

VILNIAUS UNIVERSITETAS
EKONOMIKOS IR VERSLO ADMINISTRAVIMO FAKULTETAS

EKONOMINĖ ANALITIKA

Magistrantės Evelinos Akinytės
MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKYMAS IR EKONOMINIAI IŠŠŪKIAI LIETUVOJE	GREEN ENERGY PRINCIPLES AND ECONOMIC CHALLENGES IN LITHUANIA
--	---

Darbo vadovas:

prof. Dr. Gindrutė Kasnauskienė

Vilnius, 2025

TURINYS

IVADAS.....	6
1. TEORINIAI ŽALIOSIOS ENERGIJOS ASPEKTAI.....	7
1.1. Žaliosios energijos sampratos vystymasis	7
1.2. Atsinaujinančios energijos reikšmė Lietuvoje	9
1.3. Atsinaujinančios energijos principai Lietuvoje	11
1.3.1. Priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas	12
1.3.2. Energijos vartojimo efektyvumas.....	14
1.3.3. Energetinis saugumas	16
1.3.4. Energijos vidaus rinka.....	17
1.3.5. Mokslinių tyrimai ir inovacijos	19
1.4. Principų taikymo sėkmės ir nesėkmės	21
2. ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKymo IR EKONOMINIŲ IŠŠŪKIŲ LIETUVOJE EMPIRINIO TYRIMO METODIKA.....	24
2.1. Taikyti metodai literatūros šaltiniuose	24
2.2. Magistro darbe taikyta metodologija ir duomenys	28
2.2.1. LMDI dekompozicija.....	28
2.2.2. OLS metodas.....	29
2.2.3. Duomenys.....	30
2.2.4. Prielaidos ir apribojimai	32
3. ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKymo IR EKONOMINIŲ IŠŠŪKIŲ LIETUVOJE EMPIRINIO TYRIMO REZULTATAI	33
3.1. Pradinė duomenų analizė	33
3.2. LMDI dekompozicija	35
3.3. Regresijos modelis	37
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	43
ŠALTINIAI	45
SANTRAUKA.....	51
SUMMARY	53
PRIEDAI	55
1 priedas. Ketvirtinių duomenų grafikai prieš transformacijas	55
2 priedas. Vienetinės šaknies ADF testo rezultatai ketvirtiniams duomenims	56

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė	<i>Žaliosios energijos apibrėžimai literatūros šaltiniuose</i>	8
2 lentelė	<i>EVR Lietuvoje, daugiausiai investicijų 2023 metais skyrusios energijos gamybos iš atsinaujinančių šaltinių procesų įgyvendinimui</i>	10
3 lentelė	<i>5 dimensijos, kurių kontekste pateikiami valdymo principai</i>	11
4 lentelė	<i>Rodikliai energijos efektyvumui analizuoti tarp šalių ir sektorių</i>	14
5 lentelė	<i>Sultana, Hossain, Voumik ir Raihan naudoti Kintamieji ir jų matavimas.</i>	25
6 lentelė	<i>Sultana, Hossain, Voumik, Raihan naudoti kintamieji ir jų matavimas.</i>	25
7 lentelė	<i>Agan naudoti kintamieji ir jų matavimas.</i>	26
8 lentelė	<i>Metiniai duomenys naudoti atliekant LMDI dekompoziciją.</i>	30
9 lentelė	<i>Ketvirtiniai duomenys naudoti regresijos modelyje.</i>	31
10 lentelė	<i>Ketvirtinių duomenų pagrindinės statistinės charakteristikos.</i>	34
11 lentelė	<i>Regresijos modelio OLS metodu rezultatai.</i>	38
12 lentelė	<i>Liekant testų rezultatai.</i>	40
13 lentelė	<i>Vienetinės šaknies ADF testo rezultatai ketvirtiniams duomenims.</i>	56

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 paveikslas <i>Elektros energijos bendroji gamyba iš pagrindinių atsinaujinančios energijos išteklių LT nuo 1990 iki 2023 metų</i>	12
2 paveikslas <i>CO₂ dujų kainų scenarijai, kur BAU - minimali kaina, o Min. – kaina, kuri maksimaliai sumažintų CO₂ kiekį</i>	13
3 paveikslas <i>Bendras energijos intensyvumas Lietuvoje nuo 2004 iki 2022 metų</i>	15
4 paveikslas <i>Aplinkos Kuznetso kreivė</i>	24
5 paveikslas <i>Metiniai energijos vartojimo bei bendrosios pridėtinės vertės duomenys pagal sektorius.</i>	33
6 paveikslas <i>Ketvirtinių duomenų grafikai po logaritmo bei skirtumo transformacijų.</i>	36
7 paveikslas <i>Adityvi LMDI dekompozicija energijos vartojimui, 1995 – 2023.</i>	36
8 paveikslas <i>Adityvi LMDI dekompozicija energijos vartojimui, 1995 – 2009.</i>	37
9 paveikslas <i>Sudaryto regresijos modelio priklausomų kintamųjų įverčiai.</i>	39
10 paveikslas <i>Sudaryto regresijos modelio liekanos.</i>	40
11 paveikslas <i>Regresijos modelio liekanų ACF grafikas.</i>	41
12 paveikslas <i>Regresijos modelio liekanų PACF grafikas.</i>	41
13 paveikslas <i>Regresijos modelio liekanos ir sumodeliuotos reikšmės.</i>	41
14 paveikslas <i>Ketvirtinių duomenų grafikai prieš transformacijas.</i>	55

SANTRUMPOS

JT	Jungtinės Tautos
UNFCCC	Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencija
ES	Europos Sąjunga
BVP	Bendrasis vidaus produktas
VDA	Valstybės duomenų agentūra
UAB	Uždaroji akcinė bendrovė
NLP	Natūralios kalbos apdorojimas
EVR	Ekonominės veiklos rūšys
OECD	Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija
LR	Lietuvos Respublika
HAE	Hidroakumuliacinė elektrinė
BRELL	Baltijos šalių elektros tinklų sinchronizacija
MTEP	Moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra
PPP	Perkamosios galios paritetas
VAR	Vektorinė autoregresija
SFDR	Tvaraus finansavimo informacijos atskleidimo reglamentas
ECB	Europos Centrinis Bankas
LMDI	Logaritminio vidurkio Divisia indeksas
IEA	Tarptautinė energetikos agentūra
N-11	Šalių grupė, kurioje yra: Bangladešas, Egiptas, Indonezija, Iranas, Meksika, Nigerija, Pakistanas, Filipinai, Pietų Korėja, Turkija ir Vietnamas.
DI	Dirbtinis intelektas
OLS	Paprastųjų mažiausių kvadratų metodas
MMQR	Momentų kvantilinės regresijos metodas
TUI	Tiesioginės užsienio investicijos
EKC	Aplinkos Kuznetso kreivė
ACF	Autokoreliacijos funkcija
PACF	Dalinė autokoreliacijos funkcija

IVADAS

Darbo temos aktualumas. Žaliosios energijos idėja jau yra nebeatsiejiama nuo kasdienio gyvenimo, politikos ir šalies ekonomikos vystymo. Lietuva taip pat yra įsitraukusi į žaliosios energijos įgyvendinimą laikydamasi ES žaliojo kurso įsipareigojimų, kurie susiję su CO₂ kiekio mažinimu, atsinaujinančios energijos plėtra ir jos dalies didinimu bendrame šalies energijos balanse (LR Žemės Ūkio ministerija, 2021). Tačiau nepaisant to, šis procesas reikalauja nemažai laiko, finansinių, technologinių bei socialinių išteklių (Li, Pan ir kiti, 2015). Didelės investicijos į technologijas, infrastruktūrą bei būtinybė pritaikyti teisės aktus ir finansinius instrumentus - tai tik maža dalis darbų, kuriuos šalis turi nuveikti, siekiant įgyvendinti išsikeltą tikslą. Ne veltui Lietuva yra įvardinusi tam tikrus principus, kurių įgyvendinimas prisideda einant žaliosios energijos link (LR Energetikos ministerija, 2020). Galiausiai, žaliosios energijos plėtra suteikia Lietuvai reikšmingų privalumų: skatina inovacijas, kuria naujas darbo vietas, stiprina energetinį saugumą ir nepriklausomybę bei prisideda prie klimato kaitos mažinimo, kuris yra susijęs su šalies ekonominiu augimu, nes daro tam tikrą įtaką pramonei, žemės ūkiui bei bendrai gyvenimo kokybei (Liobikienė, Dagiliūtė, 2021). Todėl šios temos nagrinėjimas padeda spręsti ne tik ekologines, bet ir ekonomines problemas, kurios yra svarbios šalies ilgalaikiai gerovei.

Temos ištirimo lygis. Per pastaruosius du dešimtmečius atsinaujinančiosios energijos gamyba ir vartojimas visoje ES sparčiai didėjo dėl specialios politikos ir kitų priemonių bei sparčios technologinės pažangos (Šneiderienė, Ruginė, 2019). Lygiagrečiai su tuo yra atliekama vis daugiau tyrimų, eksperimentų bei šios srities atradimų. Galima teigti, jog temos ištirimo lygis Lietuvoje yra nepakankamas. Lietuvos mokslininkai aktyviai bendradarbiauja su kitų šalių tyrėjais ir skelbia bendrus mokslinius straipsnius. Taip pat tokios specializuotos institucijos kaip Lietuvos energetikos institutas ar LR energetikos ministerija nagrinėja žaliąją energiją ir atlieka mokslinius tyrimus. Tačiau nors Lietuvoje žaliosios energijos tyrimai ir plėtra sparčiai auga, ji vis dar atsilieka nuo pažangiausių Europos šalių, tokių kaip Vokietija ar Švedija, kurios pasižymi išvystytomis technologijomis ir didelėmis investicijomis į atsinaujinančią energiją (Landes, 2025; OECD, 2025). Lietuvoje prioritetas teikiamas vėjo ir saulės energijai, tačiau energijos kaupimo technologijos ir tinklų modernizacija dar nėra pakankamai išvystyta. Nepaisant to, Lietuva pasiekė reikšmingų rezultatų integruodama atsinaujinančius išteklius į elektros energijos gamybą.

Darbo naujumas. Žaliosios energijos tematika nėra nauja. Egzistuoja nemažai straipsnių susijusių su principų taikymo planais, atsakingos institucijos leidžia specializuotus leidinius, kuriuose pateikiama informacija apie šalies pažangą einant žaliojo kurso link. Tačiau pasigendama mokslinių straipsnių, kurie plačiau ištirtų principų įgyvendinimo veiksmingumą, išskirtų didžiausias problemas. Kita vertus, susisteminti žaliosios energijos principai yra sąlyginai naujai

išplėtoti, todėl egzistuoja informacijos trūkumas, susijęs su politikos, ekonomikos bei sociologijos sritimis, pavyzdžiui, plačiai neištirta, kaip žaliosios energijos sprendimai veikia vietinę ekonomiką, ypač mažų ir vidutinių verslų kontekste (Herce, Biele ir kiti, 2024). Taip pat trūksta įrodymais pagrįstos analizės apie tai, kaip šie principai prisideda prie energetikos tikslų pasiekimo bei kyla klausimų, kaip tinkamai analizuoti sąlyginai nedidelį kiekį šios srities duomenų, ypač Lietuvos kontekste.

Darbo problema. Kaip žaliosios energijos principų taikymas prisideda prie žaliojo kurso įgyvendinimo Lietuvoje?

Darbo tikslas. Ištirti žaliosios energijos principų taikymą Lietuvoje ir pateikti šių dienų principų įgyvendinimo progresą, atliekant kiekybinę Lietuvos duomenų analizę.

Darbo uždaviniai.

- Išnagrinėti mokslinę literatūrą apie žaliosios energijos principų taikymą Lietuvoje, tarptautinius pavyzdžius siejant su Lietuvos kontekstu;
- Išanalizavus mokslinę literatūrą, parinkti tinkamus duomenis Lietuvos atveju, juos sutvarkyti, atlikti pradinę kiekybinę duomenų analizę, pateikiant apibendrinančias metrikas ir vizualizacijas;
- Sudaryti ekonominį regresijos modelį Lietuvos atveju bei atlikti LMDI dekompoziciją;
- Išnagrinėti gautus rezultatus, palyginti juos tarpusavyje bei pateikti išvadas ir rekomendacijas apie žaliosios energijos principų taikymą ir ekonominius iššūkius.

Darbo metodai. Darbe naudojami metodai: mokslinės literatūros analizė ir sintezė, LMDI adityvi dekompozicija bei sudaromas regresijos modelis naudojant OLS metodą. Vienetinės šaknies nustatymui buvo naudojamas ADF testas. Liekanų savybėms tikrinti naudojami Breusch – Pagan, Box bei Shapiro – Wilk testai. Vizualams kurti buvo pasiremta linijinėmis, stulpelinėmis diagramomis, sklaidos, ACF, PACF grafikais.

Dirbtinio intelekto (toliau DI) naudojimas. Rašant magistro baigiamąjį darbą buvo naudota dirbtinio intelekto platforma ChatGPT, GPT 5 modelis. Platforma naudota rašybos bei gramatikos klaidų taisymui, vertimams į lietuvių kalbą. Taip pat tam tikrai atvejais buvo naudojama taisant R kodą, ieškant jame klaidų.

Darbo struktūra. Darbą sudaro trys pagrindinės dalys. Pirmojoje dalyje analizuojami teoriniai žaliosios energijos aspektai, remiantis moksliniais straipsniais ir oficialiais dokumentais, kurių pagrindu pasirenkamas teorinis modelis. Antroji darbo dalis apima metodologijos apžvalgą, magistro darbe taikomą metodiką, o trečioji - sudarytus modelius ir jų tinkamumo vertinimą. Išvadų dalyje apibendrinami gauti rezultatai ir pateikiamos pagrindinės darbo išvados.

1. TEORINIAI ŽALIOSIOS ENERGIJOS ASPEKTAI

1.1. Žaliosios energijos sampratos vystymasis

Dar prieš Lietuvai atkuriant nepriklausomybę, vakarų šalys bei kitos ekonomiškai besivysčiusios valstybės pradeda garsiau kalbėti apie ekologiją, tvarumą, siekį mažinti CO₂ dujų kiekį atmosferoje, kartu mažinant ir šiltnamio efektą. Šią mintį paremiantį pirmąjį oficialų dokumentą 1972 metais pasirašė Jungtinės Tautos (UN, 1972). Tuo metu Lietuva buvo Sovietų Sąjungos sudėtyje, todėl aplinkos problemų viešas kėlimas buvo ribojamas ir iš dalies cenzūruojamas. Kaip nurodo Vilniaus universiteto Ekologijos ir aplinkotyros centras, dėl griežtos sovietinės kontrolės nukentėjo ir daugelis Lietuvos mokslininkų, dirbusių aplinkosaugos srityje. Sovietinė cenzūra laikėsi specialaus aplinkraščio, draudusio spaudoje skelbti objektyvią informaciją apie aplinkos būklę. Dėl šių apribojimų mokslininkai neretai patirdavo nemalonumų, o tai reikšmingai pristabdė ekologijos, aplinkosaugos ir aplinkotvarkos mokslinių tyrimų raidą Lietuvoje (Vilniaus Universitetas, 2017). JT priimta Stokholmo deklaracija skelbia 26 principus, kurie apima oro ir vandens taršą, atliekų tvarkymą ir klimato kaitą. Vienas iš dokumento principų sako, jog neatsinaujinantys šaltiniai turi būti naudojami taip, jog išvengtume jų išnykimo ir taip pat užtvirtintume tų šaltinių teikiamos naudos pasidalijimą visai žmonijai. Šis principas išryškina pradinę mintį apie neatsinaujinančius šaltinius ir jų efektyvų panaudojimą.

Stokholmo susitarimą dar labiau išplėtojo Rio deklaracija (UN, 1992) dėl aplinkos ir plėtros, kurios priėmimo dalyvavo ir Lietuvos atstovai. Ši deklaracija vėl pateikia esminius principus bei savo veiklos plane teigia, jog besivystančios valstybės turėtų parengti šalies veiklos programas, skatinančias ir remiančias integruotą energiją tausojančių ir atsinaujinančios energijos technologijų plėtrą, ypač naudojant saulės, vandens, vėjo ir biomasės energijos šaltinius. Yra pagrindo teigti, jog būtent Rio deklaracijoje suformuoti 27 principai padėjo pagrindą aplinkosaugos ir energetikos teisės formavimuisi (Sand, 1993).

Pasirašant Rio deklaraciją kartu buvo priimta ir Jungtinių Tautų bendrosios klimato kaitos konvencija (toliau UNFCCC), kurios šalys, įskaitant ir ES valstybes, 2015 metais pasiekė Paryžiaus susitarimą (UNFCCC, 2016) – vieną svarbiausių dokumentų aplinkos tausojimo, tarp jų ir tvarios energetikos klausimu. Šis susitarimas suvienijo jėgas bendram tikslui siekti. Pasak šio susitarimo ES narės įsipareigojo 2050 metais tapti pirmąja neutralaus poveikio klimatui ekonomika bei visuomene. UNFCCC šalys iki šiol rengia kasmetinius susitikimus, o 2023 metų susitikimo metu buvo susitarta dėl bendrų energetikos tikslų, tokių kaip iškastinio kuro energijos atsisakymo iki 2050 metų bei atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo efektyvumo didinimo (UNFCCC, 2023). Taigi iki šių dienų valstybės bendradarbiauja tarpusavyje, siekiant išspręsti

aplinkos apsaugos kylančias problemas, priimti pasaulinio masto sprendimus ir strategijas.

Šiais laikais, kai atsinaujinančios energijos tematikos aktualumas išaugo nepalyginamai, o dekarbonizacijos siekis yra nuolat minimas energetikos atstovų įvairiose konferencijose ar diskusijose, atsakyti, kas yra žalioji energija ir kaip ji gaunama iš pirmo žvilgsnio neatrodo komplikuota, tačiau skirtingų apibrėžimų gausa leidžia susikurti diskusijoms, ar tikrai žaliąją energiją taip paprasta apibūdinti. 1 lentelėje yra pateikiamos įvairios žaliosios energijos sampratos literatūroje.

1 lentelė

Žaliosios energijos apibrėžimai literatūros šaltiniuose

Autorius	Metai	Apibrėžimai
Midilli, Dincer, Ay	2006	Tai (t. y., žalioji energija) gali būti apibrėžta kaip energijos šaltinis, kuris nedaro arba daro minimalų poveikį aplinkai, yra ekologiškesnis ir tvaresnis, ir gaminamas iš saulės, hidroenergijos, biomasės, vėjo, geoterminės energijos ir kt.
Pakulska	2021	Vis dėlto žaliosios energijos sąvoka ne visada reiškia tik atsinaujinančius energijos šaltinius. Pagrindinė jos savybė yra neigiamo poveikio aplinkai nebuvimas. Tai apibūdina ne tik atsinaujinančią energiją <...>, bet ir branduolinę energiją.
Bhowmik, Bhowmik, Ray ir Pandey	2017	Žalioji energija - tai „švarūs“ energijos šaltiniai, kurie daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai, palyginus su įprastomis energetikos technologijomis.
Kalyani, Dudy ir Pareek	2015	Žalioji energija - tai energija, kuri gaminama taip, kad jos neigiamas poveikis aplinkai būtų minimizuotas. Tai atsinaujinantis energijos šaltinis.
Yuan, Li ir Zhang	2024	Žalioji energija, pavyzdžiui, saulės, vėjo ir biomasės energija, yra svarbi priemonė, padedanti globaliai sumažinti anglies dioksido kiekį, įprastai nekenkia aplinkai, yra alternatyva tradiciniam iškastiniam kurui, o jos gamybos metu susidaro mažai taršių atliekų.
Borchers, Duke ir Parsons	2017	<...> žaliosios energijos šaltinių rinkos kainos yra didesnės nei tradicinių šaltinių, tačiau, tikėtina, jų socialinės sąnaudos yra mažesnės. <...> žalioji energija apima saulės energiją, vėjo turbinas, biomasę ir žemės ūkių išmetamą metaną.

Šaltinis: Midilli, Dincer, Ay, 2006; Pakulska, 2021; Bhowmik, Bhowmik, Ray ir Pandey, 2017; Kalyani, Dudy ir Pareek, 2015; Yuan, Li ir Zhang, 2024; Borchers, Duke ir Parsons, 2017

Analizuojant įvairių autorių pateiktus žaliosios energijos apibrėžimus, matyti, kad ši sąvoka interpretuojama nevienareikšmiškai, tačiau išryškėja tam tikri bendri bruožai. Dauguma autorių sutaria, kad žalioji energija yra energijos rūšis, kuri turi minimalų arba visiškai nedaro neigiamo poveikio aplinkai, ir dažnu atveju žalioji energija sutapatinama su atsinaujinančia energija.

Apibendrinant, galima teigti, kad žaliosios energijos samprata apima tiek ekologinius, tiek ekonominius kriterijus, o skirtingi autoriai pabrėžia skirtingus jos aspektus – nuo tvarumo ir atsinaujinamumo iki poveikio aplinkai bei socialinių sąnaudų. Atsižvelgiant į tai, kad dauguma analizuotų šaltinių žaliosios energijos sąvoką sieja būtent su atsinaujinančiais ištekliais (ypač

saulės, vėjo, hidroenergijos ar biomasės kilmės energija), šiame magistro darbe žalioji energija bus traktuojama siauresniu požiūriu – kaip atsinaujinančių energijos šaltinių visuma. Toks pasirinkimas grindžiamas siekiu nuosekliai vertinti būtent tas technologijas ir jų poveikį, kurios remiasi gamtos išteklių atsinaujinimo principu.

1.2. Atsinaujinančios energijos reikšmė Lietuvoje

Lietuva kaip sąlyginai jauna valstybė priklauso greičiau besivystančių per pastaruosius pora dešimtmečių šalių grupei. Tą galima matyti žvelgiant į Lietuvos BVP vienam gyventojui nuo 2004 metų – Lietuvos įstojimo į ES augimą (Stasiulytė, 2012). Žaliosios energijos plėtra vyko pakankamai sparčiai siekiant pasivyti labiau išsivysčiusias šalis.

Taškin, Vardar ir Okan (2020) išskiria keturias priežastis, kodėl atsinaujinančios energijos plėtra šalyse, tarp jų ir Lietuvoje, tampa vis labiau neišvengiama. Pirma, iškastinio kuro naudojimas turi netiesioginius kaštus, nes neigiamas klimato kaitos poveikis gali sumažinti viso pasaulio BVP tiek, jog ekonomiškai optimalesnis variantas yra mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Antra, autoriai paminėti ir energetinio saugumo ir nepriklausomybės svarbą energiją importuojančioms valstybėms. Ši tema šiuo metu yra ypač aktuali Lietuvai dėl Rusijos pradėtos invazijos į Ukrainą ir vėliau sekusios energetinės krizės, kurią ES ėmėsi suvaldyti 2022 metų spalį priimant reglamentą, kuriuo siekiama spręsti didelių kainų problemą ir padėti labiausiai nuo energetikos krizės nukentėjusiems piliečiams ir įmonėms (Janeliūnas, 2022). Taip pat Taškin, Vardar ir Okan (2020) išskiria ir bendrą ekonominę šalių būklę ir, jog naftos kainų svyravimai sukelia didesnę riziką ekonomikos lygiui, todėl būtent atsinaujinančios energetikos vystymas gali tapti viena iš priemonių sumažinti energetinį skurdą.

Galima teigti, jog lygiai taip pat kaip minėto straipsnio autoriai, Lietuvos atstovai suvokia žaliosios energijos svarbą ekonomikos augimui bei energetinio stabilumo palaikymui. Ne veltui 2024 metų, birželio mėnesį LR Seimas priėmė nutarimą „Dėl Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo“ pakeitimo, kuriame dar kartą užtvirtintas žaliosios energijos tolimesnis vystymas bei išsikeltas tikslas pagaminti tiek energijos išteklių, kiek jų suvartojama. Svarbu paminėti, jog šiame pakeitime išskiriama ir ekonominė jo nauda: „įgyvendinus pokyčius energetikos sektoriuje 2050 m. galėtų būti sukurta 140 000 naujų darbo vietų <...>. Nauda Lietuvos ekonomikai galėtų siekti 6,3 mlrd. eurų per šį laikotarpį ir tai sudarytų apie 11 proc. Lietuvos BVP dydžio, 2021 m. duomenimis.“ (LR Seimo nutarimas, 2024, 64 psl.). Lietuvos siekio tapti neutralia klimatui bei energetiškai nepriklausoma valstybe vykdymą galime stebėti 2 lentelėje. Vien 2023 metais Lietuvoje įmonių investicijos skirtos žaliosios energijos gamybos procesams įgyvendinti bendrai siekė 4,7 milijonus eurų, kas sudarė apie 6,5 % viso tų

metų BVP. Remiantis VDA, tokios investicijos skirtos taršos prevencijos ar išteklių valdymo švaresniam gamybos procesui įgyvendinti, tam skirtų priemonių įsigijimui, reikalingai infrastruktūrai įrengti ir t. t.

2 lentelė
Ekonominės veiklos rūšys Lietuvoje, daugiausiai investicijų 2023 metais skyrusios energijos gamybos iš atsinaujinančių šaltinių procesų įgyvendinimui

Ekonominės veiklos rūšis		Investicijos tūkst. Eur.
C	Apdirbamoji gamyba	3946,3
D35	Elektros, dujų, garo tiekimas ir oro kondicionavimas	499,1
E36	Vandens surinkimas, valymas ir tiekimas	98,6
H52	Sandėliavimas ir transportui būdingų paslaugų veikla	162,2

Šaltinis: Valstybės duomenų agentūra, 2024.

LR Energetikos ministerija nuolat skatina Lietuvos gyventojus prisidėti prie žaliosios energijos plėtros, įsirengiant saulės elektrines, įsigyjant energijos kaupiklius (LR Energetikos ministerija, 2025), o UAB Ignitis bei dar keli Lietuvoje esantys nepriklausomi elektros tiekėjai skatina rinktis žaliosios energijos planus, kurie kol kas yra brangesni nei įprasti (UAB „Ignitis“, 2023). 2024 metų II-ąjį ketvirtį LR Energetikos ministerija suplanavo papildomai skirsianti 40 mln. eurų paramos gyventojams prisidedantiems prie elektros energijos gamybos iš atsinaujinančių šaltinių. Taigi per pastaruosius kelis metus gyventojams jau skirta virš 200 mln. eurų paramos.

Sotnyk ir bendraautorių straipsnyje (2024) buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas yra analizuoti pasaulines mokslinių tyrimų tendencijas energijos efektyvumo ir atsinaujinančios energijos diegimo namų ūkiuose srityje. Tam buvo pasitelktas paieškos metodas, kuomet pagal sudarytą raktažodžių ir filtrų modelį buvo atliekamos įvairios paieškos ir tiriami jų rezultatai. Toliau autoriai gilinosi į kelis atsirinktus straipsnius ir nagrinėjo jų tematiką bei raktinius žodžius, sudarė žodžių maišą. Taigi iš esmės buvo pritaikyti NLP metodai, kurie padėjo ištirti atsinaujinančios energijos bei jos efektyvaus panaudojimo svarbą namų ūkiuose. Straipsnio autoriai padarė išvadą, jog trūksta tyrimų, kurie analizuotų ekonominius ir socialinius poveikius bei valdymo mechanizmus, įgyvendinant energiją taupančias ir atsinaujinančių šaltinių energijos technologijas namų ūkiuose. Jie pabrėžia, jog yra labai svarbu kurti mechanizmus, užtikrinančius inovatyvių technologijų taikymą. Tai apima atitinkamus pastatų standartus, reikalavimų laikymąsi senąją infrastruktūrą pritaikant švarios energetikos tikslų siekimui bei, žinoma, žaliosios energijos šaltinių įtraukimą į namų energijos tiekimą.

Galima stebėti šių aspektų aktualumą ir Lietuvoje. Tačiau taip pat svarbu kartu su šių mechanizmų vystymo eskalavimu analizuoti ir valstybių gebėjimus išlaikyti tempą plečiantis ir

tinkamai paskirstyti resursus. Papildomas resursų skyrimas turi būti išlaikomas ir visuomenės švietimui atsinaujinančios energijos klausimais, nes nemaža dalis iniciatyvų ir projektų įgyvendinimo yra smarkiai susijusi su pačių gyventojų problemos suvokimu ir jos pripažinimu.

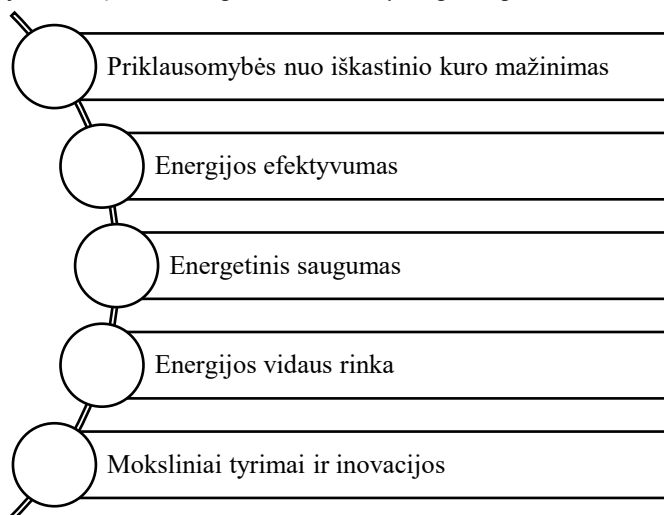
1.3. Atsinaujinančios energijos principai Lietuvoje

Praeituose skyreliuose buvo aptarta žaliosios energijos sąvoka, jos kilmė remiantis oficialiais dokumentais, bei bendras atsinaujinančios energijos vaidmuo ir to vaidmens didinimas šalyje, tačiau taip pat itin svarbu suprasti principus, kuriais remiantis yra vykdomi visi išsikelti žaliosios energetikos tikslai. Toliau darbe bus aptariami oficialūs, tam tikruose dokumentuose įtvirtinti principai ir jų taikymas Lietuvoje, judant žaliosios ir nepriklausomos energijos link.

Norint užtikrinti, kad ES pasiektų savo tikslus švarios energijos ir klimato srityse, valstybės narės rengia nacionalinius energetikos ir klimato srities veiksmų planus (toliau NEKSVP). 2024 metų birželio mėnesį Lietuva, kaip ir kitos ES narės, pateikė jau atnaujintą NEKSVP 2021 – 2030 metams (LR Finansų ministerija, 2023). Jame yra įtraukti energetikos ir klimato kaitos valdymo politikos principai perteikti 5 tarpusavyje susijusių politikos dimensijų kontekste, kurios pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė

5 dimensijos, kurių kontekste pateikiami valdymo principai



Šaltinis: NEKSVP (LR Finansų ministerija, 2024)

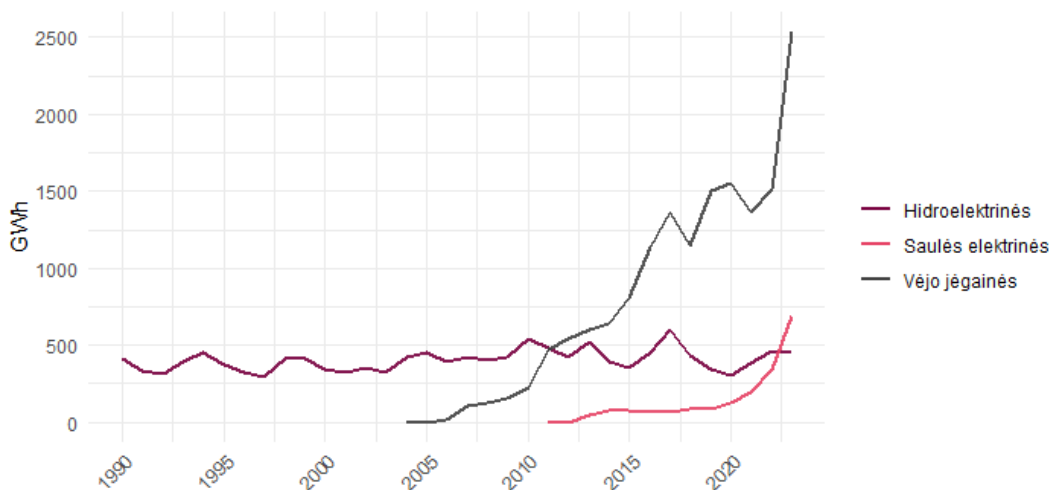
Remiantis dokumente pateiktu skirstymu, šiame magistro darbe tolimesni skyreliai bus pateikti panašių dimensijų principu ir jų viduje aptariamos principų idėjos, kiti moksliniai straipsniai bei sąsajos su šalies ekonomika.

1.3.1. Priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas

Didelis iškastinio kuro naudojimas yra pripažintas kaip viena didžiausių pasaulio problemų, kuri labiausiai prisideda prie klimato kaitos skatinimo. Nuolat akcentuojama, jog perėjimas nuo iškastinio kuro prie atsinaujinančių šaltinių yra esminis žingsnis švaresnio pasaulio link (Karlilar Pata, Balcilar, 2024). Taigi vienas iš principų yra kuo daugiau investuoti į atsinaujinančių šaltinių įgyvendinimą gamyboje, namų ūkiuose bei kitose kertinėse srityse. Lietuva šiuo principu vadovaujasi jau pastarąjį dešimtmetį. 1 paveiksle galima stebėti, jog tokių atsinaujinančių išteklių kaip saulės ar vėjo panaudojamumas elektros energijos gamyboje nors ir prasidėjo šiek tiek vėliau – nuo atitinkamai 2011 ir 2004 metų – tačiau jis smarkiai išaugęs. Tuo tarpu hidroelektrinių veikla išlieka daugiau ar mažiau pastoviam lygyje nuo 1990 metų. To priežastimi gali būti tai, jog hidroenergija yra jau pakankamai pažengusi ir išsivysčiusi technologija, kuri Lietuvoje įgyvendinta jau ilgą laiką, o taip pat jos didžioji dalis gamtinių išteklių jau panaudota.

1 paveikslas

Elektros energijos bendroji gamyba iš pagrindinių atsinaujinančios energijos išteklių Lietuvoje nuo 1990 iki 2023 metų



Šaltinis: Valstybės duomenų agentūra, 2024.

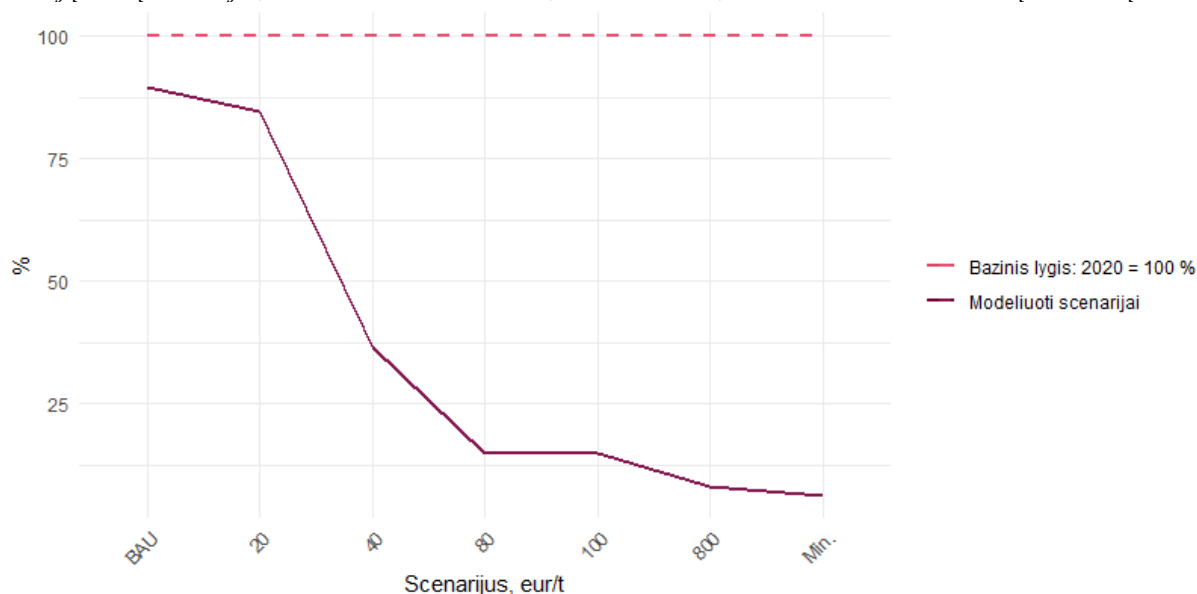
Karlilar Pata ir Balcilar straipsnyje (2024) atliko tyrimą, kuriuo siekė ištirti kiek iškastinio kuro gali pakeisti atsinaujinantys energijos šaltiniai. Tyrimo objektas buvo OECD šalys, kuriose analizuojamu laikotarpiu buvo daugiausiai investuota šioje srityje. Autoriai sudarė tris modelių variantus, į kuriuos įtraukė tokius kintamuosius kaip iškastinio kuro bei atsinaujinančių šaltinių pajėgumai gaminti elektros energiją, taip pat daroma prielaida, jog įtakos, priklausomai nuo valstybės, gali turėti BVP bei technologinis išsivystymo lygis ir inovacijos. Tyrimas parodė, jog atsinaujinančios energijos šaltiniai palaipsniui tampa realia galimybe pilnai pakeisti iškastinį kurą. Vis labiau tobulėjančios technologijos, didesnės konkurencijos atsiradimas tiekimo grandinėse

skatina žaliosios energijos kainų kritimą, kas prisideda prie dar didesnio jos vartojimo. Šis straipsnis išsiskiria savo idėja, jog svarbu pabrėžti ne tik principo įgyvendinimo poreikį, tačiau būtina ir analizuoti pakeitimo galimybes ir tempus, kurie priklauso nuo daugelio makroekonominių šalies rodiklių. Šis straipsnis taip pat aktualus ir Lietuvai. Nepaisant to, jog Lietuva ir pati nuo 2018 metų priklauso OECD, tokių analizių plėtra pasitarnautų kaip papildomas įrankis planuoti pagrindinių tikslų terminus ir įgyvendinimo etapus.

Nors atsinaujinančios energijos įtraukimas į šalies kasdienį gyvenimą principas turi galiausiai nuvesti mus prie 2050 metų tikslo tapti pilnai žaliają energiją vartojančia valstybe įgyvendinimo, tačiau svarbu į tai pažvelgti iš skirtingų perspektyvų. Štai dar vienas straipsnis, kurį parengė Lietuvos tyrėjai Norvaiša, Galinis, bei Neniškis (2024). Autoriai atlieka mažiausių kaštų optimizavimo skaičiavimus, jog išanalizuotų optimalius skirtingų technologijų derinius papildomai į modeliavimą įtraukiant ir pasiūlos bei paklausos veiksnius. Galima sakyti, jog tokio tipo tyrimas yra unikalus, nes jame CO₂ kaina buvo traktuojama kaip pagrindinis aspektas, skatinantis pramonės dekarbonizaciją. Skaičiavimuose CO₂ kaina buvo laikoma tolygiai didėjanti nuo 16 eurų už vieną toną 2018 metais iki tam tikros viršutinės vertės, pasiekiamos 2035–2050 metų laikotarpiu, priklausomai nuo scenarijaus. Modelis optimizuoja sistemos sąnaudas ir įtraukia dekarbonizacijos priemones, tik tokiu atveju, jei jos yra ekonomiškai naudingesnės nei anglies dioksido emisijų sąnaudų augimas. Tokiu būdu straipsnio autoriai kiekvienam scenarijui apskaičiavo CO₂ emisijų tendencijas per ateinančius pora dešimtmečių (2 paveikslas).

2 paveikslas

CO₂ dujų kainų scenarijai, kur BAU - minimali kaina, o Min. – kaina, kuri maksimaliai sumažintų CO₂ kiekį



Šaltinis: Norvaiša, Galinis, bei Neniškis (2024)

Esminis aspektas, kodėl šie autoriai pažvelgė į tikslą kitaip, tai yra, jog jie sudarydami skirtingus galimus scenarijus, iš esmės stengėsi atsakyti į klausimą, ar realistišku požiūriu

įmanoma pasiekti 2050 metų ES šalių išsiskeltą tikslą. Remiantis straipsnio išvadomis, geriausias rezultatas, kurį teoriškai galėsime pasiekti, tai CO₂ dujų sumažėjimas 94 % lyginant su 2020 metais. Tačiau šiam scenarijui būtina plėtoti naujų technologijų Lietuvai naudojimą, o tai atsiremia į papildomus kaštus. Daugiau apie inovacijas bei technologijas aptariama 1.3.5 skyrelyje. Taigi, ar įmanoma tapti pilnai neutralia valstybe? Autorių teigimu, greičiausiai ne, tačiau tikrai galima pasiekti pakankamai gerą rezultatą, link kurio dabar ir judama.

1.3.2. Energijos vartojimo efektyvumas

Energijos vartojimo efektyvumas yra vienas iš pagrindinių tvarios plėtros principų, kuris įgyja vis didesnę svarbą tiek pasaulio, tiek Lietuvos kontekste (Sydykova, Pashayeva, Mammadov, Makhsud, 2024; Muniz, da Costa Júnior, Buratto ir kt., 2023). Ši koncepcija reiškia išteklių naudojimo optimizavimą, siekiant sumažinti energijos sąnaudas ir neigiamą poveikį aplinkai, tuo pačiu neprarandant paslaugų kokybės ar gyvenimo komforto. Lietuvai, kaip nedidelei šaliai su ribotais energetiniais ištekliais, energijos vartojimo efektyvumas yra itin aktualus, ypač siekiant sumažinti priklausomybę nuo importuojamos energijos ir didinti ekonominę konkurencingumą. Energijos taupymas taip pat padeda mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, kas prisideda prie klimato kaitos suvaldymo ir darnios aplinkos kūrimo (Akdag, Yıldırım, 2020).

Miškinis ir kiti straipsnyje „Comparative analysis of energy efficiency trends and driving factors in the Baltic States“ (2020) atliko Baltijos šalių palyginamąją analizę nagrinėdami du pagrindinius energijos efektyvumo rodiklius, kurie pateikiami 4-oje lentelėje. Jie ne tik atliko analizę tarp šalių tačiau ir lyginant skirtingus sektorius.

4 lentelė

Rodikliai energijos efektyvumui analizuoti tarp šalių ir sektorių

Rodiklis	Nagrinėjamo energijos tipo reikšmė	Matavimo vienetai
Pirminės energijos intensyvumas	Pirminė energija yra gamtinių išteklių energija, pavyzdžiui, organiniame kure sukaupta energija, branduolinė, vėjo, saulės energija ir panašiai.	Pirminio energijos suvartojimo šalyje ir BVP santykis.
Galutinės energijos intensyvumas	Galutinė energija yra pateikta pramonės, statybos, žemės ūkio, kitų ekonominės veiklos rūšių įmonių galutiniam vartotojams ir namų ūkiams.	Galutinio energijos suvartojimo ir pridėtinės vertės šalyje santykis.

Šaltinis: *Miškinis V. ir kiti*, 2020; LR energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas (2 str.), 2016.

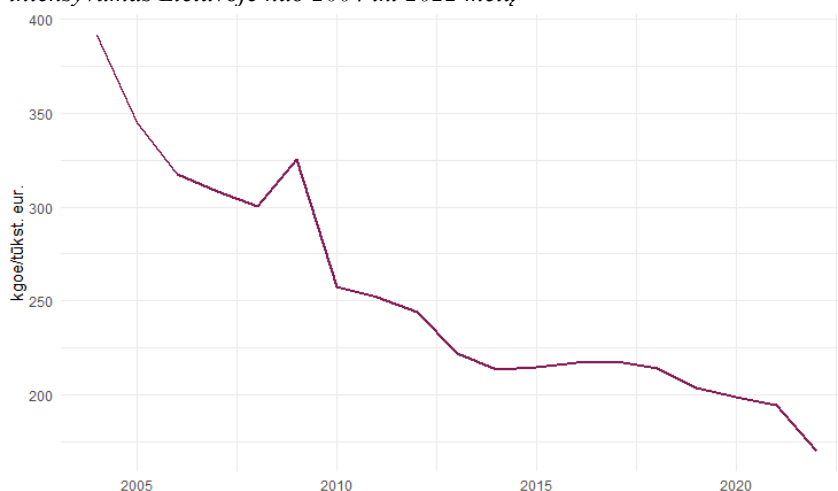
Autoriai prieš atlikdami tyrimą atkreipia dėmesį, jog šie indikatoriai ne visada yra tinkami daryti išvadas apie energijos efektyvumą lyginant skirtingas šalis. O visgi norint palyginti svarbu tinkamai išanalizuoti išorinius ekonominius ir kitus faktorius, kurie gali lemti energijos intensyvumo rodiklio nuokrypius. Pavyzdžiui, tam pačiam elektros energijos kiekiui pagaminti hidroelektrinėse ar vėjo jėgainėse reikia tris kartus mažiau pirminės energijos nei branduolinėse

elektrinėse. Todėl pirminės energijos suvartojimas, būtinas galutinių elektros vartotojų poreikiams patenkinti, labai priklauso nuo elektros gamybos technologijų struktūros kiekvienoje šalyje. Taip pat straipsnyje teigiama, jog šalys eksportuojančios elektros energiją, sunaudoja daugiau pirminės energijos transformacijos proceso metu nei šalys importuojančios elektrą.

Taigi atsižvelgus į visus išorinius faktorius galinčius lemti indikatorių skirtumus autoriai apibendrina, jog bendrai žvelgiant yra stebima mažėjanti pirminės bei galutinės energijos intensyvumo tendencija (3 paveikslas). Galima išskirti du esminius įvykius ekonomikoje, kurie lėmė tam tikrus nuokrypius nuo bendros tendencijos. Pirmasis, tai didžioji ekonominė krizė, kuri lėmė ekonomikos recesiją ir pirminės energijos intensyvumas padidėjo visose trijose Baltijos šalyse. Taip pat jau anksčiau šiame darbe buvo kalbėta apie svarbų įvykį Lietuvos energetikoje, tai galutinis Ignalinos atominės elektrinės uždarymas, kuris lėmė reikšmingus pokyčius Lietuvos energijos transformacijos sektoriuje. 2010 m. pirminės energijos intensyvumas Lietuvoje sumažėjo beveik 21 %, nes šalies pirminės energijos balanse nebeliko branduolinio kuro. Taigi Lietuvoje padidėjo elektros energijos importas iš kitų Baltijos šalių, kuriose pirminės energijos intensyvumas atvirkščiai nei Lietuvoje – išaugo.

3 paveikslas

Bendras energijos intensyvumas Lietuvoje nuo 2004 iki 2022 metų



Šaltinis: Eurostat, 2024.

Nagrinėjant galutinę energiją straipsnio autoriai teigia, jog galutinės energijos intensyvumo mažinimas buvo svarbiausias veiksnys mažinant pirminės energijos intensyvumą. O didžiausią indėlį į galutinės energijos intensyvumo mažinimą visose trijose šalyse, taigi tame tarpe ir Lietuvoje, lemia energijos vartojimo efektyvumo gerinimas gyvenamajame sektoriuje, o teigiami pokyčiai kituose sektoriuose vaidina daug mažesnę vaidmenį (Streimikiene, Voločovic, Simanavičienė, 2012).

Galima matyti, jog energijos efektyvumo gerinimas yra aktualus ir svarbus principas einant bendrojo tikslo link. 2023 metais Ekonomikos ir inovacijų ministerija paskelbė papildomą 8,85

mln. eurų kvietimą Lietuvos pramonės įmonėms, numatančioms diegti energijos vartojimo efektyvumą didinančias gamybos technologijas (Aplinkos projektų valdymo agentūra, 2023). Taip pat energijos efektyvumo principas gali būti įgyvendinamas ir atskirų namų ūkių, kurie lygiai taip pat yra edukuojami apie energiją taupiai naudojančius prietaisus, o kai kurių senųjų ir aplinkai nedraugiškų priemonių jau nebegalima rasti ir prekyboje.

1.3.3. Energetinis saugumas

Įgyvendinant žaliosios energijos plėtrą bei energetinę nepriklausomybę Lietuvoje, labai svarbu užtikrinti ir saugumo aspektą. Šiuo atveju siekiama, jog sąveika tarp skirtingų atsinaujinančių energijos rūšių būtų sklandi ir nekenksminga, o reikiami papildomi resursai užtikrinti ir diversifikuoti (Jewell, Cherp, Riahi, 2014; LR Energetikos ministerija, 2020).

Apskritai energetinio saugumo apibrėžimas gali skirtis priklausomai nuo to, kokią sričių apimtį norime įtraukti, kieno saugumas yra užtikrinamas ir ką būtent šis saugumas suteikia. Priklausomai nuo to, koks apibrėžimas yra pasirenkamas, atitinkamos rizikos ir grėsmės yra vertinamos. Axon, ir Darton savo straipsnyje (2021) teigia, jog dažnai energetinis saugumas yra siejamas su tiekimo tęstinumo grėsmėmis, kurios kyla dėl ilgalaikės priklausomybės nuo iškastinių išteklių. Tokio apibrėžimo laikymasis suteikia pagrindą dar labiau skatinti atsinaujinančios energijos plėtrą Lietuvoje ir pilnai atsiriboti nuo iškastinio kuro. Štai ankstesnių metų Jewell ir kitų straipsnyje (2014) apie energetinį saugumą įgyvendinant dekarbonizaciją, jį apibrėžia kaip kritiškai svarbių energijos sistemų žemo lygio pažeidžiamumą. Taigi šis požiūris labiau koncentruojasi į sąsają tarp dabarties ir ateities, kuri reiškia, jog turi būti užtikrintas energiją teikiančių sistemų nenutraukiamas veikimas ateityje. Galiausi skirtingus požiūrius iš esmės galima apibendrinti punktais, kurie pateikti Gasser straipsnyje (2020), kuriame autorius remiasi tarptautinės energetikos agentūros bei Europos komisijos požiūriais. Taigi energetinis saugumas reiškia:

1. Fizinį energijos tiekimo šaltinių prieinamumą (užtikrinamas energijos tiekimo nenutraukiamumas);
2. Ekonominį prieinamumą (galimybę pirkti energiją);
3. Ilgalaikį aplinkos tvarumą (galimybę prisidėti prie žaliosios energijos plėtros).

Toliau šiame darbe bus laikomasi, jog energetinis saugumas susideda iš anksčiau minėtų elementų.

Lietuvoje siekiant didinti energetinį saugumą dėmesys sutelkiamas į elektros ir gamtinių dujų tiekimo saugumo bei naftos atsargų užtikrinimą (LR Energetikos ministerija, 2020). Kaip pavyzdį galima pateikti Kruonio HAE, kuri jau dabar atlieka tam tikrą saugiklio vaidmenį ir

nutikus energetinei krizei Lietuvoje šiai elektrinei užtruktų iki 2 minučių pradėti darbą pilnu pajėgumu, o esant pilnam aukštutiniam baseinui energija gali būti tiekiamą nenutrūkstamai iki 12 valandų (LR Energetikos ministerija, 2020; UAB „Ignitis“, 2020). NEKSVP yra numatoma plėsti Kruonio HAE įrengiant dar 5 hidroagregatus. Šis projektas yra svarbus dėl augančios atsinaujinančių energijos išteklių dalies regione. Nauji hidroagregatai padėtų Kruonio HAE realiu laiku reguliuoti nepastovios vėjo energijos disbalansus, kurie taps vis aktualesni. Nors dabartinė 900 megavatų elektrinės galia patenkina rinkos poreikius, tolesnė plėtra būtina siekiant šalies energetinės nepriklausomybės ir saugumo (LR Energetikos ministerija, 2025).

2019 metų birželio 5 dieną buvo priimtas Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas dėl pasirengimo valdyti riziką elektros energijos sektoriuje. Jame teigiama, jog „valstybės narės yra atsakingos už elektros energijos tiekimo saugumo užtikrinimą savo teritorijose, tačiau Komisija ir kiti Sąjungos subjektai taip pat bendrai atsako už elektros energijos tiekimo saugumą pagal savo atitinkamas veiklos ir kompetencijos sritis“. Taigi energetinio saugumo plėtojimas yra aktualus visoms ES valstybėms, jog krizės atveju būtų užtikrinta greita ir kokybiška reakcija. Jeigu tokia reakcija neužtikrinama, tuomet ilgas laiko tarpas be tinkamo elektros tiekimo gali sukelti rimtas pasekmes šalies ekonomikai: sustotų gamybos procesai, nukentėtų viešasis sektorius bei patys gyventojai.

Be numatyto veiksmų plano energijos tiekimo krizės akivaizdoje, tai pat svarbu jau dabar atsižvelgti į rezervinio kuro kaupimą. Remiantis NEKSVP, Lietuva, vadovaudamasi ES nurodymais, kaupia rezervinio kuro atsargas, todėl nutrūkus gamtinių dujų tiekimui, egzistuoja reali galimybė jį atkurti. Šiuo klausimu Lietuva glaudžiai bendradarbiauja su Latvija. Taip pat pagal įstatymą, energetikos įmonės, turinčios daugiau kaip 5 megavatų galios šilumos ar elektros energijos gamybos įrenginių ir gaminančios parduoti skirtą šilumos ar elektros energiją, privalo turėti energijos išteklių rezervinių atsargų, kurių kiekis prilygtų mažiausiai 10 dienų suvartojimui. Taigi galima daryti išvadą, jog Lietuvoje yra dedamos didelės pastangos užtikrinti energetinio saugumo principo įgyvendinimą.

1.3.4. Energijos vidaus rinka

Energijos vidaus rinkos valdymas atitinkamai integruojant žaliąją energiją į kasdienį gyvenimą yra glaudžiai susijęs su kitais jau anksčiau aptartais principais. Siekiant iliustruoti šį teiginį galima aptarti sinchronizacijos projektą – vieną svarbiausių šiuo metu. Projekto tikslas yra sujungti Lietuvos, Latvijos bei Estijos elektros sistemas (šiuo metu sistemos veikia bendrame BRELL žiede). Tokiu būdu būtų užtikrinamas elektros energijos tiekimo saugumas bei patikimumas atsiribojus nuo BRELL žiedo ir šalių agresorių, nuolat tarpusavyje derinami

veiksmi, kurie tampa aktualūs kalbant apie siekį veikti kartu energetikos krizės atveju. Galiausiai svarbiausias šio projekto laimėjimas, tai elektros prieinamumas iš Vakarų Europos energetikos sistemų. Baltijos šalių elektros tinklai su kontinentinės Europos tinklais sinchroniškai pradėjo veikti 2025 metų vasario 9 dieną.

Žinoma, įgyvendinant tokį projektą verta nepamiršti ir to, jog papildomai yra priimami ir kiti vidaus rinkos pokyčiai ar naujovės Lietuvoje. Naujų elektros perdavimo linijų statyba, jau aptarto Kruonio HAE 5 – ojo hidroagregato projektas, perdavimo tinklų optimizavimo darbai ir kiti. Visa tai skirta padidinti perdavimo pajėgumus ir užtikrinti elektros tiekimo stabilumą, siekiant efektyviai integruoti žaliąją energiją. Taip pat Lietuva glaudžiai bendradarbiauja su ES šalimis, siekdama užtikrinti, kad energetikos sistemos būtų ne tik integruotos, bet ir koordinuojamos krizių atvejais (Miškinis ir kt., 2020; LR Energetikos ministerija, 2020; Janeliūnas, 2022).

Lietuvos elektros energetikos sistema intensyviai keičiasi, sparčiai plėtojant atsinaujinančius energijos išteklius ir integruojant juos su tradicinėmis energijos gamybos priemonėmis. Siekiant įtraukti vartotojus į rinką, skatinamas jų prisitaikymas prie dinamiškų elektros kainų, diegiami išmanieji skaitikliai, o elektros gamybos decentralizacija tampa prioritetu, taip palengvinant sąlygas tapti gaminančiais vartotojais (LR Energetikos ministerija, 2020; LR Energetikos ministerija, 2025). Taip pat plečiamos virtualių jėgainių ir energijos paklausos valdymo technologijos, leidžiančios vartotojams aktyviai dalyvauti rinkoje ir gauti papildomų pajamų. Šios naujovės skatina elektros sistemų tvarumą ir stabilumą, o atsinaujinančių išteklių plėtrą papildomai remia valstybinės paramos schemos.

Tyrėjai Zare, Mehdinejad, ir Abedi (2024), remiantis matematiniais metodais siekė modeliuoti decentralizuotą rinką atsižvelgiant į patiriamus nuostolius, sandorių kaštus bei, galiausiai, sąžiningumo efektą. Pirmiausiai, autoriai priima tam tikras prielaidas pagal kurias teorinė rinka yra modeliuojama. Viena jų, tai jog rinkos dalyviai gali rinktis ne tik vartoti, bet ir prekiauti energija vieni su kitais, jog įsivyrautų efektyvesnis energijos valdymas. Taigi tie vartotojai – gamintojai, kurie patiria pagaminamos energijos perviršį, jį parduoda tiems, kurie turi energijos trūkumą.

Taip pat autoriai išskiria tris pagrindinius faktorius, kurie gali daryti įtaką rinkos veikimui. Pirmieji du – energetiniai nuostoliai bei sandorių kaštai – modeliuojami dvejais skirtingais būdais: viename modelyje šios dvi komponentės pasiskirsto tolygiai tarp rinkos dalyvių, o antrame energijos nuostolių našta lieka pardavėjui, o sandorių kaštai pirkėjo pusėje. Šioje vietoje priimama papildoma prielaida, jog vartotojai gali sumažinti tiekimo pusėje atsiradusius nuostolius sudarydami sandorius su geografinę prasme artimais dalyviais (vartotojai laikomai pakankamai racionaliais, jog šią prielaidą suvoktų ir taikytų). Galiausiai, trečiasis įtraukiamas faktorius – sąžiningumo indeksas. Jo tikslas, pasak autorių, išmatuoti rinkos dalyvių dalyvavimą rinkoje, jų

pasitenkinimą dėl energijos nuostolių ir sandorių kaštų paskirstymo.

Atlikus rinkų modeliavimą autoriai teigia, jog nuostolių ir kaštų paskirstymo metodika šiuo atveju nenulemia dalyvių prekybos masto rinkoje, tai yra, pardavėjai tiek pat parduos, pirkėjai tiek pat pirks esant visoms kitoms sąlygoms nepakitusioms. Taip pat straipsnyje teigiama, jog turint decentralizuotą energetikos rinką, nebelieka centrinio rinkos organo poreikio, kuris atliktų skaičiavimus, rinktų visų dalyvių duomenis. Šiuo atveju kiekvienas iš rinkos dalyvių pats kaupia informaciją ir remiantis ja, priima atitinkamus sprendimus. Šiuo būdu taip pat stengiamasi užtikrinti visiems sąžiningą rinkos veikimą ir konkurencijos sąlygas, kuomet nei vienas iš rinkos dalyvių neturi privilegijos prieiti išskirtinai daugiau informacijos. Galiausiai decentralizuota rinka siekia užtikrinti ir saugumą, kai sutrikus kažkuriam rinkos elementui, visos energetikos rinkos krizės tikimybė yra stipriai sumažinta.

Šis straipsnis itin vertingas siekiant suvokti, kodėl Lietuvoje taip pat planuojami bei įgyvendinami decentralizuotos rinkos elementai. Žaliosios energetikos plėtros kontekste ypatingai svarbu ne tik didinti rinkos saugumą ir atsparumą išoriniams veiksniams, bet ir užtikrinti sąžiningą ir efektyvų energijos paskirstymą tarp vartotojų-gamintojų. Tokios rinkos egzistavimas taip pat prisideda prie didesnės konkurencijos bei inovacijų skatinimo, padedant, šiuo atveju, Lietuvai žengti tvarios ir nepriklausomos energijos kryptimi.

1.3.5. Mokslinių tyrimai ir inovacijos

Mokslas, technologijos ir inovacijos ne tik yra kasdienio žmogaus gyvenimo dalis, bet ir gali padėti įveikti kai kuriuos pagrindinius visuomenės iššūkius. Tai yra ypač aktualu, kai pasaulis susiduria su rimtomis krizėmis. Taip, moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (toliau MTEP) padeda spręsti tarptautinio saugumo grėsmes, paskatinti naujų vaistų kūrimą, atveria nuotolinio mokymosi bei darbo galimybes. MTEP taip pat laikoma viena iš varomųjų jėgų, skatinančių žiniomis grįstą ekonomikos plėtrą ir žinioms imlių darbo vietų kūrimą (Giustini, 2021).

Vienas pagrindinių MTEP veiklos kriterijų yra originalių ir sudėtingų tikslų siekimas kuriant naujas žinias. Kitaip, kai nėra siekiama pažangos, panaudojant naujas žinias, veiklos negalima laikyti kaip MTEP projekto dalimi (OECD, 2015). Taigi, ekonominės ilgalaikės plėtros kontekste, investicijos į MTEP gali būti tapatinamos su technologine pažanga, kuomet visos kitos investicijos būtų orientuotos į fizinio bei žmogiškojo kapitalo kaupimą. Taigi tobulėjimas technologijų atžvilgiu yra neatsiejamas aspektas siekiant įgyvendinti kitus žaliosios energijos principus.

Atsinaujinančios energijos srityje MTEP apima duomenų valdymo ir saugojimo sprendimų tobulinimą, išmaniųjų elektros energijos apskaitos prietaisų diegimą vartotojams,

pagrįstą kaštų ir naudos analizės rezultatais, pažangių technologinių įrenginių integraciją, investicijų pritraukimą bei inovacijų skatinimą. Energetikos srityje viena svarbiausių institucijų, kuri rūpinasi moksliniais tyrimais energijos tiekimo saugumo analizės, degalų elementų ir vandenilio, atsinaujinančių energijos išteklių ir kitose srityse, yra Lietuvos energetikos institutas. Šio instituto mokslininkai taip pat dalyvauja įvairiose konferencijose, leidžia monografijas bei straipsnius. Vieno naujausiai publikuoto straipsnio (2024) autoriai buvo Mohammadi Lanbaran, Naujokaitis, Kairaitis ir kiti. Jų tikslas buvo parodyti, jog dirbtinis intelektas gali padidinti efektyvumą, tvarumą ir atsparumą optimizuodamas energijos vartojimą, gerindamas tinklų veikimą ir integruodamas atsinaujinančius energijos šaltinius.

Autoriai remiasi Pasaulio banko sudarytu VAR modeliu, kuris leidžia daryti išvadas, jog energijos efektyvumas, jos kainos bei BVP vienam gyventojui yra susiję priežastiniais ryšiais, taigi BVP augimas skatina energijos vartojimo efektyvumą. Apskritai, jeigu žiūrėtume istoriškai ekonomikos augimas lėmė didesnę energijos suvartojimą, kurį skatino technologinė pažanga, besikeičiantis vartotojų elgesys ir urbanizacija. Tačiau pastaruoju metu, kai kurios išsivysčiusios jau pasižymi procesu, kai BVP auga, o energijos suvartojimas nusistovi arba mažėja. Šį aspektą galima paaiškinti išaugusiu energijos vartojimo efektyvumu bei perėjimu prie atsinaujinančių energijos šaltinių.

Straipsnyje atliekamas įdomus tyrimas, kuriuo siekiama išsiaiškinti kaip pasaulio energetikos startuoliai savo įmonėje įgyvendina dirbtinį intelektą bei kvantinius kompiuterius siekiant įgyvendinti aukštesnį efektyvumo lygį bei optimizuoti procesus. Atlikę tyrimą autoriai pateikia išvadas, jog bendrąja prasme dirbtinis intelektas sparčiai tobulina atsinaujinančios energijos infrastruktūrą. Ateityje tikimasi visiškai savarankiškų išmaniųjų tinklų, kurie sklandžiai integruos įvairius atsinaujinančios energijos šaltinius. Jau atsiranda startuolių įmonės, kuriančios dirbtiniu intelektu pagrįstas sistemas, kurios leistų numatyti ir optimizuoti energijos gamybą, taip pat tobulina anglies surinkimo technologijas bei energijos paskirstymo valdymą, kuris remtųsi realiu laiku gaunamais duomenimis. Kalbant apie kvantinius kompiuterius, autoriai pripažįsta, jog šiai technologijai tobulėjant, ji žada spręsti sudėtingas optimizavimo problemas žaliosios energijos sektoriuje, pavyzdžiui, projektuojant efektyvesnes saulės baterijas, optimizuojant vėjo jėgainių išdėstymą ir kuriant pažangias energijos kaupimo sistemas. Tačiau šiuo metu verta nepamiršti, jog egzistuoja ir kvantinių kompiuterių panaudojimą ribojantys veiksniai:

- technologija vis dar vystoma ir turi ganėtinai nedaug praktinio pritaikymo pavyzdžių;
- aukštos kvantinių kompiuterių vystymo ir palaikymo išlaidos;
- reikalingi specialiai apmokyti žmogiškieji ištekliai, kas reikalauja papildomų investicijų.

Taigi, nors besivystančios technologijos jau pasiekė neblogą pritaikymo lygį, tačiau ypač tokioje

valstybėje, kaip Lietuva, būtina į tai intensyviai investuoti tiek pinigus, tiek laiką, jog ateityje būtų užtikrintas pilnas ir sklandus žaliosios energijos naudojimas visuomenėje.

1.4. Principų taikymo sėkmės ir nesėkmės

Nors ES iškelto žaliajo kurso tikslo įgyvendinimui Lietuvoje ir su juo susijusių principų vykdymui skiriama nemažai dėmesio, finansų ir laiko, tačiau tai nereiškia, jog šalis nesusiduria su tam tikrais sunkumais ar trikdžiais. Įgyvendinant naujus aspektus ar principus neretai pastebimos spragos, kurias būtina užpildyti įvairiomis politinėmis, teisinėmis ar ekonominėmis priemonėmis. Puikus pavyzdys yra 2023 metais LR Finansų ministerijos patvirtintas 2023–2026 metų Lietuvos žaliųjų finansų veiksmų planas (2023), skirtas aplinkosaugos tikslams pasiekti viešųjų ir privačių finansų srityse. Plane, teigiama, jog visų numatytų veiksmų tikslas yra remti žaliųjų finansų plėtrą Lietuvoje, kuri apimtų tiek viešuosius, tiek privačius finansus, sukurti palankią ekosistemą žalioms investicijoms, skatinti kurti platesniam investuotojų ratui skirtus žaliuosius finansinius produktus, kurie leistų finansinius išteklius nukreipti į žaliuosius projektus ir taip prisidėti prie platesnės Lietuvos ekonomikos žaliosios pertvarkos. Plane pabrėžiama, jog siekiant šių ganėtinai ambicingų tikslų, būtina pritraukti kuo daugiau privačių investicijų žaliems projektams finansuoti. Ir štai šioje vietoje Lietuva susiduria su rimtais iššūkiais. Plane minimos 5-ios pagrindinės kliūtys:

- ribotas kapitalo rinkų išsivystymas;
- užsienio investuotojų ribotas požiūris į investavimo galimybes Lietuvoje;
- apribojimai, su kuriais susiduria vietiniai investuotojai;
- sunkumai, su kuriais susiduria emitentai;
- žaliųjų finansų paklausos vystymosi suvaržymai.

Žinoma, šis Lietuvos finansų ministerijos parengtas planas artimai siejasi su įvairiais ES patvirtintais reglamentais. 2018 metais ES parengė tvaraus augimo finansavimo veiksmų planą (2018). Šiame plane įvardijami trys pagrindiniai tikslai:

- nukreipti kapitalo srautus į tvarias investicijas, kad būtų pasiektas darnus ir integracinis augimas;
- valdyti finansinę riziką, kylančią dėl klimato kaitos, išteklių išekvojimo, aplinkos būklės blogėjimo ir socialinių problemų;
- didinti skaidrumą ir skatinti labiau atsižvelgti į ilgalaikę perspektyvą vykdant finansų ir ekonominę veiklą.

Remiantis Bovera ir Schiavo (2022), šis planas iš esmės apima tris pagrindines disciplinas. Pirmiausiai, tai tvaraus finansavimo informacijos atskleidimo reglamentas (toliau SFDR) priimtas siekiant padidinti tvarių investicinių produktų rinkos skaidrumą. Taigi kiekvienas investuotojas,

siūlantis finansinius produktus, turi paviėšinti kiekybinę bei kokybinę informaciją patvirtinančią apie jų investicijų poveikį tvarumui. Taip pat taksonomijos reglamentu nustatyta klasifikavimo sistema, kuri nurodo, kokios veiklos laikomos tvariomis. Ši sistema suteikia įmonėms ir investuotojams galimybę atpažinti, kokia ekonominė veikla gali būti laikoma tvaria aplinkos atžvilgiu bei skatina didinti privačiojo sektoriaus finansavimą perėjimui prie klimato neutralumo. Galiausiai ES reguliacinė reforma, numato, kad tvarumo nuostatos, minimos aukščiau, būtų įtrauktos į finansų tarpininkų įsipareigojimus.

Ir nors visi šie reglamentai prisideda prie tvaresnių investicijų, kurios atitinkamai prisideda prie žaliosios energijos vystymo šalyje, jie taip pat sukelia ir sunkumų. Pavyzdžiui, 2022 metais ES institucijos pasiekė susitarimą dėl Europos Komisijos siūlyto taksonomijos reglamento pakeitimų, taip laikinai įtraukiant dujas ir branduolinę energiją kaip tvarią energetikos rūšį (Europos Komisija, 2022). Žaliosios energijos apibrėžimų problematiką ir įvairovę galima buvo matyti anksčiau šiame darbe, tačiau ir taksonomijos reglamento atžvilgiu, dalis Lietuvos politikų teigia, jog nors tai iš esmės lengvina kelią link žaliojo kurso įgyvendinimo, tačiau tai taip pat skatins investicijas į branduolinę ir dujomis pagrįstą energiją kaip „žaliąsias“, kurias kai kurie mato kaip dalinį grįžimą prie iškastinio kuro infrastruktūros tolimesnio plėtojimo (LRT, 2022).

Nepaisant sunkumų, kurie iš esmės susiję su reglamentų įgyvendinimu valstybiniuose planuose, egzistuoja ir kiti iššūkiai kilę einant žaliosios energijos link. Usman ir kiti (2024) nagrinėja žaliosios energijos principų įgyvendinimą Kinijos gamybos srityje, tiksliau naudą ir iššūkius. Autoriai teigia, jog esminės kliūtys yra susijusios su technologijų plėtra ir pritaikymu, bei žaliosios energijos įgyvendinimo kainomis. Pastaroji kliūtis siejama su aukštomis priemonėmis, kurios taikomos žaliajai energijai, taip pat atkreipiamas dėmesys į technologijų atnaujinimo poreikį ir anglies dioksido surinkimo technologijų trūkumą. Pasak straipsnio, Kinijos rinkoje yra pastebėtas vadinamasis šališkas technologijų progresas – didžiausias dėmesys skiriamas kapitalo kiekio didinimui, ir palyginus maža dalis inovacijų vystymui. Todėl antroje straipsnio dalyje autoriai siūlo bendradarbiauti švietimo, pramonės ir valdžios sektoriuose, taikyti efektyvias politikos ir reguliavimo priemones (mokesčių lengvatos, subsidijos, finansinės priemonės, žaliųjų obligacijų leidimai ir t. t.), investuoti į infrastruktūrą bei didinti technines žinias ir visuomenės sąmoningumą.

Lietuvoje tendencijos gan panašios. Nors šalies atsinaujinančių energijos šaltinių plėtra yra pažangi (pvz., spartus vėjo ir saulės sektoriaus augimas), visgi susiduriama su panašiais iššūkiais: namų ūkių tyrimas Lietuvoje parodė, kad dauguma gyventojų norėtų naudoti atsinaujinančių energijos šaltinių technologijas savo namuose, tačiau susiduria su finansinių išteklių trūkumu ir infrastruktūros apribojimais (diegimo pradiniai kaštai, atsipirkimo laikotarpis, techninių žinių trūkumas) (Streimikienė, Lekavičius, Stankūnienė, Pažėraitė, 2022). Remiantis straipsnio autorių

teigimu būtina šalinti elgsenos kliūtis – stiprinant finansinę paramą atsinaujinančiai energijai namų ūkiuose ir geriau pritaikant tikslines politikos priemones. Taip pat svarbu skatinti valdžios institucijų ir gyventojų įsitraukimą, nes tai padėtų keisti jų įpročius ir požiūrį į atsinaujinančius išteklius. Taigi, nepaisant skirtingų rinkų specifikos, tiek Kinijoje, tiek Lietuvoje išlieka panašūs žaliosios energijos plėtros iššūkiai – aukštos įgyvendinimo sąnaudos, technologiniai apribojimai ir ribota finansinė prieiga.

2. ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKymo IR EKONOMINIŲ IŠŠŪKIŲ LIETUVOJE EMPIRINIO TYRIMO METODIKA

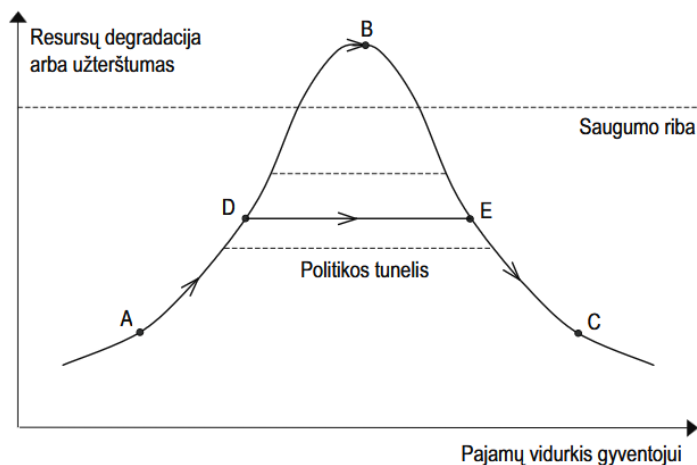
2.1. Taikyti metodai literatūros šaltiniuose

Daugelyje mokslinių straipsnių galima rasti įvairių tyrėjų taikomų metodų, skirtų žaliosios energijos sričiai ir jos pažangai tirti. Nemaža dalis tyrimų koncentruojasi į kokybinius metodus, apimančius dokumentų ir mokslinių straipsnių analizę, apklausų vykdymą bei kokybinių duomenų interpretaciją. Tačiau šiame darbe dėmesys bus skiriamas išimtinai kiekybiniais metodams, leidžiantiems objektyviai įvertinti žaliosios energijos plėtros veiksnius bei jų įtaką žaliojo kurso įgyvendinimo procesui. Šioje magistrinio darbo dalyje išsiginama į įvairias metodikas, kurios taikomos mokslinėje literatūroje.

Kalbant apie žaliąją energiją, dažnai pagrindinis tyrimo objektas būna CO₂ kiekis atmosferoje, nes būtent per didelis jo kiekis lemia globalinį atšilimą (Sultana, Hossain, Voumik, Raihan, 2023). 2023 metais išleistame Bangladešo tyrėjų straipsnyje nagrinėjamas demokratijos, žaliosios energijos vartojimo, BVP, prekybos atvirumo ir gyventojų skaičiaus augimo poveikis išmetamam CO₂ kiekiui keturiose Pietų Azijos šalyse 1990 – 2019 metais. Šiame straipsnyje siekiama įvertinti aplinkos Kuznetso kreivės (EKC) (4 paveikslas) pagrįstumą ir išanalizuoti priežastinius ryšius tarp ekonomikos augimo, aplinkos degradacijos bei demokratijos.

4 paveikslas

Aplinkos Kuznetso kreivė



Šaltinis: Čiegis, Dilius, Štreimikienė, 2020.

EKC egzistavimo bendras aiškinimas yra orientuotas į socialinių ir ekonominių procesų „ekologinį racionalų paaiškinimą“, kad kažkuriuo momentu, esant tam tikriems ekonominės plėtros lygiams, visuomenės susimąsto dėl savo poveikio aplinkai ir pradeda mažinti rizikingą išėigą (Čiegis, Dilius, Štreimikienė, 2020). Tačiau kritikai teigia, kad nėra jokios garantijos, jog ekonomikos augimas savaime prisidės prie aplinkos gerinimo – dažnai pasitaiko priešingų atvejų,

kai didėjanti ekonominė veikla dar labiau skatina aplinkos taršą. Neretai EKC funkcija pasirodo esą pakankamai jautri ir jos forma tiriant skirtingas valstybes gali priklausyti nuo patikimų ilgesnio laikotarpio duomenų trūkumo, politikos, šalių išsivystymo (Leal, Marques, 2022). Siekiant užtikrinti, kad ekonomikos augimas būtų suderintas su tvaria aplinkos apsauga, būtina nuosekli ir kryptinga politika bei atsakingas strateginis požiūris.

Sultana, Hossain, Voumik, Raihan, (2023) atliko ekonometrinį panelinių duomenų modeliavimą parinktiems duomenims (5 lentelė), taip pat buvo įgyvendinti ir statistiniai testai tokie kaip vienietinės šaknies bei kointegracijos.

5 lentelė

Sultana, Hossain, Voumik ir Raihan naudoti Kintamieji ir jų matavimas.

Kintamasis	Matavimas
Anglies dioksido kiekis	Kilotonos
BVP	2015 metų kainomis, JAV doleriai
Atsinaujinančios/žaliosios energijos suvartojimas	% nuo bendro galutinio energijos suvartojimo
Populiacija	Bendras gyventojų skaičius
Prekybos atvirumas	Eksporto ir importo santykis su BVP
Demokratija	V-dem indeksas

Šaltinis: Sultana, Hossain, Voumik, Raihan, 2023.

Įverčiams rasti buvo naudojamas kvantilių regresijos metodas, nes jis leidžia įvertinti kaip nepriklausomi kintamieji veikia priklausomą kintamąjį skirtingais kvantilių lygiais. Galiausiai tyrimas patvirtina, jog nagrinėjamų šalių kontekste EKC hipotezės atmesti negalima. Taip pat yra išskiriama demokratijos svarba, kuomet visų kvantilių lygmenyje koeficientai buvo reikšmingai neigiami, kas rodo mažinamą efektą CO₂ kiekiui. Taigi galima teigti, kad taikant tinkamą demokratinę praktiką galima vienu metu testuoti ekonominę vystymąsi ir aplinkos apsaugą, o tai padeda formuoti EKC. Nors panelinių duomenų modelis šiame magistro darbe bus nenagrinėjamas, tačiau EKC idėja bei parinkti duomenys gali būti naudingi vystant galutinę šio tyrimo metodologiją Lietuvos duomenims.

Anksčiau nagrinėjame straipsnyje kintamieji buvo parinkti atsižvelgiant į tiriamą hipotezę ir jos dedamąsias. Tačiau neretai kintamieji parenkami taip, jog jie reprezentuotų tam tikrus nagrinėjamus veiksnus. Javed, Shabir, Rao ir Uddin savo straipsnyje (2025) siekia ištirti sąsajas tarp žaliųjų technologinių inovacijų, finansų plėtros ir perėjimo prie žaliosios energetikos N-11 šalyse, 1997-2020 metais. Atsižvelgiant į šiuos aspektus kintamieji buvo parinkti atitinkamai (6 lentelė).

6 lentelė

Sultana, Hossain, Voumik, Raihan naudoti kintamieji ir jų matavimas.

Kintamasis	Matavimas
Perėjimas prie žaliosios energijos	Teravatvalandės
Žalioji technologinė inovacija	Patentų, susijusių su aplinkosaugos technologijomis, skaičius (% nuo visų patentų)
Finansinis išsivystymas	Finansinio išsivystymo indeksas
Gamtos išteklių renta	Bendros gamtos išteklių rentos dalis nuo BVP %

Lentelės tęsinys

Infliacija	Metinis pokytis %
------------	-------------------

Šaltinis: Sultana, Hossain, Voumik, Raihan, 2023.

Straipsnyje minėti duomenys parinkti taip, jog atspindėtų tvaraus vystymosi tikslus įtrauktus į JT suformuotą darbotvarkę iki 2030 ir sąryšius tarp jų (UN, 2015). Tai atspindi tam tikrą panašumą su šiuo magistro darbu, kuomet siekiama kiekybiškai patikrinti pristatytų žaliosios energijos principų (LR Finansų ministerija, 2023) taikymo progresą. Autoriai taikė momentų metodą ir kvantilių regresiją (MMQR). Skirtingai nei tradiciniai metodai, kurie daugiausia dėmesio skiria vidutiniam poveikiui, MMQR leidžia analizuoti, kaip kintamieji veikia skirtinguose pasiskirstymo lygiuose. Taip pat metodas padeda kontroliuoti galimą endogeniškumo problemą ir individualius efektus, kurie gali turėti įtakos modelio tikslumui ir rezultatų interpretacijai. Galiausiai straipsnyje buvo pritaikytas Grangerio priežastingumo testas ir padarytos išvados, jog žaliųjų technologijų inovacijos ir finansinis vystymasis skatina perėjimą prie žaliosios energijos, o infliacija gali ir stabdyti šį procesą ties viduriniais ir aukštesniais kvantiliais. Taip pat straipsnio autoriai pabrėžia, jog buvo analizuotas limituotas šalių kiekis bei laikotarpis, o tai papildomi makroekonominiai veiksniai, kurie gali lemti kitokias išvadas ateities tyrimuose. Ši išvada aktuali Lietuvos kontekste, kai turima laiko eilutė nėra ilga, o duomenys, ypač iki 2004 metų, t. y., iki įstojimo į ES, nebūtinai yra kokybiški.

Tiek EKC modelį, tiek kvantilių metodą pritaikė ir Turkijos tyrėja ir siekė išsiaiškinti kaip investicijos į žaliąją energiją ir žaliąsias technologijas paveikė išmetamą CO₂ kiekį su stebimais ir nestebimais poveikiais kiekviename kvantilyje (Agan, 2024). Autorė teigia, kad jau anksčiau šiame darbe minėta aplinkos EKC sistema yra pripažįstama kaip pagrindinis empirinis modelis, skirtas atsinaujinančios energijos ir žaliųjų technologijų tyrimui, todėl ji buvo naudojama siekiant įvertinti tiesioginių užsienio investicijų (TUI) ir MTEP išlaidų poveikį CO₂ kiekiui atmosferoje. Šiam tikslui įgyvendinti buvo parinkti pagrindiniai rodikliai (7 lentelė).

7 lentelė

Agan naudoti kintamieji ir jų matavimas.

Kintamasis	Matavimas
CO ₂ emisijos	Tonos vienam gyventojui
Žalioji energija	Atsinaujinančios energijos dalis %
Žaliųjų technologijų vystymasis	Su aplinka susijusių ir besivystančių technologijų dalis %
TUI	Grynosios užsienio investicijos, JAV doleriai
Ekonominis augimas	BVP vienam gyventojui, JAV doleriai
MTEP	Išlaidos, % nuo BVP
Miestų populiacija	% nuo bendrosios populiacijos

Šaltinis: Agan, 2024.

Tyrimo rezultatai parodė, kad TUI ir MTEP išlaidos skirtingai veikia CO₂ emisijas priklausomai nuo kvantilio – žemuose kvantiliuose poveikis buvo nereikšmingas arba net

teigiamas, tuo tarpu aukštuose kvantiliuose investicijos turėjo reikšmingą neigiamą poveikį CO₂ išmetimui. Tai leidžia daryti prielaidą, kad šalyse, kurių taršos lygis yra aukštesnis, žaliųjų technologijų diegimas ir atsinaujinančios energijos skatinimas yra efektyvesnės priemonės kovai su klimato kaita. Atsižvelgiant į tai, kad Europos Sąjungos šalys palaipsniui konverguoja pagal įvairius ekonominius ir aplinkosauginius rodiklius (Aleksnevičiūtė, Comunale ir kiti, 2020), tokie metodai galėtų būti pritaikyti ir Lietuvos atvežiui. Tai ypač aktualu formuojant nacionalinę klimato politiką ir tvaraus vystymosi strategijas, kurių efektyvumas priklauso nuo gebėjimo įvertinti tikslinį poveikį įvairiose socioekonominėse situacijose.

Galiausiai Baležentis, Baležentis ir Streimikiene savo straipsnyje panaudoja dar vieną metodą skirtingiems CO₂ kiekio veiksniams analizuoti (2011). Pirmiausiai, šis straipsnis išsiskiria tuo, jog jame analizuojami būtent Lietuvos duomenys. Jame siekiama išsiaiškinti, kaip energijos vartojimo pokyčius Lietuvoje per 1995–2009 m. laikotarpį lėmė skirtingi ekonominiai veiksniai. Šis tyrimas yra svarbus, nes nors Lietuva po įstojimo į Europos Sąjungą sparčiai diegė energijos efektyvumo politiką, jos energijos intensyvumas vis dar išliko aukštas lyginant su ES vidurkiu.

Tyrime taikyta LMDI metodika, leidžianti suskaidyti energijos vartojimo pokyčius į tris sudėtines dalis: veiklos, struktūrinį ir intensyvumo efektus. Veiklos efektas parodo, kaip ekonomikos augimas didina energijos paklausą, struktūrinis efektas atskleidžia, kaip ekonomikos persiorientavimas į mažiau ar daugiau energijos vartojančius sektorius keičia bendrą vartojimą, o intensyvumo efektas matuoja energijos naudojimo efektyvumo pokyčius sektoriaus viduje. Gauti rezultatai parodė, kad bendras energijos intensyvumas Lietuvoje mažėjo, tačiau pagrindinę įtaką tam darė energijos vartojimo efektyvumo augimas, o ne ekonomikos struktūros pokyčiai. Ekonomikos augimas veikė priešingai – skatino didesnę energijos vartojimą. LMDI metodika ir atlikta analizė leidžia ne tik suskaidyti energijos vartojimo pokyčius, bet ir suprasti, kaip skirtingų principų taikymas – pavyzdžiui, ekonominės struktūros keitimas, skatinant mažiau taršius sektorius, arba energijos efektyvumo didinimas sektorių viduje – gali turėti įtakos bendram CO₂ lygiui. Kadangi CO₂ išmetimai glaudžiai susiję su energijos vartojimu, intensyvumo efekto stiprinimas tiesiogiai mažina CO₂ emisijas. Tuo tarpu struktūriniai pokyčiai gali turėti papildomą ilgalaikį poveikį, jei ekonomika pereina prie mažiau anglies dioksido išskiriančių veiklų.

Bendrai galima pastebėti, jog tyrėjai taiko skirtingus duomenis bei metodus savo analizėse, tačiau atsižvelgiant į turimus Lietuvos duomenis, jų kiekį bei kokybę, šiame magistriniame darbe taikomi du metodai išvadoms gauti: LMDI dekompozicija visai ekonomikai bendrai bei regresijos modelis taikant OLS metodą. Svarbu pabrėžti, kad nors ir nemažai autorių skiria dėmesį EKC kreivės nagrinėjimui, šiame darbe ji nebus plačiai analizuojama dėl dviejų priežasčių. Pirmiausiai, kuriant tiesinį regresijos modelį nors ir buvo pastebėta lygtis, kurioje BVP pakeltas kvadratu yra statistiškai reikšmingas, tačiau koeficientas šalia jo buvo teigiamas, kas reiškia, jog EKC kreivės

Lietuvai pritaikyti negalime. Tą gali lemti tokios priežastys kaip ne visai kokybiški duomenys, arba apskritai ekonomika nepasiekė tokio išsivystymo lygio, kur didėjantis BVP mažintų CO₂ kiekį. Antroji priežastis, kodėl EKC kreivė toliau neanalizuojama, tai, jog egzistuoja tyrimų, kurie taip pat pagrindžia EKC kreivės nebuvimą Lietuvos ekonomikoje, pavyzdžiui (Kar, 2022), kur teigiama, jog „remiantis ekonometrinės analizės rezultatais, apverstos U formos EKC hipotezė nepasitvirtino visų Baltijos šalių kontekste“.

LMDI metodas, nors ir buvo jau taikytas anksčiau aptartame straipsnyje, tačiau ten duomenys atvaizdavo situaciją iki 2009 metų, todėl naudinga ir įdomu palyginti rezultatus, kai laiko eilutė yra ilgesnė bei patyrinėti, ar įgyvendinami žaliosios energijos principai visgi daro poveikį Lietuvos ekonomikai.

2.2. Magistro darbe taikyta metodologija ir duomenys

2.2.1. LMDI dekompozicija

Kaip jau buvo minėta anksčiau metodo idėja šiame darbe buvo pritaikyta remiantis Baleženčio ir kitų autorių moksliniu darbu (2011). Straipsnyje naudojami du šios dekompozicijos būdai – adityvi ir multiplikatyvi dekompozicijos. Šiame darbe pasirinkta naudoti adityvią dekompoziciją, tačiau pagrindinės išvados, naudojant vieną ar kitą būdą nesiskiria.

Norint išskaidyti energijos intensyvumo pokyčius į atskirus veiksnius ir kiekybiškai įvertinti jų įtaką, darbe taikomas LMDI metodas. Šis metodas pasižymi gebėjimu išvengti liekanų rezultatuose bei taip pat savo lankstumu, kuomet laiko eilutėse leidžiami nuliai. Tačiau, kadangi dekompozicijos formulėse yra logaritmai, duomenyse negali būti neigiamų reikšmių (Ang, 2005). Kadangi šiame darbe taikoma adityvi dekompozicijos forma, ji leidžia energijos suvartojimo pokyčius ΔE tarp dviejų laikotarpių suskaidyti į tris pagrindinius veiksnius:

- veiklos efektas – pokytis dėl ekonominės veiklos augimo ar mažėjimo;
- struktūrinis efektas – pokytis dėl ekonominės struktūros pokyčių tarp nagrinėjamų sektorių;
- intensyvumo efektas – pokytis dėl energijos vartojimo efektyvumo sektoriuose.

Visi šie efektai atspindi formulėse:

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \frac{Q^T}{Q^0},$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \frac{S_i^T}{S_i^0},$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \frac{I_i^T}{I_i^0}.$$

kur indeksas i simbolizuoja sektorius, E yra bendras energijos suvartojimas, $Q = \sum_i Q_i$ rodo ekonomikos aktyvumą, taigi šiuo atveju tai yra bendroji pridėtinė vertė, tuomet struktūrą atspindi $S_i = \frac{Q_i}{Q}$, o $I_i = \frac{E_i}{Q_i}$ rodo tam tikro sektoriaus energijos intensyvumą. Tokiu būdu, remiantis formulės sudedamosiomis galima paprastai interpretuoti gautus rezultatus, kaip antai energijos intensyvumo sumažėjimą, pavyzdžiui, galima susieti su sumažėjusiomis energijos sąnaudomis vienam pridėtinės vertės vienetui arba energiją taupančių technologijų diegimu.

2.2.2. OLS metodas

Šiame darbe taip pat taikomas mažiausių kvadratų metodas, kuris naudojamas siekiant įvertinti priklausomybės tarp kintamųjų stiprumą ir kryptį. OLS metodas yra vienas iš plačiausiai naudojamų regresinės analizės metodų ekonomikos tyrimuose, kai siekiama įvertinti, kaip nepriklausomi kintamieji veikia priklausomą kintamąjį. Šiuo metodu siekiama minimizuoti rizikos funkciją:

$$\hat{R}(\beta) := \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y(t) - \beta^T x(t))^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon^2(t)$$

ir gaunamas koeficientų įvertis $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$, kur X simbolizuoja egzogeninių kintamųjų matricą, o Y – priklausomų (Radavičius, 2021).

Prieš taikant OLS metodą regresijos sudarymui, svarbu ištirti kintamųjų stacionarumą. Tam buvo naudojamas ADF testas, kurio H_0 : yra vienetinė šaknis. Šio testo idėja remiasi tuo, jog jeigu nagrinėjama laiko eilutė turi vienetinę šaknį, tai y_{t-1} nesuteiks jokios papildomos naudingos informacijos prognozuojant y_t ir γ bus lygi 0 lygtyje: $\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \dots + \delta_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t$ (Said, Dickey, 1984). Tiesa, skaičiavimuose buvo pasitelkta du R paketai, kurie turi įgyvendinę ADF testo atlikimą – *tseries* bei *urca*. Skirtumas tarp jų tas, jog *tseries* paketo testas yra mažiau lankstus, t. y., automatiškai parenka vėlavimų skaičių bei numatytuoju būdu tikrina stacionarumą su konstanta. Tuo tarpu *urca* paketo ADF testo įgyvendinimas yra lankstus, leidžia daugiau nustatymų ir šiame darbe buvo pasirinkta stacionarumą tikrinti be konstantos ir be tendencijos.

Sudarius modelį su statistiškai reikšmingais kintamaisiais taip pat svarbu ištirti, ar gautos liekanos tenkina visas jų prielaidas. Priešingu atveju galima gauti šališkus ir nepatikimus rezultatus. Darbe tikrinama ar:

- liekanų laukiamas vidurkis lygus 0. Ši prielaida tikrinama vizualiai, remiantis sklaidos

grafikais, kur siekiama, jog modelio paklaidos nuosekliai pasiskirstytų aplink nulį (Poole, O'Farrell, 1971);

- liekanos homoskedastiškos, kas reiškia, kad dispersija visoje laiko eilutėje yra konstanta – nuosekli ir nekintanti. Ši sąlyga tikrinama naudojant Breusch-Pagan testą, kuris naudojamas heteroskedastiškumo egzistavimui regresijos modelyje nustatyti, tikrinant nulinę hipotezę, kad paklaidų dispersija yra pastovi ir nepriklauso nuo aiškinamųjų kintamųjų. Šis testas grindžiamas prielaida, kad paklaidų dispersija gali būti išreikšta kaip regresorių funkcija, o reikšmingas testo rezultatas rodo sisteminių ryši tarp paklaidų dispersijos ir aiškinamųjų kintamųjų (Zaman, 1995);
- liekanos normaliai pasiskirsčiusios, o tam nustatyti naudojamas Shapiro – Wilk testas, kurio nulinė hipotezė teigia, jog duomenys yra normaliai pasiskirstę. Testas vertina, ar stebėjimų pasiskirstymas atitinka teorinį normalųjų skirstinį (Shapiro, Wilk, 1965);
- liekanos neautokoreliuotos, ir tam patikrinti naudojami ACF ir PACF grafikai bei Box tetsas. Pastarasis testas vertina, ar liekanų koreliacijos per kelis pasirinktus vėlavimus (šiam magistro darbe – 2 metų laikotarpis) statistškai reikšmingai skiriasi nuo nulio, o reikšmingas testo rezultatas rodo, kad liekanos nėra tarpusavyje nepriklausomos (Ljung, Box, 1978);
- liekanos nepriklauso nuo aiškinamųjų kintamųjų. Vizualiai tai tikrinama analizuojant liekanų sklaidos grafikus pagal aiškinamuosius kintamuosius, kur atsitiktinis taškų pasiskirstymas aplink nulį rodo tinkamą modelio specifikaciją, o pastebimos struktūros ar tendencijos – galimą modelio netikslumą.

2.2.3. Duomenys

Šiame magistro darbe buvo naudojami dviejų tipų duomenys. Metiniai duomenys (8 lentelė) taikyti atliekant LMDI dekompoziciją, o ketvirtiniai (9 lentelė) – sudarant regresijos modelį. Ketvirtinių duomenų grafikai, prieš atliekant transformacijas pateikti 1 – ame priede (15 paveikslas).

8 lentelė

Metiniai duomenys naudoti atliekant LMDI dekompoziciją.

Trumpiniai	Aprašymas	Šaltinis	Itrauktos grupės
Tot_V, Ind_V, Cons_V, Trans_V, Agr_V, Oth_V	Bendroji pridėtinė vertė skaičiuojama grandininio susisiejimo metodu (2005), mln. Eur.	Eurostat	Pramonė, statyba, transportas, žemės ūkis ir kitos.
Tot_E, Ind_E, Cons_E, Trans_E, Agr_E, Oth_E	Galutinis kuro ir energijos suvartojimas, matuojamas TJ.	VDA	

Šaltinis: Eurostat, VDA.

9 lentelė
Ketvirtiniai duomenys naudoti regresijos modelyje.

Trumpinys	Aprašymas	Šaltinis	Principas
Imp	Elektros energijos importas, matuojamas GWh. Duomenys agreguoti iš mėnesinių ir ketvirtinių naudojant sumos operatorių.	Eurostat	Energetinis saugumas; Energijos vidaus rinka
CO2	Šiltnamio dujos matuojamos CO ₂ ekvivalentu.	Eurostat	Priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas
TUI	Tiesioginės užsienio investicijos ketvirčio pabaigoje, matuojamos mln. Eur. EVRK: D (elektros, dujų, garo tiekimas ir oro kondicionavimas).	VDA	Energijos vidaus rinka; Energetinis saugumas
BVP_cap	BVP vienam gyventojui, to meto kainomis.	VDA	Ekonominis išsivystymas (nėra tarp pagrindinių principų, tačiau taip pat svarbus aspektas)
Trans_pump	Transformacijos sąnaudos - elektros energija, skirta akumuliacinei saugykiai, matuojamos GWh. Duomenys agreguoti iš mėnesinių ir ketvirtinių naudojant sumos operatorių.	Eurostat	Energetinis saugumas
Renew_prod	Bendroji elektros energijos gamyba GWh, atėmus elektros energiją, kurią sunaudoja pagalbinių generatoriai, ir nuostolius transformacijos procese. Įtraukiama tik atsinaujinantys šaltiniai. Duomenys agreguoti iš mėnesinių ir ketvirtinių naudojant sumos operatorių.	IEA	Priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas; Energetinis saugumas
Pram_prodD	Pramonės produkcija (be PVM ir akcizo), tūkst. Eur., to meto kainomis. EVRK: D (elektros, dujų, garo tiekimas ir oro kondicionavimas).	VDA	Energijos vidaus rinka; Energetinis saugumas
Fin_cons	Galutinis elektros energijos suvartojimas GWh, apskaičiuojama kaip: vietinė gamyba + importas - eksportas - panaudota akumuliacinėse saugyklose - perdavimo ir paskirstymo nuostoliai. Duomenys agreguoti iš mėnesinių ir ketvirtinių naudojant sumos operatorių.	IEA	Energijos efektyvumas
HICP_energ	Suderintas vartotojų kainų indeksas (2015 m. – 100). Specialioji prekių ir paslaugų grupė – energetinė prekės. Duomenys agreguoti iš mėnesinių ir ketvirtinių naudojant vidurkio operatorių.	VDA	Energijos vidaus rinka; Energetinis saugumas
Mat_invD	Materialinės investicijos to meto kainomis, tūkst. Eur. Paskirtis - pastatų, inžinerinių statinių statyba ir rekonstravimas.	VDA	Moksliniai tyrimai ir inovacijos

Šaltinis: Eurostat, VDA, IEA.

Metinių duomenų struktūra sudaro prielaidas nuosekliai įvertinti, kaip skirtingų ekonominės veiklos sektorių raida prisideda prie bendrų energijos vartojimo pokyčių. Ketvirtinių duomenų rinkinys leidžia analizuoti trumpalaikius energetikos sistemos svyravimus ir jų sąsajas su ekonominiais, investiciniais bei aplinkosauginiais veiksniais. Pasirinkti rodikliai sudaro pagrindą vertinti energetinio saugumo, rinkos stabilumo ir žaliosios transformacijos sąveiką dinamikoje.

2.2.4. Prielaidos ir apribojimai

Šiame magistro darbe yra priimamos tam tikros prielaidos, kurios supaprastina rezultatų interpretaciją ir leidžia nuosekliai taikyti pasirinktus kiekybinius metodus. Pirmiausia daroma prielaida, kad penki žaliosios energijos principai gali būti tinkamai atspindėti dešimčia atrinktų kintamųjų. Tai reiškia, kad tuo atveju, jei tam tikras rodiklis empirinėje analizėje pasirodo statistiškai nereikšmingas, atitinkamo principo reikšmė šalies ekonomikoje laikoma mažesne arba jo įgyvendinimas – silpnesniu. Taip pat daroma prielaida, kad šalies ekonominės veiklos mastą tinkamai atspindi bendroji pridėtinė vertė, o pagrindinės energiją intensyviai vartojančios veiklos sritys Lietuvoje yra pramonė, statyba, transportas ir žemės ūkis, tuo tarpu kitos veiklos sritys apjungiamos į vieną bendrą kategoriją. Ši prielaida yra ypač reikšminga sudarant LMDI dekompoziciją, nes leidžia aiškiau identifikuoti struktūrinius energijos vartojimo pokyčius. LMDI metode taip pat taikoma prielaida, kad energijos suvartojimo pokyčius lemia trys pagrindiniai efektai – veiklos, struktūros ir energijos intensyvumo, kurie leidžia išskaidyti bendrą suvartojimo pokytį be liekanos.

Galiausiai dalis kintamųjų buvo agreguoti dėl to, kad tam tikrų rodiklių buvo prieinamos tik mėnesinės laiko eilutės. Todėl daroma prielaida, kad galutinis elektros energijos suvartojimas gali būti agreguojamas iš mėnesinių duomenų į ketvirtinius, taikant sumos operatorių, o SVKI – naudojant aritmetinį vidurkį. Tokiu būdu užtikrinamas duomenų suderinamumas su regresijos modelyje naudojamu ketvirtiniu dažniu.

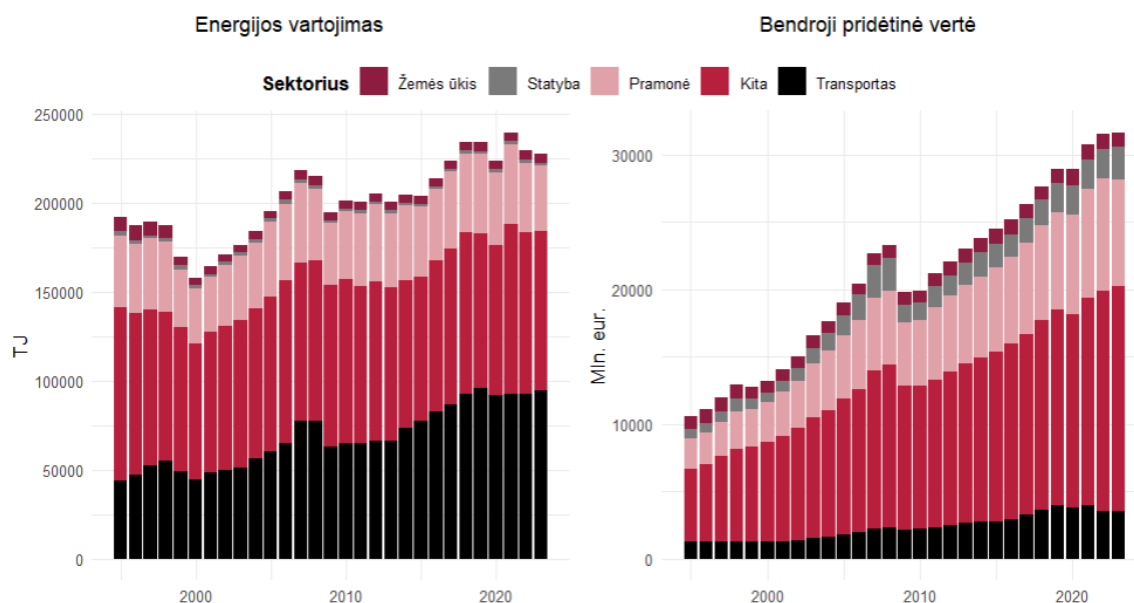
3. ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKymo IR EKONOMINIŲ IŠŠŪKIŲ LIETUVOJE EMPIRINIO TYRIMO REZULTATAI

3.1. Pradinė duomenų analizė

Buvo naudojami trys pagrindiniai duomenų šaltiniai: Eurostat, VDA ir IEA. Duomenys LMDI dekompozicijai buvo parinkti remiantis Baleženčio ir kitų autorių straipsniu (2011). Šios metinio periodiškumo laiko eilutės dengia laikotarpį nuo 1995 iki 2023 metų. Kadangi norint atlikti dekompoziciją, nėra griežtų sąlygų, kurias duomenys turi atitikti, tai jie nebuvo transformuoti, kaip ir daroma prieš tai nurodytame šaltinyje. Duomenų grafinį atvaizdavimą galima stebėti 5 paveiksle.

5 paveikslas

Metiniai energijos vartojimo bei bendrosios pridėtinės vertės duomenys pagal sektorius.



Šaltinis: Eurostat, VDA.

Ketvirtiniai duomenys šiame tyrime seka laikotarpį nuo 2010 metų I ketvirčio iki 2024 metų III ketvirčio. Tokią laiko eilutę nulemia su energetika susijusių duomenų trūkumas, kuomet pagrindiniai duomenys dažnu atveju prasideda nuo 2008 ar 2010 metų. Tam tikri rodikliai tokie kaip elektros energijos importas, transformacijos sąnaudos, bendroji elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių, galutinis elektros energijos suvartojimas ir SVKI, yra agreguoti iš mėnesinių duomenų į ketvirtinius naudojant atitinkamai sumos arba vidurkio operatorių.

Jog būtų galima apžvelgti esmines duomenų savybes bei tendencijas buvo apskaičiuotos pagrindinės metrikos, kurių rezultatai pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė*Ketvirtinių duomenų pagrindinės statistinės charakteristikos.*

	Minimumas	I kvartilis	Mediana	Vidurkis	III kvartilis	Maksimumas
Imp	1786	2092	2640	2605	3086	3652
CO2	1,692	1,946	2,088	2,111	2,256	2,664
TUI	244,2	308,4	486	478,5	609,9	786,8
BVP_cap	2009	2961	3595	4018	4787	7217
Trans_pump	33,09	58,71	66,67	69,61	76,98	122,27
Renew_prod	303,6	513,4	656,5	705,2	797,2	1872,4
Fin_cons	2055	2450	2658	2653	2832	3415
Pram_prodD	259063	391123	472775	527519	667309	983059
HICP_energ	87,86	99,2	106,26	114,6	119,42	180,54
Mat_invD	239548	624591	825770	850721	1053587	1852987

Šaltinis: Eurostat, VDA, IEA, autorės skaičiavimai.

Pirmiausiai, pastebimi labai dideli skirtumai tarp minimalių ir maksimalių reikšmių tam tikruose rodikliuose, tokiuose kaip materialinės investicijos, kur pasiskirstymas svyruoja nuo 239 548 tūkst. eur. iki 1 852 987, taip pat pramonės produkcija pasižymi nemažu skirtumu tarp mažiausios ir didžiausios reikšmės laiko eilutėje. Tokie skirtumai gali rodyti ekonominių investicijų ir gamybos šuolius arba atspindėti cikliškumą, krizines situacijas ar spartų augimą tam tikrais laikotarpiais. Taip pat kai kurie rodikliai (Fins_cons, CO₂) turi gana simetrišką pasiskirstymą, kurį žymi mažas skirtumas tarp vidurkio ir medianos. Tai gali atspindėti stabilų energijos vartojimą ekonomikoje. Priešingai, energijos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių rodo tam tikrus dešinės asimetrijos požymius, t. y., vidurkis nemažai viršija medianą, kas gali reikšti, kad tam tikrais laikotarpiais reikšmės žymiai didėja. Taip pat aprašomosios statistikos apžvalga padeda pastebėti, jog Lietuvos ekonomika gali būti labiau priklausoma nuo importuotos energijos, nes stebimas nemažas svyravimas tarp duomenų. TUI reikšmės taip pat labai varijuoja (244,2 – 786,8), kas atspindi investicijų intensyvumą ir jų poveikį šalies ekonomikai. Kadangi BVP vienam gyventojui išaugo nuo 2009 iki 7217 eurų gyventojui, tas gali rodyti ekonominį augimą ir gyvenimo lygio pokyčius per laikotarpį. Taigi galima matyti, kad pateikta statistika padeda susidaryti pirminį vaizdą apie duomenis ir jų pasiskirstymą, tačiau neabejotinai sunku daryti griežtas išvadas neatlikus gilesnės duomenų analizės ir modeliavimo.

Toliau, ketvirtiniai duomenys buvo logaritmuoti. Ši transformacija naudinga siekiant stabilizuoti visų rodiklių dispersiją, taip pat vėlesnis regresijos modelis tampa stabilesnis, nes sumažinama išskirčių reikšmė, galiausiai, kadangi rodikliai yra matuojami skirtingais ir kartais nepalyginamais matavimo vienetais, logaritmas padeda aiškiau interpretuoti gautus rezultatus, t. y., koeficientai tampa suprantami kaip procentiniai pokyčiai, o ne absoliutūs.

Pritaikius logaritmą, toliau duomenys testuojami dėl vienetinės šaknies jau anksčiau

aprašytais metodais. Rezultatai pateikti 2-ame priede (13 lentelė). Atsižvelgus į gautus rezultatus, visiems kintamiesiems buvo pritaikyta skirtumo transformacija. Tiriant kainų indekso kintamojo stacionarumą, du testai parodė skirtingus rezultatus, todėl remiantis tuo, jog visi kiti kintamieji buvo transformuoti, kainų indeksui taip pat buvo surastas skirtumas (norint išlaikyti kuo aukštesnį tyrimo nuoseklumo lygį). Duomenų linijiniai grafikai atlikus visas transformacijas matomi 6 paveiksle.

3.2. LMDI dekompozicija

Atlikus LMDI dekompoziciją 2.2.1 skyrelyje aprašytu metodu, buvo gauti rezultatai, kurie atspindi pagrindinius tris efektus ir jų indėlį į energijos galutinio suvartojimo pokyčių raidą (7 paveikslas). Tačiau taip pat įdomu palyginti naujausius rezultatus su Baleženčio, A., Baleženčio, T., ir Štreimikienės išvadomis gautomis 2011 metais (8 paveikslas).

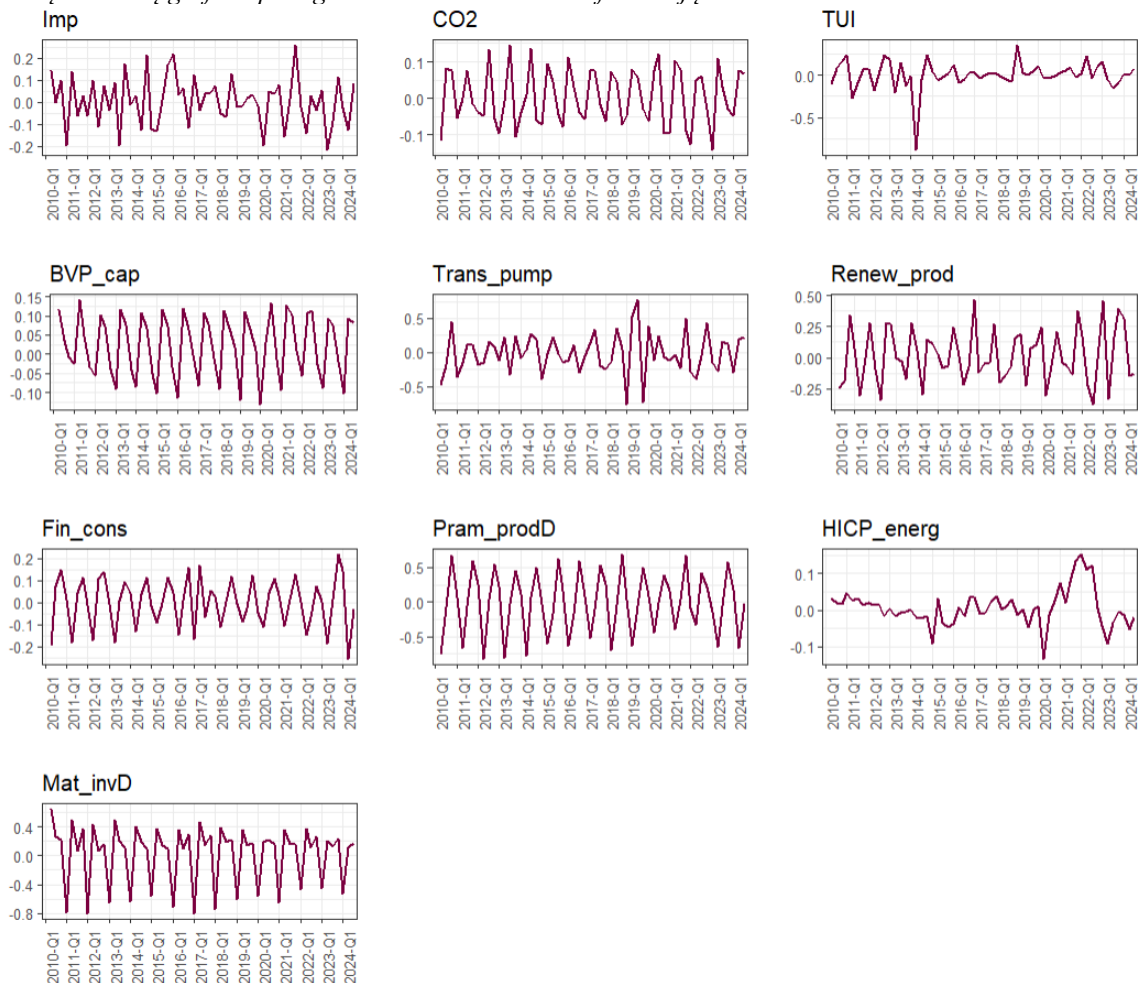
Iš grafikų matyti, kad iki 2008 metų veiklos efektas buvo pagrindinis energijos suvartojimo augimo veiksnys, tuo tarpu intensyvumo efektas dažniausiai buvo neigiamas, rodantis energijos vartojimo efektyvumo didėjimą. Ekonominės krizės laikotarpiu veiklos efektas smarkiai sumažėjo, o energijos suvartojimas drastiškai krito. Šis laikotarpis pasižymėjo ir teigiamu intensyvumo efektu, kas rodo, kad energijos vartojimo efektyvumas pablogėjo nepaisant mažėjančio bendro vartojimo. Struktūros efektas taip pat įgijo teigiamą reikšmę, kas indikuoja ekonominės struktūros pokyčius, didinančius energijos poreikį. Visą šį laikotarpį vienodai nusako abu grafikai, tiek originalus (8 paveikslas), tiek atnaujintas (7 paveikslas).

Laikotarpio po krizės anksčiau minėtas straipsnis nebenagrinėja, taigi sekančios įžvalgos yra paremtos atnaujintais šiame magistro darbe skaičiavimais. Po krizės veiklos efektas vėl tapo teigiamas, atspindintis ekonomikos atsigavimą, o intensyvumo efektas grįžo į neigiamas reikšmes, rodant energijos efektyvumo didėjimą. Tačiau po 2016 metų pastebimi intensyvumo efekto svyravimai, kurie gali būti susiję su energijos kainų augimu, sumažėjusiomis investicijomis į efektyvumo didinimą ar elgsenos pokyčiais. Taip pat 2015 metais įvykusi migrantų krizė Europoje galėjo turėti netiesioginį efektą atsiradusiems intensyvumo svyravimams.

Covid-19 pandemijos laikotarpiu veiklos efektas vėl smarkiai sumažėjo, atspindėdamas ekonomikos sustojimą, tačiau po to stebimas greitas atsigavimas. Intensyvumo efekto svyravimai pandemijos metu taip pat rodo, kad energijos vartojimo efektyvumas tapo labiau pažeidžiamas.

6 paveikslas

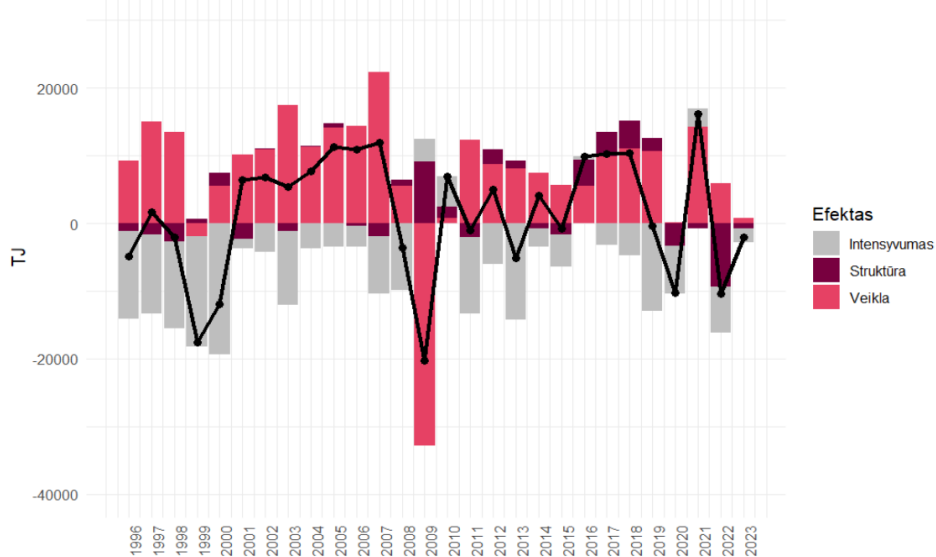
Ketvirtinių duomenų grafikai po logaritmo bei skirtumo transformacijų.



Šaltinis: Eurostat, VDA, IEA, autorės skaičiavimai.

7 paveikslas

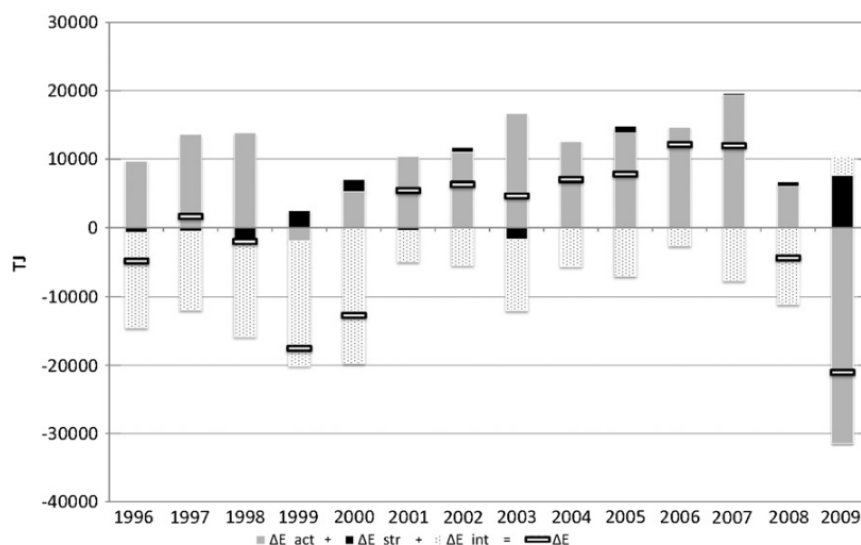
Adityvi LMDI dekompozicija energijos vartojimui, 1995 – 2023.



Šaltinis: Eurostat, VDA, autorės skaičiavimai.

8 paveikslas

Adityvi LMDI dekompozicija energijos vartojimui, 1995 – 2009.



Šaltinis: Baležentis, Baležentis, Streimikiene, 2011.

Apibendrinant, 7 paveiksle matoma, kad energijos vartojimo pokyčius daugiausia lėmė ekonominės veiklos apimtys svyravimai bei intensyvumo efektas, kuris atspindi energijos vartojimo efektyvumą. Ir nors struktūros efekto reikšmė po krizės išaugo, tačiau ji išliko mažiausiai lemianti iš visų trijų.

LMDI dekompozicijos taikymas leido kiekybiškai įvertinti, kaip skirtingi veiksniai – ekonominė veikla, struktūros pokyčiai ir energijos vartojimo intensyvumas – daro įtaką energijos suvartojimo pokyčiams, taip padedant geriau suprasti žaliosios energijos principų veikimą praktikoje. Šis metodas leidžia atskirti, ar energijos vartojimo pokyčius lemia efektyvumo didėjimas, technologinės inovacijos ar ekonomikos raida, todėl suteikia pagrindą vertinti tokius principus kaip energijos vartojimo efektyvumas ar priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas. Nors rezultatai neatskleidžia smulkesnių priklausomybių, tačiau padeda suprasti pagrindinę varomąją jėgą energijos suvartojimo pokyčiuose. Taip pat naudinga identifikuojant krizinius laikotarpius, kurie labiausiai atspindi per veiklos efektą.

3.3. Regresijos modelis

Sudarinėjant modelio lygtį, pirmiausiai buvo įtraukti visi kintamieji ir jų pirmieji bei antrieji vėlavimai. Žinoma, ne visi kintamieji pasirodė esą statistiškai reikšmingi, todėl atitinkamai jie buvo pašalinti. Galiausiai, pašalinus minėtus kintamuosius, buvo gauta galutinė modelio lygtis:

$$CO2_t = Imp_t + TUI_t + TUI_{t-1} + BVP_cap_t + Trans_pump_{t-1} + Renew_prod_t + Pram_prodD_t + HICP_energ_t$$

Kadangi jau 2.2.3 skyrelyje buvo išsiaiškinta, jog kintamieji atspindi tam tikrus principus, modelio lygtį galima užrašyti būtent per tuos principus:

$$CO2_t = Energijos\ vidaus\ rinka_{t,t-1} + \\ Ekonominis\ išsivystymas_t + \\ Energetinis\ saugumas_{t,t-1} + \\ Priklausomybės\ nuo\ iškastinio\ kuro\ mažinimas_t$$

Galima pastebėti, jog CO₂ kiekį Lietuvoje labiausiai nulemia pokyčiai energijos vidaus rinkoje, bendras ekonominis šalies išsivystymas, energetinio saugumo principas bei be abejonės iškastinio kuro mažinimas. Energijos efektyvumo bei MTEP kintamieji buvo pripažinti statistiškai nereikšmingais šioje lygtyje. Taip galėjo įvykti dėl duomenų kokybės, prielaidų, jog galutinis suvartojimas bei materialinės investicijos atspindi tuos principus netikslumas, arba faktas, kad šios sritys iš tiesų yra mažiausiai išvystytos Lietuvoje. Kaip rodo ir jau nagrinėti moksliniai šaltiniai tokie socialinio pobūdžio principai yra sunkiau įgyvendinami, nes tai reikalauja nemažai žmogiškųjų resursų bei visos visuomenės indėlio (Streimikienė, Lekavičius, Stankūnienė, Pažeraitė, 2022; Streimikiene, Volochovic, Simanaviciene, 2012).

Modelyje nebuvo įtraukta daugiau aukštesnės eilės vėlavimų dėl poros priežasčių. Pirmiausiai, įtraukti aukštesnės eilės vėlavimai mažina laisvės laipsnių skaičių, o kadangi Lietuvos atveju laiko eilutė neturi itin daug stebėjimų, buvo pasirinkta išlaikyti duomenų kiekį, negu įtraukti papildomus dėmenis į modelį. Kita priežastis yra ta, kad atlikus modelio paklaidų analizę, buvo išsiaiškinta, jog užtenka ir pirmos eilės vėlavimų, kad nebebūtų paklaidų autokoreliacijos. Platesnis šio teiginio pagrindimas bus pateiktas tolimesniame skyrelyje.

Nagrinėto modelio rezultatai pateikiami 11 lentelėje. Joje galima matyti, kokie vėlavimai buvo įtraukti, taip pat koeficientus ir jų reikšmingumus. Koeficientų reikšmingumas buvo tirtas tikrinant dvi hipotezes, remiantis F statistika. P-stat (sum) nurodo p reikšmę, gautą tikrinant H₀: visų kintamojo vėlavimų koeficientų suma lygi 0, o p-stat (join) – H₀: kiekvienas kintamojo vėlavimas lygus 0.

11 lentelė

Regresijos modelio OLS metodu rezultatai.

Kintamieji	Const	Imp	TUI	BVP_ cap	Trans_ pump	Renew_ prod	Pram_ prodD	HICP_ energ
Vėlavimai		0	0:1	0	1	0	0	0
Koef. suma	-0,005	-0,164	-0,023	0,743	-0,057	-0,065	0,041	-0,386
p-stat (sum)	0,256	0,001	0,548	0,000	0,001	0,025	0,016	0,000
p-stat (join)	0,256	0,000	0,000	0,000	0,001	0,025	0,016	0,000
R ²	0,831							

Šaltinis: autorės skaičiavimai.

Kaip galima stebėti, CO₂ emisijų lygtyje tiesioginių užsienio investicijų pokyčiai rodo neigiamą ryšį su CO₂ kiekio augimu. Tai gali būti siejama su investicijomis į naujas veiklas ar

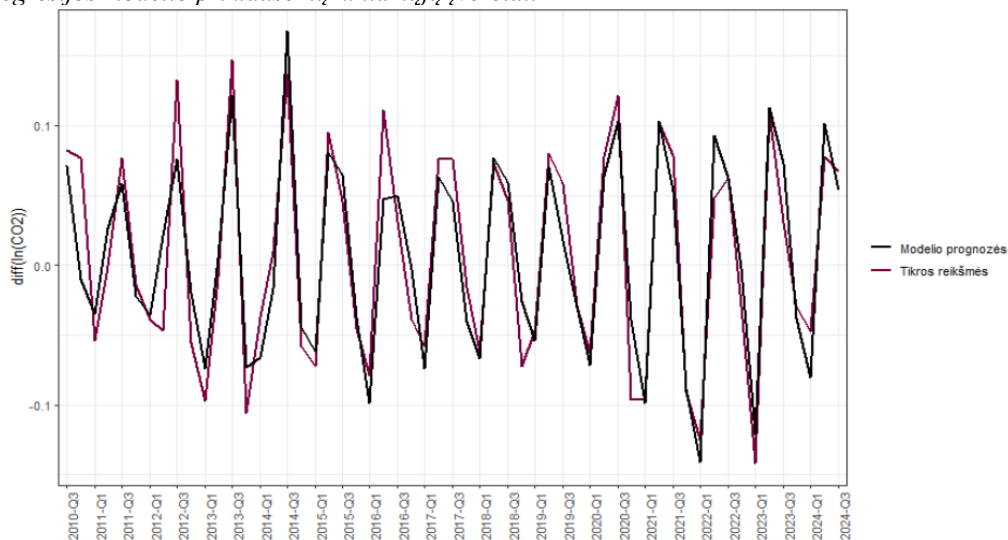
infrastruktūrą, kuri didina ekologiškumą, perduodant mažiau taršias technologijas per užsienio investicijas, taip mažinant tradicinių energijos šaltinių paklausą. Toks aiškinimas atspindi taršos „halo“ hipotezę, kuri leidžia manyti, jog TUI prisideda prie emisijų mažinimo. (Duan, Jiang, 2021; Bary, Hakim, 2025). Taip pat reikšmingas kintamasis - BVP vienam gyventojui, kuris daro teigiamą poveikį emisijoms. Tai rodo klasikinį ryšį tarp ekonominės gerovės augimo ir aplinkos taršos. Tuo tarpu atsinaujinančios energijos gamyba ir energijos kainų indeksas turi reikšmingą neigiamą poveikį CO₂ kiekiui, o tai leidžia teigti, kad didesnė žaliųjų energijos šaltinių pasiūla ir aukštesnės energijos kainos gali mažinti bendrą CO₂ išmetimą. Aukštesnės energijos kainos mažina emisijas skatindamos vartotojus bei verslus taupyti energiją ir efektyvinti procesus, o kai kuriais atvejais – pereiti prie mažiau taršių technologijų.

Lietuvos rezultatai neblogai sutampa su daugumos kitų šalių empirinėmis išvadomis tuo, kad ekonomikos augimas vis dar išlieka pagrindiniu CO₂ emisijų veiksnium, o atsinaujinančios energijos plėtra reikšmingai prisideda prie jų mažinimo. Taip pat panašiai kaip kituose tyrimuose, Lietuvoje pastebimas teigiamas TUI poveikis aplinkos kokybei, patvirtinantis, jog užsienio investicijos neretai atneša švaresnes technologijas ir didina energijos vartojimo efektyvumą ypač aktyviau besivystančiose šalyse.

9 paveiksle pavaizduotos prognozuotosios bei faktinės logaritmuoto CO₂ reikšmės. Iš grafiko puikiai matyti, jog modelis neblogai atspindi istorinius pokyčius.

9 paveikslas

Sudaryto regresijos modelio priklausomų kintamųjų įverčiai.



Šaltinis: autorės skaičiavimai.

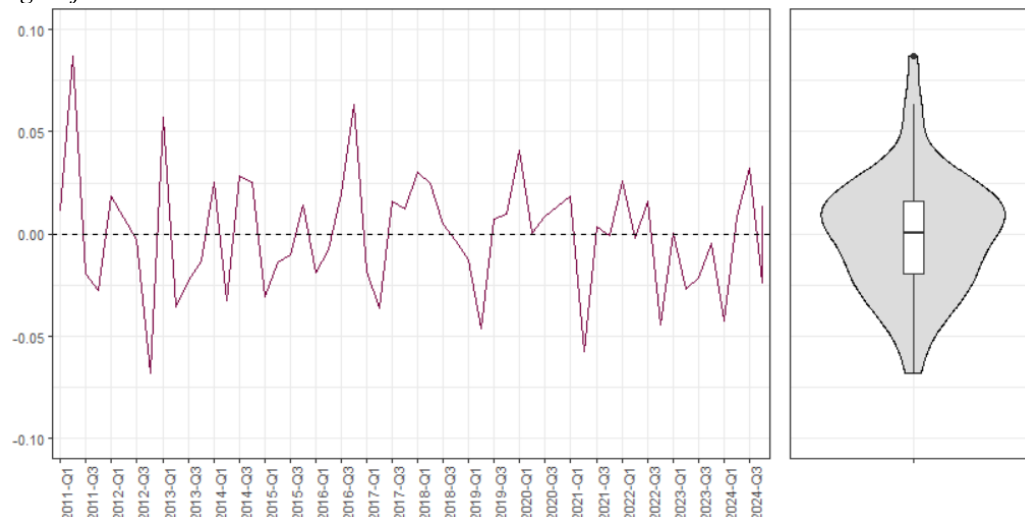
Nors modelio koeficientų reikšmingumas bei determinacijos koeficientas rodo modelio tikslumą, tačiau svarbu ištirti ir jo liekanas bei patikrinti, ar jos atitinka būtinas modelio prielaidas.

10 paveiksle galima stebėti liekanų linijinį grafiką, kuris parodo, kaip liekanos yra stipriai nutolusios nuo nulio – laukiamos jų reikšmės. Šalia linijinio grafiko pateikiama ir stačiakampė

diagrama kartu su tankiu. Jame stebimos išskirtys, minimumas, maksimumas, mediana, I-asis bei III-iasis kvantiliai. Iš grafiko matyti, jog liekanos yra gana netoli nuo nulio, o jų tankis ties juo yra didžiausias.

10 paveikslas

Sudaryto regresijos modelio liekanos.



Šaltinis: autorės skaičiavimai.

Liekanų hipotezės buvo tikrintos dvejais būdais. Pirmasis, tai buvo atliekami statistiniai testai, kurie rezultate pateikia p reikšmes. Jeigu p reikšmė yra didesnė už pasirinktą reikšmingumo lygmenį, šiuo atveju 5 %, tai H_0 atmesti negalime. Antrasis būdas, tai grafinis, kuomet vizualiai stebimos liekanų savybės. 12 lentelėje pateikiami statistinių testų rezultatai.

12 lentelė

Liekanų testų rezultatai.

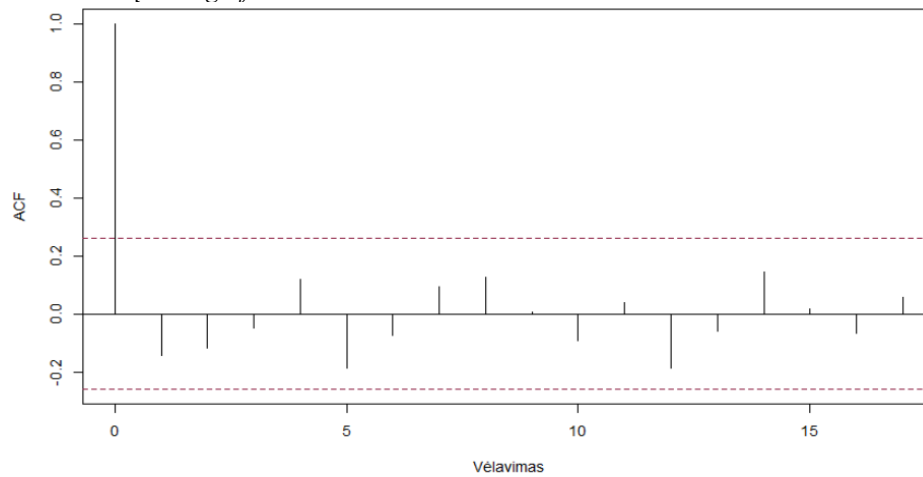
Testai	H_0	P reikšmės
Normalumo (Shapiro-Wilk)	Liekanos homoskedastiškos	0,683
Heteroskedastiškumo (Breusch-Pagan)	Liekanos nėra autokoreliuotos	0,626
Autokoreliacijos (Box)	Reikšmės pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį	0,582

Šaltinis: autorės skaičiavimai.

Remiantis pateikta lentele, galima teigti, kad šio regresijos modelio liekanos atitinka pagrindinius liekanų reikalavimus, nes visos p reikšmės yra didesnės nei 0,05, kas rodo, jog H_0 negalime atmesti. Paklaidų ACF ir PACF grafikai, kurie rodo koreliaciją tarp dabartinės reikšmės ir jos praeities reikšmių, yra atitinkamai 11-as ir 12-as paveikslai ir juose stebimas autokoreliacijos bei dalinės autokoreliacijos nereikšmingumas. 13 paveikslas rodo, jog liekanos yra homoskedastiškos, nes grafike, kuriame x ašyje yra prognozuotos reikšmės, o y – liekanos, taškai yra tolygiai išsidėstę aplink nulį.

11 paveikslas

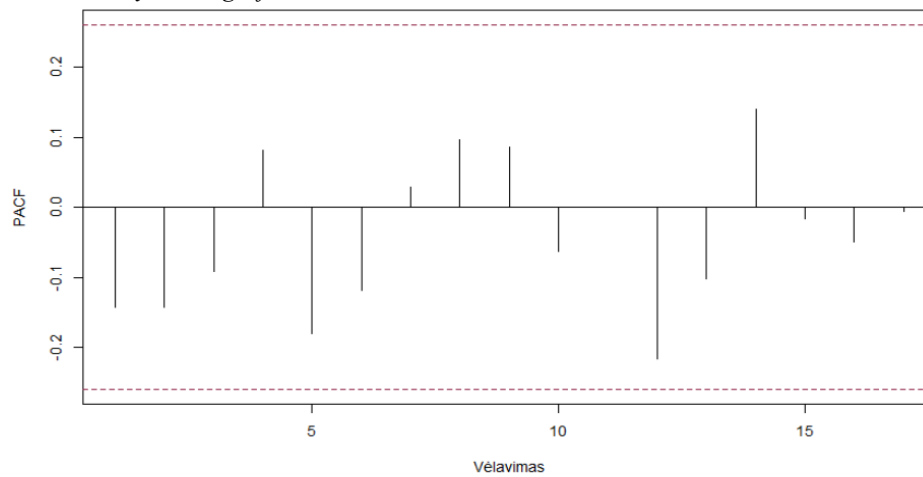
Regresijos modelio liekanų ACF grafikas.



Šaltinis: autorės skaičiavimai.

12 paveikslas

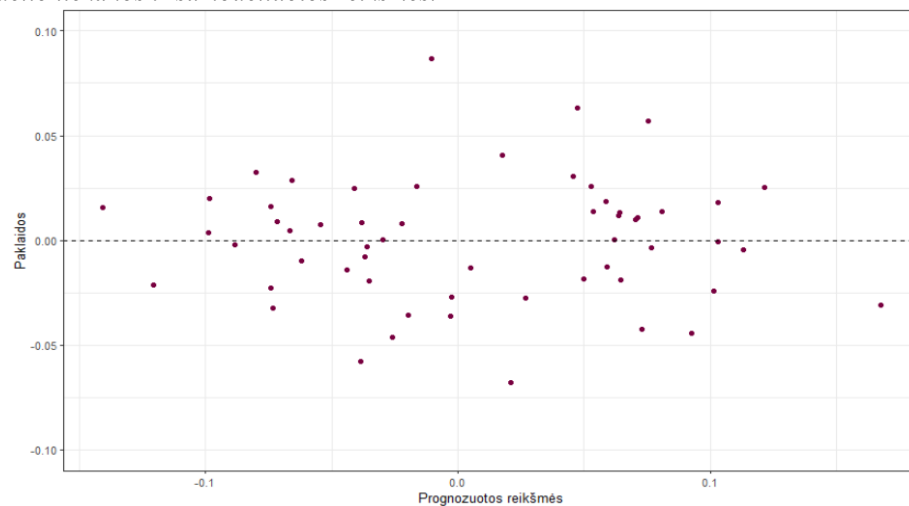
Regresijos modelio liekanų PACF grafikas.



Šaltinis: autorės skaičiavimai.

13 paveikslas

Regresijos modelio liekanos ir sumodeliuotos reikšmės.

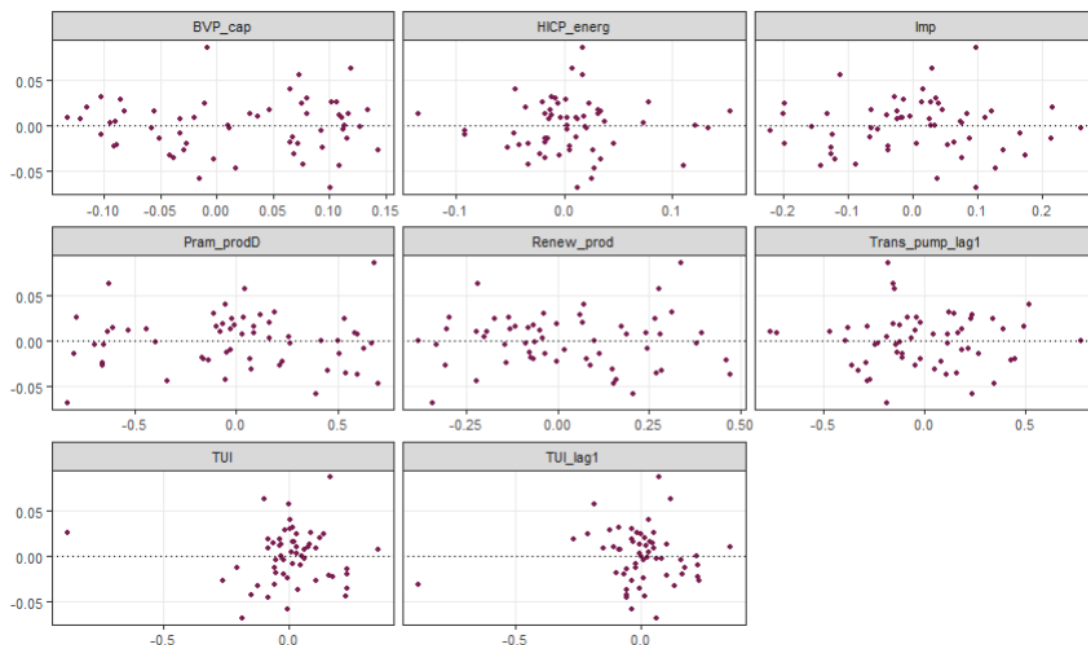


Šaltinis: autorės skaičiavimai.

Galiausiai patikrinama, ar liekanos nekoreliuoja su egzogeniniais kintamaisiais (14 paveikslas). Galima matyti, jog liekanos aplink nulį išsidėsčiusios atsitiktinai, ir jokios tendencijos su aiškinamaisiais kintamaisiais nesudaro.

14 paveikslas

Regresijos modelio liekanos ir sumodeliuotos reikšmės



Šaltinis: autorės skaičiavimai.

Apibendrinant galima teigti, kad sudarytas regresijos modelis pakankamai tiksliai atspindi endogeninio emisijų kintamojo dinamiką. Tai patvirtina tiek sumodeliuotų ir faktinių reikšmių vizualizavimas, rodantis gerą modelio pritaikymą duomenims, tiek liekanų analizės rezultatai. Atlikti testai parodė, kad liekanos pasižymi stacionarumu, neturi autokoreliacijos ir heteroskedastiškumo požymių, todėl pagrindinės klasikinės regresijos prielaidos yra tenkinamos. Vis dėlto tolimesniuose tyrimuose rekomenduojama plėsti duomenų imtį, įtraukiant naujesnius laikotarpius, atlikti prognozinis skaičiavimus bei testuoti alternatyvius paaiškinamuosius kintamuosius, kurie galėtų išsamiau atspindėti žaliosios energijos principų taikymą ir jų poveikį emisijoms.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Apibendrinant magistro darbą, galima teigti, kad:

1. Išanalizavus mokslinę literatūrą nustatyta, kad žaliosios energijos principai dažniausiai įtvirtinami strateginiuose dokumentuose per kelias tarpusavyje susijusias dimensijas: priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimą, energijos vartojimo efektyvumo didinimą, technologinę pažangą ir energetinio saugumo stiprinimą. Šie principai leidžia vertinti ne tik energijos gamybos struktūrą, bet ir platesnį ekonominį kontekstą. Literatūros analizė parodė, kad nors žaliosios energijos principai yra laikomi būtina ilgalaikio tvarumo sąlyga, jų praktinis įgyvendinimas dažnai susiduria su finansiniais, instituciniais ir technologiniais apribojimais. Tai ypač aktualu mažesnėms ir besivystančioms ekonomikoms, tokioms kaip Lietuva, kuriose žaliosios transformacijos intensyvumas pasižymi netolygumu.
2. Atlikta LMDI dekompozicijos analizė parodė, kad energijos vartojimo pokyčius Lietuvoje daugiausia lemia veiklos efektas, susijęs su ekonomikos augimu, kuris išlieka pagrindiniu energijos vartojimą didinančiu veiksniu. Tuo tarpu intensyvumo efektas, tiesiogiai susijęs su energijos vartojimo efektyvumo didinimu, turėjo reikšmingą energijos vartojimą mažinantį poveikį. Struktūrinis efektas, atspindintis ekonomikos transformaciją į mažiau taršius sektorius, pasižymėjo mažesniu, tačiau palaipsniui stiprėjančiu poveikiu. Tai rodo, kad žaliosios energijos principai Lietuvoje pamažu įsitvirtina ir struktūriniu lygmeniu, nors jų poveikis dar nėra dominuojantis.
3. OLS regresijos analizė patvirtino, kad atsinaujinančios energijos gamyba statistiškai reikšmingai prisideda prie CO₂ emisijų mažinimo, taip pagrįsdama priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimo principo veiksmingumą. Be to, energijos kainų indeksas turėjo reikšmingą neigiamą poveikį emisijoms, kas rodo, jog rinkos kainų signalai veikia kaip papildomas energijos vartojimo efektyvumo skatinimo mechanizmas. Regresijos rezultatai atskleidė, kad tiesioginės užsienio investicijos yra siejamos su mažesniu CO₂ emisijų lygiu. Toks ryšys gali būti aiškinamas investicijomis į modernesnes veiklas ar infrastruktūrą, perduodant mažiau taršias technologijas ir didinant energijos vartojimo efektyvumą, taip mažinant tradicinių energijos šaltinių paklausą.
4. Apibendrinant empirinio tyrimo rezultatus galima teigti, kad žaliosios energijos principų poveikis Lietuvoje yra empiriškai identifikuojamas. Vis dėlto šio poveikio mastas skiriasi: didžiausias progresas stebimas energijos vartojimo efektyvumo ir atsinaujinančių energijos išteklių srityse, o inovacijų ir rinkos integracijos srityse išlieka reikšmingas neišnaudotas potencialas.

Tolimesniam darbo tobulinimui rekomenduojama:

1. Praplėsti LMDI dekompozicijos analizę sektorių lygiu, atskirai išskaidant poveikį pramonei, transportui, žemės ūkiui, paslaugoms ir kitiems sektoriams. Tokia analizė leistų aiškiai identifikuoti, kuriuose sektoriuose intensyvumo, struktūros ar veiklos efektai turi didžiausią įtaką energijos vartojimo pokyčiams ir, atitinkamai, CO₂ emisijoms.
2. Antra, verta svarstyti kitų ekonometrinių metodų taikymą. Pavyzdžiui, dinaminiai paneliniai modeliai galėtų būti taikomi, jei būtų integruoti kelių šalių duomenys palyginimui. Taip pat įmanomas palyginimas su bendrai visa ES.
3. Lietuvos kontekste ateityje galima įgyvendinti kvantilių regresiją, norint įvertinti, kaip žaliosios energijos principų poveikis skiriasi priklausomai nuo CO₂ emisijų lygio šalyje.

Šie patobulinimai ne tik padidintų tyrimo analitinę vertę, bet ir leistų aiškiau įvertinti, kaip skirtingi žaliosios energijos principai veikia nacionaliniu ir sektorių lygmeniu, bei kuriomis kryptimis tiksliausia plėtoti politiką įgyvendinant žaliąjį kursą.

Šis magistro darbas turi aiškią praktinę vertę politikos formuotojams, nes leidžia atskirai įvertinti ilgalaikius energijos vartojimo struktūrinius pokyčius, taikant LMDI dekompoziciją, ir trumpalaikius CO₂ emisijų pokyčius, nustatomus regresinės analizės pagrindu. Tyrimo rezultatai leidžia empiriškai įvertinti, kurie žaliosios energijos principai Lietuvoje veikia efektyviausiai ir sukuria ilgalaikę naudą, o kurie daro tik laikiną poveikį, todėl sudaromas pagrindas objektyvesniam nacionalinių strategijų ir politikos priemonių vertinimui. Analizė padeda identifikuoti pagrindinius veiksnius, darančius didžiausią įtaką energijos vartojimo, energetinio saugumo ir dekarbonizacijos procesams, taip sudarydama sąlygas tikslingesniam viešųjų investicijų ir reguliacinių priemonių paskirstymui. Be to, tyrimas leidžia įvertinti galimus kompromisus tarp aplinkosauginių tikslų, ekonominio augimo ir kainų stabilumo, todėl mažina sprendimų neapibrėžtumą ir gali būti tiesiogiai taikomas koreguojant nacionalines strategijas bei įgyvendinant Europos žaliojo kurso tikslus Lietuvos kontekste.

ŠALTINIAI

Agan, B. (2024). Sustainable development through green transition in EU countries: New evidence from panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 365, 121545.

Akdag, S., & Yıldırım, H. (2020). Toward a sustainable mitigation approach of energy efficiency to greenhouse gas emissions in the European countries. *Heliyon*, 6(3), e03396.

Aleknevičiūtė, E., Comunale, M. et. al. (2020). Lietuvos ekonominės konvergencijos ir darbo rinkos iššūkiai : = The challenges of Lithuania's economic convergence and labour market. Vilnius: Lietuvos Bankas.

Ang, B. W. (2005). The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy policy*, 33(7), 867-871.

Aplinkos projektų valdymo agentūra (2023). 1 mlrd. eurų Lietuvos ekonomikai: energijos vartojimo efektyvumui didinti – papildomi 8,85 mln. eurų. Žiūrėta 2025-09-16. Prieiga internetu: <https://apva.lrv.lt/lt/naujienos-24316/1-mlrd-euru-lietuvos-ekonomikai-energijos-vartojimo-efektyvumui-didinti-papildomi-885-mln-euru/>

Axon, C. J., & Darton, R. C. (2021). Sustainability and risk—a review of energy security. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1195-1204.

Baležentis, A., Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2011). The energy intensity in Lithuania during 1995–2009: A LMDI approach. *Energy Policy*, 39(11), 7322-7334.

Bary, E., & Hakim, I. (2025). Pollution Haven or Pollution Halo? Green Investment and Environmental Outcomes in Asia. *Journal of Energy and Environmental Policy Options*, 8(3), 51-62.

Bhowmik, C., Bhowmik, S., Ray, A., & Pandey, K. M. (2017). Optimal green energy planning for sustainable development: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 796-813.

Borchers, A. M., Duke, J. M., & Parsons, G. R. (2007). Does willingness to pay for green energy differ by source?. *Energy policy*, 35(6), 3327-3334.

Bovera, F., & Schiavo, L. L. (2022). From energy communities to sector coupling: a taxonomy for regulatory experimentation in the age of the European Green Deal. *Energy Policy*, 171, 113299.

Čiegis, R., Dilius, A., & Štreimikienė, D. (2020). Pajamų nelygybės poveikio ekonomikos augimui ir darniam vystymuisi vertinimas. *Prieiga per internetą: <https://www.lituanistika.lt/content/87653>*.

Duan, Y., & Jiang, X. (2021). Pollution haven or pollution halo? A Re-evaluation on the role of multinational enterprises in global CO2 emissions. *Energy Economics*, 97, 105181.

Europos Komisija (2022). Komisijos deleguotasis reglamentas (ES) 2022/1214. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys*.

Gasser, P. (2020). A review on energy security indices to compare country performances. *Energy Policy*, 139, 111339.

Giustini, D. (2021). The impact of labour market trends on the employment of R&D personnel: a literature review. *Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP*, 117.

Herce, C., Biele, E., Martini, C., Salvio, M., Toro, C., Brandl, G., ... & Reuter, S. (2024). A methodology to characterize energy consumption in small and medium-sized enterprises at national level in European countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(1), 93-108.

Yuan, Y., Li, L., & Zhang, R. (2024). Is Green Energy the Pathway to Sustainability?—An Explanation From the Perspective of Degrowth Theory. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 761-790.

Janeliūnas T. (2022). Energy Without Russia. The Consequences of the Ukraine war and the EU Sanctions on the Energy Sector in Europe. *Country Report Lithuania*.

Javed, A., Shabir, M., Rao, F., & Uddin, M. S. (2025). Effect of green technological innovation and financial development on green energy transition in N-11 countries: Evidence from the novel Method of Moments Quantile Regression. *Renewable Energy*, 122435.

Jewell, J., Cherp, A., & Riahi, K. (2014). Energy security under de-carbonization scenarios: An assessment framework and evaluation under different technology and policy choices. *Energy Policy*, 65, 743-760.

Kalyani, V. L., Dudy, M. K., & Pareek, S. (2015). Green energy: The need of the world. *Journal of Management Engineering and Information Technology*, 2(5), 18-26.

Kar, A. K. (2022). Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions in Baltic countries: An empirical investigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(31), 47189-47208.

Karlilar Pata, S., & Balcilar, M. (2024). Decarbonizing energy: Evaluating fossil fuel displacement by renewables in OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(21), 31304-31313.

Landes, F. (2025). European Innovation Scoreboard 2025 - Country profile Sweden. Independent Expert Report.

Leal, P. H., & Marques, A. C. (2022). The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective. *Heliyon*, 8(11).

Li, J., Pan, S. Y., Kim, H., Linn, J. H., & Chiang, P. C. (2015). Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies. *Journal of environmental management*, 162, 158-170.

Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas (TAR, 2016-11-09, Nr. 2016-26481)

Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymas (galiojanti suvestinė redakcija 2016 – 11 – 03. Nr. XII-2702 (2 str.). Žiūrėta 2024-11-23. Prieiga internetu: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/1bd85ba0a27b11e68987e8320e9a5185?jfwid=bkaxmjcw>

Lietuvos Respublikos Seimo 2024 m. birželio 28 d. nutarimas Nr. XI-2133 „Dėl nacionalinės darbotvarkės „Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategija“ patvirtinimo“. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62/asr>

Liobikienė, G., & Dagiliūtė, R. (2021). Do positive aspects of renewable energy contribute to the willingness to pay more for green energy?. *Energy*, 231, 120817.

Ljung, G. M., & Box, G. E. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, 65(2), 297-303.

LR Energetikos ministerija (2020) Lietuvos Respublikos Nacionalinis Energetikos ir Klimato Srities Veiksmų Planas 2021-2030 m. (National Energy and Climate Action Plan of the Republic of Lithuania for 2021-2030.)

LR Energetikos ministerija (2025). Gyventojams – nauja paramos priemonė saulės elektrinėms ir kaupikliams įsirengti. Žiūrėta: 2025-10-25. Prieiga internetu:

<https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/gyventojams-nauja-paramos-priemone-saules-elektrinemis-ir-kaupikliams-isirengti-iQ0q/>

LR Energetikos ministerija (2025). Po 25 metų Kruonyje – strategiškai svarbios statybos. Žiūrėta: 2025-09-16. Prieiga internetu: <https://enmin.lrv.lt/lt/naujienos/po-25-metu-kruonyje-strategiskai-svarbios-statybos/>

LR Finansų ministerija (2023). *2023–2026 metų lietuvis žaliųjų finansų veiksmų planas*.

LR Televizija (2022). Liudas Mažylis. Energetikos iššūkiai Europoje: dabarties realybė ir atsinaujinančios energijos siekiamybė. Žiūrėta: 2024-12-03. Prieiga internetu: <https://www.lrt.lt/naujienos/pozicija/679/1741768/liudas-mazylis-energetikos-issukiai-europoje-dabarties-realybe-ir-atsinaujinancios-energijos-siekiamybe>

LR Žemės Ūkio ministerija (2021). *Lietuvos žemės ūkio žaliasis kursas*.

Midilli, A., Dincer, I., & Ay, M. (2006). Green energy strategies for sustainable development. *Energy policy*, 34(18), 3623-3633.

Miskinis, V., Galinis, A., Konstantinaviciute, I., Lekavicius, V., & Neniskis, E. (2020). Comparative analysis of energy efficiency trends and driving factors in the Baltic States. *Energy Strategy Reviews*, 30, 100514.

Mohammadi Lanbaran, N., Naujokaitis, D., Kairaitis, G., Jenciūtė, G., & Radziukynienė, N. (2024). Overview of Startups Developing Artificial Intelligence for the Energy Sector. *Applied Sciences*, 14(18), 8294.

Muniz, R. N., da Costa Júnior, C. T., Buratto, W. G., Nied, A., & González, G. V. (2023). The Sustainability Concept: A Review Focusing on Energy. *Sustainability*, 15(19), 14049.

Norvaiša, E., Galinis, A., & Neniškis, E. (2024). Scenarios for deep decarbonisation of industry in Lithuania. *Energy Strategy Reviews*, 53, 101383.

OECD (2015). Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros duomenų rinkimo bei teikimo rekomendacijos. *Frascati vadovas 2015*.

OECD (2025). Environment at a Glance: Lithuania. Žiūrėta 2025-10-25. Prieiga internetu: https://www.oecd.org/en/publications/environment-at-a-glance-country-notes_59ce6fe6-en/lithuania_47813dc8-en.html#section-d1e157

- Pakulska, T. (2021). Green energy in central and eastern European (CEE) countries: new challenges on the path to sustainable development. *Energies*, 14(4), 884.
- Poole, M. A., & O'Farrell, P. N. (1971). The assumptions of the linear regression model. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 145-158.
- Radavičius M. (2021). Regresiniai modeliai. Vilniaus Universitetas.
- Said, S. E., & Dickey, D. A. (1984). Testing for unit roots in autoregressive-moving average models of unknown order. *Biometrika*, 71(3), 599-607.
- Sand, P. H. (1993). International environmental law after Rio. *Eur. J. Int'l L.*, 4, 377.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611.
- Sydykova, G., Pashayeva, M., Mammadov, F., & Makhsud, Z. (2024). Energy Efficiency as Driver of Sustainable Development. *Advances in Science and Technology*, 148, 265-271.
- Sotnyk, I., Kurbatova, T., Trypolska, G., Sokhan, I., & Koshel, V. (2023). Research trends on development of energy efficiency and renewable energy in households: A bibliometric analysis. *Environmental Economics*, 14(2), 13.
- Stasiulytė, G. (2012). Lietuvos ekonomikos augimo bei jį sąlygojančių veiksnių socioekonominė analizė ir vertinimas 2004–2010 m.
- Streimikiene, D., Volochovic, A., & Simanaviciene, Z. (2012). Comparative assessment of policies targeting energy use efficiency in Lithuania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3613-3620.
- Sultana, T., Hossain, M. S., Voumik, L. C., & Raihan, A. (2023). Democracy, green energy, trade, and environmental progress in South Asia: Advanced quantile regression perspective. *Heliyon*, 9(10).
- Šneiderienė, A., & Ruginė, H. (2019). Green technologies development in the European Union and Lithuania. *Management theory and studies for rural business and infrastructure development: scientific journal*, 41(2), 249-263.
- Taşkın, D., Vardar, G., & Okan, B. (2020). Does renewable energy promote green economic growth in OECD countries?. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11(4), 771-798.

UAB „Ignitis“ (2020). Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė (Kruonio HAE). Žiūrėta: 2025-09-16. Prieiga internetu: <https://ignitisgamyba.lt/veikla/elektros-energijos-gamyba-ir-prekyba/kruonio-hidroakumuliacine-elektrine-kruonio-hae/136>

UAB „Ignitis“ (2023). Žalioji energija: rinktis svarbu, mitas, kad labai brangu. Žiūrėta: 2025-10-25. Prieiga internetu: <https://ignitis.lt/naujienos/zalioji-energija-rinktis-svarbu-mitas-kad-labai-brangu>

UN (1972). *Report of the United Nations conference on the human environment*. Stockholm, Sweden.

UN (1992). *Rio declaration on environment and development*. Rio de Janeiro, Brazil.

UN (2015). The 2030 agenda for sustainable development.

UNFCCC (2016). The Paris Agreement.

UNFCCC (2023). Outcome of the first global stocktake. Revised Advance Version. Žiūrėta: 2025-10-25. Prieiga internetu: <https://unfccc.int/news/cop28-agreement-signals-beginning-of-the-end-of-the-fossil-fuel-era?>

Usman, F. O., Ani, E. C., Ebirim, W., Montero, D. J. P., Olu-lawal, K. A., & Ninduwezuor-Ehiobu, N. (2024). Integrating renewable energy solutions in the manufacturing industry: challenges and opportunities: a review. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 674-703.

Vilniaus Universitetas (2017). Ekologijos ir aplinkotyros centro oficialus polapis. Žiūrėta 2024-11-23. Prieiga internetu: <https://www.gmc.vu.lt/bmi/bmi-struktura/ekologijos-ir-aplinkotyros-centras#placiau>

Zaman, A. (1995). On the inconsistency of the Breusch-Pagan test.

Zare, A., Mehdinejad, M., & Abedi, M. (2024). Designing a decentralized peer-to-peer energy market for an active distribution network considering loss and transaction fee allocation, and fairness. *Applied Energy*, 358, 122527.

ŽALIOSIOS ENERGIJOS PRINCIPŲ TAIKYMAS IR EKONOMINIAI IŠŠŪKIAI LIETUVOJE

EVELINA AKINYTĖ

Magistro baigiamasis darbas

Ekonominė analitika

Vilniaus Universitetas, Ekonomikos ir verslo administravimo fakultetas

prof. Dr. Gindrutė Kasnauskienė

Vilnius, 2025

SANTRAUKA

44 puslapiai, 13 lentelių, 14 paveikslų, 69 šaltiniai.

Šiame magistro baigiamajame darbe analizuojamas žaliosios energijos principų taikymas ir su tuo susiję ekonominiai iššūkiai Lietuvoje, atsižvelgiant į Europos žaliojo kurso kontekstą. Temos aktualumą lemia Lietuvos įsipareigojimai mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, didinti atsinaujinančių energijos išteklių dalį, stiprinti energetinį saugumą ir kartu užtikrinti tvarų ekonomikos augimą. Darbo tikslas – įvertinti, kaip žaliosios energijos principų įgyvendinimas prisideda prie žaliojo kurso tikslų Lietuvoje bei nustatyti pagrindinius ekonominius veiksnius, darančius įtaką šiam procesui.

Darbo uždaviniai apima žaliosios energijos sampratos ir principų teorinę analizę, šių principų taikymo Lietuvoje vertinimą, tinkamų statistinių duomenų parinkimą ir parengimą, kiekybinės analizės atlikimą bei išvadų ir rekomendacijų suformulavimą. Tyrime nagrinėjami penki pagrindiniai žaliosios energijos principai: priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas, energijos vartojimo efektyvumas, energetinis saugumas, energijos vidaus rinkos plėtra bei moksliniai tyrimai ir inovacijos.

Empiriniame tyrime naudojami metiniai ir ketvirtiniai Lietuvos duomenys, gauti iš Eurostat, Valstybės duomenų agentūros ir Tarptautinės energetikos agentūros. Metiniai duomenys taikomi atliekant LMDI dekompoziciją, kuri leidžia identifikuoti ilgalaikius struktūrinius ir sektorinius energijos vartojimo pokyčių veiksnius. Ketvirtiniai duomenys naudojami sudarant regresijos modelį, įvertintą OLS metodu, siekiant išanalizuoti trumpalaikius ryšius tarp žaliosios energijos rodiklių, makroekonominių veiksnių ir energetikos sistemos charakteristikų. Prieš atliekant regresinę analizę, duomenų stacionarumui įvertinti taikomas ADF testas, o modelio tinkamumas tikrinamas standartiniais diagnostiniais testais.

LMDI dekompozicijos rezultatai parodė, kad energijos vartojimo pokyčius Lietuvoje reikšmingai lemia bendri ekonominio aktyvumo, struktūros ir energijos intensyvumo efektai,

atskleidžiantys ilgalaikius struktūrinius energijos vartojimo pokyčius. Regresijos analizė atskleidė, kad atsinaujinančios energijos gamyba, energijos importas, investicijos ir energijos kainų pokyčiai yra statistiškai reikšmingi veiksniai, darantys įtaką žaliosios energijos plėtros procesui. Gauti rezultatai patvirtina, kad žaliaji transformacija yra glaudžiai susijusi ne tik su aplinkosauginiais, bet ir su energetinio saugumo bei rinkos stabilumo aspektais.

Darbo išvadose pabrėžiama, kad žaliosios energijos politika Lietuvoje turėtų būti formuojama remiantis empiriniais duomenimis ir diferencijuotu požiūriu, atsižvelgiant į sektorių skirtumus. Tyrimo rezultatai gali būti naudojami politikos formuotojų sprendimų priėmimui, planuojant viešąsias investicijas, reguliacines priemones ir tolesnį žaliajo kurso įgyvendinimą.

GREEN ENERGY PRINCIPLES AND ECONOMIC CHALLENGES IN LITHUANIA

EVELINA AKINYTĖ

Master thesis

Economical analytics

Vilnius University, Faculty of Economics and Business Administration

prof. Dr. Gindrutė Kasnauskienė

Vilnius, 2025

SUMMARY

44 pages, 13 tables, 14 pictures, 69 references.

This master's thesis analyses the application of green energy principles and the associated economic challenges in Lithuania in the context of the European Green Deal. The relevance of the topic is determined by Lithuania's commitments to reduce greenhouse gas emissions, increase the share of renewable energy sources, strengthen energy security, and at the same time ensure sustainable economic growth. The aim of the thesis is to assess how the implementation of green energy principles contributes to achieving the objectives of the Green Deal in Lithuania and to identify the main economic factors influencing this process.

The objectives of the thesis include a theoretical analysis of the concept and principles of green energy, an assessment of the application of these principles in Lithuania, the selection and preparation of appropriate statistical data, the performance of quantitative analysis, and the formulation of conclusions and recommendations. The study examines five key green energy principles: reduction of dependence on fossil fuels, energy efficiency, energy security, development of the internal energy market, and research and innovation.

The empirical analysis uses annual and quarterly data for Lithuania obtained from Eurostat, the Lithuanian State Data Agency, and the International Energy Agency. Annual data are applied to conduct the LMDI decomposition, which allows the identification of long-term structural and sectoral drivers of changes in energy consumption. Quarterly data are used to construct a regression model estimated using the OLS method in order to analyse short-term relationships between green energy indicators, macroeconomic factors, and energy system characteristics. Prior to the regression analysis, data stationarity is assessed using the ADF test, while model adequacy is evaluated using standard diagnostic tests.

The results of the LMDI decomposition indicate that changes in energy consumption in Lithuania are significantly driven by the combined effects of economic activity, structural change,

and energy intensity, reflecting long-term structural developments in energy use. The regression analysis reveals that renewable energy production, energy imports, investments, and energy price changes are statistically significant factors influencing the green energy development process. The findings confirm that the green transition is closely linked not only to environmental objectives but also to aspects of energy security and market stability.

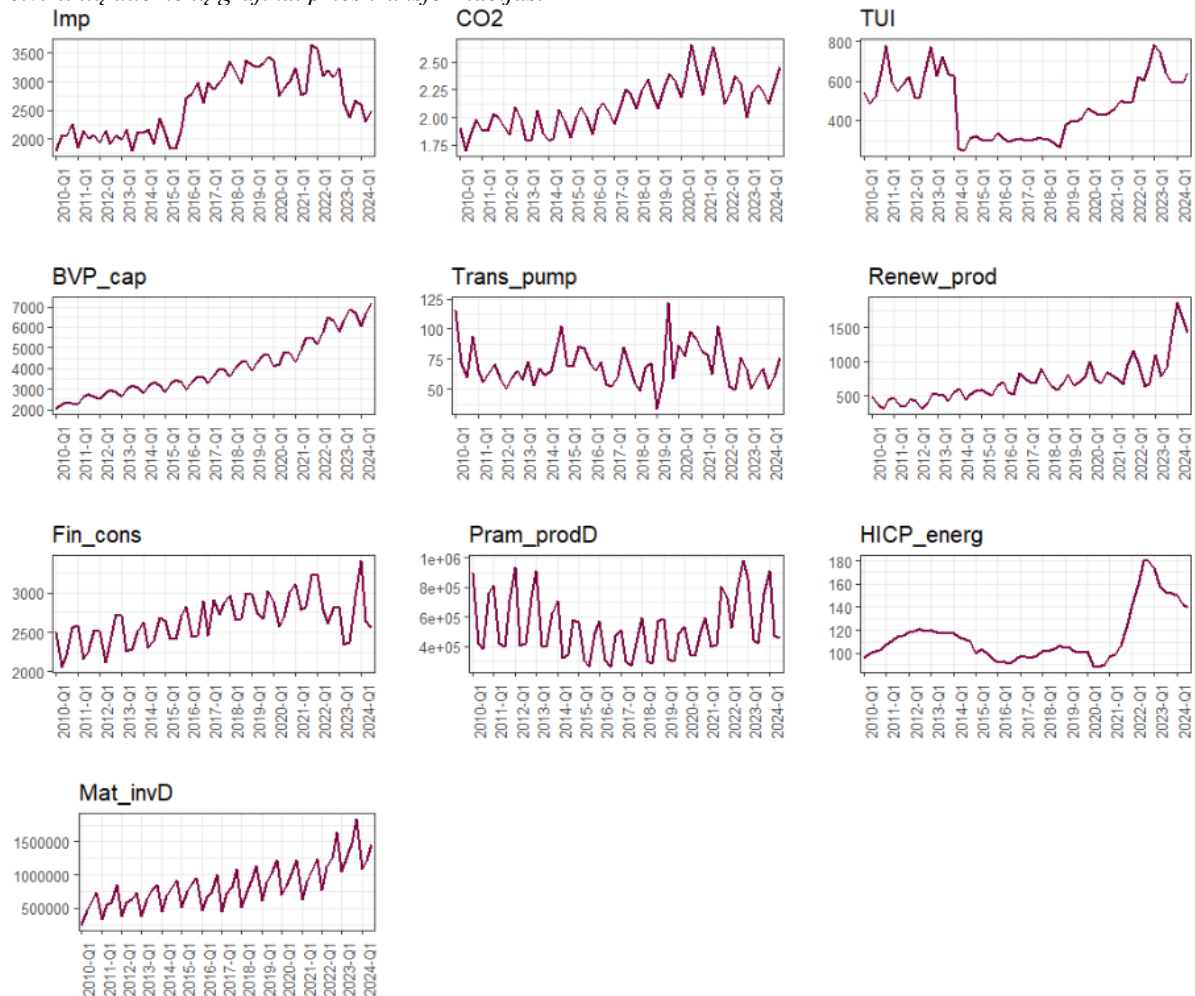
The conclusions of the thesis emphasise that green energy policy in Lithuania should be formulated on the basis of empirical evidence and a differentiated approach, taking sectoral differences into account. The results of the study can be used by policymakers in decision-making processes when planning public investments, regulatory measures, and the further implementation of the European Green Deal.

PRIEDAI

1 priedas. Ketvirtinių duomenų grafikai prieš transformacijas

15 paveikslas

Ketvirtinių duomenų grafikai prieš transformacijas.



Šaltinis: Eurostat, VDA, IEA.

2 priedas. Vienietinės šaknies ADF testo rezultatai ketvirtiniams duomenims

13 lentelė

Vienietinės šaknies ADF testo rezultatai ketvirtiniams duomenims.

	Lygiai		Skirtumai	
H ₀ neatmetama	>0.05			
ADF testo R paketas	tseries	urca	tseries	urca
Imp	0.983	0.063	0.046	0,000
CO2	0.950	0.650	0.044	0,000
TUI	0.851	0.988	0.028	0,000
BVP_cap	0.962	0.160	0.378	0,000
Trans_pump	0.349	0.064	0.010	0,000
Renew_prod	0.826	0.588	0.010	0,000
Pram_prodB	0.945	0.986	0.016	0,000
Fin_cons	0.565	0.671	0.010	0,000
HICP_energ	0.371	0,000	0.272	0.001
Mat_invD	0.909	0.003	0.012	0,000

Šaltinis: Eurostat, VDA, autorės skaičiavimai.