



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Lina Žebrauskienė

Projekto autorė

Prof. Jurgita Bruneckienė

Vadovė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Išorės aplinkos veiksmų įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Verslo ekonomika (6211JX042)

Lina Žebrauskienė

Projekto autorė

Prof. Jurgita Bruneckienė

Vadovė

Prof. Vytautas Snieška

Recenzentas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Ekonomikos ir verslo fakultetas

Lina Žebrauskienė

Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Lina Žebrauskienė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Žebrauskienė Lina. Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. Jurgita Bruneckienė; Kauno technologijos universitetas, Ekonomikos ir verslo fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: išorės aplinkos veiksniai, vėjo energetika, atsinaujinantys energijos šaltiniai, energetinė nepriklausomybė, tvarumas, vėjo ištekliai.

Kaunas, 2026. 76 p.

Santrauka

Pastaruoju metu vėjo energetika tampa vis svarbesne atsinaujinančios energetikos plėtros dalimi tiek Europoje, tiek Lietuvoje. Šalys stengiasi mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, stiprinti energetinį saugumą ir siekti klimato tikslų, todėl vėjo energijos plėtra tampa itin aktuali. Nors Lietuva pasižymi palankiomis gamtinėmis sąlygomis ir aiškia strategine kryptimi, vėjo energetikos sektoriaus plėtra vyksta lėčiau, nei galėtų. Tai atskleidžia reikšmingą išorės aplinkos veiksnių poveikį ir pabrėžia būtinybę juos sistemiškai analizuoti.

Šio darbo tyrimo objektas yra išorės aplinkos veiksniai, darantys įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai. Darbo tikslas – atlikti išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimą. Darbo uždaviniai: (1) išanalizuoti vėjo energetikos sektoriaus plėtros raidą ir problematiką Europoje ir Lietuvoje; (2) teoriškai pagrįsti išorės aplinkos veiksnius ir jų įtaką vėjo energetikos plėtrai; (3) parengti tyrimo metodologiją, skirtą išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtros vertinimui; (4) atlikti aplinkos veiksnių įtakos Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai tyrimą. Naudoti tyrimo metodai: sisteminė mokslinės literatūros analizė, aprašomoji statistinė analizė, koreliacinė analizė, regresinė analizė, turinio analizė.

Šiam tyrimui atlikti pasirinktas mišrus tyrimo modelis, apimantis kiekybinę ir kokybinę analizę. Lietuvos atveju nustatyta, kad vėjo energetikos plėtrai statistiškai reikšmingą poveikį daro BVP augimas ir atsinaujinančios energijos dalis, o kiti makroekonominiai rodikliai – infliacija, nedarbo lygis, energijos našumas, priklausomybė nuo importo ir grynasis vidaus šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas statistiškai reikšmingos įtakos neturi. Danijos atveju vėjo energetikos rodikliai pasižymi itin dideliu stabilumu ir sektoriaus brandumu, o išorės veiksnių poveikis yra daug silpnesnis. Nenustatyta statistiškai reikšmingų ryšių tarp vėjo energetikos sektoriaus plėtros ir priklausomybės nuo importo ir energijos našumo, o ryšiai su kitais nagrinėtais rodikliais taip pat nėra statistiškai reikšmingi. Kokybinio tyrimo metu nustatyta, kad pagrindinės vėjo energetikos plėtros kliūtys Lietuvoje yra leidimų išdavimo procedūrų sudėtingumas, vietos bendruomenių pasipriešinimas, reguliaciniai barjerai ir elektros tinklų ribotumas. Šie veiksniai leidžia paaiškinti, kodėl net esant palankioms ekonominėms sąlygoms sektoriaus augimas išlieka ribotas. Atliktas mišrus tyrimas patvirtina iškeltą problemą, kad Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtra nėra tokia sparti, kokią leistų šalies potencialas, o pokyčius labiausiai stabdo išorės aplinkos veiksniai, kurių valdymas reikalauja aiškesnės valstybės politikos ir efektyvesnių reguliacinių sprendimų. Lyginamoji analizė su Danija parodė, kad Lietuva turi galimybių spartesnei plėtrai, tačiau tam būtina stiprinti institucinius pajėgumus, didinti socialinį priimtinumą ir kurti brandesnę vėjo energetikos rinkos aplinką.

Žebrauskienė Lina. Assessment of the Impact of External Environmental Factors on the Development of the Wind Energy Sector. Master's Final Degree Project / supervisor prof. Jurgita Bruneckienė; School of Economics and Business, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: external environmental factors, wind energy, renewable energy sources, energy independence, sustainability.

Kaunas, 2026. 76.

Summary

In recent years, wind energy has become an increasingly important part of renewable energy development both in Europe and in Lithuania. Countries seek to reduce dependence on fossil fuels, strengthen energy security, and achieve climate goals; therefore, the development of wind energy has become particularly relevant. Although Lithuania is characterized by favorable natural conditions and a clear strategic direction, the development of the wind energy sector is progressing more slowly than it could. This reveals a significant impact of external environmental factors and emphasizes the need for their systematic analysis.

The object of this study is external environmental factors influencing the development of the wind energy sector. The aim of the study is to assess the impact of external environmental factors on the development of the wind energy sector. The objectives of the study are: (1) to analyze the development trends and challenges of the wind energy sector in Europe and Lithuania; (2) to theoretically substantiate external environmental factors and their impact on wind energy development; (3) to develop a research methodology for assessing the impact of external environmental factors on the development of the wind energy sector; and (4) to conduct a study on the impact of environmental factors on the development of the Lithuanian wind energy sector. The research methods applied include systematic analysis of scientific literature, descriptive statistical analysis, correlation analysis, regression analysis, and content analysis.

A mixed research model combining quantitative and qualitative analysis was applied in this study. In the case of Lithuania, it was found that wind energy development is statistically significantly influenced by GDP growth and the share of renewable energy, while other macroeconomic indicators – such as inflation, unemployment rate, energy efficiency, dependence on imports, and net domestic greenhouse gas emissions – do not have a statistically significant impact. In the case of Denmark, wind energy indicators are characterized by a very high level of stability and sector maturity, while the impact of external factors is considerably weaker. No statistically significant relationships were identified between the development of the wind energy sector and dependence on imports or energy efficiency, and relationships with other analyzed indicators were also not statistically significant. The qualitative study revealed that the main barriers to wind energy development in Lithuania include the complexity of permitting procedures, opposition from local communities, regulatory barriers, and limitations of the electricity grid. These factors help explain why sector growth remains limited even under favorable economic conditions. The mixed-methods study confirms the research problem that the development of Lithuania's wind energy sector is not as rapid as the country's potential would allow, with progress primarily constrained by external environmental factors whose management requires clearer state policy and more effective regulatory solutions. A comparative analysis with

Denmark showed that Lithuania has opportunities for faster development; however, this requires strengthening institutional capacity, increasing social acceptance, and creating a more mature wind energy market environment.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Vėjo energetikos plėtros problemos analizė ir raida.....	11
1.1. Vėjo energetikos raida ir tendencijos	11
1.1.1. Vėjo energetikos istorija.....	12
1.1.2. Vėjo jėgainių technologinė pažanga ir galimumas.....	14
1.1.3. Vėjo energetikos plėtros tendencijos Europoje	16
1.2. Europos ir Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtros problemos	18
2. Išorės aplinkos įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai teoriniai aspektai.....	20
2.1. Išorės aplinkos samprata ir jos įtaka verslo plėtrai.....	20
2.1.1. Išorės aplinkos samprata.....	21
2.1.2. Makroaplinkos veiksniai ir jų poveikis organizacijos plėtrai.....	22
2.1.3. Makroaplinkos veiksnių svarba energetikos sektoriui	24
2.2. Išorės aplinkos analizės metodai	27
2.3. Energetikos sektoriaus vaidmuo šiuolaikinėje ekonomikoje	31
2.3.1. Energetikos sektoriaus indėlis į ekonomikos augimą ir konkurencingumą	32
2.3.2. Energetinio saugumo ir žaliosios transformacijos įtaka energetikos sektoriaus plėtrai	33
2.4. Atsinaujinančios energetikos samprata ir ypatumai	34
2.4.1. Atsinaujinančių išteklių apibrėžimas ir klasifikacija.....	35
2.4.2. Atsinaujinančios energetikos poveikis klimato kaitos švelninimui.....	37
2.4.3. Atsinaujinančių technologijų plėtros ekonominiai ir technologiniai aspektai	38
2.4.4. Vėjo energetikos sektoriaus ypatumai.....	39
2.5. Išorės aplinkos veiksniai, darantys įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai	40
3. Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai tyrimo metodologija..	44
4. Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai empirinio tyrimo rezultatai.....	51
4.1. Priklausomų kintamųjų aprašomoji analizė.....	51
4.2. Duomenų parengimas regresinei analizei.....	54
4.2.1. Kintamųjų normalumo ir stacionarumo vertinimas.....	54
4.2.2. Koreliacinė analizė	58
4.3. Regresinės analizės rezultatai.....	60
4.3.1. Lietuvos regresinė analizė	61
4.3.2. Danijos regresinė analizė.....	63
4.4. Turinio analizės rezultatai	66
4.5. Tyrimo rezultatų interpretavimas ir palyginamumas su moksline literatūra.....	68
Išvados ir rekomendacijos	70
Literatūros sąrašas	72
Informacijos šaltinių sąrašas	75
Priedai.....	77
1 priedas. Pasaulio, Europos, Vokietijos ir Lietuvos vėjo energetikos instaliuotos galios pokyčiai 2000-2024 metais. (IRENA, 2025a).....	77

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Europos vėjo energetikos plėtros etapai ir technologijos (Gipe & Möllerström, 2022) ...	13
2 lentelė. Vėjo jėgainių technologinės pažangos kryptys (Bošnjaković ir kt., 2022; Gipe & Möllerström, 2022; Gipe & Möllerström, 2023).....	14
3 lentelė. Instaliuotos vėjo energijos galia (IRENA, 2025a)	17
4 lentelė. Veiksniai, stabdantys vėjo energetikos sektoriaus plėtrą (Wojtaszek ir kt., 2025)	18
5 lentelė. Veiksniai, darantys įtaką atsinaujinančių energijos šaltinių diegimui užtikrinant tvarų ekonomikos vystymąsi (Iurchenko ir kt., 2024)	25
6 lentelė. Išorės aplinkos veiksnių analizės metodų palyginimas (AI-Buraiki & Ai-Ruheili, 2025; Iorember ir kt., 2025; Porter M. E., 1980; Werdhana, 2024; Wheelen ir kt., 2018; Whittington ir kt., 2020).....	31
7 lentelė. Energetikos sektoriaus poveikio ekonomikai teorinės sritys (sudaryta autorės).....	32
8 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių apibrėžimų palyginimas (sudaryta autorės).....	35
9 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių pagrindiniai ypatumai (Hassan ir kt., 2024; IRENA, 2023; Twidell, 2021)	36
10 lentelė. Pagrindiniai šorinės aplinkos veiksniai ir jų įtaka vėjo energetikos sektoriaus plėtrai (sudaryta autorės, remiantis mokslinės literatūros analize).....	42
11 lentelė. Ekonominiai ir aplinkosauginiai veiksniai ir jų rodikliai	46
12 lentelė. Koreliacijos koeficiento vertinimo ribos (Bartosevičienė, 2006).....	48
13 lentelė. Turinio analizės šaltiniai.....	49
14 lentelė. Tyrime naudojamų rodiklių reikšmės (sudaryta autorės).....	54
15 lentelė. Kintamųjų Shapiro–Wilko testas (sudaryta autorės).....	55
16 lentelė. Transformuotų kintamųjų Shapiro–Wilko testo tikimybės (sudaryta autorės).....	55
17 lentelė. Vienetinių šaknų metodo rezultatai (tikimybės ir integruotumas) Lietuvoje (sudaryta autorės)	56
18 lentelė. Vienetinių šaknų metodo rezultatai (tikimybės ir integruotumas) Danijoje (sudaryta autorės)	57
19 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatų suvestinė (Pirsono koreliacijos koeficientai ir tikimybė), Lietuva (sudaryta autorės)	58
20 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatų suvestinė, Danija (sudaryta autorės).....	59
21 lentelė. Dispersijos mažėjimo daugiklio (VIF) metodo rezultatai, Lietuva ir Danija (sudaryta autorės)	60
22 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai ^b kintamajam y ₁ , Lietuva (sudaryta autorės)	61
23 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y ₁ , Lietuva (sudaryta autorės).....	62
24 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai ^b kintamajam y ₂ , Lietuva (sudaryta autorės)	62
25 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y ₂ , Lietuva (sudaryta autorės).....	63
26 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai ^b kintamajam y ₁ , Danija (sudaryta autorės)	63
27 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y ₁ , Danija (sudaryta autorės)	64
28 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai ^b kintamajam y ₂ , Danija (sudaryta autorės)	64
29 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y ₂ , Danija (sudaryta autorės)	65

30 lentelė. Lietuvos ir Danijos regresinės analizės modelių reikšmingumo koeficientai	65
--	----

Paveikslų sąrašas

1 pav. Atsinaujinančių išteklių dalis elektros energijos gamyboje (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a).....	12
2 pav. Vėjo jėgainių dydžio ir galio pokytis nuo XIX amžiaus iki 2025 metų (Brunel, 2021)	13
3 pav. Pasaulyje ir Europoje instaliuotos vėjo energijos galia (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a).....	15
4 pav. ŠESD emisijų sumažėjimas dėl atsinaujinančios energetikos vartojimo augimo Europos Sąjungoje pagal sektorių (European Environment Agency, 2018)	16
5 pav. Organizacijos išorės aplinkos struktūra (sudaryta autorės, remiantis Janković ir kt., 2016; Werdhana, 2024; Wheelen ir kt., 2018; Whittington ir kt., 2020).....	22
6 pav. PESTEL analizės struktūra (sudaryta autorės, remiantis Werdhana, 2024).....	27
7 pav. Porterio penkių jėgų modelis (sudaryta autorės, remiantis Porter M. E., 1980)	29
8 pav. SSGG analizės modelis (sudaryta autorės)	30
9 pav. Energetinio saugumo dimensijos (sudaryta autorės, remiantis Whittington ir kt., 2020)	33
10 pav. Energetinės transformacijos teorinis modelis (sudaryta autorės, remiantis Dirma ir kt., 2024; Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025; Werdhana 2024; Zupok ir kt., 2025).....	34
11 pav. Šiuolaikinės elektros energijos sistema (Li ir kt. 2022)	38
12 pav. Vėjo energijos poveikio aplinkai santrauka (Olabi ir kt., 2023)	42
13 pav. Tyrimų etapų modelis (sudaryta autorės).....	44
14 pav. Vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemiančių veiksnių modelis (sudaryta autorės).....	46
15 pav. Instaliuota vėjo energijos galia (MW) Lietuvoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA. 2025a)	51
16 pav. Instaliuota vėjo energijos galia (MW) Danijoje 2010-2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)	52
17 pav. Vėjo elektros energijos gamyba (GWh) Lietuvoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)	53
18 pav. Vėjo elektros energijos gamyba (GWh) Danijoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)	53

Ivadas

Pastaraisiais metais energetikos sektorius visame pasaulyje sparčiai keičiasi. Ekonominės sistemos ir atskiri ūkio subjektai vis dažniau atsisako iškastinio kuro ir pereina prie švaresnių, tvaresnių energijos šaltinių. Tarp įvairių atsinaujinančios energetikos šaltinių būtent vėjo energetika tampa vienu svarbiausių šios transformacijos elementų. Ji reikšmingai prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) mažinimo, energetinės nepriklausomybės stiprinimo, technologinių inovacijų plėtros ir ekonomikos augimo. Lietuvoje atsinaujinančios energetikos sektorius taip pat patiria reikšmingą transformaciją, susijusią tiek su Europos žaliojo kurso įgyvendinimu, tiek su nacionalinio energetikos saugumo stiprinimu. Energetikos plėtra Lietuvoje spartėja dėl saulės energetikos plėtros, tačiau vėjo energetika taip pat įgauna vis didesnę svarbą. Pastaraisiais metais vėjo energetikos sektorius Lietuvoje nuosekliai plečiasi, bet jo augimo tempai išlieka lėtesni, nei leistų šalies gamtinės sąlygos, technologinės galimybės bei strateginiai energetikos tikslai. Tai rodo, kad vėjo energetikos sektoriaus plėtra neviseiškai išnaudoja turimą potencialą. Lėtesnę plėtrą lemia ne tik finansiniai ar technologiniai iššūkiai, tačiau ir platesnė išorės aplinkos veiksnių visuma. Šio sektoriaus raidą formuoja ekonominė situacija, politiniai sprendimai, reguliacinė aplinka, technologinių inovacijų tempai bei visuomenės nuostatos, kurių tarpusavio ryšys gali reikšmingai riboti sektoriaus plėtros galimybes, net ir esant palankioms vystymosi sąlygoms. Siekiant suprasti, kodėl vėjo energetikos sektorius Lietuvoje nesiplečia taip sparčiai, kaip galėtų, į analizę įtraukiama Danija. Šios šalies vėjo energetikos sektorius laikomas vienu labiausiai išsivysčiusių pasaulyje, dėl to tampa svarbia lyginamąja šalimi vertinant išorės aplinkos veiksnių įtaką sektoriaus raidai. Jos patirtis leidžia aiškiau suprasti, kokios sąlygos lemia spartesnę plėtrą brandžioje rinkose bei kokių prielaidų trūksta Lietuvoje. Toks lyginimas leidžia išryškinti struktūrinius skirtumus ir identifikuoti veiksnių, kurie riboja vėjo energetikos plėtrą Lietuvoje.

Problema. Nors Lietuva turi reikšmingą vėjo energetikos plėtros potencialą, vėjo energetikos sektoriaus plėtra išlieka lėta dėl vis dar egzistuojančių problemų. Turimas potencialas nėra efektyviai išnaudojamas, o išorės aplinkos veiksniai dažnai veikia nepakankamai nuosekliai, nesudarydami palankios sistemos spartesnei plėtrai. Tai lemia, kad sektorius nepasiekia tokio augimo tempo, kokį demonstruoja brandžios rinkos. Todėl tampa būtina išsamiai identifikuoti ir įvertinti tuos išorės aplinkos veiksnius, kurie stabdo vėjo energetikos plėtrą Lietuvoje, bei nustatyti sąlygas, kurių suformavimas sudarytų prielaidas efektyvesniam sektoriaus potencialo išnaudojimui.

Tyrimo objektas – išorės aplinkos veiksniai, darantys įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai.

Tyrimo tikslas – atlikti išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vertinimą.

Tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti vėjo energetikos sektoriaus plėtros raidą ir problematiką Europoje ir Lietuvoje;
2. Teoriškai pagrįsti išorės aplinkos veiksnius ir jų įtaką vėjo energetikos plėtrai;
3. Parengti tyrimo metodologiją, skirtą išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtros vertinimui;
4. Atlikti išorės aplinkos veiksnių įtakos Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai empirinį tyrimą ir pateikti rekomendacijas.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros sisteminimas, aprašomoji statistinė analizė, koreliacinė analizė, regresinė analizė, turinio analizė, išvadų generavimas.

1. Vėjo energetikos plėtros problemos analizė ir raida

Atsinaujinančios energetikos sektoriaus plėtra pastaruoju metu yra vienas svarbiausių energetikos transformacijos prioritetų. Ji tampa būtina dėl aplinkosauginių bei ekonominių priežasčių. Pasak Wolniak'o & Skotnicka'os-Zasadzien'os (2023), atsinaujinančių energijos šaltinių plėtrą lemia keli svarbiausi veiksniai:

- klimato kaitos iššūkiai, kurie skatina mažinti ŠESD;
- energetinis saugumas, užtikrinantis patikimą energijos išteklių tiekimą;
- technologinė pažanga, leidžianti gaminti efektyviau ir su mažesnėmis sąnaudomis.

Siekiant sumažinti ŠESD išmetimą Europos Sąjunga planuoja įgyvendinti Žaliojo kurso strategiją ir tam pasiekti yra išsikėlusį tikslą iki 2050 metų tapti klimatui neutraliu regionu (European Commission, 2019). Lietuvoje šie siekiai yra įtvirtinti Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje, kurioje numatyta sparčiai didinti atsinaujinančių išteklių elektros energijos gamybą (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2024). Tai rodo, kad tiek tarptautiniu, tiek nacionaliniu lygmeniu atsinaujinanti energetika tampa viena iš pagrindinių vystymosi krypčių. Energetinio saugumo svarba išaugo po Rusijos invazijos prieš Ukrainą, įvykusios 2022 metais. Šis įvykis paskatino siekti energetinės nepriklausomybės ir po to daugelis šalių pradėjo stiprinti atsinaujinančios energetikos sektoriaus plėtrą.

Kadangi energijos prieinamumas tiesiogiai veikia tiek gamybos, tiek transporto bei paslaugų sektorius, tai manoma, jog energetika yra labai svarbi ekonomikos augimo dalis. Atsinaujinančių energijos šaltinių plėtra yra susijusi ne tik su aplinkos būklės gerinimu, bet ir su šalies konkurencingumu. Pasak Wojtaszek'o ir kt. (2025), norint pasiekti energetinę pertvarką, vienas esminių pagrindų yra vėjo energija. Jankevičienės & Kanapincko (2023) teigimu, kovojant su klimato kaita būtent ji gali būti vienas iš veiksmingiausių sprendimų. Vis dėlto atsinaujinančios energetikos sektorius susiduria ir su dideliais iššūkiais. Pagrindiniai iššūkiai susiję su nepakankama infrastruktūra, reguliaciniais barjeriais bei socialiniu pasipriešinimu (Olabi ir kt., 2023). Tai rodo, kad vien technologinės pažangos nepakanka, todėl būtina spręsti socialinius ir politinius klausimus.

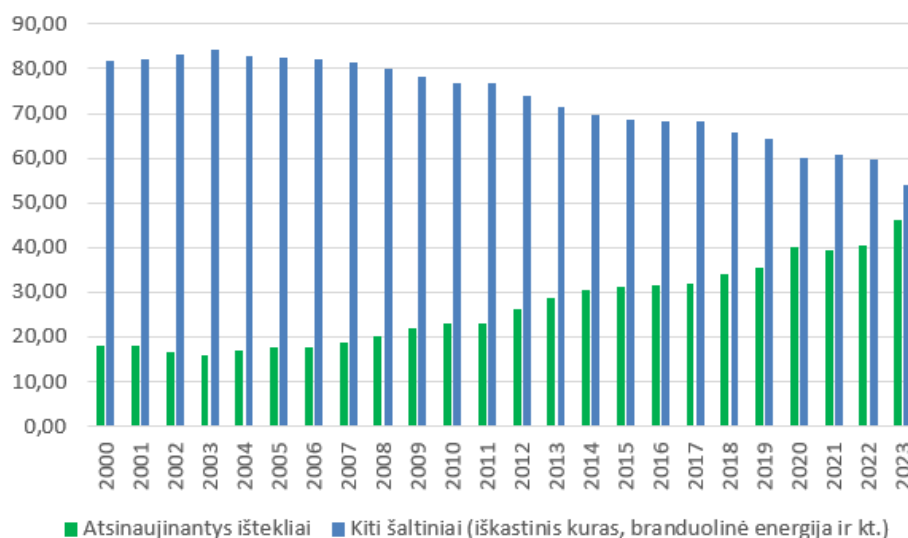
Atsižvelgiant į šiuos aspektus, tampa aišku, jog atsinaujinančios energetikos plėtra yra įvairialypis procesas, apimantis ekonominius, technologinius, socialinius ir politinius veiksmus. Todėl šiame darbe bus nuosekliai nagrinėjamos pagrindinės problemos ir tendencijos, ypač dėmesį skiriant vėjo energetikai, kurios vaidmuo Lietuvos energetikos transformacijoje tampa vis svarbesnis.

1.1. Vėjo energetikos raida ir tendencijos

Šiandien vėjo energetika yra viena sparčiausiai augančių atsinaujinančios energetikos sričių, kuri lemia pasaulio ir Europos energetikos transformaciją. Jos plėtrą skatina keli esminiai veiksniai: būtinybė mažinti ŠESD emisijas, užtikrinti energetinį saugumą bei sumažinti priklausomybę nuo importuojamo iškastinio kuro (Wolniak & Skotnicka-Zasadzien, 2023). Šie veiksniai lemia, kad vėjo energetika yra nuosekliai palaikoma tiek politiniu, tiek ekonominiu lygmeniu.

Pastaraisiais dešimtmečiais sparčiai auga atsinaujinančių energijos išteklių svarba pasaulinėje energetikos sistemoje. Nuo 2000 iki 2023 metų atsinaujinančių išteklių energetikos dalis pasaulinėje elektros gamyboje išaugo daugiau nei du kartus (IRENA, 2025a). Manoma, kad šis augimas susijęs

su pasaulinės energetinės transformacijos procesu, technologijų pažanga bei didėjančiais investicijų srautais į švarios energijos projektus.



1 pav. Atsinaujinančių išteklių dalis elektros energijos gamyboje (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)

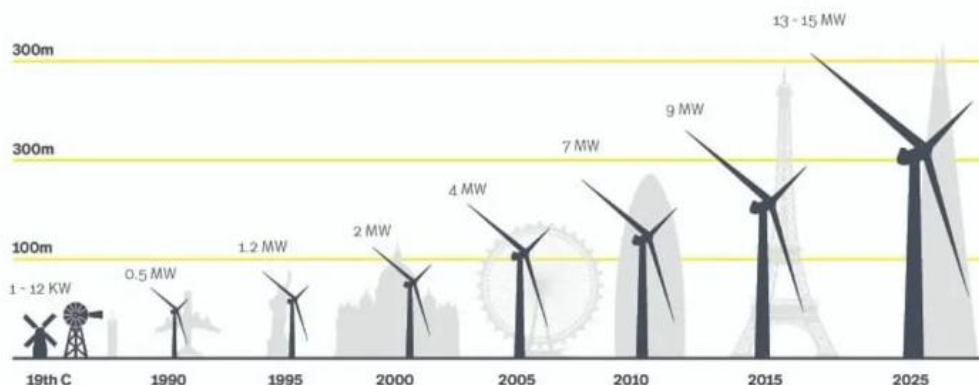
Iš 1 paveikslo matoma, kad 2000 metais atsinaujinančių išteklių dalis Europos elektros gamyboje sudarė 18,1 %, o 2023 metais sudarė jau 46,2 %. Šis augimas rodo nuoseklų perėjimą prie švaresnės energijos gamybos ir spartėjančią atsinaujinančių šaltinių įsitvirtinimą Europos energetikos sistemoje. Reikšmingiausi šuoliai pastebimi po 2010 metų, kai itin sparčiai pradėjo plėstis vėjo ir saulės energetika, mažėjo šių technologijų sąnaudos ir daugėjo investicijų į žaliąją infrastruktūrą. Taip pat vėjo energetikos raida pasižymi nuolatine technologine pažanga, augančiu ekonominiu ir politiniu palaikymu bei strateginiu vaidmeniu atsinaujinančioje energetikoje, siekiant klimato neutralumo tikslų. Ateities tendencijos rodo, kad šis sektorius išliks vienu svarbiausių atsinaujinančios energetikos plėtros pagrindų Europoje bei Lietuvoje.

1.1.1. Vėjo energetikos istorija

Europoje vėjo energetikos plėtra išryškėjo XX a. pabaigoje, kai pirmuosius komercinius projektus pradėjo įgyvendinti Danija ir Vokietija. Viena iš šios energetikos rūšies pradininkių laikoma Danija, kadangi 1980-aisiais metais šalyje buvo sukurti nacionaliniai paramos mechanizmai, sudarę sąlygas spartesnei vėjo jėgainių plėtrai (Johansen, 2021). Remiantis panašiais principais Vokietija taip pat tapo viena iš lyderių šioje srityje, įgyvendindama tiek technologinius, tiek ir politinius sprendimus. Vėliau prie aktyvios plėtros prisidėjo ir kitos Europos šalys. Pasak Wolniak'o & Skotnicka'os-Zasadzien'os (2023), Jungtinė Karalystė ir Ispanija investavo į didelio masto sausumos vėjo parkus, o per pastarąjį dešimtmetį sparčiai įsitraukė ir Prancūzija, Lenkija bei Skandinavijos šalys, kuriose spartų šio sektoriaus augimą lėmė palankios geografinės ir klimatinės sąlygos.

Šios srities raida glaudžiai susijusi su technologine pažanga. Vėjo jėgainių technologijos plėtra prasidėjo XIX a. pabaigoje, kai Škotijoje buvo pastatytas pirmasis vėjo malūnas gaminantis elektrą (Gipe & Möllerström, 2022). Autoriai pastebi, jog vėliau vėjo turbinos buvo montuojamos ir Prancūzijoje, Jungtinėse Amerikos Valstijose, Danijoje, tačiau pirmieji eksperimentai nesukūrė ilgalaikės technologinės plėtros, išskyrus Danijoje. Jeigu XX a. pradžioje buvo naudojami tik mažos

galios vėjo malūnai, tai šiandien kuriami aukštųjų technologijų vėjo parkai, kurių pavienės jėgainės gali pasiekti net 13–15 MW galią (žr. 2 pav.). Didėjantis jėgainių aukštis, ilgesni sparnai bei efektyvesni generatoriai leidžia gaminti daugiau elektros energijos net esant silpniesiems vėjams. Dėl to vėjo energetika dėl kitų energijos šaltinių tampa vis patikimesne ir konkurencingesne.



2 pav. Vėjo jėgainių dydžio ir galio pokytis nuo XIX amžiaus iki 2025 metų (Brunel, 2021)

Svarbu pabrėžti, jog pastaraisiais dešimtmečiais ši sritis ne tik išsiplėtė, tačiau ir įgavo strateginę reikšmę. Tarp atsinaujinančių išteklių vėjo energija Europoje šiuo metu yra antras pagal dydį elektros gamybos šaltinis, o tokiose šalyse, pavyzdžiui, Danija ar Vokietija, ji sudaro reikšmingą dalį visos elektros energijos gamyboje. Lietuvoje taip pat stebima spartėjanti šio sektoriaus plėtra, nes pastaraisiais metais vėjo energetikos projektų skaičius sparčiai didėja tiek sausumoje, tiek jūroje.

Kita taip pat ryški tendencija, kurią reikėtų pabrėžti, tai perėjimas nuo mažų, lokalių jėgainių prie didelių vėjo parkų, įskaitant ir jūrinę energetiką. Jūriniai vėjo parkai tampa itin patrauklia kryptimi, nes atviroje jūroje vyrauja stipresni ir pastovesni vėjai, dėl to elektros gamyba yra efektyvesnė ir stabilesnė. Tokia plėtra leidžia šiai energijos sričiai vis aktyviau konkuruoti su tradiciniais energijos gamybos būdais bei užtikrinti žaliosios energijos prieinamumą. Siekiant geriau suprasti šios srities raidą, galima išskirti pagrindinius vėjo energetikos plėtros etapus (žr. 1 lentelę), kurie atspindi tiek politinius sprendimus, tiek ir technologijų pažangą.

1 lentelė. Europos vėjo energetikos plėtros etapai ir technologijos (Gipe & Möllerström, 2022)

Laikotarpis	Pagrindiniai bruožai	Pagrindinės šalys	Technologijos
1980–1990 m.	Mažos galios eksperimentinės elektrinės, eksperimentiniai parkai	Danija, Vokietija, Švedija	Mažos galios (50–200 kW) vėjo malūnai, dažniausiai dviejų menčių konstrukcijos
1990–2005 m.	Didelio masto sausumos parkų plėtra, technologijų tobulėjimas, politinės paramos augimas	Danija, Vokietija, Ispanija	0,5–2 MW galios jėgainės, trijų menčių konstrukcija tampa vėjo jėgainių standartu
2005–2015 m.	Sparčiai vystosi jūrinė energetika, plečiasi investicijos, mažėja technologijų kaina	Jungtinė Karalystė, Nyderlandai, Vokietija	3–5 MW sausumos jėgainės, pirmosios didelio masto jūrinės jėgainės (iki 6–7 MW)
2015–dabar	Rekordinė instaliuota galia, vėjo energetika tampa strateginiu ES prioritetu, įsitraukia naujos šalys	Prancūzija, Lenkija, Skandinavijos šalys	Naujos kartos 10–15 MW jūrinės jėgainės, hibridiniai parkai, skaitmeninės valdymo sistemos

Europoje vėjo energetikos raida vyko tam tikrais etapais, kai nuo mažos galios eksperimentinių malūnų buvo pereinama prie šiuolaikinių aukštų technologijų jūrinių parkų. Kiekvienas laikotarpis pasižymėjo ne tik didėjančiu politiniu palaikymu, tačiau ir reikšmingais technologiniais šuoliais,

leidusiais vėjui tapti vienu pagrindinių atsinaujinančios energijos šaltinių Europoje. Remiantis Europos Komisijos duomenis, 2022 metais Europos Sąjungoje vėjo elektrinių instaliuota galia siekė daugiau kaip 204 GW, iš kurių apie 16 % sudarė jūrinės elektrinės (European Commission, 2022).

1.1.2. Vėjo jėginių technologinė pažanga ir galingumas

Technologijų pažanga yra vienas iš pagrindinių veiksnių, leidžiančių spartinti vėjo energetikos plėtrą ir didinti jos konkurencingumą dėl kitų energijos šaltinių. Pastarųjų dešimtmečių tyrimai rodo, kad didėjantis rotorius skersmuo, aukštesni bokštai ir efektyvesni generatoriai daug padidino jėginių našumą ir elektros gamybos apimtis (Ramos ir kt., 2023). Pavyzdžiui, jei 1985 metais tipinių turbinų galia siekė vos 0,05 MW, tai šiandieninių naujų vėjo jėginių turbinų galia sausumoje siekia 3–4 MW, o jūrinių jėginių siekia 8–12 MW (IRENA, 2025b). Šie pokyčiai rodo, kad viena šiuolaikinė turbina gali pagaminti kelis kartus daugiau elektros nei prieš du dešimtmečius. Dar spartesnė pažanga vyksta jūrinėje vėjo energetikoje, nes naujausios kartos jūrinės jėgainės pasiekia vis didesnę galią. Visa tai leidžia gaminti elektrą pigiau nei iš daugumos tradicinių iškastinio kuro šaltinių. Sparčiai besivystančiose srityse labai svarbus tikslus vėjo energijos prognozavimas, būtinas efektyviam rinkos veikimui (Sánchez-Soriano, 2025). Taip pat į vėjo energetikos valdymą integruojami skaitmeniniai sprendimai, pavyzdžiui, dirbtinio intelekto algoritmai, padedantys prognozuoti vėjo srautus ir optimizuoti gamybos planavimą, inovatyviosios priežiūros sistemos, leidžiančios nuotoliniu būdu stebėti įrenginių būklę bei sumažinti eksploatacines sąnaudas.

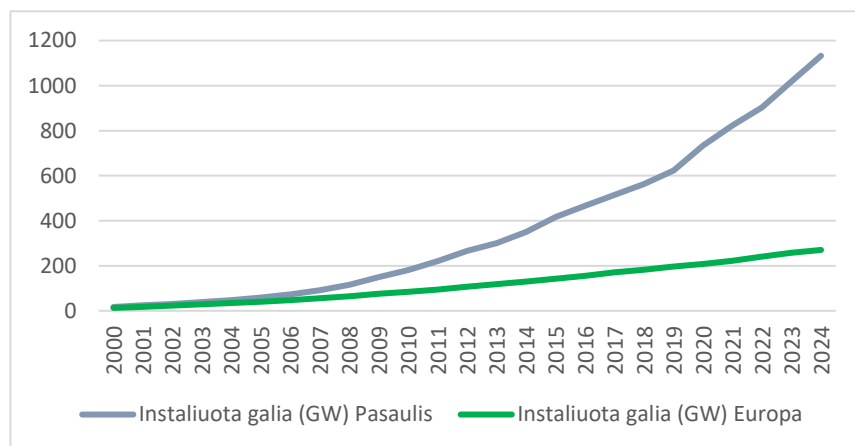
2 lentelė. Vėjo jėginių technologinės pažangos kryptys (Bošnjaković ir kt., 2022; Gipe & Möllerström, 2022; Gipe & Möllerström, 2023)

Laikotarpis	Technologinės pažangos kryptis	Esminiai pokyčiai	Poveikis sektoriaus plėtrai
1980–1990 m.	Mažos galios jėgainės (50–200 kW), dviejų menčių konstrukcijos	Pirmosios komercinės instaliacijos, nacionalinės paramos schemos	Sukurtas technologinis pagrindas tolesnei plėtrai
1990–2005 m.	0,5–2 MW trijų menčių jėgainės	Trijų menčių konstrukcija tampa industriniu standartu	Patikimesnė veikla, pramoninis mastas
2005–2015 m.	3–7 MW jūrinės jėgainės, ilgesni sparnai, aukštesni bokštai	Pirmieji didelio masto jūriniai parkai, rotorius skersmuo išauga iki 120–150 m	Efektyvesnė gamyba, mažesnės sąnaudos
2015–2020 m.	8–12 MW jūrinės jėgainės, plūduriuojančios konstrukcijos	Pirmieji plūduriuojantys pamatai, rotorinis skersmuo > 200 m	Galimybė statyti parkus gilesnėse jūrose, efektyvesnė gamyba
2020–dabar	12–15 MW jūrinės jėgainės, DI algoritmai, pažangios priežiūros sistemos, naujos medžiagos	Dirbtinio intelekto prognozės, nuotolinė diagnostika, sparnų medžiagų inovacijos	Mažesnės sąnaudos, ilgesnis tarnavimo laikas, pigesnė elektra nei iškastinis kuras

Kaip matyti iš 2 lentelės, vėjo jėginių technologinė pažanga taip pat vyko etapais, kurių kiekvienas pasižymėjo reikšmingais lūžiais. Pirmieji projektai XX a. devintajame dešimtmetyje sukūrė pagrindą šiuolaikinei pramonei. Nuo 1990 metų trijų menčių konstrukcija tapo industriniu standartu, užtikrinusiu didesnę patikimumą ir pramoninį mastą. Vėlesni esminiai pokyčiai siejosi su rotorius diametro didėjimu bei jūrinių vėjo parkų plėtra, leidusia panaudoti stipresnius ir stabilesnius jūrinius vėjus. Modernios jėgainės apjungia konstrukcines naujoves ir skaitmeninius sprendimus, kurie leidžia efektyviau naudoti išteklius bei prailgina įrenginių tarnavimo laiką. Nepaisant akivaizdaus vėjo jėginių galios augimo, šią pažangą lydi ir nemažai iššūkių. Didėjant rotorius dydžiui ir bokštų aukščiui, sudėtingėja gamyba, transportavimas bei montavimas, ypač sausumos sąlygomis, kur susiduriama su infrastruktūros apribojimais (Bošnjaković ir kt., 2022). Jūrinės elektrinės, nors ir pasižymi itin dideliu potencialu, tačiau reikalauja daug didesnių pradinių investicijų, sudėtingesnės

priežiūros ir specializuotų tinklo jungčių (The International Energy Agency, 2022). Taip pat didėjanti vienos turbinos galia kelia tinklo integracijos iššūkių, nes būtina užtikrinti gamybos balansavimą, lankstumą ir sistemos stabilumą. Dėl to, nors technologinė raida aiškiai skatina sektoriaus konkurencingumą, tačiau tuo pačiu tampa būtina spręsti infrastruktūros, priežiūros ir sisteminės integracijos klausimus, kurie siekiant tvarios plėtros tampa vis aktualesni.

Pastaraisiais dešimtmečiais vėjo energetika tapo vienu sparčiausiai augančių elektros gamybos sektorių pasaulyje. Tarptautinės atsinaujinančios energetikos agentūros (IRENA) duomenimis (žr. 3 pav., 1 priedą), 2000 metais pasaulinė vėjo energijos instaliuota galia siekė tik 16,96 GW, o 2010 metais – jau 180,84 GW (IRENA, 2025a).



3 pav. Pasaulyje ir Europoje instaliuotos vėjo energijos galia (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)

Tai rodo, kad per dešimt metų galia padidėjo dešimt kartų. Labiausiai spartėjantis augimas matomas po 2015 metų, kai galia siekė 416,39 GW, o vos per devynerius metus padidėjo beveik tris kartus ir 2024 metais pasiekė net 1132,65 GW. Visa tai rodo itin spartų pasaulinės vėjo energetikos plėtros augimą. Pasaulinės tendencijos rodo, kad vėjo energetika tapo strategine kryptimi klimato kaitos švelninimo politikoje, o 2000–2024 metų šuolis gali būti tiesiogiai siejamas su Paryžiaus klimato susitarimu ir augančiomis investicijomis į žaliąją energiją.

Europoje 2000 metais instaliuota vėjo energijos galia siekė 12,75 GW, 2010 metais – 84,91 GW, o 2024 metais – 270,13 GW. Matoma, kad 2000 metais Europos vėjo energijos instaliuota galia sudarė net apie 75 % pasaulio vėjo galios, 2010 metais – 47 %, o 2024 metais jau tik apie 24 %. Nors Europa ilgą laiką buvo šios srities lyderė, nuo 2010 metų jos santykinė dalis pasaulyje sumažėjo dėl kitų regionų šalių įsitraukimo. Vis dėl to Europa išlieka vienu pažangiausių regionų tiek technologiniu, tiek reguliaciniu požiūriu.

Taip pat svarbu pažymėti, kad pasauliniu mastu didelę dalį instaliuotos galios sudaro sausumos vėjo jėgainės. Jos tradiciškai plėtojamos sparčiau dėl mažesnių sąnaudų ir paprastesnių statybos procesų. Tačiau per pastarąjį dešimtmetį itin sparčiai vystėsi ir jūrinė vėjo energetika – ji užima vis didesnę dalį bendrame balanse. Naujausių jūrinių vėjo jėgainių galia jau siekia 10–15 MW, o jų efektyvumo koeficientai viršija 50 %, kas leidžia elektrą gaminti pigiau nei iš daugumos iškastinių šaltinių (Gipe & Möllerström, 2022; The International Energy Agency, 2022).

1.1.3. Vėjo energetikos plėtros tendencijos Europoje

Pastebima, kad pastaraisiais metais Europos vėjo energetikos sektorius pasižymi aiškia kryptimi, nes vis didesnis dėmesys skiriamas jūrinės vėjo energetikos plėtrai (Ramos ir kt., 2023). Didžiausi projektai šiuo metu vystomi Šiaurės jūroje, Baltijos jūroje bei Atlanto vandenyno pakrantėse, kur elektros gamybai sąlygos yra itin palankios. Skandinavijos šalys – Danija, Norvegija, Suomija ir Švedija, išsiskiria, kaip vienos pažangiausių šioje srityje. Danija laikoma jūrinės energetikos lydere, nes būtent čia pastatytas pirmasis pasaulyje komercinis jūrinis vėjo parkas, o iki šiol įgyvendinami didelio masto projektai. Švedija aktyviai plečia sausumos vėjo jėgainių parkus, derindama aukšto lygio technologinius sprendimus su pažangia integracija į elektros tinklus (Bošnjaković ir kt., 2022). Norvegijoje, Šiaurės jūroje, 2023 metais buvo atidarytas didžiausias pasaulyje plūduriuojančių vėjo jėgainių parkas. Dėl to Norvegija tapo inovacijų centru plūduriuojančių jūrinių konstrukcijų srityje ir atvėrė naujas galimybes naudoti vėjo energiją gilesnėse jūrų zonose.

Atsinaujinančios energetikos plėtra Europos Sąjungoje yra glaudžiai siejama su klimato kaitos švelninimo tikslais ir ŠESD emisijų mažinimu. Remiantis Europos aplinkos agentūros (2018) duomenimis, atsinaujinančios energijos vartojimo augimas turėjo reikšmingą poveikį ŠESD emisijų mažėjimui, ypač elektros energijos gamybos sektoriuje (žr. 4 pav.).



4 pav. ŠESD emisijų sumažėjimas dėl atsinaujinančios energetikos vartojimo augimo Europos Sąjungoje pagal sektorių (European Environment Agency, 2018)

Šiame paveiksle pateikiami duomenys rodo reikšmingą ŠESD emisijų mažėjimą, susijusį su atsinaujinančios energijos vartojimo plėtra. Didžiausią poveikį turėjo atsinaujinančios elektros energijos gamyba Europos Sąjungos apyvartinių taršos leidimų sistemos (ATS) sektoriuje, kurios reikšmė per nagrinėjamą laikotarpį nuosekliai augo. Tai sietina su spartėjančia vėjo ir saulės elektrinių plėtra, energetikos rinkos liberalizavimu ir Europos Sąjungos klimato politikos instrumentų taikymu. Tuo tarpu šilumos ir transporto sektorių indėlis į bendrą emisijų mažinimą išliko mažesnis, nes šiose srityse technologinė pažanga vyko lėčiau, o infrastruktūros transformacija susidūrė su didesniais finansiniais ir technologiniais barjeriais. 2017 metais bendras ŠESD emisijų sumažėjimas Europos Sąjungoje siekė apie 450 mln. tonų CO₂ ekvivalento, iš kurių daugiau nei du trečdaliai buvo pasiekti dėl atsinaujinančios energetikos plėtros elektros gamybos sektoriuje. Tai patvirtina, kad atsinaujinančios energetikos sektorius yra esminis klimato kaitos švelninimo politikos ramstis, o tolesnis progresas turėtų būti orientuotas į šilumos ir transporto emisijos mažinimą.

Iki šiol Lietuvoje vystomos tik sausumos vėjo jėgainės, tačiau artimiausiais metais numatyta pradėti ir jūrinių vėjo parkų projektus Baltijos jūroje, kurie taps svarbiu žingsniu šalies energetikos transformacijoje. Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje jau numatyta, kad iki 2030 metų jūrinių jėgainių galia išaugs iki 1,4 GW (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2024). Moksliniai tyrimai rodo, kad Lietuvos potencialas yra dar didesnis nei numatyta strateginiuose dokumentuose. Pasak Jankevičienės & Kanapicko (2023), maksimali teorinė vėjo energetikos galia galėtų siekti net 15 GW, jei būtų išnaudotos palankiausios teritorijos tiek sausumoje, tiek Baltijos jūroje. Tai rodo, kad dabartiniai tikslai, nors ir ambicingi, tačiau vis dar neapima viso šalies potencialo.

3 lentelė. Instaliuotos vėjo energijos galia (IRENA, 2025a)

Šalis Metai	Danija		Norvegija		Švedija		Lietuva	
	Sausumos vėjo energija (GW)	Jūrinė vėjo energija (GW)	Sausumos vėjo energija (GW)	Jūrinė vėjo energija (GW)	Sausumos vėjo energija (GW)	Jūrinė vėjo energija (GW)	Sausumos vėjo energija (GW)	Jūrinė vėjo energija (GW)
2015	3,81	1,27	0,86	0,00	5,61	0,21	0,44	0,00
2016	3,97	1,27	0,88	0,00	6,23	0,20	0,51	0,00
2017	4,23	1,26	1,20	0,00	6,41	0,20	0,52	0,00
2018	4,42	1,70	1,71	0,00	7,10	0,20	0,53	0,00
2019	4,41	1,70	2,91	0,00	8,48	0,20	0,53	0,00
2020	4,56	1,70	4,03	0,00	9,77	0,20	0,54	0,00
2021	4,70	2,31	5,05	0,00	11,92	0,19	0,67	0,00
2022	4,78	2,31	5,06	0,00	14,09	0,19	0,95	0,00
2023	4,81	2,47	5,06	0,00	16,03	0,19	1,28	0,00
2024	4,81	2,81	5,06	0,09	17,05	0,19	1,83	0,00

3 lentelėje pateikti duomenys rodo didėjimo tendenciją visose nagrinėtose šalyse, pastebima auganti vėjo energijos galia tiek sausumos, tiek jūrinės vėjo energijos galia, nors šalių plėtros mastai ir tempai skiriasi.

Tarp nagrinėjamų šalių absoliuti sausumos vėjo energetikos lyderė yra Švedija, jos vėjo energijos galia išaugo tris kartus nuo 5,61 GW iki 17,05 GW. Norvegijoje 2015 metais instaliuota galia siekė vos 0,86 GW, tačiau per dešimt metų ji padidėjo šešis kartus ir 2024 metais jau siekė 5,06 GW. Sparčiausias augimas pastebimas 2018–2021 metais, kai padidėjo nuo 1,71 GW iki 5,05 GW. Lietuvoje sausumos vėjo energijos galia 2015–2024 metų laikotarpiu padidėjo nuo 0,44 GW iki 1,83 GW. Danijoje 2015 metais instaliuota vėjo energijos galia siekė 3,81 GW, o 2024 metais – 4,81 GW. Pastebimas lėtas, bet stabilus augimas, rodantis, kad ši šalis jau yra pasiekusi brandą šioje srityje ir jos plėtra nėra tokia sparti kaip kitose šalyse.

Matoma, kad Danijoje jūrinė vėjo energetika vykdoma sparčiausiai ir per dešimtmetį išaugo dvigubai nuo 1,27 GW iki 2,81 GW. Švedijoje jūrinės vėjo energijos galia išlieka minimali ir augimo nepastebima. Norvegijoje iki 2023 metų jūrinė energetika nebuvo vystoma, tačiau įrengus pirmąsias jėgaines matoma, kad 2024 metais galia jau siekia 0,09 GW. Lietuvoje jūrinė vėjo energetika dar nepradėta vystyti, tačiau projektuose tai jau numatyta.

Vis dėlto, nepaisant spartaus augimo, sektoriaus plėtra susiduria su reikšmingais iššūkiais. Pirmiausia, tai tinklų infrastruktūros ribotumai, kurie sunkina galios integravimą į nacionalines elektros sistemas. Antra, leidimų išdavimo procedūros dažnai yra lėtos ir sudėtingos, stabdančios

projektų įgyvendinimą (IRENA, 2025c). Trečia, kai kuriuose regionuose juntamas visuomenės pasipriešinimas, ypač dėl vizualinio poveikio kraštovaizdžiui ar galimo poveikio aplinkai (Morkūnė ir kt., 2020).

1.2. Europos ir Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtros problemos

Nors vėjo energetika yra viena sparčiausiai augančių atsinaujinančios energetikos rūšių, jos plėtra tiek Europoje, tiek Lietuvoje susiduria su įvairiais iššūkiais. Wojtaszek’as ir kt. (2025) pabrėžia, kad svarbiausi barjerai susiję su:

- teisine ir reguliacine aplinka;
- infrastruktūros ribotumais;
- investicijų pritraukimu;
- socialiniu priimtinumu;
- technologiniais ir aplinkosauginiais aspektais.

Dalis problemų yra bendros visoms Europos šalims, tačiau kai kurios jų įgauna specifinį pobūdį nacionaliniu lygmeniu, įskaitant ir Lietuvą. Viena ryškiausių problemų Europoje yra leidimų išdavimo procedūrų lėtumas bei sudėtingumas, nes leidimų gavimas dažnai užtrunka ir kelerius metus. Aplinkosauginiai klausimai taip pat išlieka aktualūs, pastebima, kad vėjo parkų plėtra gali turėti įtakos paukščių migracijos keliams, jūrų ekosistemoms ir natūralioms buveinėms. Todėl reikalingi išsamūs poveikio aplinkai vertinimai, kurie dar labiau ilgina projektų įgyvendinimo procesus. Prie šių kliūčių prisideda ir socialinio priimtino klausimas, nes visuomenė nevienodai vertina vėjo elektrinių statybą, kai kur kyla pasipriešinimas dėl vizualinio poveikio, triukšmo ar galimos įtakos sveikatai (Wojtaszek ir kt., 2025).

Toliau išskirti pagrindiniai veiksniai, stabdantys vėjo energetikos sektoriaus plėtrą, kurie leidžia geriau suprasti, kodėl šie procesai vyksta lėčiau, nei tikėtasi (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Veiksniai, stabdantys vėjo energetikos sektoriaus plėtrą (Wojtaszek ir kt., 2025)

Veiksnių grupės	Pagrindiniai veiksniai, stabdantys plėtrą
Politiniai – teisiniai	Lėti ir sudėtingi leidimų išdavimo procesai.
	Teisinio reguliavimo pokyčių neapibrėžtumas.
	Administraciniai barjerai
Ekonominiai	Didelės kapitalo sąnaudos, ypač jūriniams projektams.
	Ilgas atsipirkimo laikotarpis.
	Elektros rinkų nepastovumas.
	Ribotas finansavimo prieinamumas.
Technologiniai	Nepakankamai išvystyti elektros perdavimo tinklai.
	Ribotos elektros saugojimo galimybės.
	Priklausomybė nuo importuojamų technologijų.
	Būtinybė modernizuoti balansavimo sistemas.
Socialiniai	Vietos bendruomenių pasipriešinimas dėl poveikio kraštovaizdžiui ir susirūpinimas dėl triukšmo.
	Sveikatos rizikų baimė.
	Konfliktai su vietos interesais.
	Teisiniai ginčai.
Aplinkosauginiai	Poveikis paukščių migracijos keliams ir jūrų ekosistemoms.
	Konfliktai su saugomomis teritorijomis ir biologinės įvairovės išsaugojimu.
	Netinkamos gamtinės sąlygos.

Vėjo energetikos plėtros barjerai yra kompleksiniai ir apima visas pagrindines sritis. Dažniausiai įvardijami reguliaciniai procesai ir infrastruktūros ribotumai, tačiau ne mažiau svarbūs yra visuomenės palaikymas bei aplinkosaugos reikalavimai.

Svarbu pabrėžti, kad šie veiksniai nėra vienodai ištyrinėti. Reguliaciniai ir ekonominiai klausimai dažniausiai analizuojami Europos Sąjungos lygmens tyrimuose ir politikos dokumentuose. Technologiniai veiksniai plačiai aptariami energetikos inžinerijos literatūroje, tačiau praktiniai sprendimai dėl tinklų modernizavimo reikalauja papildomų ištyrimų. Socialinio priimtimumo ir aplinkosaugos aspektai labiausiai nagrinėjami vietiniuose tyrimuose, tokiuose kaip bendruomenių apklausoje ar atvejų analizėse (Morkūnė ir kt., 2020). Lietuvoje šių sričių tyrimų dar trūksta, ypač kalbant apie jūrinės energetikos poveikį Baltijos jūros ekosistemoms ir visuomenės požiūrį į didelio masto projektus.

Lietuvoje vėjo energetikos sektorius pasižymi spartėjančia plėtra, tačiau susiduria su savitais struktūriniais ir reguliaciniais barjerais. Viena didžiausių problemų – perdavimo tinklų infrastruktūros ribotumas, kuris sunkina naujų vėjo elektrinių integraciją į nacionalinę elektros sistemą. Pasak Jankevičienės & Kanapicko (2023), šalies elektros tinklai nėra pakankamai pritaikyti didelio masto jūrinių projektų įgyvendinimui, o jų modernizavimas reikalauja reikšmingų investicijų. Šis aspektas ypač svarbus Baltijos jūros vėjo energetikos plėtroje. Kita reikšminga kliūtis – reguliacinės procedūros, nes leidimų išdavimo ir derinimo procesai Lietuvoje yra ilgi ir biurokratiškai sudėtingi. Pasak Morkūnės ir kt. (2020), šie procesai neretai stabdo projektų įgyvendinimą, ypač kai būtina derinti interesus tarp skirtingų institucijų, žemės savininkų ir aplinkosaugos tarnybų. Socialiniu aspektu, Lietuvos gyventojų požiūris į vėjo energetiką išlieka skirtingas. Dalis visuomenės palaiko šią energetikos rūšį dėl jos ekologinės ir ekonominės naudos, tačiau kiti gyventojai priešinasi projektams, vykdomiems arti gyvenviečių ar saugomų teritorijų. Tai rodo būtinybę stiprinti visuomenės įtraukimą į sprendimų priėmimo procesus ir didinti informacijos sklaidą apie ilgalaikę vėjo energetikos naudą. Ekonominiu požiūriu, nors sausumos vėjo energetikos projektai tampa vis labiau konkurencingi, investicijų pritraukimas išlieka sudėtingas. Jūrinių elektrinių projektams vis dar būtina valstybės parama, nes jų statybos kaštai išlieka aukšti, o atsipirkimo laikotarpis yra ilgesnis nei sausumos jėgainių. Nepaisant to, šalies potencialas šioje srityje vertinamas kaip vienas didžiausių Baltijos regione (Jankevičienė & Kanapickas, 2023).

Apibendrinant, galima teigti, kad vėjo energetika yra viena pagrindinių žaliųjų technologijų, turinti lemiamą reikšmę pereinant prie tvarios ir klimato kaitai atsparios ekonomikos. Nors ši sritis Europos mastu vystosi itin sparčiai, Lietuvoje jos plėtra vis dar susiduria su struktūriniais ir sisteminiais barjerais. Nepaisant technologinės pažangos, politinės paramos ir augančio visuomenės susidomėjimo, sektoriaus augimo tempai išlieka nepakankami, kad šalis galėtų visiškai išnaudoti savo gamtinį potencialą ir pasiekti nacionalinius energetikos tikslus. Pagrindinės kliūtys, tokios kaip reguliaciniai apribojimai, infrastruktūros trūkumai, investicijų pritraukimo sunkumai ir visuomenės požiūrio skirtumai, lemia, kad vėjo energetikos projektų įgyvendinimas vyksta lėčiau nei planuota. Šie veiksniai ne tik mažina sektoriaus konkurencingumą, bet ir sunkina Lietuvos įsipareigojimų įgyvendinimą Europos Sąjungos klimato ir energetikos politikos srityje. Todėl būtina išsamiai analizuoti išorės aplinkos veiksnius, darančius įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai Lietuvoje. Toks tyrimas leidžia ne tik identifikuoti pagrindines kliūtis ir įvertinti jų poveikį sektoriaus vystymuisi, bet ir pateikti moksliniais duomenimis pagrįstas rekomendacijas, prisidedančias prie efektyvesnio energetikos politikos formavimo, tvaresnio investicinio klimato kūrimo ir šalies energetinės nepriklausomybės stiprinimo.

2. Išorės aplinkos įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai teoriniai aspektai

Vėjo energetikos sektoriaus plėtra priklauso nuo technologinių sprendimų ar ekonominių rodiklių, tačiau ir nuo įvairių išorės aplinkos veiksnių, kurie lemia šio sektoriaus galimybes, tempą ir konkurencingumą. Tad siekiant suprasti vėjo energetikos sektoriaus plėtos procesus, reikia plačiau analizuoti politinius sprendimus, teisinį reguliavimą, ekonomines sąlygas, visuomenės požiūrį, technologinę pažangą ir aplinkosaugos aspektus (Twidell, 2021).

Atsinaujinančios energetikos sektorius glaudžiai susijęs su išorės aplinka, nes jo plėtra priklauso nuo politinių prioritetų, investicijų galimybių, technologijų raidos ir visuomenės palaikymo (Virah-Sawmy & Stuermerberg, 2025). Dėl šios priežasties energetikos transformaciją galima vertinti sistemiškai, pasitelkiant visapusiškus analizės modelius, leidžiančius įvertinti tiek skatinamuosius, tiek ribojančius išorės veiksnius. Vienas dažniausiai taikomų metodų yra PESTEL analizė, padedanti struktūrizuoti įvertinti politinius, ekonominius, socialinius, technologinius, aplinkosauginius ir teisinius aspektus, darančius įtaką sektoriaus raidai (Wheelen ir kt., 2018). Šis modelis plačiai naudojamas strateginiame planavime, nes suteikia galimybę identifikuoti išorės aplinkos keliamas grėsmes ir galimybes tiek nacionaliniu, tiek regioniniu mastu. Taip pat vėjo energetikos plėtra neatsiejama nuo įvairių suinteresuotų šalių tarpusavio sąveikos, tokių kaip valstybės institucijų, energetikos įmonių, investuotojų ir vietos bendruomenių. Virah'as-Sawmy'is & Stuermerberg'as (2025) teigia, kad sėkmingas šio sektoriaus vystymasis įmanomas tik esant politiniam koordinavimui, ekonominiam stabilumui ir technologinei pažangai. Tokia visapusė sąveika padeda ne tik spartinti perėjimą prie tvarios energetikos, bet ir užtikrinti ilgalaikį energetinį saugumą ir ekonominį atsparumą. Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus analizė yra reikšminga tiek energetikos politikos, tiek nacionalinės ekonomikos požiūriu. Pagal Lietuvos Respublikos energetinės nepriklausomybės strategiją, šalies tikslas – iki 2030 metų reikšmingai išplėsti vėjo jėgainių galią, taip mažinant priklausomybę nuo iškastinio kuro importo (Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2024). Tokia kryptis ne tik stiprina šalies energetinę nepriklausomybę, bet ir prisideda prie darbo vietų kūrimo ir žaliųjų investicijų pritraukimo (Zupok ir kt., 2025).

Taip pat vėjo energetikos sektorius yra neatsiejama energetinės transformacijos dalis, o jo raida tiesiogiai priklauso nuo išorės aplinkos veiksnių visumos (Zupok ir kt., 2025). Šių veiksnių analizė padeda geriau suprasti vėjo energetikos plėtos potencialą, identifikuoti pagrindines kliūtis ir numatyti politikos priemones, reikalingas sektoriaus konkurencingumui didinti. Todėl šiame skyriuje siekiama parodyti, kaip išorės aplinkos analizės metodai leidžia įvertinti vėjo energetikos galimybes ir iššūkius, ir paaiškinti, kodėl šis sektorius yra strategiškai svarbus tiek šalies ekonomikai, tiek ilgalaikiams tvarumo tikslams.

2.1. Išorės aplinkos samprata ir jos įtaka verslo plėtrai

Verslo sektoriaus plėtra glaudžiai priklauso nuo makroaplinkos sąlygų, kurios lemia ne tik įmonių veiklos ribas, bet ir jų konkurencingumą bei gebėjimą prisitaikyti prie kintančios ekonominės aplinkos. Wheelen'as ir kt. (2018) pabrėžia, kad išorės aplinka yra vienas svarbiausių veiksnių, susijusių su organizacijos strateginiais sprendimais ir ilgalaikė sėkmė, nes ji nustato ribas, kuriose veikia verslas ir tam tikros pramonės šakos. Makroaplinką sudaro tarpusavyje susiję politiniai, ekonominiai, socialiniai, technologiniai, aplinkosauginiai ir teisiniai veiksniai, kurie kartu formuoja nuolat kintančią sistemą. Todėl, kaip teigia Whittington'as ir kt. (2020), šių veiksnių poveikis turi būti vertinamas kompleksiškai, nes jų tarpusavio sąveika formuoja verslo aplinkos stabilumą,

galimybes bei rizikas. Įmonės ar sektoriai gali reaguoti į išorės aplinkos pokyčius ir prie jų prisitaikyti, tačiau jie negali jų tiesiogiai kontroliuoti. Dėl to makroaplinkos analizė tampa neatsiejama tiek strateginio planavimo, tiek ekonominės politikos formavimo dalimi. Ji leidžia nustatyti pagrindines plėtros kryptis, įvertinti potencialias grėsmes ir laiku reaguoti į globalius ir regioninius pokyčius (Whittington ir kt., 2020). Werdhana (2024) pabrėžia, kad išorės aplinkos analizė yra būtina ne tik verslo sprendimų priėmimui, bet ir nacionalinės ekonomikos tvarumo užtikrinimui. Energetikos sektoriaus atveju ši analizė tampa ypač svarbi, nes šis sektorius yra itin jautrus išorės aplinkos veiksniams, nuo politinių sprendimų ir technologinės pažangos iki klimato kaitos ir socialinių lūkesčių (Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025).

2.1.1. Išorės aplinkos samprata

Išorės aplinkos samprata yra vienas svarbiausių strateginio valdymo ir verslo plėtros analizės elementas. Ji apibrėžia sąlygas, kuriomis organizacijos veikia, priima sprendimus ir prisitaiko prie aplinkos pokyčių. Anot Werdhana'o (2024), išorės aplinka atspindi išorės veiksnių visumą, darančią tiek tiesioginę, tiek netiesioginę įtaką organizacijos veiklai, strategijai ir konkurencingumui. Šie veiksniai yra dinamiški, tarpusavyje susiję ir dažnai sunkiai prognozuojami, todėl jų nuolatinė analizė tampa būtina siekiant išlaikyti ilgalaikį verslo stabilumą ir augimą (Janković ir kt., 2016). Mokslinėje literatūroje pateikiama įvairių išorės aplinkos interpretacijų. Pasak Wheelen'o ir kt. (2018), išorės aplinka skirstoma į dvi pagrindines kategorijas – makroaplinką ir mikroaplinką, kurios kartu lemia įmonės veiklos ribas ir galimybes. Tuo tarpu Porter'is (1996) savo konkurencinių jėgų modelyje pabrėžia, kad makroaplinkos elementai formuoja konkurencinę struktūrą ir sektoriaus pelningumo potencialui. Grant'as (2024) pabrėžia, kad išorės aplinkos analizė leidžia identifikuoti tiek rizikas, tiek plėtros galimybes, todėl ji yra esminis strateginio planavimo įrankis, leidžiantis verslui prisitaikyti prie kintančių sąlygų. Pasak Janković'iaus ir kt. (2016), išorės aplinka apima ekonominius, socialinius, politinius, teisnius, aplinkosauginius ir technologinius veiksnus, kurių organizacija negali tiesiogiai kontroliuoti, tačiau jie lemia jos veiklos efektyvumą. Dėl šios priežasties verslo subjektai turi ne tik stebėti aplinkos pokyčius, bet ir lanksčiai prie jų prisitaikyti. Išorės aplinka tradiciškai skirstoma į mikroaplinką ir makroaplinką (Whittington ir kt., 2020). Mikroaplinką sudaro tiesioginiai organizacijos veiklos dalyviai (vartotojai, tiekėjai, konkurentai, partneriai ir reguliavimo institucijos), tiesiogiai veikiantys įmonės rezultatus. Taip pat Makroaplinka apima platesnius politinius, ekonominius, socialinius, technologinius, teisinius ir aplinkosauginius veiksnus, darančius netiesioginę, tačiau ilgalaikę įtaką visam sektoriui (Werdhana, 2024).

Šie veiksniai lemia verslo aplinkos stabilumą, augimo potencialą ir inovacijų plėtrą (žr. 5 pav.). Beveik kiekviena pramonės šaka susiduria su reikšmingais pokyčiais šiose srityse, todėl nuosekli makroaplinkos analizė suteikia organizacijoms strateginę kryptį ir padeda prisitaikyti prie ilgalaikių rinkos tendencijų.

Išorės aplinka



5 pav. Organizacijos išorės aplinkos struktūra (sudaryta autorės, remiantis Janković ir kt., 2016; Werdhana, 2024; Wheelen ir kt., 2018; Whittington ir kt., 2020)

Kadangi įmonės negali kontroliuoti išorės veiksnių, dėl to jų gebėjimas prisitaikyti tampa vienu svarbiausių konkurencinio pranašumo šaltinių (Whittington ir kt., 2020). Prisitaikymo lygis gali lemti ne tik verslo sėkmę, bet ir išlikimą rinkoje. Taip pat ekonominiai svyravimai, teisinės aplinkos ar technologijų pažangos pokyčiai gali sukurti naujų galimybių, tačiau kartu didina riziką, dėl to strateginis reagavimas į išorės aplinkos pokyčius yra būtinas ilgalaikiai plėtrai užtikrinti. Šiuolaikinėje ekonomikoje išorės aplinkos poveikis ypač reikšmingas strateginiuose sektoriuose (energetikos, transporto ar informacinių technologijų). Pavyzdžiui, energetikos sektoriuje politiniai sprendimai, technologinės inovacijos, aplinkosauginiai reikalavimai ir visuomenės nuostatos turi tiesioginį poveikį sektoriaus konkurencingumui bei investiciniams sprendimams (Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025). Todėl išorės aplinkos analizė tampa vienu iš pagrindinių instrumentų, padedančių įmonėms identifikuoti pokyčius, įvertinti jų įtaką bei formuoti tvarią, ilgalaikę verslo plėtros strategiją.

Išorės aplinka yra sudėtinga, daugiasluoksnė sistema, reikšminga visoms verslo veiklos sritims. Jos analizė leidžia prognozuoti pokyčius, įvertinti rizikas ir priimti pagrįstus strateginius sprendimus, kurie užtikrina tvarų organizacijų vystymąsi konkurencinėje aplinkoje (Wheelen ir kt., 2018).

2.1.2. Makroaplinkos veiksniai ir jų poveikis organizacijos plėtrai

Makroaplinka apibrėžiama kaip išorės organizacijos aplinkos dalis, apimanti platesnių, netiesioginių veiksnių visumą, susijusią su verslo organizacijų veikla, strateginiais sprendimais bei konkurenciniu pranašumu. Ši aplinka apima politinius, ekonominius, socialinius, technologinius, teisinius ir

aplinkosauginius veiksmus, kurie kartu formuoja ilgalaikės plėtros kryptis ir verslo sąlygas (Whittington ir kt., 2020). Šių veiksmų poveikis lemia, kokiomis kryptimis verslo organizacijos turėtų prisitaikyti prie išorės pokyčių, siekdamos užtikrinti stabilų augimą bei tvarų veiklos modelį. Pasak Wheelen'o ir kt. (2018), makroaplinkos analizė leidžia nustatyti, kurie išorės procesai turi didžiausią reikšmę sektoriaus konkurencingumui, taip pat įvertinti, kurie iš jų gali tapti galimybėmis, o kurie – grėsmėmis. Kadangi įmonės neturi tiesioginės įtakos makroaplinkos pokyčiams, gebėjimas juos stebėti, analizuoti ir laiku prisitaikyti tampa vienu svarbiausių valdymo elementų.

Verslo plėtros teorijoje išskiriami keli pagrindiniai makroaplinkos komponentai, kurių poveikis gali būti tiek teigiamas, tiek ir ribojantis.

- Politiniai ir teisiniai veiksniai sudaro valstybės politinius sprendimus, teisės aktus, mokesčių bei subsidijų politiką, taip pat ir strateginius nacionalinius prioritetus, darančius tiesioginę įtaką investicijoms ir tam tikroms verslo kryptims (Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025). Šie veiksniai yra ypač reikšmingi atsinaujinančios energetikos sektoriuje, kuriame reguliacinė aplinka dažnai nulemia investuotojų pasitikėjimą bei technologinių inovacijų tempą. Zupok'o ir kt. (2025) nuomone, nuosekli ir prognozuojama reguliavimo politika yra būtina sąlyga ilgalaikiai energetikos sektoriaus plėtrai pasiekti, kadangi leidžia investuotojams veikti nustatytomis aiškiomis taisyklėmis ir taip mažina rizikos veiksmus. Priešingai, labai dažni politiniai pokyčiai ar teisinis neapibrėžtumas mažina investicijų patrauklumą ir pritraukimą bei stabdo inovacijų diegimą.
- Ekonominiai veiksniai apima bendrą pasaulio ir šalies ekonominę situaciją, įskaitant infliaciją, nedarbo lygį, vartotojų pajamas, palūkanų normas ir kapitalo prieinamumą (Ozorhon ir kt., 2018). Šie rodikliai turi tiesioginę įtaką įmonių pelningumui, kapitalui ir vartojimo mastui. Anot Iorember'o ir kt. (2025), palūkanų normų neapibrėžtumas ir ekonominio sudėtingumo augimas mažina investicijas į atsinaujinančios energetikos sektorių, nes padidėja kapitalo rizika ir finansavimo sąnaudos. Taip pat šie autoriai nurodo, kad visa tai gali sukelti iššūkių ir rizikų, trukdančių investuoti į atsinaujinančią energetiką. Investicijos į atsinaujinančią energiją didina ilgalaikį makroekonominį stabilumą, mažindamos priklausomybę nuo iškastinio kuro ir skatindamos energetinį saugumą (Zehri & Mohammed, 2025). Šie rezultatai rodo, kad makroekonominės politikos stabilumas yra vienas iš pagrindinių veiksmų, lemiančių energetikos sektoriaus investicinius sprendimus.
- Socialiniai veiksniai parodo demografinius pokyčius, visuomenės požiūrį į tvarumą bei vartotojų elgsenos pokyčius. Visuomenėje labai daug dėmesio skiriama aplinkosaugai, energijos vartojimo efektyvumui bei atsakingam vartojimui. Virah'as-Sawmy'is & Sturmberg'as (2025) pabrėžia, kad socialiniai veiksniai, įskaitant vietos bendruomenių požiūrį ir socialinę atsakomybę, yra vieni iš lemiančių atsinaujinančios energetikos projektų sėkmę, kadangi būtent visuomenės parama ir lemia investuotojų sprendimus bei projektų įgyvendinimo tempą.
- Technologinė pažanga yra vienas iš pagrindinių konkurencinio pranašumo veiksmų šiuolaikinėje ekonomikoje. Pavyzdžiui, naujos technologijos leidžia mažinti gamybos sąnaudas, didinti energijos vartojimo efektyvumą ir mažinti poveikį aplinkai. Pasak Zupok'o ir kt. (2025), technologinės inovacijos energetikos sektoriuje kuria naujus verslo modelius, paremtus skaitmenizavimu, automatizacija bei duomenų analize. Manoma, kad technologiniai pokyčiai reikalauja nuolatinių investicijų į mokslinius tyrimus, infrastruktūrą ir žmogiškųjų išteklių tobulinimą. Werdhana (2024) teigia, kad skaitmeninė transformacija, dirbtinio

intelekto sprendimai bei pažangūs duomenų valdymo įrankiai tampa svarbiais makroaplinkos procesais, kurie didina organizacijų atsparumą globalioms krizėms bei rinkos nepastovumui.

- Aplinkosauginiai veiksniai, susiję su klimato kaitos iššūkiais, gamtos išteklių valdymu bei aplinkosaugos politika. Pavyzdžiui, didėjantis visuomenės, tarptautinių institucijų ir investuotojų dėmesys tvarumui verčia organizacijas integruoti aplinkosauginius principus į savo verslo strategijas. Virah'as-Sawmy'is & Sturmberg'as (2025) pabrėžia, kad aplinkosauginė atsakomybė tampa ne tik etiniu, bet ir ekonominiu įsipareigojimu, nes įmonės, nesilaikančios tvarumo standartų, praranda rinkos dalį ir investuotojų pasitikėjimą. Kaip nurodo Wheelen'as ir kt. (2018), aplinkosaugos analizė padeda organizacijoms iš anksto įvertinti klimato politikos pokyčius, įtraukti rizikos valdymo priemonės bei kurti ilgalaikes tvarumo strategijas. Anot Zupok'o ir kt. (2025), atsinaujinančios energijos naudojimo padidėjimas gerokai palengvina perėjimą prie tvarios energijos.

Galima teigti, kad kiekvienas iš šių makroaplinkos elementų gali tapti tiek galimybe, tiek ir grėsme verslo plėtrai. Pavyzdžiui, technologinė pažanga sudaro prielaidas efektyvesnei gamybai bei inovacijoms, tačiau kartu kelia ir iššūkių dėl didėjančios konkurencijos ar kvalifikacijos trūkumo. Anot Whittington'o ir kt. (2020), analizuojant makroaplinką būtina įvertinti ne tik esamą situaciją, bet ir ilgalaikes tendencijas, nes jos lemia sektoriaus tvarumą, inovacijų potencialą bei gebėjimą prisitaikyti prie kintančių ekonominių ir socialinių sąlygų.

2.1.3. Makroaplinkos veiksnių svarba energetikos sektoriui

Energetikos sektorius yra vienas iš labiausiai išorės aplinkos veiksniams jautrių ekonomikos sričių. Ir šio sektoriaus raida glaudžiai priklauso nuo politinių sprendimų, ekonominių sąlygų, technologinių inovacijų, socialinių nuostatų ir aplinkosaugos politikos. Dėl savo strateginės reikšmės nacionaliniam saugumui ir ekonominiam stabilumui, energetikos sektorius tiesiogiai veikiamas tiek globalių, tiek ir regioninių makroaplinkos procesų (Whittington ir kt., 2020). Todėl išorės aplinkos analizė šioje srityje yra ne tik teorinis vertinimo įrankis, tačiau ir praktinis sprendimų priėmimo pagrindas.

- Politiniai ir teisiniai veiksniai energetikos sektoriuje turi esminę reikšmę, nes, pavyzdžiui, politinės kryptys ir reguliacinė sistema nustato sektoriaus plėtos prioritetus, investicijų kryptis ir technologinių inovacijų tempą. Investicijoms tiek į bendrą energetikos strategiją, tiek į atsinaujinančią energiją didelę reikšmę turi vyriausybės politika bei reglamentai (Iurchenko ir kt., 2024; Ozorhon ir kt., 2018). Pavyzdžiui, politinis neapibrėžtumas, dažni teisinių reikalavimų pokyčiai ir nestabili klimato politika gali stabdyti atsinaujinančios energetikos plėtrą, mažindami investuotojų pasitikėjimą bei ilgalaikių projektų patrauklumą (Ozorhon ir kt., 2018). Tuo tarpu Zupok'as ir kt. (2025) pažymi, kad nuosekli, aiški ir ilgalaikė reguliacinė politika yra pagrindinė sąlyga, užtikrinanti vėjo energetikos rinkos stabilumą bei konkurencingumą. Visa tai rodo, kad energetikos plėtra reikalauja politinės valios, teisinio stabilumo bei tvaraus planavimo.
- Ekonominiai veiksniai yra tiesiogiai susiję su energetikos sektoriaus augimo galimybėmis, kadangi jie lemia kapitalo prieinamumą, energijos kainodarą ir vartojimo tendencijas. Iorember'as ir kt. (2025) savo tyrime nustatė, kad makroekonominis neapibrėžtumas ir palūkanų normų svyravimai silpnina investicijų srautus į atsinaujinančios energijos projektus, ypač tuose regionuose, kur finansų rinkos nėra pakankamai diversifikuotos. Todėl ekonominis stabilumas, finansavimo prieinamumas ir energetikos kainų prognozavimas tampa būtinos

sąlygos sėkmingai sektoriaus plėtrai. Tuo tarpu Iurchenko's ir kt. (2024) nuomone, perėjimą prie tvarios energijos sunkina didėjantis ekonominis spaudimas ir regioniniai skirtumai.

- Socialiniai veiksniai energetikos sektoriuje pasirodo per visuomenės požiūrį į tvarumą, energijos vartojimo kultūrą ir paramą atsinaujinančiai energijai. Virah'as-Sawmy's & Sturmberg'as, (2025) pabrėžia, kad vietos bendruomenių įsitraukimas ir socialinė atsakomybė tampa vienu svarbiausių atsinaujinančios energetikos plėtros veiksnių, nes be visuomenės palaikymo energijos projektai dažnai susiduria su pasipriešinimu ar vėlavimais. Tokiu būdu socialinė aplinka ne tik lemia sektoriaus įvaizdį, bet ir yra tiesiogiai susijusi su jo veiklos efektyvumu. Taip pat Iurchenko ir kt. (2024) pabrėžia, kad netinkamas socialinių aspektų valdymas gali neigiamai paveikti šio sektoriaus plėtrą.
- Technologiniai veiksniai yra ypač reikšmingi energetikos sektoriuje, nes technologinė pažanga lemia gamybos efektyvumą, energijos vartojimo efektyvumo didinimą bei perėjimo prie atsinaujinančios energijos procesus. Zupok'as ir kt. (2025) akcentuoja, kad vėjo energetikos pažanga ir skaitmeninių technologijų integracija leidžia mažinti energijos gamybos sąnaudas ir didinti sistemos patikimumą. Werdhana (2024) pabrėžia, kad skaitmeninė transformacija energetikos sektoriuje tampa vienu pagrindinių makroekonominio atsparumo veiksnių, padedančių įmonėms greičiau prisitaikyti prie globalių sukrėtimų.
- Aplinkosauginiai veiksniai tampa vis svarbesni energetikos sektoriuje dėl klimato kaitos iššūkių, tarptautinių įsipareigojimų mažinti ŠESD emisijas ir tvaraus vystymosi tikslų. Kaip Ozorhon ir kt. (2018) teigia, kad labai svarbūs kriterijai yra išmetamųjų teršalų kiekis, žemės naudojimas, triukšmas ir poveikis gamtinei aplinkai. Pasak Zupok'o ir kt. (2025), aplinkosaugos politika ilgainiui tampa ne tik moraliniu, tačiau ir ekonominiu verslo išlikimo kriterijumi. Atsižvelgiant į tai, įmonės vis dažniau diegia žaliąsias technologijas, siekia energijos neutralumo ir kuria naujus verslo modelius, paremtus tvarumo principais.

Mokslinėje literatūroje aprašoma daug veiksnių lemiančių šį sektorių, tačiau Iurchenko ir kt. (2024), išskyrė reikšmingiausią poveikį turinčius veiksniai (žr. 5 lentelę).

5 lentelė. Veiksniai, darantys įtaką atsinaujinančių energijos šaltinių diegimui užtikrinant tvarų ekonomikos vystymąsi (Iurchenko ir kt., 2024)

Veiksnių grupė	Reikšmingiausią poveikį turintys veiksniai	Požymiai ir jų pasireiškimas
Politiniai	Politinis nestabilumas	Nesuderinti politiniai sprendimai dėl atsinaujinančios energijos sektoriaus plėtros
	Energetikos infrastruktūros sunaikinimas arba nepriežiūra	Energetikos įrenginių, įskaitant elektrines, pastotes ir tinklus, naikinimas, trukdantis tiekti energiją ir integruoti atsinaujinančius energijos šaltinius
	Valstybės atsinaujinančių energijos šaltinių plėtros strategijos prieinamumas	Atsinaujinančios energijos politikos aiškumas ir veiksmingumas arba nuoseklumas
	Valstybės parama atsinaujinančių energijos šaltinių plėtrai	Tiekimo tarifų, dotacijų programų ir subsidijų atsinaujinančios energijos projektams įgyvendinimas
Ekonominiai	Poveikis tvariam šalies ekonomikos vystymuisi	Energetikos sektoriaus priklausomybės nuo iškastinio kuro importo lygis
	Investicijų į atsinaujinančius energijos šaltinius pritraukimo apimtis ir bendras prieinamumas	Aiškios taisyklės ir atsinaujinančios energijos projektų finansavimo palengvinimas viešiesiems ir privatiems investuotojams
	Alternatyvios energijos gamybos kaina	Didelė atsinaujinančios energijos technologijų, jų diegimo ir tinkamos infrastruktūros užtikrinimo kaina
	Naujausių technologijų prieinamumo lygis	Didelė naujų technologijų kaina arba prieigos prie jų trūkumas

5 lentelė (tęsinys). Veiksniai, darantys įtaką atsinaujinančių energijos šaltinių diegimui užtikrinant tvarų ekonomikos vystymąsi (Iurchenko ir kt., 2024)

Socialiniai	Gyventojų aplinkosauginis sąmoningumas	Žemas susidomėjimo ir informuotumo apie atsinaujinančių energijos šaltinių diegimo naudą lygis
	Naujos darbo vietos atsinaujinančios energijos sektoriuje	Nepakankamas pramonės vystymasis, kuris gali riboti darbo vietų kūrimą, švietimo programų prieinamumą ir kokybę
	Alternatyvios energijos prieinamumas kaimo ir atokiose vietovėse	Elektros energijos trūkumas atokiuose regionuose arba didelės išlaidos kaimo vietovių gyventojams
	Atsinaujinančių energijos šaltinių poveikis gyventojų gyvenimo kokybei ir sveikatai	Lėtinių ligų plitimas tarp gyventojų dėl oro, vandens ir dirvožemio taršos iš tradicinių energijos šaltinių
Technologiniai	Technologinės infrastruktūros lygis	Tinklo sistemų, skirtų atsinaujinančios energijos šaltiniams integruoti, trūkumas arba jos pasenusios
	Energetikos sistemų priežiūros ir valdymo lygis	Mažas naujų energijos sistemų valdymo ir kontrolės efektyvumas
	Decentralizuotų sistemų integravimas į nacionalinį energijos tinklą	Decentralizuotų energijos sprendimų integravimo sunkumai dėl tinkamos infrastruktūros trūkumo
Aplinkosauginiai	Poveikis ŠESD išmetimui	CO ₂ ir kitų ŠESD išmetimo mažinimas
	Poveikis biologinei įvairovei	Natūralios aplinkos nykimas dėl naujų energijos įrenginių statybos
	Poveikis atliekų tvarkymui	Pramoninių atliekų kontrolės lygis
	Poveikis vandens suvartojimui	Hidroelektrinių poveikis vandens ištekliais ir ekosistemoms
	Poveikis žemės naudojimui	Atsinaujinančios energijos infrastruktūros statybos poveikis žemės ūkio paskirties žemei ir natūraliems kraštovaizdžiams
Teisiniai	Atsinaujinančių energijos šaltinių teisinės ir reguliavimo sistemos efektyvumas	Institucijų, įstatymų ir reguliavimo priemonių, remiančių atsinaujinančių energijos šaltinių plėtrą, buvimas arba nebuvimas
	Atsinaujinančių energijos šaltinių valstybinio reguliavimo efektyvumas	Aiškių atsinaujinančios energijos technologijų sertifikavimo, licencijavimo ir atitikties taisyklių ir reikalavimų nustatymas
	Tarptautinių aplinkosaugos susitarimų prieinamumas	Tarptautinio klimato ir aplinkosaugos susitarimų įgyvendinimo greitis ir kokybė

Šioje lentelėje pateikiami pagrindiniai politiniai, ekonominiai, socialiniai, technologiniai, aplinkosauginiai ir teisiniai veiksniai, turintys įtakos atsinaujinančios energijos šaltinių plėtrai ir tvariam ekonomikos vystymuisi. Kiekviena veiksmų grupė parodo svarbiausius poveikio aspektus ir veikimo būdus, kurie gali būti tiek skatinantys, tiek ribojantys. Duomenys rodo, kad atsinaujinančios energetikos sektoriaus sėkminga raida priklauso nuo visų šių veiksmų tarpusavio sąveikos – politinio stabilumo, ekonominio prieinamumo, technologinės pažangos, visuomenės sąmoningumo, aplinkosauginių sprendimų ir teisinio reguliavimo veiksmingumo (Iurchenko ir kt., 2024).

Išorės aplinkos reikšmė energetikos sektoriui yra svarbi dėl šio sektoriaus priklausomybės nuo politinių sprendimų, ekonominių sąlygų, technologinės pažangos ir aplinkosaugos reikalavimų. Pasak Iurchenko's ir kt. (2024), šiuolaikiniai geopolitiniai iššūkiai, didėjantis ekonominis spaudimas ir regioniniai atsinaujinančios energijos plėtros skirtumai dar labiau sunkina pasaulinį perėjimą prie tvarios energijos. Dėl to nuosekli šių veiksmų analizė leidžia identifikuoti galimybes, valdyti rizikas ir formuoti ilgalaikę strategiją, orientuotą į tvarią, inovatyvią ir ekonomiškai efektyvią energetikos plėtrą.

2.2. Išorės aplinkos analizės metodai

Išorės aplinkos analizė yra vienas svarbiausių strateginio valdymo ir ekonominių tyrimų instrumentų, leidžiančių organizacijoms įvertinti jų veiklos aplinką ir numatyti plėtros kryptis (Werdhana, 2024). Energetikos sektoriuje šios analizės reikšmė ypač didelė, nes sektoriaus raida priklauso nuo politinių sprendimų, ekonominių procesų, technologinės pažangos, visuomenės nuostatų ir aplinkosauginių reikalavimų (Whittington ir kt., 2020). Šių veiksnių poveikis paprastai vertinamas taikant kompleksinius analizės metodus, kurie leidžia nustatyti tiek galimybes, tiek rizikas, kylančias dėl išorės aplinkos pokyčių.

Vienas iš plačiausiai taikomų išorės aplinkos analizės metodų yra PESTEL analizė, leidžianti struktūrizuoti įvertinti makroaplinkos komponentus: politinius, ekonominius, socialinius, technologinius, aplinkosauginius ir teisinius veiksniai (žr. 6 pav.) (Wheelen ir kt., 2018; Whittington ir kt., 2020). Šis metodas padeda organizacijoms nustatyti išorės veiksniai, darančius įtaką jų veiklos rezultatams, konkurencingumui, ir laiku reaguoti į pokyčius.



6 pav. PESTEL analizės struktūra (sudaryta autorės, remiantis Werdhana, 2024)

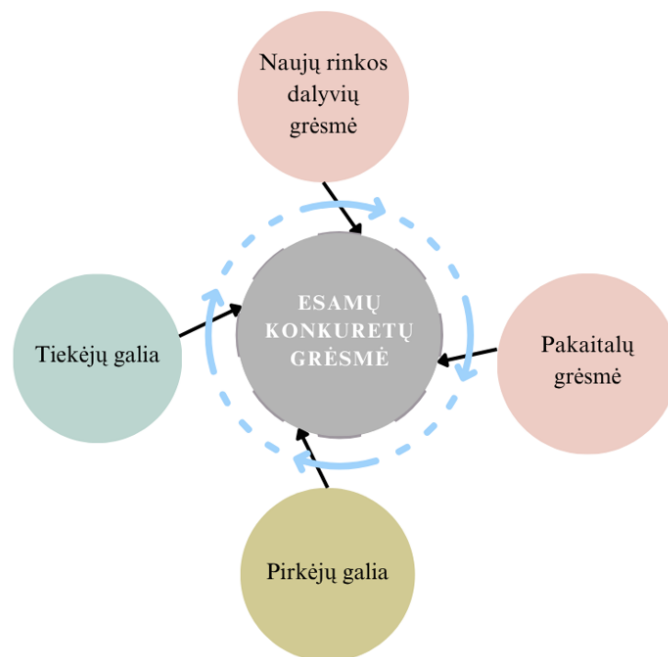
Whittington'as ir kt. (2020) pabrėžia, kad PESTEL analizė leidžia išskirti šešis pagrindinius makroaplinkos elementus, kurie sudaro sisteminę pagrindą išorės aplinkos vertinimui. Taip pat šiuos elementus išskiria ir Werdhana (2024), detaliau apibūdindamas jų turinį ir poveikį verslo aplinkai:

- Politiniai veiksniai apima valstybės politikos ir politinių sąlygų poveikį verslo aplinkai, įskaitant mokesčių politiką, politinį stabilumą, pramonės ir konkurencijos reguliavimą, tarptautinės prekybos politiką, teisinės valstybės principus bei viešosios politikos kryptis (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).

- Ekonominiai veiksniai apima makroekonominės sąlygas, kurios yra susijusios su organizacijų veikla ir strateginiais sprendimais, tokias kaip ekonomikos augimo tempai, infliacija, palūkanų normos, valiutų kursai, nedarbo lygis, vartotojų disponuojamos pajamos, taupymo ir investicijų lygis bei finansų rinkų situacija (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).
- Socialiniai veiksniai apima demografinius pokyčius, visuomenės vertybes, gyvenimo būdo ir vartotojų elgsenos pokyčius, švietimo lygį bei socialines tendencijas, kurios gali turėti įtakos verslui, darbo rinkai ir organizacijų inovatyvumui, efektyvumui bei konkurencingumui (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).
- Technologiniai veiksniai apima technologinių inovacijų plėtrą ir jų poveikį organizacijų veiklai, įskaitant gamybos procesų automatizavimą, skaitmeninių technologijų diegimą, informacinių technologijų saugumą, programinės įrangos evoliuciją, interneto technologijų plėtrą bei atsinaujinančių energijos šaltinių vystymą (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).
- Aplinkos veiksniai apima išorės sąlygas ir reikalavimus, susijusius su gamtine aplinka, tokius kaip klimato kaita, aplinkosaugos reglamentai, taršos mažinimo iniciatyvos, atliekų tvarkymas, išteklių trūkumas, visuomenės ir vartotojų informuotumas bei tvaraus vystymosi ir atsinaujinančios energijos naudojimo skatinimą (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).
- Teisiniai veiksniai apima teisės aktus ir reglamentus, reglamentuojančius darbo santykius, aplinkosaugą, vartotojų apsaugą, konkurenciją, mokesčių sistemą, privatumo ir duomenų apsaugą. Šie veiksniai nustato organizacijų veiklos ribas ir yra tiesiogiai susiję su strateginių sprendimų priėmimu (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).

Atsinaujinančioje energetikoje politikos neapibrėžtumas ir ekonominiai svyravimai tiesiogiai veikia investicijų į atsinaujinančią energiją apimtį, todėl politinės ir ekonominės makroaplinkos dimensijos tampa kertiniais plėtros veiksniais. Tuo tarpu Zupok'as ir kt. (2025) teigia, kad aiški, ilgalaikė reguliacinė politika ir technologinė pažanga yra būtinos sąlygos, leidžiančios išlaikyti konkurencingą vėjo energetikos sektorių. Be politinių ir ekonominių aspektų, reikšmingą vaidmenį taip pat atlieka socialiniai ir aplinkosauginiai veiksniai. Virah'as-Sawmy'is & Sturmberg'as (2025) akcentuoja, kad visuomenės požiūris į tvarumą ir socialinę atsakomybę lemia atsinaujinančios energetikos plėtros tempą ir kryptį. Todėl PESTEL analizė leidžia nustatyti ne tik struktūrinius sektoriaus iššūkius, bet ir įvertinti, kaip plačioji makroaplinka yra susijusi su ilgalaikiu energetikos sektoriaus stabilumu.

Kitas svarbus metodas – Porterio penkių jėgų modelis, leidžiantis įvertinti sektoriaus mikroaplinkos konkurencinę aplinką. Šis modelis analizuoja penkias pagrindines konkurencines jėgas: esamą konkurenciją, naujų konkurentų grėsmę, pakaitalų atsiradimo galimybę, tiekėjų ir vartotojų derybinę galią (Paksoy ir kt., 2023; Isabelle ir kt., 2020; Whittington ir kt., 2020). Šį modelį pirmasis pasiūlė Michael E. Porter 1980 metais, siekdamas parodyti, kad konkurencinę padėtį lemia ne tik tiesioginiai konkurentai, tačiau ir platesnė rinkos struktūra (Porter M. E., 1980). Šio metodo privalumas – galimybė įvertinti rinkos struktūrą ir jos dinamiką, taip pat nustatyti sektoriaus pelningumo potencialą.



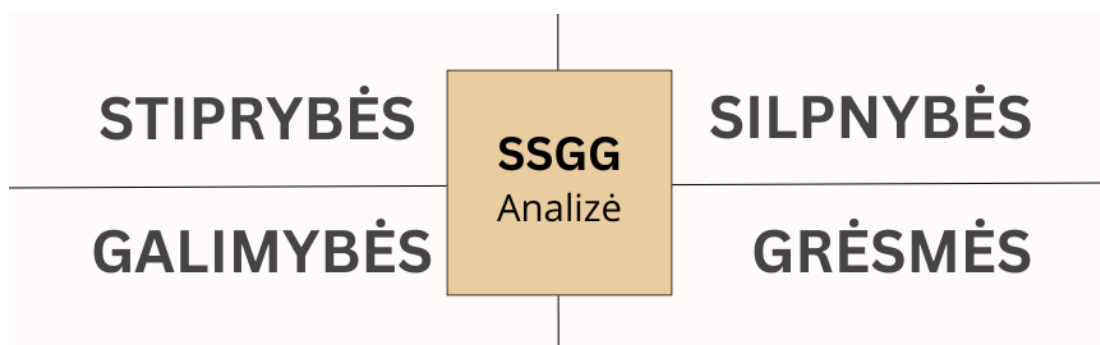
7 pav. Porterio penkių jėgų modelis (sudaryta autorės, remiantis Porter M. E., 1980)

- **Naujų rinkos dalyvių grėsmė.** Nagrinėjama kaip sunku ar lengva naujiems konkurentams patekti į rinką. Pasak Whittington'o ir kt. (2020), kuo didesnė įėjimo į rinką grėsmė, tuo blogiau esamiems pramonės dalyviams. Naujų rinkos dalyvių grėsmę sumažina didelės įėjimo kliūtys, tokios kaip dideli kapitalo reikalavimai (Isabelle ir kt., 2020; Whittington ir kt., 2020).
- **Tiekėjų derybinė galia.** Tiekėjų galia priklauso nuo jų skaičiaus, produktų unikalumo ir galimybių keisti tiekimo šaltinius. Jei tiekėjų yra mažai arba jie siūlo unikalius produktus, tai jų derybinė galia padidėja, o tai gali lemti padidėjusias pramonės šakos sąnaudas (Isabelle ir kt., 2020).
- **Pirkėjų derybinė galia.** Nagrinėjama klientų įtaką pramonei. Jei pirkėjai yra galingi, jie gali reikauti mažų kainų arba brangių produktų ar paslaugų patobulinimo (Isabelle ir kt., 2020; Whittington ir kt., 2020).
- **Pakaitalų grėsmė.** Pakaitalų grėsmė atsiranda tada, kai atsiranda alternatyvūs produktų gamybos būdai ar technologijos, galinčios pakeisti esamas. Whittington'as ir kt. (2020) teigia, kad pakaitalai gali sumažinti tam tikro tipo produkto paklausą, nes klientai pereina prie alternatyvų.
- **Konkurencija tarp esamų konkurentų.** Pirmos keturios jėgos lemia šią penktą jėgą, kuri gali būti minimali arba intensyvi, priklausomai nuo konkurentų skaičiaus ir stiprumo (Isabelle ir kt., 2020). Anot Whittington'o ir kt. (2020), konkurenciniai konkurentai yra organizacijos orientuotos į tas pačias klientų grupes ir siūlančios panašius produktus ir paslaugas.

Energetikos sektoriuje Porterio modelis ypač tinkamas vertinant technologijų tiekėjų, reguliuotojų ir investuotojų tarpusavio sąveiką. Zupok'as ir kt. (2025) pažymi, kad vėjo energetikos rinkoje konkurencijos intensyvumą lemia technologinių inovacijų tempas, kapitalo prieinamumas ir paramos politikos nuoseklumas, todėl modelis padeda išryškinti sektoriaus struktūrinius iššūkius ir konkurencinius pranašumus.

Norint sujungti išorinės ir vidinės aplinkos vertinimus, dažnai taikoma SSGG analizė. Santrumpa SSGG rodo stipriąsias puses, silpnąsias puses, galimybes ir grėsmes (AI-Buraiki & Ai-Ruheili, 2025).

Ši analizė padeda identifikuoti stiprybes ir silpnybes, kartu su išorės aplinkos galimybėmis ir grėsmėmis.



8 pav. SSGG analizės modelis (sudaryta autorės)

AI-Buraiki's & Ai-Ruheili's (2025) SSGG analizės pagrindines kategorijas apibūdina taip:

- Stiprybės – priemonės arba ištekliai, leidžiantys taikyti naujas technologijas siekiant iš anksto nustatytų tikslų;
- Silpnybės – tai apribojimai, trukdantys sėkmingai taikyti technologijas ir vėliau trukdantys siekti užsibrėžtų tikslų;
- Galimybės susijusios išorinėmis savybėmis, kurios gali prisidėti prie augančios technologijų paklausos;
- Grėsmės – tai bet kokios nepalankios atitinkamų technologijų savybės, kurios riboja jų strategiją ir yra kliūtys, apribojimai, dėl to neleidžia pasiekti tikslų.

SSGG analizė yra patogi priemonė vertinimo etape, siekiant susidaryti pradinį vaizdą apie galimas būsimas pasekmes. Taip pat ši analizė yra paprastas analizės metodas, galintis pateikti realistišką verslo stipriųjų ir silpnųjų pusių interpretaciją (Benzaghta ir kt., 2021). Energetikos sektoriaus atveju ši analizė leidžia apjungti įvairių metodų rezultatus – pavyzdžiui, PESTEL analizėje nustatytas makroaplinkos galimybes su sektoriaus vidinėmis stiprybėmis (Benzaghta ir kt., 2021). Werdhana (2024) pažymi, kad skaitmeninė transformacija energetikos sektoriuje tampa viena pagrindinių stiprybių, leidžiančių greitai reaguoti į makroekonominis iššūkius ir efektyviau panaudoti išteklius. Tokiu būdu SSGG analizė suteikia integruotą vaizdą apie sektoriaus potencialą ir rizikas.

Kartu su kokybiniais modeliais, energetikos sektoriaus analizėje taikomi ir kiekybiniai ekonometriniai metodai, leidžiantys nustatyti išorės veiksnių statistinį poveikį sektoriaus rodikliams. Iorember'as ir kt. (2025) pabrėžia, kad ekonominio neapibrėžtumo indeksas ir finansų rinkų svyravimai yra tiesiogiai susiję su atsinaujinančios energetikos investicijų dinamika. Tokie metodai, kaip koreliacinė analizė, regresinė analizė ar Grangerio priežastingumo testai, leidžia ištirti ryšį tarp investicijų į atsinaujinančią energiją, palūkanų normų neapibrėžtumo, ekonominio sudėtingumo, energetinio saugumo rizikos ir finansinės plėtros (Iorember ir kt., 2025). Dažniausiai taikomi metodai gali būti lyginami pagal jų paskirtį, privalumus, trūkumus ir taikomumą energetikos sektoriui.

6 lentelė. Išorės aplinkos veiksnių analizės metodų palyginimas (AI-Buraiki & Ai-Ruheili, 2025; Iorember ir kt., 2025; Porter M. E., 1980; Werdhana, 2024; Wheelen ir kt., 2018; Whittington ir kt., 2020)

Metodas	Vertinimo sritis	Privalumai	Trūkumai	Taikymas energetikos sektoriuje
PESTEL analizė	Makroaplinkos veiksnių įvertinimas	Leidžia sistemingai analizuoti politinius, ekonominius, socialinius, technologinius, aplinkosauginius ir teisinius aspektus	Vertinimas dažnai subjektyvus, priklauso nuo analitiko interpretacijos	Labai tinkama nustatyti išorės veiksnius, susijusius su sektoriaus plėtra
Porterio penkių jėgų modelis	Mikroaplinkos ir konkurencinės struktūros analizė	Padedą identifikuoti konkurencinį spaudimą, tiekėjų ir pirkėjų įtaką, naujų konkurentų grėsmę	Nepakankamai apima makroaplinkos ar politinius aspektus	Naudojamas vertinant konkurencinę padėtį energetikos rinkose
SSGG analizė	Vidinių ir išorinių veiksnių sąveika	Sujungia vidinius pranašumus ir trūkumus su išorinėmis galimybėmis ir grėsmėmis	Nepateikia kiekybinio pagrindo, vertinimas priklauso nuo subjektyvių nuomonių	Tinka strateginiam planavimui ir sektoriaus stiprybių identifikavimui
Ekonometriniai metodai	Kiekybinis išorės veiksnių vertinimas	Leidžia empiriškai patikrinti priežastinius ryšius tarp ekonominių ir energetinių rodiklių	Reikalauja didelių duomenų apimčių ir metodologinės kompetencijos	Naudojami vertinant ekonominių pokyčių įtaką atsinaujinančios energetikos plėtrai

Išorės aplinkos analizės metodai suteikia galimybę išsamiai įvertinti energetikos sektoriaus priklausomybę nuo makroekonominių ir mikroekonominių veiksnių. PESTEL analizė išryškina sisteminius politinius, ekonominius ir technologinius aspektus, Porterio modelis padeda nustatyti sektoriaus konkurencinę struktūrą, o SSGG analizė jungia šiuos duomenis į strateginį vertinimą. Tuo tarpu ekonometriniai metodai suteikia empirinį pagrindą šių veiksnių poveikiui patikrinti. Šių metodų taikymas kartu leidžia formuoti visapusišką požiūrį į išorės aplinką, kuri energetikos sektoriuje yra neatsiejama nuo ilgalaikės plėtros, tvarumo ir inovacijų politikos formavimo (Whittington ir kt., 2020; Wheelen ir kt., 2018).

2.3. Energetikos sektoriaus vaidmuo šiuolaikinėje ekonomikoje

Energetikos sektorius užima išskirtinę vietą šiuolaikinėje ekonomikoje, nes energija yra būtina sąlyga gamybos, paslaugų, transporto ir technologinės plėtros procesams. Ji veikia kaip visos ekonomikos variklis, nuo kurio priklauso pramonės našumas, investicijų apimtis ir technologinė pažanga. Energija yra neatsiejama gamybos procesų dalis ir reikšmingas veiksnys, lemiantis šalies ekonomikos augimą (Dirma ir kt., 2024). Energijos prieinamumas ir tvari gamyba yra esminiai ekonominio augimo ir socialinės gerovės veiksniai, ypač žaliojoje transformacijoje. Energetikos sektorius šiandien įgauna kompleksinį pobūdį – jis jungia ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius procesus. Virah’as-Sawmy’is & Sturmberg’as (2025) pažymi, kad energetikos plėtra tampa ne tik ekonominio augimo, bet ir socialinio teisingumo klausimu, nes perėjimas prie tvarių šaltinių reikalauja naujų įgūdžių, užimtumo formų ir inovacijų. Zupok’as ir kt. (2025) priduria, kad energetikos sektorius yra pagrindinis konkurencingumo veiksnys, nes skatina technologines inovacijas ir gamybos efektyvumo didėjimą visoje ekonominėje sistemoje.

2.3.1. Energetikos sektoriaus indėlis į ekonomikos augimą ir konkurencingumą

Energija yra vienas pagrindinių ekonomikos augimo veiksnių. Be stabilios energijos tiekimo neįmanomas pramonės, transporto, žemės ūkio ar paslaugų sektorių veikimas. Energetikos reikšmė ekonomikai dažnai aiškinama energijos ir BVP ryšio teorija, teigiančia, kad energijos augimas glaudžiai susijęs su ekonominės veiklos plėtra (Zehri & Mohammed, 2025). Tarptautiniai tyrimai rodo, kad energijos prieinamumas, kainų stabilumas ir energijos efektyvumas yra svarbiausi veiksniai, lemiantys šalies konkurencingumą globalioje rinkoje (Dirma ir kt., 2024). Pasak Zehri'o & Mohammed'o (2025), atsinaujinanti energija ir pramonės inovacijos atlieka transformuojantį vaidmenį formuojant pagrindinius ekonominius rodiklius, tokius kaip BVP augimas, užimtumas, prekybos balansas ir tiesioginės užsienio investicijos, nors jų poveikis skiriasi priklausomai nuo konteksto ir laikotarpio.

Naujesni tyrimai patvirtina, kad atsinaujinančios energetikos plėtra turi teigiamą ilgalaikį poveikį ekonomikos augimui (Iorember ir kt., 2025; Dirma ir kt., 2024). Energijos gamyba iš vietinių atsinaujinančių šaltinių mažina importo priklausomybę, didina investicijų apimtį, kuria aukštos kvalifikacijos darbo vietas ir skatina technologinį progresą (Dirma ir kt., 2024). Zupok'as ir kt. (2025) pažymi, kad vėjo energetikos plėtra ne tik padidina elektros gamybos apimtį, bet ir stiprina šalies mokslinių tyrimų ir inovacijų potencialą, nes reikalauja pažangių technologijų, tinklų integracijos ir logistikos sprendimų. Be ekonominio augimo, energetikos sektorius turi reikšmingą įtaką regioninei plėtrai ir užimtumui. Tyrimai rodo, kad investicijos į vėjo ir saulės elektrines skatina vietos ekonomiką, ypač kaimo ir pakrančių regionuose (Zupok ir kt., 2025). Tai ypač svarbu Lietuvoje, kur atsinaujinančios energijos plėtra gali mažinti regioninių skirtumų mastą ir didinti energetinę nepriklausomybę nuo importuojamų išteklių. Be to, energetikos sektorius prisideda prie inovacijų plėtos. Skaitmenizavimas, dirbtinis intelektas, tinklų automatizavimas ir energijos kaupimo sprendimai tampa esminiais ekonominės modernizacijos varikliais (Werdhana, 2024). Tokios technologinės permainos lemia naujų rinkų atsiradimą, pavyzdžiui, elektros balansavimo ir žaliųjų sertifikatų sektoriuose, o tai savo ruožtu stiprina šalies konkurencingumą.

Be ekonominės naudos, energetikos sektorius turi ir socialinį poveikį. Dirma's ir kt. (2024) atkreipia dėmesį, kad atsinaujinančių išteklių plėtra skatina užimtumą regionuose ir mažina socialinius bei teritorinius skirtumus. Tokiu būdu energetika veikia kaip tvaros ekonomikos integruojantis veiksnys.

7 lentelė. Energetikos sektoriaus poveikio ekonomikai teorinės sritys (sudaryta autorės)

Poveikio sritis	Apibūdinimas	Pagrindiniai šaltiniai
Ekonomikos augimas	Energijos vartojimas glaudžiai susijęs su ekonominės veiklos intensyvumu.	Dirma ir kt., (2024)
Konkurencingumas	Energijos tiekimo stabilumas ir technologinės inovacijos lemia šalies konkurencinį pranašumą.	Zupok ir kt. (2025)
Užimtumas	Atsinaujinančios energetikos plėtra kuria naujas darbo vietas ir stiprina regionų ekonomiką.	Virah-Sawmy & Sturmberg (2025)
Inovacijos	Energetikos sektorius skatina technologinę pažangą ir skaitmenizavimą.	Werdhana (2024); Iorember ir kt. (2025)
Tvarumas	Atsinaujinantys šaltiniai mažina priklausomybę nuo iškastinio kuro ir emisijas.	Ozorhon ir kt., (2018)

Kaip matyti iš 7 lentelės, energetikos sektorius veikia įvairiose ekonomikos srityse, apimančiose tiek makroekonominius, tiek socialinius procesus. Energijos vartojimo, inovacijų, užimtumo ir tvarumo sąsajos rodo, kad šis sektorius atlieka ne tik gamybinę, bet ir sisteminę funkciją, formuodamas

ilgalaikės šalies ekonominės plėtros kryptis. Tai patvirtina, kad energetikos sektorius yra vienas iš kertinių tvaros ir konkurencingos ekonomikos elementų.

2.3.2. Energetinio saugumo ir žaliosios transformacijos įtaka energetikos sektoriaus plėtrai

Energetinio saugumo sąvoka yra plačiai nagrinėjama tiek ekonominėje, tiek politinėje literatūroje. Ji apibūdinama kaip gebėjimas užtikrinti patikimą energijos tiekimą, kuris būtų prieinamas ir tvarus. Whittington'as ir kt. (2020) pabrėžia, kad energetinis saugumas apima ne tik išteklių tiekimo patikimumą, bet ir strateginį atsparumą pokyčiams, pavyzdžiui, kainų svyravimams ar technologinėms krizėms.

Wheelen'as ir kt. (2018) išskiria energetinio saugumo komponentus:

- tiekimo stabilumą,
- infrastruktūros patikimumą;
- technologinį lankstumą;
- valdymo efektyvumą.

Šie komponentai sudaro teorinį pagrindą vertinant, kaip valstybės gali mažinti išorės energetikos rizikos veiksnius.



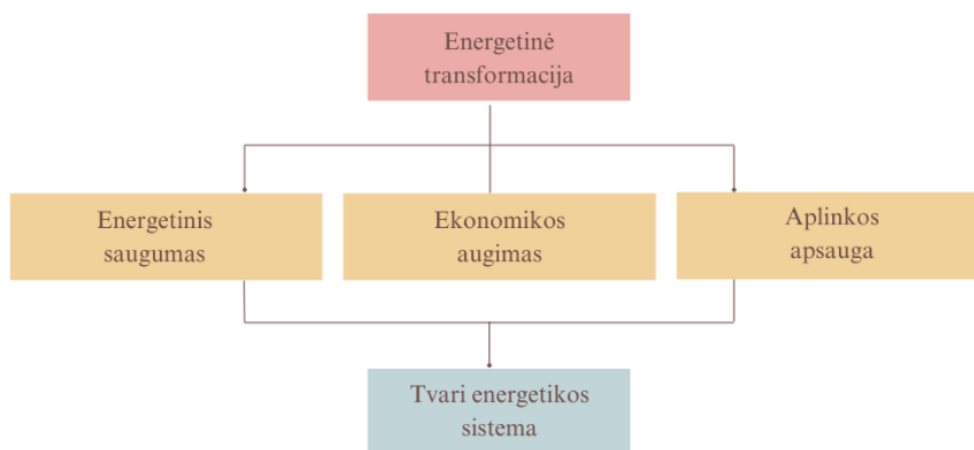
9 pav. Energetinio saugumo dimensijos (sudaryta autorės, remiantis Whittington ir kt., 2020)

Kaip matyti iš 9 paveikslo, energetinio saugumo koncepcija grindžiama keturiomis tarpusavyje susijusiomis dimensijomis – tiekimo patikimumu, ekonominiu prieinamumu, aplinkosauginiu tvarumu ir atsparumu krizėms. Šios dimensijos apibūdina energetinio saugumo sisteminį pobūdį, kai technologiniai, ekonominiai ir politiniai veiksniai formuoja valstybės gebėjimą užtikrinti stabilų energijos tiekimą. Teorinėje literatūroje pabrėžiama, kad energetinis saugumas yra dinamiškas reiškiny, priklausantis nuo globalių energetikos rinkų, inovacijų ir klimato kaitos politikos pokyčių.

Šiuolaikinėje literatūroje energetinis saugumas suvokiamas kaip dinaminis procesas, priklausantis nuo technologinės pažangos, rinkos liberalizacijos ir globalizacijos poveikio. Virah'as-Sawmy'is &

Sturmberg'as (2025) pažymi, kad diversifikuota energetinė sistema yra tvaraus saugumo sąlyga, nes leidžia sujungti ekonominius, ekologinius ir socialinius aspektus į bendrą strateginį modelį.

Energetikos transformacija į tvarią sistemą yra vienas svarbiausių XXI amžiaus ekonomikos iššūkių. Dirma's ir kt. (2024) teigia, kad atsinaujinančios energijos plėtra sukuria ilgalaikę pusiausvyrą tarp ekonominio augimo ir aplinkosaugos tikslų. Tokia transformacija reikalauja technologinių inovacijų, politinio koordinavimo ir finansinių investicijų, kurios užtikrintų perėjimą prie mažai anglies naudojančių technologijų. Werdhana (2024) pažymi, kad energetikos transformacijos sėkmė priklauso nuo skaitmeninių technologijų įsisavinimo – būtent skaitmenizavimas leidžia optimizuoti energijos srautus, mažinti nuostolius ir stiprinti vartotojų dalyvavimą rinkoje. Zupok'as ir kt. (2025) savo tyrimuose pabrėžia, kad atsinaujinančių energijos šaltinių integracija į ekonomiką generuoja inovacijų ciklą – kiekvienas technologinis šuolis sukuria papildomą paklausą naujoms paslaugoms, investicijoms ir žinioms. Virah'as-Sawmy'is & Sturmberg'as (2025) teigia, kad tvari energetikos transformacija taip pat turi socialinį matmenį – ji užtikrina energetinį teisingumą, mažina energetinį skurdą ir įgalina bendruomenes dalyvauti energijos gamybos procese. Taigi, energetikos sektoriaus pertvarka yra ne tik technologinis, bet ir socialinis – ekonominis procesas, keičiantis valstybės plėtros modelį.



10 pav. Energetinės transformacijos teorinis modelis (sudaryta autorės, remiantis Dirma ir kt., 2024; Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025; Werdhana 2024; Zupok ir kt., 2025)

Kaip matyti iš 10 paveikslo, energetikos transformacija grindžiama trimis pagrindiniais elementais – energetiniu saugumu, ekonominiu augimu ir aplinkosauginiu tvarumu. Šie komponentai yra tarpusavyje priklausomi ir sudaro vientisą sistemą, kurioje energetikos plėtra veikia kaip jungiamasis tiltas tarp ekonominės raidos ir aplinkos apsaugos. Tad energetinis saugumas užtikrina tiekimo stabilumą ir atsparumą krizėms, ekonominis augimas sudaro sąlygas investicijoms ir inovacijoms, o aplinkosauginis tvarumas užtikrina ilgalaikį išteklių subalansavimą ir emisijų mažinimą. Šis teorinis modelis parodo, kad sėkminga energetikos transformacija įmanoma tik integruojant technologinius, ekonominius ir aplinkosauginius sprendimus į bendrą strateginę sistemą.

2.4. Atsinaujinančios energetikos samprata ir ypatumai

Atsinaujinanti energetika yra kertinis elementas šiuolaikinės energetikos transformacijos procese, leidžiantis suderinti ekonominio augimo, energetinio saugumo ir klimato kaitos švelninimo tikslus (Dirma ir kt., 2024). Ji grindžiama ištekliais, kurie natūraliai atsikuria per trumpą laiką, todėl jų

naudojimas nesukelia išsekimo rizikos (Twidell, 2021). Ši energetikos kryptis apima energijos gamybą iš saulės, vėjo, vandens, biomasės ir geoterminės šilumos, taip pat naujai įtraukiamus šaltinius, tokius kaip vandenilio energija ir jūrų energija. Atsinaujinančių šaltinių naudojimas padeda ne tik sumažinti ŠESD emisijas, bet ir didina šalių energetinę nepriklausomybę ir inovacijų potencialą (Zehri & Mohammed, 2025).

2.4.1. Atsinaujinančių išteklių apibrėžimas ir klasifikacija

Atsinaujinanti energetika yra viena svarbiausių šiuolaikinės energetikos transformacijos krypčių, siekiant suderinti ekonomikos augimą, energetinį saugumą ir klimato kaitos švelninimo tikslus. Pasak Twidell’io & Weir’o (2015), atsinaujinantys energijos ištekliai – energija, gaunama iš natūraliai pasikartojančių ir nuolatinių energijos srautų, susidarančių vietinėje aplinkoje. Taip pat atsinaujinantys ištekliai vadinami alternatyvia energija, gamtoje esantys energijos ištekliai, kurių atsiradimą ir atsinaujinimą lemia natūralūs procesai (Dirma ir kt., 2024). Tokie kaip vėjas, saulės šviesa, jūros bangos, upių vanduo, potvyniai bei atoslūgiai, biomasės augimas, geoterminė energija ir kiti, nes žemė ir ištekliai yra pagrindiniai atsinaujinančių energijos išteklių pavyzdžiai (Algarni ir kt., 2023; Dirma ir kt., 2024). Skirtingai nei iškastinis kuras, jų ištekliai priklauso ne nuo atsargų kiekio, o nuo gamtinių ciklų, todėl jie laikomi beveik neišsenkančiais.

Atsinaujinančių energijos šaltinių sąvoka mokslo literatūroje interpretuojama įvairiai. Vieni autoriai pabrėžia ekologinį aspektą, kiti – ekonominį ar technologinį, todėl sąvoka laikoma daugialypė. Siekiant atskleisti šių požiūrių įvairovę, 8 lentelėje pateikiami skirtingų autorių siūlomi atsinaujinančios energijos apibrėžimai ir jų interpretacijos.

8 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių apibrėžimų palyginimas (sudaryta autorės)

Apibrėžimas	Šaltinis
Atsinaujinanti energija – tai energija, gaunama iš natūralių šaltinių, kurie nuolat atsinaujina ir kurių naudojimas nepažeidžia gamtinės pusiausvyros.	Twidell (2021)
Energija, gaunama iš šaltinių, kurie natūraliai atkuriami žmogaus gyvenimo trukmės laikotarpiu ir kurių atsargos dėl naudojimo nesumažėja.	IRENA (2025c)
Atsinaujinanti energija – ištekliai esantys gamtoje, kurių atsiradimą bei atsinaujinimą lemia gamtos procesai: saulės šviesa, vėjas, upių tekėjimas, jūrų bangavimas, potvyniai ir atoslūgiai, biomasės augimas, geoterminė energija.	Algrani ir kt., 2023
Atsinaujinanti energija – tai energija, gaunama iš gamtos išteklių.	Osman ir kt., (2023)
Atsinaujinantys ištekliai yra esminis tvarios plėtros veiksnys, mažinantis priklausomybę nuo iškastinio kuro ir prisidedantis prie ekonominio augimo bei emisijų mažinimo.	Dirma ir kt. (2024)
Energijos šaltiniai, kurie ne tik atsikuria, bet ir prisideda prie technologinių inovacijų, žaliosios pramonės plėtros bei socialinės gerovės.	Hassan et al. (2024)

Šioje lentelėje pateikiami skirtingų autorių požiūriai atskleidžiant, kad atsinaujinančios energijos sąvoka nuolat kinta ir iš gamtinės sampratos pereinama prie ekonominės raidos, technologinių inovacijų bei socialinio tvarumo skatinimo. Naujausi tyrimai pabrėžia šių išteklių indėlį į technologijų pažangą ir žaliąją pramonės transformaciją.

Pasak Twidell’io (2021), atsinaujinantys energijos šaltiniai gali būti klasifikuojami pagal energijos kilmę į tris grupes:

- Mechaninius išteklius, kurių energija gaunama iš judėjimo (vėjo, vandens, bangų, potvynių).

- Šiluminius išteklius, kurių energija išgaunama iš šilumos (saulės kolektoriai, biomasė, geoterminiai procesai).
- Mišriuosius šaltinius, kuriuose derinami keli gamtiniai procesai, pavyzdžiui, vandenilio gamyba naudojant elektros energiją iš saulės ar vėjo.

Atsinaujinantys energijos ištekliai pasižymi skirtingu technologiniu išsivystymo lygiu, ekonominiu potencialu ir poveikiu aplinkai. Siekiant juos palyginti sistemingai, 9 lentelėje pateikiami pagrindiniai kiekvieno šaltinio bruožai ir vertinimo kriterijai.

9 lentelė. Atsinaujinančių energijos išteklių pagrindiniai ypatumai (Hassan ir kt., 2024; IRENA, 2023; Twidell, 2021)

Energijos išteklių rūšis	Pagrindinis energijos šaltinis	Technologinis išsivystymas	Ekonominis potencialas	Aplinkosauginis tvarumas
Saulės energija	Saulės spinduliuotė	Aukštas – brandžios ir efektyvesnės technologijos	Didelis – mažėjančios sąnaudos	Aukštas – beveik nulinės emisijos
Vėjo energija	Oro masių judėjimas	Aukštas – ypač jūrinėse zonose	Didelis – konkurencinga rinkose	Aukštas – minimalus poveikis aplinkai
Hidroenergija	Vandens tėkmė	Labai aukštas – stabilus tiekimas	Vidutinis – ribotos naujų vietų galimybės	Vidutinis – poveikis ekosistemoms
Biomasės energija	Organinės medžiagos	Vidutinis – priklauso nuo žaliavos rūšies	Vidutinis – ribotas efektyvumas	Vidutinis – reikia tvaraus valdymo
Geoterminė energija	Žemės šiluma	Vidutinis – geografiškai ribotas	Vidutinis – didelės pradinės investicijos	Aukštas – maža emisijų koncentracija
Vandenilio energija	Elektrolizė iš žalios energijos	Žemas–vidutinis – ankstyva plėtra	Didelis – ilgalaikė perspektyva	Aukštas – nulinės emisijos naudojimo metu

Kaip iš 9 lentelės matoma, kad kiekvienas atsinaujinantis išteklis turi unikalų technologinių, ekonominių privalumų ir ribojimų. Saulės ir vėjo energija šiuo metu pasižymi didžiausiu konkurenciniu potencialu, tuo tarpu hidroenergija ir geoterminė energija užtikrina pastovų tiekimą. Vandenilio energetika išsiskiria ilgalaikiu strateginiu vaidmeniu, ypač energijos kaupimo ir transporto sektoriuose.

Saulės energija yra atsinaujinantis energijos šaltinis, kuris daugiausiai naudojamas elektros energijos gamybai (Fernández-González, 2025). Energija gaunama iš saulės spindulių ir ji panaudojama dviem pagrindiniais būdais: fotovoltiniuose moduluose elektros gamybai ir saulės šiluminėse sistemose vandens šildymui ar pramoniniams procesams (Twidell & Weir, 2015). Tinkamai sukoncentruota saulės energija leidžia pasiekti aukštesnę nei 2000 °C temperatūrą ir ji pasiekama neišskiriant teršalų, tokių kaip anglies dioksidas, azotas, sieros oksidai ar dioksinai, taip prisidedant prie atmosferos užterštumo mažinimo, kuris sukelia klimato kaitą ir sveikatos problemas (Fernández-González, 2025).

Vėjo energija yra gana brandi technologija (Jaber, 2013). Ji gaunama iš oro masių judėjimo ir paverčiama elektra per vėjo turbinas, kuri paverčia vėjo kinetinę energiją į elektros energiją (Twidell & Weir, 2015).

Hidroenergija – seniausias ir stabiliausias atsinaujinantis šaltinis. Taip pat hidroenergiją būtų galima apibūdinti, kaip tvenkinio ar tekančio vandens energija, kuri naudojama elektros energijai gaminti

(Dirma ir kt., 2024; Dirma, 2025). Energija gaunama iš vandens srauto naudojant hidroelektrines (Twidell & Weir, 2015).

Biomasė apima organinių medžiagų – augalinės ar gyvūninės kilmės, iš kurių gaunama energija (Dirma ir kt., 2024; Twidell & Weir, 2015). Ji gali būti naudojama tiesiogiai šildymui arba perdirbama į biokurą (etanolį, biodyzeliną).

Geoterminė energija gaunama iš žemės gelmių šilumos (Dirma ir kt., 2024; Twidell & Weir, 2015). Ji pasižymi dideliu patikimumu, nes šilumos šaltinis yra nuolatinis. Pasak Hassan'o ir kt. (2024), dėl didelių pradinių infrastruktūros sąnaudų ši energija vystoma lėčiau, tačiau turi didelį potencialą šildymo sektoriuje.

Vandenilio energija yra perspektyvi, švari ir tvari alternatyva iškastiniam kurui (Mekonnin ir kt., 2025). Jis laikomas naujos kartos atsinaujinančios energetikos šaltiniu, ypač žaliasis vandenilis, gaminamas elektrolizės būdu naudojant atsinaujinančią elektrą. Jis gali būti naudojamas transportui, pramonei ir energijos kaupimui, taip užtikrinant sistemų lankstumą (Gielen ir kt., 2019; Hassan ir kt., 2024; Mekonnin ir kt., 2025). Pasak Virah'o-Sawmy'io & Sturmberg'o (2025), vandenilis nėra energijos gamybos technologija, o gali atlikti energijos transportavimo ar kaupimo priemonės vaidmenį.

Atsinaujinantys energijos šaltiniai sudaro neatsiejamą energetikos transformacijos dalį. Jie leidžia mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, stiprina energetinį saugumą, skatina inovacijas ir darbo vietų kūrimą. Nors skirtingi ištekliai pasižymi nevienodu technologiniu brandumu ir ekonominiu potencialu, jų bendras vaidmuo yra kurti tvarią, mažai anglies dioksido išskiriančią ekonomiką. Dėl to atsinaujinančių energijos išteklių analizė yra būtina siekiant suprasti energetikos sektoriaus transformacijos kryptis ir poveikį klimato kaitos švelninimui.

2.4.2. Atsinaujinančios energetikos poveikis klimato kaitos švelninimui

Klimato kaitos problema yra vienas svarbiausių XXI amžiaus iššūkių, o energetikos sektorius laikomas didžiausiu ŠESD emisijų šaltiniu pasaulyje (Gielen ir kt., 2019). Didėjantis ŠESD išmetimas dėl iškastinio kuro ir dėl to kylanti klimato kaita tampa vis aktualesne problema žmonijai ir aplinkai visame pasaulyje (Osman ir kt., 2023). Pasak Gielen'o ir kt. (2019), klimato kaita ir vietinė oro tarša yra vieni pagrindinių veiksnių, skatinančių energetikos sektoriaus pertvarką pasauliniu mastu. Osman'as ir kt. (2023) pabrėžia, kad iš iškastinio kuro gaunama energija reikšmingai prisideda prie pasaulinės klimato kaitos – ji sudaro daugiau nei 75 % pasaulinių ŠESD emisijų ir maždaug 90 % visų anglies dioksido emisijų. Dėl šios priežasties perėjimas prie energijos iš atsinaujinančių šaltinių laikomas būtina sąlyga siekiant klimatui neutralios energetikos. Tad atsinaujinantys energijos ištekliai, tokie kaip vėjas, saulė ar hidroenergija, leidžia gaminti elektros energiją praktiškai be tiesioginių ŠESD emisijų, taip labiau prisidedami prie tarptautinių klimato kaitos mažinimo tikslų įgyvendinimo. Twidell'is & Weir'as (2015) teigia, kad tvari energetika sukuria didesnę socialinę stabilumą nei iškastinio kuro sektorius, nes paremta vietiniais ištekliais ir mažesne priklausomybe nuo geopolitinių konfliktų. Gielen'as ir kt. (2019) taip pat pažymi, kad šalys, kurios didina atsinaujinančios energijos dalį, ne tik sumažina emisijas, bet ir pasiekia spartesnę ekonomikos augimą, nes technologinė pažanga sukuria sinergiją tarp klimato politikos ir ekonomikos. Atsinaujinantys energijos šaltiniai, darantys minimalų poveikį aplinkai, yra būtini kiekvienai šaliai, tačiau viso jų potencialo išnaudojimas priklauso nuo tvarių technologijų plėtros ir efektyvaus jų integravimo į energetikos sistemas (Dirma ir kt., 2024; Dirma, 2025).

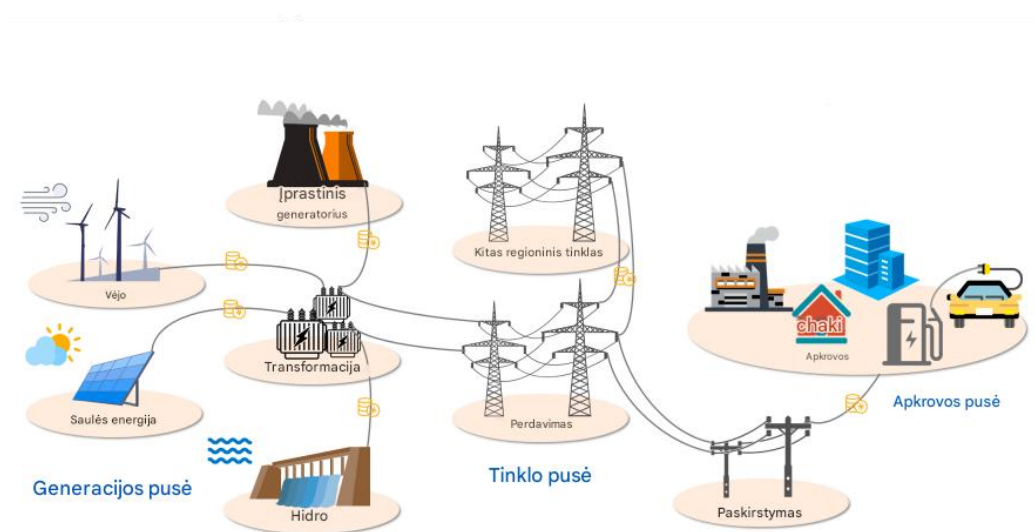
Atsinaujinančios energijos plėtra Europos Sąjungoje rodo, kad investicijos į švarias technologijas ne tik prisideda prie klimato kaitos švelninimo, bet ir tampa svarbiu ekonominės pažangos veiksmu. Kartu su mažėjančiomis technologijų sąnaudomis, inovacijų plėtra leidžia atsinaujinančios energetikos sektoriui tapti vis konkurencingesniam, o tai skatina naujų darbo vietų kūrimą, tvarią energetinę nepriklausomybę ir pramonės pertvarką.

2.4.3. Atsinaujinančių technologijų plėtros ekonominiai ir technologiniai aspektai

Atsinaujinančių energijos technologijų plėtra yra vienas svarbiausių šiuolaikinės energetikos transformacijos veiksnių, leidžiančių užtikrinti tvarų ekonomikos augimą, energetinį saugumą ir klimato kaitos švelninimą (Dirma ir kt., 2024). Technologinė pažanga ne tik didina energijos gamybos efektyvumą, bet ir mažina gamybos sąnaudas, skatindama švarios energijos integraciją į rinką. Kaip teigia Dirma ir kt. (2024), investicijos į atsinaujinančią energetiką turi multiplikacinį poveikį, nes jos kuria aukštos kvalifikacijos darbo vietas, didina regioninį konkurencingumą ir spartina žaliųjų inovacijų diegimą. Pastaraisiais metais spartus vėjo, saulės ir energijos kaupimo technologijų progresas iš esmės keičia energetikos sistemų struktūrą. Li ir kt. (2022) pažymi, kad didėjantis atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas ir apkrovų svyravimai kelia reikšmingų iššūkių šiuolaikinių elektros energijos sistemų planavimui ir valdymui. Scenarijų analizės metodai tampa esminiu įrankiu, leidžiančiu modeliuoti neapibrėžtumo veiksnius, susijusius su energijos gamyba, vartojimu ir technologijų patikimumu. Pasak tų pačių autorių, dauguma neapibrėžtumo kyla būtent dėl atsinaujinančios energijos gamybos nepastovumo ir apkrovų variacijų, todėl tvarus energetikos planavimas reikalauja sisteminio ir technologinio lankstumo.

Technologijų pažanga apima visą energetikos grandinę – nuo energijos generacijos iki galutinio vartojimo (žr. 11 pav.). Ši transformacija apima tris pagrindines dimensijas:

- generacijos pusę, kurioje energija gaminama iš atsinaujinančių ar tradicinių šaltinių;
- tinklo pusę, atsakingą už energijos transformaciją ir paskirstymą;
- apkrovos pusę, kurioje energija vartojama transporto, pramonės ar namų ūkių sektoriuose (Li ir kt., 2022).



11 pav. Šiuolaikinės elektros energijos sistema (Li ir kt. 2022)

11 paveiksle pavaizduota energetikos sistemos grandinė nuo gamybos iki galutinio vartojimo, parodanti sąveiką tarp gamybos, perdavimo ir vartojimo grandžių bei atsinaujinančių energijos šaltinių integraciją į elektros tinklus. Ši schema parodo, kad atsinaujinančių technologijų plėtra neapsiriboja vien energijos gamyba – ji keičia visą energetikos ekosistemą. Technologiškai atsinaujinančios sistemos remiasi naujovėmis, tokiomis kaip:

- išmanieji elektros tinklai, leidžiantys efektyviai integruoti įvairius šaltinius ir valdyti vartojimą realiu laiku;
- energijos kaupimo technologijos, sprendžiančios energijos tiekimo nepastovumo problemą;
- dirbtinio intelekto algoritmai, prognozuojantys vėjo ir saulės generacijos apimtis ir optimizuojantys tinklo balansavimą (Werdhana, 2024; Li ir kt., 2022).

Tokios technologijos užtikrina tinklo stabilumą ir didina sistemos lankstumą, o tai yra būtina sąlyga sėkmingai atsinaujinančių energijos šaltinių integracijai. Werdhana (2024) pažymi, kad pažangiosios skaitmeninės sistemos tampa pagrindiniu elementu, leidžiančiu pereiti nuo centralizuotos prie decentralizuotos energetikos struktūros, kurioje vartotojai gali tapti ir gamintojais.

Ekonominiu požiūriu atsinaujinančių technologijų plėtra turi dvigubą poveikį: ji stiprina ilgalaikį šalies konkurencingumą ir skatina struktūrinius ekonomikos pokyčius. Wheelen'as ir kt. (2018) teigia, kad technologinė pažanga tampa vienu svarbiausių konkurencinio pranašumo šaltinių, nes leidžia efektyviau panaudoti gamtos išteklius ir mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro. Taip pat Whittington'as ir kt. (2020) pažymi, kad organizacijų gebėjimas prisitaikyti prie šių technologinių pokyčių yra esminis jų strateginio atsparumo veiksnys. Pagal Li ir kt. (2022), scenarijų analizės metodai yra ypač naudingi tiriant atsinaujinančių technologijų integracijos scenarijus į nacionalines energetikos sistemas. Jie leidžia įvertinti galimą paklausos svyravimų, elektros kainų pokyčių ir tinklo stabilumo poveikį, o tai padeda kurti patikimesnes ilgalaikes strategijas. Tokios analizės pagrindu galima priimti sprendimus dėl infrastruktūros modernizavimo, energijos kaupimo pajėgumų plėtros ir tvarių investicijų paskirstymo.

Nors technologijų vystymasis kelia naujų iššūkių, ypač susijusių su investicijų poreikiu ir sistemos stabilumu – šie iššūkiai yra esminė pažangos sąlyga pereinant prie klimatui neutralios ekonomikos. Kaip Li ir kt. (2022) pabrėžia, kad efektyvus scenarijų planavimas ir technologijų integracija tampa būtina prielaida siekiant energetikos sistemų patikimumo ir lankstumo ateityje.

2.4.4. Vėjo energetikos sektoriaus ypatumai

Vėjo energetika išsiskiria savo technologiniu brandumu, ekonomiškumu ir lankstumu. Ji yra viena svarbiausių pasaulio energetikos transformacijos krypčių (Hassan ir kt., 2024). Vėjo energija gaminama naudojant horizontalios arba vertikalios ašies turbinas, kurios paverčia kinetinę vėjo energiją elektros energija (Gipe & Möllerström, 2022). Modernios vėjo jėgainės gali veikti net esant 3–25 m/s greičiui, o jų efektyvumas viršija 40 % (Twidell, 2021; Zupok ir kt., 2025). Tokie technologiniai pasiekimai rodo, kad vėjo energetika pasiekė brandžią vystymosi fazę, kurioje dominuoja didelio našumo įrenginiai, automatizuotos valdymo sistemos ir pažangūs stebėsenos algoritmai (Werdhana, 2024). Pasaulyje vis sparčiau plečiamas jūrinės vėjo energetikos sektorius, kuriam būdingi stipresni ir pastovesni vėjai ir mažesnė poveikio visuomenei rizika. Zupok'as ir kt. (2025) teigia, jūrinės jėgainės šiuo metu laikomos vienu efektyviausių sprendimų ilgalaikiam energijos tiekimui užtikrinti, nes jų gamybos intensyvumas yra apie 45–55 %, kai tuo tarpu sausumos

siekia apie 40–50 %. Be to, jūrinės vėjo elektrinės padeda diversifikuoti energijos gamybą ir mažina priklausomybę nuo vietinių klimato svyravimų.

Vėjo energetikos plėtrą veikia daugybė išorės veiksnių – nuo gamtinių sąlygų ir technologinės pažangos iki politinės aplinkos, investicinių paskatų ir visuomenės požiūrio. Twidell'is (2021) akcentuoja, kad sėkminga šio sektoriaus plėtra reikalauja kompleksinės politikos, apimančios paramos mechanizmus, finansines paskatas, infrastruktūros integravimą į elektros tinklus ir vietos bendruomenių įtraukimą. Whittington'as ir kt. (2020) pabrėžia, kad būtent gebėjimas prisitaikyti prie išorės aplinkos pokyčių lemia ilgalaikį sektoriaus konkurencingumą ir atsparumą rinkos svyravimams. Atsinaujinančios energetikos plėtra tampa ne tik aplinkosaugos, bet ir ekonominės, ir technologinės pažangos strategija. Ji formuoja naują energetinį modelį, kuriame tvarumas, inovacijos ir vietinių išteklių naudojimas tampa konkurencinio pranašumo pagrindu (Werdhana, 2024). Vėjo energetika išsiskiria kaip sektorius, jungiantis aplinkosaugą, technologinį progresą ir ekonominį augimą. Todėl jos analizė yra itin reikšminga tiriant išorės aplinkos įtaką energetikos sektoriui ir vertinant tvarios plėtros perspektyvas.

2.5. Išorės aplinkos veiksniai, darantys įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai

Vėjo energetikos sektoriaus plėtra priklauso nuo daugelio išorės veiksnių, kurie formuoja jo konkurencingumą, technologinę pažangą ir investicinį patrauklumą. Skirtingai nei tradiciniai energijos šaltiniai, vėjo energetika yra ypač jautri politinei, ekonominei, socialinei ir technologinei aplinkai (Hassan ir kt., 2024; Ramos ir kt., 2023). Išorės veiksniai, tokie kaip geopolitinių interesų įtaka pasaulinėms energijos rinkoms, aplinkosaugos reikalavimai ir konkurencija dėl technologinės lyderystės, vis labiau lemia energetinio saugumo ir atsinaujinančių šaltinių plėtros kryptis. Vėjo energetika šiandien tampa ne tik technologinių naujovių, bet ir sisteminių transformacijų išraiška, nes joje susilieja politiniai sprendimai, ekonominiai interesai, socialinis pritarimas ir technologinė pažanga. Šių veiksnių sąveika nulemia, ar sektorius taps ilgalaikio ekonominio augimo ir tvarumo varikliu (Whittington ir kt., 2020; Werdhana, 2024).

Politiniai ir teisiniai veiksniai yra vieni svarbiausių elementų, formuojančių vėjo energetikos plėtros kryptį ir mastą (Zupok ir kt., 2025). Šio sektoriaus raida tiesiogiai priklauso nuo valstybės politikos nuoseklumo, reguliavimo sistemos aiškumo ir ilgalaikių strateginių tikslų, kadangi griežti reglamentai gali trukdyti plėstis šiam sektoriui, o politinis nestabilumas gali atgrasyti investicijas ir plėtrą vėjo energetikos sektoriuje (Wieliewska ir kt., 2018). Pasak Azevėdo ir kt. (2021), pagrindiniai politiniai veiksniai, lemiantys vėjo energetikos sektoriaus plėtrą – palūkanų normos ir mokesčiai, energijos pardavimo kaina, infliacija ir finansavimo sąlygos. Europos Sąjungos Atsinaujinančios energijos direktyvos (RED II ir RED III) nustato valstybių narių įsipareigojimus iki 2030 m. pasiekti bent 42,5 % atsinaujinančių išteklių dalį bendrame energijos balanse (European Commission, 2023). Šis teisinis pagrindas ne tik įtvirtina Europos Sąjungos žaliosios energetikos politikos kryptį, bet ir suteikia investuotojams pasitikėjimo dėl ilgalaikio sektoriaus stabilumo (Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025). Politinis stabilumas ir aiški reguliavimo sistema yra itin svarbūs veiksniai, užtikrinantys vėjo energetikos augimą. Švarios energijos sektoriuje investiciniai sprendimai labai priklauso nuo teisinio skaidrumo, leidimų išdavimo procedūrų paprastumo ir politinės valios palaikyti energetinę transformaciją (IRENA, 2025c). Šalyse, kuriose dominuoja aiškūs ir prognozuojami reguliaciniai procesai, vėjo energetikos plėtra vyksta sparčiau, o projektai sulaukia daugiau privačių investicijų (European Commission, 2023). Taip pat energetikos politika Europoje vis glaudžiau siejama su nacionaliniu saugumu, nes atsinaujinančių išteklių plėtra leidžia mažinti priklausomybę nuo

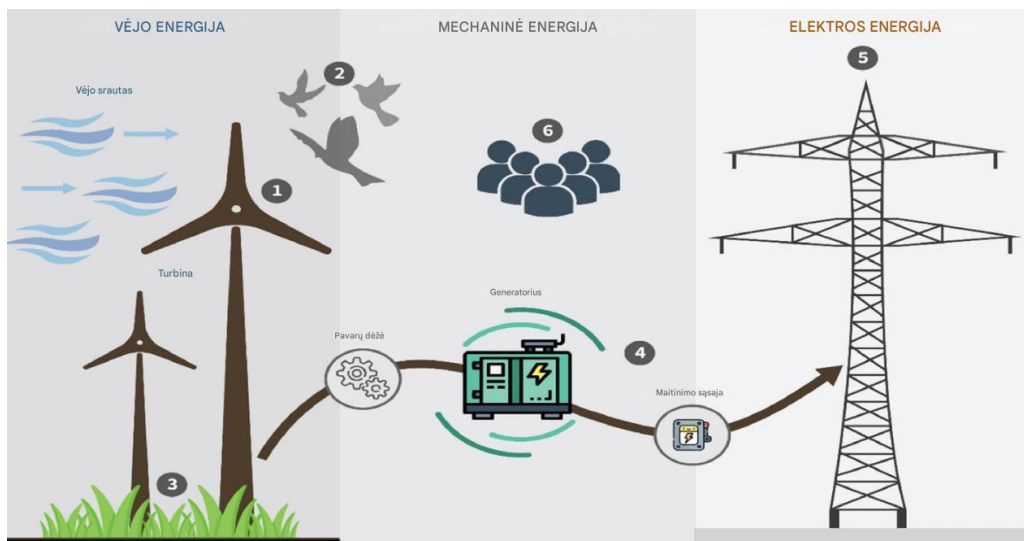
importuojamų iškastinių energijos išteklių (The International Energy Agency, 2022). Tokiu būdu politiniai sprendimai virsta ne tik ekonominiais, bet ir geopolitiniais veiksniais, darančiais įtaką visos energetikos sistemos atsparumui. Politiniai ir teisiniai veiksniai sudaro pagrindą tvariai vėjo energetikos plėtrai. Aiški strateginė kryptis, suderinti reguliavimo mechanizmai ir ilgalaikis politinis įsipareigojimas yra būtinos sąlygos užtikrinti šio sektoriaus konkurencingumą ir prisidėjimą prie klimato neutralumo tikslų.

Ekonominiai veiksniai lemia vėjo energetikos plėtros finansinį gyvybingumą ir konkurencingumą. Azevêdo ir kt. (2021) savo tyrime išskiria tokius pagrindinius ekonominius veiksnius, kaip investicinės išlaidos, eksploatavimo ir priežiūros išlaidos, išvengtos energijos sąnaudos, nusidėvėjimas ir žemės nuoma. IRENA'os (2021) duomenimis, sausumos vėjo energijos kaina nuo 2010 iki 2020 metų sumažėjo 56 %, o jūrinės – apie 48 %. Tokį mažėjimą lėmė masto ekonomija, technologijų tobulėjimas ir auganti pasaulinė konkurencija (Zupok ir kt., 2025). Kaip pažymi Jaber (2013), vėjo energetika yra ekonomiškiausia naujos elektros gamybos technologija dėl mažų įrengimo kaštų, kuro poreikio nebuvimo ir trumpo statybos laikotarpio. Taip pat investicijų prieinamumas, finansinės paskatos ir žaliosios finansų priemonės tampa vis svarbesnės siekiant spartinti projektų įgyvendinimą (Azevêdo ir kt., 2021). Vis dėlto išlieka ir rizikų, nes vėjo energetikos projektams būdingos didelės pradinės investicijos ir ilgas atsipirkimo laikotarpis. Pasaulinės investicijos į atsinaujinančius išteklius jau viršija investicijas į iškastinį kurą beveik dvigubai, tačiau tai pasiekama tik užtikrinus stabilų ekonominį reguliavimą (European Commission, 2023). Pasak Wojtaszek'o ir kt. (2025), vėjo energija reikšmingai prisideda prie vietos plėtros, darbo vietų kūrimo, savivaldybių pajamų didinimo ir energetinio saugumo stiprinimo. Ekonominių veiksmų įtaka ypač ryški mažoms rinkoms, tokioms kaip Lietuva, kur kainų nepastovumas ir finansavimo sąlygų kaita tiesiogiai veikia projektų gyvybingumą.

Socialiniai veiksniai yra vienas jautriausių elementų, lemiantis vėjo energetikos plėtros priimtinumą visuomenėje. Vietos bendruomenės dažnai priešinasi naujų jėgainių statybai dėl kraštovaizdžio pokyčių, triukšmo ar poveikio aplinkai (Wielewska ir kt., 2018). Kadangi projektai būna skirti konkrečiai vietai, todėl vietos bendruomenės pritarimas turi didelę įtaką jų įgyvendinimui, tai akivaizdu vėjo energetikos projektų atveju, kurie projektų vykdytojams yra labai priimtini, nes netrukdo naudoti žemę (Olabi ir kt., 2023). Wojtaszek'as ir kt. (2025), savo atliktame tyrime pabrėžia, kad bendruomenės įsitraukimas, skaidrumas ir ekonominės naudos pasidalijimas yra gyvybiškai svarbūs siekiant ilgalaikės paramos. Taip pat švietimo iniciatyvos ir viešojo dialogo stiprinimas padeda didinti visuomenės pasitikėjimą ir mažinti konfliktus (Werdhana, 2024). Olabi ir kt. (2023), savo tyrime išskiria tokius socialinius veiksnius, kaip sąmoningumas ir informacija, kultūriniai ir elgesio aspektai, visuomenės pritarimas ir vietos pajėgumo stiprinimas.

Technologiniai pokyčiai yra vienas pagrindinių vėjo energetikos sektoriaus augimo variklių. IRENA'os (2021) duomenimis, 2010–2020 metų laikotarpiu vėjo energijos technologijų konkurencingumas smarkiai išaugo. Vėjo energetiko sektoriuje labai svarbūs technologiniai veiksniai – vėjo turbinos aukštis, įrengta vėjo energija, efektyvumas, rotorius skersmuo, veikimo laikas ir turbinų menčių skaičius (Azevêdo ir kt., 2021). Per pastarąjį dešimtmetį vėjo jėgainių galia išaugo iki 15–20 MW jūriniuose parkuose, sausumos vėjo jėgainių galia padidėjo keturis kartus nuo 178 GW iki 699 GW, o energijos konversijos efektyvumas viršija 40 % (IRENA, 2021; The International Energy Agency, 2022; Twidell, 2021). Pasak Jaber (2013), vėjo energija yra neribotas, aplinkai nekenksmingas energijos šaltinis, kuris neišskiria ŠESD ir nesukuria radioaktyvių ar toksiškų atliekų. Vis dėlto technologinė plėtra turi būti derinama su aplinkosaugos aspektais. Olabi ir kt. (2023) teigia,

kad su vėjo energija susijęs poveikis aplinkai apima triukšmą ir vizualinį poveikį, paukščių žūtis dėl susidūrimo su vėjo turbinų mentėmis, miškų kirtimą ir dirvožemio eroziją, žaibus nuo turbinų bokštų metalinių konstrukcijų ir elektromagnetinę spinduliuotę, kurią sukelia mechaninė/elektrinė įranga.



12 pav. Vėjo energijos poveikio aplinkai santrauka (Olabi ir kt., 2023)

Pateiktame paveiksle pavaizduotas vėjo energijos poveikis aplinkai:

1. vizualinis poveikis ir triukšmas;
2. paukščių žūtis;
3. miškų kirtimas ir dirvožemio erozija;
4. žaibas iš bokštų;
5. elektromagnetinė spinduliuotė;
6. aplinkinė kaimynystė.

Vėjo jėgainių poveikis kraštovaizdžiui, triukšmo tarša ar poveikis gyvūnijai išlieka aktualūs klausimai, tačiau dauguma šių problemų gali būti sumažintos taikant pažangius vietos planavimo ir inžinerinius sprendimus (Jaber, 2013). Kaip Wojtaszek'as ir kt. (2025) pabrėžia, kad „pavyzdžiui, plaukiojantys vėjo jėgainių parkai, pagerintas turbinų efektyvumas ir išmaniųjų tinklų integravimas suteikia naujų galimybių įveikti aplinkosaugos ir technologinius iššūkius.

10 lentelė. Pagrindiniai šorinės aplinkos veiksniai ir jų įtaka vėjo energetikos sektoriaus plėtrai (sudaryta autorės, remiantis mokslinės literatūros analize)

Veiksniai	Teigiamas poveikis	Neigiamas poveikis	Reikšmė vėjo energetikos sektoriui
Politiniai ir teisiniai	Aiškūs Europos Sąjungos klimato tikslai, nacionalinės strategijos, finansinė parama žaliosioms investicijoms, leidimų supaprastinimas.	Politinis nestabilumas, biurokratija, dažni reguliaciniai pokyčiai, teisinio aiškumo stoka.	Nulemia sektoriaus kryptį, investicijų saugumą ir projektų įgyvendinimo tempą.
Ekonominiai	Mažėjanti technologijų kaina, žaliųjų finansų plėtra, investicijų augimas, vietos ekonomikos stiprinimas.	Aukštos pradinės investicijos, palūkanų normų svyravimai, infliacijos poveikis.	Formuoja konkurencingumą, projektų patrauklumą investuotojams ir energijos kainas.

10 lentelė (tęsinys). Pagrindiniai šorinės aplinkos veiksniai ir jų įtaka vėjo energetikos sektoriaus plėtrai (sudaryta autorės, remiantis mokslinės literatūros analize)

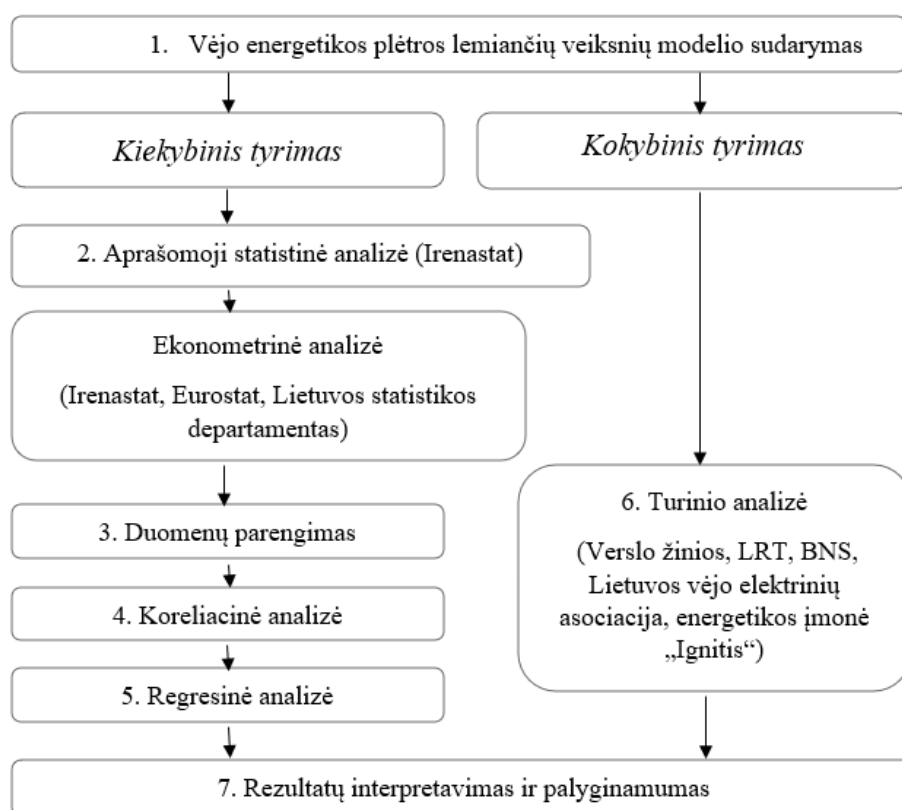
Socialiniai	Visuomenės palaikymas tvariai energetikai, bendruomenių įtraukimas, viešosios informacijos sklaida.	Vietos bendruomenių pasipriešinimas, kraštovaizdžio ir triukšmo problemos, socialinė įtampa vietovėse.	Lemiamas veiksnys projektų priimtinumui ir ilgalaikiai plėtrai.
Technologiniai	Efektyvumo didėjimas, turbinų galingumo augimas, skaitmenizavimas, automatizacija, tinklų integracija, technologinės įrangos brangimas.	Didelės investicijos į tyrimus, technologinė priklausomybė nuo tiekėjų.	Didina sektoriaus našumą, mažina kainas.
Aplinkosauginiai	Mažesnis ŠESD emisijų kiekis, prisidėjimas prie klimato tikslų, atliekų tvarkymas, ekologinio efektyvumo didėjimas.	Poveikis paukščiams, kraštovaizdžio kaita, dirvožemio erozija.	Turi tiek teigiamų, tiek neigiamų pasekmių, todėl reikalauja subalansuoto valdymo.

Iš pateiktos 10 lentelės matoma, jog vėjo energetikos plėtra siejasi su įvairiais tarpusavyje susijusiais veiksniais. Didžiausią teigiamą reikšmę sektoriaus raidai turi politiniai veiksniai, technologinė pažanga bei mažėjantys gamybos kaštai, tuo tarpu teisinis neapibrėžtumas, tam tikri finansiniai svyravimai bei visuomenės pasipriešinimas siejami su plėtrą ribojančiomis aplinkybėmis.

Vėjo energetikos plėtra yra daugialypis procesas, priklausantis nuo politinių sprendimų, ekonominio stabilumo, visuomenės požiūrio ir technologinių inovacijų. Politinis ir teisinis stabilumas suteikia sektoriui ilgalaikę kryptį, ekonominė parama užtikrina investicijų srautą, socialinis priimtumas skatina projektų plėtrą, o technologinė pažanga kuria konkurencinį pranašumą. Žaliosios energetikos plėtra tampa nauju konkurencijos dėl technologinio lyderystės etapu, todėl vėjo energetika įgauna ne tik aplinkosauginę, bet ir strateginę ekonominę reikšmę. Būtina kompleksiskai vertinti šių veiksmų sąveiką, siekiant empiriškai pagrįsti jų poveikį sektoriaus plėtrai.

3. Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai tyrimo metodologija

Šiame skyriuje pristatoma metodologinė tyrimo struktūra, analitiniai metodai ir pasirinktos priemonės, kuriomis vertinama išorės aplinkos veiksnių įtaka vėjo energetikos sektoriaus plėtrai Lietuvoje ir Danijoje. Metodologija sukurta taip, kad užtikrintų sisteminių požiūrį į sudėtingą energetikos aplinką, integruojant tiek kiekybinius, tiek kokybinius analizės aspektus. Taikoma mišri metodologinė strategija, kuri apima tiek kiekybinę, tiek kokybinę analizę (žr. 13 pav.). Analizė orientuota ne tik į statistiškai pagrįstą ryšių nustatymą, bet ir į platesnį sektoriaus supratimą, vertinant ekspertų ir institucinės informacijos pateikiamas įžvalgas. Kadangi vėjo energetikos plėtra yra priklausoma nuo įvairių, tarpusavyje susijusių ekonominių, politinių, technologinių ir socialinių veiksnių, metodologija grindžiama kombinuotu analitiniu požiūriu, apjungiančiu antrinių duomenų analizę, ekonometrinius metodus (koreliacinę ir regresinę analizę) bei turinio analizę. Kiekybinė dalis atliekama tiek Lietuvai, tiek Danijai, siekiant užtikrinti šalių palyginamumą ir nustatyti makroekonominių bei energetinių rodiklių ryšius. Danija pasirinkta dėl savo lyderystės vėjo energetikos srityje. Tuo tarpu kokybinė turinio analizė taikoma tik Lietuvos kontekste, nes siekiama išsamiau suprasti kiekybinių rezultatų priežastis.



13 pav. Tyrimų etapų modelis (sudaryta autorės)

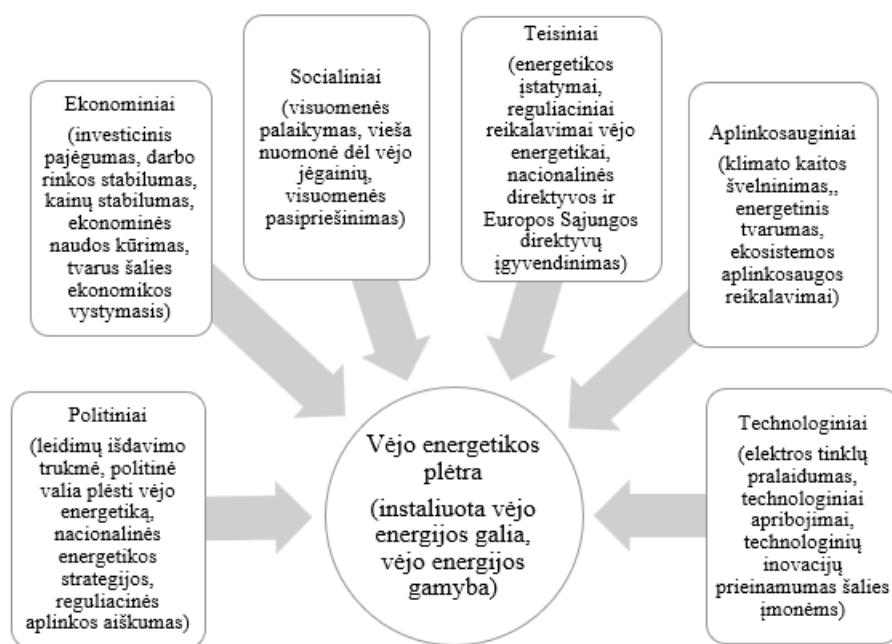
Vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemiančių veiksnių modelio sudarymas yra pirmasis tyrimo etapas, sudarantis pagrindą tolesnei kiekybinei ir kokybinei analizei (žr. 14 pav.). Šis modelis sudarytas remiantis teorinėje darbo dalyje analizuota mokslinė literatūra (Azevêdo ir kt., 2021; Hassan ir kt., 2024; Iurchenko ir kt., 2024; Iorenber ir kt., 2025; Jaber, 2013; Olabi ir kt., 2023; Ramos ir kt., 2023; Twidell, 2021; Werdhana, 2024; Wieliewska ir kt., 2018; Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025; Wojtaszek ir kt., 2025; Zupok ir kt., 2025). Papildomai pasitelkti tarptautinių institucijų dokumentai ir statistiniai šaltiniai (IRENA, 2021; IRENA, 2025c; European Commission, 2023; The International Energy Agency, 2022). Taip pat kiekybinis tyrimas apima ir aprašomąją statistinę analizę bei

ekonometrinę analizę (duomenų parengimas, koreliacinė analizė, regresinė analizė). Atliekant aprašomąją statistinę analizę naudojami tarptautinės organizacijos IRENA duomenys, o ekonometrinei analizei naudojami Eurostat, IRENA bei Lietuvos statistikos departamento duomenys. Kiekybinis tyrimas taip pat apima ir turinio analizę, kuris atliekamas analizuojat ekspertų („Verslo žinios“, LRT, BNS, Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, energetikos įmonė „Ignitis grupė“) bei institucijų (Lietuvos energetikos agentūra, Offshore Wind) publikacijų įžvalgas.

1 etapas. Vėjo energetikos plėtros lemiančių veiksnių modelio sudarymas. Tyrimo konceptualus modelis paremtas prielaida, kad vėjo energetikos plėtra yra daugialypis reiškiny, kurį formuoja priklausomų (vėjo sektoriaus plėtrą atspindinčių) ir nepriklausomų (išorės aplinkos) veiksnių sąveika. Kiekvienas faktorius veikia skirtingu intensyvumu, tačiau bendra jų struktūra leidžia paaiškinti Lietuvos ir Danijos sektorių dinamiką. Atsižvelgiant į tai, kad vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemia įvairūs išorės aplinkos veiksniai, šiame tyrime sudarytas konceptualus PESTEL modelis, kuriame politiniai, ekonominiai, socialiniai, technologiniai, aplinkosauginiai ir teisiniai veiksniai išdėstomi aplink pagrindinį nagrinėjamą reiškinį – vėjo energetikos plėtrą. Tyrime analizuojami išorės aplinkos veiksniai atrinkti remiantis mokslinės literatūros (Azevêdo ir kt., 2021; Iurchenko ir kt., 2024; Iorenber ir kt., 2025; Jaber, 2013; Olabi ir kt., 2023; Wojtaszek ir kt., 2025, Zupok ir kt., 2025) bei kitais šaltiniais aptartais antrame skyriuje. Šie mokslininkai pabrėžia, kad vėjo energetikos plėtra priklauso nuo šių veiksnių visumos:

- politinių (leidimų išdavimo trukmės ir sudėtingumo, politinės valios plėsti vėjo energetiką, nacionalinės energetikos strategijos, reguliacinės aplinkos aiškumas ir stabilumas);
- ekonominių (investicinis pajėgumas, darbo rinkos stabilumas, kainų stabilumas, ekonominės naudos kūrimas, tvarus šalies ekonomikos vystymasis);
- socialinių (visuomenės palaikymo, viešos nuomonės dėl vėjo jėgainių, visuomenės pasipriešinimo);
- teisinių (energetikos įstatymų, reguliacinių reikalavimų, vėjo energetikos nacionalinės direktyvos, Europos sąjungos direktyvų įgyvendinimo);
- aplinkosauginių (klimato kaitos švelninimo, energetinio saugumo poreikio, energetinio tvarumo, ekosistemų apsaugos reikalavimų);
- technologinių (elektros tinklų pralaidumo, technologiniai apribojimai, technologinių inovacijų prieinamumas šalies įmonėms).

Atsižvelgiant į šių veiksnių teorinę analizę, jie apibendrinami ir struktūrizuojami 14 paveiksle pateiktame vėjo energetikos sektoriaus plėtros konceptualiame modelyje.



14 pav. Vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemiančių veiksnių modelis (sudaryta autorės)

Paveiksle pavaizduoti išorės aplinkos veiksniai, analizuojami makroaplinkos lygmeniu ir identifikuoti taikant PESTEL metodiką. Šie veiksniai yra susiję su vėjo energetikos sektoriaus plėtra, o modelio centre pateikiami pagrindiniai priklausomi kintamieji – instaliuota vėjo energijos galia ir vėjo energijos gamyba. Ši schema leidžia struktūriškai įvertinti, kaip skirtingų sričių išorės aplinkos veiksniai gali veikti sektoriaus plėtrą ir sudaro pagrindą kiekybinei bei kokybinei analizei. Pereinant nuo teorinio veiksnių išskyrimo prie jų empirinio vertinimo, toliau pateikiami rodikliai, apibūdinantys kiekvieną iš išskirtų veiksnių (žr. 11 lentelę).

Lentelėje pateikiami kiekybiniam vertinimui tinkami ekonominiai ir aplinkosauginiai veiksniai, o likusi aplinkosauginių veiksnių dalis kartu su politiniais, socialiniais, teisiniais ir technologiniais veiksniais analizuojama kokybinio tyrimo metu.

11 lentelė. Ekonominiai ir aplinkosauginiai veiksniai ir jų rodikliai

Veiksnių grupė	Veiksniai	Rodiklis
Ekonominiai	Investicinis pajėgumas	BVP vienam gyventojui
	Kainų stabilumas	Inflacijos lygis
	Darbo rinkos stabilumas	Nedarbo lygis
	Ekonominės naudos kūrimas	Energijos našumas
	Tvarus šalies ekonomikos vystymasis	Priklausomybė nuo energijos importo
Aplinkosauginiai	Žalioji energetika	Atsinaujinančios energijos dalis
	CO ₂ emisijos	Grynasis vidaus ŠESD išmetimas

Kokybiniam tyrimui pasirinktas 2010–2023 metų laikotarpis. Siekiant užtikrinti aiškų ir nuoseklų tyrimui reikalingų duomenų pagrindimą, pateikiami šiame darbe naudojami priklausomi ir nepriklausomi kintamieji. Jie parinkti atsižvelgiant į konceptualiaame modelyje pavaizduotas PESTEL išorės aplinkos veiksnių grupes bei mokslinėje literatūroje identifikuojamus ekonominius ir aplinkosauginius veiksnius, lemiančius vėjo energetikos sektoriaus plėtrą. Priklausomi kintamieji, atspindintys vėjo energetikos sektoriaus raidos rezultatus ir naudojami kaip pagrindiniai analizuojami rodikliai, yra šie:

- instaliuota vėjo energijos galia (MW);

- vėjo energijos gamyba (GWh).

Nepriklausomi kintamieji apima ekonominius ir aplinkosauginius makroaplinkos veiksnius, kurių poveikis vertinamas regresiniuose modeliuose. Ekonometrinei analizei pasirinkti šie kiekybiniai veiksniai:

- BVP vienam gyventojui (Eur);
- infliacijos lygis (%);
- nedarbo lygis (%);
- atsinaujinančios energijos dalis (%);
- energijos našumas (1 kg/Eur);
- priklausomybė nuo energijos importo (%);
- grynasis vidaus ŠESD išmetimas (1 gyv/t).

Šie rodikliai atspindi šalies ekonominę būklę ir aplinkosauginius įsipareigojimus, todėl pagrįstai laikomi veiksniais, galinčiais daryti tiesioginę ar netiesioginę įtaką vėjo energetikos plėtrai.

2 etapas. Aprašomoji statistinė analizė taikoma siekiant įvertinti priklausomųjų kintamųjų (instaliuotos vėjo energijos galios ir vėjo energijos gamybos) pokyčius analizuojamu laikotarpiu. Šiame etape naudojami linijiniai laiko eilučių grafikai, kurie leidžia vizualiai atskleisti vėjo energetikos plėtros dinamiką, augimo tempus ir ryškesnius pokyčių taškus Lietuvoje ir Danijoje. Grafinė analizė padeda nustatyti bendras tendencijas, galimus lūžius ar spartesnio augimo periodus.

3 etapas. Atliekamas nuoseklus duomenų parengimas statistinei analizei. Atsižvelgiant į ekonometrinės analizės specifiką, šiame etape taikomi du pagrindiniai vertinimai: normalumo testas (Shapiro-Wilk) ir stacionarumo vertinimas naudojant Augmented Dickey-Fuller (ADF) vienetinių šaknų testą. Šie testai leidžia nustatyti, ar duomenys atitinka tolimesnei regresinei analizei.

Normalumo vertinimui pasirenkamas Shapiro-Vilko testas, nes tyrimo imtis yra 14 metų. Testas tikrina, ar kintamojo pasiskirstymas reikšmingai skiriasi nuo normaliojo. Tačiau pirma išsikeliamos dvi hipotezės gautų rezultatų vertinimui:

- H_0 – kintamojo reikšmės pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį;
- H_1 – kintamojo reikšmės nepasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį.

Jei apskaičiuotoji tikimybė p didesnė už pasiklovimo lygmenį α ($p < 0,05$), atmetama H_0 ir laikoma, kad duomenys nepasiskirstę pagal normalųjį skirstinį (Bilevičienė & Jonušauskas, 2013). Tokiu atveju atliekama duomenų transformacija taikant logaritmo funkciją, siekiant priartinti pasiskirstymą prie normaliojo skirstinio.

Kadangi tyrime naudojami laiko eilutės duomenys, būtina nustatyti jų stacionarumą. Nestacionarūs duomenys gali lemti klaidingas regresijos išvadas. Todėl šiame etape taikomas ADF vienetinių šaknų testas, kuriuo vertinama, ar kintamojo laiko eilutė turi vienetinę šaknį. Gautų rezultatų vertinimui išsikeliamos dvi hipotezės:

- H_0 – pradinis procesas nestacionarus, bet pirmos eilės integruotas procesas gali būti stacionarus;
- H_1 – pradinis procesas stacionarus.

Jeigu ADF testo tikimybė yra mažesnė už kritinę reikšmę ($p < 0,05$), H_0 atmetama ir laikoma, kad kintamasis yra stacionarus. Jei kintamasis nustatomas kaip nestacionarus, atliekamos šios transformacijos pirmos eilės diferencijavimas. Šiame etape paruošti duomenys pereina į tolimesnius tyrimo etapus.

4 etapas. Ketvirtajame tyrimo etape atliekama koreliacinė analizė, kurios tikslas – nustatyti ryšius tarp priklausomųjų kintamųjų (instaliuotos vėjo galios ir vėjo energijos gamybos) ir nepriklausomųjų kintamųjų. Tyrime naudojamas Pirsono koreliacijos koeficientas (r), kuriuo vertinama tiesinė statistinė priklausomybė tarp priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų. Koreliacijos koeficiento skaičiavimas atliekamas pagal (1) formulę:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \bar{y}}{S_x \times S_y}; \quad (1)$$

čia x, y – kintamųjų reikšmės; $\overline{xy}, \bar{x}, \bar{y}$ – kintamųjų vidurkiai; S_x, S_y – standartiniai nuokrypiai.

Siekiant užtikrinti aiškų ryšių reikšmių vertinimą, koreliacijos koeficientas interpretuojamas pagal 12 lentelėje pateiktas ribas.

12 lentelė. Koreliacijos koeficiento vertinimo ribos (Bartosevičienė, 2006)

Labai silpnas	Silpnas	Vidutinis	Stiprus	Labai stiprus
0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1

Koreliacijos koeficiento reikšmingumas tikrinamas taikant t (Stjudento) kriterijų. Kintamasis laikomas statistiškai reikšmingu, jei Stjudento kriterijaus tikimybės reikšmė mažesnė už pasiklovimo lygmenį α ($p < 0,05$) (Balabonienė ir kt., 2013). Į regresijos modelius įtraukiami kintamieji, kurių ryšys bus reikšmingas ar bent vidutinio stiprumo.

5 etapas. Šiame tyrimo etape atliekama regresinė analizė, kurios tikslas – kiekybiškai įvertinti makroekonominių ir energetinių veiksnių poveikį vėjo energetikos plėtrai Lietuvoje ir Danijoje. Atliekant tyrimą bus naudojamas tik daugialypės tiesinės regresijos modelis, kadangi jis parodo nepriklausomų kintamųjų įtaką priklausomiems kintamiesiems. Prieš sudarant galutinius regresijos modelius, atliekamas daugiakolinearumo vertinimas, siekiant užtikrinti, kad į modelius būtų įtraukti tik tarpusavyje nepriklausomi kintamieji. Regresinės analizės pradžioje atliekamas Variance Inflation Factor (VIF) testas, kuriuo tikrinama, ar nepriklausomi kintamieji nėra pernelyg tarpusavyje susiję. Didelis daugiakolinearumas gali iškreipti regresijos koeficientus, padidinti jų standartinius nuokrypius ir lemti statistiškai nereikšmingus rezultatus, nors ryšys iš tiesų egzistuoja. VIF interpretacija:

- ($VIF \leq 5$) – daugiakolinearumo nėra;
- ($VIF 5-10$) – vidutinė rizika (reikia vertinti papildomai);
- ($VIF \geq 10$) – didelis daugiakolinearumas (kintamasis pašalinamas).

Šis testas atliekamas dar prieš sudarant galutinius regresijos modelius, todėl į modelį patenka tik kintamieji, kurie yra statistiškai nepriklausomi tarpusavyje.

Regresijos modeliai sudaromi atskirai kiekvienai šaliai ir dviem priklausomiesiems kintamiesiems (instaliuotai vėjo energijos galiai ir vėjo energijos gamybai). Modeliai apskaičiuojami klasikine daugialypės regresijos lygtimi:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n; \quad (2)$$

čia β – konstanta; β_n – nepriklausomų kintamųjų koeficientai; x_n – nepriklausomi kintamieji.

Modelių paaiškinamoji galia vertinama determinacijos koeficiento (R^2) reikšme, jei $R^2 > 0,25$, modelis yra tinkamas tolesnei analizei (Bilevičienė & Jonušauskas, 2013). Tačiau vien determinacijos koeficientas nėra pakankamas modelio statistiniam tinkamumui įvertinti, todėl regresijos modelio bendram statistiniam reikšmingumui įvertinti taikomas F testas, kuriuo tikrinama, ar nepriklausomi kintamieji kartu statistiškai reikšmingai paaiškina priklausomo kintamojo kitimą. Atsižvelgiant į tai, formuluojamos šios dvi hipotezės:

- H_0 – modelis statistiškai nereikšmingas;
- H_1 – modelis statistiškai reikšmingas.

Modelis laikomas statistiškai reikšmingu, kai F testo tikimybė yra mažesnė už 0,05. Apskaičiuotų regresijos lygties parametrai laikomi statistiškai reikšmingais, kai t statistikos tikimybė yra mažesnė už kritinę reikšmę ($p < 0,05$). Regresinės analizės rezultatai leidžia empiriškai nustatyti, kurie veiksniai statistiškai reikšmingai lemia vėjo energetikos plėtrą, ir sudaro pagrindą šalių palyginimui bei tolesnei interpretacijai.

Autokoreliacija tikrinama Durbino-Vatsono (Durbin-Watson) kriterijumi. Šio kriterijaus reikšmės kinta nuo 0 iki 4. Tačiau jei reikšmė arčiau 2, tai manoma, kad autokoreliacijos nėra.

6 etapas. *Kokybinis tyrimas*. Siekiant papildyti kiekybinio tyrimo rezultatus, šiame etape atliekama kokybinė turinio analizė. Siekiama įvertinti likusių išorės aplinkos veiksnių, kurie nebuvo įtraukti į kiekybinį tyrimą, įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai. Analizei naudoti viešosios informacijos šaltiniai ir institucinių organizacijų publikacijos, iš kurių atrinkta viešai prieinama informacija. Naudotų šaltinių apžvalga pateikiama 13 lentelėje.

13 lentelė. Turinio analizės šaltiniai

Šaltinio kategorija	Šaltinis	Apimtis	Nuoroda
Viešosios informacijos šaltiniai	Verslo žinios	1 publikacija (2 ekspertų pasisakymai)	Verslo žinios (2025)
	LRT	2 publikacija (2 ekspertų pasisakymai)	LRT (2025) ; LRT (2025a)
	BNS	1 publikacija (1 eksperto pasisakymas)	BNS (2025)
	Lietuvos vėjo elektrinių asociacija	1 publikacija (1 eksperto pasisakymas), 1 informacinis leidinys	Lietuvos vėjo elektrinių asociacija (2020) Lietuvos vėjo elektrinių asociacija (2022)
	Ignitis grupė	1 publikacija (1 eksperto pasisakymas)	Ignitis grupė (2023)
Instituciniai šaltiniai	Lietuvos energetikos agentūra	1 publikacija	Lietuvos energetikos agentūra (2025)
	Offshore Wind	2 publikacijos	Offshore Wind (2022) Offshore Wind (2025)

Lentelėje pateikti šaltiniai sudaro pagrindą tolesnei kokybinei analizei, leidžiančiai identifikuoti svarbiausius politinius, teisinius, socialinius, aplinkosauginius ir technologinius veiksnius, darančius įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai.

7 etapas. Šiame etape aptariami aprašomosios statistikos, koreliacinės analizės ir regresinės analizės rezultatai, siekiant paaiškinti vėjo energetikos plėtros veiksnius Lietuvoje ir Danijoje. Taip pat apibendrinamos turinio analizės išvalgos. Gauti rezultatai lyginami su teoriniais teiginiais.

4. Išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai empirinio tyrimo rezultatai

Empirinėje darbo dalyje siekiama nustatyti, kaip išorės aplinkos veiksniai veikia vėjo energetikos sektoriaus plėtrą Lietuvoje ir Danijoje. Remiantis teorine literatūra, vėjo energetikos augimas yra glaudžiai susijęs su ekonominėmis sąlygomis, energetine politika, technologine pažanga ir tvarumo rodikliais. Šie veiksniai skirtingose šalyse pasireiškia nevienodai, priklausomai nuo jų ekonominės struktūros ir energetikos strategijų.

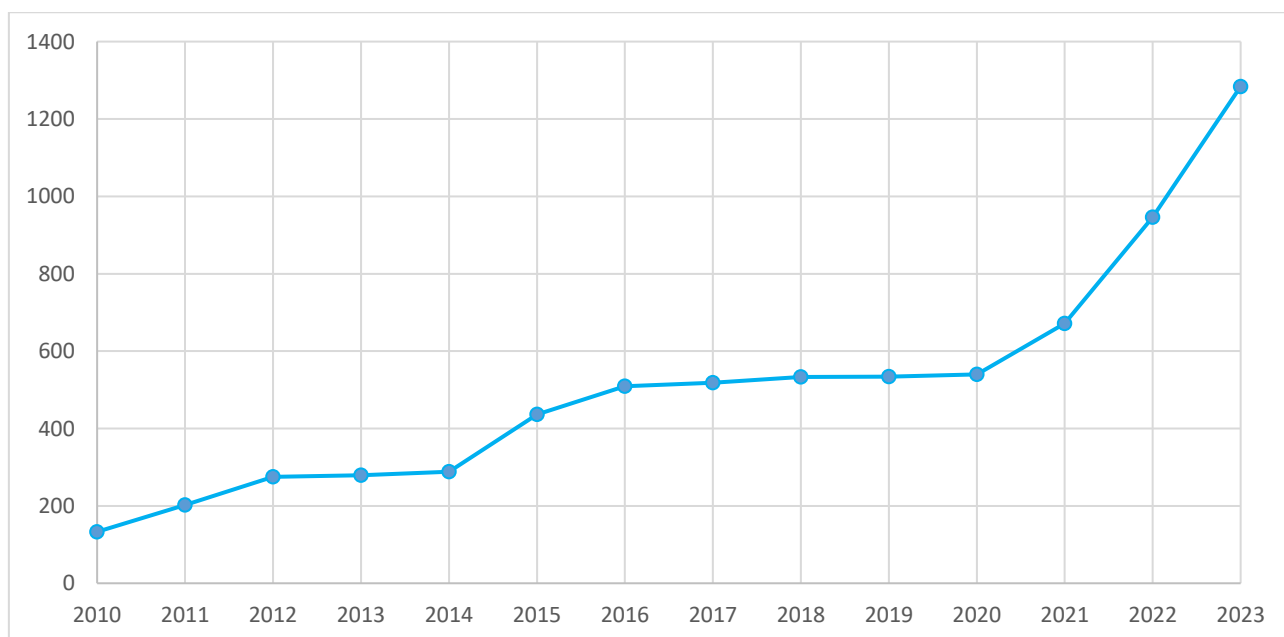
4.1. Priklausomų kintamųjų aprašomoji analizė

Šiame skyrelyje atliekama pagrindinių priklausomų kintamųjų aprašomoji analizė, siekiant įvertinti jų pokyčių tendencijas ir dinamiką Lietuvoje ir Danijoje 2010–2023 metų laikotarpiu, atliekama pagrindinių priklausomų kintamųjų aprašomoji analizė. Aprašomoji analizė atliekama naudojant du pagrindinius priklausomus kintamuosius:

- instaliuota vėjo energijos galia (MW) – parodo įrengtus elektros gamybos pajėgumus;
- vėjo energijos gamyba (GWh) – atspindi faktinę elektros energijos gamybą per metus.

Šių rodiklių pasirinkimas grindžiamas tuo, kad jie tiesiogiai atspindi vėjo energetikos sektoriaus plėtos mastą ir realius gamybos rezultatus, dėl to yra tinkami sektoriaus vystymosi vertinimui ir tolimesnei ekonometrinei analizei. Šie duomenys leidžia įvertinti augimo tempus, technologinį potencialą ir sektoriaus brandą, taip pat sudaro pagrindą tolesnei regresinei analizei.

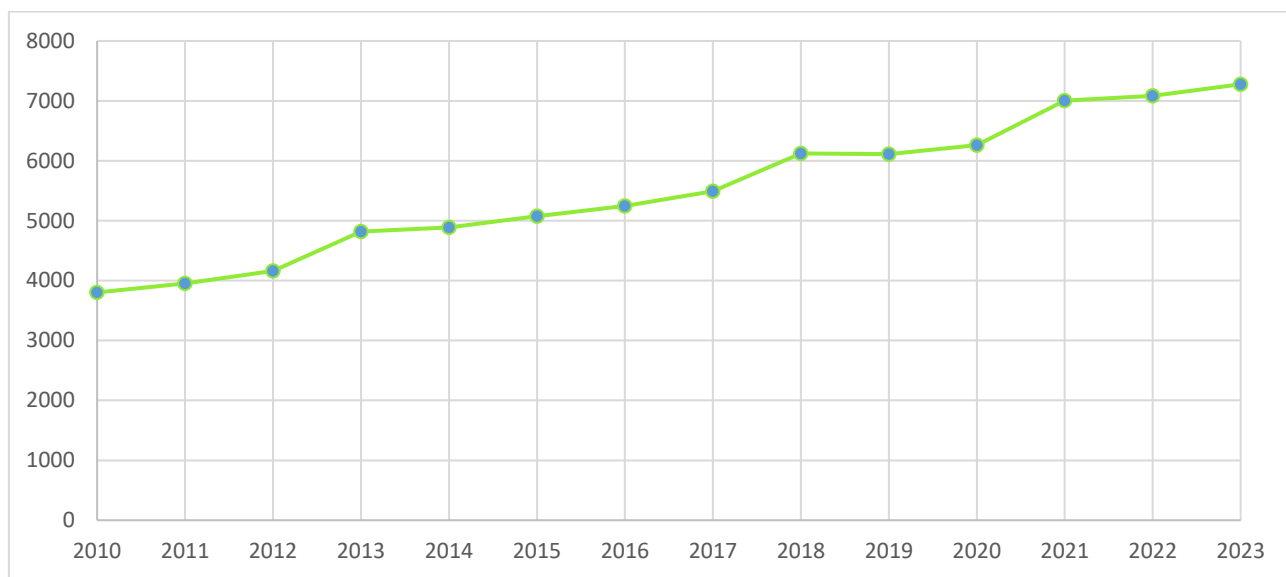
Instaliuotos vėjo energijos galios pokyčiai leidžia įvertinti, kaip sparčiai vystosi vėjo energetikos infrastruktūra ir kokie plėtos tempai būdingi analizuojamai šaliai. Šis rodiklis yra vienas pagrindinių vėjo energetikos sektoriaus augimo indikatorių, atspindinčių naujų elektrinių įrengiamą ir gamybos potencialo didėjimą. Todėl prieš atliekant tolesnę statistinę analizę svarbu apžvelgti instaliuotos galios kitimo tendencijas 2010–2023 m. laikotarpiu, kurias iliustruoja žemiau pateikti grafikai.



15 pav. Instaliuota vėjo energijos galia (MW) Lietuvoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA. 2025a)

Kaip matyti iš 15 paveikslo, Lietuvos instaliuotos vėjo energijos galios raida 2010–2023 metų laikotarpiu pasižymi aiškia augimo tendencija, kuri laikotarpio pabaigoje reikšmingai paspartėja. Analizuojamo laikotarpio pradžioje vėjo energetikos plėtra buvo nuosekli, o instaliuota galia didėjo palaipsniui. Vėlesniais metais, ypač po 2020 metų, fiksuojamas spartus galios augimas, rodantis intensyvėjančias investicijas ir aktyvesnę vėjo energetikos plėtrą. Tai leidžia daryti prielaidą, kad šiuo laikotarpiu sektoriaus raidą skatino palankesnė institucinė ir ekonominė aplinka bei didėjantis dėmesys atsinaujinančių energijos išteklių plėtrai.

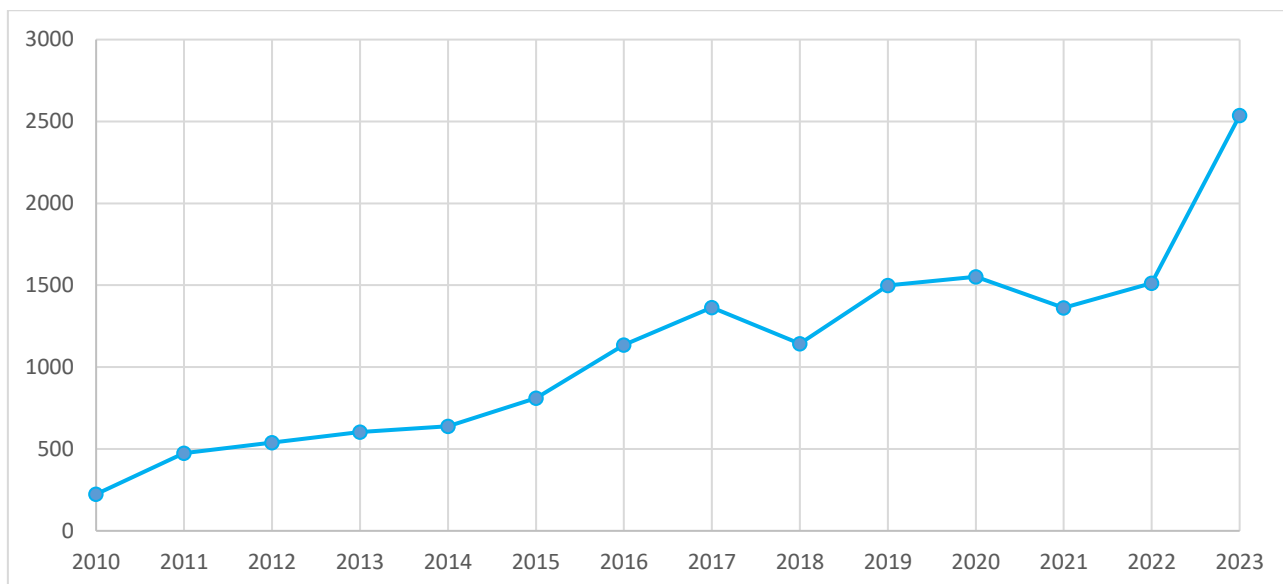
Danija laikoma viena iš pasaulio lyderių vėjo energetikos srityje, todėl jos instaliuotos vėjo energijos galios raida leidžia įvertinti brandžios ir technologiškai pažengusios rinkos plėtros trajektoriją.



16 pav. Instaliuota vėjo energijos galia (MW) Danijoje 2010-2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)

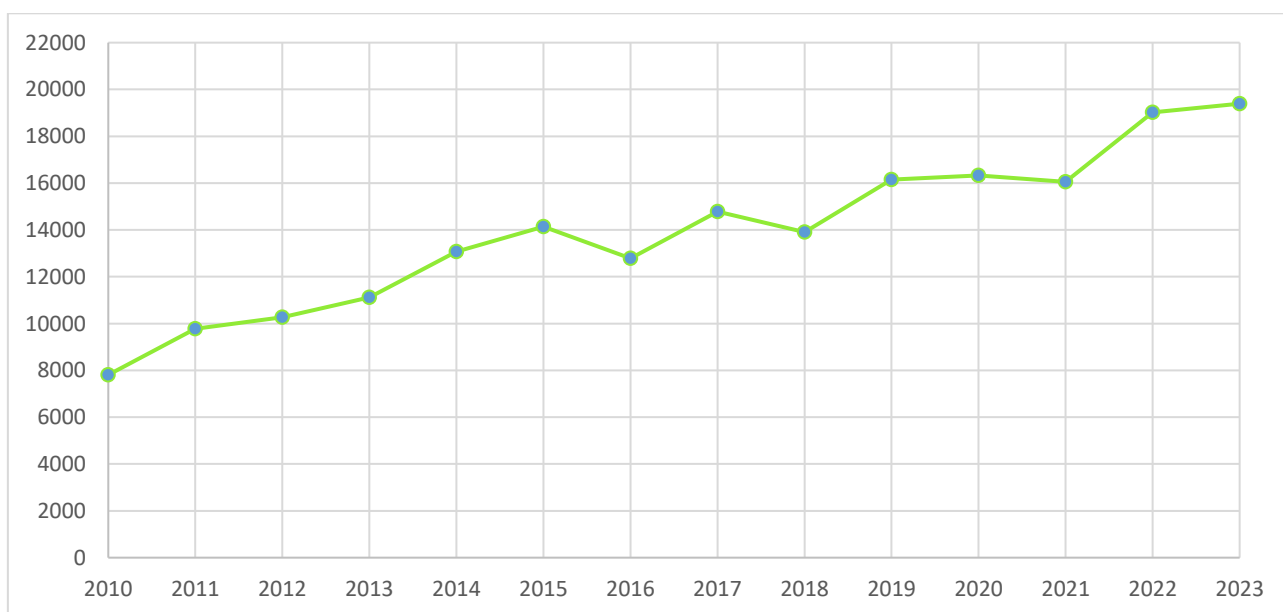
Kaip matyti iš 16 paveikslo, Danijos vėjo energetikos sektorius visą analizuojamą laikotarpį pasižymėjo stabilia ir nuoseklia instaliuotos galios plėtra. Skirtingai nei Lietuvoje, Danijoje augimas yra tolygesnis, be ryškių staigių šuolių, o tai būdinga brandžiai energetikos sistemai, turinčiai ilgalaikę plėtros strategiją ir išvystytą infrastruktūrą. Nors laikotarpio pabaigoje augimo tempai kiek sulėtėjo, bendra tendencija išlieka teigiama ir atspindi nuoseklų vėjo energetikos vaidmens stiprėjimą šalies energetikos balanse.

Svarbu pažymėti, kad instaliuota vėjo energijos galia parodo tik potencialias gamybos galimybes, todėl siekiant išsamiau įvertinti vėjo energetikos sektoriaus indėlį į energetikos sistemą, būtina analizuoti ir faktinę elektros energijos gamybą.



17 pav. Vėjo elektros energijos gamyba (GWh) Lietuvoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)

Kaip matyti iš 17 paveikslo, vėjo elektros energijos gamyba Lietuvoje 2010–2023 metų laikotarpiu didėjo, tačiau augimas pasižymėjo ryškesniais svyravimais. Nors bendra tendencija yra auganti, gamybos apimčių pokyčiai siejasi ne tik su instaliuotos galios didėjimu, bet ir su meteorologinėmis sąlygomis, kurios mažesnėse rinkose yra reikšmingesnės gamybos rezultatams. Ryškesni gamybos šuoliai sutampa su spartesnės instaliuotos galios plėtros laikotarpiais, tačiau kai kuriais metais fiksuojami ir trumpalaikiai gamybos sumažėjimai, atskleidžiantys vėjo energetikos gamybos nepastovumą.



18 pav. Vėjo elektros energijos gamyba (GWh) Danijoje 2010–2023 metų laikotarpiu (sudaryta autorės, remiantis IRENA, 2025a)

Kaip matyti iš 18 paveikslo, Danijoje vėjo elektros energijos gamyba visą analizuojamą laikotarpį išliko stabiliai auganti. Skirtingai nei Lietuvoje, gamybos svyravimai Danijoje yra mažesni, o tai rodo didesnę sistemos atsparumą meteorologiniams pokyčiams ir geresnę integraciją į bendrą energetikos

sistemą. Tai leidžia daryti prielaidą, kad didesnis instaliuotos galios mastas, pažangesnės technologijos ir ilgametė patirtis prisideda prie stabilesnių gamybos rezultatų.

Apibendrinant priklausomų kintamųjų aprašomosios analizės rezultatus, galima teigti, kad tiek Lietuvoje, tiek Danijoje vėjo energetikos sektorius analizuojamu laikotarpiu nuosekliai stiprėjo – didėjo tiek instaliuota galia, tiek elektros energijos gamyba. Vis dėlto šalių palyginimas atskleidžia skirtingą plėtros pobūdį – Danijoje augimas yra stabilesnis ir tolygesnis, o Lietuvoje fiksuojami ryškesni svyravimai. Nors aprašomoji analizė leidžia identifikuoti bendras sektoriaus raidos tendencijas, ji neleidžia nustatyti statistiškai pagrįstų ryšių tarp vėjo energetikos rodiklių ir išorės aplinkos veiksnių. Todėl tolesniuose etapuose atliekami kintamųjų normalumo ir stacionarumo vertinimai, kurie sudaro prielaidas koreliacinei ir regresinei analizei bei leidžia empiriškai įvertinti išorės aplinkos veiksnių įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai.

4.2. Duomenų parengimas regresinei analizei

4.2.1. Kintamųjų normalumo ir stacionarumo vertinimas

Prieš atliekant regresinę analizę, 14 lentelėje pateikiamos pagrindinės Lietuvos ir Danijos tyrime naudojamų rodiklių reikšmės. Ši informacija leidžia įvertinti kintamųjų kitimą, mastą ir tarpusavio palyginamumą. Be to, siekiant užtikrinti regresinės analizės rezultatų patikimumą, toliau vertinamas kintamųjų pasiskirstymas pagal normalųjį skirstinį ir jų stacionarumas. Normalumo tyrimas leidžia įvertinti ar duomenų pasiskirstymas artimas normaliajam, o stacionarumo tyrimas padeda nustatyti ar laiko eilutė yra stabili.

14 lentelė. Tyrime naudojamų rodiklių reikšmės (sudaryta autorės)

Rodiklis	Šalis	Mažiausia reikšmė	Didžiausia reikšmė	Vidurkis	Mediana	Standartinis nuokrypis
Instaliuota vėjo energijos galia	Lietuva	133,00	1284,00	51,57	513,5	306,03
	Danija	3801,83	7277,02	5520,62	5367,05	5520,62
Elektros energijos gamyba	Lietuva	224,00	2536,10	1099,72	1140,00	604,63
	Danija	7809,42	19393,20	13900,15	14017,53	3394,35
Nedarbo lygis	Lietuva	6,00	17,80	9,586	8,2	3,73
	Danija	4,50	7,80	6,15	5,90	1,17
BVP vienam gyventojui	Lietuva	8930,00	25880,00	15512,86	14180,00	5052,86
	Danija	43800,00	64430,00	51425,71	50165,00	6581,19
Infliacijos lygis	Lietuva	-0,90	19,7	3,79	2,50	5,19
	Danija	0,30	7,70	1,84	0,95	1,95
Atsinaujinančios energijos dalis	Lietuva	19,64	31,93	25,10	25,54	3,50
	Danija	21,90	44,40	32,89	31,70	7,05
Energinis našumas	Lietuva	3,83	6,02	4,81	4,70	0,66
	Danija	11,60	18,80	15,01	14,70	2,12
Priklausomybė nuo energijos importo	Lietuva	68,04	79,05	74,69	74,92	2,82
	Danija	-18,80	44,90	14,25	12,70	20,60
Grynasis vidaus ŠESD išmetimas	Lietuva	3,1	5,2	4,3	4,45	0,77
	Danija	6,50	12,20	1,06	9,00	1,58

Kintamųjų pasiskirstymui pagal normalųjį skirstinį įvertinti šiame tyrime taikytas Shapiro–Wilko testas, kuris leidžia nustatyti, ar duomenų pasiskirstymas statistiškai reikšmingai skiriasi nuo normaliojo. Jei apskaičiuota tikimybė yra didesnė nei pasirinktas reikšmingumo lygmuo ($\alpha = 0,05$), laikoma, kad kintamasis atitinka normalumo prielaidą. Normalumo vertinimas yra svarbus siekiant

pagrįsti tolesnės koreliacinės ir regresinės analizės taikymą. Kintamųjų normalumo testo rezultatai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Kintamųjų Shapiro–Wilko testas (sudaryta autorės)

Kintamasis	Lietuva		Danija	
	Tikimybė	Normalu (+), nenormalu (–)	Tikimybė	Normalu (+), nenormalu (–)
Instaluota vėjo energijos galia	0,053	+	0,486	+
Elektros energijos gamyba	0,304	+	0,932	+
Nedarbo lygis	0,032	–	0,101	+
BVP vienam gyventojui	0,347	+	0,113	+
Infliacijos lygis	<0,001	–	<0,001	–
Atsinaujinančios energijos dalis	0,911	+	0,753	+
Energijos našumas	0,283	+	0,917	+
Priklausomybė nuo energijos importo	0,441	+	0,420	+
Grynasis vidaus ŠESD išmetimas	0,099	+	0,995	+

Atlikus Shapiro–Wilko testą, nustatyta, kad ne visi kintamieji atitinka normalumo kriterijus. Lietuvos atveju nedarbo lygio ($p = 0,032$) ir infliacijos lygio ($p < 0,001$) rodiklių tikimybės yra mažesnės nei 0,05, todėl atmetama nulinė hipotezė ir laikoma, kad šie kintamieji nėra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Danijos duomenų analizė parodė, kad normalumo kriterijaus neatitinka infliacijos lygio rodiklis ($p < 0,001$). Siekiant priartinti šių kintamųjų pasiskirstymą prie normaliojo ir užtikrinti regresinės analizės prielaidų laikymąsi, jiems buvo taikyta logaritminė transformacija. Transformuotų kintamųjų normalumo testo rezultatai pateikiami 16 lentelėje.

16 lentelė. Transformuotų kintamųjų Shapiro–Wilko testo tikimybės (sudaryta autorės)

Kintamasis	Lietuva	Danija
Log(Nedarbo lygis)	0,164	–
Log(Infliacijos lygis)	0,438	0,745

Atlikus kintamųjų transformaciją, nustatyta, kad transformuotų kintamųjų tikimybės reikšmės viršija 0,05, todėl nulinė hipotezė priimama ir laikoma, kad šių kintamųjų pasiskirstymas atitinka normalumo prielaidą. Pažymima, kad logaritminė transformacija buvo taikyta tik tiems kintamiesiems, kurių duomenys neatitiko normalumo kriterijų.

Toliau siekiant įvertinti, ar pasirinkti kintamieji yra tinkami regresinei analizei, buvo atliktas stacionarumo tyrimas. Atliekant šį tyrimą, naudotas ADF (Augmented Dickey–Fuller) vienetinių šaknų metodas taikant tris modelio specifikacijos:

1. be poslinkio ir trendo;
2. su poslinkiu;
3. su poslinkiu ir trendu.

Atitikus stacionarumo kriterijui ($p < 0,05$) kintamasis laikomas stacionariu. Kintamiesiems, kurie pasirodė nestacionarūs, buvo taikytas diferencijavimas. Rezultatai pateikiami 17 ir 18 lentelėse, kuriose žymima:

- $I(0)$ – stacionarūs kintamieji;
- $I(1)$ – vieną kartą diferencijuoti kintamieji tampa stacionarūs.

17 lentelė. Vienetinių šaknų metodo rezultatai (tikimybės ir integruotumas) Lietuvoje (sudaryta autorės)

Laiko eilutės reikšmės	Modelis			Laiko eilutės integruotumas
	<i>Neįtraukus poslinkio ir trendo</i>	<i>Įtraukus poslinkį</i>	<i>Įtraukus poslinkį ir trendą</i>	
<i>Instaliuota vėjo energijos galia</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,9998	0,9998	0,9996	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0304			
<i>Elektros energijos gamyba</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,9828	0,9652	0,2955	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0144			
<i>Nedarbo lygis</i>				I(0)
Nediferencijuotos	0,0009			
<i>BVP vienam gyventojui</i>				I(1)
Nediferencijuotos	1,0000	0,9999	0,9982	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0057			
<i>Infliacijos lygis</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,1673	0,3048	0,3060	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0005			
<i>Atsinaujinančios energijos dalis</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,9991	0,9693	0,8865	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0001			
<i>Energijos našumas</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,9960	0,9411	0,7246	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0002			
<i>Priklausomybė nuo energijos importo</i>				
Nediferencijuotos	0,0640	0,9111	0,7582	I(1)
Diferencijuotos 1 kartą	0,0015			
<i>Grynasis vidaus ŠESD išmetimas</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,8928	0,4039	0,9959	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0003			

Lietuvos duomenų stacionarumo tyrimo rezultatai rodo, kad nedarbo lygio kintamojo tikimybė pradiniam procese yra mažesnė už 0,05, hipotezė H_0 atmetama ir laikoma, kad kintamasis yra stacionarus. Likusių nagrinėjamų kintamųjų apskaičiuotos tikimybės reikšmės didesnės už 0,05, H_0 priimama ir laikoma, kad pradinis procesas nestacionarus, bet pirmos eilės integruotas procesas gali būti stacionarus. Dėl šios priežasties kintamuosius diferencijavus vieną kartą, jų reikšmės tampa mažesnės nei 0,05, tad likusieji kintamieji yra pirmos eilės integruoti procesai.

18 lentelė. Vienetinių šaknų metodo rezultatai (tikimybės ir integruotumas) Danijoje (sudaryta autorės)

Laiko eilutės reikšmės	Modelis			Laiko eilutės integruotumas
	<i>Neįtraukus poslinkio ir trendo</i>	<i>Įtraukus poslinkį</i>	<i>Įtraukus poslinkį ir trendą</i>	
<i>Instaliuota vėjo energijos galia</i>				I(0)
Nediferencijuotos	0,9993	0,8998	0,0434	
<i>Elektros energijos gamyba</i>				I(0)
Nediferencijuotos	0,9859	0,7261	0,0413	
<i>Nedarbo lygis</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,0599	0,7065	0,6853	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0044			
<i>BVP vienam gyventojui</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,9963	0,9763	0,7100	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0364			
<i>Infliacijos lygis</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,1416	0,2379	0,4023	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0004			
<i>Atsinaujinančios energijos dalis</i>				I(0)
Nediferencijuotos	0,9720	0,8221	0,0414	
<i>Energijos našumas</i>				I(1)
Nediferencijuotos	1,0000	0,9712	0,8515	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0001			
<i>Priklausomybė nuo energijos importo</i>				I(1)
Nediferencijuotos	0,0880	0,8770	0,3137	
Diferencijuotos 1 kartą	0,0058			
<i>Grynasis vidaus ŠESD išmetimas</i>				I(0)
Nediferencijuotos	0,0020			

Tuo tarpu atlikus Danijos kintamųjų stacionarumo tyrimą, pastebima, kad instaliuotos vėjo energijos galios ($p = 0,0434$), elektros energijos gamybos ($p = 0,0413$), atsinaujinančios energijos dalies bendrame galutiniame suvartojime ($p = 0,0414$) bei grynojo vidaus ŠESD išmetimo ($p = 0,0020$) apskaičiuotos reikšmės mažesnės už 0,05, dėl to hipotezė H_0 atmetama ir laikoma, kad šie kintamieji stacionarūs. Likusieji kintamieji (nedarbo lygis, BVP vienam gyventojui, infliacijos lygis, energijos našumas ir priklausomybė nuo energijos importo) diferencijuoti vieną kartą ir pripažinti pirmos eilės integruotais procesais.

Atlikus kintamųjų pasiskirstymo pagal normalųjį skirstinį ir stacionarumo vertinimą, nustatyta, kad didžioji dalis tiriamų rodiklių yra pirmos eilės integruoti procesai ir atitinka I(1) integruotumo lygį. Lietuvos atveju abu priklausomi kintamieji priskiriami I(1) procesams, o tai rodo, kad analizuojamu laikotarpiu jų reikšmės pasižymi ilgalaikėmis kitimo tendencijomis. Tuo tarpu Danijoje abu priklausomi kintamieji atitinka I(0) integruotumo lygį, kas leidžia daryti prielaidą apie stabilesnę ir brandesnę vėjo energetikos sektoriaus struktūrą.

4.2.2. Koreliacinė analizė

Siekiant nustatyti statistinius ryšius tarp priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų bei įvertinti jų tinkamumą tolesnei regresinei analizei atlikti, atliekama koreliacinė analizė. Analizuojamos Lietuvos ir Danijos laiko eilučių koreliacijos, naudojant tuos kintamuosius, kurie atitiko normalumo ir stacionarumo reikalavimus.

Lietuvos duomenų koreliacinė matrica pateikta 19 lentelėje. Rezultatai parodė, kad tarp dviejų pagrindinių priklausomų kintamųjų – instaliuotos vėjo energijos galios ir elektros energijos gamybos nustatyta statistiškai reikšminga priklausomybė ($r = 0,569$; $p < 0,042$), patvirtinanti, kad generavimo pajėgumų plėtra glaudžiai susijusi su gamybos apimčių didėjimu.

19 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatų suvestinė (Pirsono koreliacijos koeficientai ir tikimybė), Lietuva (sudaryta autorės)

		Instaliuota vėjo energijos galia	Elektros energijos gamyba
Instaliuota vėjo energijos galia	Pirsono koreliacijos koeficientas	1	0,569*
	<i>p</i> -reikšmė		0,042
Elektros energijos gamyba	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,569*	1
	<i>p</i> -reikšmė	0,042	
BVP vienam gyventojui	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,693**	0,153
	<i>p</i> -reikšmė	0,009	0,618
Atsinaujinančios energijos dalis	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,563*	0,415
	<i>p</i> -reikšmė	0,045	0,159
Energinis našumas	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,181	-0,218
	<i>p</i> -reikšmė	0,555	0,474
Priklausomybė nuo energijos importo	Pirsono koreliacijos koeficientas	-0,480	-0,559*
	<i>p</i> -reikšmė	0,097	0,047
Grynasis vidaus ŠESD išmetimas	Pirsono koreliacijos koeficientas	-0,454	-0,133
	<i>p</i> -reikšmė	0,119	0,664
Nedarbo lygis	Pirsono koreliacijos koeficientas	-0,272	-0,104
	<i>p</i> -reikšmė	0,368	0,736
Infliacijos lygis	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,055	-0,442
	<i>p</i> -reikšmė	0,859	0,130

*. Koreliacija reikšminga 0,05 lygmeniu.

**. Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu.

Analizuojant likusius kintamųjų ryšius nustatyta:

- BVP vienam gyventojui nustatytas vidutinis ryšys su instaliuota vėjo energijos galia ($r = 0,693$; $p < 0,01$), tuo tarpu su vėjo elektros energijos gamyba nustatytas silpnas ryšys ($r = 0,153$; $p > 0,05$). Statistiškai reikšmingas ryšys su instaliuota vėjo energijos galia leidžia daryti prielaidą, kad geresnė ekonominė situacija sudaro palankesnes sąlygas investicijoms į vėjo energetiką.
- Atsinaujinančios energijos dalis taip pat teigiamai ir reikšmingai siejasi su instaliuotos vėjo energijos galios augimu, nustatytas vidutinis ryšys ($r = 0,563$; $p < 0,05$), patvirtinant, kad atsinaujinančios energijos išteklių plėtra Lietuvoje tiesiogiai susijusi su vėjo energijos sektoriaus augimu.

- Priklausomybės nuo energijos importo rodikliai labiau siejasi su vėjo energijos gamybos pokyčiais: didėjanti gamyba reikšmingai koreliuoja su mažėjančia priklausomybe nuo energijos importo ($r = -0,559$; $p < 0,05$).
- Tarp grynojo vidaus ŠESD dujų išmetimo ir instaliuotos vėjo energijos galios rodiklių nustatytas neigiamas silpnas ryšys ($r = -0,454$), leidžia daryti prielaidą, kad didėjant instaliuotai vėjo energijos galiai, emisijų lygis ilgainiui gali mažėti.
- Tuo tarpu, tokių rodiklių kaip energijos našumo, nedarbo lygio ir infliacijos lygio su abiejų priklausomų kintamųjų rodikliais nustatytas labai silpnas arba silpnas ryšys.

Lietuvos koreliacinė analizė atskleidė, kad Lietuvos vėjo energetikos plėtra yra glaudžiausiai susijusi su ekonomikos augimu, energetikos sistemos transformacija bei klimato kaitos švelninimo procesais, o trumpalaikiai makroekonominiai svyravimai koreliuoja silpnai.

Danijos koreliacinė matrica pateikta 20 lentelėje. Kaip ir Lietuvoje, Danijoje nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp instaliuotos vėjo energijos galios ir elektros gamybos ($r = 0,950$; $p < 0,001$). Tai rodo, kad energijos generavimo pajėgumų plėtra siejasi su gamybos apimčių didėjimu.

20 lentelė. Koreliacinės analizės rezultatų suvestinė, Danija (sudaryta autorės)

		Instaliuota vėjo energijos galia	Elektros energijos gamyba
Instaliuota vėjo energijos galia	Pirsono koreliacijos koeficientas	1	0,950**
	<i>p</i> -reikšmė		0,001
Elektros energijos gamyba	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,950**	1
	<i>p</i> -reikšmė	0,001	
BVP vienam gyventojui	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,349	0,262
	<i>p</i> -reikšmė	0,242	0,387
Atsinaujinančios energijos dalis	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,969**	0,937**
	<i>p</i> -reikšmė	0,001	0,001
Energijos našumas	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,094	0,257
	<i>p</i> -reikšmė	0,760	0,396
Priklausomybė nuo energijos importo	Pirsono koreliacijos koeficientas	-0,098	-0,201
	<i>p</i> -reikšmė	0,751	0,510
Grynasis vidaus ŠESD išmetimas	Pirsono koreliacijos koeficientas	-0,948**	-0,983**
	<i>p</i> -reikšmė	0,001	0,001
Nedarbo lygis	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,085	0,174
	<i>p</i> -reikšmė	0,783	0,569
Infliacijos lygis	Pirsono koreliacijos koeficientas	0,139	0,152
	<i>p</i> -reikšmė	0,650	0,621

** . Koreliacija reikšminga 0,01 lygmeniu.

Vertinant Danijos koreliacinius kintamųjų ryšius, nustatyta:

- Atsinaujinančios energijos dalis nustatytas labais stiprus ryšys su instaliuotais vėjo energijos galia ($r = 0,969$; $p < 0,001$) ir vėjo elektros energijos gamybos apimtimi ($r = 0,937$; $p < 0,001$). Šie rezultatai atskleidžia, kad Danijos energetikos struktūroje vėjo energija yra pagrindinė atsinaujinančių išteklių augimo varomoji jėga.
- Reikšmingas ryšys nustatytas tarp grynojo vidaus ŠESD išmetimo ir instaliuotos vėjo energijos galios ($r = -0,948$; $p < 0,001$). Tai rodo, kad Danijos vėjo energetikos plėtra yra

tiesiogiai susijusi su nacionaliniais klimato politikos rezultatais – kuo daugiau vėjo energijos integruojama, tuo labiau mažėja tarša. Dar stipresnė koreliacija fiksuota tarp vėjo energijos gamybos ir grynojo vidaus ŠESD išmetimo pokyčių ($r = -0,983$; $p < 0,001$), kas leidžia daryti prielaidą apie reikšmingą vėjo energetikos indėlį emisijų mažinimui.

- Tuo tarpu tarp rodiklių (BVP vienam gyventojui, energijos našumo, priklausomybės nuo energijos importo, nedarbo lygio ir infliacijos lygio) statistiškai reikšmingų sąsajų nei su instaliuota galia, nei su gamybos pokyčiais neturėjo (nustatytas labai silpnas arba silpnas ryšys). Tai leidžia daryti prielaidą, kad Danijos vėjo energetikos plėtra yra glaudžiau susijusi su ilgalaikė energetikos politika, technologiniu progresu ir klimato strategijomis, o ne su trumpalaikiais makroekonominiais svyravimais.

Atlikus Lietuvos ir Danijos kintamųjų koreliacinę analizę, nustatyta, kad šalių vėjo energetikos sektoriai pasižymi skirtingu integracijos lygiu į platesnę ekonominę, energetinę ir aplinkosauginę sistemą. Lietuvoje reikšmingi koreliaciniai ryšiai fiksuojami tik tarp dalies ekonominių, energetinių ir aplinkosauginių rodiklių, o tai rodo, kad vėjo energetikos sektoriaus plėtra vis dar yra aktyvaus formavimosi etape. Tuo tarpu Danijoje nustatyti nuoseklūs ir statistiškai reikšmingi ryšiai tarp vėjo energetikos, atsinaujinančių energijos išteklių dalies ir ŠESD emisijų, atspindintys brandžią energetikos transformacijos struktūrą. Kadangi koreliacinė analizė leidžia įvertinti tik ryšių kryptį ir stiprumą, tačiau neatskleidžia priežastinių sąsajų, toliau atliekama regresinė analizė, siekiant empiriškai įvertinti nepriklausomųjų kintamųjų įtaką vėjo energetikos sektoriaus plėtrai.

4.3. Regresinės analizės rezultatai

Atlikus normalumo ir stacionarumo tyrimus bei koreliacinę analizę, šiame skyriuje atliekama regresinė analizė, siekiant nustatyti nepriklausomųjų kintamųjų įtaką priklausomiems rodikliams – instaliuotai vėjo energijos galiai ir vėjo elektros energijos gamybai. Regresijos modeliai sudaromi abiem šalims (Lietuvai ir Danijai) atskirai, siekiant palyginti struktūrinius skirtumus. Prieš kuriant tiesinius regresijos modelius, papildomai reikia įvertinti daugiakolinearumą tarp nepriklausomųjų kintamųjų. Kadangi siekiama atlikti patikimą regresijos analizę, tai į analizę traukiami stacionarūs kintamieji (atitinkantys $I(0)$ ir $I(1)$ integruotumo lygį). Diaugiakolinearumui nustatymui pasirinktas dispersijos mažėjimo daugiklio (VIF) metodas, kurio rezultatai pateikiami 21 lentelėje. Jei $VIF > 5$, daugiakolinearumas egzistuoja ir tokiu atveju tokie kintamieji į galutinį regresijos modelį netraukiami.

21 lentelė. Dispersijos mažėjimo daugikliu (VIF) metodo rezultatai, Lietuva ir Danija (sudaryta autorės)

	Lietuva	Danija
	VIF koeficientas	VIF koeficientas
BVP vienam gyventojui	3,208	8,804
Atsinaujinančios energijos dalis	1,607	13,373
Energijos našumas	9,296	4,892
Priklausomybė nuo energijos importo	2,302	1,799
Grynasis vidaus ŠESD išmetimas	14,934	13,500
Nedarbo lygis	3,280	6,352
Infliacijos lygis	2,441	10,298

Atlikus Lietuvos nepriklausomųjų kintamųjų VIF testą, nustatyta, kad du kintamieji – grynasis vidaus ŠESD išmetimas ($VIF = 14,934$) ir energijos našumas ($VIF = 9,296$) pasižymi per dideliu

daugiakolinearumo lygiu. Dėl to šie rodikliai į galutinį regresijos modelį nebus traukiami. Lietuvos regresijos modeliai bus kuriami su likusiais kintamaisiais.

Vertinant Danijos VIF testo rezultatus pastebėta, kad į galutinius regresijos modelius galima įtraukti energijos našumo ($VIF = 4,892$) ir priklausomybės nuo energijos importo ($VIF = 1,799$) rodiklius. Tuo tarpu likusių rodiklių VIF koeficiento reikšmės didesnės už 5, dėl šios priežasties nebus įtraukti į galutinius Danijos regresijos lygties modelius.

Regresijos modelių sudarymui naudojami šie kintamieji:

- y_1 – instaliuota vėjo energijos galia;
- y_2 – elektros energijos gamyba;
- x_1 – BVP vienam gyventojui;
- x_2 – atsinaujinančios energijos dalis;
- x_3 – energijos našumas;
- x_4 – priklausomybė nuo energijos importo;
- x_5 – grynasis vidaus ŠESD išmetimas;
- x_6 – nedarbo lygis;
- x_7 – infliacijos lygis.

4.3.1. Lietuvos regresinė analizė

Kadangi tyrimui pasirinkti du priklausomi kintamieji, tad bus kuriami taip pat du regresijos modeliai. Abiejų modelių nepriklausomi kintamieji (x_1 , x_1 , x_4 , x_6 ir x_7). Kaip jau buvo minėta, nepriklausomi kintamieji x_3 ir x_5 buvo atmesti dėl daugiakolinearumo. Pirmasis regresijos modelis sudarytas siekiant nustatyti, kokie veiksniai lemia instaliuotos vėjo energijos galios pokyčius Lietuvoje. Kadangi vėjo energetikos plėtra yra glaudžiai susijusi su šalies ekonominiu pajėgumu, investicine aplinka ir energetinės nepriklausomybės siekiais, svarbu įvertinti, kaip pagrindiniai makroekonominiai rodikliai ir energetinės struktūros pokyčiai prisideda prie šio sektoriaus vystymosi. 22 ir 23 lentelėse pateikti modelio apibendrinamieji rodikliai ir regresijos koeficientai leidžia įvertinti šių veiksnių reikšmingumą ir nustatyti, kurie iš jų turi didžiausią įtaką Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus raidai.

22 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai^b kintamajam y_1 , Lietuva (sudaryta autorės)

Modelis	R	R ²	F (p)	Standartinė paklaida	Durbin-Watson koeficientas
1	0,871 ^a	0,758	0,151	70,247	1,860

a. Prognozuojantys kintamieji: x_1 , x_2 , x_4 , x_6 , x_7

b. Priklausomas kintamasis: y_1

Modelio determinacijos koeficientas ($R^2 = 0,758$) rodo, kad į modelį įtraukti nepriklausomi kintamieji paaiškina 75,8 % instaliuotos vėjo energijos galios pokyčių Lietuvoje. Tačiau F testo rezultatai ($p = 0,151 > 0,05$) leidžia teigti, kad regresijos modelis nėra statistiškai reikšmingas, todėl nėra pagrindo atmesti nulinės hipotezės. Tai vadinasi, kad šiame tyrime nebuvo nustatyta statistiškai patikimų ryšių tarp nagrinėtų veiksnių bei instaliuotos vėjo energijos galios pokyčių Lietuvoje. Tuo tarpu gauti rezultatai (Durbin–Watson = 1,860) leidžia teigti, kad autokoreliacijos nenustatyta.

23 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y1, Lietuva (sudaryta autorės)

Modelis	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t	p
	B	Std. paklaida	Beta		
1 (Konstanta)	-83,266	47,298		-1,760	0,122
x1	0,096	0,030	0,793	3,186	0,015
x2	48,803	24,462	0,437	1,995	0,086
x4	2,001	16,064	0,030	0,125	0,904
x6	-6,785	17,789	-0,078	-0,381	0,714
x7	-5,914	5,107	-0,302	-1,158	0,285

Pagal pirmojo modelio apskaičiuotus koeficientus ir pagal 1 formulę sudaryta regresijos lygtis:

$$y1 = -83,266 + 0,096 * x1 + 48,803 * x2 + 2,001 * x4 - 6,785 * x6 - 5,914 * x7;$$

čia y1 – instaliuota vėjo energijos galia; x1 – BVP vienam gyventojui; x2 – atsinaujinančios energijos dalis; x4 – priklausomybė nuo energijos importo; x6 – nedarbo lygis; x7 – infliacijos lygis.

Remiantis 23 lentelėje gautais rezultatais, nustatyta, kad BVP vienam gyventojui (x1) turi statistiškai reikšmingą ir teigiamą poveikį instaliuotos vėjo energijos galios kintamajam (p = 0,015). Tai leidžia daryti prielaidą, kad didėjant BVP vienam gyventojui, instaliuotos vėjo energijos galios (y1) apimtys taip pat didėja. Pastebima, kad atsinaujinančios energijos dalies bendrame galutiniame energijos suvartojime kintamojo reikšmingumas yra arti reikšmingumo ribinės reikšmės (p = 0,086), tai leidžia daryti prielaidą, kad atsinaujinančios energijos dalis (x2) gali būti potencialiai svarbus veiksnys, tačiau jo poveikis šiame modelyje nėra statistiškai patvirtintas. Tuo tarpu priklausomybės nuo energijos importo (x4), nedarbo lygio (x6) ir infliacijos lygio (x7) poveikis nėra statistiškai reikšmingas (p > 0,05), todėl nėra pakankamo pagrindo teigti, kad šie veiksniai turi reikšmingą įtaką instaliuotos vėjo energijos galios pokyčiams.

Antrajame regresijos modelyje siekiama įvertinti, kaip makroekonominiai ir energetiniai veiksniai lemia elektros energijos gamybos pokyčius Lietuvoje. Nors elektros gamyba priklauso nuo įvairių technologinių ir gamtinių sąlygų, ekonominė aplinka bei energetinės struktūros rodikliai taip pat gali daryti reikšmingą įtaką sektoriaus dinamikai. Todėl šiame modelyje analizuojami tokie kintamieji kaip BVP vienam gyventojui (x1), atsinaujinančios energijos dalis (x2), priklausomybė nuo energijos importo (x4), nedarbo lygis (x6) ir infliacijos lygis (x7), siekiant išsiaiškinti, ar šie rodikliai paaiškina elektros energijos gamybos svyravimus. 24 ir 25 lentelėse pateikiami modelio apibendrinamieji rodikliai ir kintamųjų poveikio įverčiai leidžia įvertinti, koku mastu ekonominė ir energetinė aplinka prisideda prie šalies elektros gamybos tendencijų formavimo.

24 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai^b kintamajam y2, Lietuva (sudaryta autorės)

Modelis	R	R ²	F (p)	Standartinė paklaida	Durbin-Watson koeficientas
1	0,716 ^a	0,513	0,648	332,291	2,044

a. Prognozuojantys kintamieji: x1, x2, x4, x6, x7

b. Priklausomas kintamasis: y2

Pagal 24 lentelėje pateikiamus gautus antrojo modelio rezultatus matoma, kad koeficientas R = 0,716, kuris rodo pakankamai stiprų ryšį tarp pasirinktų nepriklausomųjų kintamųjų (x1, x2, x4, x6, x7) ir elektros gamybos masto Lietuvoje. Nors determinacijos koeficientas (R² = 0,513) rodo, kad modelis paaiškina reikšmingą dalį elektros energijos gamybos, F testo rezultatai (p = 0,648 > 0,05) leidžia

teigti, kad modelis nėra statistiškai reikšmingas, todėl nėra pagrindo atmesti nulinės hipotezės. Determinacijos koeficientas parodo, kad maždaug 51 proc. elektros energijos gamybos pokyčių gali būti paaiškinti šiame modelyje naudojamais kintamaisiais. Tu tarpu Durbin–Watson statistika (koeficientas = 2,044) rodo, kad autokoreliacijos nėra.

25 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y_2 , Lietuva (sudaryta autorės)

Modelis	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t	p	Kolinearumo statistika	
	B	Std. paklaida	Beta			Tolerancija	VIF
1 (Konstanta)	14,107	191,149		0,074	0,943		
	0,096	0,122	0,282	0,789	0,456	0,557	1,795
x1	39,761	98,861	0,126	0,402	0,700	0,720	1,388
x2	-53,536	64,920	-0,290	-0,825	0,737	0,577	1,734
x4	35,712	71,891	0,145	0,497	0,635	0,835	1,197
x6	-24,199	20,641	-0,439	-1,172	0,279	0,507	1,974
x7							

Remiantis atliktu regresijos antruoju modeliu ir panaudojant apskaičiuotas reikšmes bei naudojant 1 formulę, galima sudaryti regresijos lygtį:

$$y_2 = 14,107 + 0,096 \cdot x_1 + 39,761 \cdot x_2 - 53,536 \cdot x_4 + 35,712 \cdot x_6 - 24,199 \cdot x_7;$$

čia y_2 – elektros energijos gamyba; x_1 – BVP vienam gyventojui; x_2 – atsinaujinančios energijos dalis; x_4 – priklausomybė nuo energijos importo; x_6 – nedarbo lygis; x_7 – infliacijos lygis.

Analizės rezultatai rodo, kad nė vienas iš modelyje naudojamų kintamųjų – BVP vienam gyventojui (x_1), atsinaujinančios energijos dalis (x_2), priklausomybė nuo energijos importo (x_4), nedarbo lygis (x_6) ir infliacijos lygis (x_7) – neturi statistiškai reikšmingo poveikio elektros gamybai (visų p reikšmės $> 0,05$). Visi standartizuoti koeficientai (beta) yra gana maži, o tai rodo, kad kintamųjų įtaka elektros gamybos pokyčiams yra silpna. Kadangi nė vienas iš nagrinėtų kintamųjų nebuvo statistiškai reikšmingas, šiame tyrime nebuvo nustatyta patikimų statistinių ryšių tarp makroekonominių ir energetinių rodiklių bei elektros energijos gamybos apimčių Lietuvoje. Tai leidžia daryti prielaidą, kad elektros gamybos pokyčius gali labiau lemti technologiniai, gamtiniai ar rinkos veiksniai, kurie nėra tiesiogiai įtraukti į šį modelį.

4.3.2. Danijos regresinė analizė

Analizuojant Danijos vėjo energetikos sektorių, pirmasis regresijos modelis sudaromas siekiant įvertinti, ar pagrindiniai makroekonominiai ir energetiniai veiksniai gali paaiškinti šalies įdiegtos vėjo energijos galios pokyčius. Danija yra viena iš pasaulio lyderių vėjo energetikos srityje, o jos sektoriaus plėtra vyksta jau kelis dešimtmečius, todėl svarbu nustatyti, ar tokie rodikliai kaip energijos našumas (x_3) ir priklausomybė nuo energijos importo (x_4) išlieka reikšmingi šios brandžios energetikos sistemoje. 26 ir 27 lentelėse pateikiami modelio apibendrinamieji rodikliai ir kintamųjų įverčiai leidžia įvertinti, kiek šie veiksniai paaiškina vėjo energetikos plėtros tendencijas.

26 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai^b kintamajam y_1 , Danija (sudaryta autorės)

Modelis	R	R ²	F (p)	Standartinė paklaida	Durbin-Watson koeficientas
1	0,114 ^a	0,013	0,936	-0,184	0,179

a. Prognozuojantys kintamieji: x_1 , x_2 , x_4 , x_6 , x_7

b. Priklausomas kintamasis: y_2

Modelio determinacijos koeficientas ($R^2=0,013$) rodo, kad šis regresijos modelis paaiškina tik labai nedidelę dalį instaliuotos vėjo energijos galios pokyčių Danijoje. F testo rezultatai ($p = 0,936 > 0,05$) patvirtina, kad regresijos modelis nėra statistiškai reikšmingas, todėl nėra pagrindo atmesti nulinės hipotezės. Tai vadinasi, kad analizuojamu laikotarpiu pasirinkti makroekonominiai ir energetiniai veiksniai nepaaiškina statistiškai reikšmingų instaliuotos vėjo energijos galios pokyčių Danijoje. Durbin–Watson reikšmė (0,179) rodo labai didelę autokoreliaciją.

27 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y_1 , Danija (sudaryta autorės)

Modelis	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t	p	Kolinearumo statistika	
	B	Std. paklaida	Beta			Tolerancija	VIF
1	5489,451	655,771		8,371	0,001		
(Konstanta)	211,499	1115,743	0,065	0,190	0,853	0,834	1,199
x3	-9,663	46,857	-0,071	-0,206	0,841	0,834	1,199
x4							

Pagal pirmojo modelio apskaičiuotus koeficientus bei 1 formulę, sudaryta regresijos lygtis:

$$y_1 = 5489,451 + 211,499 * x_3 - 9,663 * x_4;$$

čia y_1 – instaliuota vėjo energijos galia; x_3 – energijos našumas; x_4 – priklausomybė nuo energijos importo.

Kadangi modelis statistiškai nereikšmingas, dėl to ši lygtis nepateikia praktiškai interpretuojamo ryšio, dėl to lygtis šiame tyrime neleidžia pagrįstai interpretuoti nepriklausomųjų kintamųjų poveikio instaliuotos vėjo energijos galios pokyčiams. 27 lentelėje pateikiami regresijos koeficientai taip pat patvirtina, kad nei energijos našumas (x_3), nei priklausomybė nuo energijos importo (x_4) neturi statistiškai reikšmingo poveikio Danijos instaliuotai vėjo energijos galiai.

Antrajame regresijos modelyje analizuojama, koku mastu makroekonominiai ir energetiniai veiksniai paaiškina Danijos elektros energijos gamybos pokyčius. Nors Danija pasižymi itin aukštu atsinaujinančios energetikos integracijos lygiu ir brandžia energetikos infrastruktūra, svarbu įvertinti, ar tokie rodikliai kaip energijos našumas (x_3) ir priklausomybė nuo energijos importo (x_4) tebėra susiję su šalies elektros gamybos dinamika. Šis modelis leidžia nustatyti, ar makroekonominė aplinka vis dar yra susijusi su elektros gamyba brandžiam energetikos sektoriuje, ar gamybos pokyčiai siejasi su kitokio pobūdžio veiksniais. 28 ir 29 lentelėse pateikti modelio apibendrinamieji rodikliai ir kintamųjų koeficientai leidžia įvertinti šių veiksmų reikšmingumą ir nustatyti jų sąsajas su Danijos elektros energijos gamybos raida.

28 lentelė. Regresijos analizės apibendrinamieji koeficientai^b kintamajam y_2 , Danija (sudaryta autorės)

Modelis	R	R ²	F (p)	Standartinė paklaida	Durbin-Watson koeficientas
1	0,278 ^a	0,077	0,669	-0,107	0,237

a. Prognozuojantys kintamieji: x_1 , x_2 , x_4 , x_6 , x_7

b. Priklausomas kintamasis: y_2

Antrasis Danijos regresijos modelis, kuriuo aiškinama elektros energijos gamyba (y_2), parodė, kad energijos našumas (x_3) ir priklausomybė nuo energijos importo (x_4) labai nežymiai siejasi su elektros gamybos pokyčiais šalyje. Determinacijos koeficientas $R^2=0,077$, tai rodo, kad modelis paaiškina tik apie 7,7 % šalies vėjo elektros gamybos pokyčius lemia energijos našumo ir priklausomybės nuo energijos importo rodikliai. F testo rezultatai ($p = 0,669 > 0,05$) rodo, kad regresijos modelis nėra

statistiškai reikšmingas, todėl nėra pagrindo atmesti nulinės hipotezės. Tuo tarpu Durbin–Watson statistika (0,237) rodo itin stiprią autokoreliaciją.

29 lentelė. Regresinės analizės koeficientai kintamajam y_2 , Danija (sudaryta autorės)

Modelis	Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t	p	Kolinearumo statistika	
	B	Std. paklaida	Beta			Tolerancija	VIF
1	13108,909	1761,484		7,442	0,001		
(Konstanta)	1893,266	2997,025	0,210	0,632	0,542	0,834	1,199
x3	-43,677	125,863	-0,115	-0,347	0,736	0,834	1,199
x4							

Gauti rezultatai, pateikti 29 lentelėje, rodo, kad energijos našumo (x3) ir priklausomybės nuo energijos importo (x4) rodikliai analizuojamu laikotarpiu neparodė statistiškai reikšmingo ryšio su elektros energijos gamybos pokyčiais Danijoje ($p > 0,05$). Tai leidžia daryti prielaidą, kad pasirinkto laikotarpio ir taikytos modelio specifikacijos kontekste šie veiksniai neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos elektros gamybos apimtims. Vis dėlto tokie rezultatai interpretuojami atsargiai, atsižvelgiant į analizuojamo laikotarpio trukmę, pasirinktų kintamųjų ribotumą ir aukštą Danijos energetikos sistemos brandos lygį.

30 lentelė. Lietuvos ir Danijos regresinės analizės modelių reikšmingumo koeficientai

Šalis	Modelis	Determinacijos koeficientas R^2	F (p)
Lietuva	Instaliuotos vėjo energijos galios modelis	0,758	0,151
	Vėjo elektros energijos gamybos modelis	0,513	0,648
Danija	Instaliuotos vėjo energijos galios modelis	0,013	0,936
	Vėjo elektros energijos gamybos modelis	0,077	0,669

Atlikta regresinė analizė aiškiai parodė, kad vėjo energetikos raida Lietuvoje ir Danijoje atspindi skirtingą šių šalių energetikos sistemų brandą, struktūrą ir plėtros pokyčius. Lietuvoje vėjo energetikos augimas glaudžiai susijęs su bendrais ekonomikos ir energetikos rodikliais. Pirmasis regresijos modelis pasižymėjo didele paaiškinamąja galia – daugiau nei trys ketvirtadaliai instaliuotos vėjo energijos galios pokyčių gali būti aprašomi į modelį įtrauktais makroekonominiais ir energetiniais rodikliais, tokiais kaip BVP vienam gyventojui ir atsinaujinančios energijos dalis. Tai leidžia daryti prielaidą, kad Lietuvos vėjo energetikos sektorius vis dar yra intensyvios formavimosi ir plėtros etape, dėl to sektoriaus dinamika išlieka jautri tiek ekonominėms, tiek energetinėms politikos permainoms. Danijos situacija visiškai kitokia. Regresiniai modeliai šiai šaliai nepasižymėjo statistiniu reikšmingumu – nė vienas tirtas kintamasis nebuvo statistiškai reikšmingas nei instaliuotai vėjo energijos galiai, nei vėjo elektros energijos gamybai. Tai leidžia manyti, kad Danijos vėjo energetikos plėtra analizuojamu laikotarpiu nėra statistiškai patikimai paaiškinama nagrinėtais makroekonominiais rodikliais, tokiais kaip energijos našumas ar energijos importo priklausomybė. Gauti rezultatai gali atspindėti brandžios ir stabiliai veikiančios Danijos energetikos sistemos ypatumus, kurioje vėjo energetika jau yra plačiai integruota ir remiasi ilgalaikiais, nuosekliais politiniais sprendimais. Apibendrinant galima teigti, kad Lietuva ir Danija yra skirtinguose vėjo energetikos sektoriaus raidos etapuose. Lietuva dar kuria ir stiprina šio sektoriaus infrastruktūrą, o Danija jau pasiekė aukštą brandos lygį, todėl jos plėtros logika paremta visai kitais veiksniais nei Lietuvos atveju. Reikia pažymėti, kad gauti rezultatai priklauso nuo pasirinkto

analizuojamo laikotarpio, naudotų kintamųjų rinkinio ir taikytų ekonometrinių metodų, todėl alternatyvūs modeliai ar ilgesnio laikotarpio duomenys galėtų atskleisti papildomas sąsajas.

4.4. Turinio analizės rezultatai

Turinio analizė atlikta siekiant papildyti kiekybinio tyrimo rezultatus platesniu sektoriaus vertinimu ir identifikuoti tuos išorės aplinkos veiksnius, kurie yra labiausiai reikšmingi Lietuvos vėjo energetikos plėtrai, tačiau nėra tiesiogiai išreiškiami statistiniais rodikliais. Analizei buvo renkami ir vertinami viešai prieinami ekspertų komentarai, energetikos bendrovių įžvalgos, Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos ir Lietuvos energetikos agentūros pranešimai bei žiniasklaidos publikacijos. Šaltiniai atrinkti pagal jų aktualumą ir tematiką. Ši turinio analizė leido identifikuoti svarbiausius politinius, teisinius, socialinius, aplinkosauginius ir technologinius veiksnius, susijusius su vėjo energetikos plėtra Lietuvoje.

Politiniai ir teisiniai veiksniai. Analizuotos keturių ekspertų iš „Verslo žinių“, BNS ir Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos įžvalgos vieningai pažymi, kad politinė ir reguliacinė aplinka yra vienas svarbiausių veiksnių, lemiančių vėjo energetikos plėtos tempą Lietuvoje. Dažniausiai išskiriami šie iššūkiai:

1. Reguliacinės aplinkos sudėtingumas ir neaiškumas. Vėjo energetikos sektoriaus plėtrai vis dar kyla iššūkių – „*nuo pat leidimų derinimo iki visuomenės nuogąstavimų dėl naujų vėjo parkų statybos*“ (Verslo žinios, 2025). Taip pat nurodoma, kad siekiant užtikrinti ilgalaikį investicijų patrauklumą yra „*būtina aiški reguliacinė aplinka ir stabilūs politiniai sprendimai*“ (Verslo žinios, 2025).
2. Lėtos ir ilgos administracinės procedūros. Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos (2022) ekspertas nurodo, kad siekiant įgyvendinti projektus susiduriama su leidimų išdavimo kliūtimis bei teigia, kad „*naujų vėjo elektrinių parkų vystymas Lietuvoje užtrunka 36–42 mėnesius*“. Eksperto teigimu, „*vien techninio projekto parengimas gali užtrukti iki 9 mėnesių*“, dėl šios priežasties „*būtina pagreitinoti ir supaprastinti sąlygų išdavimą*“ (Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, 2022).
3. Politinės valios nestabilumas. Energetikos strategijos kryptys kartais keičiasi greičiau nei spėjama įgyvendinti pradėtus projektus, dėl to „*norėtųsi aiškumo ir tokios ilgalaikės ir tęstinės strategijos*“, nes „*nesukelia stiprumo jausmo tiek investuotojams, kad jie galėtų investuoti į tą energetiką*“ ir visa tai mažina investuotojų pasitikėjimą (BNS, 2025).
4. Finansavimo ir paramos sistemos sudėtingumas. BNS (2025) publikacijoje nurodoma, kad investuotojų susidomėjimas atsinaujinančios energijos projektais pastaraisiais metais sumažėjo ir pabrėžia, kad „*įtempta geopolitinė situacija, maža šalies rinka, sumenkusiu susidomėjimu ... bei prastomis skolinimosi sąlygomis*“.
5. Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategija. Teigiama, kad siekiama iki 2050 metų atsinaujinančių išteklių dalį padidinti iki 95 %, bei „*planuojama, kad didžiąją energijos išteklių dalį sudarys būtent vėjo energija*“ (Lietuvos energetikos agentūra, 2025).

Šie veiksniai leidžia teigti, kad teisinė bei politinė aplinka išlieka vienu pagrindinių vėjo energetikos plėtos apribojimų.

Socialiniai ir aplinkosauginiai veiksniai. Išanalizavus Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos publikaciją bei dviejų ekspertų iš Ignitis grupės ir Offshore Wind galima teigti, kad socialinės ir aplinkosauginės nuostatos taip pat turi reikšmingą poveikį sektoriaus plėtrai:

1. Vieša nuomonė dėl vėjo jėgainių. „Kaip rodo 2020 metų pradžioje atlikto gyventojų nuomonės tyrimo duomenys, net 57,4 % gyventojų iš dalie arba labai svarbu, kad verslo įmonės, kurių paslaugas ar prekes jie perka, naudotų iš atsinaujinančių šaltinių pagamintą energiją“ (Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, 2020).
2. Vietos bendruomenių pasipriešinimas. Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos (2020) ekspertas pabrėžia, kad išryškėja vietos bendruomenių nepasitenkinimas dėl triukšmo, poveikio kraštovaizdžiui ar galimo neigiamo poveikio sveikatai, dėl šios priežasties teigia, kad „esame pasiruošę atviram dialogui ir tikimės, kad jis padės rasti visoms šalims priimtinus sprendimus kiekvienoje situacijoje“.
3. Nepakankamas bendruomenių įtraukimas – visuomenės informavimo ir dalyvavimo trūkumas prisideda prie konfliktinių situacijų atsiradimo, dėl to „planuodami ir vystydami vėjo energetikos projektus, matome poreikį [...] įtraukti ir vietos bendruomenes ir jų atstovus“ (Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, 2020).
4. Aplinkosauginiai reikalavimai – sudėtingos poveikio aplinkai vertinimo procedūros, ypač jūrinių vėjo elektrinių projektuose, taip pat pabrėžiama, kad vykdant jūrinio vėjo parko konkursą „gavo indikacijų iš potencialių dalyvių, kad esamas dokumentų pateikimo terminas nepakankamas tinkamai pasirengti konkurso dalyvavimui“ ir „privaloma parengti planuojamos ūkinės veiklos (PŪV) poveikio aplinkai vertinimo (PAV) programą“ (Offshore Wind, 2022; Offshore Wind, 2025).
5. Klimato kaitos švelninimas. Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos (2022) ekspertas akcentuoja, kad vėjo energijos gamybos metu „į aplinką išskiriamas anglies dvideginio kiekis yra itin žemas“, dėl šios priežasties vėjo energetika padeda stabdyti klimato kaitą bei prisideda prie rūšių išsaugojimo. Taip pat Lietuvos vėjo elektrinių asociacijos (2020) ekspertas parėžia, jog „Lietuvoje naudojant iš vėjo pagamintą elektros energiją į aplinką nepatenka bent 0,7 Mt CO₂ per metus“. Ekspertas pabrėžia, kad būtent „šiuolaikinė energetika, įskaitant vėjo jėgainių sektorių“, „turės lemiamą vaidmenį siekiant klimato neutralumo ir stabdant žmonių sukeltą klimato kaitą“ (Ignitis grupė, 2023).
6. Atliekų tvarkymas. Pabrėžiama, kad „žaliavos, iš kurių gaminamos vėjo elektrinių dalys, yra naudojamos ir vertinamos antrinėje rinkoje“. (Lietuvos vėjo elektrinių asociacija, 2020).

Socialiniai veiksniai pasirodo esą vieni svarbiausių praktinių kliūčių, lemiančių projektų tempo lėtėjimą.

Technologiniai veiksniai. Keturi ekspertai iš Ignitis grupės, LRT ir Verslo žinių nuomone, reikšmingiausi technologiniai aspektai Lietuvoje yra šie:

1. Infrastruktūros ribotumai, ypač elektros tinklų pralaidumas, yra vienas didžiausių praktinių iššūkių (Ignitis grupė, 2023). Ekspertas teigia, kad Lietuvai „būtent elektros tinklų plėtra ir jų stabilumo užtikrinimas bus esminis uždavinys“ (LRT, 2025).
2. Skaitmenizavimo ir valdymo sistemų sudėtingumas. Verslo žinių (2025) ekspertas akcentuoja, kad technologinė pažanga yra būtina norint padidinti Lietuvos vėjo energetikos konkurencingumą. Skaitmeninių inovacijų diegimas reikalauja didelių investicijų, pažangių valdymo sprendimų, tačiau tai „leidžia sumažinti eksploatacines išlaidas, padidinti prieinamumą ir kurti patikimesnę bei tvaresnę vėjo energetikos infrastruktūrą“ (Verslo žinios, 2025).

3. Technologinės įrangos brangimas. Kadangi daugelis šalių „*nori įsirengti jūrinius vėjo parkus 2030–2033 metais*“, tai gamyklos gaminančios įrangą „*fiziškai negali padidinti savo pajėgumų*“, dėl šios priežasties brangsta įranga (LRT, 2025a).

Atlikta turinio analizė atskleidė, kad vėjo energetikos plėtrą Lietuvoje lemia tarpusavyje glaudžiai susiję politiniai, teisiniai, socialiniai aplinkosauginiai bei technologiniai veiksniai. Turinio analizė papildė kiekybinį vertinimą ir atskleidžia, kad sektoriaus augimas priklauso nuo nuoseklesnės reguliacinės aplinkos, efektyvesnių leidimų procedūrų, technologinių inovacijų diegimo ir didesnio visuomenės įtraukimo.

4.5. Tyrimo rezultatų interpretavimas ir palyginamumas su moksline literatūra

Atlikti tyrimo rezultatai atskleidė aiškias Lietuvos ir Danijos vėjo energetikos plėtros tendencijas 2010–2023 metų laikotarpiu. Aprašomoji analizė rodo, kad Lietuvoje instaliuota galia ir vėjo energijos gamyba per analizuojamą laikotarpį augo nuosekliai, tačiau ne taip sparčiai kaip Danijoje, kur vėjo energetika jau yra dominuojantis elektros gamybos šaltinis.

Koreliacinė analizė atskleidė aiškius veiksnių ryšius su vėjo energetikos plėtra. Lietuvoje vidutinio stiprumo teigiami koreliaciniai ryšiai nustatyti tarp instaliuotos galios ir BVP vienam gyventojui bei atsinaujinančios energijos dalies. Tuo tarpu nustatytas silpnas ryšys tarp vėjo energijos gamybos ir priklausomybės nuo energijos importo. Šie rezultatai leidžia teigti, kad vėjo energetikos plėtra Lietuvoje yra glaudžiai susijusi su šalies ekonomikos augimu, tačiau energetinės nepriklausomybės stiprinimas nėra tiesioginis šio proceso rezultatas. Silpnas ryšys tarp vėjo energijos gamybos ir priklausomybės nuo energijos importo rodo, kad vėjo energetikos plėtra veikia kaip platesnės energetinės transformacijos dalis, o importo priklausomybės mažėjimą lemia ir kiti struktūriniai veiksniai. Tai sutampa su teorinėje dalyje išdėstytais argumentais, jog mažos šalys, pasižyminčios ribotais vietiniais energijos ištekliais ir didesne priklausomybe nuo energijos importo, yra kur kas jautresnės makroekonominių veiksnių, tokių kaip BVP vienam gyventojui ir atsinaujinančios energijos dalies, poveikiui energetikos sektoriaus plėtrai (Iorember ir kt., 2025; The International Energy Agency, 2022). Analizuojant Danijos rezultatus, nustatytas labai stiprus koreliacinis ryšys tarp instaliuotos vėjo energijos galios, atsinaujinančios energijos dalies ir grynojo vidaus šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo. Tai leidžia teigti, kad Danijoje vėjo energetikos plėtra yra glaudžiai susijusi su klimato kaitos švelninimo tikslais ir emisijų mažinimo politika, o jos dinamika mažiau priklauso nuo trumpalaikių ekonominio augimo veiksnių. Tokios išvados atitinka mokslinėje literatūroje pateikiamas įžvalgas, jog brandžiose energetikos sistemose atsinaujinančių išteklių plėtra dažnai siejama su ilgalaikiais klimato politikos tikslais ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimu (Dirma ir kt., 2025).

Aptariant regresinės analizės rezultatus, pastebima, kad BVP vienam gyventojui ir atsinaujinančios energijos dalis turi statistiškai reikšmingą poveikį vėjo energetikos plėtrai Lietuvoje. Tai leidžia teigti, kad šalies ekonomikos stiprėjimas ir politikos orientacija į tvarius energijos šaltinius yra vieni iš svarbiausių vėjo energetikos sektoriaus plėtros veiksnių. Šie rezultatai sutampa su teorinėmis prielaidomis, kad atsinaujinančių išteklių plėtra priklauso nuo ekonominės aplinkos (Zehri & Mohammed, 2025). Taip pat akcentuojama, kad ekonominiai ir politiniai veiksniai yra vieni iš pagrindinių atsinaujinančios energetikos augimo elementų (Werdhana, 2024; Whittington ir kt., 2020). Danijos regresinės analizės rezultatai rodo, kad nagrinėti makroekonominiai ir energetiniai rodikliai analizuojamu laikotarpiu statistiškai patikimai nepaaiškina vėjo energetikos plėtros. Tai

leidžia manyti, kad brandžioje Danijos energetikos sistemoje sektoriaus plėtrą labiau lemia technologinės inovacijos, ilgalaikiai politiniai sprendimai ir klimato strategijos, o ne trumpalaikiai makroekonominiai svyravimai. Tai apibūdina mokslininkai Werdhana (2024), Twidell'is (2021), teigdami, kad tolesnis augimas priklauso nuo inovacijų, o ne nuo tradicinių makroekonominių rodiklių.

Atlikta turinio analizė papildė kiekybinius rezultatus kokybinėmis išvalgomis. Ekspertai pabrėžė politinio stabilumo, aiškių reguliacinių procesų, vietos bendruomenių pasipriešinimo, tinklų infrastruktūros plėtros ir leidimų išdavimo procedūrų supaprastinimo svarbą Lietuvoje. Šios išvalgos visiškai sutampa su teorinėmis išvalgomis, kuriose nurodoma, kad reguliacinės kliūtys, leidimų tvarkos sudėtingumas, vietos bendruomenių pasipriešinimas ir tinklų ribotumas yra vieni didžiausių vėjo energetikos barjerų Europoje (Iurchenko ir kt., 2024; IRENA, 2025c; European Commission, 2023; Virah-Sawmy & Sturmberg, 2025; Wieliewska ir kt., 2018; Wojtaszek ir kt., 2025).

Tačiau interpretuojant tyrimo rezultatus būtina atsižvelgti į tam tikrus metodologinius apribojimus. Empirinė analizė atlikta remiantis 2010-2023 metų laikotarpiu, todėl gautos išvados yra kontekstinio pobūdžio ir atspindi būtent šio laikotarpio ekonomines ir energetikos sektoriaus raidos sąlygas. Pasikeitus analizuojamam laikotarpiui, nustatyti ryšiai ir regresinės analizės gauti rezultatai galėtų kisti. Be to, tyrimas orientuotas tik į dvi šalis – Lietuvą ir Daniją, todėl gautos išvados būdingos šioms valstybėms ir negali būti tiesiogiai apibendrinamos visos Europos Sąjungos mastu.

Apibendrinant galima teigti, kad tyrimo rezultatai patvirtina 2 skyriuje aptartus teorinius teiginius, kad vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemia ekonominiai, technologiniai ir politiniai veiksniai, jų poveikis yra sisteminis bei tarpusavyje susijęs, o valstybės energetikos politika išlieka pagrindiniu elementu, ypač mažesnėse rinkose, tokiose kaip Lietuva. Tad Lietuvos atveju tyrimas atskleidė esminę problemą, kad vėjo energetikos sektoriaus plėtra vyksta, tačiau ne taip sparčiai, kaip galėtų esant palankesnei reguliacinei aplinkai ir spartesniam tinklų bei investicinių mechanizmų tobulinimui. Danijos rezultatai apima brandžios atsinaujinančios energetikos sistemos bruožus ir šalis išlieka tvirtai įsitvirtinusi tarp Europos lyderių. Šie rezultatai atskleidžia, kad Lietuvai siekiant priartėti prie Danijos lygio, būtina dar labiau stiprinti politinį nuoseklumą, skatinti investicijas, gerinti reguliacinę aplinką ir didinti tvarumo rodiklių integraciją į energetikos planavimą.

Išvados ir rekomendacijos

1. Vėjo energetika yra viena sparčiausiai augančių atsinaujinančios energetikos sričių, kuri lemia energetikos transformaciją. Šio sektoriaus plėtra prasidėjo XIX a. pabaigoje, kai pirmasis vėjo malūnas, gaminantis elektrą, buvo pastatytas Škotijoje, o šiandien kuriami aukštų technologijų vėjo parkai tiek sausumoje, tiek ir jūroje. Būtent jūrinės vėjo energetikos lydere laikoma Danija, nes ten buvo pastatytas pirmasis jūrinis vėjo parkas ir iki dabar įgyvendinami didelio masto projektai. Tuo tarpu Lietuvoje vystomi tik sausumos vėjo parkai, tačiau šiuo metu pradėtas projektas dėl jūrinio vėjo parko Baltijos jūroje. Europoje šiuo metu vėjo energija yra antras pagal dydį elektros gamybos šaltinis tarp atsinaujinančių išteklių. Šio sektoriaus plėtra Europoje vyksta sparčiai, ją skatina ambicingi Europos sąjungos klimato tikslai, technologinė pažanga ir didelės investicijos. Lietuvoje sektoriaus raida taip pat nuosekliai gerėja, tačiau plėtra vyksta lėčiau, nei leistų šalies vėjo potencialas. Nepaisant technologinės pažangos, politinės paramos ir augančio visuomenės susidomėjimo, sektoriaus augimo tempai išlieka nepakankami, kad šalis galėtų visiškai išnaudoti savo potencialą bei pasiekti nacionalinius energetinius tikslus. Pagrindinės kliūtys, su kuriomis susiduriama, yra reguliaciniai apribojimai, infrastruktūros trūkumai, investicijų pritraukimo sunkumai ir visuomenės požiūrio skirtumai lemia, kad vėjo energetikos projektų įgyvendinimas vyksta lėčiau nei planuota.
2. Atlikta teorinė analizė atskleidė, kad vėjo energetikos plėtra yra daugialypis procesas, kurio raidą formuoja tarpusavyje susiję išorės aplinkos veiksniai. Šie veiksniai identifikuoti remiantis PESTEL išorės aplinkos vertinimo modeliu, kuris leidžia sistemškai suprasti politinių, ekonominių, socialinių, technologinių, aplinkosauginių ir teisinių veiksnių svarbą. Politinė ir teisinė aplinka pasirodė esanti sektoriaus plėtos pagrindas, nes ji nustato strategines kryptis, reguliavimo taisykles bei leidimų procedūras. Ekonominė aplinka, apimanti kapitalo prieinamumą, infliacijos tendencijas, investicijų rizikingumą ir energijos kainodarą, tiesiogiai lemia projektų finansinį patrauklumą bei plėtos tempą. Socialiniai veiksniai, tokie kaip visuomenės požiūris į vėjo jėgaines, bendruomenių įsitraukimas ar pasipriešinimo reiškiniai, yra reikšmingi projektų įgyvendinimo greičiui ir jų priimtinumui. Technologijų pažanga užtikrina didesnę energijos gamybos efektyvumą, mažesnes sąnaudas ir didesnę konkurencingumą, o aplinkosauginiai reikalavimai nulemia plėtos galimybes ir įsipareigojimus laikytis klimato švelninimo, taršos bei poveikio gamtai nuostatų. Taigi teorinis pagrindimas parodė, kad vėjo energetikos sektorius vystosi sudėtingoje, nuolat kintančioje aplinkoje, kurioje išorės veiksniai veikia kompleksiskai, o jų sąveika lemia realias plėtos galimybes ir ribojimus.
3. Parengta tyrimo metodologija, skirta išorės aplinkos veiksnių įtakos vėjo energetikos sektoriaus plėtos vertinimui. Remiantis mokslinės literatūros analize, suformuotas conceptualus vėjo energetikos sektoriaus plėtrą lemiančių veiksnių tyrimo modelis, kuriame identifikuoti politiniai, ekonominiai, socialiniai, technologiniai, aplinkosauginiai ir teisiniai išorės aplinkos veiksniai, susiję su vėjo energetikos sektoriaus plėtra. Pasirinkta kompleksinė tyrimo strategija, apimanti kiekybinį ir kokybinį tyrimą. Kiekybinis tyrimas, taikomas tiek Lietuvai, tiek Danijai, leidžia įvertinti makroekonominių ir energetinių rodiklių ryšius bei jų sąsajas su vėjo energetikos sektoriaus plėtra. Šiame tyrime atliekama aprašomoji statistinė analizė, duomenų parengimas, kurio metu atliekamas Shapiro-Wilko normalumo testas bei stacionarumo vertinimas naudojant vienetinių šaknų testą. Toliau atliekama koreliacinė analizė, kuria siekiama nustatyti ryšius tarp priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų. Vėliau atliekama regresinė analizė, kuria siekiama kiekybiškai įvertinti makroekonominių ir energetinių veiksnių poveikį vėjo energetikos sektoriaus plėtrai. Tyrimo metu naudoti statistiniai duomenys iš tarptautinės organizacijos

IRENA, Eurostato ir Lietuvos statistikos departamento. Tuo tarpu kokybinė turinio analizė, skirta tik Lietuvai, papildė kiekybinius tyrimo rezultatus ekspertų įžvalgomis, leidžiančiomis identifikuoti svarbiausius politinius, teisinius, socialinius, aplinkosauginius ir technologinius veiksnius, susijusius su vėjo energetikos sektoriaus plėtra.

4. Atliktas kiekybinis ir kokybinis tyrimas atskleidė, kad Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtra yra susijusi su šalies ekonomikos ir energetikos politikos rodikliais, tačiau jos tempai išlieka lėtesni nei brandžiose rinkose. Aprašomosios analizės rezultatai parodė, kad 2010–2023 metų laikotarpiu Lietuvoje tiek instaliuota vėjo energijos galia, tiek vėjo elektros energijos gamyba augo nuosekliai, tačiau augimo tempai buvo daug mažesni nei Danijoje. Koreliacinė analizė parodė, kad Lietuvoje egzistuoja vidutinio stiprumo ryšiai tarp vėjo energetikos plėtros ir BVP vienam gyventojui bei atsinaujinančios energijos dalies, o ryšys su priklausomybe nuo energijos importo yra silpnas. Danijoje nustatyti stiprūs ryšiai tarp vėjo energetikos rodiklių, atsinaujinančios energijos dalies ir grynojo vidaus ŠESD išmetimo mažėjimo, kas atspindi klimato politikos svarbą brandžioje energetikos sistemoje. Regresinės analizės rezultatai parodė, kad Lietuvoje nagrinėti makroekonominiai ir energetiniai rodikliai pasižymi didele paaiškinamąja galia, tačiau modelių statistinis reikšmingumas yra ribotas, todėl nustatytas ryšys vertinamas atsargiai. Danijos atveju regresiniai modeliai nepatvirtino statistiškai reikšmingos makroekonominių veiksnių įtakos vėjo energetikos plėtrai, kas leidžia teigti, jog šioje šalyje sektoriaus raida mažiau priklauso nuo trumpalaikių ekonominių svyravimų. Kokybinė turinio analizė papildė kiekybinius rezultatus ir atskleidė, kad pagrindinės vėjo energetikos plėtros kliūtys Lietuvoje yra leidimų išdavimo procedūrų sudėtingumas, reguliacinis neapibrėžtumas, vietos bendruomenių pasipriešinimas ir elektros tinklų ribotumai. Tai leidžia daryti išvadą, kad Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtrą riboja ne tik ekonominiai veiksniai, bet ir instituciniai bei infrastruktūriniai barjerai, kurių sprendimas yra būtinas spartesnei sektoriaus plėtrai.

Rekomendacijos

Atsižvelgiant į tyrimo rezultatus, Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai būtina stiprinti išorės aplinkos veiksnius, identifikuotus taikant PESTEL analizę. Politinių ir teisinių veiksnių srityje rekomenduojama tobulinti teisinį reguliavimą bei supaprastinti leidimų išdavimo procedūras, siekiant didesnio reguliacinio stabilumo. Ekonominių veiksnių srityje svarbu sudaryti palankesnes investavimo sąlygas, „skatinant vietos ir užsienio investuotojų įsitraukimą bei didinant investicijas į elektros tinklų plėtrą ir modernizavimą. Tai leistų mažinti infrastruktūrinius apribojimus, kurie, remiantis tyrimo rezultatais, išlieka vienu pagrindinių vėjo energetikos plėtrą ribojančių veiksnių Lietuvoje. Socialinių veiksnių srityje rekomenduojama stiprinti visuomenės informavimą apie vėjo energetikos naudą ir galimą poveikį bei įtraukti vietos bendruomenes į projektų planavimo procesus. Tokios priemonės galėtų prisidėti prie didesnio socialinio priimtinumo ir mažesnio visuomenės pasipriešinimo vėjo energetikos projektams. Technologinių veiksnių srityje tikslinga didinti paramą inovacijoms, susijusioms su energijos kaupimo sprendimais, elektros tinklų balansavimu ir pažangių technologijų diegimu energetikos sistemoje. Tai sudarytų sąlygas efektyvesnei vėjo energijos integracijai į elektros sistemą ir didesniai sektoriaus atsparumui gamybos svyravimams. Apibendrinant galima teigti, kad spartesnei Lietuvos vėjo energetikos sektoriaus plėtrai įmanoma stiprinant politinius, teisinius, ekonominius, socialinius ir technologinius veiksnius, kartu gerinant institucijų tarpusavio ryšį, investicinę aplinką ir visuomenės įtraukimą į sprendimų priėmimo procesus.

Literatūros sąrašas

1. Al-Buraiki, S. A., & Al-Ruheili, H. S. (2025). A Qualitative SWOT Analysis Study of the Integration of AI Technologies into Higher Education Institutions in the Sultanate of Oman. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(3), 545–561. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.3.26>
2. Algarni, S., Tirth, V., Alqahtani, T., Alshehery, S., & Kshirsagar, P. (2023). Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103098. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103098>
3. Azevêdo, R., Rotela Junior, P., Chicco, G., Aquila, G., Rocha, L. C., & Peruchi, R. (2021). Identification and analysis of impact factors on the economic feasibility of wind energy investments. *International Journal of Energy Research*, 45, 3671–3697. <https://doi.org/10.1002/er.6109>
4. Balabonienė, I., Bliedienė, R., & Stundžienė, A. (2013). *Ekonometrija : praktinis regresijos ir laiko eilučių modelių taikymas*. Technologija.
5. Bartosevičienė, V. (2006). *Ekonominė statistika*. Technologija.
6. Benzaghta, M. A., Elwalda, A., Mousa, M. M., Erkan, I., & Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), 55–73. <https://doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>
7. Bilevičienė, T., & Jonušauskas, S. (2013). *Atvirojo kodo programų taikymas rinkos tyrimuose*. Mykolo Romerio universitetas.
8. Bošnjaković, M., Katinić, M., Santa, R., & Marić, D. (2022). Wind Turbine Technology Trends. *Applied Sciences*, 12(17), 8653. <https://doi.org/10.3390/app12178653>
9. Dirma V. (2025). *Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo poveikio ekonomikos augimui vertinimas* (Doctoral dissertation, Mykolo Romerio universitetas). <https://gs.elaba.lt/object/elaba:251867202/>
10. Dirma, V., Neverauskienė, L. O., Tvaronavičienė, M., Danilevičienė, I., & Tamošiūnienė, R. (2024). The Impact of Renewable Energy Development on Economic Growth. *Energies*, 17(24), 6328. <https://doi.org/10.3390/en17246328>
11. Fernández-González, D. (2025). A State-Of-The-Art Review on Materials Production and Processing Using Solar Energy. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 46(1), 1–43. <https://doi.org/10.1080/08827508.2023.2243008>
12. Gielen D., Boshella F., Saygin D., Bazilian M. D., Wagner N., Gorinia R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
13. Gipe, P., & Möllerström, E. (2022). An overview of the history of wind turbine development: Part I—The early wind turbines until the 1960s. *Wind Engineering*, 46(6), 1973–2004. <https://doi.org/10.1177/0309524X221117825>
14. Gipe, P., & Möllerström, E. (2023). An overview of the history of wind turbine development: Part II—The 1970s onward. *Wind Engineering*, 47(1), 220–248. <https://doi.org/10.1177/0309524X221122594>
15. Grant, R. M. (2024). *Contemporary Strategy Analysis*. Wiley.
16. Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Al-Musawi, T. J., Al-Jiboory, A. K., Salman, H. M., Ali, B. M., & Jaszczur, M. (2024). A comprehensive review of international renewable energy

- growth. *Energy and Built Environment*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.12.002>
17. Imran M., Bano S., Manzoor R. T. (2025). The Role of Renewable Energy in Driving Global Energy Transformations. *Social Science Review Archives*, 3(2), 1874–1895. <https://doi.org/10.70670/sra.v3i2.806>
 18. Iorember, P. T., Tang, C. F., Ozkan, O., Nwani, C., & Alola, A. A. (2025). Macroeconomic-Energy-Related Uncertainty and Economic Complexity as Drivers of Renewable Energy Investment. *Computational Economics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10614-025-10931-2>
 19. Isabelle, D., Horak, K., McKinnon, S., Palumbo, C. (2020). Is Porter's Five Forces Framework Still Relevant? A study of the capital/labour intensity continuum via mining and IT industries. *Technology Innovation Management Review*, 10(6), 28–41. <https://doi.org/10.22215/timreview/1366>
 20. Iurchenko M., Nyzhnychenko Y., Rudyk N., Zolotarova O., Stakhurska S. (2024). Harnessing Renewable Energy for Sustainable Economic Growth and Environmental Resilience. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 7(3), 52–69. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.0703ukr03>
 21. Jaber, S. (2013). Environmental Impacts of Wind Energy. *Journal of Clean Energy Technologies*, 1(3), 251–254. <https://doi.org/10.7763/jocet.2013.v1.57>
 22. Jankevičienė, J., & Kanapickas, A. (2023). Projected Wind Energy Maximum Potential in Lithuania. *Applied Sciences*, 13(1), 364. <https://doi.org/10.3390/app13010364>
 23. Janković, M., Mihajlovic, M., & Cvetkovic, T. (2016). Influence of external factors on business of companies in Serbia. *Ekonomika*, 62(4), 31–38. <https://doi.org/10.5937/ekonomika1604031j>
 24. Johansen, K. (2021). Blowing in the wind: A brief history of wind energy and wind power technologies in Denmark. *Energy Policy*, 152, 112139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112139>
 25. Li, H., Ren, Z., Fan, M., Li, W., Xu, Y., Jiang, Y., & Xia, W. (2022). A review of scenario analysis methods in planning and operation of modern power systems: Methodologies, applications, and challenges. *Electric Power Systems Research*, 205, 107722. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107722>
 26. Mekonnin, A. S., Waclawiak, K., Humayun, M., Zhang, S., & Ullah, H. (2025). Hydrogen Storage Technology, and Its Challenges: A Review. *Catalysts*, 15(3), 260. <https://doi.org/10.3390/catal15030260>
 27. Morkūnė, R., Marčiukaitis, M., Jurkin, V., Gecevičius, G., Morkūnas, J., Raudonikis, L., Markevičius, A., Narščius, A., & Gasiūnaitė, Z. R. (2020). Wind energy development and wildlife conservation in Lithuania: A mapping tool for conflict assessment. *Plos One*, 15(1), e0227735. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227735>
 28. Olabi, A. G., Elsaid, K., Obaideen, K., Abdelkareem, M. A., Rezk, H., Wilberforce, T., Maghrabie, H. M., & Sayed, E. T. (2023). Renewable energy systems: Comparisons, challenges and barriers, sustainability indicators, and the contribution to UN sustainable development goals. *International Journal of Thermofluids*, 20, 100498. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100498>
 29. Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a

- changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21, 741–764. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>
30. Ozorhon, B., Batmaz, A., & Caglayan, S. (2018). Generating a framework to facilitate decision making in renewable energy investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.035>
 31. Paksoy, T., Gunduz, M. A., & Demir, S. (2023). Overall competitiveness efficiency: A quantitative approach to the five forces model. *Computers & Industrial Engineering*, 182, 109422. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109422>
 32. Porter M. E. (1996). *HBR's 10 Must Reads on Strategy*. Harvard Business Review.
 33. Porter M.E. (1980). *Competitive Strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. The Free Press.
 34. Ramos, A., Magalhães, F., Neves, D., Gonçalves, N., Baptista, A., Mata, T., & Correia, N. (2023). Wind energy sustainability in Europe – A review of knowledge gaps, opportunities and circular strategies. *Green Finance*, 5(4), 562–602. <https://doi.org/10.3934/gf.2023022>
 35. Sánchez-Soriano, J., Paniagua-Falo, P. J., & Quiterio Gómez Muñoz, C. (2025). Historical Hourly Information of Four European Wind Farms for Wind Energy Forecasting and Maintenance. *Data*, 10, 38. <https://doi.org/10.3390/data10030038>
 36. Twidell J. & Weir T. (2015). *Renewable Energy Resources* (3rd ed.). Routledge.
 37. Twidell, J. (2021). *Renewable energy resources* (4th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429452161>
 38. Virah-Sawmy, D., & Sturmberg, B. (2025). Socio-economic and environmental impacts of renewable energy deployments: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114956. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114956>
 39. Wardhana, A. (2024). *External Business Environment Analysis*. Eureka Media Aksara.
 40. Wheelen T. L., Hunger J. D., Hoffman A. N., Bamford Ch. E. (2018). *Strategic Management and Business Policy: Globalization, Innovation and Sustainability* (15th ed.). Pearson Education.
 41. Whittington, R., Regner, P., Angwin, D., Johnson, G., Scholes, K. (2020). *Exploring strategy: Text and Cases* (12th ed.). Pearson Education.
 42. Wielewska, I., Tucki, K., Bączyk, A., & Trzaska, M. (2018). Impact of key factors on expected development of onshore wind energy sector in Poland and development scenarios. Paper presented at the *E3S Web of Conferences*, 70, 01017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187001017>
 43. Wojtaszek, H., Borowski, P. F., Handschke, M., Miciuła, I., Stecyk, A., Bielawa, A., Ozdyk, S., Kowalczyk, A., & Czepło, F. (2025). Wind Energy in Transition: Development, Socio-Economic Impacts, and Policy Challenges in Europe. *Energies*, 18(11), 2811. <https://doi.org/10.3390/en18112811>
 44. Wolniak, R., & Skotnicka-Zasadzień, B. (2023). Development of Wind Energy in EU Countries as an Alternative Resource to Fossil Fuels in the Years 2016–2022. *Resources*, 12(8), 96. <https://doi.org/10.3390/resources12080096>
 45. Zehri C., & M. A. (2025). The Impact of Energy Investment on Economic Expansion in Saudi Arabia. *Future Cities and Environment*, 11. <https://doi.org/10.70917/fce-2025-025>
 46. Zupok, S., Chomać-Pierzecka, E., Dmowski, A., Dyrka, S., & Hordyj, A. (2025). A Review of Key Factors Shaping the Development of the U.S. Wind Energy Market in the Context of Contemporary Challenges. *Energies*, 18(16), 4224. <https://doi.org/10.3390/en18164224>

Informacijos šaltinių sąrašas

1. BNS. (2025, sausio 7). *2025-ieji Lietuvos energetikoje – lūžio metai*. [žiūrėta 2025-11-25]. Prieiga per internetą: <https://bns.lt/naujiena/2025-ieji-lietuvos-energetikoje-luzio-metai-bns-tema-rl14rllf>
2. Brunel (2021, vasario 22). *How Wind Turbines Have Evolved: From The First to the Biggest*. [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per internetą: <https://www.brunel.net/en/blog/renewable-energy/how-wind-turbines-have-evolved>
3. European Commission (2019). *Commission's priorities 2019-2024*. [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per internetą: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024_en
4. European Commission (2022). *EU wind energy*. [žiūrėta 2025-09-25]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/eu-wind-energy_en#eu-wind-power-package
5. European Commission. (2023). *Renewable energy targets*. [žiūrėta 2025-10-23]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
6. European Environment Agency. (2018, gruodžio 18). *Renewable energy in Europe -2018 Recent growth and knock-on effects*. [žiūrėta 2025-10-19]. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/renewable-energy-in-europe-2018>
7. Eurostat (2025). Internetinė prieiga: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
8. Ignitis grupė. (2023, gegužės 3). *Vėjo energetikos plėtrai Lietuvoje vėjai palankūs, vis dėlto – iššūkių netrūksta*. [žiūrėta 2025-11-21]. Prieiga per internetą: <https://ignitisgrupe.lt/naujienos/vejo-energetikos-pletrai-lietuvoje-vejai-palankus-vis-delho-issukiu-netruksta>
9. IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi. Prieiga per internetą: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf
10. IRENA (2025a). *IRENASTAT Online Data Query Tool*. Prieiga per internetą: https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT_Power%20Capacity%20and%20Generation/Country_ELECSTAT_2025_H2_PX.px/table/tableViewLayout1/
11. IRENA. (2025b), July 10). *Wind Energy*. Prieiga per internetą: https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy?utm_source
12. IRENA. (2025c). *Renewable Power Generation Costs in 2024*. Abu Dhabi. Prieiga per internetą: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Jul/IRENA_TEC_RPGC_in_2024_2025.pdf
13. Lietuvos elektrinių asociacija. (2022). *Vėjo energetikos plėtra ES: Lietuva atsilieka pagal procedūrų trukmę, bet yra tarp lyderių pagal instaliuotą galią*. [žiūrėta 2025-11-21]. Prieiga per internetą: <https://lvea.lt/vejo-energetikos-pletra-es-lietuva-atsilieka-pagal-proceduru-trukme-bet-yra-tarp-lyderiu-pagal-instaliuota-galia/>
14. Lietuvos energetikos agentūra. (2025). *Jūrinės vėjo energetikos plėtra - Lietuvos energetikos agentūra*. [žiūrėta 2025-12-07]. Prieiga per internetą: <https://www.ena.lt/jve-vystymas/>
15. Lietuvos vėjo elektrinių asociacija. (2020, lapkričio 23). *Viskas, ką reikia žinoti apie vėjo energetiką*. [žiūrėta 2025-11-29]. Prieiga per internetą: https://lvea.lt/wp-content/uploads/2021/01/LVEA_Viskas-ka-reikia-zinoti-apie-vejo-energetika.pdf

16. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. (2024). *Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija*. [žiūrėta 2025-09-20]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/public/canonical/1731396595/5432/NENS%202024-2.12.pdf>
17. LRT. (2025, rugpjūčio 14). *Energetikos sektorius – ant pokyčių slenksčio: kokie iššūkiai laukia ateinančią dešimtmetį?* [žiūrėta 2025-11-29]. Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/2641580/energetikos-sektorius-ant-pokyciu-slenkscio-kokie-issukiai-laukia-ateinanti-desimtmeti>
18. LRT. (2025a, sausio 7). *Ekspertai: 2025-ieji Lietuvos energetikoje – lūžio metai*. [žiūrėta 2025-12-07]. Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/2454219/ekspertai-2025-ieji-lietuvos-energetikoje-luzio-metai>
19. Offshore wind. (2025, rugsėjo 05). *Vyriausybė pritarė Energetikos ministerijos siūlymams dėl ilgesnio termino antrojo jūrinio vėjo elektrinių parko konkurse – iki spalio 7 d.* [žiūrėta 2025-12-05]. Prieiga per internetą: <https://offshorewind.lt/lt/vyriausybe-pritare-energetikos-ministerijos-siulymams-del-ilgesnio-termينو-antrojo-jurinio-vejo-elektriniu-parko-konkurse-iki-spalio-7-d/>
20. Offshore wind. (2022). Aplinkosauga. [žiūrėta 2025-12-05]. Prieiga per internetą: <https://offshorewind.lt/lt/aplinkosauga/>
21. The International Energy Agency. (2022). *Renewables 2022: Analysis and forecast to 2027*. [žiūrėta 2025-09-20]. Prieiga per internetą: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ada7af90-e280-46c4-a577-df2e4fb44254/Renewables2022.pdf>
22. Verslo žinios. (2025, rugsėjo 29). *Vėjo energetika Lietuvoje: nuo strategijos iki inovatyvių sprendimų, padedančių užtikrinti tinklo stabilumą*. [žiūrėta 2025-11-21]. Prieiga per internetą: <https://www.vz.lt/energetika/2025/09/29/vejo-energetika-lietuvoje-nuo-strategijos-iki-inovatyviu-sprendimu-padedanciu-uztikrinti-tinklo-stabiluma-573474>

Priedai

1 priedas. Pasaulio, Europos, Vokietijos ir Lietuvos vėjo energetikos instaliuotos galios pokyčiai 2000-2024 metais. (IRENA, 2025a)

Regionas, Šalis Metai	Pasaulis (GW)	Europa (GW)	Vokietija (GW)	Lietuva (GW)
2000	16,96093	12,75392	6,095	0
2001	23,95452	17,39393	8,754	0
2002	30,7232	23,28911	12,001	0
2003	38,65972	28,15295	14,381	0
2004	47,66007	34,32037	16,419	0,001
2005	58,4629	40,68429	18,248	0,001
2006	73,14336	47,9189	20,474	0,031
2007	91,51642	56,34081	22,116	0,047
2008	115,4754	64,05529	22,794	0,054
2009	150,1045	75,80454	25,732	0,098
2010	180,8405	84,91142	26,903	0,133
2011	220,1782	94,71144	28,712	0,202
2012	266,9379	107,1925	30,979	0,275
2013	299,7586	118,1738	33,477	0,279
2014	349,4938	130,198	38,614	0,288
2015	416,385	143,0145	44,58	0,436
2016	467,3164	155,7269	49,435	0,509
2017	514,9776	170,6161	55,58	0,518
2018	563,5206	181,7872	58,721	0,533
2019	623,0669	196,1097	60,742	0,534
2020	733,3623	207,8963	62,201	0,54
2021	824,3083	221,5058	63,711	0,671
2022	903,0077	240,3322	66,202	0,946
2023	1018,346	257,2394	69,486	1,284
2024	1132,657	270,1349	72,823	1,828