

# Aplinkos požiūriu tvaraus žemės ūkio augimo ES šalyse vertinimas remiantis Solow liekana pagrįstu daugiaveiksniu našumu

## Vlada Vitunskienė

Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Taikomosios ekonomikos, finansų ir apskaitos katedra, profesorė, socialinių mokslų daktarė  
Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Department of Applied Economics, Finance and Accounting, professor, Doctor of Social Sciences  
El. p.: vlada.vitunskiene@vdu.lt

## Lina Lauraitienė

Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Taikomosios ekonomikos, finansų ir apskaitos katedra, doktorantė  
Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Department of Applied Economics, Finance and Accounting, doctoral student  
El. p.: lina.lauraitiene@vdu.lt

**Santrauka.** Šiuo tyrimu siekiama dvejopo tikslo: 1) parengti aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimo metodiką, paremtą Solow liekana pagrįstu daugiaveiksniu našumo modeliu ir viešose duomenų bazėse kaupiama informacija; 2) empiriškai ištirti aplinkos atžvilgiu tvarų augimą ES šalių žemės ūkyje ilguoju laikotarpiu. Aplinkos atžvilgiu tvariam augimui žemės ūkyje vertinti taikytas su aplinka susietas daugiaveiksniu našumo matavimas, aplinkos taršą dėl žemės ūkio gamybos išreiškus grynuoju ŠESD išmetimu, o gamtinį kapitalą – su kokybe susieto naudojamo žemės ūkio naudmenų ploto ekvivalentu. Tyrimas atliktas mokslinės literatūros apžvalgos, dekompozicinės ir klasterinės analizių būdu. Į empirinę analizę įtrauktos 28 ES šalys (įskaitant Jungtinę Karalystę, kuri ES nare buvo iki 2020 m. sausio 1 d.). Tyrimas apima 2005–2019 m., o tyrimo laikotarpio pradžios ir pabaigos rezultatų palyginimui naudoti vidutinių metų pokyčių per penkerius metus rodikliai (atitinkamai 2005–2009 m. ir 2015–2019 m.), kaip įprasta daugumoje žemės ūkio augimo tyrimų. Nustatyta, kad dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV augimas žemės ūkyje tyrimo laikotarpio pradžioje buvo pasiektas mažiau nei penktadalio ES šalių, o tyrimo laikotarpio pabaigoje – daugelio ES šalių žemės ūkyje. Daugumoje ES šalių aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje labiausiai lėmė technologinė pažanga, o lėtas aplinkos taršos (grynojo ŠESD išmetimo) pokytis neturėjo didelės reikšmės žemės ūkio augimui visose ES šalyse.

**Pagrindiniai žodžiai:** aplinkos atžvilgiu tvarus augimas, Solow liekana, daugiaveiksnis našumas, žemės ūkis

Received: 05/10/2022. Accepted: 14/11/2022

Copyright © Vlada Vitunskienė, Lina Lauraitienė, 2022. Published by Vilnius University Press.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

## Measuring environmentally sustainable growth in agriculture across the EU countries based on Solow residual-based MFP

**Summary.** Scientific publications on environmentally sustainable or green growth in agriculture are increasingly becoming more important but empirical research is scarce. In empirical studies, the most commonly accepted way to assess environmentally sustainable or green growth in agriculture is based on measures of total factor productivity (TFP) or multifactor productivity (MFP) growth. Both measures are important for analytical and monitoring tools that can help to better understand the factors affecting output growth as well as the determinants of changes in production factors (labour and produced capital) in agriculture. Growth of TFP or MFP is achieved through the application of technologies and advanced production practices that result in higher output from the same amount, or lower inputs (labour and produced capital).

Conventional TFP and MFP are not suitable for the assessment of environmentally sustainable growth in agriculture because both indicators do not include environmental variables such as environmental pollution and natural capital. There is a lack of comparative empirical studies between EU countries. This study focuses on the problem of measuring environmentally sustainable growth in agriculture. The aim of this study is twofold: firstly, to develop a framework for the assessment of environmentally sustainable growth in agriculture, based on information collected in public databases; and secondly, to empirically analyse environmentally sustainable growth in agriculture in EU countries over the long period. The environmentally adjusted multifactor productivity (EAMFP) growth measure was applied to assess environmentally sustainable growth in agriculture of the EU's countries. For analysis, the environmental pollution of agricultural production was expressed as net GHG emissions, and natural capital was expressed as the quality-adjusted agricultural land area.

The research was conducted using literature overview, decomposition technique and cluster analysis method. The 28 EU countries (including the United Kingdom, which was a member of the EU until January 1, 2020) were included in the empirical analysis. The analysis covered the period between 2005 and 2019 and a five-year average annual change rates (2005-2009 and 2015-2019 respectively) were used to compare the environmentally sustainable growth in agriculture between the beginning and the end of the considered period, as is common in most agricultural growth studies.

The findings show that pollution-adjusted GDP growth in agriculture was achieved in less than a fifth of the EU countries at the beginning of the considered period, and in most of the EU countries at the end of the considered period. In most of the EU countries, the environmentally sustainable growth in agriculture was mainly determined by technological progress, while the slow change in environmental pollution (net GHG emissions) did not have a significant contribution to agricultural growth in all EU countries. Following the hierarchical clustering method, three significantly different clusters of the EU countries were identified in terms of gross added value growth and technological progress in agriculture of EU countries in the context of environmentally sustainable growth.

**Keywords:** Environmentally sustainable growth, green growth, Solow residual, multifactor productivity, agriculture.

---

## Įvadas

*Tyrimo aktualumas ir problematika.* Dabartinis ekonomikos vystymasis (taip pat ir žemės ūkio) remiasi vis didėjančiu gamtinių išteklių naudojimu ir energijos sąnaudomis. Netvarus gamtinių išteklių naudojimas sukelia klimato kaitos pokyčius, ekosistemų būklės blogėjimą ir kitokią neigiamą poveikį gamtinei aplinkai. Dėl to auga mokslininkų, politikų ir visuomenės susidomėjimas ekonominio augimo sąsajų su probleminiais klimato, aplinkos taršos ir gamtinių išteklių naudojimo klausimais. Pripažįstama, kad pagrindiniu XXI a. Europos žemės ūkio iššūkiu išlieka pasaulinės maisto paklausos augimas (European Commission, 2018). Apsirūpinimo maistu iššūkį didina nuolat didėjantis gyventojų skaičius pasaulyje, nepaisant to, kad žemės ūkio gamyba nuo XX a. vidurio padidėjo tris kartus. Žemės ūkio gamyba turi būti užtikrinama išsaugant gamtos išteklius, biologinę

įvairovę ir aplinką, ypatingą dėmesį skiriant saugiam agrocheminių medžiagų naudojimui (Ang, Dakpo, 2018; Baldoni, Coderoni, Esposti, 2017; Deconinck, 2021; Firbank, 2020; Nathaniel, 2021; Tijjani ir Khairulmazmi, 2021; Weltin ir Hüttel, 2019). Pastaruoju metu suvokiama, kad ekonominė gerovė turi būti palaikoma mažinant aplinkos taršą bei kitokią neigiamą poveikį aplinkai. Todėl daug dėmesio sulaukė aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje idėja, pabrėžianti gamtos išteklių mažėjimo, neefektyvaus jų naudojimo ir ekosistemų būklės blogėjimo problemas (Fitzpatrick, 2020; Yang, Gao ir Li, 2022). Aplinkos atžvilgiu tvarus augimas pripažintas kaip perspektyvus būdas pasiekti tvarią ateitį, t. y. politinėmis priemonėmis skatinti ekonomikos (taip pat ir žemės ūkio) vystymąsi, kuris prisidėtų prie gamtinio kapitalo išsaugojimo ir tinkamo jo naudojimo. Tačiau stokojama tarptautiniu lygiu palyginamų aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje duomenų, vis dar trūksta išmatuojamų ir tarp šalių palyginamų rodiklių, kurie pateiktų gaires politikos formuotojams (Hák, Sidorov ir Hájek, 2014; Fernandes, Veiga, Ferreira ir Hughes, 2021). Todėl pastaruoju metu susidomėjimas aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo vertinimo metodologijos klausimais, ypač žemės ūkyje, itin aktualus.

Nors mokslinėje literatūroje daugėja publikacijų apie aplinkos atžvilgiu tvarų ar žaliąjį augimą žemės ūkyje (Xiao ir Tang, 2018; Guo, Xu ir Pan, 2020; Kasztelan ir Nowak, 2021; Kryszak, Świerczyńska ir Staniszewski, 2021; Chen, Fu ir Wang, 2022 ir kt.), tačiau atliktų empirinių tyrimų mažai. Vienas dažniausiai taikomų aplinkos atžvilgiu tvaraus arba žaliąjo augimo vertinimo būdų žemės ūkio tyrimuose yra pagrįstas bendrojo gamybos veiksmų našumo (BGVN) arba daugiaveiksnių (DGVN) našumo augimo matavimu. Pasak Obst ir Eigenraam (2017), toks matavimo būdas yra svarbi analizės ir stebėjimo priemonė, kuri gali padėti geriau suprasti žemės ūkio gamybos galutinio rezultato ir gamybos veiksmų augimo priežastis. BGVN augimas, pasak Steensland ir Zeigler (2021), pasiekiamas taikant technologijas ir pažangią gamybos praktiką, kurių pagalba pagaminama daugiau naudojant tą patį arba mažesnę gamybos veiksmų (darbo ir kapitalo) kiekį. Iki šiol vertinimui naudojami įprastiniai BGVN arba DGVN rodikliai (Kimura, Sauer, 2015; Liu, Zhu, Wang, 2021; Nanere, Fraser, Quazi ir D'Souza, 2007; Xu, Huang, Huang, Gao ir Chen, 2019 ir kt.) nėra tinkami aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimui, nes neįtraukia aplinkos kintamųjų, tokių kaip aplinkos tarša ir gamtiniai gamybos veiksniai. Stokojama tarp šalių palyginamų empirinių tyrimų.

*Tyrimo problema.* Kokių gamtinio kapitalo ir su aplinka susietų gamybos rezultatų kintamųjų integravimas į Solow liekana pagrįsto daugiaveiksnių našumo modelį leistų išmatuoti aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje ir jį palyginti tarp Europos Sąjungos šalių?

*Tyrimo tikslas.* Siekiama dvejetainio tikslo: 1) parengti aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimo metodiką, paremtą Solow liekana pagrįstu daugiaveiksnių našumo modeliu ir viešose duomenų bazėse kaupiama informacija; 2) empiriškai ištirti aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje ES šalyse.

*Tyrimo metodai.* Tyrimas atliekamas mokslinės literatūros apžvalgos, dekompozicinės ir klasterinės analizės būdu.

## Tyrimo teorinis pagrindimas

*Solow augimo modelis (dar žinomas kaip Solow-Swan augimo modelis)* buvo pirmasis neoklasikinis augimo modelis, davęs pagrindą neoklasikinei ekonominio augimo teorijai, nagrinėjančiai gamybos veiksnių įnašą į ekonomikos augimą (Fernandes, Veiga, Ferreira ir Hughes, 2021; Dykas, Tokarski ir Wisła, 2022). Solow augimo modelis praplėtė anksčiau vyravusį Harrod ir Domar augimo modelį, į analizę įtraukdamas technologinę pažangą. Pastaroji didina našumą ir suteikia galimybę keisti gamybos veiksnių (darbo ir pagaminto kapitalo, kitaip – fizinio kapitalo) santykį (Felipe ir McCombie, 2020; Fernandes, Veiga, Ferreira ir Hughes, 2021; Smulders, Toman ir Withagen, 2014). Našumo augimas paprastai matuojamas kaip galutinio gamybos rezultato augimo ir gamybos veiksnių augimo skirtumas. Našumo rodiklis matuoja likutinį gamybos rezultato augimą, kurio negalima paaiškinti gamybos veiksnių (pagaminto kapitalo ir darbo) pokyčiais (Rodríguez, Haščič ir Souchier, 2018a,b). Likutinio gamybos rezultato ( $A$ ) augimo matavimas pagal vadinamąją Solow liekaną (angl. Solow residual) yra pagrįstas Cobb-Douglas gamybos funkcija, kuri sujungia darbo jėgą ( $D$ ) ir pagamintą kapitalą ( $K$ ), kad būtų sukurtas gamybos rezultatas per tam tikrą laiką ( $t$ ). Šiuo požiūriu gamybos rezultatas ( $i$ ) šalyje empiriškai gali būti matuojamas taip (Dykas, Tokarski ir Wisła, 2022):

$$Y_{it} = K_{it}^{\alpha} (A_{it} L_{it})^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1. \quad (1)$$

Iki šių dienų išlieka didelis teorinis ir empirinis susidomėjimas Solow augimo modeliu, nepaisant jo amžiaus (sukurtas 1956 m.). Jis davė pradžią daugiaveiksniui našumo, kuris dar vadinamas Solow liekana, modeliui. Solow liekana apibūdinama kaip našumo augimo matas, kuris dažniau žinomas kaip daugiaveiksniis našumas (DGVN) arba bendrasis gamybos veiksnių našumas (BGVN). Abu jie matuojami kaip liekana, iš gamybos rezultato pokyčio atėmus tiesioginių gamybos veiksnių (pagaminto kapitalo ir darbo) pokytį. Solow liekana parodo gamybos rezultato pokytį, kurio negalima paaiškinti pagaminto kapitalo ir darbo jėgos pokyčiais (Acs, Estrin, Mickiewicz ir Szerb, 2014; Kim ir Loayza, 2019; Oliner ir Sichel, 2000). Kita vertus, pastaraisiais dešimtmečiais akcentuojama, kad ekonomikos augimas negali būti aiškinamas vien tik gamybos veiksniais (pagamintu kapitalu ir darbu) ir technologine pažanga (Solow liekana), svarbu atsižvelgti į ekonominio augimo daromą poveikį aplinkai.

Darnaus vystymosi idėja pagrįsta *aplinkos Kuznetso kreivė* (angl. environmental Kuznets curve), kuri nurodo hipotetinę aplinkos degradacijos ir pajamų ar bendrojo vidaus produkto (BVP) augimo ryšį. Ekonomikos augimas neigiamai veikia aplinką, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje aplinkos problemos gali būti išspręstos didėjant pajamoms (Mishra, 2020; Ho ir Wang, 2014; Özokcu ir Özdemir, 2017; Stern, 2017).

Aplinkos ekonomikoje dėmesys skiriamas išoriniams padariniams ir jų integravimui į ekonomikos vertinimą. Pabrėžiama, kad efektyvus išteklių paskirstymas pasiekiamas visiškos konkurencijos sąlygomis, tačiau išoriniai kaštai dėl oro ir vandens taršos neįtraukiami į taršą sukeliančios produkto gamybos kaštus ar rinkos kainą (Cordato, 2004; Boehnert, 2016).

Pagal *ekologinės ekonomikos* koncepciją ekonominį augimą varžo egzistuojančios biofizinės ribos, prie kurių reikia prisitaikyti visuomenei. Ekonomikos dematerializavi-

mas prisideda prie medžiagų ar energijos suvartojimo vienam produkcijos ar paslaugų vienetui sumažėjimo, tačiau tai ne visada lemia santykinį išteklių naudojimo mažėjimą (Loiseau et al., 2016).

*Žalioji ekonomika* apima gamybą, paskirstymą ir vartojimą, kurie koreliuoja su ekonominio augimo sukeltais neigiamais padariniais. Ji išskiria į aplinką mažai anglies dioksido, skatina aplinkos saugojimą, įtraukų socialinį vystymąsi ir gali būti apibūdinama kaip aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo, kitaip dar vadinamo žaliuoju augimu, ekonomika. Ekonominis augimo susiejimas su išteklių naudojimu, o teršalų išmetimo ribojimas yra viena iš sąlygų, padedančių laikytis planetos ribų (Dogaru, 2021; Hubacek, Chen, Feng, Wiedmann ir Shan, 2021; Cordato, 2004; Boehnert, 2016).

Empiriniai tyrimai (pvz., Kaufman ir Hensel, 2017; Kasztelan ir Nowak, 2021; Tan, Adedoyin, Alvarado, Ramzan, Kayesh ir Shah, 2022 ir kt.) atskleidė, kad ekonominis augimas sukėlė žalingą poveikį aplinkai daugumoje šalių – sumažėjo iškastinio kuro ir kiti gamtos išteklių, o klimato kaita, vandens tarša ir biologinės įvairovės nykimas pasiekė kritinę ribą. Toks augimo ir aplinkos sąryšis itin būdingas žemės ūkiui.

Su aplinka susietas ekonominis augimas žemės ūkyje dažnai vertinamas pagal našumo augimą (Nowak ir Kubik, 2019). Pastarasis matuoja gamybos rezultato augimo dalį, priskiriamą technologinei pažangai (Benavides, 2021). Iki šiol plačiai naudojamas įprastas DGVN rodiklis (Kimura, Sauer, 2015; Liu, Zhu, Wang, 2021; Nanere, Fraser, Quazi ir D'Souza, 2007; Xu, Huang, Huang, Gao ir Chen, 2019) nėra pakankamai praktiškas su aplinka siejamo žemės ūkio augimo vertinimui dėl aplinkos kintamųjų, tokių kaip aplinkos tarša (nepageidaujamas gamybos rezultatas) ir gamtinis kapitalas (gamybos veiksnys), ignoravimo.

*Aplinkos tarša žemės ūkyje* dažniausiai vertinama per šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetamą kiekį (Panchasara, Samrat ir Islam, 2021). Kita vertus, žemės ūkio gamyba prisideda prie tiesioginės (azoto oksido ir metano išmetimų) bei netiesioginės (anglies dioksido išmetimų) taršos. Kaip pastebi Dou (2018), tarp žemės ūkio veiklos ir natūralių ekosistemų esantis ryšys sąlygoja ŠESD išmetamą ir pašalinamą (dar vadinamą anglies dvideginio absorbcija) kiekį.

Darnaus vystymosi teorija pripažįsta *gamtinio kapitalo* indėlį, kuriant žmonių gerovę (Hooper et al., 2018). Gamtinis kapitalas dėl savo specifiškumo ir sudėtingo išmatavimo žemės ūkyje dažniausiai išreiškiamas gamyboje naudojamos žemės plotu, neatsižvelgiant į dirvožemio kokybę. Tačiau empiriniuose tyrimuose pabrėžiama, kad skirtingose šalyse iš to paties ploto per metus galima nuimti vieną arba kelis derlius. Be to, skiriasi ir derliaus kiekis, pavyzdžiui, pievose ir ganyklose gaunamas gerokai mažesnis derlius nei drėkinamuose pasėliuose (Fuglie, 2015; USDA, 2021). Dėl to žemė kaip gamtinis kapitalas turėtų būti vertinama pagal su kokybe susietą žemės plotą.

## **Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimo metodika**

### ***Vertinimo modelis, kintamieji ir duomenų šaltiniai***

Šiame tyrime aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimui pritaikytas autorių kolektyvo (Brandt, Schreyer, Zipperer, 2014; 2017; Rodríguez, Hašči ir Souchier,

2018a,b) sukurtas su aplinka susieto daugiaveiksniio našumo augimo matavimo visos ekonomikos lygmeniu modelis su įtrauktais gamtinio kapitalo ir aplinkos taršos kintamaisiais. Daugiaveiksniio našumo augimas matuojamas kaip gamybos rezultato ir gamybos veiksnių augimo tempų skirtumas. Šiam tikslui naudojama transformacijos funkcija, kurioje atsižvelgiama į darbo jėgą, pagamintą kapitalą ir gamtinį kapitalą kaip gamybos veiksnius, o į bendrąjį vidaus produktą – kaip į pageidaujamą gamybos rezultatą, ir į oro taršą – kaip į nepageidaujamą gamybos rezultatą. Transformacijos funkcijos matematinė išraiška yra tokia (Rodríguez, Haščič ir Souchier (2018a,b)):

$$H(Y, R, D, K, G, t) \geq 1 \quad (2)$$

čia:  $Y$  – pageidaujamas gamybos rezultatas, vertinant visos ekonomikos našumo augimą, yra išreikštas bendruoju vidaus produktu ( $BVP$ ),  $R$  – nepageidaujamas gamybos rezultatas, išreikštas neigiamais ekonominės veiklos išoriniais padariniais, pavyzdžiui, oro tarša,  $D$  – darbo jėga,  $K$  – pagamintas kapitalas,  $G$  – gamtinis kapitalas,  $t$  – laikas.  $H$  didėja, didėjant gamybos veiksnių naudojimui ir nepageidaujamam gamybos rezultatui bei, priešingai, mažėja, mažėjant pageidaujamam gamybos rezultatui.

Minėtas su aplinka susieto daugiaveiksniio našumo augimo visoje ekonomikoje modelis šiame tyrime pritaikytas žemės ūkio šakai. Visi daugiaveiksniio našumo gamybos veiksnių ir gamybos rezultatų matai pakeisti naujais, žemės ūkio gamybai tinkamais kintamaisiais ir jų elastingumais. Remiantis Rodríguez, Haščič ir Souchier (2018a,b) transformacijos funkcija (2) šiame tyrime taršos atžvilgiu pakoreguotas žemės ūkio bendrosios pridėtinės vertės (BPV) augimo modelis užrašomas taip:

$$\underbrace{\frac{\partial \ln BPV_{real}}{\partial t} - \varepsilon_{Y\check{S}ESD_{gr}} \frac{\partial \ln \check{S}ESD_{gr}}{\partial t}}_{\substack{\text{Dėl aplinkos taršos pakoreguotas} \\ \text{žemės ūkio BPV augimas}}} = \underbrace{\varepsilon_{YD} \frac{\partial \ln D}{\partial t} + \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{YG} \frac{\partial \ln G}{\partial t}}_{\substack{\text{Gamybos veiksnių įnašas} \\ \text{į žemės ūkio BPV augimą}}} + \underbrace{\frac{\partial \ln ADGVN}{\partial t}}_{\substack{\text{Solow liekanos įnašas į} \\ \text{žemės ūkio BPV augimą}}} \quad (3)$$

Čia  $\frac{\partial \ln BPV_{real}}{\partial t}$  – realusis žemės ūkyje sukurtos bendrosios pridėtinės vertės (pageidaujamo gamybos rezultato) augimas,  $\frac{\partial \ln \check{S}ESD_{gr}}{\partial t}$  – aplinkos taršos dėl žemės ūkio gamybos, išreikštos grynuoju išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiu (nepageidaujamo gamybos rezultato) pokytis,  $D$  – žemės ūkio darbo jėgos, išreikštos metiniais darbo vietiniais, pokytis,  $\frac{\partial \ln K}{\partial t}$  – pagaminto kapitalo, išreikšto pagaminto kapitalo sanaujomis, pokytis,  $\frac{\partial \ln G}{\partial t}$  – gamtinio kapitalo, išreikšto su kokybe susietu naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto ekvivalentu, pokytis,  $\frac{\partial \ln ADGVN}{\partial t}$  – su aplinka susieto daugiaveiksniio našumo pokytis;  $t$  – laikas,  $\varepsilon_{Y\check{S}ESD_{gr}}$  – aplinkos taršos elastingumas,  $\varepsilon_{YD}$  – darbo jėgos elastingumas,  $\varepsilon_{YK}$  – pagaminto kapitalo elastingumas,  $\varepsilon_{YG}$  – gamtinio kapitalo elastingumas. Visi šie kintamieji aprašyti 1 lentelėje.

Kaip nurodyta 1 lentelėje, į modelį įtraukti dvejopi žemės ūkio gamybos rezultatai – ekonominis (pageidaujamas) ir aplinkos taršos (nepageidaujamas). Ekonominis rezultatas

**1 lentelė.** Su aplinka susieto daugiaveiksniu našumo žemės ūkyje kintamieji

<b>Kintamieji</b>	<b>Simboliai</b>	<b>Aprašymas</b>	<b>Duomenų šaltiniai</b>
<i>Pageidaujamas gamybos rezultatas</i>			
Realusis bendrosios pridėtinės vertės augimas	$BPV_{real}$	Vidutinis metinis žemės ūkio bendrosios pridėtinės vertės (2005 m. kainomis) pokytis.	Žemės ūkio ekonominės sąskaitos Eurostato duomenų bazė
<i>Nepageidaujamas gamybos rezultatas</i>			
Grynojo išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio pokytis	$\dot{S}ESD_{gr}$	Vidutinis metinis grynojo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio (išmestas $\dot{S}ESD$ kiekis $CO_2$ ekvivalentu minus sugertas $CO_2$ kiekis) pokytis žemės ūkyje.	Aplinkos statistika Eurostato duomenų bazė
<i>Gamybos veiksniai</i>			
Darbo jėgos pokytis	D	Vidutinis metinis žemės ūkio darbo jėgos (samdomų darbuotojų ir savarankiškai dirbančiųjų asmenų), išreikštos metiniais darbo vienetais, pokytis.	Žemės ūkio ekonominės sąskaitos, Eurostato duomenų bazė
Pagaminto kapitalo sankaupų pokytis	K	Vidutinis metinis grynujų pagaminto kapitalo atsargų pokytis.	Žemės ūkio ekonominės sąskaitos Eurostato duomenų bazė; Kapitalo atsargų statistika FAOSTATO duomenų bazė
Gamtinio kapitalo pokytis	G	Vidutinis metinis gamtinio kapitalo, išreikšto su kokybe susieto naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto (lietaus paveikti pasėliai, drėkinami pasėliai, pievos ir ganyklos) ekvivalentu, pokytis.	Žemės naudojimo statistika, FAOSTATO duomenų bazė
<i>Elastingumo koeficientai</i>			
Taršos	$\varepsilon_{\dot{Y}S\dot{E}SDgr}$	Grynojo išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio ir bendrosios pridėtinės vertės santykis.	Europos Komisijos FADN viešos prieigos duomenų bazė; Anglies dioksido emisijų ateities sandorių statistika, Investing.com duomenų bazė.
Darbo	$\varepsilon_D$	Samdomų darbuotojų darbo užmokesčio ir savarankiškai dirbančiųjų asmenų alternatyviųjų darbo kaštų santykis su bendraisiais kaštais*.	Europos Komisijos FADN viešos prieigos duomenų bazė
Pagaminto kapitalo	$\varepsilon_K$	Nusidėvėjimo, tarpinio vartojimo sąnaudų, sumokėtų palūkanų ir nuosavo kapitalo alternatyviųjų kaštų santykis su bendraisiais kaštais*.	Europos Komisijos FADN viešos prieigos duomenų bazė
Gamtinio kapitalo	$\varepsilon_G$	Sumokėtos žemės rentos ir alternatyviųjų nuosavos žemės kaštų santykis su bendraisiais kaštais*.	Europos Komisijos FADN viešos prieigos duomenų bazė

*Pastaba:* \*Bendrieji kaštai yra bendra darbo, pagaminto kapitalo ir gamtinio kapitalo kaštų vertė.

išmatuotas žemės ūkyje sukurta bendrąja pridėtine verte, apskaičiuota fiksuotomis 2005 m. kainomis, kad būtų galima nustatyti jos realų augimą. Skaičiavimams naudoti Eurostato Žemės ūkio ekonominių sąskaitų duomenys. O aplinkos tarša dėl žemės ūkio gamybos išreikšta grynuoju išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiu, įvertinus tiek dėl žemės ūkio veiklos išmestą ŠESD kiekį CO<sub>2</sub> ekvivalentu, tiek pievų, ganyklų ir kitų žemės ūkio daugiamečių augalų sugertą CO<sub>2</sub> kiekį. Analizei naudoti Eurostato žemės ūkio aplinkos statistikos duomenys.

Žemės ūkio darbo jėga – samdomi darbuotojai ir savarankiškai dirbantys asmenys – išmatuota metiniais darbo vienetais (dirbančiais visą darbo laiką), naudojant Eurostato Žemės ūkio ekonominių sąskaitų duomenis. Žemės ūkio gamyboje naudojamo pagaminto kapitalo sankaupos išreikštos grynosiomis jų atsargomis. Jos apskaičiuotos naudojant FAOSTATO duomenis apie pradinę pagaminto kapitalo atsargų žemės ūkyje, miškininkystėje ir žuvininkystėje vertę 1995 m. ir vėlesnius Eurostato duomenis apie pagrindinio kapitalo formavimą ir nusidėvėjimą žemės ūkyje. Žemės ūkyje naudojamas gamtinis kapitalas išreikštas su kokybe susieto naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto ekvivalentu. Šiuo būdu pasėlių (vien tik lietaus laistomų ir drėkinamų) bei pievų ir ganyklų plotai įvertinami pagal kokybę, didesnę svorį suteikiant drėkinamiems pasėliams ir mažesnę – daugiamečioms pievoms ir ganykloms. Su kokybe susieto naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto ekvivalentas apskaičiuotas naudojant FAOSTATO žemės naudojimo statistikos duomenis.

Į taršos atžvilgiu pakoreguoto žemės ūkio augimo modelį (3) įtrauktų gamybos veiksmų ir aplinkos taršos elastingumo koeficientų skaičiavimo paaiškinimai pateikti 1 lentelėje. Ten pat nurodyti ir naudoti duomenų šaltiniai. Galima pridurti, kad aplinkos taršos elastingumui apskaičiuoti naudoti žemės ūkio šakos lygmens duomenys apie bendrąją pridėtinę vertę ir ŠESD. Gamybos veiksmų elastingumo koeficientai apskaičiuoti remiantis vidutiniais ūkių rezultatais ŪADT duomenų bazėje, papildomai apskaičiuavus alternatyviuosius darbo jėgos, pagaminto kapitalo ir gamtinio kapitalo kaštus. Šiuo atveju alternatyviųjų gamybos veiksmų kaštų įtraukimas į ADGVN atskleidžia dar vieną taršos atžvilgiu pakoreguoto ekonomikos augimo žemės ūkio šakoje matavimo ypatumą.

### ***Empirinio tyrimo geografinė aprėptis ir laikotarpis***

Į aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje empirinę analizę įtrauktos 28 ES šalys (įskaitant Jungtinę Karalystę, kuri ES nare buvo iki 2020 m. sausio 1 d.). Siekiant nustatyti ilgalaikius pokyčius, tyrimas apima 2005–2019 m. Lietuva ir dar 9 Rytų ir Vidurio Europos šalys 2004 m. gegužės 1 d. įstojo į ES. Tyrimo laikotarpio pradžios ir pabaigos rezultatų palyginimui naudoti vidutinių metinių pokyčių per penkerius metus rodikliai (atitinkamai 2005–2009 m. ir 2015–2019 m.), kaip įprasta daugumoje žemės ūkio augimo tyrimuose. Dar trys šalys Bulgarija, Rumunija ir Kroatija prie ES prisijungė kiek vėliau (dvi pirmosios 2007 m., o trečioji 2013 m.). Dėl pastarųjų šalių ŪADT duomenų nuo 2005 m. iki jų narystės ES daromos išlygos – sukaupti vėlesnių metų duomenys yra multiplikuojami pradiniam tyrimo laikotarpiui.



### ***ES šalių klasterinė analizė***

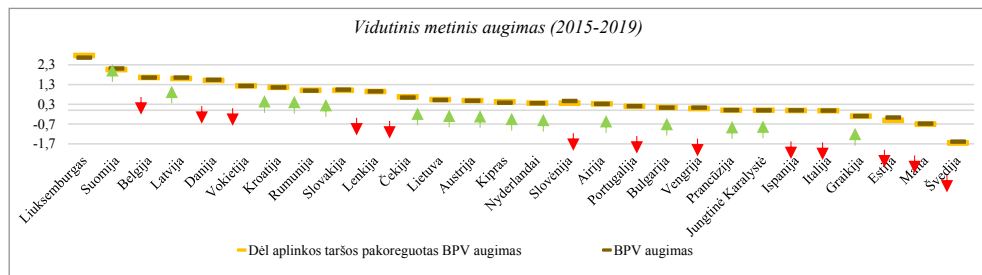
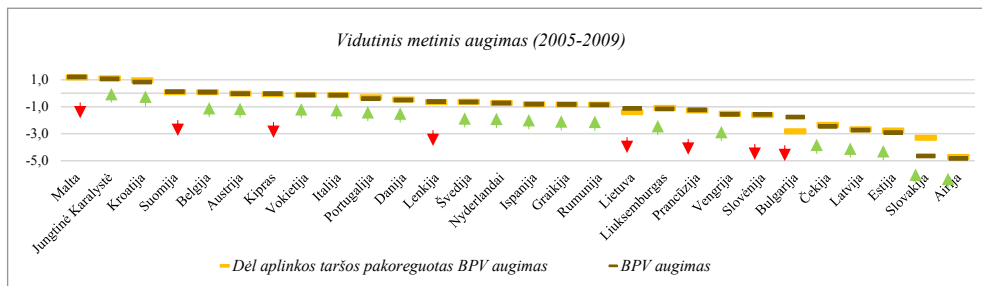
ES šalių aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje palyginamajai analizei atlikti naudojamas klasterinės analizės metodas. Klasterinė analizė leidžia identifikuoti panašias ES šalis, jas struktūruojant pagal analizuojamą kintamųjų rinkinį. Šalys klasterizuojamos pagal su aplinka susieto daugiaveiksniio našumo kintamuosius, tokius kaip žemės ūkio BPV, darbo jėga, pagaminto kapitalo sankaupos, gamtinis kapitalas, išreikštas su kokybe susietu naudojamų žemės ūkio naudmenų ploto ekvivalentu, grynasis ŠESD išmetimas žemės ūkyje. Pasak Jianu et al. (2021), klasterių sudarymas padeda suskirstyti šalis į vienarūšes grupes (klasterius), iš anksto nežinant nei klasterių skaičiaus, nei šalių priklausomybės tam tikrai grupei. ES šalių klasterizavimas atliktas naudojant Ward'o metodą (sudarant klasterių artumo matricą) ir Euklido atstumo kvadrato metodą (nustatant atstumą tarp klasterių). Abu metodai, pasak Nogueira ir Madaleno (2021), yra patikimiausi metodai hierarchinio klasterizavimo validumui patikrinti bei dendrogramai sudaryti. Analizei naudotas SPSS 22 statistinis paketas. Skirtumų tarp šalių grupių reikšmingumui patikrinti taikyti grupių vidurkių lygybės testas, dispersinė analizė ir Benferroni testas.

### **Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje vertinimo rezultatai**

Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo ES šalių žemės ūkyje empirinės analizės rezultatai tyrimo laikotarpio pradžia (2005–2009 m.) ir pabaigai (2015–2019 m.) pateikti 1–2 pav.

Palyginus bendrosios pridėtinės vertės realaus augimo vidutinius metinius rezultatus abiem laikotarpiais (1 pav.), matyti, kad vėlesniuju laikmečiu ekonominis augimas pasiektas daugelio ES šalių (išskyrus Italiją, Graikiją, Estiją, Malta ir Švediją) žemės ūkyje. Tuo tarpu vidutiniu trukmės laikotarpiu po ES plėtros 2004 m. žemės ūkio augimas nustatytas mažiau nei penktadalyje ES šalių (Maltoje, Jungtinėje Karalystėje, Kroatijoje, Suomijoje ir Belgijoje). Tačiau, kaip pabrėžia Rodríguez, Haščič ir Souchier (2018b), taršos mažinimo nauda neatsispindi nacionalinėse sąskaitose (šio tyrimo atveju žemės ūkio ekonominėse sąskaitose) ir dėl to įprastu būdu išmatuotas BVP augimas gali būti pervertintas, nes aplinkos tarša yra nepageidaujamas gamybos rezultatas ir daro neigiamą poveikį bendrosioms pajamoms, arba nepakankamai įvertintas, nes neatspindi gamintojų pastangų mažinant taršą. Tokį apribojimą pašalina BVP augimo koregavimas dėl aplinkos taršos pokyčių. Šiame empiriniame tyrime išmatuotas ES šalių žemės ūkio bendrosios pridėtinės vertės augimas, pakoreguotas dėl grynojo ŠESD išmetimo pokyčio (pagal 3-iosio lygties kairiąją pusę), leidžia palyginti, kuriose šalyse dedamos didesnės, o kuriose – mažesnės pastangos mažinant neigiamą žemės ūkio poveikį klimato kaitai.

Abiem būdais įvertinto žemės ūkio augimo rezultatai, pateikti 1 paveiksle, rodo nedidelį skirtumą tarp tradiciniu būdu apskaičiuoto realios BPV augimo ir dėl aplinkos taršos pakoreguoto BPV augimo rodiklių tiek pradiniam, tiek galutiniam tyrimo laikotarpiuose. Tai reiškia, kad grynojo ŠESD išmetimų pokytis neturėjo didelės reikšmės realiam žemės ūkio augimui visose analizuojamose šalyse, pirmiausia dėl to, kad jis buvo lėtas (1 priedas, išskyrus vidutinį metinį pokytį 2005–2009 m. Bulgarijoje). Nustatyta, kad didesnėje šalių



Šaltinis: apskaičiuota autorių.

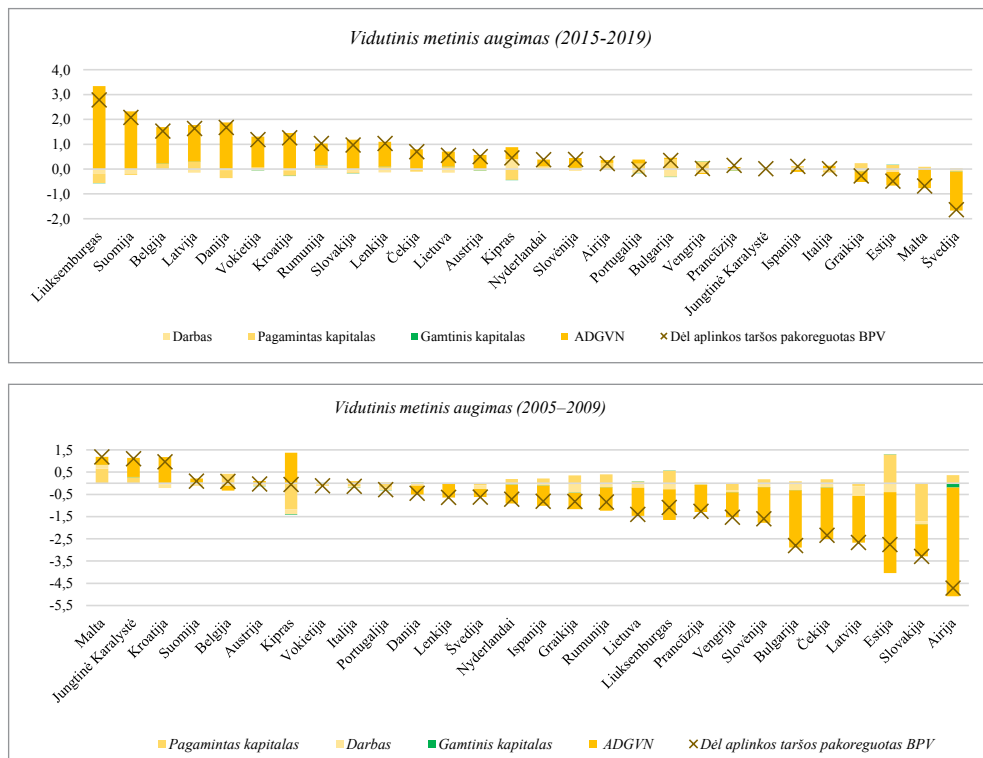
Pastabos: 1) augimo rodikliai logaritmuoti; 2) raudonos rodyklės žymi BPV augimo sumažėjimą, o žalios – jo padidėjimą dėl grynojo ŠESD išmetimo pokyčio.

**1 pav.** Bendrosios pridėtinės vertės vidutinis metinis augimas ES šalių žemės ūkyje 2005–2009 m. ir 2015–2019 m.

grupėje grynojo išmetamo ŠESD kiekio mažėjimas teigiamai veikė aplinkos atžvilgiu tvarų žemės ūkio augimą daugelyje ES šalių (1 paveiksle pažymėta žaliosiomis rodyklėmis), t. y. dviejuose trečdaliuose šalių tyrimo laikotarpio pradžioje ir trijuose ketvirtadaliuose šalių šio laikotarpio pabaigoje. Likusiose ES šalyse grynojo išmetamo ŠESD kiekio augimas sulėtino tvarų augimą žemės ūkyje (1 paveiksle pažymėta raudonosiomis rodyklėmis).

Aplinkos atžvilgiu tvarus ekonomikos augimas priklauso nuo nepageidaujamo gamybos rezultato – aplinkos taršos, gamybos veiksnių (tokių kaip darbo jėga, pagamintas kapitalas ir gamtinis kapitalas) ir daugiaveiksnių našumo, dar vadinamo Solow liekana, reiškiančio technologinę pažangą (Blum, McLaughlin ir Hanley, 2019; Ciarli, Lorentz, Savona ir Valente, 2010; Jumbri, Islam ir Managi, 2019). 2 paveiksle pateikti empirinio tyrimo rezultatai rodo gamybos veiksnių (darbo, sukurto kapitalo ir gamtinio kapitalo, išreikšto su kokybe susietu gamyboje naudojamu žemės plotu) ir su aplinka susieto daugiaveiksnių našumo (ADGVN) įnašą į tvarų augimą, matuojamą dėl aplinkos taršos pakoreguota BPV, ES šalių žemės ūkyje tiriamo ilgojo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje.

2 paveiksle pateikti empirinio tyrimo rezultatai rodo, kad didžiojoje dalyje ES šalių aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje labiausiai lemia technologinė pažanga (ADGVN), o kitų gamybos veiksnių įnašas gerokai mažesnis. Pradiniame tyrimo laikotarpyje (2005–2009 m.) realus dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV augimas žemės



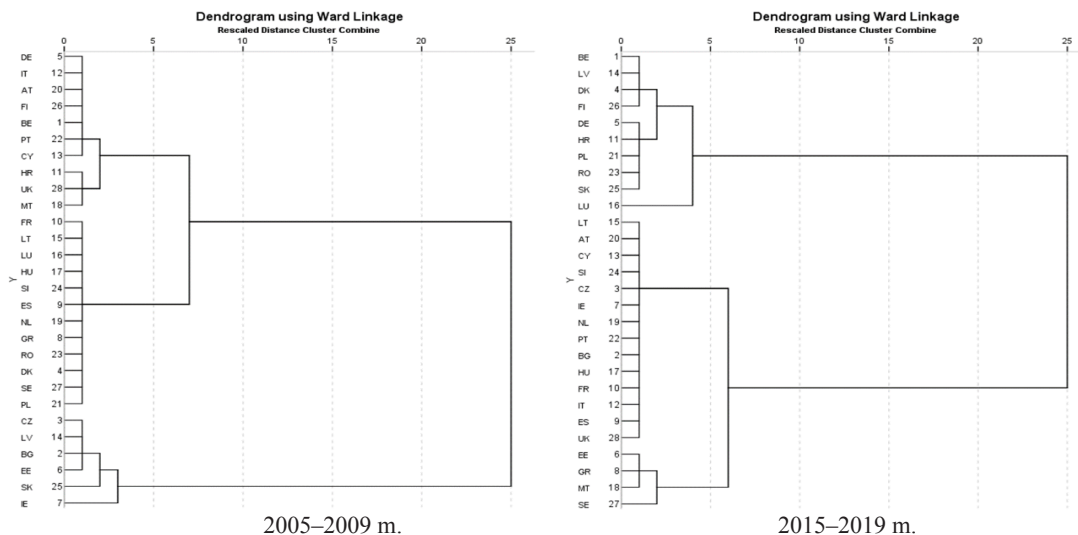
Šaltinis: apskaičiuota autorių.

**2 pav.** Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo ES šalių žemės ūkyje dekompozicija pagal gamybos rezultatų ir veiksmų bei dagiaveiksnių našumo įnašus 2005–2009 m. ir 2015–2019 m.

Ūkyje buvo pasiektas penkiose ES šalyse (Malta, Jungtinė Karalystė, Kroatija, Suomija ir Belgija). Jose (išskyrus Belgiją) žemės ūkio augimas daugiau buvo skatinamas technologinės pažangos (ADGVN) nei kitų gamybos veiksmų. Vėlesniajame tyrimo laikotarpyje (2015–2019 m.) realus dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV augimas žemės ūkyje buvo pasiektas daugumoje ES šalių (išskyrus Italiją, Graikiją, Estiją, Malta ir Švediją), o daugiau nei pusėje ES šalių augimą žemės ūkyje lėmė technologinė pažanga. Panašūs rezultatai apie ADGVN įnašą į aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje buvo gauti ir kituose tyrimuose. Pavyzdžiui, Huang, Feng, Qin, Wang ir Zhang (2022) bei Xiao, He, Zhang ir Qin (2022) nustatė, kad aplinkos atžvilgiu tvarų augimą Kinijos žemės ūkyje lemia technologinė pažanga, ŠESD išmetimų mažėjimas ir energijos taupymas.

### *Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje rezultatai pagal ES šalių klasterius*

Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo skirtumai ir panašumai ES šalyse nustatyti hierarchinio klasterizavimo būdu, suskirstant šalis į vienarūšius klasterius, pagal gamybos rezultatų ir gamybos veiksmų augimo kintamuosius, nurodytus 1 lentelėje. Naudojant Kolmogorovo–Smirnov ir Šapiro–Vilko testus, ištyrus duomenų pasiskirstymo normalumą (žr. 2 priedą),



Šaltinis: sudaryta naudojant Eurostato, Faostato ir ŪADT duomenis.

Pastaba: IE – Airija, AT – Austrija, BE – Belgija, BG – Bulgarija, CZ – Čekija, DK – Danija, EE – Estija, GR – Graikija, ES – Ispanija, IT – Italija, GB – Jungtinė Karalystė, CY – Kipras, HR – Kroatija, LV – Latvija, PL – Lenkija, LT – Lietuva, LU – Liuksemburgas, MT – Malta, NL – Nyderlandai, PT – Portugalija, FR – Prancūzija, RO – Rumunija, SK – Slovakija, SI – Slovėnija, FI – Suomija, SE – Švedija, HU – Vengrija, DE – Vokietija.

### 3 pav. ES šalių klasterių dendrogramos

nustatyta, kad dalies augimo kintamųjų (grynojo išmetamų ŠESD kiekio, pagaminto kapitalo ir gamtinio kapitalo) duomenys nėra normaliai pasiskirstę. Tačiau pagal Jianu et al. (2021) bei Yap ir Sim (2011) rekomendaciją dėl mažos šalių imties (kai jos dydis  $n \leq 50$ ) klasterinei analizei buvo naudoti visų minėtų kintamųjų duomenys. Remiantis Simicevic, Zoroja ir Pejic Bach (2012) optimalaus klasterių skaičiaus nustatymo metoda ir atlikus klasterių validumo, t. y. grupių vidurkių lygybės – Welch‘o ir Brown‘o–Forsythe‘o (žr. 3 priedą) ir dispersinės analizės (žr. 4 priedą) testus, ES šalys suskirstytos į tris klasterius (3 pav.). Analizė atskleidė, kad statistškai reikšmingi šalių klasteriai susidarė pagal realaus BPV augimo, dėl aplinkos taršos pakoreguoto realaus BPV augimo ir su aplinka susieto ADGVN augimo kintamuosius, tai patvirtino ir atliktas Benferroni testas (žr. 5 priedą).

Didžiausią bendrosios pridėtinės vertės augimą žemės ūkyje, paskatintą technologinės pažangos, patyrusios šalys sudarė pirmąjį klasterį (žr. 2–3 lenteles). Pradiniame tyrimo laikotarpyje (2005–2009 m.) į šį klasterį pateko po 10 šalių tyrimo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje. Tačiau tik keturios šalys (Suomija, Belgija, Danija ir Kroatija) abiem tyrimo laikotarpiais pateko į pirmąjį klasterį. Jungtinė Karalystė, Austrija, Kipras, Italija ir Portugalija iš pirmojo klasterio tyrimo laikotarpio pradžioje perėjo į antrąjį klasterį, o Malta, kurios BPV augimas buvo didžiausias pradiniame vidutinės trukmės laikotarpyje, perėjo į trečiąjį klasterį tyrimo laikotarpio pabaigoje (2015–2019). Tyrimo laikotarpio pradžioje Vokietija, Lenkija, Rumunija ir Liuksemburgas, priklausiusios antrajam klasteriui, ir Latvija su Slovakija – trečiajam, perėjo į pirmąjį klasterį tyrimo laikotarpio pabaigoje.

**2 lentelė.** Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje rezultatai pagal ES šalių klasterius 2005–2009 m.

Šalis	Dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV <sup>real</sup> augimas	BPV <sup>real</sup> augimas	ŠESD <sup>gr</sup> augimas	Darbo augimas	Pagaminto kapitalo augimas	Gamtinio kapitalo augimas	ADGVN augimas	DGVN augimas
I klasteris								
Malta	1,182	1,208	0,026	0,177	0,654	0,001	0,350	-0,326
Jungtinė Karalystė	1,105	1,050	-0,055	-0,033	0,276	0,009	0,852	0,862
Kroatija	0,962	0,814	-0,148	-0,163	-0,050	0,002	1,172	1,427
Suomija	0,097	0,113	0,016	-0,118	0,028	0,002	0,185	0,636
Belgija	0,090	0,080	-0,010	-0,122	0,418	-0,001	-0,206	0,152
Austrija	-0,026	-0,030	-0,004	-0,121	0,014	-0,003	0,084	0,505
Kipras	-0,058	-0,031	0,028	-0,226	-1,167	-0,034	1,368	2,522
Italija	-0,132	-0,144	-0,012	-0,069	-0,135	-0,008	0,080	0,284
Portugalija	-0,290	-0,393	-0,104	-0,133	-0,173	-0,012	0,029	0,282
Danija	-0,453	-0,504	-0,051	-0,112	0,037	0,012	-0,389	0,256
Vidurkis	0,248	0,216	-0,031	-0,092	-0,010	-0,003	0,353	0,660
St. nuokrypis	0,571	0,566	0,055	0,102	0,457	0,012	0,556	0,761
II klasteris								
Vokietija	-0,107	-0,121	-0,014	-0,067	-0,039	0,001	-0,002	-0,418
Švedija	-0,625	-0,653	-0,028	-0,168	-0,090	-0,005	-0,362	-1,182
Lenkija	-0,632	-0,621	0,011	-0,028	0,009	-0,001	-0,613	-0,522
Nyderlandai	-0,719	-0,724	-0,005	-0,055	0,193	-0,005	-0,852	-0,952
Ispanija	-0,808	-0,815	-0,007	-0,109	0,212	-0,007	-0,904	-0,666
Graikija	-0,816	-0,834	-0,018	-0,428	0,348	-0,012	-0,725	-0,797
Rumunija	-0,837	-0,857	-0,020	-0,191	0,399	-0,002	-1,042	0,288
Liuksemburgas	-1,082	-1,172	-0,090	-0,273	0,566	0,008	-1,383	-0,070
Prancūzija	-1,259	-1,250	0,009	-0,073	0,031	-0,002	-1,215	-0,875
Lietuva	-1,393	-1,131	0,262	-0,201	0,072	0,005	-1,269	0,232
Vengrija	-1,520	-1,569	-0,049	-0,114	-0,302	-0,001	-1,103	-0,543
Slovėnija	-1,600	-1,577	0,023	-0,175	0,181	-0,003	-1,603	-0,032
Vidurkis	-0,950	-0,944	0,006	-0,157	0,132	-0,002	-0,923	-0,461
St. nuokrypis	0,416	0,400	0,082	0,107	0,226	0,005	0,431	0,454
III klasteris								
Čekija	-2,333	-2,461	-0,128	-0,203	0,180	-0,005	-2,306	-0,454
Latvija	-2,665	-2,738	-0,073	-0,434	-0,135	0,004	-2,099	-0,485
Estija	-2,758	-2,925	-0,167	-0,401	1,287	0,001	-3,644	-5,278
Bulgarija	-2,804	-1,775	1,029	-0,320	0,084	-0,003	-2,564	-1,695
Slovakija	-3,289	-4,660	-1,371	-0,133	-1,719	-0,001	-1,436	-2,796
Airija	-4,711	-4,830	-0,120	-0,014	0,368	-0,179	-4,885	-1,749
Vidurkis	-3,093	-3,232	-0,138	-0,251	0,011	-0,031	-2,822	-2,076
St. nuokrypis	0,776	1,129	0,694	0,149	0,895	0,066	1,133	1,642
Klasterių aprašomoji statistika								
Vidurkis	-0,981	-1,020	-0,038	-0,154	0,055	-0,008	-0,874	-0,407
St. nuokrypis	1,347	1,433	0,332	0,129	0,522	0,034	1,348	1,371

**3 lentelė.** Aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo žemės ūkyje rezultatai pagal ES šalių klasterius 2015–2019 m.

Šalis	Dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV <sub>real</sub> augimas	BPV <sub>real</sub> augimas	ŠESD <sub>gr</sub> augimas	Darbo augimas	Pagaminto kapitalo augimas	Gamtinio kapitalo augimas	ADGVN augimas	DGVN augimas
I klasteris								
Liuksemburgas	2,780	2,674	-0,106	-0,190	-0,366	-0,004	3,341	4,273
Suomija	2,076	2,128	0,052	-0,193	-0,051	0,001	2,320	3,242
Belgija	1,669	1,667	-0,002	-0,026	0,224	0,007	1,464	1,549
Latvija	1,628	1,656	0,028	-0,146	0,295	0,008	1,472	1,870
Danija	1,522	1,554	0,032	-0,045	-0,314	0,006	1,875	2,287
Vokietija	1,255	1,241	-0,014	-0,051	0,071	-0,003	1,238	1,402
Kroatija	1,178	1,165	-0,014	-0,048	-0,226	-0,003	1,455	1,664
Rumunija	1,027	0,998	-0,029	0,038	0,117	0,002	0,869	0,689
Slovakija	1,022	1,054	0,032	-0,125	-0,040	0,000	1,187	1,718
Lenkija	0,962	0,967	0,005	-0,136	0,103	0,001	0,994	1,296
Vidurkis	1,512	1,510	-0,002	-0,092	-0,019	0,002	1,622	1,999
St. nuokrypis	0,540	0,524	0,042	0,073	0,212	0,004	0,699	0,989
II klasteris								
Čekija	0,695	0,650	-0,045	-0,031	-0,076	0,000	0,802	0,899
Lietuva	0,550	0,522	-0,028	-0,150	0,099	0,003	0,598	0,947
Austrija	0,497	0,495	-0,003	-0,058	-0,006	-0,004	0,565	0,706
Kipras	0,444	0,389	-0,055	0,403	-0,433	-0,002	0,476	-0,582
Nyderlandai	0,378	0,368	-0,010	0,058	0,065	-0,006	0,261	-0,062
Slovėnija	0,375	0,477	0,102	-0,075	0,053	0,000	0,397	0,695
Airija	0,341	0,323	-0,018	-0,020	0,247	0,000	0,113	0,039
Portugalija	0,214	0,219	0,004	-0,153	0,219	-0,013	0,161	0,275
Bulgarija	0,149	0,138	-0,011	-0,308	0,399	-0,001	0,058	1,183
Vengrija	0,105	0,136	0,031	-0,158	0,308	0,000	-0,044	0,587
Prancūzija	0,018	0,011	-0,007	-0,037	-0,027	-0,003	0,086	0,229
Jungtinė Karalystė	0,011	0,006	-0,005	0,003	0,029	0,003	-0,025	-0,052
Ispanija	0,006	0,008	0,002	0,075	0,050	-0,004	-0,115	-0,317
Italija	-0,007	-0,006	0,001	-0,055	-0,082	0,003	0,127	0,288
Vidurkis	0,270	0,267	-0,003	-0,036	0,060	-0,002	0,247	0,345
St. nuokrypis	0,222	0,215	0,036	0,154	0,195	0,004	0,267	0,494
III klasteris								
Graikija	-0,286	-0,290	-0,004	-0,093	0,234	-0,002	-0,424	-0,256
Estija	-0,493	-0,357	0,136	-0,116	0,168	0,004	-0,549	0,018
Malta	-0,680	-0,676	0,004	0,000	0,092	-0,002	-0,771	-0,819
Švedija	-1,641	-1,581	0,059	-0,104	0,036	-0,003	-1,569	-1,119
Vidurkis	-0,775	-0,726	0,049	-0,078	0,133	-0,001	-0,828	-0,544
St. nuokrypis	0,519	0,515	0,056	0,046	0,075	0,003	0,445	0,449
Klasterių aprašomoji statistika								
Vidurkis	0,443	0,449	0,006	-0,046	0,061	-0,001	0,428	0,577
St. nuokrypis	0,836	0,822	0,048	0,139	0,221	0,005	0,867	0,924

Kaip nurodyta 2–3 lentelėse, antrojo klasterio šalims būdingi vidutinio lygio žemės ūkio augimo rezultatai, t. y. tarpiniai rezultatai tarp geriausių ir blogiausių. Pradiniame tyrimo laikotarpyje (2005–2009 m.) ši klasterį sudarė 12 šalių, patyrusių ekonominių nuosmukį žemės ūkyje, o tyrimo laikotarpio pabaigoje – 14 šalių. Tarp jų 13 šalių patyrė vidutinio lygio ekonominių augimą, išskyrus Italiją, kurioje žemės ūkio nuosmukis pasireiškė abiem tyrimo laikotarpiais. Antrojo klasterio šalyse didžiausią įtaką ekonominiam smukimui žemės ūkyje darė technologinės pažangos lėtėjimas tyrimo laikotarpio pradžiai, o jos augimas skatino ekonominių augimą tyrimo laikotarpio pabaigai. Abiem tyrimo laikotarpiais antrajam klasteriui priklausė šešios šalys (Slovėnija, Nyderlandai, Vengrija, Prancūzija, Ispanija ir Lietuva).

Į trečiąjį klasterį susitelkė šalys, patyrusios didžiausią ekonominių smukimą žemės ūkyje, tačiau tyrimo laikotarpio pabaigoje (2015–2019 m.) jis buvo mažesnis, negu pradžioje (2005–2009 m.) (žr. 2–3 lentelėse). Šiose šalyse didžiausią įtaką ekonominiam smukimui žemės ūkyje darė technologinės pažangos lėtėjimas, o didžiausią teigiamą poveikį – pagaminto kapitalo sankaupų didėjimas, t. y. ilgalaikės investicijos (išskyrus atskirus atvejus, pvz., Latviją ir Slovakiją 2005–2009 m.). Pradiniame tyrimo laikotarpyje į trečiąjį klasterį pateko 6 šalys (iš kurių 5 šalys, į ES įstojusios 2004 m.), o antruoju laikotarpiu šalių skaičius klasteryje sumažėjo iki 4. Estija buvo vienintelė šalis, kuri priklausė trečiajam klasteriui abiem tyrimo laikotarpiais. Latvija ir Slovakija iš trečiojo klasterio pradiniame vidutinės trukmės laikotarpyje tyrimo laikotarpio pabaigai pateko į pirmąjį klasterį, o Čekija, Bulgarija ir Airija – į antrąjį klasterį. Pastarosiose šalyse ekonominių nuosmukį žemės ūkyje pradiniame laikotarpyje vėlesniu laikotarpiu pakeitė jo augimas, kurį daugiausia lėmė technologinė pažanga.

2–3 lentelėse pateikti rezultatai rodo, kad abiem tyrimo laikotarpiais vieną didžiausių poveikių ekonomikos augimui žemės ūkyje darė technologinė pažanga. Kita vertus, kaip pastebi Rodríguez, Haščič ir Souchier (2018b), technologinės pažangos įnašas į ekonomikos augimą gali būti pervertinamas arba nepakankamai įvertinamas. Tai atskleidžia su aplinka susieto ADGVN ir tradiciniu būdu apskaičiuoto DGVN reikšmių skirtumas. Neigiamas skirtumas reiškia, kad tradiciniu būdu apskaičiuotas daugiaveiksnių našumo įnašas į ekonomikos augimą gali būti pervertintas, nes aplinkos tarša ir gamtinių išteklių naudojimas daro neigiamą poveikį sukuriams bendrosioms pajamoms (žemės ūkio bendrajai pridėtinei vertei šio tyrimo atveju), o teigiamas skirtumas rodo, kad taršos mažinimo pastangos nėra pakankamai įvertintos. 2–3 lentelėse pateikti empirinio tyrimo rezultatai rodo teigiamą skirtumą tarp DGVN ir ADGVN abiem tyrimo laikotarpiais daugiau nei pusėje ES šalių (ir Lietuvoje), o tai reiškia, kad jose taršos ir gamtinių išteklių naudojimo pokyčiai darė didesnę poveikį žemės ūkio augimui, nei buvo galima tikėtis pagal tradicinio vertinimo požiūrį.

## Išvados ir diskusija

Su aplinka susieto BGVN arba DGVN matavimas yra vis dažniau naudojamas metodas aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo tyrimuose. Mokslinės literatūros šaltinių analizė at-

skleidė, kad įprasti BGVN arba DGVN rodikliai turi būti praplėsti, į vertinimą įtraukiant aplinkos kintamuosius, tokius kaip aplinkos tarša ir gamtiniai išteklių. Toks aplinkos kintamųjų įtraukimas į DGVN matavimą padeda, pasak Rodríguez, Haščič ir Souchier (2018b), geriau suprasti aplinkos įnašą į našumo ar ekonomikos augimą. Šiame tyrime atlikta su aplinka susieto žemės ūkio augimo ES šalyse palyginamoji analizė remiantis Solow liekana pagrįstu ADGVN modeliu. Visai ekonomikai sukurtą ADGVN modelį mes pritaikėme žemės ūkio šakai, jame gamybos veiksnių ir gamybos rezultatų kintamuosius bei jų elastingumus pakeisdamos tinkamais žemės ūkio gamybai.

Aplinkos atžvilgiu tvarų augimą ES šalių žemės ūkyje buvo siekta vertinti ilguoju 2005–2019 m. laikotarpiu, kad atsiskleistų ilgalaikės tendencijos, o laikotarpio pradžios ir pabaigos rezultatų palyginimui naudoti vidutinių metinių pokyčių per penkerius metus rodikliai (atitinkamai 2005–2009 m. ir 2015–2019 m.), kaip yra įprasta daugumoje žemės ūkio augimo tyrimų. Atliktos empirinės analizės rezultatai rodo, kad dėl aplinkos taršos pakoreguotas BPV augimas žemės ūkyje tyrimo laikotarpio pradžia buvo pasiektas mažiau nei penktadaliu ES šalių (Maltos, Jungtinės Karalystės, Kroatijos, Suomijos ir Belgijos), o tyrimo laikotarpio pabaigai – daugelio ES šalių (išskyrus Italiją, Graikiją, Estiją, Malta ir Švediją) žemės ūkyje. Pabrėžiama (European Commission, 2021), kad bendra ES politika dedamos pastangos mažinti aplinkos taršą iki tokio lygio, kuris būtų laikomas nekenksmingu žmonių sveikatai ir natūralioms ekosistemoms. Šio tyrimo rezultatai rodo, kad aplinkos taršos, išreikštos grynuoju ŠESD rezultatu, lėtas pokytis neturi didelės reikšmės žemės ūkio augimui visose ES šalyse (taip pat – ir Jungtinėje Karalystėje). Tačiau į vertinimą įtraukus ir vandens bei dirvožemio taršą, bendras aplinkos taršos poveikis ekonominiam augimui žemės ūkyje būtų dar didesnis.

Empirinė analizė atskleidė, kad daugumoje ES šalių aplinkos atžvilgiu tvarų augimą žemės ūkyje labiausiai lėmė technologinė pažanga, t. y. su aplinka susietas daugiaveiksnis našumas. Sun (2022) pabrėžia, kad su aplinka susieto našumo augimo matavimas yra tinkamas būdas, koordinuojant žaliojo augimo strategijas, kuriomis siekiama spręsti konfliktą tarp aplinkos ir greito ekonomikos augimo. Reza Anik, Rahman ir Sarker (2020) akcentuoja, kad turi būti kuriamos tinkamos ekonominės politikos priemonės, kurios mažintų gamybos veiksnių ir didintų technologinės pažangos įnašą į BPV augimą žemės ūkyje.

Siekiant nustatyti aplinkos atžvilgiu tvaraus augimo skirtumus ir panašumus tarp ES šalių, hierarchinio klasterizavimo būdu šalys suskirstytos į tris statistiškai reikšmingus klasterius pagal žemės ūkio bendrosios pridėtinės vertės ir technologinės pažangos pokyčius. Didžiausią bendrosios pridėtinės vertės augimą žemės ūkyje, paskatintą technologinės pažangos, patyrusios šalys sudarė pirmąjį klasterį (po 36 proc. šalių tyrimo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje). Antrojo klasterio šalims (43 proc. šalių tyrimo laikotarpio pradžioje ir 50 proc. pabaigoje) būdingi tarpiniai žemės ūkio augimo rezultatai, kai tyrimo laikotarpio pradžia didžiausią įtaką ekonominiam smukimui žemės ūkyje darė technologinės pažangos lėtėjimas, o tyrimo laikotarpio pabaigai ekonominį augimą lėmė technologinės pažangos augimas. Trečiojo klasterio šalyse (21 proc. šalių tyrimo laikotarpio pradžioje ir 14 proc. pabaigoje), kuriose bendrosios pridėtinės vertės smukimas didžiausias, labiau priklausė nuo ilgalaikių investicijų į pagaminą kapitalą, nei nuo technologinės pažangos.



**Literatūros sąrašas**

1. Ang, F., Dakpo, H. (2018). Sustainable Intensification in agriculture? A global assessment. *Research in Agricultural & Applied Economics*, Conference Paper, 1-11. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.276190>
2. Baldoni, E., Coderoni, S., Esposti, R. (2017). The productivity and environment nexus with farm-level data. The Case of Carbon Footprint in Lombardy FADN farms. *Bio-based and Applied Economics*, 6(2), 119-137. <https://doi.org/10.13128/BAE-19112>
3. Baráth, L., Fertő, I. (2020). Accounting for TFP Growth in Global Agriculture—a Common-Factor-Approach-Based TFP Estimation. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 12(4), 3-13. <https://doi.org/10.7160/aol.2020.120401>
4. Benavides, D. (2021). Influence of agricultural infrastructure construction on agricultural total factor productivity. *Agricultural Productivity Science*, 1(1), 14-26. <https://doi.org/10.54517/aps.v1i1.1594>
5. Blum, M., McLaughlin, E., Hanley, N. (2019). Accounting for Sustainable Development over the Long-Run: Les-sons from Germany. *German Economic Review*, 20(4), 410-446. <https://doi.org/10.1111/geer.12148>
6. Brandt, N., Schreyer, P., Zipperer, V. (2014). Productivity Measurement with Natural Capital and Bad Outputs. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1154, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5jz0wh5t0ztd-en>
7. Brandt, N., Schreyer, P., Zipperer, V. (2017). Productivity measurement with natural capital. *Review of Income and Wealth*, 63, 7-21. <https://doi.org/10.1111/roiw.12247>
8. Chen, Y., Fu, W., Wang, J. (2022). Evaluation and Influencing Factors of China's Agricultural Productivity from the Perspective of Environmental Constraints. *Sustainability*, 14(5), 2807. <https://doi.org/10.3390/su14052807>
9. Ciarli, T., Lorentz, A., Savona, M., Valente, M. (2010). The effect of consumption and production structure on growth and distribution. A micro to macro model. *Metroeconomica*, 61(1), 180-218. <https://doi.org/10.1111/j.1467-999X.2009.04069.x>
10. Deconinck, K. (Ed.). (2021). *Making Better Policies for Food Systems*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/ddfba4de-en>
11. Diewert, W. E., Nakamura, A. O. (2007). Productivity measures and sustainable prosperity. *Seoul Journal of Economics*, 20 (1), 93. SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2274449>
12. Dou, X. (2018). Low carbon agriculture and GHG emission reduction in China: An analysis of policy perspective. *Theoretical Economics Letters*, 8(3), 538-556. <https://doi.org/10.4236/tel.2018.83038>
13. Dykas, P., Tokarski, T., Wisła, R. (2022) *The Solow Model of Economic Growth. Application to Contemporary Macroeconomic Issues*. London: Routledge. eBook ISBN9781003323792.
14. European Commission (2018). A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection Between Economy, Society and the Environment (COM(2018) 673); Brussels: Publications Office of the European Union.
15. European Commission (2021). Communication from the Commission to the European Parliament and the Committee of the Regions. Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil'. Brussels, 12.5.2021, COM(2021) 400 final.
16. Fernandes, C. I., Veiga, P. M., Ferreira, J. J., Hughes, M. (2021). Green growth versus economic growth: Do sustainable technology transfer and innovations lead to an imperfect choice?. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2021-2037. <https://doi.org/10.1002/bse.2730>
17. Firbank, L. G. (2020). Towards the sustainable intensification of agriculture—a systems approach to policy formulation. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 7(1), 81-89. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019291>
18. Fitzpatrick, J. J. (2020). Target Ecological Limits and Not Economic Growth. *World*, 1(2), 135-148. <https://doi.org/10.3390/world1020011>
19. Fuglie, K. (2015). Accounting for growth in global agriculture. *Bio-based and applied economics*, 4(3), 201-234. <https://doi.org/10.13128/BAE-17151>

20. Guo, H., Xu, S., Pan, C. (2020). Measurement of the Spatial Complexity and Its Influencing Factors of Agricultural Green Development in China. *Sustainability*, 12(21), 9259. <https://doi.org/10.3390/su12219259>
21. Hák, T., Sidorov, E., Hájek, M. (2014). Green Growth in the Czech Republic. Selected Indicators 2013. Prague: Czech Statistical Office.
22. Hooper, T., Ashley, M., Börger, T., Langmead, O., Marcone, O., Rees, S., ... , Austen, M. (2018). Application of the natural capital approach to the marine environment to aid decision-making. *Report Prepared for the Department for Environment Food and Rural Affairs* (Project Code ME5115), 109.
23. Huang, X., Feng, C., Qin, J., Wang, X., Zhang, T. (2022). Measuring China's agricultural green total factor productivity and its drivers during 1998–2019. *Science of the Total Environment*, 829, 154477. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154477>
24. Jumbri, I. A., Islam, M., Managi, S. (2019). Inclusive wealth adjusted by total factor productivity as a sustainability measurement: Global productivity analysis. In *Wealth, Inclusive Growth and Sustainability* (pp. 135-166). Routledge. eBook ISBN9780429400636.
25. Kasztelan, A. (2020). Towards Green Growth: A Taxonomic Analysis Based on the Headline Indicators. *European Research Studies*, 23, 749-759. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/77266>
26. Kasztelan, A., Nowak, A. (2021). Construction and Empirical Verification of the Agri-Environmental Index (AEI) as a Tool for Assessing the Green Performance of Agriculture. *Energies*, 14(1), 45. <https://doi.org/10.3390/en14010045>
27. Kasztelan, A., Nowak, A., Hawlena, J. (2019). Green growth in agriculture in the European Union: myth or reality?. *European Research Studies Journal*, 22(4), 35-48. <https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/49110>
28. Kaufmann, B., Hensel, O. (2017). Sustainable Agriculture. In *Sustainable Development Policy: A European Perspective*, 316-336. Routledge. ISBN 9781315269177.
29. Kimura, S., Sauer, J. (2015). Dynamics of dairy farm productivity growth: Cross-country comparison. OECD. *Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 87, Paris: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5jrw8fbbzf71-en>
30. Kryszak, Ł., Świerczyńska, K., Staniszewski, J. (2021). Measuring total factor productivity in agriculture: a bibliometric review. *International Journal of Emerging Markets*. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-04-2020-0428>
31. Li, Z., Jin, M., Cheng, J. (2021). Economic growth of green agriculture and its influencing factors in china: Based on emergy theory and spatial econometric model. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), 15494-15512. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01307-1>
32. Liu, D., Zhu, X., Wang, Y., (2021). China's agricultural green total factor productivity based on carbon emission: An analysis of evolution trend and influencing factors. *Journal of Cleaner Production*, 278(1), 123692, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123692>
33. Liu, G. (2020). *On the measurement of productivity growth in the Norwegian National Accounts*. <http://hdl.handle.net/11159/4463>
34. Maraseni, T., An-Vo, D. A., Mushtaq, S., Reardon-Smith, K. (2021). Carbon smart agriculture: An integrated regional approach offers significant potential to increase profit and resource use efficiency, and reduce emissions. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124555>
35. Megyesiova, S. (2021). Production, employment and productivity of agricultural sector in the European Union. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 27(5), 846-858.
36. Nanere, M., Fraser, I., Quazi, A., D'Souza, C. (2007). Environmentally adjusted productivity measurement: An Australian case study. *Journal of environmental management*, 85(2), 350-362. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.10.004>
37. Nathaniel, S. P. (2021). Environmental degradation in ASEAN: assessing the criticality of natural resources abundance, economic growth and human capital. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21766-21778. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12034-x>

38. Nogueira, M. C., Madaleno, M. (2021). Are International Indices Good Predictors of Economic Growth? Panel Data and Cluster Analysis for European Union Countries. *Sustainability*, 13(11), 6003. <https://doi.org/10.3390/su13116003>
39. Nowak, A., Kubik, R. (2019). Changes in agricultural productivity in new and old member states of the European Union. *European Research Studies Journal*, 22(4), 101-114.
40. Obst, C., Eigenraam, M. (2017). Incorporating the environment in agricultural productivity: applying advances in international environmental accounting. In *New Directions in Productivity Measurement and Efficiency Analysis*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781786432421.00011>
41. Panchasara, H., Samrat, N. H., Islam, N. (2021). Greenhouse gas emissions trends and mitigation measures in australian agriculture sector—a review. *Agriculture*, 11(2), 85. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020085>
42. Popescu, A., Tindeche, C., Marcuta, A., Marcuta, L., Hontus, A., Angelescu, C. (2021). Labor force in the European Union agriculture. *Traits and tendencies: economic analysis*, 21(2), 475-486. E-ISSN 2285-3952
43. Reza Anik, A., Rahman, S., Sarker, J. R. (2020). Five decades of productivity and efficiency changes in world agriculture (1969–2013). *Agriculture*, 10(6), 200. <https://doi:10.3390/agriculture10060200>
44. Rodríguez, M. C., Haščič, I., Souchier, M. (2018a). Environmentally Adjusted Multifactor Productivity: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries. *OECD Green Growth Papers*, No. 2018/02. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.015>
45. Rodríguez, M. C., Haščič, I., Souchier, M. (2018b). Environmentally adjusted multifactor productivity: methodology and empirical results for OECD and G20 countries. *Ecological economics*, 153, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.015>
46. Roser, M. (2013). *Economic growth. Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/economic-growth>
47. Simicevic, V., Zoroja, J., Pejic Bach, M. (2012). Cluster Analysis of Internet Usage in European Countries. *Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium*, 23(1), 525-528. ISSN 2304-1382.
48. Sredojević, D., Cvetanović, S., Bošković, G. (2016). Technological changes in economic growth theory: neoclassical, endogenous, and evolutionary-institutional approach. *Economic Themes*, 54(2), 177-194. <https://doi.org/10.1515/ethemes-2016-0009>
49. Steensland, A., Zeigler, M. (2021). Productivity in agriculture for a sustainable future. In *The Innovation Revolution in Agriculture*, pp. 33-69. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-50991-0>
50. Stevens, C. (2011). *Agriculture and Green Growth*. <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/48289829.pdf>
51. Sun, X. (2022). Analysis of green total factor productivity in OECD and BRICS countries: based on the Super-SBM model. *Journal of Water and Climate Change*, 13(9), 3400-3415. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.149>
52. Tan, D., Adedoyin, F. F., Alvarado, R., Ramzan, M., Kayesh, M. S., Shah, M. I. (2022). The effects of environmental degradation on agriculture: Evidence from European countries. *Gondwana Research*, 106, 92-104. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.12.009>
53. Tijjani, A., Khairulmazmi, A. (2021). Global Food Demand and the Roles of Microbial Communities in Sustainable Crop Protection and Food Security: An Overview. In: Seneviratne, G., Zahir, J.S. (eds). *Role of Microbial Communities for Sustainability. Microorganisms for Sustainability*, 29, 81-107. Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9912-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9912-5_4)
54. USDA (2021). International Agricultural Productivity: Documentation and Methods. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/documentation-and-methods/>
55. Weltin, M., Hüttel, S. (2019). Farm eco-efficiency: can sustainable intensification make the difference? *FORLand-Working Paper*, No. 10. <https://doi.org/10.18452/20221>
56. Xiao, S., He, Z., Zhang, W., Qin, X. (2022). The Agricultural Green Production following the Technological Progress: Evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 9876. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169876>
57. Xiao, Y., Tang, H. (2018). Evaluation of the Green Sustainable Development Ability of Chengdu Agriculture Based on Entropy Method. *DEStech Transactions on Economics, Business and Management*, 3rd

- International Conference on Society Science and Economics Development (ICSSED), 153-159. ISBN: 978-1-60595-031-0
58. Xu, X., Huang, X., Huang, J., Gao, X., Chen, L. (2019). Spatial-temporal characteristics of agriculture green total factor productivity in China, 1998–2016: based on more sophisticated calculations of carbon emissions. *International journal of environmental research and public health*, 16(20), 3932. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203932>
59. Yang, Z., Gao, W., Li, J. (2022). Can Economic Growth and Environmental Protection Achieve a “Win–Win” Situation? Empirical Evidence from China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 9851. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169851>
60. Yap, B. W., Sim, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141-2155. <https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163>

## Priedai

**1 priedas.** Bendrosios pridėtinės vertės ir grynojo išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio vidutinis metinis augimas ( $\pm$ proc.) ES šalių žemės ūkyje

	BPV <sub>real</sub> *		ŠESD <sub>gr</sub> **	
	2005-2009	2015-2019	2005-2009	2015-2019
Suomija	0,81	15,70	0,23	1,10
Belgija	0,60	13,55	-0,33	-0,08
Liuksemburgas	-4,89	13,21	0,35	0,55
Vokietija	-1,11	12,87	-0,56	-1,10
Danija	-3,67	12,59	-1,05	1,17
Latvija	-13,59	10,49	-0,51	0,43
Rumunija	-7,18	9,35	-1,36	-3,63
Lenkija	-5,23	9,26	0,50	0,45
Kroatija	5,84	8,40	-3,91	-0,47
Slovakija	-22,84	6,63	-5,97	0,39
Čekija	-14,65	4,88	-1,88	-1,7
<b>ES vidurkis</b>	<b>-6,27</b>	<b>4,35</b>	<b>-0,37</b>	<b>0,34</b>
Austrija	-0,22	4,01	-0,14	-0,18
Lietuva	-6,88	3,74	3,85	-1,04
Nyderlandai	-6,31	3,47	-0,35	-1,29
Slovėnija	-9,08	3,07	0,14	1,22
Airija	-28,94	2,55	-1,54	-0,54
Kipras	-0,18	2,23	-3,19	10,36
Portugalija	-3,09	1,77	-4,40	0,31
Vengrija	-11,12	1,12	-1,97	2,54
Bulgarija	-11,87	1,04	21,83	-0,54
Prancūzija	-11,83	0,11	0,69	-1,06
Ispanija	-7,87	0,08	-0,85	0,40
Jungtinė Karalystė	9,49	0,06	-1,74	-0,32
Italija	-1,45	-0,06	-2,46	0,51
Estija	-14,11	-1,93	-1,37	1,63
Graikija	-7,07	-2,52	-1,54	-0,60
Malta	5,17	-2,87	-2,45	-0,71
Švedija	-4,30	-10,88	-0,47	1,63

Šaltinis: \*apskaičiuota naudojant Eurostato Žemės ūkio ekonominių sąskaitų duomenis ir 2005 m. defliatoriaus koeficientus; \*\* apskaičiuota naudojant Eurostato aplinkos statistikos duomenis

**2 priedas.** Duomenų normalumo testas

Kintamieji	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> testas			Shapiro-Wilk testas		
	statistika	df	reikšmingumo lygmuo	statistika	df	reikšmingumo lygmuo
<i>2005–2009 m.</i>						
$\partial \ln\_BPV_{real}$	0,15	28	0,099	0,91	28	0,020
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln\_BPV_{real}$	0,15	28	0,113	0,95	28	0,150
$\partial \ln\_ŠESD_{gr}$	0,35	28	0,000	0,56	28	0,000
$\partial \ln\_D$	0,14	28	0,169	0,93	28	0,069
$\partial \ln\_K$	0,23	28	0,001	0,83	28	0,000
$\partial \ln\_G$	0,39	28	0,000	0,38	28	0,000
$\partial \ln\_ADGVN$	0,13	28	0,200*	0,94	28	0,124
<i>2015–2019 m.</i>						
$\partial \ln\_BPV_{real}$	0,13	28	0,200*	0,98	28	0,726
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln\_BPV_{real}$	0,12	28	0,200*	0,98	28	0,777
$\partial \ln\_ŠESD_{gr}$	0,21	28	0,002	0,92	28	0,026
$\partial \ln\_D$	0,16	28	0,077	0,85	28	0,001
$\partial \ln\_K$	0,12	28	0,200*	0,95	28	0,225
$\partial \ln\_G$	0,13	28	0,000	0,95	28	0,018
$\partial \ln\_ADGVN$	0,10	28	0,200*	0,97	28	0,531

*Pastabos:* <sup>a</sup>Lillieforsio reikšmės korekcija; \*apatinė tikrosios reikšmės riba; \*\*reikšmingumo lygmens riba, kai  $p \geq 0,05$

*Šaltinis:* apskaičiuota naudojant SPSS statistinį paketą

**3 priedas.** Grupių vidurkių lygybės testas

Kintamasis	Testas	Statistika*	Laisvės laipsniai		Sig.
			df1	df2	
<i>2005–2009 m.</i>					
$\partial \ln\_BPV_{real}$	Welch	28,85	2	10,35	0,000
	Brown–Forsythe	30,92	2	7,41	0,000
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln\_BPV_{real}$	Welch	30,06	2	10,90	0,000
	Brown–Forsythe	49,87	2	10,52	0,000
$\partial \ln\_ŠESD_{gr}$	Welch	1,09	2	7,44	0,384
	Brown–Forsythe	1,62	2	6,86	0,265
$\partial \ln\_D$	Welch	0,62	2	12,54	0,555
	Brown–Forsythe	1,03	2	22,34	0,374
$\partial \ln\_K$	Welch	1,69	2	13,74	0,221
	Brown–Forsythe	1,26	2	21,67	0,305
$\partial \ln\_G$	Welch	1,55	2	9,78	0,260
	Brown–Forsythe	2,04	2	18,55	0,158
$\partial \ln\_ADGVN$	Welch	29,39	2	10,55	0,000
	Brown–Forsythe	26,14	2	7,42	0,000

Kintamasis	Testas	Statistika*	Laisvės laipsniai		Sig.
			df1	df2	
2015–2019 m.					
$\partial \ln_{BPV}_{real}$	Welch	26,92	2	6,64	0,000
	Brown–Forsythe	32,19	2	7,86	0,000
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln_{BPV}_{real}$	Welch	26,08	2	6,65	0,000
	Brown–Forsythe	31,99	2	8,08	0,000
$\partial \ln_{\text{ŠESD}}_{gr}$	Welch	0,53	2	10,60	0,603
	Brown–Forsythe	0,18	2	5,14	0,842
$\partial \ln_D$	Welch	2,64	2	11,99	0,112
	Brown–Forsythe	2,88	2	12,61	0,094
$\partial \ln_K$	Welch	0,44	2	9,78	0,658
	Brown–Forsythe	0,16	2	7,50	0,857
$\partial \ln_G$	Welch	0,71	2	9,76	0,516
	Brown–Forsythe	0,87	2	5,28	0,470
$\partial \ln_{ADGVN}$	Welch	23,70	2	6,96	0,000
	Brown–Forsythe	33,13	2	12,25	0,000

Šaltinis: apskaičiuota naudojant SPSS statistinį paketą

#### 4 priedas. Dispersinė analizė

Kintamasis		Kvadratų suma	Laisvės laipsniai	Kvadratų vidurkis	F statistika	Reikšmingumo lygmuo
2005–2009 m.						
$\partial \ln_{BPV}_{real}$	tarp grupių	45,61	2	22,81	48,06	0,000
	grupėje	11,86	25	0,47		
	iš viso	50,88	27			
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln_{BPV}_{real}$	tarp grupių	42,73	2	21,37	65,95	0,000
	grupėje	8,10	25	0,32		
	iš viso	50,83	27			
$\partial \ln_{\text{ŠESD}}_{gr}$	tarp grupių	0,08	2	0,04	0,34	0,715
	grupėje	3,00	25	0,12		
	iš viso	3,08	27			
$\partial \ln_D$	tarp grupių	0,10	2	0,05	3,43	0,048
	grupėje	0,37	25	0,01		
	iš viso	0,47	27			
$\partial \ln_K$	tarp grupių	2,364	2	0,788	39,501	0,000
	grupėje	0,479	25	0,020		
	iš viso	2,843	27			
$\partial \ln_G$	tarp grupių	0,00	2	0,00	1,65	0,212
	grupėje	0,03	25	0,00		
	iš viso	0,03	27			
$\partial \ln_{ADGVN}$	tarp grupių	38,56	2	19,43	40,43	0,000
	grupėje	12,02	25	0,48		
	iš viso	5,775	27			

Kintamasis		Kvadratų suma	Laisvės laipsniai	Kvadratų vidurkis	F sta- tistika	Reikšmingu- mo lygmuo
<i>2015–2019 m.</i>						
$\partial \ln_{BPV}_{real}$	tarp grupių	16,85	2	8,42	47,35	0,000
	grupėje	4,45	25	0,18		
	iš viso	21,30	27			
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln_{BPV}_{real}$	tarp grupių	17,37	2	8,68	46,32	0,000
	grupėje	4,69	25	0,19		
	iš viso	22,06	27			
$\partial \ln_{\text{ŠESD}}_{gr}$	tarp grupių	0,01	2	0,00	2,33	0,118
	grupėje	0,05	25	0,00		
	iš viso	0,06	27			
$\partial \ln_D$	tarp grupių	0,02	2	0,01	0,62	0,547
	grupėje	0,39	25	0,02		
	iš viso	0,41	27			
$\partial \ln_K$	tarp grupių	0,07	2	0,04	0,92	0,410
	grupėje	1,01	25	0,04		
	iš viso	1,08	27			
$\partial \ln_G$	tarp grupių	0,00	2	0,00	1,75	0,195
	grupėje	0,00	25	0,00		
	iš viso	0,00	27			
$\partial \ln_{ADGVN}$	tarp grupių	20,33	2	10,17	38,09	0,000
	grupėje	6,67	25	0,27		
	iš viso	27,00	27			

Šaltinis: apskaičiuota naudojant SPSS statistinį paketą

### 5 priedas. Benferroni testas klasterių tarpusavio reikšmingumui nustatyti

Kintamieji		Vidurkių skirtumas	St. klaida	Sig.	95% pasiklovimo intervalas		
					apatinė riba	viršutinė riba	
<i>2005–2009 m.</i>							
$\partial \ln_{ADGVN}$	1	2	3,21*	0,36	0,000	2,30	4,13
		3	1,35*	0,3	0,000	0,58	2,11
	2	1	-3,21*	0,36	0,000	-4,13	-2,30
		3	-1,87*	0,35	0,000	-2,76	-0,98
	3	1	-1,35*	0,3	0,000	-2,11	-0,58
		2	1,87*	0,35	0,000	0,98	2,76
$\partial \ln_{BPV}_{real}$	1	2	3,49*	0,36	0,000	2,57	4,40
		3	1,23*	0,3	0,001	0,47	1,99
	2	1	-3,49*	0,36	0,000	-4,40	-2,57
		3	-2,26*	0,34	0,000	-3,14	-1,37
	3	1	-1,23*	0,3	0,001	-1,99	-0,47
		2	2,26*	0,34	0,000	1,37	3,14

Kintamieji		Vidurkių skirtumas	St. klaida	Sig.	95% pasiklovimo intervalas		
					apatinė riba	viršutinė riba	
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln\_BPV_{real}$	1	2	3,38*	0,3	0,000	2,62	4,13
		3	1,26*	0,24	0,000	0,64	1,89
	2	1	-3,38*	0,3	0,000	-4,13	-2,62
		3	-2,12*	0,29	0,000	-2,85	-1,38
	3	1	-1,26*	0,24	0,000	-1,89	-0,64
		2	2,12*	0,29	0,000	1,38	2,85
<i>2015–2019 m.</i>							
$\partial \ln\_ADGVN$	1	2	1,37*	0,21	0,000	0,83	1,92
		3	2,45*	0,31	0,000	1,67	3,23
	2	1	1,34*	0,21	0,000	-1,92	-0,83
		3	1,08*	0,29	0,003	0,32	1,83
	3	1	2,45*	0,31	0,000	-3,23	-1,67
		2	1,08*	0,29	0,003	-1,83	-0,32
$\partial \ln\_BPV_{real}$	1	2	1,24*	0,18	0,000	0,80	1,69
		3	2,24*	0,25	0,000	1,60	2,88
	2	1	1,24*	0,18	0,000	-1,69	-0,80
		3	0,99*	0,24	0,001	0,38	1,61
	3	1	2,24*	0,25	0,000	-2,88	-1,60
		2	0,99*	0,24	0,001	-1,61	-0,38
dėl aplinkos taršos pakoreguotas $\partial \ln\_BPV_{real}$	1	2	1,24*	0,18	0,000	0,78	1,70
		3	2,29*	0,26	0,000	1,63	2,94
	2	1	1,24*	0,18	0,000	-1,70	-0,78
		3	1,05*	0,25	0,001	0,42	1,68
	3	1	2,29*	0,26	0,000	-2,94	-1,63
		2	1,05*	0,25	0,001	-1,68	-0,42

\*statistiškai reikšmingi vidurkių skirtumai, kai reikšmingumo lygmuo  $p \leq 0,05$

Šaltinis: sudaryta naudojant SPSS statistinį paketą.