tyrimo prielaidą, kad bioanglies ekonominis patrauklumas labai priklauso nuo kreditų generavimo intensyvumo ir rinkos kainų, o ne vien nuo paties bioanglies naudojimo fakto.

18 lentelė. 2015 -2024 m. EF lūžio taško skaičiavimas (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	(Cbio+Capp), EUR.	PCO ₂ , EUR/tCO ₂	EF*	Ar įmanoma atsipirkti, jei EF=2–3?
2015	1250	300	4,17	Ne
2016	1200	280	4,29	Ne
2017	1120	250	4,48	Ne
2018	1070	230	4,65	Ne
2019	1020	200	5,10	Ne
2020	940	250	3,76	Ne
2021	890	210	4,24	Ne
2022	735	180	4,08	Ne
2023	480	150	3,20	Ne (reiktų $\text{EF} \geq 3,2$)
2024	360	140	2,57	Taip, tik jei $\text{EF} \approx 3$

19 lentelė. 2015-2024 metų bioanglies grynasis efektas Eur/t. (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	PCO ₂ , EUR/tCO ₂	(Cbio+Capp), EUR.	Δ€/t (EF=2)	Δ€/t (EF=2,5)	Δ€/t (EF=3)
2015	300	1250	-650	-500	-350
2016	280	1200	-640	-500	-360
2017	250	1120	-620	-495	-370
2018	230	1070	-610	-495	-380
2019	200	1020	-620	-520	-420
2020	250	940	-440	-315	-190
2021	210	890	-470	-365	-260

2022	180	735	-375	-285	-195
2023	150	480	-180	-105	-30
2024	140	360	-80	-10	60

4.3.2. Trąšų sąnaudų sutaupymo metodika

Siekiant įvertinti galimą bioanglies taikymo poveikį ūkio kintamosioms sąnaudoms, alternatyviame scenarijuje papildomai vertinamas mineralinių trąšų sąnaudų sutaupymo efektas. Šis efektas laikomas vienu iš galimų bioanglies taikymo ekonominių privalumų, tačiau nėra traktuojamas kaip garantuotas rezultatas, todėl modeliuojamas scenariniu būdu.

Trąšų sąnaudų sutaupymo vertinimas grindžiamas prielaida, kad bioanglis gali pagerinti dirvožemio fizines ir chemines savybes, padidinti maistinių medžiagų sulaikymą dirvožemyje ir sumažinti jų išplovimą. Atsižvelgiant į mokslinėje literatūroje pateikiamus rezultatus, didžiausias trumpalaikis poveikis tikėtinas azoto trąšų segmente, tačiau fosforo poveikis laikomas vidutinio dydžio, o kalio trąšų pokytis trumpuoju laikotarpiu gali būti nereikšmingas.

Remiantis šiomis įžvalgomis, alternatyviame scenarijuje daromos tokios konservatyvios prielaidos:

- 1) azoto trąšų sąnaudos sumažėja 10 %,
- 2) fosforo trąšų sąnaudos sumažėja 5 %,
- 3) kalio trąšų sąnaudos nesikeičia.

Trąšų sutaupymas skaičiuojamas faktinėmis trąšų sąnaudomis pinigine išraiška kiekvienais metais:

$$S_{A,t} = c_A \times C_{A,t} \quad (4)$$

$$S_{F,t} = \alpha_F \times C_{F,t} \quad (5)$$

$$C_{F,t} \times S_{K,t} = \alpha_K \times C_{K,t} \quad (6)$$

Bendras trąšų sutaupymas:

$$S_{NPK,t} = S_{A,t} + S_{P,t} + S_{K,t} \quad (7)$$

Kur:

$S_{A,t}$, $S_{P,t}$, $S_{K,t}$ - apskaičiuotas sutaupymas, EUR,

$C_{A,t}$; $C_{F,t}$; $C_{K,t}$ – faktinės azoto, fosforo ir kalio sąnaudos EUR, t – metais,

$S_{NPK,t}$ - bendras sutaupymas, EUR.

Šis metodinis sprendimas leidžia įvertinti trąšų sutaupymą atsižvelgiant į realią kainų dinamiką (pvz., 2022 m. šuolį), t. y. tais metais, kai trąšų kainos aukštos, net toks pats procentinis sumažėjimas generuoja didesnę ekonominę naudą.

20 lentelė. Apskaičiuotas trąšų sąnaudų sutaupymas, taikant $\alpha_A - 10\text{proc.}$, $\alpha_P - 5\text{proc.}$, $\alpha_K - 0\text{ proc.}$ (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	S_A (10% nuo faktinio A)	S_P (5% nuo faktinio P)	S_K (0% nuo faktinio K)	S_{NPK} , EUR
2015	8 342	1 525	0	9 867
2016	7 821	1 435	-0	9 256
2017	8 342	1 525	0	9 867
2018	8 864	1 615	0	10 478
2019	9 385	1 704	0	11 090
2020	9 907	1 794	0	11 701
2021	12 514	2 063	0	14 577
2022	21 057	3 229	0	24 287
2023	14 860	2 386	0	17 246
2024	10 428	1 794	0	12 222

Gauti rezultatai rodo, kad didžiausias sutaupymo potencialas atsiranda azoto sąnaudų segmente, kas atitinka faktinę trąšų struktūrą ūkyje – azotas sudaro didžiausią trąšų sąnaudų dalį. Be to, sutaupymo dydis ženkliai kinta pagal trąšų kainų lygį: pavyzdžiui, 2022 m. dėl išaugusių trąšų sąnaudų tas pats procentinis sumažėjimas generuoja ženkliai didesnę absoliutų ekonominį efektą.

Apskaičiuotą rezultatą toliau integruosime į bendro ekonominio efekto skaičiavimą kaip sąnaudų sumažėjimas, kuris gali arba negali kompensuoti bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštus tais atvejais, kai vien anglies kreditavimo pajamų nepakanka. Apskaičiuoti bendrą pilną metinį ekonominį efektą su trąšų sutaupymu naudojame formulę (8):

$$\Delta P_t = \Delta_{Pt}^{(0)} + S_{NPK,t} \quad (7)$$

Kur:

$\Delta_{Pt}^{(0)}$ - tik kreditai minus bioanglies kaštai,

$S_{NPK,t}$ - bendras trąšų sąnaudų sutaupymas.

21 lentelė. Bendras metinis efektas su bioanglies taikymu bei trąšų sutaupymu (sudaryta darbo autoriaus)

Metai	ΔP_t , (EF=2)	ΔP_t , (EF=2,5)	ΔP_t , (EF=3)
2015	8 892	9 267	9 517
2016	8 296	8 656	8 896
2017	8 937	9 273	9 497
2018	9 563	9 884	10 098

2019	10 160	10 466	10 670
2020	11 041	11 323	11 511
2021	13 872	14 139	14 317
2022	23 724	23 945	24 092
2023	16 976	17 120	17 216
2024	12 102	12 210	12 282

4.3.3. Ūkio ekonominės padėties apibūdinimas taikant ir netaikant bioanglies technologijos

Baziniame scenarijuje analizuojamo ūkio ekonominė padėtis, kai bioanglis nėra taikoma, o ūkio veiklos rezultatai formuojasi remiantis tradicine augalininkystės technologija. Šiame scenarijuje ūkio finansiniai rezultatai priklauso nuo pardavimo pajamų, su pajamomis susijusių dotacijų, gamybos savikainos ir bendrųjų sąnaudų struktūros.

Analizuojamu 2015–2024 m. laikotarpiu ūkio ekonominiai rodikliai pasižymi reikšmingais svyravimais, kuriuos daugiausia lemia išoriniai rinkos veiksniai, atspindintys per produkcijos kainų pokyčius, su pajamomis susijusių dotacijų dydžio kitimą ir mineralinių trąšų kainų dinamiką. Šie veiksniai daro tiesioginę įtaką tiek ūkio pajamų lygiui, tiek sąnaudų struktūrai, todėl formuoja bendrą ūkio pelningumo dinamiką. Per analizuojamą laikotarpį ūkio pardavimo pajamos nebuvo stabilios ir pasižymėjo tiek augimo, tiek mažėjimo etapais. Kai kuriais metais fiksuojamas reikšmingas pajamų augimas, kurį lėmė palankesnės žemės ūkio produkcijos realizavimo kainos, o kitais metais pajamos mažėjo, nepaisant iš esmės nekintančios ūkio gamybinės struktūros. Tai rodo, kad ūkio pajamos yra jautrios rinkos kainų svyravimams ir ribotai priklauso nuo paties ūkio sprendimų trumpuoju laikotarpiu. Svarbią pajamų dalį sudaro su pajamomis susijusios dotacijos, kurios analizuojamu laikotarpiu atliko stabilizuojančią funkciją. Dotacijų dydis per metus kito santykinai mažiau nei pardavimo pajamos, todėl jos padėjo amortizuoti neigiamus pajamų svyravimus ir palaikyti teigiamą pinigų srautą tais metais, kai pagrindinės veiklos rezultatai buvo prastesni. Vis dėlto dotacijos nėra tiesiogiai susijusios su ūkio gamybos efektyvumu, todėl jos negali būti laikomos ilgalaikiu pelningumo didinimo instrumentu.

Didelę įtaką ūkio ekonominiams rezultatams turi pardavimo savikaina, kuri per tiriamą laikotarpį taip pat pasižymėjo reikšmingais pokyčiais. Pardavimo savikainos augimas dažnai viršydavo pajamų augimo tempą, o tai neigiamai veikė bendrojo pelno rodiklius. Analizuojant savikainos struktūrą, matyti, kad mineralinės trąšos sudaro reikšmingą kintamųjų sąnaudų dalį, todėl jų kainų pokyčiai tiesiogiai veikia savikainos lygį. Mineralinių trąšų sąnaudų analizė rodo, kad didžiausią dalį sudaro azoto trąšos, tiek pagal sunaudojamą kiekį, tiek pagal piniginę išraišką. Azoto trąšų sąnaudos per analizuojamą laikotarpį kito itin netolygiai, o kai kuriais metais jų augimas buvo itin ryškus. Fosforo ir kalio trąšų sąnaudos sudaro mažesnę bendrų trąšų sąnaudų dalį, tačiau ir jų kainų pokyčiai prisideda prie bendro sąnaudų lygio svyravimų.

Ūkio pelningumo rodikliai glaudžiai susiję su mineralinių trąšų sąnaudų dinamika. Tais metais, kai trąšų sąnaudos augo sparčiau nei pajamos, bendrasis pelnas ir pagrindinės veiklos pelnas mažėjo, net jei pardavimo pajamos išliko aukštos. Tai ypač išryškėjo 2021–2022 m., kai mineralinių trąšų sąnaudos pasiekė aukščiausią lygį per visą analizuojamą laikotarpį. Šiuo laikotarpiu ūkio

pelningumas tapo itin jautrus sąnaudų pokyčiams, o ekonominiai rezultatai labiau priklausė nuo sąnaudų kontrolės nei nuo pajamų augimo.

Šie duomenys leidžia teigti, kad analizuojamu laikotarpiu ūkio ekonominė padėtis buvo formuojama ne tik per pajamų kanalą, bet ir per sąnaudų struktūrą, kurioje mineralinės trąšos atlieka lemiamą vaidmenį. Didelė priklausomybė nuo trąšų kainų didina ūkio ekonominę riziką ir mažina pelningumo stabilumą, ypač tais metais, kai trąšų kainos pasižymi didesniais svyravimais.

Alternatyviame scenarijuje vertinama ūkio ekonominė padėtis, kai taikoma bioanglis ir dalyvaujama CO₂ kreditavimo sistemoje. Šiame scenarijuje bioanglies taikymas į ūkio ekonomiką įveda naujus pajamų ir sąnaudų komponentus, kurie keičia finansinių rezultatų struktūrą, tačiau nebūtinai garantuoja teigiamą galutinį efektą.

Pirmasis naujas ekonominis komponentas alternatyviame scenarijuje yra bioanglies įsigijimo ir jos taikymo kaštai, kurie trumpuoju laikotarpiu tiesiogiai didina ūkio sąnaudas. Skirtingai nei dauguma kitų analizuojamų veiksnių, šie kaštai yra aiškiai apibrėžti, lengvai identifikuojami ir iš karto pasireiškia ūkio finansiniuose rezultatuose. Bioanglies taikymas reikalauja papildomų investicijų, kurios nėra kompensuojamos per tradicinius ūkio pajamų šaltinius, todėl jų poveikis pelningumui yra tiesioginis ir trumpalaikėje perspektyvoje neišvengiamas. Empiriniai duomenys ir atlikti skaičiavimai rodo, kad analizuojamu 2015–2024 m. laikotarpiu bioanglies įsigijimo kaina pasižymėjo reikšminga mažėjimo tendencija. 2015–2016 m. bioanglies kaina siekė apie 600 EUR/t, o bioanglies taikymo kaštai – apie 650–600 EUR/t. Tai reiškia, kad bendri bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštai šiuo laikotarpiu sudarė apie 1 200–1 250 EUR/t, o tai yra itin aukštas kaštų lygis, lyginti su kitomis ūkio kintamosiomis sąnaudomis. Tokios sąnaudos trumpuoju laikotarpiu ženkliai didina ūkio savikainą ir daro neigiamą spaudimą pelningumui. Vėlesniais metais bioanglies kaštų struktūra palaipsniui keitėsi. Nuo 2017 m. stebimas bioanglies kainos mažėjimas, kuris 2024 m. pasiekė apie 160 EUR/t, o taikymo kaštai sumažėjo iki maždaug 200 EUR/t. Taigi bendri bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštai per analizuojamą laikotarpį sumažėjo daugiau nei tris kartus – nuo daugiau kaip 1 200 EUR/t iki maždaug 360 EUR/t. Ši dinamika rodo technologinį ir rinkos brandos procesą, tačiau net ir sumažėję kaštai išlieka reikšminga papildoma finansinė našta ūkiui.

Svarbu pabrėžti, kad bioanglies kaštai alternatyviame scenarijuje yra fiksuoto pobūdžio tuo požiūriu, kad jie nepriklauso nuo ūkio derliaus dydžio, produkcijos kainų ar dotacijų lygio. Tai reiškia, kad bioanglies taikymas padidina ūkio sąnaudas nepriklausomai nuo to, ar ūkio pajamos konkrečiais metais auga, ar mažėja. Tokia kaštų struktūra didina ūkio finansinę riziką, ypač tais metais, kai pagrindinės veiklos pajamos yra mažesnės arba kai bendras pelningumas ir taip yra spaudžiamas išorinių veiksnių. Empiriniai skaičiavimai, atlikti šiame tyrime, rodo, kad vien tik bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštai, neįtraukiant kitų galimų poveikio kanalų, dažniausiai viršija pajamas, gaunamas iš CO₂ kreditavimo. Tai ypač akivaizdu ankstesniais analizės laikotarpio metais, kai aukšta bioanglies kaina ir taikymo kaštai sudarė reikšmingą neigiamą ekonominį efektą. Net ir vėlesniais metais, kai bioanglies kaštai sumažėjo, jų poveikis pelningumui išlieka reikšmingas, jei nėra papildomų kompensuojančių veiksnių.

Antrasis svarbus alternatyvaus scenarijaus komponentas yra pajamos iš CO₂ kreditavimo, kurios teoriškai gali kompensuoti dalį bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštų. CO₂ kreditavimo mechanizmas grindžiamas prielaida, kad bioanglis, būdama stabili anglies forma, leidžia ilgalaikėje perspektyvoje pašalinti anglies dioksidą iš atmosferos, o šis poveikis gali būti įvertintas ir monetizuotas per

savanoriškas arba reguliuojamas anglies rinkas. Ūkio lygmeniu tai reiškia galimybę gauti papildomas pajamas, kurios nėra tiesiogiai susijusios su žemės ūkio produkcijos gamyba. Empiriniai duomenys rodo, kad analizuojamu 2015–2024 m. laikotarpiu CO₂ kreditų kaina pasižymėjo svyravimais ir bendra mažėjimo tendencija. Ankstesniais laikotarpiais kreditų kaina siekė apie 300 EUR/t CO₂, o vėlesniais metais sumažėjo iki maždaug 140 EUR/t CO₂. Atsižvelgiant į tai, kad ūkyje modeliuojamas pastovus sugeneruojamų kreditų kiekis (3 t CO₂ per metus), pajamos iš CO₂ kreditavimo per visą laikotarpį svyravo nuo 900 EUR per metus iki maždaug 420 EUR per metus.

Lyginant šias pajamas su bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštais, išryškėja esminis ekonominis disbalansas. Ankstyvaisiais analizės laikotarpio metais, kai bioanglies kaštai viršijo 1 000 EUR/t, o kreditų pajamos siekė apie 900 EUR per metus, net ir optimistiškiausiu atveju CO₂ kreditavimas nepadengė bioanglies taikymo sąnaudų. Tai lėmė reikšmingą neigiamą grynąjį ekonominį efektą, kuris svyravo nuo maždaug –900 iki –1 000 EUR per metus, priklausomai nuo kreditų generavimo intensyvumo (EF).

Vėlesniais metais, ypač po 2020 m., situacija palaipsniui keitėsi dėl mažėjančių bioanglies kaštų. 2024 m. bendri bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštai sumažėjo iki maždaug 360 EUR/t, o CO₂ kreditų pajamos sudarė apie 420 EUR per metus. Šiame kontekste atlikti skaičiavimai rodo, kad tik esant aukščiausiam kreditų generavimo intensyvumo scenarijui (EF ≈ 3) CO₂ kreditų pajamos galėjo pilnai padengti bioanglies taikymo kaštus ir sukurti nedidelį teigiamą ekonominį efektą (apie +60 EUR per metus). Esant konservatyvesniems EF scenarijams (EF = 2 arba EF = 2,5), net ir 2024 m. CO₂ kreditų pajamos išliko nepakankamos pilnam kaštų kompensavimui. Šie rezultatai rodo, kad CO₂ kreditavimo ekonominis potencialas ūkyje yra labai jautrus technologiniams ir rinkos parametrams. Pirma, kreditų generavimo intensyvumas (EF) turi lemiamą reikšmę galutiniam rezultatui. Jei realiomis sąlygomis 1 tona bioanglies sugeneruoja mažiau nei 2,5–3 t CO₂ kreditų, kreditavimo mechanizmas tampa ekonomiškai neefektyvus net ir esant sumažėjusiems bioanglies kaštams. Antra, kreditų kainų lygis tiesiogiai veikia pajamų dydį, tačiau šis veiksnys yra išorinis ir nekontroliuojamas paties ūkio. Svarbu pabrėžti, kad anglies kreditavimo pajamos pasižymi ir papildomu neapibrėžtumu, susijusiu su rinkos funkcionavimu, sertifikavimo reikalavimais ir galimu reguliavimo pokyčiu. Nors šiame tyrime kreditų pajamos vertinamos kaip piniginė nauda, praktikoje jų realizavimas gali reikalauti papildomų administracinių ir sandorių kaštų, kurie dar labiau sumažintų grynąjį ekonominį efektą. Šie aspektai dar labiau sustiprina išvadą, kad anglies kreditavimas negali būti vertinamas kaip stabilus ir pakankamas bioanglies taikymo kaštų padengimo mechanizmas.

Trečiasis galimas bioanglies taikymo poveikio kanalas alternatyviame scenarijuje yra mineralinių trąšų sąnaudų struktūros pokytis. Skirtingai nei bioanglies įsigijimo kaštai ar pajamos iš anglies kreditavimo, šis poveikio kanalas nėra tiesioginis ir pasireiškia ne per naują finansinį srautą, bet per galimus esamų sąnaudų pokyčius. Bioanglis, kaip dirvožemio gerinimo priemonė, teoriškai gali prisidėti prie efektyvesnio maistinių medžiagų panaudojimo, tačiau šio poveikio dydis ir netgi jo egzistavimas priklauso nuo konkrečių agronominių, dirvožemio ir technologinių sąlygų.

Analizuojamo ūkio duomenys rodo, kad mineralinės trąšos sudaro reikšmingą kintamųjų sąnaudų dalį visame 2015–2024 m. laikotarpyje. Bendros trąšų sąnaudos per šį laikotarpį svyravo nuo maždaug 120 tūkst. EUR iki daugiau kaip 300 tūkst. EUR per metus. Didžiausią šių sąnaudų dalį nuosekliai sudarė azoto trąšos, kurių sąnaudos 2022 metais viršijo net 200 tūkst. EUR. Fosforo ir kalio trąšų sąnaudos buvo mažesnės, tačiau jų indėlis į bendrą sąnaudų lygį taip pat buvo reikšmingas.

Empirinė trąšų sąnaudų dinamika rodo, kad būtent trąšų kainų pokyčiai yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių bendrosios savikainos ir pelningumo svyravimus. Tai ypač akivaizdu 2021–2022 m., kai bendros trąšų sąnaudos išaugo iki 187,5 tūkst. EUR ir 306,3 tūkst. EUR atitinkamai, o tai sutapo su reikšmingais pokyčiais ūkio pelningumo rodikliuose. Šie duomenys leidžia teigti, kad net ir santykinai nedidelis trąšų naudojimo efektyvumo pokytis gali turėti apčiuopiamą ekonominį efektą absoliučia pinigine išraiška. Šiame tyrime bioanglies poveikis trąšų sąnaudoms vertinamas kaip galimas, bet ne garantuotas. Skirtingai nei kai kuriuose normatyviniuose ar eksperimentiniuose tyrimuose, čia nepriimama prielaida, kad bioanglies taikymas automatiškai lemia trąšų naudojimo sumažėjimą. Vietoje to trąšų sąnaudų pokytis modeliuojamas scenariškai, siekiant įvertinti, kokio dydžio potencialus sutaupymas būtų reikalingas, kad bioanglies taikymas turėtų reikšmingą ekonominį poveikį ūkiui. Remiantis literatūroje pateikiamomis įžvalgomis ir atsižvelgiant į analizuojamo ūkio trąšų struktūrą, didžiausias galimas bioanglies poveikis tikėtinas azoto trąšų segmente. Azoto trąšos ne tik sudaro didžiausią sąnaudų dalį, bet ir pasižymi didžiausiu nuostolių potencialu dėl išplovimo ar neefektyvaus panaudojimo. Todėl net ir nedidelis azoto naudojimo efektyvumo padidėjimas gali turėti santykinai didelį ekonominį efektą. Fosforo trąšų atveju galimas poveikis laikomas mažesniu, o kalio trąšų pokytis trumpuoju laikotarpiu laikomas nereikšmingu.

Atliekant empirinį modeliavimą nustatyta, kad mineralinių trąšų sąnaudų struktūra analizuojamame ūkyje sudaro reikšmingą potencialų bioanglies taikymo poveikio kanalą. Pavyzdžiui, 2024 m. bendros trąšų sąnaudos sudarė apie 159,4 tūkst. EUR, iš kurių azoto trąšoms teko 104,3 tūkst. EUR, t. y. daugiau nei 65 proc. visų mineralinių trąšų sąnaudų. Fosforo trąšų sąnaudos sudarė 35,9 tūkst. EUR, o kalio – 19,2 tūkst. EUR. Tokia sąnaudų struktūra rodo, kad būtent azoto trąšos yra pagrindinis segmentas, per kurį galimas efektyvumo pagerėjimas galėtų turėti didžiausią ekonominį poveikį.

Taikant tyrime pasirinktą prielaidą, kad bioanglies naudojimas gali sumažinti azoto trąšų sąnaudas 10 proc., o fosforo trąšų sąnaudas – 5 proc., 2024 m. potencialus metinis trąšų sutaupymas sudarytų apie 12,2 tūkst. EUR. Ši suma susidaro iš maždaug 10,4 tūkst. EUR azoto trąšų sutaupymo ir apie 1,8 tūkst. EUR fosforo trąšų sutaupymo. Nors šis dydis pats savaime nėra pakankamas visiškai kompensuoti bioanglies įsigijimo ir taikymo kaštus, jis reikšmingai sumažina bendrą neigiamą ekonominį efektą alternatyviame scenarijuje. Analogiška logika taikytina ir ankstesniems metams, ypač 2021–2022 m., kai mineralinių trąšų kainos buvo itin aukštos. 2022 m. bendros trąšų sąnaudos ūkyje sudarė daugiau nei 306 tūkst. EUR, iš kurių azoto trąšų sąnaudos viršijo 210 tūkst. EUR, o fosforo – apie 64,6 tūkst. EUR. Taikant tą pačią 10 proc. azoto ir 5 proc. fosforo sąnaudų sumažėjimo prielaidą, potencialus metinis sutaupymas 2021 m. siektų apie 14 tūkst. EUR. Tai rodo, kad laikotarpiais, kai trąšų kainos yra aukštos, net ir vidutinio dydžio efektyvumo pagerėjimas gali turėti itin reikšmingą ekonominį poveikį absoliučia pinigine išraiška.

Apibendrinant atliktą analizę galima teigti, kad bioanglies taikymas ūkyje veikia ne per vieną aiškų ekonominį mechanizmą, bet per kelių tarpusavyje susijusių veiksnių sąveiką, kurių bendras poveikis ūkio finansiniams rezultatams nėra vienareikšmis. Alternatyvus scenarijus, kuriame modeliuojamas bioanglies taikymas, iš esmės keičia ūkio ekonominę struktūrą, tačiau pats savaime neužtikrina teigiamo finansinio rezultato. Trumpuoju laikotarpiu dominuojantis bioanglies poveikis pasireiškia per papildomas sąnaudas. Bioanglies įsigijimas ir jos taikymas reikalauja iš anksto patiriamų kaštų, kurie tiesiogiai didina savikainą ir daro spaudimą pelningumui. Nors analizuojamu laikotarpiu šie kaštai mažėjo, jie vis dar išlieka reikšmingi ir sudaro pagrindinį barjerą bioanglies ekonominiam pagrįstumui, ypač tais metais, kai ūkio finansiniai rezultatai ir taip yra jautrūs išorinių rinkos veiksnių pokyčiams.

Bioanglies kreditų kreditavimo mechanizmas suteikia galimybę dalį šių kaštų kompensuoti, tačiau atlikta analizė rodo, kad ši kompensacija dažniausiai yra nepakankama. Kreditų pajamos priklauso nuo rinkos kainų ir technologinių prielaidų, kurios nėra visiškai kontroliuojamos ūkio lygmeniu. Dėl to anglies kreditai veikia kaip papildomas, bet riboto poveikio pajamų šaltinis, kuris gali sumažinti neigiamą bioanglies kaštų efektą, tačiau retai jį visiškai neutralizuoja. Potencialus mineralinių trąšų sąnaudų struktūros pokytis išsiskiria kaip labiausiai neapibrėžtas, bet kartu ir ekonomiškai reikšmingas bioanglies poveikio kanalas. Atsižvelgiant į tai, kad trąšos sudaro didelę ūkio kintamųjų sąnaudų dalį, net ir nedidelis jų naudojimo efektyvumo pagerėjimas galėtų turėti apčiuopiamą finansinį efektą. Vis dėlto šis poveikis priklauso nuo daugelio agronominių ir technologinių veiksnių, todėl negali būti laikomas garantuotu bioanglies taikymo rezultatu. Svarbu pabrėžti, kad šių trijų komponentų poveikis pasireiškia nevienodu laiko horizontu ir skirtingu neapibrėžtumo lygiu. Bioanglies kaštai yra tiesioginiai ir iš karto matomi, CO₂ kreditavimo pajamos yra sąlygiškai trumpalaikės ir priklausomos nuo rinkos, o galimas trąšų sąnaudų sumažėjimas gali būti laipsniškas ir pasireikšti tik vidutiniu ar ilguoju laikotarpiu. Dėl šios priežasties bioanglies ekonominis vertinimas negali būti grindžiamas vieno laikotarpio rezultatais ar vieno poveikio kanalo analize.

Apibendrinant galima teigti, kad bioanglies taikymas ūkyje nėra nei universaliai pelningas sprendimas, nei vienareikšmiškai ekonomiškai neefektyvi priemonė. Jo poveikis ūkio ekonominiams rezultatams yra sąlyginis ir priklauso nuo kaštų lygio, kreditavimo sąlygų bei galimo poveikio sąnaudų struktūrai. Toks vertinimas sudaro pagrindą tolesnei rezultatų interpretacijai ir leidžia formuluoti subalansuotą išvadą bei rekomendacijas, nepervertinant bioanglies potencialo ir aiškiai įvardijant jos taikymo ribotumus Lietuvos žemės ūkio sąlygomis.

Išvados

1. Išanalizavus tvarios žemdirbystės, bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo problematiką nustatyta, kad Lietuvos žemės ūkio sektorius susiduria su kompleksiniais struktūriniais iššūkiais, kurie riboja tvarios žemdirbystės rinkos plėtrą ir ekonominį sektoriaus atsparumą. Tyrimo metu identifikuota, kad Lietuva pasižymi santykinai aukštu žemės ūkio šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų intensyvumu Europos Sąjungos kontekste, o tai susiję su intensyviu mineralinių trąšų naudojimu, ribotu neariminių ir regeneracinių praktikų taikymu bei istoriškai susiformavusia pasėlių struktūra, orientuota į grūdines kultūras. Ši situacija ne tik didina emisijas, bet ir spartina dirvožemio organinės anglies nykimą, kas ilginiui mažina dirvožemio produktyvumą ir didina ūkių priklausomybę nuo išorinių gamybos veiksnių. Analizė parodė, kad dirvožemio degradacija Lietuvoje tampa ne tik agronomine, bet ir ekonomine problema, nes organinės anglies mažėjimas tiesiogiai didina trąšų sąnaudas, mažina derliaus stabilumą ir didina ūkių pajamų nepastovumą. Ši rizika ypač aktuali mažiems ir vidutiniams ūkiams, kurių finansinis atsparumas rinkos svyravimams yra ribotas. Klimato kaitos kontekste didėjantis sausrų dažnis ir kritulių netolygumas dar labiau išryškina dirvožemio kokybės svarbą kaip esminį ilgalaikio ūkių konkurencingumo veiksnių. Taip pat, nustatyta, kad nors Europos Sąjunga aiškiai ir kryptingai pereina nuo vien tik emisijų mažinimo prie anglies dioksido pašalinimo iš atmosferos (CDR) sprendimų, Lietuva kol kas neturi aiškos strateginės krypties šioje srityje. Nacionaliniuose klimato ir žemės ūkio politikos dokumentuose bioanglis ir anglies dioksido pašalinimas praktiškai nefigūruoja, nėra sukurta nei sertifikavimo, nei apskaitos, nei ekonominių paskatų sistema. Tai reiškia, kad Lietuva neišnaudoja galimybių dalyvauti sparčiai augančioje anglies kreditų rinkoje, nors turi tam palankias gamtines ir struktūrines prielaidas. Problematikos analizė leidžia daryti išvadą, kad bioanglies ir anglies kreditavimo potencialas Lietuvoje egzistuoja, tačiau jo realizavimą riboja instituciniai, ekonominiai ir strateginiai trūkumai. Šie veiksniai sudaro sisteminę kliūtį tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai ir pagrindžia poreikį ieškoti integruotų sprendimų, jungiančių aplinkosauginius tikslus su ekonominiu ūkių gyvybingumu.
2. Išanalizavus tvarios žemdirbystės, bioanglies ir anglies kreditavimo teorinį pagrindą nustatyta, kad šios koncepcijos tarpusavyje sudaro nuoseklią sistemą, leidžiančią suderinti klimato kaitos švelninimą, dirvožemio atkūrimą ir ekonominį žemės ūkio tvarumą. Teorinė analizė atskleidė, kad tvari žemdirbystė šiuolaikinėje mokslinėje literatūroje vis dažniau siejama su dirvožemio sveikatos koncepcija, kuri apima ne tik dirvožemio derlingumą, bet ir jo gebėjimą kaupti organinę anglį, reguliuoti vandens balansą, palaikyti biologinę įvairovę bei užtikrinti ekosistemines paslaugas. Ši koncepcija leidžia vertinti žemės ūkio sistemas ne trumpalaikio produktyvumo, o ilgalaikio funkcinio stabilumo požiūriu. Literatūros analizė parodė, kad bioanglis išsiskiria kaip viena patikimiausių ilgalaikio anglies sekvestravimo technologijų, pasižyminti itin dideliu anglies stabilumu dirvožemyje. Skirtingai nei kitos dirvožemio anglies kaupimo priemonės, bioanglis yra mažiau jautri atvirkštiniais procesams ir leidžia tiksliai apskaityti pašalintos anglies kiekį. Tai lemia jos tinkamumą anglies kreditų generavimui ir integracijai į formuojamas anglies dioksido pašalinimo rinkas. Teorinis anglies kreditų rinkų veikimo modelis atskleidė, kad žemės ūkis gali tapti ne tik emisijų šaltiniu, bet ir anglies pašalinimo paslaugų teikėju. Savanoriškos anglies rinkos ir naujai kuriamos reguliuojamos sistemos suteikia galimybę ūkiams gauti papildomas pajamas už aplinkosaugines veiklas, tačiau tam būtinos aiškos metodikos, patikimas monitoringas ir rinkos pasitikėjimas. Bioanglis šiame kontekste teoriškai vertinama kaip viena labiausiai subrendusių technologijų, galinčių užtikrinti ilgalaikį CO₂ pašalinimą. Apibendrinant teorinę analizę, nustatyta, kad tvari žemdirbystė, bioanglis ir anglies kreditavimas nėra atskiros ar

konkuruojančios koncepcijos, o tarpusavyje susiję elementai, galintys sudaryti integruotą ekonominį ir aplinkosauginį modelį. Šis modelis teoriškai leidžia spręsti tiek klimato kaitos, tiek dirvožemio degradacijos, tiek ūkių ekonominio stabilumo problemas, sudarydamas pagrindą praktiniam šių sprendimų vertinimui Lietuvos sąlygomis.

3. Sudarius bioanglies ir anglies dioksido kreditavimo panaudojimo tvarios žemdirbystės rinkos plėtrai Lietuvoje vertinimo metodologiją nustatyta, kad kompleksinis makro- ir mikroekonominis požiūris leidžia objektyviai įvertinti šių sprendimų ekonominį pagrįstumą ir pritaikomumą praktikoje. Sukurta metodologija grindžiama sisteminiu požiūriu, apimančiu makroekonominis, mikroekonominis, kontekstinius ir scenariinius kintamuosius, leidžiančius įvertinti ne tik bioanglies technologijos ekonominį efektą, bet ir jo jautrumą išorinėms ekonominėms sąlygoms. Tokia struktūra leidžia išvengti vienpusiško vertinimo ir užtikrina, kad rezultatai būtų interpretuojami realios rinkos aplinkos kontekste. Metodologijoje numatyta makroekonominių rodiklių analizė leidžia įvertinti, kaip bendros ekonominės sąlygos – trąšų kainų pokyčiai, žemės ūkio produkcijos kainos, darbo užmokestis ar BVP dinamika – veikia ūkių ekonominius rezultatus ir bioanglies taikymo efektyvumą. Mikroekonominis lygmuo suteikia galimybę detalai analizuoti ūkio pajamų, sąnaudų ir pelningumo pokyčius, taikant bioanglį kaip tvarios žemdirbystės priemonę. Svarbi metodologijos dalis yra scenarijų analizė, leidžianti palyginti bazinį ūkininkavimo modelį su alternatyviu, įtraukiant bioanglį ir anglies kreditų generavimą. Šis metodas suteikia galimybę įvertinti ne tik faktinius, bet ir potencialius ekonominius rezultatus skirtingomis rinkos sąlygomis. Taip pat metodologijoje integruotas trąšų sąnaudų sutaupymo vertinimas, leidžiantis įvertinti netiesioginę bioanglies naudą, susijusią su esamų kaštų mažinimu ir efektyvesniu medžiagų panaudojimu. Apibendrinant galima teigti, kad sukurta metodologija yra lanksti, pritaikoma ir tinkama naudoti tiek akademiniuose tyrimuose, tiek praktiniuose sprendimuose. Ji sudaro analitinį pagrindą objektyviam bioanglies ir anglies kreditavimo ekonominio poveikio vertinimui Lietuvos žemės ūkio sąlygomis ir gali būti naudojama kaip sprendimų priėmimo įrankis tiek ūkininkams, tiek politikos formuotojams.
4. Empirinio tyrimo rezultatai parodė, kad analizuojamo ūkio ekonominiai rodikliai nėra autonomiški, o yra glaudžiai susiję su makroekonominių veiksnių dinamika. Tai patvirtina H2 hipotezę, kad makroekonominiai rodikliai daro statistiškai reikšmingą įtaką ūkio veiklos rezultatams. Koreliacinė analizė atskleidė statistiškai reikšmingus ryšius tarp ūkio pardavimo pajamų, trąšų sąnaudų, bendro pelno (nuostolio) ir tokių makroekonominių rodiklių kaip žemės ūkio produkcijos kainos, trąšų kainų indeksas, BVP vienam gyventojui. Tai patvirtina H3 hipotezę, kad ūkio finansiniai rezultatai yra labai jautrūs išorinei ekonominei aplinkai, o tai ypač svarbu vertinant investicijų į tvarias technologijas pagrįstumą. Tyrimo metu nustatyta, kad bioanglies kreditų kainos ir bioanglies taikymo kaštai taip pat pasižymi reikšmingais svyravimais laike. Kai kuriais analizuojamais laikotarpiais bioanglies generuojamų kreditų vertė nekompensavo bioanglies taikymo kaštų, todėl grynasis ekonominis efektas buvo neigiamas. Tai ypač būdinga laikotarpiams, kuriuose anglies kreditų kainos buvo žemos, o bioanglies gamybos ar įsigijimo kaštai – aukšti. Šie rezultatai paneigia H5 hipotezę, kad pritaikius bioanglies metodą, ūkio rezultatai pagerėja ir paneigia supaprastintą prielaidą, kad bioanglis visais atvejais automatiškai sukuria teigiamą ekonominę grąžą. Tačiau, empiriniai duomenys atskleidė, kad esant palankesnėms makroekonominėms sąlygoms – augant anglies kreditų kainoms ir stabilizuojantis trąšų rinkai – bioanglies ekonominis efektas tampa teigiamas. Tai iš dalies patvirtina H5 hipotezę. Lūžio taško analizė parodė, kad tam tikrais metais bioanglies taikymas pasiekė ekonominį neutralumą arba generavo teigiamą grynąjį efektą, o tai rodo, jog bioanglies ekonominis pagrįstumas yra dinaminis, o ne statinis reiškinys. Empirinio vertinimo rezultatai

leidžia daryti išvadą, kad bioanglies ir anglies kreditavimo ekonominis efektyvumas negali būti vertinamas izoliuotai nuo makroekonominio konteksto. Bioanglis ūkyje veikia ne kaip trumpalaikis kaštų mažinimo sprendimas, o kaip ilgalaikė strateginė priemonė, kurios ekonominė nauda atsiskleidžia tik tam tikromis rinkos sąlygomis. Todėl bioanglies taikymas reikalauja ne tik technologinio pasirengimo, bet ir aktyvaus ekonominės aplinkos stebėjimo bei prisitaikymo prie rinkos ciklų.

5. Atlikus analizuojamo ūkio bazinio ir alternatyvaus, naudojant bioanglį, ekonominių scenarijų vertinimą nustatyta, kad bioanglies taikymas nesukuria universaliai teigiamo rezultato, tačiau gali reikšmingai pagerinti ūkio ekonominę padėtį esant palankioms kainų ir sąnaudų kombinacijoms. Scenarijų analizė atskleidė esminius skirtumus tarp bazinio ūkininkavimo modelio ir alternatyvaus scenarijaus, kuriame taikoma bioanglies technologija. Bazinis scenarijus pasižymi dideliu priklausomumu nuo mineralinių trąšų kainų ir žemės ūkio produkcijos kainų svyravimų, o tai lemia didelį ūkio finansinių rezultatų nepastovumą. Analizuojami duomenys rodo, kad tokio tipo ūkininkavimo modelis yra itin jautrus išoriniams šokams ir pasižymi ribotomis galimybėmis stabilizuoti pajamas ilgalaikėje perspektyvoje. Alternatyvaus scenarijaus vertinimas parodė, kad bioanglies taikymas, kartu su trąšų sąnaudų sutaupymu ir anglies kreditų generavimu, gali sumažinti šį nepastovumą. Tačiau kartu nustatyta, kad bioanglies ekonominis poveikis nėra vienareikšmis: kai kuriais metais, net ir įtraukus trąšų sąnaudų mažėjimą, bendras ekonominis efektas išliko neigiamas. Tai rodo, kad bioanglies taikymas negali būti laikomas trumpalaikė priemone finansiniams rezultatams pagerinti. Vis dėlto scenarijų analizė atskleidė, kad tam tikrais laikotarpiais bioanglies taikymas generavo teigiamą bendrą metinį efektą. Šiuos laikotarpius charakterizavo aukštesnės anglies kreditų kainos, palankesnė bioanglies taikymo kaštų struktūra ir didesnis trąšų sąnaudų sutaupymo efektas. Tokie rezultatai patvirtina, kad bioanglies taikymas gali būti ekonomiškai pagrįstas kaip cikliška, prie rinkos sąlygų prisitaikanti strategija. Svarbu pažymėti, kad alternatyvus scenarijus parodė didesnę ūkio atsparumą ilgalaikėje perspektyvoje. Net tais metais, kai grynasis ekonominis efektas buvo neigiamas, bioanglies taikymas mažino priklausomybę nuo mineralinių trąšų, stabilizavo sąnaudų struktūrą ir didino ūkininkavimo sistemos lankstumą. Tai leidžia bioanglį vertinti ne tik per tiesioginės finansinės grąžos, bet ir per rizikos valdymo, kaip esamų kaštų mažinimo bei ilgalaikio tvarumo prizmę. Apibendrinant scenarijų analizę galima teigti, kad bioanglies integravimas į ūkio veiklą nėra universali ar greita ekonominė išeitis, tačiau tinkamai parinktomis sąlygomis jis gali tapti reikšmingu tvarios žemdirbystės ir ekonominio stabilumo instrumentu. Tai patvirtina, kad bioanglies taikymas Lietuvoje turėtų būti grindžiamas diferencijuotu, ekonomiškai pagrįstu požiūriu, o ne vien tik deklaratyviais aplinkosauginiais tikslais.

Literatūros sąrašas

1. Abbas, F., Hammad, H. M., Anwar, F., Farooque, A. A., Jawad, R., Bakhat, H. F., Naeem, M. A., Ahmad, S., & Qaisrani, S. A. (2021). Transforming a Valuable Bioresource to Biochar, Its Environmental Importance, and Potential Applications in Boosting Circular Bioeconomy While Promoting Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 13(5), 2599. <https://doi.org/10.3390/su13052599>
2. Bagonienė, R. (2024, May 21). Faktai ir skaičiai. VI Žemės ūkio duomenų centras. <https://zudc.lt/faktai-ir-skaiciai/>
3. Baigal, J. (2025, May 30). Economic Impact of Sustainable Agriculture. *Sustainoverse*. <https://sustainoverse.com/economic-benefits-of-sustainable-agriculture/>
4. Bartzas, G., Doula, M., & Komnitsas, K. (2025). Low-Carbon Certification Systems in Agriculture: A Review. *Applied Sciences*, 15(10), 5285. <https://doi.org/10.3390/app15105285>
5. Berruti, F., Formosi, J., & Soulliere, K. (2022). Life cycle analysis of different biochar production processes for simultaneous waste management and carbon capture credits. *WasteLCA_3: Life Cycle Sustainability Assessment For Waste Management And Resource Optimization*. https://dc.engconfintl.org/lca_waste_3/27
6. *Biochar Carbon Removal | Puro.earth*. (2025, November 22). Website (Puro.Earth). <https://puro.earth/biochar>
7. Black, H. I. J., Reed, M. S., Kendall, H., Parkhurst, R., Cannon, N., Chapman, P. J., Orman, M., Phelps, J., Rudman, H., Whaley, S., Yeluripati, J., & Ziv, G. (2022). What makes an operational farm soil carbon code? Insights from a global comparison of existing soil carbon codes using a structured analytical framework. *Carbon Management*, 13(1), 554–580. <https://doi.org/10.1080/17583004.2022.2135459>
8. Buylova, A., Fridahl, M., Nasiritousi, N., & Reischl, G. (2021a). Cancel (Out) Emissions? The Envisaged Role of Carbon Dioxide Removal Technologies in Long-Term National Climate Strategies. *Frontiers in Climate*, 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.675499>
9. Buylova, A., Fridahl, M., Nasiritousi, N., & Reischl, G. (2021b). Cancel (Out) Emissions? The Envisaged Role of Carbon Dioxide Removal Technologies in Long-Term National Climate Strategies. *Frontiers in Climate*, 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.675499>
10. Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland*. (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
11. Canada, N. R. (2023, September 18). *Canada's Carbon Management Strategy*. <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/carbon-management/canada-s-carbon-management-strategy>
12. Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., García-Tejero, I. F., Gálvez Ruiz, B., & Cuadros Tavira, S. (2022). Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review. *Soil Systems*, 6(4), 87. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6040087>

13. Chiaramonti, D., Berruti, F., Lehmann, J., Masek, O., Petersen, H. I., Perez, M. G., Sanei, H., & Vaccari, F. P. (2025). Biochar and its impact on the carbon cycle. *Biomass and Bioenergy*, 203, 108365. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108365>
14. Climate Action Commission. (2022). *Progress on climate action—Climate Action—European Commission*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/progress-climate-action_en
15. Dillaway, D. N., & Kruger, E. L. (2014). Trends in seedling growth and carbon-use efficiency vary among broadleaf tree species along a latitudinal transect in eastern North America. *Global Change Biology*, 20(3), 908–922. <https://doi.org/10.1111/gcb.12427>
16. Elias, M., Hunt, J., Remucal, J., Saksa, P., & Sanchez, D. L. (2022). *Blue Forest Conservation University of California, Berkeley Pacific Biochar Climate Action Reserve 2022*.
17. EU Council. (2023). *Promoting a more sustainable, competitive and resilient Europe and boosting rural areas: Council approves conclusions on the opportunities of the bioeconomy*. Consilium. https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/04/25/promoting-a-more-sustainable-competitive-and-resilient-europe-and-boosting-rural-areas-council-approves-conclusions-on-the-opportunities-of-the-bioeconomy/?utm_source=chatgpt.com
18. EU Soil Strategy for 2030 (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0699>
19. *European Biochar Market Report 2024/2025*. (2025).
20. Europos Komisija. (2025, December 1). *Soil organic carbon is at risk in a large part of European agricultural land - The Joint Research Centre: EU Science Hub*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/soil-organic-carbon-risk-large-part-european-agricultural-land-2025-03-18_en
21. FAO. (2022). *The State of Agricultural Commodity Markets 2022. The geography of food and agricultural trade: Policy approaches for sustainable development*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0471en>
22. FAO, I. (2021). *Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended sustainable soil management. Volume 3 - Cropland, grassland, integrated systems and farming approaches - Practices overview* (1st edn). FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6595en>
23. Francaviglia, R., Almagro, M., & Vicente-Vicente, J. L. (2023). Conservation Agriculture and Soil Organic Carbon: Principles, Processes, Practices and Policy Options. *Soil Systems*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010017>
24. Fraser, C., Dargusch, P., & Hill, G. (2022). Meeting the Net Zero Emissions Challenge – Alphabet’s Carbon Management Actions and Opportunities. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 03(02), 1–13. <https://doi.org/10.21926/aer.2202026>
25. Gamage, A., Gangahagedara, R., Gamage, J., Jayasinghe, N., Kodikara, N., Suraweera, P., & Merah, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005>
26. Ghorbani, M., Amirahmadi, E., Neugschwandtner, R. W., Konvalina, P., Kopecký, M., Moudrý, J., Perná, K., & Murindangabo, Y. T. (2022). The Impact of Pyrolysis Temperature on Biochar Properties and Its Effects on Soil Hydrological Properties. *Sustainability*, 14(22), 14722. <https://doi.org/10.3390/su142214722>
27. *Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe*. (2025, November 6). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-agriculture>

28. Grusson, Y., Wesström, I., Svedberg, E., & Joel, A. (2021). Influence of climate change on water partitioning in agricultural watersheds: Examples from Sweden. *Agricultural Water Management*, 249, 106766. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106766>
29. Haeldermans, T., Campion, L., Kuppens, T., Vanreppelen, K., Cuypers, A., & Schreurs, S. (2020a). A comparative techno-economic assessment of biochar production from different residue streams using conventional and microwave pyrolysis. *Bioresource Technology*, 318, 124083. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124083>
30. Haeldermans, T., Campion, L., Kuppens, T., Vanreppelen, K., Cuypers, A., & Schreurs, S. (2020b). A comparative techno-economic assessment of biochar production from different residue streams using conventional and microwave pyrolysis. *Bioresource Technology*, 318, 124083. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124083>
31. He, H., Lou, X., & Liu, J. (2024). Nitrogen Reduction and Organic Fertiliser Application Benefits Growth, Yield, and Economic Return of Cotton. *Agriculture*, 14(7), 1073. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071073>
32. Honegger, M., Burns, W., & Morrow, D. R. (2021). Is carbon dioxide removal ‘mitigation of climate change’? *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 30(3), 327–335. <https://doi.org/10.1111/reel.12401>
33. Hyrynen, M., Ollikainen, M., & Seppälä, J. (2023). European forest sinks and climate targets: Past trends, main drivers, and future forecasts. *European Journal of Forest Research*, 142(5), 1207–1224. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01587-4>
34. Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., van Groenigen, J. W., Hungate, B. A., & Verheijen, F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa67bd>
35. Kalogiannidis, S., Karafolas, S., & Chatzitheodoridis, F. (2024). The Key Role of Cooperatives in Sustainable Agriculture and Agrifood Security: Evidence from Greece. *Sustainability*, 16(16), 7202. <https://doi.org/10.3390/su16167202>
36. Kareska, K. (2025). *Economic and Social Benefits of Cooperative Farming: A Case Study Approach* (SSRN Scholarly Paper No. 5127929). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5127929>
37. Keenor, S. G., Lee, R., & Reid, B. J. (2025). Physical protection of soil carbon stocks under regenerative agriculture. *SOIL*, 11(2), 957–973. <https://doi.org/10.5194/soil-11-957-2025>
38. L, J. (2025, December 3). Biochar Carbon Credits in 2025: Stable Prices Amid Weakening Demand. *Carbon Credits*. <https://carboncredits.com/biochar-carbon-credits-in-2025-stable-prices-amid-weakening-demand/>
39. Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
40. Lal, R., Monger, C., Nave, L., & Smith, P. (2021). The role of soil in regulation of climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1834), 20210084. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0084>
41. LAMMC. (2022). „Dirvožemio organinės anglies (humuso) tyrimai žemės ūkio naudmenose“ | LAMMC. „Dirvožemio organinės anglies (humuso) tyrimai žemės ūkio naudmenose“ | LAMMC. <https://www.lammc.lt/lt/dirvozemio-organines-anglies-humuso-tyrimai-zemes-ukio-naudmenose/3923>

42. Lietuva—Žemės ūkis ir kaimo plėtra—Europos Komisija. (2025, November 20). https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans/lithuania_lt
43. Lokuge, N., & Anders, S. (2022). Carbon-Credit Systems in Agriculture: A Review of Literature. *SPP Technical Papers*, 15(12). <https://ideas.repec.org/a/clh/techni/v15y2022i12.html>
44. Lötjönen, S., Kulovesi, K., Lång, K., & Ollikainen, M. (2024). Offset ratios and temporary contract designs for climate integrity in carbon farming. *Carbon Management*, 15(1), 2329593. <https://doi.org/10.1080/17583004.2024.2329593>
45. M. Tahat, M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., & I. Leskovar, D. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>
46. McKinsey. (2023). *Scaling carbon removals and voluntary carbon markets*. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/themes/scaling-carbon-removals-and-voluntary-carbon-markets>
47. *New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR*. (2025). <https://www.cdr.fyi/blog/cdr-pricing-survey-jan-2025>
48. Oberč, B. P., De Jong, R., Demozzi, T., & Battioni, B. (2022). *Towards a circular economy that begins and ends in nature* (A. Arroyo Schnell, Ed.; 1st edn). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.13.en>
49. OECD. (2021). Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2021: Addressing the Challenges Facing Food Systems. *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation*, 2021. <https://doi.org/10.1787/2d810e01-en>
50. Oficialios Statistikos Portalas. (2025). *Rodiklių duomenų bazė—Oficialiosios statistikos portalas*. <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S9R011#/>
51. O’Laughlin, J., & McElligott, K. (2009). Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Johannes Lehmann, Stephen M. Joseph (Eds.), Earthscan, London UK (2009), 448 p. *Forest Policy and Economics*, 11(7), 535–536. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.07.001>
52. Omer, E., Szlatenyi, D., Csenki, S., Alrwashdeh, J., Czako, I., & Láng, V. (2024). Farming Practice Variability and Its Implications for Soil Health in Agriculture: A Review. *Agriculture*, 14(12), 2114. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122114>
53. Pan, J., Li, Y., & Khoshnevisan, B. (2023). Editorial: Resource utilization of agricultural waste through bioprocess engineering for environmental sustainability. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1147748>
54. Papadopoulos, G., Arduini, S., Uyar, H., Psiroukis, V., Kasimati, A., & Fountas, S. (2024). Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100441. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100441>
55. Prairie, A. M., King, A. E., & Cotrufo, M. F. (2023). Restoring particulate and mineral-associated organic carbon through regenerative agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(21), e2217481120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2217481120>
56. *Quantum Commodity Intelligence | News, Prices, Analysis & Data*. (2025, November 22). <https://www.qcintel.com/>
57. Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2024). *Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time* (No. arXiv:2403.05599). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.05599>
58. *Rodiklių duomenų bazė—Oficialiosios statistikos portalas*. (n.d.). Retrieved 10 December 2025, from <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S9R262#/>

59. Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., Fricko, O., Gusti, M., Harris, N., Hasegawa, T., Hausfather, Z., Havlík, P., House, J., Nabuurs, G.-J., Popp, A., Sánchez, M. J. S., Sanderman, J., Smith, P., Stehfest, E., & Lawrence, D. (2019). Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change*, 9(11), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>
60. Schenuit, F., & Geden, O. (2023). Carbon dioxide removal: Climbing up the EU climate policy agenda. In T. Rayner, K. Szulecki, A. J. Jordan, & S. Oberthür (Eds), *Handbook on European Union Climate Change Policy and Politics* (pp. 322–336). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781789906981.00037>
61. Schlacke, S., Wentzien, H., Thierjung, E.-M., & Köster, M. (2022). Implementing the EU Climate Law via the ‘Fit for 55’ package. *Oxford Open Energy*, 1, oiab002. <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiab002>
62. Schneider, L., & La Hoz Theuer, S. (2019). Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy*, 19(3), 386–400. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1521332>
63. Shen, J., Huang, G., Yao, Y., Zhang, P., & Yin, J. (2024). Challenges and opportunities for the production, utilization and effects of biochar in cold-region agriculture. *Science of The Total Environment*, 906, 167623. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167623>
64. Sherrard, A. (2024a, March 27). *Global Biochar Market Report confirms robust industry growth and CDR opportunities ahead*. Bioenergy International. <https://bioenergyinternational.com/global-biochar-market-report-confirms-robust-industry-growth-and-cdr-opportunities-ahead/>
65. Sherrard, A. (2024b, March 27). *Global Biochar Market Report confirms robust industry growth and CDR opportunities ahead*. Bioenergy International. <https://bioenergyinternational.com/global-biochar-market-report-confirms-robust-industry-growth-and-cdr-opportunities-ahead/>
66. Singh, S., Ravi Kiran, B., & Venkata Mohan, S. (2024). Carbon farming: A circular framework to augment CO₂ sinks and to combat climate change. *Environmental Science: Advances*, 3(4), 522–542. <https://doi.org/10.1039/D3VA00296A>
67. Smith, P. (2016). Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology*, 22(3), 1315–1324. <https://doi.org/10.1111/gcb.13178>
68. *Soil moisture deficit*. (2021, November 18). <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/soil-moisture-deficit>
69. Team, T. G. C. (2024, December 22). *The Rise of Regenerative Agriculture and Its Economic Impact—ESOFT Lifelong Learning*. <https://esoftskills.ie/the-rise-of-regenerative-agriculture-and-its-economic-impact/>
70. Terlouw, T., Bauer, C., Rosa, L., & Mazzotti, M. (2021). Life cycle assessment of carbon dioxide removal technologies: A critical review. *Energy & Environmental Science*, 14(4), 1701–1721. <https://doi.org/10.1039/D0EE03757E>
71. Thengane, S. K., Kung, K., Hunt, J., Gilani, H. R., Lim, C. J., Sokhansanj, S., & Sanchez, D. L. (2021). Market prospects for biochar production and application in California. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(6), 1802–1819. <https://doi.org/10.1002/bbb.2280>

72. Tisserant, A., Hu, X., Liu, Q., Xie, Z., Zhao, W., & Cherubini, F. (2023). Biochar and Its Potential to Deliver Negative Emissions and Better Soil Quality in Europe. *Earth's Future*, 11(10), e2022EF003246. <https://doi.org/10.1029/2022EF003246>
73. Toplicean, I.-M., & Datcu, A.-D. (2024). An Overview on Bioeconomy in Agricultural Sector, Biomass Production, Recycling Methods, and Circular Economy Considerations. *Agriculture*, 14(7), 1143. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071143>
74. VĮ Žemės ūkio centras. (2024). Lietuvos žemės ūkis: Faktai ir skaičiai. *VĮ Žemės ūkio duomenų centras*. https://zudc.lt/leidiniu_tipai/lietuvos-zemes-ukis-faktai-ir-skaiciai/
75. Vitunskienė, V., & Aleksandravičienė, A. (2023). *STRATEGINIS BIOEKONOMIKOS KONCEPCIJOS DOKUMENTAS: LIETUVA*.
76. Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1(1), 56. <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>
77. Woolf, D., Lehmann, J., Ogle, S., Kishimoto-Mo, A. W., McConkey, B., & Baldock, J. (2021a). Greenhouse Gas Inventory Model for Biochar Additions to Soil. *Environmental Science & Technology*, 55(21), 14795–14805. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02425>
78. Woolf, D., Lehmann, J., Ogle, S., Kishimoto-Mo, A. W., McConkey, B., & Baldock, J. (2021b). Greenhouse Gas Inventory Model for Biochar Additions to Soil. *Environmental Science & Technology*, 55(21), 14795–14805. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02425>
79. Zetterberg, L., Johnsson, F., & Möllersten, K. (2021). Incentivizing BECCS—A Swedish Case Study. *Frontiers in Climate*, 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.685227>
80. Zheng, B., & Marschner, P. (2017). Residue addition frequency influences respiration, microbial biomass and nutrient availability in soil amended with high and low C/N residue. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, ahead, 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000001>
81. Zilberman, D., Laird, D., Rainey, C., Song, J., & Kahn, G. (2023). Biochar supply-chain and challenges to commercialization. *GCB Bioenergy*, 15(1), 7–23. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12952>

Priedai

1 priedas. Analizuojamo ūkio ir Lietuvos makroekonominių rodiklių normalumo testai (SPSS duomenys)

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BVP, vienam gyventojui, EUR	.192	10	.200*	.926	10	.406
BVP, su sezoniškumu ir d. įtaka, mln. EUR	.203	10	.200*	.909	10	.272
BVP, be sezoniškumo ir d. įtakos, mln., EUR	.203	10	.200*	.909	10	.272
Azoto kiekis Lietuvoje, tonos	.278	10	.028	.749	10	.003
Fosforo kiekis Lietuvoje, tonos	.279	10	.027	.712	10	.001
Kalio kiekis Lietuvoje, tonos	.292	10	.015	.712	10	.001
Azoto kainų indeksas (2020-100)	.290	10	.017	.816	10	.023
Fosforo kainų indeksas (2020 -100)	.317	10	.005	.786	10	.010
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	.291	10	.016	.819	10	.025
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	.194	10	.200*	.881	10	.133
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	.192	10	.200*	.894	10	.189
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	.190	10	.200*	.927	10	.417
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	.184	10	.200*	.928	10	.427
X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	.177	10	.200*	.862	10	.081
X ūkio gautos dotacijos, susijusios su pajamomis, EUR.	.387	10	<.001	.564	10	<.001
X ūkio pardavimo savikaina, EUR.	.230	10	.143	.815	10	.022
X ūkio bendras pelnas (nuostoliai), EUR.	.179	10	.200*	.919	10	.352
X ūkio sunaudoto Azoto kiekis, tonomis	.477	10	<.001	.539	10	<.001
X ūkio sunaudoto Fosforo kiekis, tonomis	.472	10	<.001	.532	10	<.001
X ūkio sunaudoto Kalio kiekis, tonomis	.472	10	<.001	.532	10	<.001
X ūkio sunaudoto Azoto kiekis, EUR.	.270	10	.037	.779	10	.008
X ūkio sunaudoto Fosforo kiekis, EUR.	.282	10	.023	.792	10	.011
X ūkio sunaudoto Kalio kiekis, EUR.	.205	10	.200*	.822	10	.027
X ūkio bendros trąšų sąnaudos, EUR.	.267	10	.042	.786	10	.010

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio pardavimo pajamų ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)

Correlations											
		X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	Azoto kiekis Lietuvoje, tonos	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Kalio kainų indeksas (2020-100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Augalininkystės s produkcija, mln. EUR.	Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.
X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	Pearson Correlation	1	.552	.166	.850**	.409	.820**	.795**	.815**	.559	.547
	Sig. (2-tailed)		.098	.646	.002	.241	.004	.006	.004	.093	.102
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, su sezoniškumu ir d. d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	.552	1	.077	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	.098		.833	.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Azoto kiekis Lietuvoje, tonos	Pearson Correlation	.166	.077	1	.025	.124	-.005	-.062	-.068	.158	.146
	Sig. (2-tailed)	.646	.833		.946	.733	.989	.864	.853	.664	.687
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	.850**	.796**	.025	1	.764*	.989**	.970**	.978**	.792**	.773**
	Sig. (2-tailed)	.002	.006	.946		.010	<.001	<.001	<.001	.006	.009
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Pearson Correlation	.409	.861**	.124	.764*	1	.788**	.759*	.757*	.911**	.890**
	Sig. (2-tailed)	.241	.001	.733	.010		.007	.011	.011	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kalio kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	.820**	.840**	-.005	.989**	.788**	1	.976**	.976**	.828**	.815**
	Sig. (2-tailed)	.004	.002	.989	<.001	.007		<.001	<.001	.003	.004
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	.795**	.849**	-.062	.970**	.759*	.976**	1	.993**	.831**	.822**
	Sig. (2-tailed)	.006	.002	.864	<.001	.011	<.001		<.001	.003	.003
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	.815**	.805**	-.068	.978**	.757*	.976**	.993**	1	.805**	.791**
	Sig. (2-tailed)	.004	.005	.853	<.001	.011	<.001	<.001		.005	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	.559	.978**	.158	.792**	.911**	.828**	.831**	.805**	1	.998**
	Sig. (2-tailed)	.093	<.001	.664	.006	<.001	.003	.003	.005		<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	.547	.983**	.146	.773**	.890**	.815**	.822**	.791**	.998**	1
	Sig. (2-tailed)	.102	<.001	.687	.009	<.001	.004	.003	.006	<.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

3 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp ūkio bendrų trąšų sąnaudų ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)

Correlations											
		X ūkio bendros trąšų sąnaudos, EUR.	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Kalio kainų indeksas (2020-100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Azotas_LT_Ln
X ūkio bendros trąšų sąnaudos, EUR.	Pearson Correlation	1	.650*	.949**	.534	.922**	.914**	.926**	.632*	.617	-.521
	Sig. (2-tailed)		.042	<.001	.112	<.001	<.001	<.001	.050	.057	.150
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
BVP, su sezoniškumu ir d. d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	.650*	1	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**	-.758*
	Sig. (2-tailed)	.042		.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001	.018
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	.949**	.796**	1	.764*	.989**	.970**	.978**	.792**	.773**	-.596
	Sig. (2-tailed)	<.001	.006		.010	<.001	<.001	<.001	.006	.009	.090
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Pearson Correlation	.534	.861**	.764*	1	.788**	.759*	.757*	.911**	.890**	-.450
	Sig. (2-tailed)	.112	.001	.010		.007	.011	.011	<.001	<.001	.225
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Kalio kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	.922**	.840**	.989**	.788**	1	.976**	.976**	.828**	.815**	-.673*
	Sig. (2-tailed)	<.001	.002	<.001	.007		<.001	<.001	.003	.004	.047
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	.914**	.849**	.970**	.759*	.976**	1	.993**	.831**	.822**	-.693*
	Sig. (2-tailed)	<.001	.002	<.001	.011	<.001		<.001	.003	.003	.039
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	.926**	.805**	.978**	.757*	.976**	.993**	1	.805**	.791**	-.623
	Sig. (2-tailed)	<.001	.005	<.001	.011	<.001	<.001		.005	.006	.073
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	.632*	.978**	.792**	.911**	.828**	.831**	.805**	1	.998**	-.610
	Sig. (2-tailed)	.050	<.001	.006	<.001	.003	.003	.005		<.001	.081
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	.617	.983**	.773**	.890**	.815**	.822**	.791**	.998**	1	-.642
	Sig. (2-tailed)	.057	<.001	.009	<.001	.004	.003	.006	<.001		.062
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Azotas_LT_Ln	Pearson Correlation	-.521	-.758*	-.596	-.450	-.673*	-.693*	-.623	-.610	-.642	1
	Sig. (2-tailed)	.150	.018	.090	.225	.047	.039	.073	.081	.062	
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp Ūkio bendro pelno (nuostoliai) ir makroekonominių bei ūkio rodiklių (SPSS duomenys)

		Correlations					
		X ūkio bendras pelnas (nuostoliai), EUR.	X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	X ūkio bendros sąnaudos, EUR.	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR
X ūkio bendras pelnas (nuostoliai), EUR.	Pearson Correlation	1	.689*	.504	.345	.317	.026
	Sig. (2-tailed)		.028	.138	.329	.372	.942
	N	10	10	10	10	10	10
X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	Pearson Correlation	.689*	1	.946**	.850**	.815**	.552
	Sig. (2-tailed)	.028		<.001	.002	.004	.098
	N	10	10	10	10	10	10
X ūkio bendros sąnaudos, EUR.	Pearson Correlation	.504	.946**	1	.949**	.926**	.650*
	Sig. (2-tailed)	.138	<.001		<.001	<.001	.042
	N	10	10	10	10	10	10
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	.345	.850**	.949**	1	.978**	.796**
	Sig. (2-tailed)	.329	.002	<.001		<.001	.006
	N	10	10	10	10	10	10
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	.317	.815**	.926**	.978**	1	.805**
	Sig. (2-tailed)	.372	.004	<.001	<.001		.005
	N	10	10	10	10	10	10
BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	.026	.552	.650*	.796**	.805**	1
	Sig. (2-tailed)	.942	.098	.042	.006	.005	
	N	10	10	10	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

5 priedas. Bioanglies rodiklių normalumo testai (SPSS duomenys)

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BVP, vienam gyventojui, EUR	.192	10	.200 [*]	.926	10	.406
BVP, su sezoniškumu ir d. d. įtaka, mln. EUR	.203	10	.200 [*]	.909	10	.272
BVP, be sezoniškumo ir d. d. įtakos, mln., EUR	.203	10	.200 [*]	.909	10	.272
Azoto kiekis Lietuvoje, tonos	.278	10	.028	.749	10	.003
Fosforo kiekis Lietuvoje, tonos	.279	10	.027	.712	10	.001
Kalio kiekis Lietuvoje, tonos	.292	10	.015	.712	10	.001
Azoto kainų indeksas (2020-100)	.290	10	.017	.816	10	.023
Fosforo kainų indeksas (2020 -100)	.317	10	.005	.786	10	.010
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	.291	10	.016	.819	10	.025
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	.194	10	.200 [*]	.881	10	.133
Augalininkystės produkcija, mln. EUR.	.192	10	.200 [*]	.894	10	.189
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	.190	10	.200 [*]	.927	10	.417
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	.184	10	.200 [*]	.928	10	.427
Vidutinė Bioanglies kaina, EUR/t.	.344	10	.001	.733	10	.002
Vidutinė Bioanglies kreditų kaina EUR.	.121	10	.200 [*]	.969	10	.877
Bioanglies Kreditų vertė ūkyje	.121	10	.200 [*]	.969	10	.877
Bioanglies taikymo kaštai, EUR/T.	.096	10	.200 [*]	.970	10	.892

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

6 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp vidutinės bioanglies kreditų kainos ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)

Correlations												
		Vidutinė Bioanglies kreditų kaina EUR.	BVP, vienam gyventojui, EUR	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	BVP, be sezoniškumo ir d.d. įtakos, mln. EUR	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Fosforo kainų indeksas (2020-100)	Kalio kainų indeksas (2020-100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Auginaminykystės produkcija, mln. EUR.	Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.
Vidutinė Bioanglies kreditų kaina EUR.	Pearson Correlation	1	-.953**	-.945**	-.946**	-.677*	-.703*	-.714*	-.749*	-.689*	-.919**	-.933**
	Sig. (2-tailed)		<.001	<.001	<.001	.032	.023	.020	.013	.027	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, vienam gyventojui, EUR	Pearson Correlation	-.953**	1	.998**	.998**	.803**	.860**	.843**	.853**	.809**	.978**	.982**
	Sig. (2-tailed)	<.001		<.001	<.001	.005	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	-.945**	.998**	1	1.000**	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, be sezoniškumo ir d.d. įtakos, mln. EUR	Pearson Correlation	-.946**	.998**	1.000**	1	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001		.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.677*	.803**	.796**	.796**	1	.764*	.989**	.970**	.978**	.792**	.773**
	Sig. (2-tailed)	.032	.005	.006	.006		.010	<.001	<.001	<.001	.006	.009
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Fosforo kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.703*	.860**	.861**	.861**	.764*	1	.788**	.759*	.757*	.911**	.890**
	Sig. (2-tailed)	.023	.001	.001	.001	.010		.007	.011	.011	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kalio kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.714*	.843**	.840**	.840**	.989**	.788**	1	.976**	.976**	.828**	.815**
	Sig. (2-tailed)	.020	.002	.002	.002	<.001	.007		<.001	<.001	.003	.004
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.749*	.853**	.849**	.849**	.970**	.759*	.976**	1	.993**	.831**	.822**
	Sig. (2-tailed)	.013	.002	.002	.002	<.001	.011	<.001		<.001	.003	.003
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Auginaminykystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.689*	.809**	.805**	.805**	.978**	.757*	.976**	.993**	1	.805**	.791**
	Sig. (2-tailed)	.027	.005	.005	.005	<.001	.011	<.001	<.001		.005	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.919**	.978**	.978**	.978**	.792**	.911**	.828**	.831**	.805**	1	.998**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.006	<.001	.003	.003	.005		<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.933**	.982**	.983**	.983**	.773**	.890**	.815**	.822**	.791**	.998**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.009	<.001	.004	.003	.006	<.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

7 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp bioanglies kreditų vertės ūkyje iš 1 tonos bioanglies ir makroekonominių rodiklių (SPSS duomenys)

Correlations												
		Bioanglies Kreditų vertė ūkyje	BVP, vienam gyventojui, EUR	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	BVP, be sezoniškumo ir d.d. įtaka, mln. EUR	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Fosforo kainų infeksas (2020-100)	Kalio kainų indeksas (2020-100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Augininkystės s produkcija, mln. EUR.	Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.
Bioanglies Kreditų vertė ūkyje	Pearson Correlation	1	-.953**	-.945**	-.946**	-.677*	-.703*	-.714*	-.749*	-.689*	-.919**	-.933**
	Sig. (2-tailed)		<.001	<.001	<.001	.032	.023	.020	.013	.027	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, vienam gyventojui, EUR	Pearson Correlation	-.953**	1	.998**	.998**	.803**	.860**	.843**	.853**	.809**	.978**	.982**
	Sig. (2-tailed)	<.001		<.001	<.001	.005	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	-.945**	.998**	1	1.000**	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, be sezoniškumo ir d.d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	-.946**	.998**	1.000**	1	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001		.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.677*	.803**	.796**	.796**	1	.764*	.989**	.970**	.978**	.792**	.773**
	Sig. (2-tailed)	.032	.005	.006	.006		.010	<.001	<.001	<.001	.006	.009
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Fosforo kainų infeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.703*	.860**	.861**	.861**	.764*	1	.788**	.759*	.757*	.911**	.890**
	Sig. (2-tailed)	.023	.001	.001	.001	.010		.007	.011	.011	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kalio kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.714*	.843**	.840**	.840**	.989**	.788**	1	.976**	.976**	.828**	.815**
	Sig. (2-tailed)	.020	.002	.002	.002	<.001	.007		<.001	<.001	.003	.004
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.749*	.853**	.849**	.849**	.970**	.759*	.976**	1	.993**	.831**	.822**
	Sig. (2-tailed)	.013	.002	.002	.002	<.001	.011	<.001		<.001	.003	.003
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Augininkystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.689*	.809**	.805**	.805**	.978**	.757*	.976**	.993**	1	.805**	.791**
	Sig. (2-tailed)	.027	.005	.005	.005	<.001	.011	<.001	<.001		.005	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.919**	.978**	.978**	.978**	.792**	.911**	.828**	.831**	.805**	1	.998**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.006	<.001	.003	.003	.005		<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras ŽŪ sek. Vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.933**	.982**	.983**	.983**	.773**	.890**	.815**	.822**	.791**	.998**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.009	<.001	.004	.003	.006	<.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

8 priedas. Koreliacijos koeficientas tarp Bioanglies taikymo kaštų vienai tonai ir makroekonominį rodiklių (SPSS duomenys)

Correlations												
		Bioanglies taikymo kaštai, EUR/t.	BVP, vienam gyventojui, EUR	BVP, su sezoniškumu ir d.d. įtaka, mln. EUR	BVP, be sezoniškumo ir d.d. įtakos, mln. EUR	Azoto kainų indeksas (2020-100)	Fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Kalio kainų indeksas (2020-100)	Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Augininkystės produkcija, mln. EUR.	Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Bendras ŽŪ sek. vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.
Bioanglies taikymo kaštai, EUR/t.	Pearson Correlation	1	-.977**	-.970**	-.970**	-.793**	-.894**	-.821**	-.816**	-.784**	-.987**	-.983**
	Sig. (2-tailed)		<.001	<.001	<.001	.006	<.001	.004	.004	.007	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, vienam gyventojui, EUR	Pearson Correlation	-.977**	1	.998**	.998**	.803**	.860**	.843**	.853**	.809**	.978**	.982**
	Sig. (2-tailed)	<.001		<.001	<.001	.005	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, su sezoniškumu ir d. d. įtaka, mln. EUR	Pearson Correlation	-.970**	.998**	1	1.000**	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001		<.001	.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
BVP, be sezoniškumo ir d. d. įtakos, mln., EUR	Pearson Correlation	-.970**	.998**	1.000**	1	.796**	.861**	.840**	.849**	.805**	.978**	.983**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001		.006	.001	.002	.002	.005	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Azoto kainų indeksas (2020-100)	Pearson Correlation	-.793**	.803**	.796**	.796**	1	.764**	.989**	.970**	.978**	.792**	.773**
	Sig. (2-tailed)	.006	.005	.006	.006		.010	<.001	<.001	<.001	.006	.009
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
fosforo kainų infeksas (2020 -100)	Pearson Correlation	-.894**	.860**	.861**	.861**	.764**	1	.788**	.759**	.757**	.911**	.890**
	Sig. (2-tailed)	<.001	.001	.001	.001	.010		.007	.011	.011	<.001	<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kalio kainų indeksas (2020 -100)	Pearson Correlation	-.821**	.843**	.840**	.840**	.989**	.788**	1	.976**	.976**	.828**	.815**
	Sig. (2-tailed)	.004	.002	.002	.002	<.001	.007		<.001	<.001	.003	.004
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendroji žemės ūkio produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.816**	.853**	.849**	.849**	.970**	.759**	.976**	1	.993**	.831**	.822**
	Sig. (2-tailed)	.004	.002	.002	.002	<.001	.011	<.001		<.001	.003	.003
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Augininkystės produkcija, mln. EUR.	Pearson Correlation	-.784**	.809**	.805**	.805**	.978**	.757**	.976**	.993**	1	.805**	.791**
	Sig. (2-tailed)	.007	.005	.005	.005	<.001	.011	<.001	<.001		.005	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras Vidutinis darbo užmok. kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.987**	.978**	.978**	.978**	.792**	.911**	.828**	.831**	.805**	1	.998**
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.006	<.001	.003	.003	.005		<.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Bendras ŽŪ sek. vid. darbo užmokestis kas mėn., EUR.	Pearson Correlation	-.983**	.982**	.983**	.983**	.773**	.890**	.815**	.822**	.791**	.998**	1
	Sig. (2-tailed)	<.001	<.001	<.001	<.001	.009	<.001	.004	.003	.006	<.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).												
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).												

9 priedas. Analizuojamo ūkio ir bioanglies duomenys

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
X ūkio pardavimo pajamos, EUR.	324762.00	331657.00	362988.00	340591.00	402396.00	386284.00	433835.00	562385.00	491481.00	336984.00
X ūkio gautos dotacijos, susijusios su pajamomis, EUR.	43795.00	41791.00	43654.00	43274.00	44623.00	45864.00	47412.00	48435.00	46445.00	75785.00
X ūkio pardavimo savikaina, EUR.	-327663.00	-325673.00	-340669.00	-335241.00	-362756.00	-365721.00	-395684.00	-525000.00	-479570.00	-380288.00
X ūkio pardavimo savikaina, EUR.	-327663.00	-325673.00	-340669.00	-335241.00	-362756.00	-365721.00	-395684.00	-525000.00	-479570.00	-380288.00
X ūkio bendras pelnas (nuostoliai), EUR.	40894.00	47775.00	65973.00	48624.00	84263.00	66427.00	85563.00	85820.00	58356.00	32481.00
X ūkio sunaudoto Azoto kiekis, tonomis	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	81.00	83.60	88.00
X ūkio sunaudoto Fosforo kiekis, tonomis	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	27.00	28.50	30.00
X ūkio sunaudoto Kalio kiekis, tonomis	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	28.80	30.40	32.00
X ūkio sunaudoto Azoto kiekis, EUR.	83424.00	78210.00	83424.00	88638.00	93852.00	99066.00	125136.00	210573.00	148600.00	104280.00
X ūkio sunaudoto Fosforo kiekis, EUR.	30498.00	28704.00	30498.00	32292.00	34086.00	35880.00	41262.00	64584.00	47712.00	35880.00
X ūkio sunaudoto Kalio kiekis, EUR.	15360.00	14976.00	15360.00	16320.00	17280.00	18240.00	21120.00	31104.00	23712.00	19200.00
X ūkio bendros trąšų sąnaudos, EUR.	129282.00	121890.00	129282.00	137250.00	145218.00	153186.00	187518.00	306261.00	220024.00	159360.00
Vidutinė Bioanglies kaina, EUR/t.	600	600	570	570	570	540	540	435	230	160
Vidutinė Bioanglies kreditų kaina EUR.	300	280	250	230	200	250	210	180	150	140
Bioanglies Kreditų vertė ūkyje	900	840	750	690	600	750	630	540	450	420
Bioanglies taikymo kaštai, EUR/T.	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200