

ENERGIJOS VARTOJIMO IR ŠILTNAMIO EFEKTĄ SUKELIANČIŲ DUJŲ IŠMETIMO BALTIJOS ŠALIŲ ŽEMĖS ŪKYJE VERTINIMO TEORINIAI ASPEKTAI IR METODIKA

Sandra TRUČINSKAITĖ, Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, bioekonomikos plėtros fakultetas, el. paštas: sandra.trucinskaite@vdu.lt

Santrauka

Pagrindinis straipsnio tikslas buvo energijos vartojimo ir ŠESD emisijos žemės ūkyje metodika, kuri padėtų nustatyti šių reiškinų tendencijas ir įvertinti pokyčius, kartu atskleidžiant ryšį tarp energijos suvartojimo ir ŠESD emisijos. Analizei buvo pasitelkta mokslinės literatūros, sisteminė ir lyginamoji analizė, apibendrinimas, grafinio vaizdavimo metodai. Energijos vartojimo žemės ūkyje ir ŠESD emisijos, susijusios su energijos vartojimu, pokyčiams analizuoti mokslininkai siūlo LMDI dekompozicinės analizės metodą. Šis metodas pasižymi naudojimo paprastumu ir rezultatų pateikimo aiškumu. Dekompozicijos analizė leidžia geriau suprasti įvairių veiksnių įtaką energijos vartojimui ir ŠESD emisijai.

Reikšminiai žodžiai: energijos suvartojimas, žemės ūkis, ŠESD emisija, dekompozicinė analizė.

Įvadas

Energijos vartojimas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų (toliau ŠESD) emisija yra tiesiogiai susiję su žmogaus ūkine veikla. Tai šalutinis ūkinės veiklos padarinys. Energijos suvartojimas ir su energija susijęs ŠESD išmetimas iš žemės ūkio kelia didelį susirūpinimą politikos formuotojams, nes žemės ūkio veikla turi atitikti aprūpinimo maistu tikslus ir turėti tinkamą ekonominę, aplinkos ir socialinę poveikį. Atlikti tyrimai rodo, kad ūkiai yra atsakingi už maždaug 16–27 proc. visų antropogeninių teršalų (Mbow ir kt., 2017). Svarbu paminėti, kad žemės ūkio sektoriaus reikšmė šalies ekonomikai Baltijos šalyse yra didesnė negu vidutiniškai ES-28 šalių vidurkis (Pesliakaitė, 2020). Energetika, žemės ūkis ir klimato kaita yra glaudžiai susiję. Dėl didėjančio iškastinės energijos naudojimo žemės ūkyje didėja žemės ūkio sektoriaus išmetamo ŠESD kiekis, o tai daro įtaką klimato kaitai. Nepaisant mokslinių darbų, kuriuose akcentuojamas energijos vartojimas ir ŠESD emisijos problema žemės ūkyje, svarbu įvertinti žemės ūkyje naudojamą energijos ir ŠESD emisijos kiekio pokytį ir šių pokyčių priežastis. Baltijos šalių požiūriu, ši tema nėra išplėtotą.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti energijos vartojimo ir ŠESD emisijos, susijusios su energijos vartojimu, teorinius aspektus ir jų vertinimą.

Tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti žemės ūkyje naudojamos energijos rūšis ir sąnaudas;
2. Identifikuoti energijos vartojimo žemės ūkyje ir ŠESD emisijos, susijusios su energijos vartojimu, vertinimo metodus.

Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimo objektas – žemės ūkyje sunaudojama energija ir ŠESD emisija, susijusi su energijos vartojimu, Baltijos šalyse. Siekiant išanalizuoti energijos vartojimo ir ŠESD emisijos, susijusios su energijos vartojimu, vertinimo metodus, pasitelkta mokslinės literatūros analizė, sisteminimas, grafinio vaizdavimo metodas ir apibendrinimas.

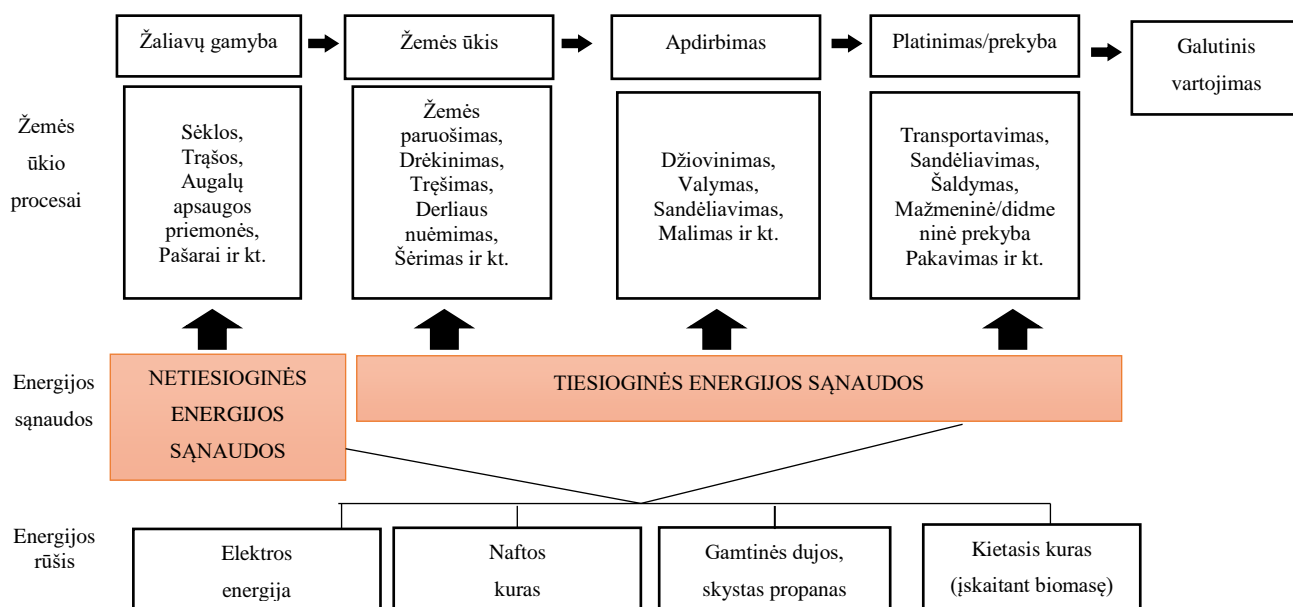
Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Energijos suvartojimas žemės ūkyje gali būti: tiesioginis – kai energija naudojama transporto priemonėms, mašinoms, infrastruktūrai žemės ūkyje (pvz., dyzelinis kuras, kuris naudojamas traktoriuose; elektra, naudojama patalpų apšvietimui ar gamybos prietaisams ir t. t.) ir netiesioginis – kai energija naudojama trąšoms, pesticidams, fungicidams ir kitoms žemės ūkyje naudojamiems cheminėms medžiagoms gaminti. Energija naudojama visuose žemės ūkio veiklos etapuose – nuo gamybos iki prekybos (žr. 1 pav.). Energijos sąnaudas galima sumažinti visuose žemės ūkio procesuose, kuriuose ji naudojama, pvz., pakeitus technologiją ar gerinant valdymą ir veiklą. Kaip matyti 1 pav., žaliavoms, t. y. sėkloms, trąšoms, pašarams, augalų apsaugos priemonėms gaminti energija naudojama netiesiogiai. Žaliavų gamyba (trąšos, sėklos, augalų apsaugos priemonės ir kt.) turi didelį taupymo potencialą, nes yra alternatyvių būdų. Vienas iš jų yra dirvožemio kokybės gerinimas taikant sėjomainą (pvz., sodinant ankštinius augalus arba dirvos įdirbimas be arimo). Žemės ūkio produkcijos gamyba apima tokią veiklą: žemės paruošimas, drėkinimas, tręšimas, derliaus nuėmimas, šėrimas

ir t. t., kuriam naudojama tiesioginė elektros energija. Šiame etape reikalingas didelis energijos vartojimo efektyvumas ir atsinaujinančių šaltinių energija. Pavyzdžiui, šiltnamio šildymas gali būti būtinas išstisus metus auginant vaisius, daržoves ar gėles. Pasak Bundschuh ir Chen (2014), modernių šildymo sistemų techninių elementų ir veikimo patobulinimai gali sumažinti energijos suvartojimą 15–40 proc. Apdirbimo etape (džiovinimas, valymas, sandėliavimas ir t. t.) naudojamos elektros energijos sąnaudos yra tiesioginės. Platinimas / prekyba apima šias veiklas: transportavimą, sandėliavimą, šaldymą, pakavimą, platinimą ir mažmeninę prekybą. Čia taip pat naudojamos tiesioginės energijos sąnaudos. Šioms veikloms sunaudojami dideli energijos kiekiai, todėl energijos vartojimo efektyvumo priemonės ir atsinaujinantys energijos šaltiniai yra labai svarbūs. Mažos maisto perdirbimo įmonės dažnai naudoja pasenusias technologijas, dėl to suvartoja daugiau energijos, nei reikia. Gerai prižiūrint senesnius perdirbimo įrenginius galima sutaupyti 10–20 proc. energijos, neinvestuojant į naują kapitalą (Sims ir kt., 2015).

Žemės ūkyje sunaudojama energija (1 pav.) gali būti skirstoma į keletą rūšių:

- 1) elektros energija (aušinimas, gyvulininkystės prietaisų naudojimas, automatinės šėryklos, apšvietimas ir t. t.);
- 2) naftos kuras, kuris daugiausia naudojamas transporto priemonėms (traktoriams) laukų darbams, žemės ūkyje naudojama traktorių alyva ir tepalai;
- 3) gamtinės dujos / skystas propanas – naudojami aušinimo įrangai, dažnai šiltnamiams apšildyti ir pan.;
- 4) kietasis kuras (įskaitant biomasę) – šildant žemės ūkio paskirties pastatus, šiltnamius ir t. t.



1 pav. Energijos sąnaudos ir rūšys žemės ūkio procesuose
Fig. 1. Energy consumption and types in agricultural processes

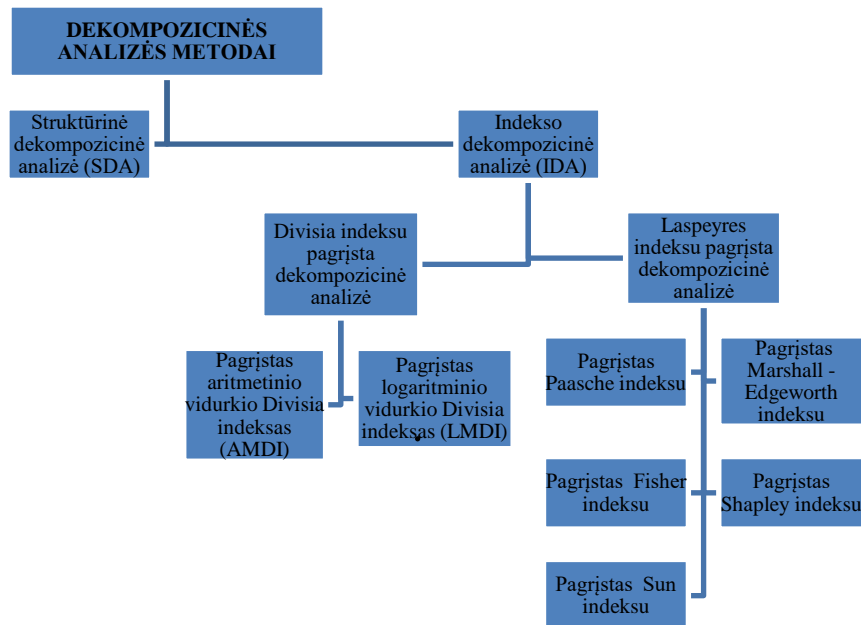
Atsinaujinantys energijos ištekliai, jų efektyvus naudojimas ir plėtra yra vienas esminių darnios nacionalinės energetikos strategijos tikslų, kurių įgyvendinimas mažina priklausomybę nuo iškastinio kuro importo, didina energijos tiekimo patikimumą ir mažina šiltnamio reiškinį sukeliančių dujų emisiją į atmosferą (Marčiukaitis ir kt., 2016). Žemės ūkio veikloje susidarantis produkcijos perteklius skatina ieškoti galimybių, kaip sumažinti aplinkos taršą ir kaip efektyviai jį panaudoti. Vienas iš būdų – biomasės gamyba. 2012 m. ES iš žemės ūkio žaliavų buvo pagaminta 14 proc. biomasės (Kluts ir kt., 2017). Ši energija gali patenkinti didelę dalį šalies energijos poreikių, kartu didinant energetinę nepriklausomybę ir mažinant taršą. Didžioji dalis ES žemės ūkyje pagaminamos biomasės naudojama biodujų gamybai arba yra žaliava biodyzelinui bei bioetanoliui gaminti.

Biomasė gaunama iš tokių organinių medžiagų kaip:

- 1) žemės ūkio atliekos – vykdant žemės ūkio veiklą, susidaro didelis kiekis atliekų, tokių kaip stiebai, šaknys, sėklos, kurios paprastai išmetamos arba sudeginamos, tačiau tai yra potencialiai vertinga žaliava biomasei. Dauguma pasėlių likučių paliekami tame pačiame lauke, siekiant sumažinti dirvos eroziją ir grąžinti maistines medžiagas į dirvą, tačiau, pvz., gyvulininkystės veikloje gaunamas mėšlas gali būti puiki alternatyva energijos gamybai (biomasei), kuri ne tik sumažins utilizavimo išlaidas ūkyje, bet ir taršą;
- 2) energetiniai augalai – šie augalai gali būti auginami tokiais pat dideliais kiekiais, kaip ir maistiniai augalai. Dažniausiai energetiniai augalai pasižymi greitu augimu, trumpa rotacija ir yra nuimami per 5–8 metus nuo pasodinimo, pvz. bambukas, miskantas, medvilnė, graikinis riešutas ir kt.;
- 3) žolės – tai labai perspektyvus energetinis augalas, kadangi jis duoda didelį derlių ir gali būti nuimamas kasmet;
- 4) medžiai – greitai augantys medžiai, kuriuos nukirtus, jie labai greitai atauga;
- 5) aliejiniai augalai – kurui gaminti gali būti naudojamas aliejus iš augalų, tokių kaip sojos pupelės, saulėgražos, linų sėmenys ir kt.

Žemės ūkio procesuose naudojama tiesioginė ir netiesioginė energija. Žemės ūkio veiklai naudojama žemė gauna daugiau energijos, nei jos sukaupia. Tai rodo, kad energijos vartojimas žemės ūkio veikloje gali būti tobulinamas didinant energijos naudojimo efektyvumą. Žemės ūkio produkcija ir jos atliekos, kurios gali būti panaudojamos biomasės gamyboje, galėtų padėti pakeisti iškastinį kurą (biomasės kuras yra pigesnis už iškastinį), padidinti energijos vartojimo efektyvumą, sumažinti ūkio išlaidas bei neigiamą poveikį aplinkai.

Siekiant įvertinti energijos vartojimą žemės ūkyje ir ŠESD emisijas, susijusias su energijos vartojimu, pokyčius, mokslininkai dažnai siūlo taikyti dekompozicines analizės metodus. Dažniausiai naudojami du pagrindiniai laiko eilučių dekompozicijos metodai: struktūrinė dekompozicinė analizė (toliau SDA) ir indekso dekompozicinė analizė (toliau IDA). Dekompozicijos metodų struktūra pateikta 2 pav.



2 pav. Dekompozicines analizės metodai
Fig. 2. Methods of decomposition analysis

Pagrindinis šių metodų skirtumas yra tai, kad SDA metodas remiasi įvesties-išvesties modeliu, o, taikant IDA metodą, naudojami suvestiniai duomenys sektoriaus lygiu. Įvesties-išvesties modelis leidžia analizuoti skirtingų ekonomikos sektorių tarpusavio priklausomybes. IDA metodas gali būti naudojamas ir tarptautiniu, ir nacionaliniu, ir sektoriaus lygiu. IDA metodo pranašumas prieš SDA yra mažesnis duomenų kiekis, tačiau tai kartu yra ir trūkumas, nes IDA metodas leidžia mažiau išskaidyti ekonominę struktūrą nei taikant SDA metodą. Taikant SDA metodą, galima atskirti įvairius technologinius ir galutinės paklausos padarinius, kurie neįmanomi IDA sistemoje (Hoekstra ir Van den Bergh, 2003). IDA metodas pagrįstas indeksų skaičiavimu, jį taikant reikia mažiau duomenų, todėl šis metodas naudojamas atliekant erdvinę ir laiko eilučių analizę (Liu et al., 2012). Be to, IDA metodas pasižymi didesne rodiklių formų įvairove, matematinėmis (sudėtinėmis ir dauginamosiomis) specifیکacijomis ir indeksais (Hoekstra ir Van Den Bergh, 2002). Taikant SDA metodą, reikalingi dideli statistinių duomenų kiekiai, kuriuos gali būti sunku gauti ar rasti, taip pat naudojama pernelyg sudėtinga metodika, palyginus su IDA.

Paprasto atsakymo, kuris metodas tinkamiausias, nėra. Tačiau teoriniu požiūriu galima įrodyti, kad vienas metodas yra pranašesnis prieš kitą. Renkantis metodą dažniausiai atsižvelgiama į keturis elementus: teorinį pagrindą, pritaikomumą, naudojimo paprastumą bei rezultatų pateikimo paprastumą.

Iš 2 pav. matyti, kad IDA metodas skirstomas į Laspeyres ir Divisia tipus. Laspeyres indeksu pagrįsta dekompozicinė analizė apima Paasche, Marshall-Edgeworth, Fisher, Shapley ir Sun indeksus (Qu, 2020). Divisia indeksu pagrįsta dekompozicinė analizė apima aritmetinio vidurkio Divisia indeksą (AMDI) ir logaritminio vidurkio Divisia indeksą (LMDI). Dekompozicinė analizė, atliekama naudojant logaritminio vidurkio Divisia indeksą, kaip ir taikant Laspeyres indeksu pagrįstą dekompozicinę analizę, gali būti atliekama adityviaja arba dauginamąja formomis.

Hoekstra ir van den Bergh (2003) išskiria tris dekompozicinei analizei būdingas savybes:

- 1) užbaigtumas (ang. *completeness*); ši savybė reiškia, kad, taikant IDA metodą, neatsiranda jokių liekamųjų verčių, t. y. tam tikro rodiklio pokytis yra visiškai išskaidomas. Adityviosios dekompozicines analizės likutinė vertė turėtų būti lygi 0, o dauginamosios – 1;
- 2) laikotarpio pasikeitimas (ang. *time reversal*) rodo, kad jei determinantų laikotarpiai būtų pakeisti, dekompozicinė analizė duotų tokį patį atvirkštinį rezultatą. Laspeyres indeksui nebūdinga laikotarpio pasikeitimo savybė;
- 3) nulines vertės patikimumas (ang. *zero value robustness*); ši savybė rodo, kad IDA metodas geba apdoroti nulines duomenų rinkinio vertes. Anot Ang, Zhang ir Choi (1998), taikant LMDI metodą būtų gauti patikimi rezultatai, jei nulines duomenų reikšmės būtų pakeistos labai mažais skaičiais.

Visos šios trys savybės būdingos LMDI metodui.

Su energijos suvartojimu susijusių ŠESD emisijų pokyčius galima vertinti atsižvelgiant į tris veiksnius – bendrą žemės ūkio veiklą (veiklos efektas), veiklos rūšių derinį (struktūros efektas) ir sektorių energijos intensyvumą (intensyvumo efektas). Tiriant tik vieną sektorių, pvz., žemės ūkį, struktūros efektas praleidžiamas (pašalinamas).

Bendras energijos suvartojimas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$E = Q \frac{E}{Q} = Q \times I, \quad (1)$$

čia E – bendras energijos suvartojimas žemės ūkio sektoriuje arba ŠESD emisija žemės ūkyje; Q – bendras ekonominės veiklos lygis; I – energijos intensyvumas; jei tiriamos ŠESD emisijos – ŠESD emisijų intensyvumas.

Taikant IDA metodą gali būti naudojami adityvusis ir dauginamosios dekompozicinės analizės būdai. Adityviosios dekompozicinės analizės metu apskaičiuojami absoliutūs energijos suvartojimo arba ŠESD emisijų pokyčiai, o multiplikatyvinė, arba dauginamoji dekompozicinė, analizė leidžia išmatuoti santykinius pokyčius. Atliekant adityviąją dekompozicinę analizę, skaičiuojamas skirtumas tarp energijos suvartojimo (ŠESD emisijų) nagrinėjamo laikotarpio, kuriuos žymi E^T ir E^0 (2 formulė). Absoliutus energijos suvartojimo (ŠESD emisijų) pokytis apskaičiuojamas:

$$\Delta E = E^T - E^0 = \Delta E_Q + \Delta E_I. \quad (2)$$

Veiklos ir intensyvumo efektai apskaičiuojami pagal šias adityviosios dekompozicinės analizės formules:

$$\Delta E_Q = \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) ; \quad (3)$$

$$\Delta E_I = \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0} \ln \left(\frac{I^T}{I^0} \right) . \quad (4)$$

Dauginamoji dekompozicinė analizė leidžia įvertinti santykinę kiekvieno veiksnio įtaką energijos suvartojimo (ŠESD emisijų) pokyčiams:

$$D = \frac{E^T}{E^0} = D_Q \times D_I, \quad (5)$$

čia D – santykinis energijos suvartojimo (arba ŠESD emisijų) pokytis; Q – veiklos efektas; I – intensyvumo efektas.

Santykinius šių poveikių įverčius galima gauti naudojant dauginamąjį skaidymą:

$$D_Q = \frac{Q^T}{Q^0} ; \quad (6)$$

$$D_I = \frac{I^T}{I^0} . \quad (7)$$

Taikant LMDI dekompozicinės analizės metodą energijos vartojimo ir ŠESD emisijos pokyčiams vertinti, nelieka jokių liekamųjų verčių, kas rodo, kad rezultatai bus lengvai interpretuojami.

Išvados

Energija yra nepakeičiamas išteklius žemės ūkyje. Energija žemės ūkio sektoriuje naudojama visuose etapuose. Žemės ūkyje naudojama energija skirstoma į tiesiogines ir netiesiogines energijos sąnaudas. Vykstant žemės ūkio procesams sunaudojama įvairios rūšies energija. Energijos vartojimas glaudžiai susijęs ir su ŠESD emisija. CO² emisija sparčiai didėja su energijos vartojimu Baltijos šalyse.

Energijos vartojimo žemės ūkyje ir ŠESD emisijos, susijusios su energijos vartojimu, pokyčiams analizuoti gali būti taikomas dekompozicinės analizės metodas, kuris dar skirstomas į indekso ir struktūrinę dekompozicinę analizę. Renkantis, kuris metodas tinkamiausias, atsižvelgiama į teorinį analizės pagrindą, t. y., ar metodas gali būti pritaikytas turimiems duomenims, į tai, kad metodu turi būti patogiu ir paprastu naudotis ir kad rezultatai būtų aiškiai suprantami. Vertinant energijos vartojimo ir ŠESD emisijos pokyčius atsižvelgiama į tris veiksnius – veiklos, struktūros ir intensyvumo efektus, tiriant tik vieną sektorių struktūros efektas pašalinamas.

Literatūra

1. Ahmed, N., Thompson, S., Turchini, G. M. 2020. Organic aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security: insights from organic agriculture. *Food Security*, Vol. 12(6), p. 1253–1267.
2. Ang, B. W., Zhang, F. Q., Choi, K. H. 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, Vol. 23(6), p. 489–495.
3. Baležentis, A., Baležentis, T. 2011. Sustainable energy development: Energy consumption and greenhouse gas emissions in the Lithuanian agricultural sector. *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos*, Vol. (4), p. 81–91.
4. Bioenergy Technologies Office. (n.d.). U.S. Department of energy. Prieiga per internetą: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biomass-resources>

5. Bundschuh, J., Chen, G. (Eds.). 2014. *Sustainable energy solutions in agriculture*. CRC Press.
6. Hoekstra, R., & Van Den Bergh, J. C. (2002). Structural decomposition analysis of physical flows in the economy. *Environmental and resource economics*, Vol. 23(3), p. 357–378.
7. Hoekstra, R., Van den Bergh, J. C. 2003. Comparing structural decomposition analysis and index. *Energy economics*, Vol. 25(1), p. 39–64.
8. Kluts, I. N., Brinkman, M. L., Jong, S. A. D., Junginger, H. M. (201). Biomass resources: agriculture. *Biorefineries*, p. 13–26.
9. Liu, Z., Liang, S., Geng, Y., Xue, B., Xi, F., Pan, Y., . Fujita, T. 2012. Features, trajectories and driving forces for energy-related GHG emissions from Chinese mega cites: the case of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing. *Energy*, Vol. 37(1), p. 245–254.
10. Marčiukaitis, M., Dzenajavičienė, E. F., Kveselis, V., Savickas, J., Perednis, E., LISAUSKAS, A., ... ERLICKYTE-MARČIUKAITIENĖ, R. 2016. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo Lietuvoje patirtis, reikšmė ir siekiai. *Energetika*, No. 62(4).
11. Mbowa, H. O. P., Reisinger, A., Canadell, J., O'Brien, P. 2017. Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). *Ginevra, IPCC*, 650.
12. Pesliakaitė, V. (2020). Baltijos įsitraukimas į pasaulinės pridėtinės vertės grandines: panašumai ir skirtumai. VŠĮ „Versli Lietuva“. Prieiga per internetą: https://www.verslilietuva.lt/wp-content/uploads/2021/01/2020.12.31_GVC_report_final.pdf
13. Qu, S. 2020. The Decomposition Analysis of Carbon Emissions: Theoretical Basis, Methods and Their Evaluations. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, vol. 8(04), 2050020.
14. Sims, R., Flammini, A., Puri, M., Bracco, S. 2015. Opportunities for agri-food chains to become energy-smart. *FAO USAID*

THEORETICAL ASPECTS AND EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN BALTIC STATES AGRICULTURE

Summary

The main purpose of this article was to develop a methodology for energy consumption and GHG emissions in agriculture that would help identify trends in these phenomena and assess changes, while revealing the link between energy consumption and GHG emissions. Scientific literature, systematic and comparative analysis, generalization, graphical representation methods were used for the analysis. To analyze changes in energy consumption in agriculture and GHG emissions related to energy consumption, scientists are proposing a method of decomposition analysis of LMDI. This method is characterized by simple use and clarity in the presentation of results. Decomposition analysis provides a better understanding of the impact of various factors on energy consumption and GHG emissions.

Keywords: energy consumption, agriculture, GHG emission, decomposition analysis.