



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Aurelija Paulauskaitė

Projekto autorė

Prof. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Atsinaujinančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Aurelija Paulauskaitė

Projekto autorė

Prof. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Aurelija Paulauskaitė

Atsinaujinančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms 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.

Aurelija Paulauskaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Paulauskaitė, Aurelija. Atsinaujinančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): studijų kryptis – energijos inžinerija, studijų krypčių grupė – inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: atsinaujinantys energijos ištekliai, didmeninė elektros energijos kaina, išlygintos elektros energijos sąnaudos, pasiūlos ir paklausos dėsniai.

Kaunas, 2023. 58 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro projekte yra analizuojama ir tiriama kaip atsinaujinantys energijos ištekliai daro įtaką Lietuvos didmeninėms elektros energijos kainoms. Ši tema šiuo metu ypač aktuali šiandieninėje visuomenėje, nes elektros energijos kainų svyravimas yra labai nepastovus, dėl susiklosčiusios geopolitinės situacijos. Tokioms šalims kaip Lietuva, energetinis suverenitetas yra pasiekiamas naudojant būtent žaliąsias technologijas, nes geografinė padėtis nėra turtinga kitais iškais. Atsinaujinančių energijos išteklių plėtra yra skatinama Europos Sąjungos, kuri stengiasi aprūpinti vartotojus saugia, tvaria ir konkurencinga energija. Priimtose direktyvos siekia panaikinti monopoliją ir sukurti liberalizuotą elektros rinką, kurios būtų prieinamos visiems vartotojams. Taip pat, yra sudaryti įvairūs reglamentai, kurie apima atsinaujinančių energijos išteklių poreikius, skatina jų plėtrą įvairiomis subsidijomis bei sprendžia ekologines problemas, todėl atsinaujinančios energetikos sektoriaus augimas yra neišvengiamas, dėl šios priežasties yra aktualu išsiaiškinti kokią įtaką gali būti daroma didmeninėms elektros energijos kainoms. Siekiant įvertinti šią įtaką, visų pirma yra išanalizuojama atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo politika, skatinimo priemonės bei perspektyvos, aptariami teoriniai aspektai darantys įtaką elektros energijos kainoms ir sudaroma metodologija, kuria remiantis gaunami atsinaujinančių energijos išteklių poveikio rezultatai. Tyrimas paremtas pasiūlos ir paklausos dėsniais rinkose, kuriuose yra naudojamas ribinės kainos principas, t.y. kiekvienam rinkos dalyviui atsiskaitoma ta pačia kaina, kurią nustato visuminės pasiūlos ir visuminės paklausos kreivių sankirta, kuri dar yra vadinama rinkos pusiausvyra. Pasiūlos kreivė išdėstoma pagal gamintojų ribinius kaštus ir galutinė didmeninė elektros energijos kaina yra pagrįsta paskutinio gamintojo ribinėmis sąnaudomis. Tokiu principu yra analizuojamos skirtingos rinkos situacijos ir vertinamas pasiūlos kreivės poslinkio dydis, kuris priklauso nuo tuo metu atsinaujinančių energijos išteklių generavimo kiekio. Gauti rezultatai rodo, kad padidėjusi atsinaujinančių išteklių gamyba 1 % teoriškai sumažina didmenines elektros kainas 0,2 % maksimalios paklausos metu.

Paulauskaitė, Aurelija. Investigation of Renewable Energy Resources Impact on Electricity Prices. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): power engineering, engineering science.

Keywords: renewable energy resources, wholesale electricity price, equalized electricity costs, laws of supply and demand.

Kaunas, 2023. 58 pages.

Summary

The final master's project analyzes and studies how renewable energy resources influence wholesale electricity prices in Lithuania. This topic is currently particularly relevant in today's society, because the fluctuation of electricity prices is very volatile, due to the geopolitical situation. For countries like Lithuania, energy sovereignty is achieved using green technologies, because the geographical location is not rich in other resources. The development of renewable energy resources is encouraged by the European Union, which strives to provide consumers with safe, sustainable and competitive energy. The adopted directives seek to abolish monopoly and create liberalized electricity markets that would be accessible to all consumers. Also, various regulations have been drawn up that cover the needs of renewable energy resources, promote their development with various subsidies and solve ecological problems, so the growth of the renewable energy sector is inevitable, for this reason it is relevant to find out what influence can be exerted on wholesale electricity prices. In order to assess this influence, first of all, the policy of using renewable energy resources, promotion measures and perspectives are analyzed, the theoretical aspects affecting electricity prices are discussed, and a methodology is created based on which the results of the impact of renewable energy resources are obtained. The study is based on the laws of supply and demand in markets where the marginal price principle is used, i.e. each market participant is charged the same price, which is determined by the intersection of the aggregate supply and aggregate demand curves, which is also called market equilibrium. The supply curve is laid out according to the marginal cost of producers and the final wholesale price of electricity is based on the marginal cost of the last producer. With this principle, different market situations are analyzed and the size of the shift in the supply curve is assessed, which depends on the amount of generation of renewable energy resources at that time. The results show that increased renewable generation by 1% theoretically reduces wholesale electricity prices by 0,2% during peak demand.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo politika, skatinimo priemonės ir perspektyvos.....	11
1.1. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas ir technologijos	11
1.2. Atsinaujinančios energetikos plėtros skatinimo ir įrengimo politika	13
1.2.1. Žaliųjų inovacijų plėtros strateginiai planai	13
1.2.2. Atsinaujinančios energetikos plėtros skatinimo tarptautiniai susitarimai, ekonominės ir finansinės priemonės	14
1.2.3. Žaliųjų technologijų projektų finansavimo svarba	16
1.2.4. Atsinaujinančių energijos išteklių įrengimo techniniai reikalavimai Lietuvoje.....	17
1.3. Atsinaujinančių energijos išteklių plėtros perspektyvos ir trūkumai	19
1.3.1. Atsinaujinančių energijos išteklių plėtros potencialas	19
1.3.2. Atsinaujinančių energijos išteklių trūkumai.....	22
2. Atsinaujinančių šaltinių įtaka elektros energijos kainoms	24
2.1. Elektros kainos ir rinkos savybės	24
2.2. Pagrindiniai veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms	26
2.3. Atsinaujinančių energijos išteklių įtaką elektros kainoms	30
3. Atsinaujinančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms tyrimo metodologija.....	33
4. Atsinaujinančių energijos išteklių poveikio elektros energijos kainoms vertinimas.....	40
4.1. Pagrindinių tyrime naudojamų laisvai prieinamų duomenų analizė	40
4.2. Atsinaujinančių energijos išteklių poveikio elektros energijos kainoms analizė	43
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53
Priedai.....	59
1 priedas. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal ketvirčius 2018–2022 m.	59
2 priedas. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.	60
3 priedas. Lietuvos elektros energijos komerciniai srautai pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.	61
4 priedas. Vidutinės valandinės apkrovos pagal ketvirčius ir sezoną 2018–2022 m.	62
5 priedas. Lietuvos kainų zonos „Nord Pool“ vidutinės elektros kainos pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.	63

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Lietuvos generuojantys pajėgumai (MW) (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2022).....	37
2 lentelė. LCOE vertės pagal elektros energijos gamybos technologiją (Eur/MWh) (sudaryta autoriaus pagal „IRENA“ ir „IEA“ duomenis, 2018–2022)	38
3 lentelė. Lietuvos elektros energijos 2018-2022 laikotarpio minimalių ir maksimalių apkrovų gauti rezultatai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	40
4 lentelė. Lietuvos elektros energijos gamybos išvestos vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018-2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	41
5 lentelė. Lietuvos elektros energijos importo (-) /eksporto (+) išvestos vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018–2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).	42
6 lentelė. Lietuvos biržos kainų vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018–2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	44
7 lentelė. Lietuvos elektrinių numatomos faktinės ir prieinamos galios 2030 m. (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)	48

Paveikslų sąrašas

1 pav. vidutinės elektros energijos 1 kWh persiuntimo paslaugos kainos sandara 2022 m. (AB „Energijos skirstymo operatorius“, 2022).	25
2 pav. Metinis elektros kainos kitimas 2015-2020 metų laikotarpiu. („VaasaET“ duomenis, 2020).	27
3 pav. Gamtinių dujų kainų kitimas 2012-2022 m. laikotarpiu (Eur/MWh) (sudaryta autoriaus pagal „Trading Economics“ duomenis, 2023)	28
4 pav. Elektros kainų kitimas 2011-2021 m. laikotarpiu (Eur/MWh) („Bruegel“ duomenis, 2021)..	29
5 pav. Pasaulinis energijos suvartojimas pagal gaminamos energijos šaltinį (%) (sudaryta autoriaus pagal „Our World in Data“ duomenis, 2021)	30
6 pav. Visuminės pasiūlos kreivės (S) ir visuminės paklausos (D) kreivės sankirta (rinkos pusiausvyra E). (A. Jakutis „Ekonomikos teorijos pagrindai“, 2006).....	34
7 pav. Elektros kainos susiformavimas be AEI generatorių (sudaryta autoriaus).....	35
8 pav. Elektros kainos susiformavimas su AEI generatoriais (sudaryta autoriaus).....	35
9 pav. AEI gamybos ir vidutinės „Nord Pool“ kainų kitimas 2018–2022 m. (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)	44
10 pav. Elektros kainos formavimasis nesant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	45
11 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)	46
12 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)	46
13 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu (AEI gamyba padidinta 30 %) esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	47
14 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu (AEI gamyba padidinta 30 %) esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	47
15 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu įvertinus AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	49
16 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu įvertinus AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022).....	49
17 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros ir žiemos sezonais LOADMin įvertinus 40 % importuojamos energijos ir AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)	50

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AE – atsinaujinanti energetika

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

SE – saulės energija

VE – vėjo energija

HE - hidroelektrinės

PV – fotovoltinė energija

CSP – saulės energijos koncentravimas

ES –Europos Sąjunga

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

CO₂ – anglies dioksidas

ATLPS – apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema

ATL – apyvartiniai taršos leidimai

ŽO – žaliosios obligacijos

ŠPM – švarios plėtros mechanizmas

APVA - Aplinkos projektų valdymo agentūra

FTE – laiko ekvivalentas

MWh – megavatvalandė

GWh- gigavatvalandė

GW – gigavatas

LCOE - išlygintos elektros energijos rodiklis

Įvadas

Darbo aktualumas. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas energetikos sektoriuje tampa vis svarbesnis, nes dinamiška nacionalinių ekonomikų plėtra reikalauja žymiai padidinti energijos poreikį, o tai reiškia, kad būtina užtikrinti energetinį saugumą bei laiku imtis veiksmų susijusių su antropogeninę klimato kaita. Nuo pat pramonės revoliucijos Europoje iškastinio kuro naudojimas didėja, kartu auga žmonių populiacija, gerėja jų gyvenimo lygis. Apskaičiuota, kad elektros energijos suvartojimas per ateinančius 15–20 metų padvigubės ir įprasti energijos ištekliai tokie kaip anglis, nafta ar gamtinės dujos nebepajėgs patenkinti pasaulio ekonomikos poreikių. Atlikti tyrimai ir ekspertai perspėja, kad esant dabartiniam energijos vartojimui, neatsinaujinantys ištekliai gali būti išnaudoti netgi iki 2040 metų, todėl šalys privalo ieškoti alternatyvų. Be didėjančio energijos poreikio, žaliųjų technologijų klausimas yra svarbus dėl didėjančios aplinkos taršos ir klimato kaitos, kurias sukelia įprastiniai energijos šaltiniai, nes konvenciniais ištekliais pagrįstos technologijos elektros energijos gamybos metu išmeta daug kenksmingų medžiagų į vandenį ar atmosferą. Dėl šios priežasties, daugelis organizacijų, tokių kaip Europos Sąjunga pradėjo įgyvendinti priemones, skirtas apsaugoti natūralią aplinką ir skatinti alternatyvius netradicinių energijos šaltinių sprendimus. Šiuolaikinė visuomenė taip pat yra pakankamai brandi ir geriau suvokia pasauliniu mastu augančias aplinkosaugos problemas, dėl to didėja susidomėjimas energija iš atsinaujinančių šaltinių į kuriuos yra žiūrima kaip į investiciją, kuri yra draugiška aplinkai, padeda ne tik sutaupyti, bet ir uždirbti. Šių technologijų naudojimą skatina vyriausybės bei yra labai patraukli įvairiems investuotojams, nes suteikiamos įvairios subsidijos ir lengvatos, išleidžiamos žaliosios obligacijos. Taip pat, kiekvienos šalies pagrindinis tikslas, susijęs su energetika yra šalies energetinio saugumo užtikrinimas. Energetinio saugumo sąvoką reikėtų suprasti, kaip sugebėjimą tiekti elektros energiją už kainą, kurią sugeba mokėti tos šalies vartotojai, kartu gerbiant gamtos saugos principus [1], todėl svarbu išanalizuoti ar sparti atsinaujinančių šaltinių integracija turi įtakos elektros kainos kitimui.

Darbo tikslas – atlikti atsinaujinančių energijos išteklių įtakos didmeninėms elektros kainoms vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. išanalizuoti atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo politiką, skatinimo priemones bei perspektyvas;
2. išanalizuoti atsinaujinančių energijos išteklių poveikio didmeninėms elektros energijos kainoms teorinius aspektus;
3. parengti atsinaujinančių energijos išteklių poveikio didmeninėms elektros energijos kainoms tyrimo metodologiją;
4. įvertinti atsinaujinančių energijos išteklių poveikį didmeninėms elektros energijos kainoms.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir statistinių duomenų analizė, pasiūlos ir paklausos dėsniai.

Magistro darbo struktūra. Magistro darbas susideda iš santraukos, turinio, lentelių, paveikslų, santrumpų ir literatūros sąrašų ir pagrindinių 6 dalių: įvado, 4 dėstymo skyrių ir išvadų. Darbą sudaro 58 puslapiai, 17 paveikslų ir 7 lentelės. Literatūros sąrašė yra 75 šaltiniai.

1. Atsinaujančių energijos išteklių naudojimo politika, skatinimo priemonės ir perspektyvos

Atsinaujanti energetika (AE) apima energijos rūšis gaunamas iš natūralių gamtos procesų: saulės spinduliuotės, vandens, potvynių ir atoslūgių srovių, vėjo ar geoterminės energijos. Nors ir energija gaunama iš gamtos, tačiau tai nereiškia, kad nėra jokių liekamųjų pėdsakų naudojant žaliąsias technologijas. Paminėtinas jų pagrindinis ir didžiausias privalumas – neišsenkamumas. Atsinaujančių energijos išteklių (AEI) prieinamumas kiekvienoje šalyje yra labai skirtingas, tai priklauso nuo vietos topografijos, vandens telkinių kiekio, geografinės padėties, tačiau praktika rodo, kad populiariausios naudojamos žaliosios technologijos yra šios: saulės, vėjo ir hidroenergija.

1.1. Atsinaujančių energijos išteklių panaudojimas ir technologijos

Saulės energijos (SE) technologijos yra populiariausios tarp namų ūkių, nes pasižymi galimybe ne tik gaminti elektros energiją, bet yra panaudojama ir šilumai išgauti. Naudoti SE yra labai patogu, nes nereikia didelių investicijų. Gaminamos energijos kiekis priklauso nuo įrenginių skaičiaus galios efektyvumo, oro būklės ir spinduliuotės. Moksliniais tyrimais buvo nustatyta, kad saulės insoliacijos žemę pasiekia 3,85 eksadžaulių per metus ir tai yra tik dalelė šalutinio poveikio, kuris pasiekia Žemės viršutinius atmosferos sluoksnius, kuomet Saulės sintezės metu milijonai tonų vandenilio virsta heliu, o kitas kiekis yra paverčiamas energija. Žinoma, saulės spinduliuotės kiekis galėtų būti ir dar didesnis, tačiau ji yra atspindima atgal į erdvę arba sugerama sausumos ir vandenynų, taip pat jos intensyvumas priklauso nuo sezono, paros laiko, oro sąlygų ir kitų niuansų [2]. Saulės energijos konversija yra padalinta į dvi dalis: fotovoltinę ir koncentruotą.

Saulės fotovoltinės energijos (PV) rinkoje stebimas fenomenalus augimas. Dėl technologijų pažangos sumažėjo PV technologijų gamybos sąnaudos ir pasikeitė jų įrengimo politika. Ši sistema yra plačiai naudojama tiek buitinių tiek komercinių vartotojų, taip pat yra statomos ir didelio masto jėgainės. SE technologijos iš tiesų nėra naujos, pirmieji bandymai buvo datuojami VII amžiuje prieš Kristų, o pirmąjį fotoelektrinį efektą pristatė garsus Vokietijos ir Jungtinių Valstijų fizikas Albertas Einšteinas. Šios technologijos pagrindinis įrenginys yra puslaidininkiniai įtaisai, kurie sujungiami į grupes, priklausomai nuo saulės modulio galingumo. Šie įtaisai remiasi fotoefekto reiškiniu ir sugeria šviesą, nes puslaidininkiniai elementai yra sudaryti iš skirtingų potencialų p-n sandūros, kad būtų sugeneruojama elektra. Priklausomai nuo cheminių ir elektrinių savybių puslaidininkiniai prietaisai gali būti monokristaliniai, polikristaliniai ir amorfiniai. Rinkoje neretai pasitaiko ir kadmio telurido saulės elementai, kurie pasižymi kaip plonasluoksnė technologija, o jų efektyvumas gali siekti net iki 22,1 % [3]. Elektros išėigą lemia pasiekiančios spinduliuotės kiekis, jos trukmė, plokščių technologija ir dydis, o našumas priklauso nuo posvyrio kampo, apšvitos temperatūros, atspalvio ir nešvarumų. PV sistemose dažnai būna naudojami moduliai, kurie yra sudaryti iš atspindinčių veidrodinių ląstelių arba laužiamųjų optinių lęšių, nes tokiu būdu yra pagerinamas saulės energijos naudingumo koeficientas. Taip pat, saulės elementų našumas priklauso nuo talpos koeficiento ir konversijos efektyvumo. Šios technologijos gali būti suprojektuojamos įvairių dydžių, jungiat į masyvias grupes, todėl jų galingumas gali svyruoti nuo kelių vatų iki kelių megavatų [4].

Saulės energijos koncentravimas (CSP) yra viena iš perspektyviausių technologijų energijos gamybos srityje. Ši technologija išgauna šilumos energiją iš saulės spinduliuotės ir pasižymi dideliu efektyvumu, kuris gali siekti net 50–70 %. CSP sistemos yra paprasto veikimo principo ir susideda iš dviejų pagrindinių elementų: kolektoriaus ir emiterio. Pastarasis elementas turi būti sudarytas iš medžiagos, kuri būtų pajėgi atlaikyti aukštą temperatūrą [5]. CSP technologija remiasi elektronų

termišku judėjimu, kurio jie yra išspinduliuojami iš emiterio į vakuuminę sritį. Kolektoriaus veikimas yra matuojamas pagal konversijos efektyvumą, kuris priklauso nuo naudojamos technologijos, kolektoriaus skysčio temperatūros ir krantinčios spinduliuotės. Norint padidinti šį efektyvumą, reikia didinti terminę emisiją emiterio srityje ir sumažinti erdvės krūvio poveikio sritį. Tačiau ne visi elektronai pasiekia kolektorių, nes jie yra suvaržomi erdvės krūvio proceso metu, kai išėjimo įtampa yra mažesnė už soties taško įtampą. Paprastai elektronų judėjimą galima suskirstyti į tris režimus: greitėjimo, įsikrovimo ir prisotinimo [6].

Antras AEI šaltinis – vėjo energija (VE), kuri yra daugiau ar mažiau visur prieinama ir sparčiai plėtojama išsivysčiusiose ir besivystančiose šalyse. Vėjo energija pasižymi dideliu potencialu ir prieinamumu tiek komerciniu, tiek techniniu požiūriu, o jos pranašumai pasižymi dideliu energijos konversijos greičiu, dideliu pramoniniu mastu ir socialine nauda. Per pastaruosius 20 metų VE metinis augimo tempas siekė net 30 %, šis augimas ir technologijų plėtra tapo alternatyva įprastoms, taršesnėms energijos technologijoms. Dėl savo judėjimo vėjas turi kinetinę energiją, kurią galima paversti naudinguoju darbu, jei yra panaudojami įrenginiai, kurie gali sulėtinti judančio oro judėjimą, tokiu būdu vėjo turbinos elektros gamybos metu išgauna energiją iš judančio oro ir suka elektros generatorių. Kokia galia bus išgaunama, tai priklausys nuo šių parametrų: vėjo greičio, rotorius skerspjūvio ploto, vėjo turbinų modelio, pavarų sistemos, elektros generatoriaus ir mechaninės transmisijos efektyvumo [7].

Prieš suprojektuojant vėjo malūną bei integruojant tam tikro tipo vėjo turbiną, būtina įvertinti pasirinktos sausumos reljefą, aplink supančius pastatus, jei jų yra bei vyraujančias aplinkos sąlygas. Vėjo turbinos oro kinetinę energiją konvertuoja į turbinos rotorius menčių mechaninę galią tokiu pačiu principu kaip ir orlaivio sraigto mentės, kurios tiesinį judesį paverčia sukamaisiais ir taip maitina elektros generatorių, iš kurio išeina elektros srovė. Pagrindinius turbinos komponentus sudaro: mentė arba rotorius, kuris vėjo energiją paverčia sukimosi veleno energija, taip pat varomasis mechanizmas, paprastai turintis greičio dėžę ir generatorių, bokštas, kuris palaiko rotorių ir varomąją trauką bei kita įranga, įskaitant valdiklius, elektros laidus, antžeminę palaikymo ir sujungimo įrangą. Šiuo metu yra sparčiai panaudojamas ne tik sausumos teritorijos, tačiau VE yra integruojamos ir jūrose, nes tai išsprendžia didelių krovinių gabenimo, kraštovaizdžio ir mechaniniu bei aerodinaminio triukšmo problemas. Kadangi vėjo greičiai jūroje beveik visuose aukščiuose mažai skiriasi, tokių elektrinių bokštų nebus labai aukštas, tik tiek, kad mentės saugiai neliestų jūros bangų ir laivų. VE nuo kranto yra nutolusios per 100 km. Labai svarbi tokios technologijos dalis yra per stipriausias audras dirbantys uostai ir saugiai prie elektrinės prisišvartuojantys laivai. Kalbant apie sausumos vėjo elektrines, tai šiuo metu daugiausia naudojami šie technologiniai modeliai [8]:

1. Tiesiogiai prie tinklo prijungta fiksuoto greičio vėjo turbina, pagrįsta voverės narvelio indukcijos generatoriumi (SCIG);
2. Kintamo greičio vėjo turbina, pagrįsta dvigubo maitinimo indukcinio generatoriumi (DFIG), kur rotorius apvija prijungta prie tinklo per keitiklį, kartu su tiesioginiu statoriaus apvijos ir tinklo sujungimu;
3. Tiesioginės pavaros kintamo greičio vėjo turbina su nuolatinio magneto sinchroniniu generatoriumi (PMSG), kuriame yra prisijungimas prie tinklo per kintamo dažnio galios elektronikos keitiklį.

Hydroenergija yra patikima dėl savo energijos gamybos, lankstumo bei energijos kaupimo pajėgumų. Kai kurios hidroenergijos technologijos rūšys gali atlikti pagrindinį vaidmenį subalansuodamos nevienodą kitų atsinaujinančių šaltinių generaciją. Hidroenergija turi labai platų potencialą, nes naudojami gamtos ištekliai yra plačiai paplitę geografiškai, daugiausia besivystančiose šalyse. Šiuolaikinės elektrinės geba užtikrinti efektyviausią energijos konversijos procesą, kuris didesnis už 90 % ribą, leidžia geriausiai panaudoti bazinės apkrovos energiją, pasižymi ilgu tarnavimo laiku ir mažomis eksploatacinėmis išlaidomis, nors ir investicijos santykinai didelė [9].

Natūralioje aplinkoje egzistuoja paprastai du hidroenergijos tipai, vienas iš jų susijęs su upėmis, o kitas su vandenynais. Upių panaudojimo atveju yra išnaudojamas vandens tėkmės greitis ir vandens lygių skirtumas. Vandenynų atveju, energija gaunama panaudojant turbinas, kurias varo vandens judėjimas, atsirandantis dėl potvynių ir atoslūgių, bangų ar kitų vandens srovių. Dažniausiai statomos yra šio tipo hidroelektrinės [10]:

1. Akumuliacinės hidroelektrinės. Pagrindinis bruožas – skirtinguose aukštuose išdėstyti rezervuarai, kuriuose yra surenkamas ir kaupiamas vanduo. Rezervuarai yra išdėstomi skirtinguose aukščiuose, nes tokiu būdu galima pagaminti daugiau elektros energijos kai paklausa yra didelė. Laiko momentu, kai elektros poreikis yra mažas, vanduo yra pumpuojamas į viršų ir panaudojamas vėliau;
2. Saugojimo ir upių natūraliojo nuotėkio hidroelektrinės. Šio tipo elektrinėse vanduo yra laikomas rezervuare, kai nėra didelio elektros poreikio ir išleidžiamas, kai yra didžiausia elektros energijos paklausa. Dėl šio naudojimo principo gamybos galia mažai priklauso nuo vandens srauto;
3. Upių natūraliojo nuotėkio hidroelektrinė. Šio tipo elektrinės elektros energijai gaminti naudoja natūralų upės srautą ir didesnius vandens lygio kritimus.

1.2. Atsinaujinančios energetikos plėtros skatinimo ir įrengimo politika

AEI technologijų plėtra ir skatinimas yra vienas svarbiausių veiksnių pereinant prie darnios energetikos ir pakeičiant pirminės energijos išteklius, taip sumažinant anglies dioksidą (CO₂), kuris sudaro didelę ŠESD dalį. Pasaulinis CO₂ kiekis energetikos ir pramonės srityse pasiekė 2021 m. aukščiausią visų laikų metinį lygį. Tam įtakos turėjo ir staigus ekonominis atsigavimas po 2020 m. COVID-19 pandemijos, kurios metu smarkiai buvo sumažėjusi energijos paklausa ir pasaulinė CO₂ emisija, todėl yra svarbu skatinti žaliųjų technologijų plėtrą, supažindinant visuomenę su siūlomų alternatyvų privalumais ir įrengimo galimybėmis.

1.2.1. Žaliųjų inovacijų plėtros strateginiai planai

AEI skverbtis apima viena iš dviejų tvarios energetikos plėtros tikslų – skatinti švarios energijos vartojimą ir didinti vartojimo efektyvumą. Šį tikslą pasiekti padeda Europos Sąjungos (ES) sudaryta komisija bei įkurta Europos Žaliojo kurso bendruomenė, kurios siekia ES ekonomiką padaryti konkurencinga, skaidria ir klestinčia. Išvysčius tokią ekonomiką dvidešimt septyniuose Europos valstybėse yra lengviau pasiekiami ES klimato ir energetikos pakete nustatyti tvarios energetikos plėtros 2030 m. tikslai: 40 % sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisiją, lyginant su 1990 m. išmetamų teršalų rodikliais; pasiekti ne mažiau kaip 32 % AEI integracijos dalį ES; pagerinti ne mažiau kaip 32,5 % energijos vartojimo efektyvumą. Klimato kaitos reguliavimo

iniciatyvos daro spaudimą šalies valdžiai ir suinteresuotoms grupėms, tokioms kaip savivaldybėms, vietos taryboms ar kitoms bendruomenėms. Visos įtrauktos suinteresuotos šalys prisideda prie ŠESD kiekio mažinimo, nes energetikos plėtros srityje yra pajėgios rengti ir derinti AEI technologijų plėtros veiksmų planus, skatinti darnią miesto infrastruktūros plėtrą, siekti šilumos energijos gamybai naudoti vis daugiau žaliąsias technologijas bei imtis visuomenės švietimo apie AEI panaudojimo galimybes ir suteikiamą naudą [11]. AEI integravimas į energetikos sektorių labiausiai aktualus šalims, kurios neturi prieigos prie pirminių energijos išteklių ir yra priklausomos nuo šalies importo, todėl šios šalys ypač turi ieškoti alternatyvų, kurios leistų įgyti energetinį suverenitetą ir taip užtikrinti energetinį saugumą. Priklausomybei nuo trečiųjų šalių padeda sudarinėjami įsipareigojimai, kurie yra susiję su darnia ekonomika [12].

Atsinaujinančios energetikos plėtros politiką galima suskirstyti į dvi grupes: tiesioginę ir netiesioginę. Pirmajai AEI politikos grupei yra priskiriamas supirkimo tarifų didinimas, mokesčių lengvatos, technologijų subsidijavimas. Antrąją grupę sudaro veiksniai skatinantys atsinaujinančių išteklių konkurencingumą prieš tradicines elektrines. Skatinamiesiems veiksniams yra priskiriamas tikslinių subsidijų įstatymas, elektrinėms tiekiamo kuro kainodara, kurios įgyvendinimas padidintų iškastinio kuro elektrinių sąnaudas ir sumažintų jų konkurencingumą prieš AEI technologijas [13]. Strateginiai politiniai planai padeda šalims sustiprinti technologinius pajėgumus ir išnaudoti prieinamų išteklių potencialą. Toliau pateikiami keli pagrindiniai žingsniai ir veiksmai, kurių turėtų imtis valstybės [14]:

1. investuoti į strategijas, kurios skatintų perspektyvių technologijų plėtrą, jų ekonomiškumą ir pritaikymo galimybes;
2. plėtoti mokslinių tyrimų sritį susijusią su ekonominiiais, socialiniais ir aplinkosauginiais technologijų aspektais;
3. sustiprinti arba sukurti nacionalinį mechanizmą, kuris sustiprintų institucinius ryšius tarp mokslinių tyrimų, veiklos plėtros ir gamybos sektoriaus, t.y. turėti viešąsias ir privačias investicijas;
4. sukurti programas, kurios įtrauktų potencialių investuotojų, gamintojų ir vartotojų grupes ir padėtų nustatyti jų tarpusavio sąveikos ryšį, o su įgytomis žiniomis, pagrįsti priimamų sprendimų susijusių su technologinėmis galimybėmis naudą;
5. nustatyti naujų technologijų techninius ir ekonominius kriterijus, kurie padėtų ekspertams nustatyti jų potencialą konkrečiose srityse;
6. finansuoti parodomuosius projektus, susijusius su naujų technologijų įdiegimu, kurie skatintų mokslinių tyrimų veiklą, specialistų rengimą bei industrializaciją.

Visi šie išvardinti žingsniai turi įtakos spartesniam ir lengvesniam atsinaujinančių šaltinių įrengimui, todėl šalys turėtų rodyti daugiau vidinės iniciatyvos imtis šių veiksmų, o net tik būti skatinamos priimtų įvairių ribojimų ir įsipareigojimų.

1.2.2. Atsinaujinančios energetikos plėtros skatinimo tarptautiniai susitarimai, ekonominės ir finansinės priemonės

Efektyvesnei AEI plėtrai užtikrinti ne tik ES, bet ir kitose pasaulio šalyse buvo sudaryta Jungtinių Tautų bendrosios Klimato kaitos konvencija, kuri apima 196 šalis ir siekia, kad ŠESD dujų kiekis

atmosferoje būtų stabilizuotas iki tokio lygio, kad nebūtų neigiamai veikiamas klimatas. Ši tarptautinė sutartis nenustato griežtų ribojimų ar kitų kontroliuojančių mechanizmų šaliai, remiasi pagrindiniu principu „Bendra, bet diferencijuota atsakomybė su atitinkamais pajėgumais“, taip atsižvelgiant į individualų emisijų lygį ir pajėgumus keisti politiką [15]. Šis tarptautinis susitarimas nuolatos gali būti atnaujinamas, prie jo pridodant papildomus protokolus, kuriuose nustatomi papildomi reikalavimai išsivysčiusioms šalims. Šiuo metu svarbiausias atnaujinimas – Kioto protokolas.

Kioto protokolas buvo priimtas 1997 m. Juo buvo siekiama per penkerių metų laikotarpį (2008-2012 m.) sumažinti ŠESD vidutiniškai 5,2 % lyginant su 1990 m. lygiu. Pagrindinis šio protokolo bruožas yra tarptautinis požiūris į problemą ir kolektyviniai veiksmai. Siekiant palengvinti šalių bendradarbiavimą Kioto protokole aptariamoms pagrindinėms priemonėms: tarptautinė apyvartinių taršos leidimų prekyba, švarios plėtos mechanizmas ir bendrasis įgyvendinimas, kuriuo siekiama padėti šalims ekonomiškiau pasiekti taršos mažinimo tikslus. Tačiau ekonomistai skeptiškai žiūrėjo į šį atnaujinimą, nes protokolas buvo taikomas tik pramoninėms šalims ir šis skirtumas tarp valstybių sumažino protokolo veiksmingumą, nes susitarimas tapo šališkas, iškilo šalių diferenciacijos problema. Taip pat, remiantis priimtu protokolu, įsipareigojimų nevykdymo atveju šaliai kitą įsipareigojimų laikotarpį priskaičiuojama 1,3 neįvykdymo dalies ir gali būti apribojamos teisės dalyvauti protokole numatytuose mechanizmuose, tačiau šios nuobaudos gali būti pritaikomos jei yra gaunamas nevykdančios šalies sutikimas, dėl ko Kioto protokolas tapo pernelyg silpna priemonė [16]. Šiam protokolui patobulinti buvo nuspręsta pavirtinti naują, teisiškai patvirtintą, privalomą visuotinį klimato kaitos susitarimą, kuris buvo pavadintas Paryžiaus klimato kaitos susitarimu.

Paryžiaus klimato kaitos susitarimas yra naujausias bandymas skatinti tarptautinį bendradarbiavimą klimato kaitos srityje, prie kurio yra prisijungusios 185 šalys, kurios siekia apriboti pasaulio temperatūros lygio kilimą žemiau 2 °C ikiindustrinio lygio bei užtikrinti ekonomiškai ir ilgalaikes finansavimo priemones. Norint pasiekti šį tikslą, reikia kasmet sumažinti ŠESD kiekį 5–7 % ir laikytis dabartinių nacionaliniu mastu nustatytų įnašų, juos atnaujinant kas penkerius metus iki 2030 m. Šiuo tarptautiniu susitarimu yra atliekami tyrimai, kuriuose analizuojami CO₂ esami ir liekamieji kiekiai, taip pat šalys prisiima atsakomybę teikti ataskaitas kas 5 metus apie jų progresą ŠESD kiekio mažinimo srityje. Toks nuolatinis mažinimas, siūlomas kaip anglies dioksido įstatymas, kas dešimtmetį pasaulinį CO₂ išmetimą sumažinti perpus, ypač energijos, transporto, žemės ūkio ir vartojimo prekių sektoriuose [17].

Paminėtina, kad be sudarytų įvairių susitarimų tarp šalių, Europos Sąjungoje egzistuoja apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema (ATLPS), kuri apima visas ES nares įskaitant Islandiją, Norvegiją ir Lichtenšteiną. Prekyboje apyvartiniais taršos leidimais (ATL) reguliavimo institucijos nustato CO₂ išmetimo ribą, pagal kurią įmonėms yra suteikiamas atitinkamas ATL kiekis ir suteikiamas lankstumas reikalavimų laikymosi atžvilgiu. Įmonės turi galimybę kaupiti ATL ir juos pasilikti būsimiems poreikiams arba jais prekiauti tarp kitų subjektų. Tačiau ATL gali sukelti ir potencialų trūkumą, nes gali susidaryti regioninė taršos grupė, jei įmonėms būtų ekonomiškiau pirkti leidimus rinkoje, o ne mažinti teršalų kiekį. ATLPS gali būti pažeidžiama dėl šalies ekonominio kitimo sąlygų, pavyzdžiui recesijos metu tam tikroje šalyje pramonės produkcija ir emisijos gali smarkiai sumažėti, o šis sumažėjimas darytų įtaką ATL paklausai ir sumažintų jų kainą, dėl ko gali kilti abejonių ATLPS naudingumu [18]. ATL kaina nustatoma pirminiuose aukcionuose remiantis paklausos ir pasiūlos santykiu. Šie aukcionai suteikia veiksmingesnį paskirstymo pranašumą, nes subjektai, kuriems reikia papildomų leidimų gali juos gauti [19].

Įmonėms ir vyriausybėms nulinės taršos tikslas suteikia galimybes investuoti į švarias technologijas, inovatyvius produktus ir paslaugas, tačiau tam pasiekti yra pats svarbiausias veiksnys – investicijos. Vienas iš investavimo būdų yra žaliosios obligacijos (ŽO), kurios yra populiarios dėl savo riziką mažinančių savybių ir patrauklumo instituciniams bei socialiai atsakingiems investuotojams klimato kaitos ir tvaraus vystymosi finansavimo sistemose. ŽO yra apibrėžiami kaip fiksuotų pajamų vertybiniai popieriai, kuriais yra siekiama pritraukti skolinto kapitalo aplinkosaugos projektams bei atliekų ir taršos kontrolei remti, taip pagerinant energijos vartojimo efektyvumą. Šias obligacijas leidžia valstybės, savivaldybės, įvairios agentūros ar finansų institucijos. ŽO ypatingos, nes pasižymi mokesčių lengvatomis, tokiomis kaip atleidimas nuo mokesčių ir mokesčių kreditų pritaikymas, todėl yra patrauklesnė investicija, palyginti su įprastinėmis obligacijomis. Visos obligacijos turi atitikti Tarptautinės kapitalo rinkų asociacijos nustatytus principus [20].

Dar vienas būdas mažinti taršą, tai investicijos į mokslinius tyrimus ir inovacijas, būtent Europos Sąjungoje yra įsteigta finansavimo programa “Europos horizontas”, kurios metinis biudžetas būna apie 100 mlrd. Ši programa skirta plėsti inovacijų politiką su skirtingomis genealogijomis, palengvina bendradarbiavimą ir sustiprina mokslinių tyrimų ir inovacijų poveikį kuriant, remiant ir įgyvendinant ES politiką, socialinę paramą. ES finansuojamos programos yra įsipareigojusios spręsti energetikos problemas, tokias kaip energetinis skurdas, finansuojami inovaciniai projektai susiję su energijos nepriteklumi. Stengiamasi mokslinius tyrimus integruoti taip, kad visuomenę gautų tiesioginę naudą, pavyzdžiui yra sukuriamos naujos darbo vietos, įtraukiami ES talentų fondai, skatinamas ekonomikos augimas ir pramonės konkurencingumas. Ši programa efektyvi iš edukacinės srities, nes padedama kurti tikslines skaitmenines priemones, siekiant pagerinti viešojo ir privačiojo sektorių duomenų prieinamumą bei plėsti įmonių ir visuomenės suvokimą susijusį su nulinės taršos tikslu [21].

Kalbant konkrečiai apie Lietuvą, labai populiaru yra Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) paramos, kurią dažniausiai žmonės žino kaip paramą įsirenginėjant saulės elektrines, tačiau APVA parama yra suteikiama ir suskystintų naftos balionų pakeitimui į kitus energijos šaltinius, elektromobilių aikštelių įrengimui, mažiau taršių transporto priemonių įsigijimui, visuomeninio transporto ir darnaus judumo skatinimui ir t.t. Parama saulės elektrinėms yra viena dažniausių Lietuvoje, nes yra suteikiamos subsidijos, kurių vertė 323 eurai už vieną kilovatą įsirengiant saulės elektrines su keitikliu ir 243 eurai įsirengiant tik saulės modulius. Tačiau, ši parama yra suteikiama ribotos galios elektrinėms, jos negali viršyti 10 kW. Dažnai žmonės galvoja, kad didesnės galios elektrinėms parama nebeteikiama, tačiau ši visuomenės susiformavusi nuomonė yra klaidinga, kompensacijos yra teikiamos, tiesiog subsidija paskiriama tik už 10 kW galią [22].

1.2.3. Žaliųjų technologijų projektų finansavimo svarba

Atsižvelgiant į investicijas į mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančios energijos gamybą poreikių dydį, kapitalo prieinamumas ir kaina yra būtini sėkmingam energijos perėjimui, ypač kai pastaruojų metu labai išaugo nereikalingas projektų finansavimas. Finansavimo sumažėjimas į AEI technologijas kelia grėsmę tvaraus vystymosi tikslams ir Paryžiaus susitarimo dėl klimato kaitos pasiekimui. Šiuo metu yra trys pagrindinės kliūtys su žaliosios energijos projektų finansavimu: mažesnė gražos norma, didesnė investicijų rizika, dėl kurios kai kurie bankai nenori suteikti finansavimo bei neapibrėžtumo priežastis, nes SE, VE, HE technologijos tobulėja ir mažėja sąnaudos, dėl ko skatina investuotojus sustoti ir pažiūrėti kiek ateityje galėtų sutaupyti [23]. Yra atlikti tyrimai,

kuriuose yra aptariamose trys pagrindinės teorinės prielaidos, kaip projektų finansavimas turi įtakos efektyvesnei elektros energijos gamybai iš atsinaujinančių šaltinių. Pirmoji prielaida - neigiama finansinė sinergija su esamu verslu. Kai įmonės svarsto tokius projektus kaip nauja elektrinė, sinergija su esama veikla dažnai yra pagrindinis rūpestis. Paprastai veiklos sinergija yra teigiama, pavyzdžiui masto ekonomijos atveju, tačiau finansinė sinergija dažnai yra neigiama. Antroji prielaida – rinkos trūkumas. Ekonominėje literatūroje aptariami trys būdai, kuriais projektų finansavimas gali padėti išspręsti asimetrines informacijos ir agentūrų išlaidas:

1. Informacijos asimetrija tarp investuotojo ir skolintojų. Paprastai projektą įgyvendinanti įmonė turi geresnę prieigą apie projekto perspektyvas ir realius rezultatus nei išorės kreditoriai, todėl jei būtų išlaikoma ši asimetrija, tai leistų atskirti projekto rezultatus nuo bendros įmonės veiklos ir paskatinti rizikingesnių elektrinių projektų investavimą;
2. Konfliktai tarp projekto savininkų ir sutarties šalių. Tokie projektai kaip elektrinės priklauso nuo sutartinių santykių su tokioms šalims kaip kuro tiekėjas ir elektros tiekėjas. Jeigu abi šios šalys yra visiškai monopolijos, gali kilti šalių konfliktas, tačiau projektų finansavimas naudojant kruopščiai parengtą nefinansinių ilgalaikių sutarčių rinkinį ir bendrą vertikalią nuosavybę gali sušvelninti šiuos konfliktus. Neretai kyla konfliktai ir su vyriausybėmis, kurios gali imtis priemonių, kuriomis nusisavintų infrastruktūros turtą, todėl projekto finansavimas gali sušvelninti tokią riziką, nes sudaro sąlygas aukštam skolos santykiui ir skolos sindikavimui, kuris pagerina projekto derybinę padėtį;
3. Konfliktai tarp projektų savininkų ir vadovų šalių. Neretai kyla konfliktai tarp įmonių vadovų ir verslo bendrasavininkų, ypač tuose įmonėse, kuriuose yra dideli laisvųjų pinigų srautai. Įmonės vadovai turi teisę užkirsti kelią naujų pinigų išmokėjimui akcininkams, o vietoj to išlaikyti savo kontroliuojamus išteklius, vykdydami vertę mažinančias pakartotines investicijas, todėl projektų finansavimas leidžia sukurti griežtą projektą, konkrečią valdymo struktūrą ir įgyvendinti labai aukštą skolos santykį.

Trečioji prielaida kaip projektų finansavimas turi įtakos efektyvesnei elektros energijos gamybai iš atsinaujinančių šaltinių yra svarstymai dėl organizacinės struktūros. Yra suteikiama galimybė sukurti organizacines struktūras, kurie yra naudingi įmonės vidinei strategijai. Projekto struktūrizavimas kaip neregresinis atskiras subjektas leidžia realizuoti projektą kaip vertikalią bendrą įmonę, pavyzdžiui įskaitant sutarties šalis, kad sumažintų išlaidas. Taip pat, apima motyvą skatinti projektus per pilietinį motyvą užtikrinantį elektros tiekimą nepriklausomai nuo didelių įmonių, nes įrodyta, kad kai kurie mažmeniniai investuotojai, pavyzdžiui piliečių bendruomenė, kuri svarsto apie vėjo jėgainių ar saulės elektrinių statybą, priimdami investicinius sprendimus atsižvelgia į gerovės aspektus neapsiribojant rizikos ir grąžos palyginimu [24].

1.2.4. Atsinaujinančių energijos išteklių įrengimo techniniai reikalavimai Lietuvoje

Lietuva kaip ir kitos Europos Sąjungos šalys, patvirtino nacionalinę strategiją susijusią su energetine nepriklausomybe. Šios strategijos tikslas yra sustiprinti, užtikrinti šalies energetinį saugumą ir konkurencingumą. Lietuvos energetinė nepriklausomybė užtikrins galimybę laisvai pasirinkti energijos išteklių rūšį ir jų tiekimo šaltinius (įskaitant vietinę gamybą), labiausiai atitinkančius valstybės energetinio saugumo poreikius ir Lietuvos vartotojų interesus, išsilygant energijos išteklius palankiausia kaina [25]. Taip pat, strategijoje yra aprašomi tikslai, susiję su klimato kaitos ir aplinkos oro taršos mažinimu, kalbama apie energijos vartojimo efektyvumo gerinimą, kuris susijęs su valstybės gyventojų finansine būkle. Tačiau, kad būtų efektyviau integruotos žaliosios energetikos

technologijos į tinklą, yra nustatytos bendrosios įrengimo taisyklės, kad nebūtų sutrikdyta šalies energetinė veikla. Visos naujos šalies elektrinės turi būti prijungtos prie šalies elektros tinklų, o prijungimo laikotarpis skaičiuojamas nuo sutarties pasirašymo dienos tarp užsakovo ir elektros tinklų operatoriaus. Kad būtų parengiama sutartis, visų pirma turi būti paruošiami išankstiniai dokumentai, tokie kaip AB „Energijos skirstymo operatorius“ techninės prijungimo sąlygos, kuriuose yra numatyti elektrinės prijungimo prie elektros tinklų techniniai sprendiniai, numatoma ar reikalinga tinklo rekonstrukcija. AEI technologijos turi atitikti Europos Sąjungos standartus, įskaitant ekologinius ženklus, energijos duomenų etiketes ir Europos Sąjungos standartizacijos įstaigų nustatytas techninius normatyvus. Šie reikalavimai apima gaminių ilgaamžiškumo terminus, pavyzdžiui saulės moduliams turi būti suteikiama ne mažesnė kaip 10 metų produkto ir 80 % efektyvumo garantija.

SE techninė priežiūra turi būti atliekama vadovaujantis saulės elektrinių įrangos gamintojo techninėje dokumentacijoje nurodytais reikalavimais. Reikia laikytis Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklių, patvirtintų Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2010 m. kovo 30 d. įsakymu Nr. 1-100 bei Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklių, patvirtintų Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2012 m. spalio 29 d. įsakymu Nr. 1-211, reikalavimų, kuriuose nurodyti techniniai ir organizaciniai reikalavimai energetikos objektams. Yra nurodoma, kad elektrinės prijungimas prie tinklo turi atitikti įtampos, dažnio ir fazių skaičiaus reikalavimus. Paprastai buitiniai vartotojai yra prijungiami prie 0,4 kV tinklo įtampos, nes jų instaliuotos elektrinės dažniausiai neviršija 30 kW galios. Komerciniai ir kiti vartotojai, kurių poreikis viršija 30 kW ribą yra jau prijungiami prie aukštos įtampos tinklų. Visi elektrinės komponentai turi būti parenkami taip, kad sistema neviršytų 10 % įtampos nuostolių žemos įtampos tinkle, o dažnio diapazonas išlaikomas ± 50 Hz ribose [26].

Saulės elektrinė gaunamą saulės energiją paverčia į nuolatinę srovę, dėl šios priežasties turi būti kartu su PV moduliais montuojami ir galios keitikliai. Keitiklių paskirtis – nuolatinę elektros srovę konvertuoti į kintamąją, sukeliant įtampą iki vartojamos 230V. Yra įvairių galios keitiklių, kurie skiriasi savo vidine struktūra, tačiau visi jie valdo reaktyviąją galią, sinchronizuoja fazes, turi didžiausios galios sekimo (MPPT) sistemas. Paprastai, galios keitikliai skirstomi pagal darbo režimą arba turi galimybę dirbti visais trejais režimais, kurie yra išskirstomi:

1. Nepriklausomas (angl.k. *Off-Grid*) režimas. Keitikliai dirbantys šiuo režimu, visą saulės elektrinių pagamintą energijos kiekį atiduoda vartotojo poreikiams patenkinti arba akumuluoja energiją specialiuose talpyklose – kaupikliuose. Kaupikliais dažniausiai yra vadinamos akumuliatorinės baterijos, kurios suteikia galimybę vartotojui visapusiškai išnaudoti pagamintą energijos kiekį ir sumažinti pertekliaus perdavimą tinklui. *Off-grid* režimas labiausiai tinkamas vartotojams, kurie yra nutolę nuo urbanistinių vietovių ir susiduria su elektros energijos tiekimo trikdžiais. Šiuo metu rinkoje, labiausiai paplitusios yra švino-rūgšties ir ličio jonų baterijos;
2. Tinklo (angl.k. *Grid-tie*) režimas. Tinklo režimas leidžia keitikliams pagamintą energiją tiesiogiai atiduoti į paskirstymo tinklus, ji nebegali būti akumuluojama ar tiesiogiai atiduodama vartotojui. Šio tipo keitikliai dažniausiai yra naudojami didelės galios saulės elektrinėse [27];
3. Tinklo režimas, kartu su energijos kaupimu (angl.k. *Grid-tie with backup*). Šio tipo kaupikliai yra praktiški, nes apima pirmus du aptartus režimus. Jie turi galimybę esant poreikiui tiesiogiai

perduoti elektros energiją vartotojui, perteklių nukreipti į akumuliatorines baterijas, o pilnai užpildžius jas, perduoti į tinklą. Dažniausiai keitikliai turi valdymo funkciją su kuria yra galimybė nusistatyti energijos perdavimo prioritetus. Esant poreikiui ir laikotarpiui kada saulės elektrinės negeneruoja arba generuoja labai minimaliai, šio tipo keitikliai turi galimybę krauti kaupiklius pasinaudojant tinklo energija [28].

VE dirba prijungtos prie vietinių elektros tinklų į kuriuos perduoda visą pagamintą energiją. Kadangi energijos poreikis kiekvieną dieną didėja, tai ir vėjo energijos dalis tinkle daro vis didesnę įtaką. Išėjimo dažnis turi būti palaikomas labai arti 50 arba 60 Hz, atsižvelgiant į vietinius poreikius. Taip pat, tinklas turėtų būti pakankamai tvirtas, nes vėjo generuojamas nestabilumas tinkle, gali sukelti vėjo jėgainių parko uždarymą ar sutrikdyti elektros tiekimą vartotojams. Vėjo energijos surinkimo sistemos išvestis turi būti lygiagreti arba sinchroniška su komunalinių paslaugų sistema. Kintamos srovės arba sinchroninis generatorius, dažniausiai naudojamas didesnėse vėjo turbinose, kitu atveju gali būti pakeistas indukcinio generatoriumi. Dauguma VE dirba stabiliu rotoriaus sukimosi dažniu, o kai norima pasiekti aukštesnį efektyvumo koeficientą, dirba kintamuoju sukimosi dažniu. Jeigu vėjo turbina dirbs stabiliu rotoriumi, tuomet jos bus jungiamos su tinklu tiesiogiai, naudojant individualų galios transformatorių, tačiau automatiškai padidėja turbina gabaritai, nes transformatorius turi būti įtaisomas pačioje turbinoje. Jeigu rotorius dirba kintamuoju sukimosi dažniu, turbina negali būti jungiama tiesiogiai į tinklą, reikalingas keitiklis, kuris suderina tinklo ir rotoriaus parametrus, tačiau sukelia ir aukštesniąsias harmonikas, todėl dar yra naudojami specialūs harmonikų filtrai. Keitikliai leidžia sumažinti turbina sukimosi dažnį esant mažiems vėjo greičiams ir taip sumažinti triukšmo lygį, taip pat reguliuoti reaktyviąją galią bei dirbti kintamuoju greičiu, o tai reiškia, kad galima geriau išnaudoti turbina našumą [29].

HE įrengimas turi atitikti ES priimtus aplinkosaugos teisės aktus, nes įrengimas priklauso nuo upių ir ežerų ekosistemų, kurios yra pagrindinis biologinės įvairovės šaltinis ir svarbi mūsų turtingo gamtos paveldo dalis. Hidroenergija svarbi įgyvendinant Atsinaujančių išteklių direktyvą ir siekiant 2020–2030 m. energetinių tikslų. Šių technologijų įrengimas turi vadovautis Paukščių ir Buveinių direktyvomis, kurios skatina bendradarbiavimą tarp visų ES šalių, kad būtų remiamasi bendrąja teisine sistema, kuri padeda išsaugoti natūralaus paplitimo areale sparčiausiai nykstančias ir pažeidžiamas Europos buveines ir rūšis, nepaisant politinių ar administracinių sienų. Taip pat, hidroelektrinių plėtra ir kita vandenyje vykdoma veikla turi atitikti Vandens pagrindų direktyvoje, Potvynių direktyvoje ir Poveikio aplinkai vertinimo direktyvoje (PAV/SAV) išdėstytus reikalavimus. Iš esmės, hidroelektrinių statyba yra leidžiama, kai yra nuodugnai atliekamas tyrimas apie galimą poveikį įvairiems aplinkos komponentams, socialinei ekonominei aplinkai bei numatomos priemonės, skirtos išvengti neigiamam poveikiui. Turi būti įvertinamas ir netiesioginis poveikis aplinkai, tai yra naujų kelių ir elektros perdavimo linijų atsiradimas, tinkamas statybos aikštelės paruošimas (grunto sutankinimas, medžių, krūmų, lapų, griuvėsių ir kt. pašalinimas), monitoringo vykdymas, žuvų migracijos kelių atkūrimas, hidroelektrinių rizikos analizė ir t.t. [30].

1.3. Atsinaujančių energijos išteklių plėtros perspektyvos ir trūkumai

1.3.1. Atsinaujančių energijos išteklių plėtros potencialas

Pasaulis sparčiai vystosi įvairiose srityse, todėl per pastaruosius dešimtmečius ir AEI skverbties lygis pasiekė dviženklį procentą energijos rinkoje. Didėjantys skaičiai rodo, kad šios technologijos pasaulinėje rinkoje tampa labiau aktualios ir prieinamos, kas skatina jų plėtimąsi, todėl

atsinaujinantiems šaltiniams prognozuojamos aukštumos. Didelės įtakos augimui turi išsikelti visuomeniniai tikslai, kurie susiję su aplinkosauga, darniąja energetika ir t.t. Tačiau ateinančiais dešimtmečiais SE technologijų raida yra apibrėžiama pagal kaip jos sąveikauja su kitomis technologijomis. Pavyzdžiui, PV energijos įvertinimui buvo sukurta metodika įvertinanti potencialą tam tikruose regionuose, kuriuose planuojama nutraukti atviros anglies kasyklos veiklą artimiausiu metu. Susidomėjimas AE ir kasybos veiklos (arba kasyklų uždarymo) sinergija pastaraisiais metais išaugo ir buvo daug saulės, vėjo ir baterijų saugyklų išbandyta kasybos vietose. Iki 2018 m. buvo pradėta naudoti ir paskelbta beveik 2 GW AE kasyklų vietose. Rekultivuotos kasyklos žemės naudojimas saulės energijos projektams yra ypač patrauklus kasyklos etapui po uždarymo. Kasybos koncesijos plotai paprastai yra didesni nei iškasamas plotas. SE sistemų diegimas suteikia galimybę gauti alternatyvų pajamų šaltinį bei tam tikrą finansavimą, nes yra išnaudojamos nualintos anglies kasybos žemės, tai sprendžia svarbią kliūtį išnaudojant saulės potencialą, t. y. žemės prieinamumą. Taip pat, gauti licencijas dirbti kasyklos apleistoje teritorijoje gali būti lengviau ir greičiau, nes paprastai ten nėra visuomenės pasipriešinimo ir nekonkuruoja su žemės ūkio veikla. Dar vienas privalumas – sukuriama darbo vietos. Remiantis Jungtinių Amerikos Valstijų SE surašymo duomenimis, per metus įdiegtų 1 MW saulės elektrinių eksploatacijai ir priežiūrai reikia apie 0,17 laiko ekvivalento (FTE), didesnių elektrinių 3,5 FTE. Jeigu juodosios ir rusvosios anglies gamyklų uždarymas būtų vykdomas lygiagrečiai su SE įrengimu, per ateinančius 15 metų būtų galima įrengti 580 GW galingumo elektrinę, kuri suteiktų apie 135 000 darbo vietų statybų sektoriuje. Taigi, SE sistemoms kasybos vietos yra perspektyvus pasirinkimas, padedantis pereiti nuo anglies kaip pagrindinio šaltinio, pakeičiant anglimi kūrenamą elektros gamybą į AE [31].

Didelę perspektyvą turi CSP, kurios gali būti klasifikuojamos kaip aktyvios arba pasyvios sistemos. Pagrindinis šių sistemų tikslas tiekti energiją ne tik dieną, bet ir naktį, nešviečiant saulei. Šiluminė energija gali būti kaupiama trimis skirtingomis formomis: jautrioji šiluma, latentinė šiluma ir termocheminė šiluma. Pastaroji technologija yra pati perspektyviausias ir efektyviausias šiluminės energijos kaupimo būdas, tačiau techniškai sudėtingiausias. Kita perspektyvi CSP technologija – parabolinis lovelis, kuris turi laikymo sistemą, kurios pagrindą sudaro išlydytos druskos, o likusioje dalyje nėra integruotos saugojimo sistemos. Sandėliavimo naudojimas šioje konfigūracijoje yra plačiai paplitęs, nors jis turėtų būti padidintas, kad ši technologija galėtų dalyvauti elektros energijos rinkoje, taip išstumiant įprastus iškastinio kuro energijos šaltinius. Saugyklos pajėgumas šiuo metu yra apribotas iki 8 valandų, tačiau po kelerių metų tikimasi pasiekti iki 12 val. Su šia technologija, tikimasi, ne tik sumažinti saugojimo išlaidas, bet ir konkuruoti su elektra, pagaminama iš įprastinių dujų kūrenamų elektrinių. Kita technologija - linijinis Frenelio kolektorius. Naudojama laikymo sistema susideda iš garo akumuliatoriaus, išlydytos druskos ir betono, tačiau ši technologija negali konkuruoti su paraboliniu loveliu, dėl savo veikimo temperatūros. Ši technologija siūlo modulinį montavimo pajėgumą, kuris svyruoja nuo KW iki MW ir yra mažiausia CSP konfigūracija. Maitinimo bokštą kaip saulės šiluminės energijos ateitį pažymėjo žiniasklaida. Ši technologija turi galimybę pasiūlyti didesnę efektyvumą ir geresnę energijos saugojimo pajėgumą nei lovio sistemos. Ši technologija turi ateityje pasižymėti savo didele galia ir maža kaina. Tobulėjant aptartoms CSP technologijoms, ateityje prognozuojama, kad jų elektros gamybos kainą išsivysčiusiose šalyse bus pigesnė už naujai pastatytos atominės elektrinės elektros kainą [32].

Dar didesnės SE perspektyvos būtų, jeigu būtų išnaudojamas pilnai pastatų potencialas, kuris padėtų remti dekarbonizaciją visame pasaulyje. Pavyzdžiui, šiuo metu tik apie 3 % Jungtinių Amerikos

Valstijų pastatų naudoja saulės energiją. Tinkamai integravus SE sistemas, dekarbonizavimo išlaidas iki 2050 m. būtų galima sumažinti 22 %. Iš esmės, pagrindinės SE ateities tyrimo išvados yra:

1. Tobulėjant technologijoms, elektros kaina iki 2025 m. nedidės;
2. Dėl darnios energetikos tikslų, turi būti spartinamas švarios energijos diegimas, todėl numatoma, kad iki 2035 m. saulės energijos srityje dirbs net 500 000 – 1 500 000 žmonių;
3. Žemės prieinamumas neriboja SE įrengimo (pažeistų/užterštų žemės plotų naudojimas);
4. Dekarbonizacijos nauda viršija papildomas patiriamas išlaidas (sukauptos elektros energijos sistemos sąnaudos nuo 2020 iki 2050 m. yra 562 mlrd. USD (25 %) didesnės, grynoji sutaupyta vertė siekia 1,7 trilijono USD).

Taigi, iš esmės SE ateitis priklauso nuo priimtų ir busimų pokyčių energetikos sistemoje, pavyzdžiui padidėjęs pastatų ir transporto priemonių elektrifikavimas, švaraus kuro atsiradimas ir priimti nauji įsipareigojimai dėl teisingumo ir labiau žiedinės, tvaresnės ekonomikos.

Didžiulis reikalingos atsinaujinančios energijos kūrimo mastas verčia nacionalinius planuotojus išnagrinėti visas vietas parinktis, įskaitant galimybes išnaudoti nepanaudotą sausumos vėjo energijos potencialą. Vėjo energijos diegimą sausumoje ir toliau remia įvairios nacionalinės politikos kryptys, o politika orientuota į visuomenės pasipriešinimo mažinimą ir sausumos projektų plėtros sąnaudų mažinimą. Iš tiesų yra teigiama, kad sausumos vėjo energija ir toliau išliks dominuojantis energijos šaltinis Europoje iki 2050 m., nes planuojama įrengti iki 10 288 GW sausumos vėjo jėgainių vardinę galią, net tokiose vietose kaip Šiaurės šalių regione, kur teritorijos žinomos kaip agresyvaus vėjo. Technologiškai vėjo energijos potencialas jau buvo apskaičiuotas per vis besiplečiantį fizinio mokslo darbą. Pavyzdžiui, 2009 m. Europos aplinkos agentūra paskelbė ataskaitą apie vėjo energijos potencialą Europoje. Manoma, kad 2030 m. sausumos techninis potencialas bus 45 000 TWh per metus. Kita vertus, Europos energetikos agentūros ataskaitoje iš dalies paaiškintas šališkumas vėjo energijos plėtrai Vakarų Europoje, pažymint, kad vėjo energijos plėtra Rytų Europos šalyse gali būti ekonomiškai nekonkurencinga iki 2030 m. Nors ir didelis dėmesys suteikiamas integruojamoms vėjo elektrinėms sausumos reljefe, tačiau dėl besiplečiančių miestų ir kitų aspektų naudojamas žemės plotas sparčiai mažėja, todėl žvelgiant iš šios perspektyvos, pastaraisiais metais jūros vėjo jėgainių pramonė demonstruoja labai didelę dinamiką tiek fiksuotų vėjo turbinų, tiek plūduriuojančių platformų kūrimo srityje. Nors ir pradžioje energijos gamybos svertiniai kaštai buvo santykinai dideli, dėl ko buvo jūrinės elektrinės nekonkurencingos sausumos elektrinių atžvilgiu, šiuo metu jūros vėjas tapo komerciškai efektyvus ir pigiausias atsinaujinantis jūrų energijos šaltinis [33].

Hidroelektrinės yra vienos seniausių energetikos technologijų pasaulyje. Šių technologijų potencialas yra labai didelis, nes pasižymi gebėjimu tiesiogiai paversti energiją į elektrą be didelių tarpinių konversijos procesų, turi didelę energijos efektyvumo investicijų grąžą. HE sudaro iki 3 % visos energijos gamybos pasaulyje ir iki 17 % visos pasaulyje pagamintos elektros energijos. Atliktais tyrimais, buvo nustatyta, kad didžiausias HE potencialas yra šalyse, kurios turi santykinai mažą energijos poreikį bei didelius vandens išteklius. Pavyzdžiui, tokiose šalyse kaip Albanija, Mozambikas ar Nepalas hidroenergija sudaro daugiau nei 90 % bendrojo elektros tiekimo [34]. Visi energetikos projektai turi atsižvelgti į ekonominį gyvybingumą, nors ir hidroelektrinės yra vienas ekonomiškiausių ir patikimiausių modelių, tačiau dėl aplinkosauginių problemų didelės hidroelektrinės laikomos nebetinkamos ir visas dėmesys krypsta į mažesnes alternatyvas, t.y. hidroelektrinės įrenginėjamos drėkinimo užtvankose, kanalų griūtyse, upių takuose, kurių galingumas svyruoja nuo 3 MW iki 30 MW ir aptarnauja mažesnius elektros poreikius turinčius regionus. Šios

mažesnės hidroelektrinės nereikalauja didelių plotų, nedaro įtakos augalijai ir gyvūnijai, netrikdo vandens tekėjimo, o jų neišnaudotas potencialas pasaulyje yra dar labai didelis [35]. Taip pat, hidroelektrinės duoda ekonominės ir socialinės naudos. Ekonominio požiūriu šios technologijos sukuria tiesiogines ir netiesiogines galimybes statybinių medžiagų sąsajoms, taip sukurdamos multiplikacinį efektą pramonės sektoriui. Stiprina regioninį bendradarbiavimą ir plėtrą, sukuria naujas darbo vietas [36].

1.3.2. Atsinaujinančių energijos išteklių trūkumai

Nepaisant visų privalumų, AEI technologijos turi ir trūkumų. Pati opiausia, tai generuojamos energijos nepastovumas. Šis kitimas susidaro dėl įvairių priežasčių: sezoniškumo, saulės intensyvumo, nevienodo energijos vartojimo pasiskirstymo ir t.t.

Šviesiuoju paros metu, kuomet saulė yra intensyviausia, dažnai yra gaunamas elektros energijos perteklius, pagaminama daugiau negu suvartojama, o tamsiuoju paros metu įvyksta atvirkštinis procesas, generacija lygi nuliui. Šiai problemai išspręsti, energijos gamintojai turi galimybę perteklinę energiją atiduoti į tinklą arba pasinaudoti sukurtomis technologijomis ir akumuliuoti energiją. Tokiu būdu yra visapusiškai išnaudojamas energijos kiekis savoms reikmėms. Energijos akumuliacija kaupikliuose ypač aktuali vartotojams, kurie yra nutolę nuo urbanizuotų vietovių ir susiduria su elektros tiekimo trikdžiais, tačiau tai padidina investicijas ir atsipirkimo laiką [37]. Saulės baterijos yra neefektyvios, jų konversijos efektyvumas, palyginti su kita energija, yra labai mažas. Pasiekiamas efektyvumas saulės baterijoje nepaverčia SE į naudojamą energiją virš 20 %. Dėl neefektyvumo, saulės energijai surinkti reikalinga didelė erdvė. Tokiu atveju, gali būti intensyviai naudojama žemė ir daryti poveikį saugomiems plotams, todėl mažai dėmesio skiriama tam, ar bendras energijos perėjimo poveikis kelia didelę grėsmę pasaulio biologinei įvairovei. Pereinant prie darnios energetikos, norint pagaminti tapati energijos kiekį, atsinaujinantiems šaltiniams reikia žymiai didesnio žemės ploto, lyginant su iškastiniu kuru. Pasaulinės pastangos išvengti išnykimo krizės buvo sutelktos į saugomų teritorijų steigimą, kurios yra būtinos norint apsaugoti daugelio nykstančių rūšių populiacijas. Saugomos teritorijos apima apie 15 % žemės sausumos paviršiaus. Saugomų teritorijų valdoje ir už jos ribų gamtosaugos mokslininkai sudarė pagrindines biologinės įvairovės teritorijas ir pasauliniu mastu reikšmingas laukinės gamtos teritorijas. Didžioji dalis dabartinių AE objektų ir svarbių saugomų teritorijų sutapimas pastebimas išsivysčiusiuose regionuose, tačiau analizė rodo, kad ateityje daug sutapimų bus besivystančiuose regionuose. Daugiau nei pusė (51 %) plėtojamų sutampančių objektų yra Indijoje, Pietryčių Azijoje, Pietų Amerikoje arba Afrikoje [38].

Norint ištirti ilgalaikį elektros energijos gamybos sistemų tvarumą, reikia atsižvelgti į poveikį aplinkai. Pagrindinės aplinkosaugos problemos, susijusios su saulės elektrinėmis yra jų surinkimas ir eksploatavimo nutraukimas. Po saulės elektrinių eksploatacijos pradžios ir eksploatacijos metu žalingo poveikio beveik nėra, tačiau pasibaigus eksploatacijai yra sudėtinga medžiagas utilizuoti. Fotovoltinių elementų gamybos procese puslaidininkių paviršių valymui naudojamos įvairios pavojingos medžiagos, todėl gamyboje dalyvaujantiems darbuotojams kyla pavojus įkvėpti silicio dulkes. Remiantis Nacionalinės atsinaujinančios energijos laboratorijos ataskaita, antrosios kartos PV moduluose yra 123 kartus daugiau toksiškų medžiagų, palyginti su įprastiniais esamais elementais. Taip pat, saulės elektrinių gamyba, eksploatacija išmeta daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Vidutiniškai, saulės elektrinių išmetamos emisijos svyruoja nuo 22 iki 23 g CO₂ ekv. /kWh, o kristalinio silicio ir plonasluoksnių PV pagrindu veikiančių sistemų suderintos vidutinės ŠESD emisijos yra mažesnės nei 50 g CO₂ ekv/kWh [39].

Vėjo energijos konversijos sistemos dažniausiai būna integruotos didelės galios, kas lemia vieną iš pagrindinių trūkumų – užimamas didelis žemės plotas, kuris ypač aktualus besiplečiant urbanistinėms vietovėms bei dirbamiesiems laukams. Šią problemą bandoma spręsti panaudojant jūrų plotus, kurie pasižymi didelėmis vėjo energijos atsargomis, tačiau dėl specialios aplinkos ir perdavimo galimybių jūrinių vėjo elektrinių naudojimas yra smarkiai apribotas. Jų investicijos yra 1,5–2 kartus didesnės nei sausumos vėjo elektrinių, kurių sąnaudos sudaro apie 15 % visų vėjo energijos plėtros jūroje sąnaudų. Nepaisant didelių investicijų, šios jūrinės elektrinės reikalauja ir nemažų eksploataavimo ir priežiūros kaštų, kurie gali siekti nuo 25 % iki 50 % visų gamybos sąnaudų. Atšiaurios sąlygos sukelia sparčią komponentų koroziją, padidina įrenginių sugadinimo riziką, dėl natūralių gamtos reiškinių: susiformavę jūrų ledai ar vėjo sukeltos didelės bangos. Buvo atlikti tyrimai, kuriuose nustatyta, kad didėjant vėjo greičiui didėja ir vidutinis gedimų dažnis. Be pradinių ir eksploatacijos sąnaudų, vėjo elektrinės dėl generuojamo nepastovaus energijos kiekio, sukelia grėsmę energetikos sistemos stabilumui ir saugumui. VE generatorių suformuojama impulsinė srovė gali sukelti perdavimo sistemos atsijungimą, kas padarytų didelius nuostolius energijos kokybei, todėl yra skiriamos investicijos hibridinėms energijos kaupimo technologijoms [40]. Sausumos VE pasižymi panašiais trūkumais kaip ir jūrinės technologijos, tačiau papildomai ši sistema sukelia neigiamą poveikį gamtai ir žmonėms. Paprastai vėjo turbinos dirbdamos įprastu režimu skleidžia mechaninį triukšmą, kurį sudaro judančių menčių ir oro sąlytis. Šio triukšmo intensyvumas priklauso nuo atmosferos sąlygų, o žmonių prisitaikymas prie triukšmo priklauso nuo konkrečios vietos topografijos ir papildomų garso šaltinių, todėl yra keliami specialūs reikalavimai šiam triukšmui mažinti ir stengiamasi turbinas suprojektuoti taip, kad jos būtų prieš bokštą, taip sumažinant žemo dažnio ir impulsų garsą [41].

Trečioji, viena pagrindinių AEI technologijų, kaip ir minėta ankstesniuose skyriuose pasižymi labai dideliu efektyvumu kartu su didelėmis investicijomis. Nepaisant šio pagrindinio trūkumo, hidroelektrinės pasižymi neigiamu aplinkosauginiu aspektu, kuris gali pasireikšti bet kuriuo eksploataavimo laikotarpiu įskaitant pastatymo ir uždarymo procesus. Dėl šių procesų kai kurios natūralios buveinės ir populiacijos gali pradėti nykti, nes yra pakeičiama gyvūnų migracija, pakeičiamas upės nuotekų režimas, vandens cheminė sudėtis, sutrikdomas potvynių ciklas. Pavyzdžiui, šapalai ir laišos plaukia prieš srovę, kad galėtų daugintis, o hidroelektrinių pastatytos užtvankos trukdo jų poravimosi galimybėms, sukelia perteklines maistines medžiagas tokias kaip dumblą ar nuosėdas. Žiūrint iš užimamos žemės ploto perspektyvos, HE pareikalauja didžiulio kiekio. Pavyzdžiui, Balbinos užtvanka esanti Brazilijoje užima 2360 km² ploto, kad pagamintų 250 MW energijos kiekio. Toks plotas gali pasisavinti dirbama žemės plotą, gamtos buveines, miškus ar net archeologines vietas. Kalnuose įrenginėjamos HE reikalauja mažesnio ploto, nes turi galimybę įrengti gilius rezervuarus. Nors ir HE yra perspektyvi ŠESD dujų mažinimo priemonė, tačiau eksploatuojant šias jėgaines ŠESD yra netiesiogiai išskiriamos, nes susidarę potvyniai suardo netoliese esančią augmeniją ir dirvą, dėl ko iš suirusios medžiagos išsiskiria metanas ir anglies dioksidas. Apskaičiuota, kad per visą hidroelektrinės gyvavimo ciklą išmetama apie 226,8 g CO₂ ekv./kWh [42].

Apibendrinant, galima teigti, kad nepaisant išvardintų trūkumų AEI suteikiama nauda juos nusveria, todėl reikia toliau sėkmingai skatinti ir plėsti AE finansavimą, tarptautinį bendradarbiavimą tarp šalių, vartotojų sąmoningumą, kad būtų potencialiai šios technologijos išnaudotos ir pasiekti tvarios energetikos tikslai.

2. Atsinaujančių šaltinių įtaka elektros energijos kainoms

2.1. Elektros kainos ir rinkos savybės

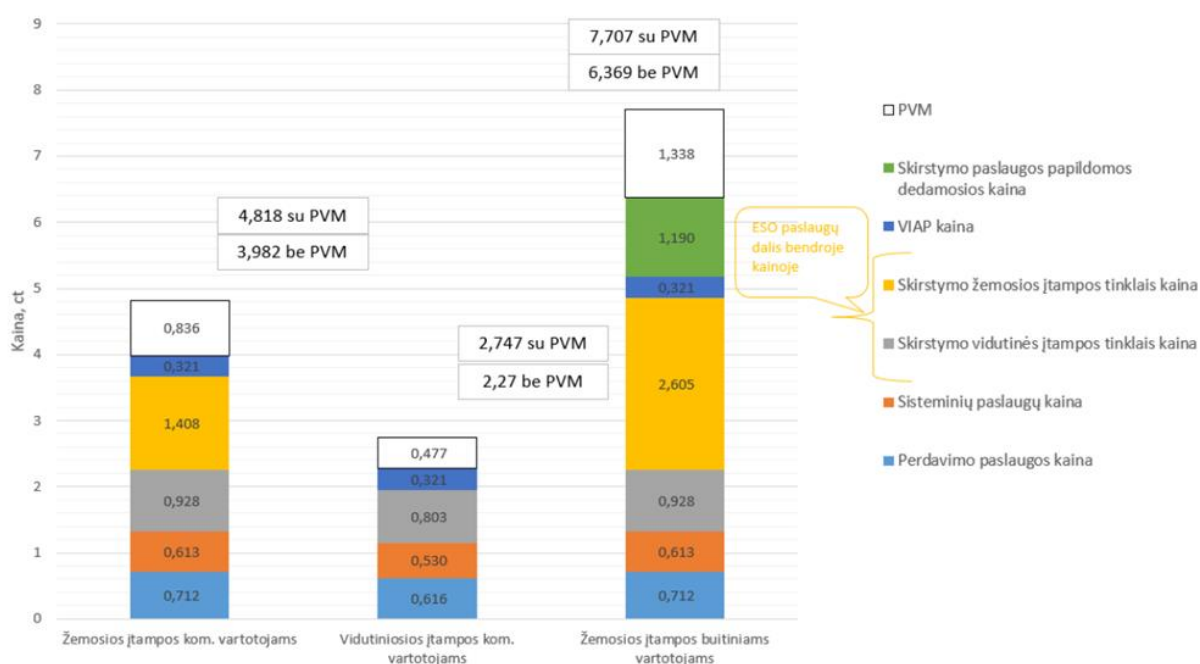
XX amžiaus dešimtajame dešimtmetyje, kuomet buvo panaikinta monopolija, daugelyje pasaulio šalių atsirado konkurencingos (liberalizuotos) rinkos, kur elektros prekyba vyksta pagal nustatytas rinkos taisykles. Pagrindinė sektoriaus reguliavimo panaikinimo priežastis buvo siekis padidinti energijos įmonių ir pačios energetikos efektyvumą, taip sumažinant elektros kainas galutiniams vartotojams ir prisidedant prie verslumo potencialo išlaisvinimo energetikos sektoriuje. Europos Sąjunga stengiasi sukurti ir užtikrinti veikiančią rinką, aukšto lygio vartotojų apsaugą bei garantuoti pakankamą sujungimo mastą ir gamybinius pajėgumus, tačiau šiam tikslui pasiekti būtina suderinti kainodaros politiką, normas, standartus bei aplinkos apsaugos ir saugumo taisykles. Šioms kliūtims pašalinti buvo ir yra sudaromos įvairios direktyvos, kurios apima siekius aprūpinti vartotojus saugia, tvaria, konkurencinga energija, AEI išteklių poreikius, investicijas, leidžia plėtoti CO₂ apyvartinių taršos leidimų prekybos rinką ir t.t. Priimta pati pirmoji Elektros direktyva, kuri remiasi liberalizacijos pirmojo etapo priimtu Energetikos įstatymu, kuris įsigaliojo 1999 m., numatė, kad laisvieji vartotojai turėtų laisvai pasirinkti elektros tiekėją ir galėtų laisvai derėtis su savo tiekėju dėl perkamos elektros kainos ir kiekio. Antrajame etape, ES valstybės narės turi atverti savo elektros rinkas visiems vartotojams, išskyrus namų ūkiams, o trečiame etape Energetikos įstatymas, įgyvendinus antrąją Elektros energijos direktyvą, numato, kad elektros rinka turi būti visiškai atverta ir namų ūkiams [43]. Be šių trijų direktyvų, ES numaçiusi ketvirtąjį ir penktąjį energetikos duomenų rinkinius. Ketvirtasis rinkinys buvo priimtas 2019 m. ir jį sudaro Elektros energijos direktyva 2019/944/ES ir trys reglamentai: Elektros energijos reglamentas 2019/943/ES, Pasirengimo valdyti riziką reglamentas 2019/941/ES ir ES Energetikos reguliavimo institucijų bendradarbiavimo agentūros reglamentas 2019/942/ES, kuriais nustatytos naujos rinkos taisyklės apimančios atsinaujančių energijos išteklių poreikius. Numatomos subsidijos ir kitos paskatos vartotojams. Penktame duomenų rinkinyje, kuris paskelbtas 2021 m. siekiama suderinti ES energetikos tikslus su naujais 2030 ir 2050 metų Europos klimato srities užmojais.

Taçiau, dėl priimtų susitarimų, išsikeltų tikslų susijusių su energijos efektyvumu, taršos mažinimu vis didėjanti AEI skverbtis, elektros tinklų modernizavimas, įskaitant jungiamųjų linijų pajėgumų didinimą ir aktyvus paklausos valdymas, pasinaudojant išmaniuosius skaitiklius, padarė elektros kainas vis labiau nepastovias, kurias yra sunku prognozuoti nei bet kada anksčiau. Tai padidino dienos rinkų, kurios padeda subalansuoti nukrypimus, svarbą. Po elektros rinkų liberalizavimo kainų prognozavimas tapo esminiu uždaviniu visiems rinkos dalyviams, tai ypač svarbu hidroelektrinėms, gamtinių dujų, mazuto jėgainėms, kurios galėtų optimizuoti savo pirkimų strategijas. Kainų prognozavimas yra svarbus ne tik elektros rinkos dalyviams, tačiau ir vartotojams. Tokiu būdu įmonės turi galimybę kontroliuoti ir planuoti savo paklausą pagal žemų kainų zonas [44].

Elektros rinka nėra įprastinė, ji turi specifinių bruožų, tokių kaip reikalavimas išlaikyti pastovią pasiūlos ir paklausos pusiausvyrą, taip pat pasižymi paklausos neelastingumu, oligopoliniu generavimu ir nekaupimu. Šios savybės lemia elektros kainų charakteristikas: staigūs kainų šuoliai ir nuosmukiai, didelis nepastovumas, grįžtamasis procesas bei sezoniskumas įvairiais dažniais. Elektros rinkos paprastai būna išskirstomos į mažmenines ir didmenines rinkas, kurių pagrindinis skirtumas yra rinkos dalyviai. Didmeninė rinka, tai yra gamintojų ir tiekėjų bendravimo zona, kurioje yra sudarinėjamos dvišalės sutartys, perkama ir parduodama elektros energija dideliais kiekiais biržoje. Mažmeninėje rinkoje komunikacija vyksta tarp tiekėjo ir vartotojo, kur elektros tiekėjai parduoda

virtotojui elektrą pagal sudarytą ilgalaikę sutartį [45]. Remiantis Lietuvos atveju, konkurencingoje arba liberalizuotoje rinkoje, visuomeninę elektros energijos kainą sudaro šios dedamosios (žr. 1 pav.) [46]:

1. Elektros energijos įsigijimo kaina, įskaitant taikomus energijos biržos ir balansavimo sąnaudų mokesčius;
2. Persiuntimo paslaugos kaina, kurią sudaro pagrindinės trys suteikiamų paslaugų dedamosios. Pirmoji dedamoji, apima elektros energijos perdavimo paslaugas, kurias sudaro sistemos operatoriaus sąnaudos patirtos dėl energijos persiuntimo aukštos įtampos tinklais. Antroji dedamoji apima paslaugas susijusias su sistemos darbo stabilumo ir patikimumo užtikrinimu, avarių prevencija bei likvidumu, galios rezervu, perdavimo tinklų pralaidumu laikantis nustatytų elektros energijos tiekimo kokybės ir patikimumo ribų. Paskutinioji persiuntimo paslaugos kainos dedamoji apima elektros energijos skirstymo paslaugas, kurias sudaro skirstomųjų tinklų operatoriaus patiriamos sąnaudos paskirstant elektros energiją vidutinės ir žemos įtampos tinklais;
3. Viešuosius interesus atitinkančios paslaugos, kurios skirtos AEI technologijoms, jų integracijos didinimui, balansavimui;
4. Visuomeninio tiekimo paslauga apima veiklos sąnaudas patirtas vykdant visuomeninę elektros energijos tiekimą buitiniams ir komerciniams vartotojams, kurie turi galimybę pasirinkti tiekimo paslaugų tarifus.



1 pav. Vidutinės elektros energijos 1 kWh persiuntimo paslaugos kainos sandara 2022 m. (AB „Energijos skirstymo operatorius“, 2022)

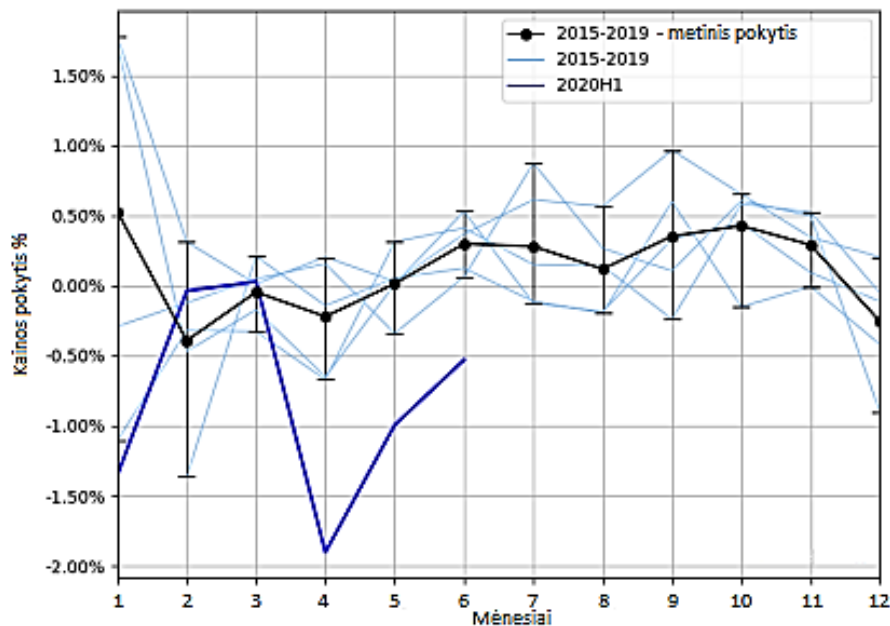
Grafike nėra įvertinta tiekėjo dalis už elektros energijos tiekimą vartotojui, nes kiekviena situacija yra individuali ir priklauso nuo sutarties sudarytų sąlygų. Taip pat, kainos sandara atvaizduota ne konkrečiam klientui, o klientų grupei sudarant metinį vidurkį. Komercinių vartotojų situacijoje nėra įvertintas taikomas akcizo mokestis, kuris gali būti skirtingas, priklausomai nuo Lietuvos

Respublikos įstatyme nustatytų sąlygų. Iš grafiko galima matyti, kad didžiąją kainos dalį apima skirstymo paslaugos vidutinės (35/10/6 kV) ir žemosios (0,4/0,23 kV) įtampos tinkluose.

2.2. Pagrindiniai veiksniai darantys įtaką elektros energijos kainoms

Sparčiai didėjančios energijos kainos smarkiai padidino vartotojų išlaidas. Nuo praėjusių 2021 metų pradžios pasaulinės naftos kainos išaugo dvigubai, anglies – beveik keturgubai, o gamtinių dujų kainos Europoje siekė rekordus, išaugo net septynis kartus. Visas šis kainų šuolių padidėjimas tikėtina, kad išliks dar kurį laiką ir Europa turi prisitaikyti prie didesnių sąskaitų savo poreikiams patenkinti. Tarptautinis valiutos fondas 2022 m. liepos mėn. 22 d. apskaičiavo, kad vidutinių namų ūkių pragyvenimo išlaidos padidės 7 %, palyginti su prognozėmis 2021 metais [47]. Daugumoje Europos šalių aukštesnės energijos kainos užkrauna didesnę našta mažas pajamas gaunantiems namų ūkiams. Iki šiol vyriausybės į energijos sąnaudų didėjimą daugiausiai reagavo įvairiomis kainas mažinančiomis priemonėmis, tokiomis kaip įvairios subsidijos, mokesčių lengvatos, kainų kontrolė, tačiau šiuo metu susiklosčiusiai sudėtingai geopolitinei situacijai Europos Sąjunga skatina namų ūkius taupyti energiją ir didinti efektyvumą. Žemiau pateikiami pagrindiniai veiksniai, kurie turi įtakos elektros energijos kainų svyravimui.

1. Pandemijos. Įvairios ekstremalios situacijos, kurios iš esmės pakoreguoja žmonių ir didelių įmonių kasdienybę turi didelę įtaką energijos poreikių svyravimui. Pasaulį drastiškai paveikusi COVID-19 pandemija iš esmės paveikė visas sritis. Dėl pandemijos protrūkio ir priimtų suvaržymo priemonių, intensyviai mažėjo ekonomikos augimas visose šalyse, nes daugelis įmonių ir privačių valstybinių sektorių buvo priverstos riboti savo veiklą, buvo ribojimas gyventojų judėjimas, kas ilgainiui lėmė žemą vartojimo lygį ir aukštą šalies nedarbingumą. Priverstinis veiklos sustabdymas išlygino vartojimo kreives nustatytomis darbo valandomis ir persikėlęs suvartojimas į namų ūkius nekompensavo bendro paklausos sumažėjimo. Šis nuosmukis smarkiai paveikė didmenines elektros kainas (žr. 2 pav.) [48]. Didžiausią nuosmukį pajuto iškastinis kuras. BRENT naftos kaina pasiekė didžiausią nuosmukį nuo 2002 m. krizės ir nukrito 59 %. Panašus kainų kritimas palietė ir gamtinių dujų sritį, kurioje santykinis suvartojimo sumažėjimas siekė 38 % lyginant su 2019 m. lapkričio mėnesio maksimaliu metu [49]. Kalbant apie anglies gamybą, pandemijos metu anglies suvartojimas sumažėjo 32 TWh, kas yra apie 34 %, o importas į ES šalis nukrito 47 %. Šis iškastinio kuro vartojimo sumažėjimas padarė palankias sąlygas AEI technologijoms, kurių gamyba išaugo iki 43 %, kas sudarė 11 TWh. Sparčiausiai kilo SE augimas, kuris labiausiai pastebėtas tokiuose ES šalyse kaip: Ispanija, Italija, Prancūzija, Vokietija ir Lenkija [50]. Kainų svyravimų pokyčių vizualizacijai buvo sudarytas metinis elektros kainų modelis, kuriame yra atvaizduoti 2020 m. elektros kainos kitimai realiuoju laikotarpiu, kuomet buvo priimtoms ribojimo priemonės. Standartinėje situacijoje, kiekvienais metais kainų mažėjimas pastebimas balandžio mėnesiais, kuris įvyksta dėl palankių meteorologinių sąlygų, nes didėja AEI generacija. Tačiau, būtent 2020 m. laikotarpiu prisidėjus pasaulinei pandemijai, šis kritimas buvo ypač didelis lyginant su to meto dešimtmečiu [51].

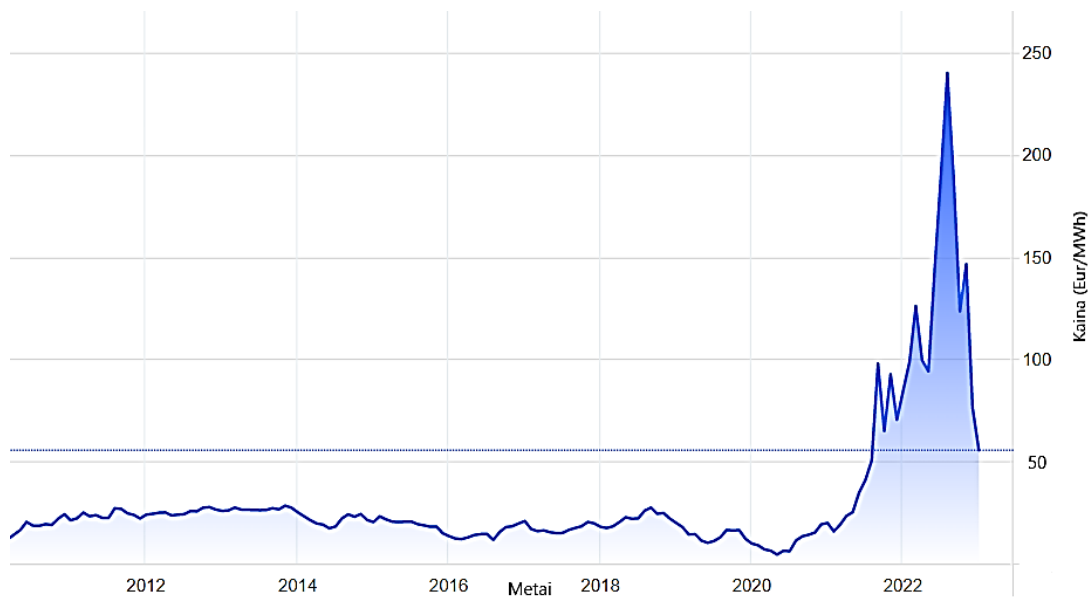


2 pav. Metinis elektros kainos kitimas 2015-2020 metų laikotarpiu („VaasaET“ duomenis, 2020)

Atsinaujinančių išteklių gamybos augimas, remiantis elektros energijos seka, kurią gamintojai įneša į rinką, nustūmė brangesnius ribinius kaštus turinčius gamintojus ir sumažino didmenines kainas, o šis sumažėjimas ypač pasijuto vasaros sezonu.

2. Dujų kaina. Didmeninės gamtinių dujų kainos turi įtakos mažmeninei elektros energijos gamybai, nes dujomis pagrįsti elektros energijos gamintojai dažnu atveju yra paskutiniai paklausos patenkinimo kreivėje, nes dujų vartojimo koeficientas išauga elektros vartojimo piko metu ir nustato rinkos kainą, nors prasidedant rytiniam pikui ir baigiantis jam, generuojantys šaltiniai nuolatos keičiasi pagal savo pajėgumus tiekti energiją, tačiau maždaug piko pradžios metu, didžioji paklausos dalis yra patenkinama naudojant dujas, taip tapdama kainas nustatančiąja technologija. Taip yra todėl, kad dujų agregatus galima greitai įjungti/išjungti ir reguliuoti generuojamą energiją. Paprastai šią paklausą patenkina dviejų tipų dujų elektrinės: atvirojo ciklo dujų turbinos ir kombinuoto ciklo elektrinės. Pirmoji dujomis kūrenama elektrinė paprastai turi vieną turbiną, kuri yra prijungta prie elektros generatoriaus ir patenkina didžiausią apkrovą, jos efektyvumas svyruoja nuo 35–42 % taip suteikiant privalumą prieš iškastinio kuro standartines elektrines. Antrojo tipo elektrinė iš esmės yra identiška pirmajai, tačiau su dujų turbinos išmetamosiomis dujomis susijusi šiluma yra panaudojama pakartotinai šilumos regeneravimo generatoriui gaminti garą ir tokiu būdu perkelti papildomą garo turbiną, kad būtų gaminama elektros energija. Tobulėjant technologijoms kombinuoto ciklo elektrinės padidino savo efektyvumą padidinus dujų įleidimo temperatūrą, sumažino investicijas ir išmetamų teršalų kiekį. Tokiu būdu šios elektrinės tapo lanksčiomis ir gali greitai reaguoti į elektros paklausos pokyčius, dėl ko jos yra plačiai naudojamos elektros energijos paklausai patenkinti. Šios elektrinės yra optimalus sprendimas nepastoviai atsinaujinančių šaltinių generacijai. Taip pat, atsižvelgiant į dujomis kūrenamų elektrinių techninius privalumus, prisitaikymą prie paklausos svyravimų, teisės aktus susijusius su anglies kurą naudojančių elektrinių uždarymu, galima daryti preliminarią išvadą, kad gamtinių dujų kaina elektros energijos gamybai yra vienas iš lemiamų veiksnių, nustatančių elektros kainą [52].

Nuo 2021 m. sausio mėn. gamtinių dujų kainos Europoje išaugo daugiau nei 170 %, sukeldamos susirūpinimą dėl makroekonominio poveikio. Tam įtakos turėjo plačiai paplitęs nuotolinis darbas, didėjantis gyvenamųjų patalpų ir pramonės šildymo poreikis, CO₂ išmetamo kiekio mažinimas bei atsiradę dujų tiekimo apribojimai. Rusija pradėjo riboti dujotiekio eksportą į ES, dėl didelės vidaus paklausos, gamybos sutrikimų, didelių suskystintų gamtinių dujų kainų, susijusių su Azijos ekonomikos atsigavimu. Kadangi Europos dujų atsargos yra mažos ir dujų saugyklų lygis sumažėjo iki 30 %, o tai 24 % mažiau nei 2020 m. savo ruožtu ši papildoma paklausa padidino didmenines dujų kainas 2021 m (žr. 3 pav.).



3 pav. Gamtinių dujų kainų kitimas 2012-2022 m. laikotarpiu (Eur/MWh) (sudaryta autoriaus pagal „Trading Economics“ duomenis, 2023)

Nors gamtinės dujos tiekia tik penktadalį ES energijos, tačiau didesnės dujų kainos daro spaudimą elektros kainoms, dėl ko kylant dujų kainoms sparčiai kyla ir elektros kainos. Šią priklausomybę iliustruoja 4 paveikslas, kuriame pavaizduotas keturių ES šalių didmeninis elektros kainų kitimas nuo 2011–2021 m. liepos mėnesio. Aukštos dujų ir elektros kainos sukelia infliacijos spaudimą, o padidėjusios išlaidos energijai, drastiškai sumažins skurdžiausių namų ūkių disponuojamas pajamas [53].



4 pav. Elektros kainų kitimas 2011-2021 m. laikotarpiu (Eur/MWh) („Bruegel“ duomenis, 2021)

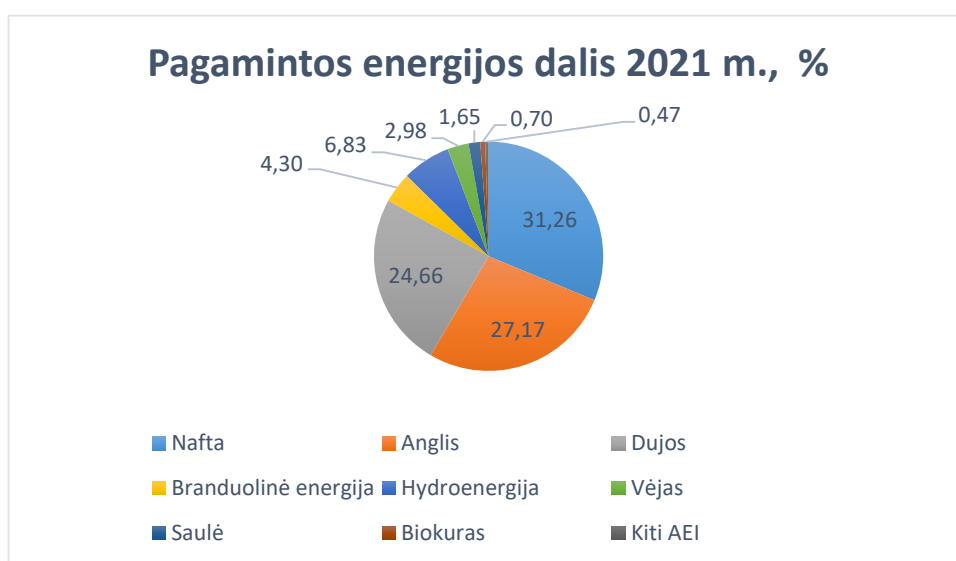
Sparčiai didėjančios dujų kainos didelę įtaką turi ir Rusijos invazija į Ukrainą, nes mažina žalios naftos prieinamumą ir sukuria ryškų pasiūlos ir paklausos disbalansą. Naftos eksportuotojai pradėjo pridėti rizikos vertinimą prie naftos kainos, vakarų sankcijos nutraukė dalį pardavimų iš Rusijos, o kitos dalies daugelis Vakarų energetikos įmonių vengia savo noru. Visa tai padidino žalios naftos kainas iki maždaug 120 USD už barelį, nes būtent Rusija patenkina maždaug 10 % pasaulio naftos poreikių [54].

3. Kiti veiksniai. Elektros kaina paprastai nesant ekstremalioms situacijoms atspindi elektros tinklų ir jėgainių eksploatavimo, statybos, priežiūros ir investavimo išlaidas. Pavyzdžiui, elektros perdavimo ir skirstymo tinklai, kurie jungia vartotojus su tiekėju, turi būti nuolat prižiūrimi ir rekonstruojami, kad būtų užtikrintas patikimas elektros energijos tiekimas ir vykdomas išpareigojimas suteikti galimybę kiekvienam namų ūkiui prieigą prie elektros energijos. Taip pat, elektros energijos kainos svyravimui turi įtakos ir meteorologinės sąlygos. Ekstremalios temperatūros gali padidinti vėsinimo ir šildymo poreikius, dėl ko didėjantis energijos poreikis gali padidinti degalų ir elektros kainas. Lietus ir sniegas, palankūs vėjai gali padėti hidroelektrinėms ir vėjo jėgainėms pigiai gaminti elektros energiją, tačiau kai yra sausros arba konkuruoja tam tikrų išteklių paklausa, elektros energijos gamybos iš tų šaltinių praradimas gali sukelti spaudimą kitiems energijos šaltiniams ir kainoms.

Taip pat, elektros kainai turi įtakos vartotojų elgsena, kuri priklauso nuo socialinių ir ekonominių kintamųjų, įskaitant bendrąjį vidaus produktą, elektros kainą, užimtumo lygį ir t.t. Yra atliktų daugybę tyrimų, kurie siekia įvertinti energijos paklausos elastingumą kainos atžvilgiu ir buvo nustatyta, kad energijos kainų jautrumas gyvenamuosiuose namuose yra didesnis didesnes pajamas gaunantiems namų ūkiams. Taip yra dėl to, kad augant privačioms išlaidoms didėja ir elektros suvartojimas gyvenamajame sektoriuje, todėl buvo padaryta išvada, kad elektros gamyba ir valdymas turi būti geriau integruoti į bendrą ekonomikos planavimą. Vadinasi, didėjant suvartojimui elektros ūkiuose, didėja energijos paklausa, to eigoje didėja elektrinių poreikis, kurios turi didesnius ribinius kaštus [55].

2.3. Atsinaujinančių energijos išteklių įtaką elektros kainoms

Šalyse, kuriuose yra konkurencingos arba liberalizuotos elektros rinkos, didmenines kainas lemia pasiūlos ir paklausos pusiausvyra, kai gamintojai teikia pasiūlymus elektros energijos tiekėjams. Atsinaujinančių išteklių generatoriai siūlo rinkai labai mažą arba nulinę ribinę kainą, dėl ko jų naudojimas tampa patrauklesnis lyginant su didelių ribinių sąnaudų reikalaujama pasiūlymais, kurie paprastai siejami su dujomis kūrenamais didžiausios apkrovos generatoriais. Didmeninė kaina paprastai yra lygi arba didesnė už paskutinio tiekėjo ribinius kaštus, kurių reikia paklausai patenkinti. Todėl tikimasi, kad gamybos iš AEI nulinės arba labai mažos ribinės sąnaudos sumažins didmeninę elektros kainą dar labiau ateityje, bent jau trumpuoju laikotarpiu, dėl ko turi būti sudaromos vis palankesnės sąlygos AEI plėtrai. 2021 m. AEI buvo pajėgūs sugeneruoti 12,63 % visos pasaulinės pirminės energijos (žr. 5 pav.), nors ir buvo pastebėtas elektros energijos paklausos sumažėjimas, dėl COVID-19 pandemijos [56].



5 pav. Pasaulinis energijos suvartojimas pagal gaminamos energijos šaltinį (%) (sudaryta autoriaus pagal „Our World in Data“ duomenis, 2021)

Energijos paklausos kritimas buvo pastebėtas ir 2022 m. paskutinį ketvirtį, kurio metu paklausa sumažėjo dar 8 %, lyginant su 2021 m., tačiau SE ir VE pagamino 22 % ES elektros energijos ir pirmą kartą istorijoje aplenkė dujomis generuojamas elektrines. Šiam pasiekimui, didelę įtaką turėjo rekordinis 38 TWh SE augimas, kurį lėmė spartus SE įrengimo lygis, kuris 2022 m. siekė 41 GW instaliuotos galios. Panašiai išaugo ir VE integracija, kuri siekė 33 TWh, palyginant su 2021 m. [57]. Dėl ambicingos plėtros politikos numatoma, kad pasauliniai AEI pajėgumai 2022–2027 m. padidės apie 2400 GW, kas siekia beveik 75 % [58].

Vis daugiau yra atliekamų ekonometrinių, galios srautų, agentais pagrįstų ir kitokių pobūdžio tyrimų, kurių tikslas nustatyti kokia yra koreliacija tarp didmeninės elektros kainos ir integruojamų AEI. Kuomet žalioji energetika dar nebuvo dėmesio centre, jau 2003 metais Stine Grenaa Jensen ir Klaus Skytte savo publicistiniame straipsnyje [59] buvo vieni pirmųjų, kurie garsiai prabilo ir dokumentavo ryšį tarp AE dalies gamybos ir didmeninės elektros kainos. Jie teigė, kad didesnė AE dalis visame elektros gamybos sistemoje gali lemti didmeninės elektros kainos mažėjimą. Prieš dešimtmetį daryti ekonometriniai tyrimai taip pat parodė, kad vėjo ir saulės elektros energijos gamyba turi poveikį didmeninei elektros energijos kainai Italijos rinkoje, nustatydami, kad kainos yra mažesnės, tačiau

nepastovumas žymiai didesnis. Buvo nustatyta, kad kiekviena GWh gaunama iš vėjo jėgainių pagaminto vidutinio energijos kiekio padidėjimo sumažina didmenines elektros kainas 4,2 Eur/MWh. 2014 metais naudojant statistinio modeliavimo GARCH modelį, kuris apibūdina finansų rinkas, kuriuose nepastovumas gali keistis, t.y. tampa nepastovesnis finansinių krizių ar pasaulinių įvykių laikotarpiais ir pastovesnis santykinai ramaus ir stabilaus ekonomikos augimo laikotarpiais, buvo panaudoti 2006–2012 metų duomenys ir nustatyta, kad jeigu vėjo elektrinių gamyba padidėja 1 %, tai visos gamybos dalis vidutiniškai sumažina 1,20 % elektros kainą Vokietijoje [60].

Elektros kainų mažinimas vadinamas „nuopelnų efektu“, kurio tyrimai apima daugelį Europos šalių, kuriuose pastebima, kad papildoma 1 GWh vėjo galios Ispanijoje, sumažina didmenines kainas iki 0,111 ct./kWh, o padidinus SE integracija iki 1 %, kainos sumažėtų 0,016 - 0,067 %. Taip pat, šiuose tyrimuose buvo pastebėtas saulės ir vėjo pajėgumų tarpusavio ryšys: saulės energijos nuopelnų efektas mažėja didėjant vėjo pajėgumui [61]. Jeigu kalbėtume apie kito žemyno rinką, kur saulės elektrinių integracija vyksta labai sparčiai, dėl tam tinkamų meteorologinių sąlygų, tai Australijos rinkoje pastebimas labai ryškus „nuopelnų efektas“. Vienas GW atiduotos vėjo galios didmeninę kainą sumažina 11 AUD/MWh, o 1 GW atiduotas iš saulės jėgainių kainą sumažina iki 14 AUD/MWh. Taip pat, buvo nustatyta, kad 1 GWh dienos vėjo generavimo padidėjimas būtų susijęs su maždaug 1 AUD/MWh kainų sumažėjimu vidutinėse dienos kainose, o 1 GWh saulės energijos gamybos padidėjimas per dieną yra susijęs su 2,7 AUD/MWh sumažėjusiomis didmeninėmis elektros energijos kainomis per dieną. Tikimasi, kad nuolatinis atsinaujinančių energijos šaltinių skverbimasis darys nuolatinį spaudimą didmeninėms elektros kainoms mažinti, nepaisant pastarojo meto padidėjimo, kurį daugiausia galima sieti su padidėjusiomis gamtinių dujų kainomis. Galime daryti išvadą, kad esant mažesnei šių atsinaujinančių energijos šaltinių skverbties prielaidai, nei buvo iš tikrųjų, didmeninės elektros kainos Australijoje būtų buvusios aukštesnės, nei buvo iš tikrųjų. Taip pat, pastebėta, kad vėjo gamybos stabdantis poveikis elektros kainoms didėja priklausomai nuo vidutinės dispečerinės galios. Kita vertus, padidėjus vėjo galiai sumažėjo komunalinio masto saulės PV naudingumo eilės efektas. Atsižvelgiant į tai, kad tendencijos aiškiai rodo tolesnę tiek komunalinių paslaugų masto PV, tiek VE plėtrą, galime tikėtis, kad atsinaujinančių energijos šaltinių poveikis elektros kainoms ir toliau išliks. Sunku numatyti ilgalaikes prognozes, ypač todėl, kad ilgalaikis padidėjusios atsinaujinančios elektros energijos gamybos poveikis elektros sistemoms yra daug mažiau suprantamas nei trumpalaikis poveikis [60].

Žinoma, AEI poveikis elektros kainoms yra trumpalaikis dėl savo gaminamos energijos nepastovumo ir kol kas nėra padarytų išsamių AEI skverbties poveikio tyrimų elektros kainoms ilgalaikėje perspektyvoje, tačiau vis daugiau yra analizuojamas ryšys, ypač kai AE šaltiniai išsipareigoja sušvelninti klimato kaitą ir įvairinti energijos šaltinius, padidinti energijos tiekimo saugumą ir atsieti ekonomikos augimą nuo didėjančios energijos paklausos. Tačiau, didėjanti AEI integracija daro didžiulį poveikį energetikos sistemoms, nes jos yra sudėtingos realaus laiko prekybos rinkų veikimui ir ekonomikai, kai jos yra pertraukiamos. Dėl kintančio kasdieninio elektros paklausos modelio didmeninė elektros kaina svyruoja kintant realiu laiku pasiūlai ir paklausai, tai reiškia, kad energijos prekybos rinka pasiskirsto valandiniais intervalais: didžiausios apkrovos vyksta vakarais ir anksti rytais. Tačiau, dėl AEI integracijos buvo pastebėta, kad nepaisant ryto ir vakaro kainų svyravimų elektros kaina vidurdieniais gerokai sumažėja lyginant duomenis su 2019 metais, tai lėmė didėjanti fotovoltinės energijos gamybos skverbtis [62]. Ypač, ši skverbtis didėja dėl subsidijų. Taip yra todėl, kad PV sistemos suteikia žymiai didesnę teigiamą socioekonominį poveikį, nei neigiamą poveikį aplinkai ir tokiu būdu sumažinamas poveikis klimatui. Bet kokią paskirtą paramą AEI technologijoms

kompensuoja mažmeninė rinka, t.y. galutiniai vartotojai, kurie moka didesnes elektros kainas, jeigu VE ar SE pritaikomas didesnis tarifas nei rinkoje nusistovėjusi riba. PV dalis tinkle keičia kainų modelį ir kartu su kitais atsinaujinančiais šaltiniais didina technologijų konkurencingumą išlygintos elektros energijos sąnaudų pagrindu, ypač kai sparčiai mažėja energijos kaupimo technologijų sąnaudos ir energijos gamybos bei saugojimo derinimas ateityje gali pasiūlyti pigiausių energijos sprendimų, kuris bus ypač aktualus, nes iki 2050 metų planuojama atsisakyti visiškai ES atominių elektrinių [63].

Apibendrinant, galima daryti išvadą, kad elektros energijos kainos kitimui didžiausią įtaką turi paklausos pokyčiai, kurie priklauso nuo šalies ekonominės padėties, socialinės gerovės, politinių veiksnių. Elektros kainos kitimui diktuoja sąlygas ir kiti energijos ištekliai, tokie kaip dujos, nuo kurių elektros kainos svyravimai turi priklausomybę, t.y. didėjant dujų kainai didėja ir elektros kaina. Taip pat, įtaką turi meteorologinės sąlygos, nuo kurių priklauso AEI gamybos kiekis bei šalies energetinė infrastruktūra, kuriai reikalinga nuolatinė priežiūra ir investavimas, kad būtų užtikrintas patikimas elektros energijos tiekimas. Šalyse, kuriuose yra konkurencingos elektros rinkos, didmeninės elektros kainos yra nustatomos pagal pasiūlos ir paklausos sankirtą, o galutinė kaina lygi arba didesnė už paskutinio tiekėjo ribinius kaštus, todėl AEI technologijos su savo maža ribine kaina nustumia brangesnius gamintojus, taip pastumiant pasiūlos ir paklausos pusiausvyrą į žemesnę pusę. Išanalizavus atliktus tyrimus, vidutiniškai VE padidėjimas 1 % sumažina didmeninę elektros kainą 1,20 %, o SE padidėjimas 1 % sumažina iki 0,067 %, todėl įvertinus strateginius plėtros planus, ateityje tikimasi, kad AEI dar labiau sumažins didmenines elektros energijos kainas.

3. Atsinaujančių energijos išteklių įtakos elektros kainoms tyrimo metodologija

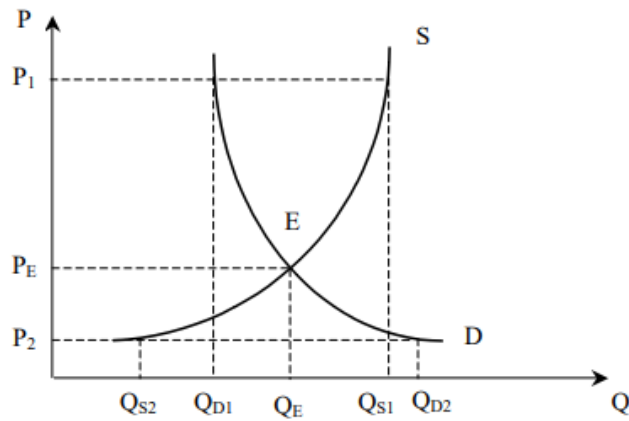
Didėjančios elektros kainos privatiems vartotojams visuomenėje išryškino atsinaujančių energijos šaltinių didinimo idėją, o literatūroje plačiai pritariama, kad atsinaujanti energija mažina elektros energijos kainas didmeninėje rinkoje. Ši skverbti atveria klausimus apie galimą poveikį esamoms sistemoms ir šie klausimai svyruoja nuo trumpalaikio ir ilgalaikio poveikio didmeninėms ir mažmeninėms elektros kainoms. Atsižvelgiant į fiksuotą paklausą, didelis AEI tiekimas lemia pigesnių elektrinių kainų nustatymą, todėl mažėja didmeninės rinkos kainos šalyse, kuriuose yra konkurencingos arba liberalizuotos elektros rinkos. Šis efektas žinomas kaip nuopelnų eilės efektu. Siekiant kiekybiškai įvertinti šį poveikį, šiame tyrime analizuojamos istorinės paklausos ir pasiūlos kreivės, kurios geriausiai atspindi kainos kitimus. Istoriniams duomenims yra pasinaudojama Šiaurės Europos regiono elektros energijos pardavimo birža „Nord Pool Spot“, kuri yra didžiausia tokio tipo organizacija Europoje ir tapo pirmąja tarptautine elektros energijos pardavimų birža pasaulyje, taip pat informacija renkama ir pasinaudojant tarptautinės atsinaujinančios energijos agentūros (angl. *International Renewable Energy Agency*) „IRENA“ ir tarptautinės energijos agentūros (angl. *International Energy Agency*) „IEA“ laisvai pateikiamais duomenimis. Kadangi, tyrimo objektas sukonkretintas ties Lietuvos rinka, yra naudojami oficialaus „Nord Pool“ atstovo AB „Litgrid“, kuris yra Lietuvos elektros perdavimo tinklo operatorius, pateikti sisteminiai duomenys (gamyba, suvartojimas, prognozės ir t.t.), taip pat naudojami visos Lietuvos oficialiosios statistikos prienami duomenys, kurie yra pateikti Lietuvos statistikos departamento. Rezultatų apskaičiavimui yra naudojama „Microsoft Excel“ programinė įranga.

Tyrimą numatoma atlikti pasinaudojant pasiūlos ir paklausos kreivėmis, kurios kinta dėl įvairių kintančių sąlygų (pvz., oro sąlygų, gyventojų pajamų, bendrojo vidaus produkto ir t.t.), dėl kurių svyruoja pusiausvyros kainos ir kiekiai. Pavyzdžiui, padidėjus gyventojų pajamoms, padidės paklausa. Žemiau pateikiamos pasiūlos (S) ir paklausos (D) kreivių procesai:

$$S_t = (q; E_t; \theta); D_t = (q; E_t; \theta). \quad (1)$$

Procesų lygtyse E_t reiškia egzogeninio proceso matavimą momentu t , θ yra parametrų vidurkis, o visa lygtis yra vieneto kaina, kurią nustato gamintojai už kiekį q momentu t (pasiūlos atveju) ir vieneto kaina, kurią moka vartotojai už kiekį q momentu t (paklausos atveju) [64]. Pasiūlos ir paklausos kreivės nėra tiesiogiai stebimos, tačiau kainos ir parduodami energijos kiekiai yra.

Rinkose, kuriuose yra naudojamas ribinės kainos principas, kiekvienam rinkos dalyviui atsiskaitoma ta pačia kaina, kurią nustato visuminės pasiūlos kreivės ir visuminės paklausos kreivės sankirta, kuri dar yra vadinama rinkos pusiausvyra, kurioje dvi jėgos atstoja vienas kitą (žr. 6 pav.). Pusiausvyros taške vartotojas siekia įsigyti kuo daugiau prekių jų vertei krintant, o gamintojas siekia realizuoti kuo mažiau prekių. Rinkose, kuriuose nėra konkurencijos, gamintojai gali išlaikyti kainas aukštesnes už pusiausvyros lygį ilgą laiką [65]. Elektros paklausa trumpuoju laikotarpiu yra neelastinga mažmeninėms elektros kainoms, tačiau ilgalaikėje perspektyvoje elektros suvartojimas gali reaguoti į nuolat didėjančias mažmenines elektros kainas, kurioms įtaką daro didmeninių kainų svyravimas ir visa tai gali turėti įtakos ilgalaikiai paklausai. Todėl, teoriškai didesnė AEI dalis gamyboje gali sumažinti didmenines kainas, o tai savo ruožtu gali sumažinti mažmenines kainas ir padidinti paklausą [60].



6 pav. Visuminės pasiūlos kreivės (S) ir visuminės paklausos (D) kreivės sankirta (rinkos pusiausvyrą E).
(A. Jakutis „Ekonomikos teorijos pagrindai“, 2006)

Teorijoje aptartas elektros tinklo patikimumas yra glaudžiai susijęs su apkrovos forma, kuri lemia patikimą dinamiškos regioninės elektros energijos gamybos pusiausvyros veikimą ir energijos suvartojimą. Būtina sąlyga elektros tiekimo užtikrinimui yra, kad elektros tinklas turi būti subalansuotas tarp pasiūlos ir paklausos pusių, šį kasdienį pasiūlos ir paklausos balansavimą galima vertinti taip [62]:

$$P_{const.} + P_{flex.} + P_{AEI} + dis = Load_{grid.} \quad (2)$$

čia, $P_{const.}$ – pastovi energijos gamyba iš bazinės apkrovos įrenginių (įskaitant hidroenergią, geotermišką energiją ir t.t);

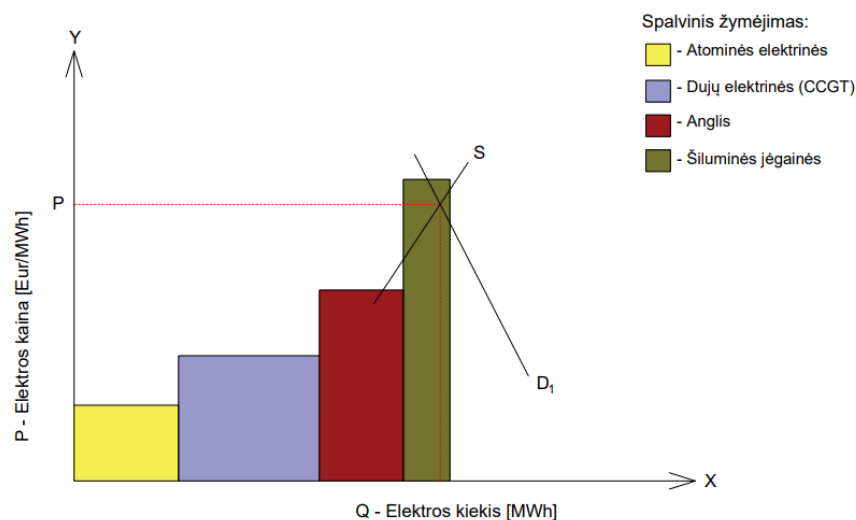
$P_{flex.}$ – prisitaikantys generatoriai, galintys reguliuoti savo gamybą ir prisitaikyti prie AEI gamybos ir elektros tinklų padėties (įskaitant dujas);

P_{AEI} – tiesioginė gamyba iš atsinaujinančių šaltinių (įskaitant vėjo ir saulės elektrines);

dis – maitinimo iškrovimo sistema;

$Load_{grid.}$ – faktinis nacionalinis elektros energijos suvartojimas.

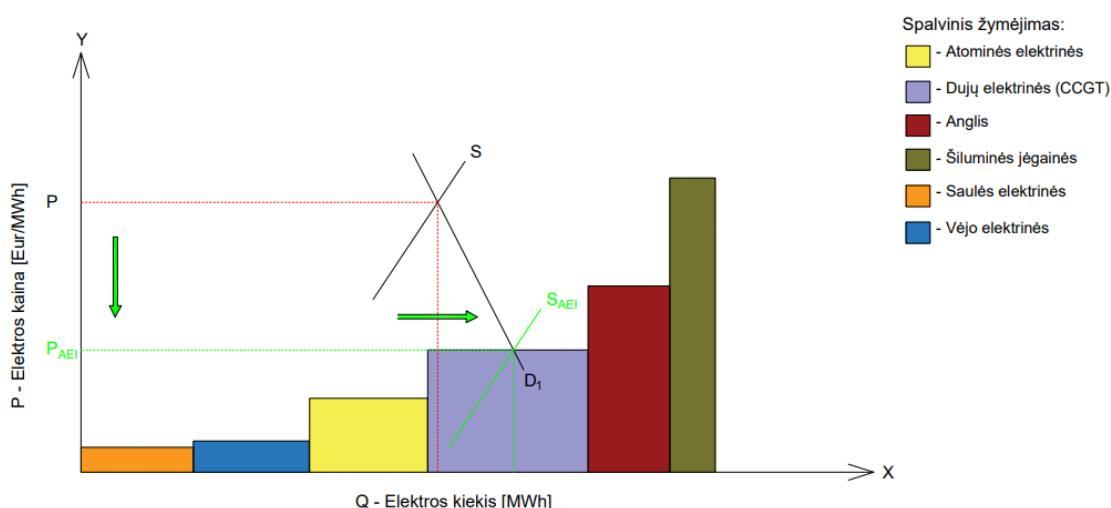
Rinkos kliringo metu suminės valandinės paklausos sankirta ir pasiūlos kreivė apibrėžia atitinkamo prekybos laikotarpio tarpuskaitos apimtį ir kainą. Skatina dalyvius teikti pasiūlymus, lygius jų trumpalaikėms ribinėms elektros energijos gamybos sąnaudoms. Toliau iliustruojama tyrime naudojama metodika, kurioje bus sudarinėjamos pasiūlos ir paklausos kreivės. Pirmu variantu sudaromas elektros kainos suformavimas be AEI generatorių (žr. 7 pav.).



7 pav. Elektros kainos susiformavimas be AEI generatorių (sudaryta autoriaus)

Pateiktame grafike pavaizduotas standartinis supaprastintas generatorių portfelis be AEI generatorių. Išilgai X ašies generatoriai išdėstyti didinant jų gamybinės ribines sąnaudas, kur kiekvienos juostos plotis parodo turimą generatorių pajėgumą. Bet kuriuo momentu galutinė didmeninė elektros energijos kaina yra pagrįsta paskutinio gamintojo ribinėmis sąnaudomis. Šią kainą nurodo pusiausvyra, t.y. S ir D kreivių sankirta. Vadinasi, elektros kainos svyravimai laikui bėgant pirmiausia atsiranda dėl kintančio paklausos lygio (pvz., D₁), kurie kinta dienos, savaitės ar sezono eigoje, susikertant skirtinguose taškuose su santykinai stabilia pasiūlos kreive [66].

Toliau, rinkos pusiausvyros pasislinkimą galima matyti, kuomet į standartinį supaprastintą generatorių portfelį yra pridėdami AEI generatoriai, kurie savo mažomis arba nulinėmis ribinėmis sąnaudomis yra pridėdami kairėje X ašies pusėje ir perkelia likusią tiekimo kreivę į dešinę iš S padėties į S_{AEI} padėtį (žr. 8 pav.). Galutinė didmeninė kaina (P) per tam tikrą intervalą sumažėja nuo P dedamosios iki P_{AEI} dedamosios.



8 pav. Elektros kainos susiformavimas su AEI generatoriais (sudaryta autoriaus)

Pasiūlos kreivės poslinkio dydis priklauso nuo tuo metu AEI generavimo kiekio konkrečiu paros metu, todėl kainų lygis gali svyruoti ne tik kintant paklausai, bet ir kintant atsinaujinančios energijos

gamybos lygiui. Žinoma, kliringo kainų ir susijusių pajamų pokytis vidutiniu ir ilgalaikiu laikotarpiu skirsis dėl pasiūlos kreivės koregavimo, nes kai kurie gamintojai turi galimybę pasitraukti, o kiti gamintojai gali patekti į rinką. Dėl to pasiūlos kreivės nuolydis taip pat gali pasislinkti rinkai artėjant prie naujos ilgalaikės pusiausvyros [66].

Taip pat, gali būti neigiamos elektros kainos, ypač mažos paklausos metu, dėl kai kurių didelių įprastų elektrinių pasiūlymų, kurių lankstumas greitai keičiantis apkrovai yra ribotas, todėl jie sutinka gauti labai mažas pajamas arba netgi yra pasirengę laikinai mokėti neigiamas kainas, nepaisant teigiamų ribinių gamybos sąnaudų, kad sumažintų alternatyvias išlaidas. Pagal scenarijų, kai AEI nėra, poreikį, kurį istoriškai tenkino vėjo ir fotovoltinės energijos tiekimas, reikia patenkinti papildomomis tradicinėmis elektrinėmis. Be vėjo ir fotovoltinės energijos paklausos kreivė pasislenka į didesnius (įprastus) kiekius, todėl didėja elektros kainos [61]. Žinoma, vertinant skirtingus scenarijus reikia paminėti ir AEI pritaikomus mokesčius, tinklų plėtra, subsidijas bei balansavimą, kurie gali būti svarbūs dėl kainų nukrypimų, tačiau tyrime jie nėra kiekybiškai įvertinami ir pasirinktoje analizėje išlieka pastovūs. Taip pat, daroma prielaida, kad istorinė paklausos ir pasiūlos struktūra yra pastovi, be ilgalaikių rinkos dalyvių elgsenos pokyčių.

Tyrime analizuojant atsinaujinančių šaltinių poveikį elektros kainoms ir pasinaudojant mokslinės literatūros apžvalga, anksčiau atliktų tyrimų duomenimis yra pasirenkami šie pagrindiniai duomenys:

1. Faktinė elektros energijos gamyba (GWh);
2. Generuojančių pajėgumų įrengtoji galia (MW);
3. Elektros energijos bendroji gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių (GWh);
4. Bendrasis elektros energijos importas/eksportas (MW);
5. Bendrasis elektros energijos suvartojimas šalyje (MWh);
6. Išlygintos elektros energijos sąnaudos – LCOE (Eur/MWh).

Modelį taikome tirdami 2018–2022 metų laikotarpius, panaudojant ketvirtinius duomenis, kurie yra išskaidomi ir sugrupuojami pagal atskirus kriterijus: sezoniškumą, paklausą, paros laiką. Siekiant nesinaudoti konkretaus laiko momento duomenimis, tyrimo dalyje naudojami išvesti ketvirtinių duomenų vidurkiai [67].

$$M(r) = \bar{r} = \frac{(r_1 + \dots + r_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad (3)$$

čia, r_1, r_2, \dots, r_n - duota skaičių seka; n - narių kiekis.

Atlikus duomenų vidurkių skaičiavimus, juos pritaikome skirtingiems pasiūlos ir paklausos scenarijams. Numatoma interpretuoti ir įvertinti kreivių poslinkių dydžius pasinaudojant šias situacijas:

1. Elektros kainos formavimasis nesant „Nord Pool“ biržai;
2. Elektros kainos formavimasis esant „Nord Pool“ biržai;

3. Elektros kainos formavimasis, kai AEI gamyba padidinta 30 %;
4. Elektros kainos formavimasis, įvertintus suderintą Lietuvos paskirstymo operatoriaus dešimtmečio planą.

Tyrimo objektas yra sukonkretintas ties Lietuvos rinka, būtina įvertinti šalies turimą ir numatomą elektrinių pajėgumą, kad būtų galima vertinti generacijos pokyčius. Žemiau pateikiami generatorių galingumai pagal gamybos technologiją (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Lietuvos generuojantys pajėgumai (MW) (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2022)

Generuojantys pajėgumai:	2022 m. faktas. Turima galia, MW	2030 m. planas. Turima galia, MW
Šiluminės elektrinės (ŠE):		
Lietuvos E	1055*	455
Kauno E	170*	0
Panevėžio E	35	35
Kitos E	304	290
Biokuro elektrinės (BE):		
Biomasės E	62	142
Vilniaus E2	29	29
Vilniaus kogeneracinė jėgainė (biomasę deginantis blokas)	0	79
Šiaulių E	11	11
Mažosios biomasės	18	18
Biodujų	37	37
Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės (AEI):		
Kauno HE	101	101
Mažos HE	27	27
Vėjo E (sausumos)	946**	3600
Vėjo E (jūrinės)	0	1400
Saulės E (įskaitant gaminančius vartotojus)	572	2000
Atliekų deginimo elektrinės (AD):		
Vilniaus kogeneracinė jėgainė (atliekas deginantis blokas)	22	22
Klaipėda „Fortum“ (Lypkių TP)	21	21
Fortum kogeneracinė jėgainė (Kaunas, Biruliškių TP)	26	26
mažosios atliekų deginimo	1	1
Hidroakumuliacinės elektrinės (HAE/HE):		
Kruonio HAE	900	1010
Energijos kaupimo technologijos:		
Baterijos	-	200***
Bendra turima galia (MW):	4337	9304

* - įvertintus rezerve laikomus ir konservuotus E blokus;

** - neįskaičiuojami vėjo elektrinių parkai, veikiantys bandomosios eksploatacijos režimu;

*** - vertė pateikiama MWh.

Tikslingam pasiūlos kreivės nustatymui yra labai svarbus išlygintos elektros energijos rodiklis (LCOE). LCOE metodika leidžia įvertinti visas išlaidas, kurios yra susijusios su elektros energijos gamyba ir gauti rezultatą arba rezultatų diapazoną, kuris yra naudojamas kaip technologijos pakaitinis rodiklis. LCOE yra vertinamas Eur/MWh, todėl taikant šį metodą galima atlikti kryžminį energijos

technologijų palyginimą, taip įvertinant kuri technologija yra pigesnė. Šiame tyrime konkrečios technologijos LCOE rodiklis yra išvedamas kaip 2008–2021 metų, ES27 šalių pateiktų duomenų, vidurkis, kuris įvertina skirtingas ekonomines, socialines ir geopolitines situacijas tam tikrais metais, kurios turėjo įtakos staigiems elektros kainos šuoliams. LCOE vertinimui naudotos investicinės sąnaudos buvo vienos nakties kapitalo sąnaudos, kuriuose jau buvo įvertintos sąnaudos, kurios susijusios su elektrinių statybos laikotarpiu. LCOE vertės neapima subsidijų ar kitokių vyriausybės paramų, sistemos balansavimo išlaidų susijusių su AEI kintamumu, apyvartinių taršos leidimų, aplinkosauginės naudos, elektros perdavimo ir paskirstymo išlaidų. Gauti duomenys apskaičiuoti pagal žemiau pateiktą formulę [68]:

$$LCOE = \frac{\text{Visos eksploatavimo laikotarpio išlaidos}}{\text{Visa eksploatavimo laikotarpiu pagaminta produkcija}} \quad (4)$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I + FO\&M_t + VO\&M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

čia, I– investicinės išlaidos (Eur);

$FO\&M_t$ – fiksuotos technologijos eksploatacijos išlaidos t metais (Eur);

$VO\&M_t$ – pastovios technologijos eksploatacijos išlaidos t metais (Eur);

F_t – kuro sąnaudos t metais (Eur);

E_t – energijos gamybos kiekis t metais (MWh);

r – diskonto norma;

r – numatomas turto naudojimo laikas.

Vertinant LCOE svarbu tinkamai pasirinkti diskonto normą, kuri atspindi vidutines kapitalo sąnaudas, naudojamas diskontuojant vertes į einamuosius/dabartinius metus. Pasirinkta diskonto norma, kuri yra naudojama diskontuojant sąnaudas, nekinta ir yra vienoda visoms gamybos technologijoms. Paprastai yra naudojama 3 % diskonto norma, kuri atitinka socialines kapitalo sąnaudas, 7 % norma, kuri atitinka didžiąją dalį įmonės kapitalo sąnaudas nereguliuojamoje rinkoje ir 10 % diskonto norma, kuri naudojama santykinai didesnės rizikos aplinkoje. Pasirinktiems LCOE rodikliams taikytas 7 % metinis diskontavimas (žr. 2 lentelę) [69].

2 lentelė. LCOE vertės pagal elektros energijos gamybos technologiją (Eur/MWh) (sudaryta autoriaus pagal „IRENA“ ir „IEA“ duomenis, 2018-2022)

Eil. Nr.	Elektros energijos gamybos technologija:	LCOE 2018 m.* (Eur/MWh)	LCOE 2019 m. (Eur/MWh)	LCOE 2021 m. (Eur/MWh)	LCOE vidurkis (Eur/MWh)
1	Vėjo elektrinės (sausumos)	60	53	42	52
2	Hidroelektrinės	76	68	42	62
3	Saulės elektrinės	87	68	48	68
4	Šiluminės elektrinės**	92	85	70	82
5	Vėjo elektrinės (jūrinės)	101	86	75	87

6	Kombinuoto ciklo (dujų) elektrinės - CCGT	95	71	115	94
7	Atliekų deginimo elektrinės	105	95	100	100
8	Biokuro elektrinės**	118	110	95	108

* - Apimamas laikotarpis yra: 2008, 2010, 2013, 2016 ir 2018 m. atsinaujinantiems energijos šaltiniams ir buitiniams energijos sistemoms. Ir 2008, 2013 ir 2018 m. nebutiniai šiluminės energijos šaltiniai;

** - čia pateiktos išlaidos atitinka išlaidas sistemos pagamintos energijos (elektros ir šilumos) vieneto (MWh).

Kaip ir tikėtasi duomenų apie iškastinio kuro (dujas) ir šiluminių elektrinių yra mažiau, nes analizuojamu laikotarpiu naujų projektų nebuvo daug, ypač ES27 šalyse, dauguma projektų yra senesni nei 2008 m.

Taigi, pasinaudojant surinktais ketvirtiniais 2018–2022 metų istoriniais duomenimis yra sudaromos pasiūlos ir paklausos kreivės su priimtomis skirtingomis prielaidomis, kurios leidžia vertinti pasiūlos kreivės poslinkio dydį, kuris priklauso nuo tuo metu AEI generavimo kiekio. Poslinkio dydis parodo kiek kartų per tam tikrą intervalą didmeninė elektros energijos kaina sumažėtų arba padidėtų.

4. Atsinaujančių energijos išteklių poveikio elektros energijos kainoms vertinimas

Tyrime analizuojant atsinaujančių energijos išteklių poveikį elektros kainoms pasinaudojant pasiūlos ir paklausos kreivėmis, būtina apsiskaičiuoti trumpalaikes ribines gamybos ir vartojimo sąnaudas, įvertinti šalies technologinius pajėgumus bei išanalizuoti istorinę didmeninės rinkos elektros kainų kitimo tendenciją. Taip pat, būtina įsivertinti Lietuvos visas tarpsistemines jungtis ir komercinius energijos srautus su trečiosiomis šalimis, nes tai turi įtakos analizuojant kreivių poslinkio dydį, dėl to, kad Lietuva didžiąją dalį elektros energijos importuoja. Visi pateikiami duomenys yra susisteminti ir išvesti vidurkiai konkrečiai išskaidant juos pagal sezonškumo ir paros laiko kriterijus.

4.1. Pagrindinių tyrime naudojamų laisvai prieinamų duomenų analizė

Gauti rezultatai gali skirtis nuo faktiškai perduotų energijos kiekių, nes yra analizuojama tik didmeninėje rinkoje perduodama energija, nes tik šis kiekis turi didžiausią įtaką dienos prieš kainoms. Taip pat, duomenys apima prekybą dienos rinkoje, dėl ko gali būti neatitikimų, tačiau dienos rinkoje parduodama elektros energija yra ženkliai mažesnė lyginant su kitos dienos rinka, todėl duomenys laikomi tinkami. Tokie niuansai kaip jungiamųjų linijų uždarymas ar remontas nėra vertinami.

Visų pirma, analizuojant 2018 – 2022 metų ketvirtinius duomenis buvo įvertinamos minimalios ($LOAD_{Min}$) ir maksimalios ($LOAD_{Max}$) apkrovos, kur pirmas ir ketvirtas ketvirčiai buvo priskiriami žiemos sezonui, o antras ir trečias ketvirčiai vasaros sezonui. Pagal gautas minimalias ir maksimalias ketvirčių apkrovas buvo analizuojama kuriuo paros metu dažniausiai susidaro minimalus ir maksimalus vartojimo poreikis. Gauti rezultatai parodė, kad Lietuvoje didžiausias elektros energijos poreikis susidaro 9h ryto ir vidutiniškai siekia žiemos sezonu 2026,73 MWh, o vasaros sezonu 1731,98 MWh, tuo tarpu mažiausia apkrova dažniausiai būna 3h nakties ir žiemos sezonu vidutiniškai siekia 968,27 MWh, o vasaros sezonu 876,87 MWh, rezultatai pateikiami 3 lentelėje:

3 lentelė. Lietuvos elektros energijos 2018–2022 laikotarpio minimalių ir maksimalių apkrovų gauti rezultatai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Metai	Ketvirtis	Dienų skaičius	Valandų skaičius	Minimali apkrova, $LOAD_{Min}$, MWh	Maksimali apkrova, $LOAD_{Max}$, MWh	Minimalios apkrovos paros laikas, h	Maksimalios apkrovos paros laikas, h
Žiemos sezonas							
2018	I	90	2160	944,88	1983,83	3	9
	IV	92	2208	952,04	1964,73	3	16
2019	I	90	2160	1002,72	2029,43	3	9
	IV	92	2208	948,70	1922,56	3	10
2020	I	91	2184	933,17	1852,08	3	11
	IV	92	2208	921,70	1935,49	3	16
2021	I	90	2160	1004,19	2095,51	2	9
	IV	92	2208	985,12	2220,41	3	9
2022	I	90	2160	1112,20	2232,62	5	9
	IV	92	2208	877,97	2030,61	3	9
Vid. $LOAD_{Min}$, MWh				968,27			
Vid. $LOAD_{Max}$, MWh				2026,73			
Vasaros sezonas							
2018	II	91	2184	864,22	1690,92	3	10
	III	92	2208	881,26	1716,60	5	13
2019	II	91	2184	896,12	1753,03	4	13
	III	92	2208	871,25	1699,42	5	11
2020	II	91	2184	854,79	1643,46	4	13
	III	92	2208	842,33	1656,37	5	13

2021	II	91	2184	893,66	1713,25	5	10
	III	92	2208	920,71	1805,46	5	9
2022	II	91	2184	847,39	1844,22	4	9
	III	92	2208	897,02	1797,03	2	11
Vid. LOAD_{Min}, MWh		876,87					
Vid. LOAD_{Max}, MWh		1731,98					

Labai svarbu įsivertinti kiek ir kokios technologijos pagamina elektros energijos skirtingais sezonais, tam tikru paros metu. Kadangi, gauti rezultatai parodė, kad LOAD_{Min} ir LOAD_{Max} susidaro dažniausiai 3h nakties ir 9h ryto, tai vertinama Lietuvos vietinė generacija tik šiomis valandomis. Šiuo metu Lietuvos paskirstymo operatorius AB „Litgrid“ pateikia valandinius duomenis tik nuo 2022 m. sausio mėn. 1 d., dėl šios priežasties nėra galimybės tiksliai žinoti kokios buvo gamybos apimtys konkrečiu paros metu. Norint sužinoti vidutinę elektrinių generaciją 2018–2022 metų laikotarpiu, buvo sudaromos 2022 metų duomenų proporcijos, pagal kurias apskaičiuota kokią ketvirtinių duomenų dalį sudaro generacija 3h nakties ir 9h ryto. Žemiau pateikiami pavyzdiniai skaičiavimai, kurie pritaikyti vėjo elektrinių gamybai (žr. 5 formulę). Visi ketvirtiniai elektros energijos gamybos duomenys pateikti 1 priede.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{E_{Q1_{2022}(VE)}}{E_{Q1_{2022}(VE)3h}} = \frac{100\%}{x\%} = \frac{E_{Q1_{2022}(VE)} \cdot 100\%}{E_{Q1_{2022}(VE)3h}} = \frac{226,94 \cdot 100}{514\,000} = \quad (5)$$

$$= 0,044\% ,$$

čia, $E_{Q1_{2022}(VE)}$ – vėjo elektrinių pagamintas energijos kiekis per 2022 metų I ketvirtį;

$E_{Q1_{2022}(VE)3h}$ - vėjo elektrinių pagamintas energijos kiekis per 2022 metų I ketvirtį 3h ryto.

Gautas rezultatas rodo, kad vėjo elektrinių pagamintos energijos kiekis 3h nakties sudaro 0,044 % visos elektros energijos kiekio pagaminto per 2022 metų pirmąjį ketvirtį, todėl daroma prielaida, kad 2018–2021 metais 3h nakties vėjo elektrinės taip pat gamins 0,044 % visos vėjo elektros energijos kiekio (žr. 6 formulę).

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{E_{Q1_{2021}(VE)}}{x} = \frac{100\%}{0,044\%} = \frac{E_{Q1_{2021}(VE)} \cdot 0,044\%}{100\%} = \frac{330\,000 \cdot 0,044}{100} = \quad (6)$$

$$= 145,70 \text{ MWh}.$$

Analogiškai apskaičiuoti ir kitų energijos technologijų gamybos kiekiai pagal pasirinktą laikotarpį (žr. 2 priedą), gautos vidutinės reikšmės pateikiamos 4 lentelėje.

4 lentelė. Lietuvos elektros energijos gamybos išvestos vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018–2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Sezonas	Elektros energijos gamyba (Neto)	Šiluminės elektrinės	Hidroelektrinės	Vėjo elektrinės	Kitų energijos šaltinių gamyba	Saulės energijos elektrinės
Paros laikas, 03:00 h						
Vasaros	378,18	91,30	34,20	140,77	111,91	0,00
Žiemos	379,07	78,66	33,53	183,15	83,73	0,00

Paros laikas, 09:00 h						
Vasaros	663,65	137,31	195,76	85,98	113,72	63,83
Žiemos	596,59	140,96	228,29	175,68	87,23	31,48

Kadangi, Lietuva nepasitenkina savo vidaus poreikių, likusią elektros energijos dalį reikia importuoti iš trečiųjų šalių. Dažnu atveju neįmanoma nustatyti faktinės elektros energijos tiekimo vietos, nes elektra keliauja laisvai, lengviausiu keliu, kur yra mažiausias pasipriešinimas. Lietuva tiesiogiai sujungta su penkiomis kaimynėmis šalimis, kiekviena jungtis turi skirtingus pralaidumus, dėl ko kartais susidaro elektros biržoje skirtingos elektros kainos, nes jungtys būna perkrautos. Elektros prekybai didžiausią įtaką turi trys pagrindinės jungtys. Pirmoji jungtis su Švedija, vadinama “NordBalt”, jos pralaidumas siekia 700 MW, antroji jungtis su Lenkija – “LitPolink”, kurios pralaidumas siekia 500 W, trečioji jungtis su Latvija, kurios pjūvio techninis pralaidumas siekia 1500 MW į Lietuvos rinką ir 1200 MW iš Lietuvos rinkos. Likusios jungtys su Baltarusija ir Kaliningradu nėra vertinamos, nes faktiškai Lietuva neimportuoja iš šių šalių elektros energijos poreikiams tenkinti. Elektros energijos biržos operatoriai “Nord Pool” 2022 m. antro ketvirčio pabaigoje nustojo prekiauti rusiška elektra iš vienintelio importuotojo Baltijos šalyse “Inter RAO” ir priimtą vadinamąjį “antistravinį” įstatymą, kuris draudžia patekti į Lietuvos rinką elektrai iš Baltarusijos, išlieka tik techniniai elektros srautai, kurie susidarys tol kol Lietuva neatsijungs nuo bendros IPS/UPS sistemos, vadinamojo BRELL žiedo, su Baltarusija ir Rusija. Šiai bendrai sistemai priklauso visos Baltijos šalys, todėl yra palaipsniui įgyvendinamas tarpvalstybinis energetikos projektas, kuriuo siekiama Baltijos šalių tinklus sinchronizuoti su kontinentiniu Europos tinklu. Išvesti komercinių srautų vidutinių reikšmių rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Lietuvos elektros energijos importo (-) /eksporto (+) išvestos vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018–2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Sezonas	Komercinis srautas Lietuva - Baltarusija		Komercinis srautas Lietuva - Latvija		Komercinis srautas Lietuva - Kaliningradas	
	Importas (-)	Eksportas (+)	Importas (-)	Eksportas (+)	Importas (-)	Eksportas (+)
Paros laikas, 03:00 h						
Vasaros	0	0	-380,81	18,01	0	0
Žiemos	0	0	-336,72	21,91	0	0
Paros laikas, 09:00 h						
Vasaros	0	0	-319,37	28,51	0	0
Žiemos	0	0	-350,77	35,98	0	0
Sezonas	Komercinis srautas Lietuva - Lenkija		Komercinis srautas Lietuva - Švedija			
	Importas (-)	Eksportas (+)	Importas (-)	Eksportas (+)		
Paros laikas, 03:00 h						
Vasaros	-49,47	147,84	-368,21	16,34		
Žiemos	-124,64	111,86	-380,38	60,45		
Paros laikas, 09:00 h						
Vasaros	-50,75	121,39	-371,74	6,83		
Žiemos	-97,75	150,19	-472,13	16,08		

Išanalizavus 3 priede gautus rezultatus, lyginant 2018–2022 metų vidutines reikšmes, daugiausia didėjo komerciniai srautai tarp Švedijos–Lietuvos, kurie žiemos sezonu 3h nakties padidėjo ~ 80 %,

vasaros sezonu ~ 69 %. Šiam padidėjimui įtakos galėjo turėti sustabdytas importas iš Kaliningrado srities.

Įvertinus 3–5 lenteles, gauti rezultatai rodo, kad mažiausios apkrovos metu išvestos ir susumuotos importo bei gamybos vidutinės reikšmės tenkina paklausos poreikius, nes nuokrypis neviršija 100 MWh, todėl priimama, kad duomenys tinkami, tačiau didžiausios apkrovos metu nuokrypis viršija 500 MWh ir gali turėti didelę įtaką tolimesniems skaičiavimams. Dėl šios priežasties, apskaičiuota vidutinė valandinė apkrova žiemos ir vasaros sezonais (žr. 4 priedą). Vidutinė valandinė apkrova žiemos sezonu lygi 1476,32 MWh, vasaros metu – 1294,84 MWh. Palyginus gautus rezultatus su 4–5 lentelėmis, matoma, kad šios vertės artimesnės gautiems rezultatams. Panaudojus 5–6 formules, nustatyta, kad vidutinė valandinė apkrova žiemos sezonu sudaro 72,80 %, o vasaros metu 74,75 %, todėl maksimalios apkrovos metu vidutinės importo ir gamybos gautos reikšmės, priklausomai nuo sezono, tolimesniems skaičiavimams yra padidinamos 25,25 % ir 27,2 %, tokiu būdu sumažinamas nuokrypis nuo realiųjų verčių.

Vertinant elektros kainų pokyčio priklausomybę nuo atsinaujinančių energijos išteklių, reikia žinoti istorinę didmeninės kainos kitimo tendenciją. Susiklosčiusi 2022 m. geopolitė situacija, nebuvo palanki elektros kainoms, dėl ko Lietuvos kainų zonoje biržos kaina 2022 m. siekė aukštumas (žr. 5 priedą). Taip pat, kainos labai svyravo ir COVID-19 pandemijos metu, todėl išvestos vidutinės biržos kainos skirtingu paros metu, gautos reikšmės pateiktos 6 lentelėje.

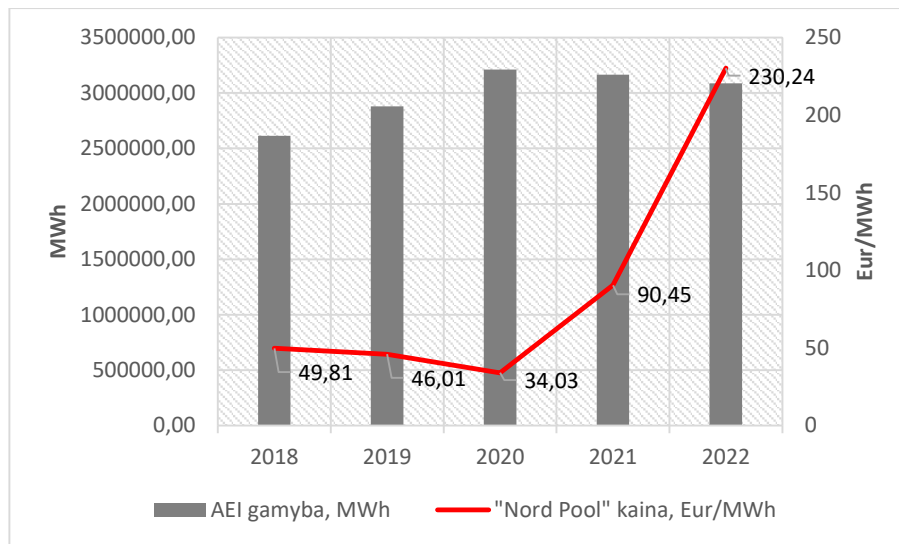
6 lentelė. Lietuvos biržos kainų vidutinės reikšmės pagal paros laiką 2018–2022 metų laikotarpiu (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Sezonas	Vidutinė „Nord Pool“ kaina, Eur/MWh
Paros laikas, 03:00 h	
Vasaros	53,52
Žiemos	70,19
Paros laikas, 09:00 h	
Vasaros	102,18
Žiemos	114,87

Pagal 5 priedo duomenis, lyginant 2018 m. elektros kaina su 2022 m., $LOAD_{Min}$ apkrovos metu padidėjo ~ 73 %, o $LOAD_{Max}$ metu ~ 77 %, didžiausias pokytis buvo trečio ketvirčio maksimalios apkrovos metu ir vidutinė elektros kaina siekė 454,55 Eur/MWh.

4.2. Atsinaujinančių energijos išteklių poveikio elektros energijos kainoms analizė

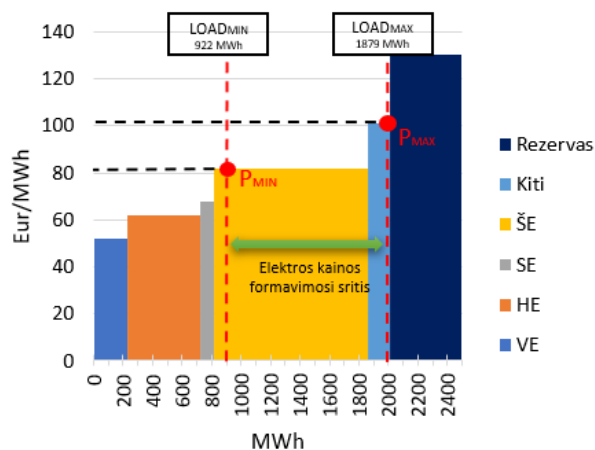
Šiame skyriuje apžvelgiama AEI gamybos kitimo tendencija ir vertinama jos įtaka didmeninėms elektros energijos kainoms. Elektros kaina gaunama iš paklausos ir pasiūlos kreivių kasdieniame valandiniame aukcione, kuris yra tiesioginis paklausą tenkinančios pasiūlos rezultatas. Kitos dienos rinka yra pagrįsta aukciono principu, kuris nediskriminuoja skirtingų rinkos dalyvių ir skatina naudoti ribinę kainą kaip konkurencingos kainodaros pagrindą. Visiems rinkos dalyviams mokama tapati nustatyta elektros energijos kaina. Nepriklausomas sistemos operatorius sujungia pasiūlos ir paklausos pasiūlymus ir išdėsto juos kylančių ir mažėjančių kreivių forma. Elektros kainos pasižymi jautrumu, todėl įvykę nedideli pokyčiai kreivėje, pavyzdžiui paklausos sumažėjimas ar AEI padidėjimas, gali paveikti galutinės elektros kainos rezultata. Įvertinus 2018–2022 m. AEI gamybos kiekius ir vidutinę metinę „Nord Pool“ kainą Lietuvoje, sudarytas grafikas (žr. 9 pav.), kuriame matome, kad 2018–2020 metų laikotarpiu didmeninė elektros kaina mažėja didėjant AEI generacijai.



9 pav. AEI gamybos ir vidutinės „Nord Pool“ kainų kitimas 2018–2022 m. (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018-2022)

Grafike matoma, kad įvyksta „Nord Pool“ kainos kreivės staigus kylimas 2021–2022 metais, tam įtakos turėjo prasidėjusi COVID-19 pandemija ir Rusijos invazija į Ukrainą, dėl ko radikaliai pasikeitė pasiūla tarp rinkos dalyvių ir išaugo elektros kainos. Tačiau, pagal AEI gamybą ir vidutinę didmeninę kainą, vertinti AEI poveikį elektros kainoms yra netikslu, todėl sudarytas modelis pagal valandinį elektros kainos tarifą, kuriame atsižvelgiama tik į valandinį elektros poreikį ir kintamą AEI gamybą. Likusią paklausą tenkina tradicinės elektrinės ir importas, kurie jungiami į blokus pagal trumpalaikius ribinius kaštus.

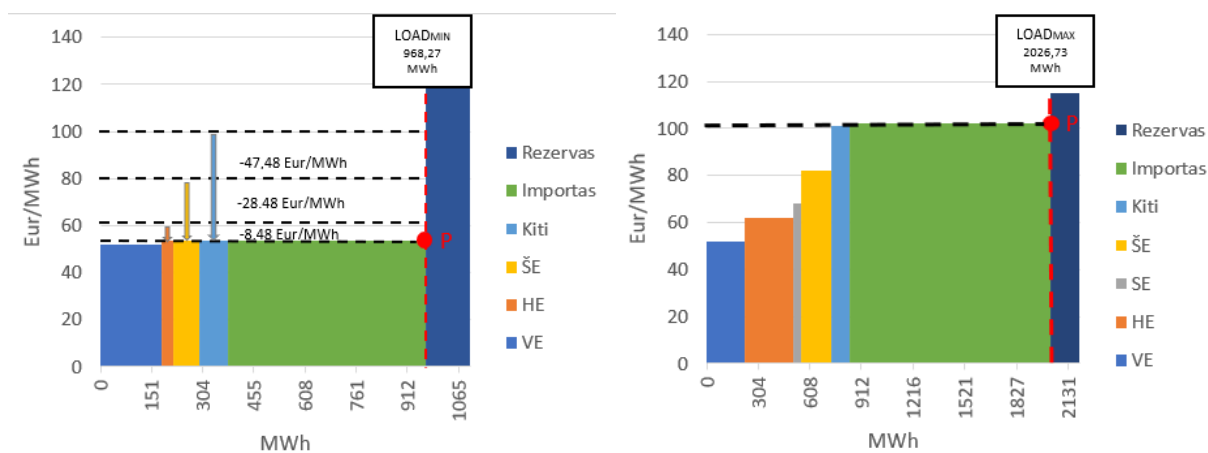
Pagal 1 lentelę matoma, kad Lietuvoje veikiančių elektrinių instaliuota galia yra ~ 4,3 MW, tiek teoriškai Lietuvoje būtų galima pagaminti elektros energijos ir pasitenkinti šalies poreikį, tačiau pateikti elektrinių galingumai yra faktiniai, o elektros kiekis, kurį iš tiesų gali elektrinės pasiūlyti rinkai yra mažesnis, nes dalis elektrinių yra laikoma rezerve, kad būtų užtikrintas šalies balansas, dėl kokių nors priežasčių atjungus elektros jungtį, o kita dalis priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Šiuo metu Lietuvoje prieinama galia siekia apie 2008 MW, iš kurių SE ir VE sudaro 316 MW, ŠE 1042 MW, HE/HEA 500 MW, kitos elektrinės 150 MW. ŠE kategorijai priskiriami Elektrėnų komplekso 7 ir 8 blokai. Toliau pateikiamas grafikas (žr. 10 pav.), kuris vaizduoja elektros energijos kainų formavimąsi Lietuvoje nesant „Nord Pool“ biržai. Minimalios ir maksimalios apkrovos parinktos išvedus metines vidutines reikšmes, neiškiriant konkrečios valandos ar sezono. Vietinė generacija atitinka prieinamą galią Lietuvoje pagal energijos technologiją.



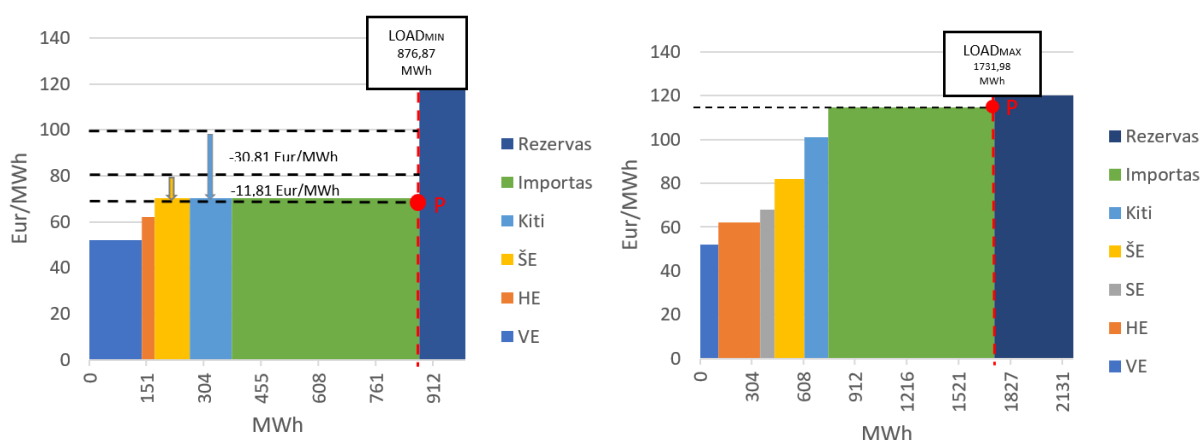
10 pav. Elektros kainos formavimasis nesant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Įvertinus prieinamą elektrinių generaciją, vidutines minimalias ir maksimalias apkrovas, matoma, kad Lietuva yra pajėgi pasigaminti elektros energijos tiek, kad patenkintų energijos poreikius, išskyrus žiemos sezonu, kai padidėja vartojimas dėl šildymo sezono ir paklausa viršija 2008 MWh. LOAD_{Min} apkrovos metu elektros kaina siekia ~ 80 Eur/MWh, o LOAD_{Max} metu ~ 100 Eur/MWh. Įvertinus 6 lentelės gautus rezultatus ir susiformavusias kainas nesant biržai, galima teigti, kad naudojant tik šalies vietinę generaciją paklausai patenkinti, šis būdas pats brangiausias ir dar labiau padidintų elektros kainas, todėl, siekiant pigesnės elektros energijos vartotojams, Lietuva importuoja didžiąją dalį iš Skandinavijos ir kitų Baltijos šalių, kuriuose energija išgaunama iš pigesnių technologijų, t.y. AEI arba atominių elektrinių. Toliau, pateikiamos analitinės situacijos, kaip skirtinga AEI skverbties dalis turi įtakos didmeninėms elektros energijos kainoms.

Visų pirma, svarbu suprasti kaip išsidėsto energijos technologijos pagal LCOE dabartinėje Lietuvos rinkoje. Aukščiau, aptarta, kad didmeninė elektros energijos kaina yra pagrįsta paskutinio gamintojo ribinėmis sąnaudomis, tačiau Lietuva didžiąją dalį energijos importuoja, todėl daroma prielaida, kad Lietuvoje sugeneruota energija yra sunaudojama savoms reikmėms, o trūkumas patenkinamas tarpsteminėmis jungtimis, elektros kaina kaimyninėse šalyse vienoda. Ši prielaida priimama, todėl, kad dėl sudarytų komercinių sutarčių ir konfidencialumo nėra pateikiama tiksli informacija kiek, kam ir už kokią kainą rinkos dalyviai parduoda elektros energiją, todėl 5 lentelėje apskaičiuotos vidutinės eksporto reikšmės yra išminusuojamos iš importo verčių ir priimama, kad vietinė generacija sunaudojama Lietuvos rinkoje. Žemiau pateikiami grafikai (žr. 11–12 pav.), kurie iliustruoja rinkos dalyvių išsidėstymą pagal LCOE skirtingais sezonais, atitinkamai 3h nakties ir 9h ryto pagal apkrovas.



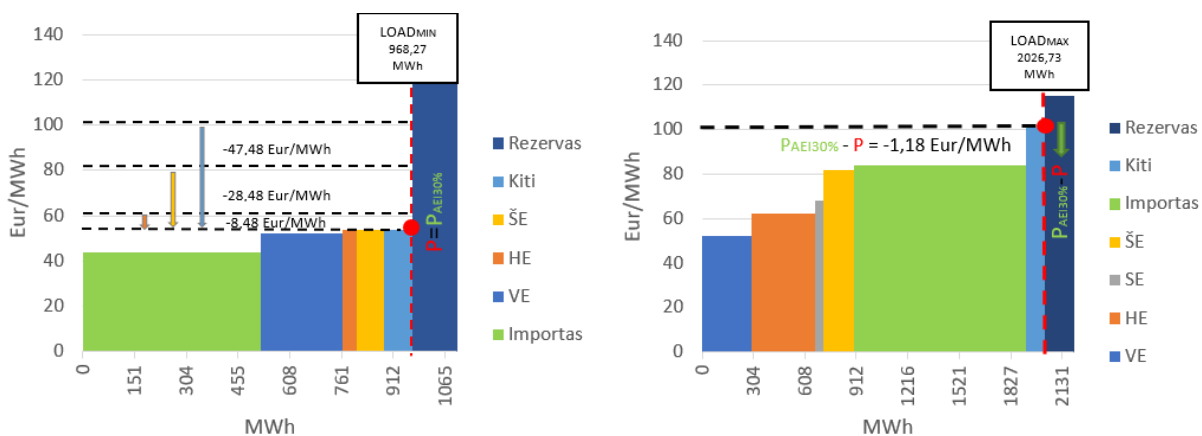
11 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)



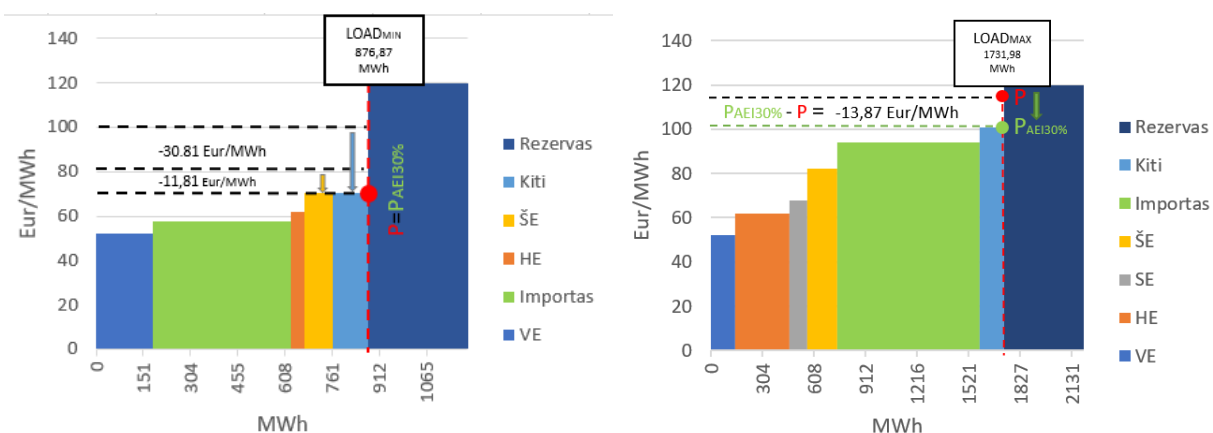
12 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Gauti rezultatai rodo, kad $LOAD_{Min}$ metu susidaro neigiamos elektros kainos didesnius ribinius kaštus turinčioms elektrinėms, kurios turi palyginus nedidelį lankstumą ir joms yra ekonomiškiau parduoti elektros energiją tam tikrą valandą už mažesnę kainą nei sustabdyti gamybą. Lyginant $LOAD_{Min}$ gamybos ir paklausos kiekius, žymių skirtumų nematoma, minimalios apkrovos išlieka panašios. Dėl silpnesnių vėjų vasaros sezonu matoma nežymiai sumažėjusią VE gamybą, kas lemia didesnę elektros energijos pasiūlą iš kitų tradicinių elektrinių. Tačiau, rezultatai rodo, kad $LOAD_{Min}$ biržos kaina vasaros sezonu išaugo 23,75 % lyginant su žiemos sezonu, šį prieaugį galėjo lemti smarkiai išaugusios dujų kainos 2022 m. III ketvirtyje, dėl ko matomas šiuo laikotarpiu didelis elektros kainų padidėjimas (žr. 5 priedą). ES importuoja apie 83 % gamtinių dujų iš kurių apie 40 % tiekia Rusija. Prasidėjus Rusijos invazijai į Ukrainą, importas iš Rusijos 2022 m. sudarė mažiau nei ketvirtadalį ES dujų importo [70]. ES buvo priversta ieškoti kitų alternatyvų užpildyti dujų saugyklas, dėl ko III ketvirtyje lyginant su I ketvirčiu, dujų kaina pakilo 56,09 %. Jeigu būtų išlikusi dujų kaina tolygi, vasaros sezono mažiausios apkrovos metu elektros kaina būtų artima žiemos sezonui. $LOAD_{Max}$ metu vidutinė elektros kaina skirtingais sezonais yra panaši, vasaros metu 12,69 Eur/MWh didesnė, kam gali turėti įtakos anksčiau aptarta dujų kaina. Taip pat, matoma, kad žiemos sezonu VE gamyba dvigubai didesnė nei vasaros, o vasaros metu SE gamyba dvigubai didesnė nei žiemos, tai natūralus skirtumas, dėl gamtinių sąlygų. Kitų elektrinių gamyba išlieka panaši.

Toliau analizuojama situacija kai yra didelė AEI skverbtis (žr. 13–14 pav.) ir lyginama su aukščiau aptartu scenarijumi. AEI gamyba konkrečiu paros metu padidinta 30 %. SE įtaka yra vertinama tik $LOAD_{Max}$, nes $LOAD_{Min}$ paros metu elektrinės negeneruoja. Kadangi, kainos reaguoja į platesnius elektros energijos mainus, darome prielaidą, kad kaimyninėse rinkose taip pat AEI generacija padidėja 30 %. Šis padidėjimas lemia mažesnę importo kainą, todėl remiantis 2.3 skyriuje aptartais tyrimais, priimama, kad VE padidėjimas 1 % sumažina didmeninę elektros kainą 1,20 %, o SE padidėjimas 1 % sumažina iki 0,067 %. Bendrai AEI padidėjimas 1 % sumažina didmenines kainas rinkoje 0,6 % [71]. Faktinis importuojamos elektros energijos kiekis ir šalies kaina išlieka kaip pastovūs dydžiai.



13 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu (AEI gamyba padidinta 30 %) esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)



14 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu (AEI gamyba padidinta 30 %) esant „Nord Pool“ biržai (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Pagal gautus rezultatus, matoma, kad padidėjus AEI gamybai 30 %, visais atvejais sumažėja importo kaina 18 % ir pasistumia į kairę pusę išilgai X ašies. Šis poslinkis daro įtaką Lietuvos didmeninei elektros kainai maksimalios apkrovos metu, nes sumažėjusi importo kaina sukeičia vietomis importo ir kitų energijos šaltinių stulpelius, kurių LCOE lygi 101 Eur/MWh. Vadinasi, padidėjus AEI generacijai 30 %, 9h vasaros sezonu elektros kaina sumažėtų 13,87 Eur/MWh. Žiemos sezono pokytis mažesnis, elektros kaina sumažėtų 1,18 Eur/MWh. $LOAD_{Min}$ metu importo ir AEI generacijos poslinkio dydis nedaro įtakos elektros kainai ir ji išlieka tokia pati.

Ateityje, numatoma, kad Lietuvoje elektros energijos suvartojimas gali didėti vidutiniškai po 2 % per metus ir 2029 m. suvartojimas sieks 14,7 TWh [72]. Poreikio augimą lems didesnis vartojimas

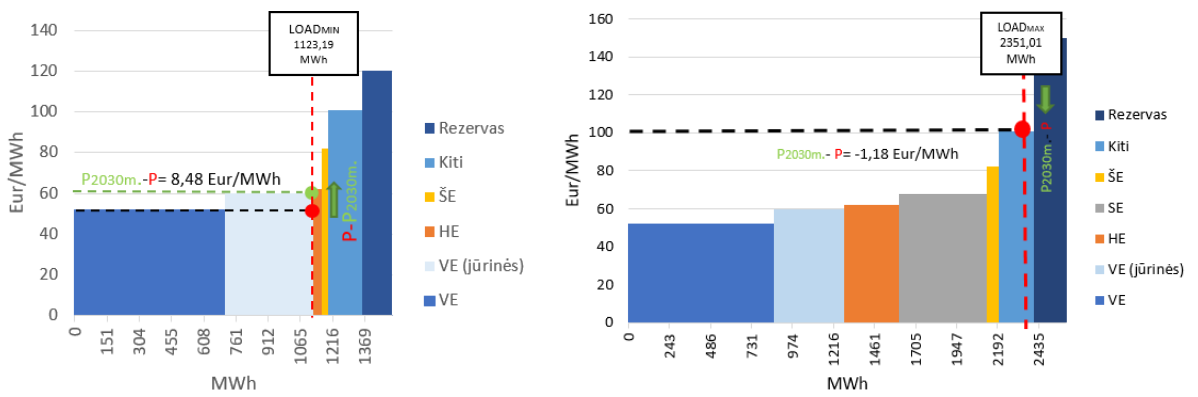
pramonės ir namų ūkio sektoriuose, ypač didės elektra varomų automobilių ir šilumos siurblių skaičius, jų suvartojamas kiekis. Tokiam staigiam poreikio augimui AB „Litgrid“ yra parengusi dešimtmečio planą, kuriame numatyta, kad Lietuvos elektros perdavimo sistema per ateinančią dešimtmetį leis integruoti iki 3600 MW Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje numatytų vėjo elektrinių sausumoje ir iki 1400 MW vėjo elektrinių jūroje, kurių vietą jau patvirtino Vyriausybė – apie 30 km į Vakarus nuo Baltijos jūros pakrantės ties Palanga. Taip pat, numatomas ir didelis SE augimas. Įskaitant gaminančius vartotojus SE galia turėtų didėti iki 2000 MW. HE galia išlieka pastovi, padidėja tik Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės galia iki 1010 MW. 2030 m. elektrinių galių pokyčiai pateikti 3 skyriuje 1 lentelėje. Numatoma, kad AEI technologijų plėtra ateityje nepriklausomai nuo didesnių ribojimų jų integravimui priklausys nuo investuotojų susidomėjimo į kaupimo sistemas, kaupimo technologijų kainų mažėjimo tendencijų, greitesnio poreikio augimo dėl dekarbonizacijos reikalavimų, todėl ateinantys metai į tinklą suteiks galimybę integruoti iki 1 MW galios ir 1 MWh talpos baterijų energijos kaupimo sistemą, kuri leis patikrinti baterijų kaupimo sistemų panaudojimo galimybes realiomis Lietuvos elektros energetikos sistemos sąlygomis. Gauti rezultatai ir surinktos žinios suteiks galimybę AB „Litgrid“ ugdyti kompetencijas ir pasiruošti netrukus planuojamoms 200 MW galios ir 200 MWh talpos kaupiklių sistemos integracijai bei galimai jų plėtrai [72].

Įvertinus „Litgrid“ dešimtmečio planą, Lietuvoje 2030 m. veikiančių elektrinių instaliuota galia turėtų siekti ~ 9,3 MW, tačiau proporcingai įvertinus dabartinę faktinę ir prieinamą elektrinių galią, daroma prielaida, kad 2030 m. prieinama galia Lietuvoje sieks ~ 3 MW. Jūrinės VE paprastai gamina 70-85 % laiko, tačiau kaip ir sausumos VE, jos generuoja skirtingą galią, priklausomai nuo vėjo greičio. Vidutiniškai vėjo turbina sugeneruoja 30 % teorinės maksimalios galios, todėl priimama, kad jūrinių VE prieinama galia sudaro 30 % faktinės galios 2030 m. [73]. Elektrinių galių pasiskirstymas pagal technologiją pateikiamas 7 lentelėje.

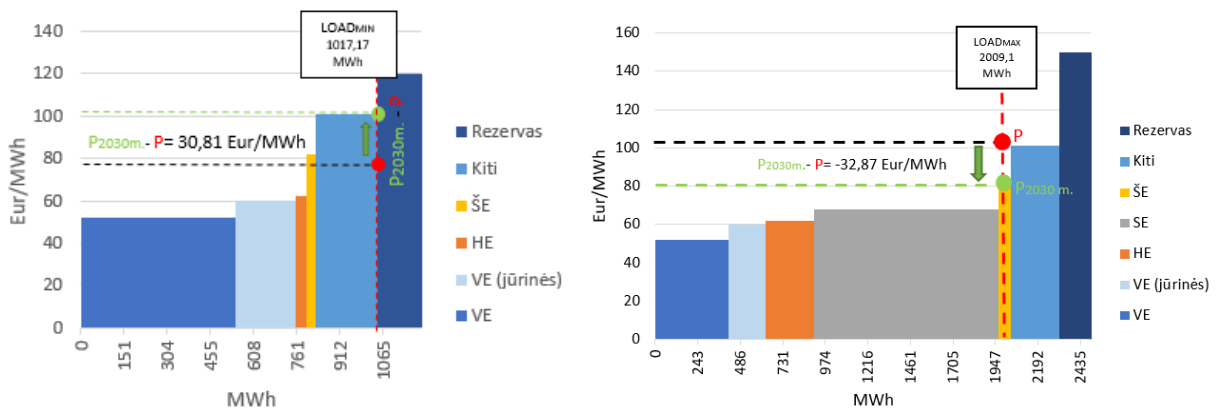
7 lentelė. Lietuvos elektrinių numatomos faktinės ir prieinamos galios 2030 m. (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Elektros energijos gamybos technologija:	Dabartinė faktinė galia , MW	Dabartinė prieinama galia , MW	Faktinės galios procentinė dalis, %	2030 m. faktinė galia, MW	2030 m. prieinama galia, MW
VE (sausumos)	946	225	23,78	3600	856,24
VE (jūrinės)	0	0	0	1400	420,00
HE/HEA	1028	500	48,64	1138	553,50
SE	572	91	15,91	2000	318,18
ŠE	1564	1042	66,62	780	519,67
KITI	227	150	66,08	386	255,07

Jūrinių VE sąnaudos kiekvienais metais sparčiai mažėja, todėl remiantis „Bloomberg New Energy Finance“ duomenimis, aukščiau įvertintos jūrinių vėjo elektrinių LCOE vertės (žr. 2 lentelę) yra koreguojamos ir daroma prielaida, kad 2030 m. LCOE vertė bus lygi 60 Eur/MWh [74]. Kitos LCOE vertės priimama, kad nekinta. Taip pat, 2030 m. planuojama, kad Lietuva pasieks visišką energetinę nepriklausomybę ir bus pajėgi net 93 % reikiamos elektros energijos pasigaminti iš AEI ir iš deficitinės šalies planuojama tapti elektros energijos eksportuotoja, todėl importas sudarant 2030 m. galimą elektros kainos susiformavimo grafiką nebus vertinamas (žr. 15-16 pav.) [75].

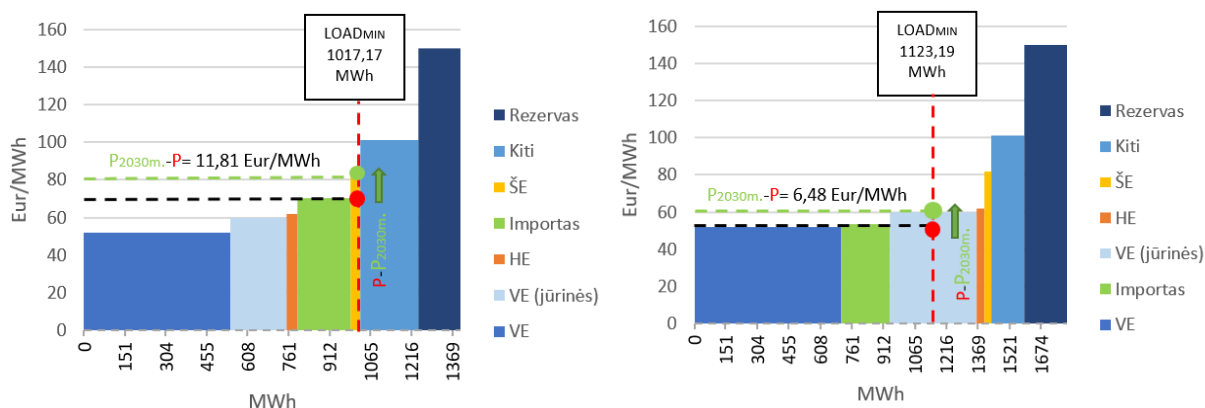


15 pav. Elektros kainos formavimasis žiemos sezonu įvertinus AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)



16 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros sezonu įvertinus AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Sudėliojus scenarijus $LOAD_{Max}$ ir $LOAD_{Min}$ metu, pagal numatytus gamybos pajėgumus 2030 m., matome, kad naudojant tik vietinę generaciją, maksimalios apkrovos metu šalies kaina mažėja, ypač vasaros sezonu, kuri sumažėja 28,61 %, tačiau dėl žymiai didesnės paklausos šaltuoju sezonu, elektros kaina sumažėja neženkliai, tik 1,15 %. Minimalios apkrovos metu elektros kaina padidėja ir žiemos metu 1 MWh kainuotų apie 62 eurus, o vasaros metu siektų iki 101 Eur/MWh. Tokios kainos susidaro todėl, kad nebelieka rinkos žaidėjų iš Skandinavijos ir Baltijos šalių, o paskutinio gamintojo ribiniai kaštai tampa žymiai didesni. Taip pat, įtakos turi 33 % šiltuoju sezonu sumažėjusi VE generacija. Toliau, sudaryta situacija $LOAD_{Min}$ metu, kai yra įvertinamas importas ir stebimas elektros kainos pasikeitimas. Importo vertės parinktos pagal 6 lentelę ir sumažintos 60 %. Kadangi $LOAD_{Max}$ metu matoma, kad elektros kainos ir taip mažėja, o importo kaina ženkliai didesnė, tai dėl šios priežasties importo kiekio įtaka nėra vertinama, stebimas tik pasikeitimas $LOAD_{Min}$ metu (žr. 17 pav.).



17 pav. Elektros kainos formavimasis vasaros ir žiemos sezonais $LOAD_{Min}$ įvertinus 40 % importuojamos energijos ir AB „Litgrid“ dešimtmečio planą (sudaryta autoriaus pagal AB „Litgrid“ duomenis, 2018–2022)

Prie AB „Litgrid“ dešimtmečio plano įvertinus, kad Lietuva importuos apie 40 % elektros energijos minimalios apkrovos metu, matome, kad didėjant importui mažėtų kaina, vadinas didesnius ribinius kaštus turinčios elektrinės turėtų elektros energiją parduoti minusinėmis kainomis. Vasaros metu elektros kainos priaugis sumažėtų iki 11,81 Eur/MWh, o žiemos metu iki 6,48 Eur/MWh. Vadinas, apytiksliai 1 % importuotos energijos sumažina elektros kainas vasaros metu 0,48 Eur/MWh, o žiemos metu 0,05 Eur/MWh. Žinoma, importo kaina parinkta pagal 2018–2022 m. vidutines biržos kainas ir nebuvo įvertinama, kad kaimyninėse šalyse poreikis taip pat didėja po 2 % kas metus ir yra didelė AEI skverbties dalis, elektros kainos pokyčių rezultatai būtų dar kitokie, tačiau tam reikalinga atlikti atskirą kitų šalių rinkos analizę. Taip pat, numatyta AEI gamyba yra preliminari ir nepastovi, sunkiai prognozuojama, todėl jos kintamumas turi didelę įtaką elektros kainoms, nes nuo AEI priklauso ar didesnės energijos dalies bus reikalaujama iš tradicinių elektrinių. Šiame scenarijuje nebuvo įvertinamos ir 200 MWh talpos baterijos, kurios galėtų būti panaudojamos $LOAD_{Min}$ metu, jeigu turima perteklinė generacija kitomis valandomis.

Apibendrinant, galima teigti, kad išanalizavus Lietuvos balanso duomenis, buvo nustatyta, kad didžiausias elektros energijos poreikis susidaro 9h ryto ir vidutiniškai siekia žiemos sezonu 2026,73 MWh, o vasaros sezonu 1731,98 MWh, tuo tarpu mažiausia apkrova dažniausiai būna 3h nakties, kuri žiemos sezonu vidutiniškai siekia 968,27 MWh, o vasaros sezonu 876,87 MWh. Įvertinus 2018–2022 m. vidutines vertes, šiuo metu Lietuvoje AEI gamyba žiemos sezonu sudaro apytiksliai 65,08 % šalies gamybos, vasaros sezonu ~ 49,17 %. Šiuo laikotarpiu daugiausiai didėjo komerciniai srautai tarp Švedijos–Lietuvos, kurie žiemos sezonu 3h nakties padidėjo ~ 80 %, vasaros sezonu ~ 69 %. Šiam padidėjimui įtakos galėjo turėti sustabdytas importas iš Kaliningrado srities. Nustatyta šalies vidutinė elektros kaina $LOAD_{Min}$ vasaros metu siekė 70,19 Eur/MWh, $LOAD_{Max}$ metu 114,87 Eur/MWh. Žiemos metu minimalios apkrovos metu vidutinė elektros kaina nustatyta 53,52 Eur/MWh, maksimalios apkrovos metu 102,18 Eur/MWh. Taip pat, įvertintos keturios skirtingos elektros kainos susiformavimo situacijos pasinaudojant pasiūlos ir paklausos kreivėmis ir buvo nustatyta, kad su dabartine Lietuvos prieinama galia, nesant “Nord Pool” biržai elektros kainos visada formuotųsi 80–100 Eur/MWh diapazone. Įvertinus “Nord Pool” biržos įtaką, gavome, kad $LOAD_{Min}$ metu susidaro neigiamos elektros kainos didesnius ribinius kaštus turinčioms elektrinėms, kurios neturi didelio lankstumo prisitaikyti prie kintančių apkrovų. Esant “Nord Pool” biržai $LOAD_{Min}$ metu elektros kaina žiemos sezonu sumažėja 34,73 %, vasaros metu 14,40 % lyginat su scenarijumi, kai elektros biržos nėra, tačiau $LOAD_{Max}$ metu pastebima, kad kaina vasaros metu padidėja 12,07 %, o žiemos sezonu 1,15 %, tam įtakos galėjo turėti COVID–19 pandemija ir smarkiai išaugusios dujų

kainos, kurios padidino vidurkių vertes. Įvertinus situaciją, kai yra padidinama AEI skverbties dalis 30 % Lietuvoje ir kaimyninėse šalyse, rezultatai rodo, kad importo kaina sumažėja 18 %. Šis sumažėjimas pakoreguoja Lietuvos didmeninę kainą $LOAD_{Max}$ metu ir vasaros sezonu elektros kaina sumažėtų 13,87 Eur/MWh. Žiemos sezono pokytis mažesnis, elektros kaina sumažėtų 1,18 Eur/MWh. $LOAD_{Min}$ metu elektros kainos pokyčių nepastebima. Taigi, trečiojo scenarijaus $LOAD_{Max}$ metu gauti rezultatai rodo, kad padidėjus 1 % AEI gamybai vasaros metu elektros kainos sumažėja 0,4 %, o žiemos metu 0,04 %. Paskutiniame scenarijuje, sudarytame pagal AB "Litgrid" dešimtmečio planą, gauti rezultatai parodė, kad Lietuva 2030 m. bus pajėgi apsirūpinti šalies poreikius naudojant tik vietinę generaciją, nebebus priklausoma nuo importo ir maksimalios apkrovos metu II ir III ketvirtyje elektros kainas sumažintų 28,61 %, o I ir IV ketvirčiuose apie 1,15 %. Tačiau, $LOAD_{Min}$ metu elektros kainos be importo galimybės nustatytos aukštesnės lyginant su dabartine šalies kaina ir žiemos metu 1 MWh kainuotų apie 62 eurus, o vasaros metu siektų iki 101 Eur/MWh, todėl buvo atliekamas papildomas importo įtakos vertinimas minimalios apkrovos metu ir buvo nustatyta, kad teoriškai 1 % importuotos energijos sumažintų elektros kainas vasaros metu 0,48 Eur/MWh, o žiemos metu 0,05 Eur/MWh. Pagal paskutinį scenarijų, rezultatai rodo, kad padidėjusi 1 % AEI gamyba $LOAD_{Max}$ metu sumažina didmenines elektros kainas 0,38 % vasaros metu ir 0,018 % žiemos metu. Įvertinus skirtingus scenarijus ir išvedus gautų reikšmių metinius vidurkius, teoriškai 1 % padidėjusi AEI gamyba sumažina didmenines elektros kainas 0,2 %. Iš esmės lyginant tyrime gautus rezultatus su teorinėje dalyje aprašytais tyrimais, kuriuose minima, kad 1 % padidėjus AEI gamyba sumažina didmeninės elektros kainos iki 0,6 %, gauta metinė vidutinė reikšmė yra mažesnė, tačiau taip pat rodo, kad AEI mažina didmenines elektros energijos kainas maksimalios apkrovos metu.

Išvados

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę nustatyta, kad pagrindinis AEI privalumas yra jų neišsenkamumas ir nauda aplinkai. Praktika rodo, kad populiariausios yra saulės, vėjo ir hidroenergijos žaliosios technologijos, kurių integracija priklauso nuo šalies geografinės padėties ir tinklo infrastruktūros. AEI naudojimas yra svarbus įgyvendinant ES klimato ir energetikos pakete nustatytus tvarios energetikos plėtros tikslus, kurie apima šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimą ir energijos vartojimo efektyvumo didinimą. Šių technologijų integracija skatinama įvairiais žaliųjų inovacijų plėtros strateginiais planais, tarptautiniais susitarimais, ekonominėmis ir finansinėmis priemonėmis bei pasižymi didele dinamika išnaudoti rekultyvuotų kasyklų nebenaudojamą žemės plotą, jūrų pakrančių bei pastatų potencialą, taip išsprendžiant žemės prieinamumo problemą.
2. Atlikus teorinę analizę nustatyta, kad didmeninė elektros energijos kaina yra nepastovi, o jos kitimui didžiausią įtaką turi paklausos ir dujų kainos pokyčiai. Taip pat, nustatyta, kad šalyse, kuriuose yra konkurencingos elektros rinkos, didmeninės elektros kainos yra nustatomos pagal pasiūlos ir paklausos sankirtą, o galutinė kaina lygi arba didesnė už paskutinio gamintojo ribinius kaštus, dėl šios priežasties AEI technologijos su savo maža ribine kaina nustumia brangesnius gamintojus, taip pastumiant pasiūlos ir paklausos pusiausvyrą į žemesnę pusę, o 1 % padidėjusi AEI gamyba teoriškai sumažina didmenines elektros kainas 0,6 %.
3. Parengta AEI poveikio elektros energijos kainoms tyrimo metodologija, kuri remiasi pasiūlos ir paklausos dėsniais. Išanalizuoti surinkti ketvirtiniai 2018–2022 metų istoriniai Lietuvos balanso duomenys, kuriais remiantis yra priimami skirtingi rinkos scenarijai, kurie leidžia vertinti pasiūlos kreivės poslinkio dydį, kuris priklauso nuo tuo metu AEI generavimo kiekio. Poslinkio dydis parodo kiek kartų per tam tikrą intervalą didmeninė elektros energijos kaina sumažėtų arba padidėtų.
4. Tyrimo metu, gauti rezultatai rodo, kad vasaros sezonu padidėjus AEI gamybai 1 % elektros kainas sumažina apie 0,4 %, žiemos sezonu pokytis svyruoja nuo 0,018–0,04 %. Išvedus gautų reikšmių metinius vidurkius, bendras rezultatas rodo, kad teoriškai 1 % padidėjusi AEI gamyba galėtų sumažinti didmenines elektros kainas apie 0,2 % maksimalios paklausos metu.

Literatūros sąrašas

1. MARKS-BIELSKA, Renata, et al. The Importance of Renewable Energy Sources in Poland's Energy Mix. *Energies* [interaktyvus]. 2020, 13(18), 4624 [žiūrėta 2022 m. spalio 10 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en13184624
2. KHAN, K. A., et al. Studies on nonconventional energy sources for electricity generation. *Int J Adv Res Innov Ideas Educ*, 2018, 4.4: 229-244. ISSN 2395-4396
3. GAIKWAD, Mr Kedar Laxman. Materials for Solar Energy. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology* [interaktyvus]. 2020, 8(8), 827–830 [žiūrėta 2022 m. spalio 10 d.]. ISSN 2321-9653. Prieiga per: doi:10.22214/ijraset.2020.31036
4. HUSAIN, Alaa A. F., et al. A review of transparent solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2018, 94, 779–791 [žiūrėta 2022 m. spalio 12 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2018.06.031
5. OLAWOLE, O. C., et al. Current Status of Thermionic Conversion of Solar Energy. *Current Science* [interaktyvus]. 2020, 118(4), 543 [žiūrėta 2022 m. spalio 12 d.]. ISSN 0011-3891. Prieiga per: doi:10.18520/cs/v118/i4/543-552
6. XIAO, Gang, et al. Thermionic energy conversion for concentrating solar power. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2017, 208, 1318–1342 [žiūrėta 2022 m. spalio 12 d.]. ISSN 0306-2619. Prieiga per: doi:10.1016/j.apenergy.2017.09.021
7. PALI, Bahadur Singh; VADHERA, Shelly. Renewable energy systems for generating electric power: A review. In: *2016 IEEE 1st international conference on power electronics, intelligent control and energy systems (ICPEICES)* [interaktyvus]. 2016. p. 1-6. [žiūrėta 2022 m. spalio 12 d.]. ISBN 978-1-4673-8587-9. Prieiga per: doi:10.1109/ICPEICES.2016.7853703
8. PENG, Xiaokang, Zicheng LIU, and Dong JIANG. A review of multiphase energy conversion in wind power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2021, 147, 111172 [žiūrėta 2022 m. spalio 12 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2021.111172
9. OCHIENG, Willis Owino; OLUDHE, Christopher; DULO, Simeon. *Policy options for integrating climate change adaptation into hydropower development in Kenya*. 2019, vol. 1, p. 127-140 ISSN: 2581-7175
10. KOUGIAS, Ioannis, et al. Analysis of emerging technologies in the hydropower sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2019, 113, 109257 [žiūrėta 2022 m. spalio 15 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2019.109257
11. ŽIČKIENĖ, Agnė, et al. Sustainable Energy Development and Climate Change Mitigation at the Local Level through the Lens of Renewable Energy: Evidence from Lithuanian Case Study. *Energies* [interaktyvus]. 2022, 15(3), 980 [žiūrėta 2022 m. spalio 15 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en15030980
12. SATTICH, Thomas, Rasa MORGAN, and Espen MOE. Searching for energy independence, finding renewables? Energy security perceptions and renewable energy policy in Lithuania. *Political Geography* [interaktyvus]. 2022, 96, 102656 [žiūrėta 2022 m. spalio 15 d.]. ISSN 0962-6298. Prieiga per: doi:10.1016/j.polgeo.2022.102656
13. ZAHEDI, Rahim, Alireza ZAHEDI, and Abolfazl AHMADI. Strategic Study for Renewable Energy Policy, Optimizations and Sustainability in Iran. *Sustainability* [interaktyvus]. 2022, 14(4), 2418 [žiūrėta 2022 m. spalio 15 d.]. ISSN 2071-1050. Prieiga per: doi:10.3390/su14042418
14. KHAN, K. A.; ABU SALEK, M. A study on research, development and demonstration of renewable energy technologies. *IJARIE*, 2019, 5.4: 113-125. ISSN-2395-4396

15. KIM, Yoomi, Katsuya TANAKA, and Shunji MATSUOKA. Environmental and economic effectiveness of the Kyoto Protocol. *PLOS ONE* [interaktyvus]. 2020, 15(7), e0236299 [žiūrėta 2022 m. spalio 18 d.]. ISSN 1932-6203. Prieiga per: doi:10.1371/journal.pone.0236299
16. MAAMOUN, Nada. The Kyoto protocol: Empirical evidence of a hidden success. *Journal of Environmental Economics and Management* [interaktyvus]. 2019, 95, 227–256 [žiūrėta 2022 m. spalio 18 d.]. ISSN 0095-0696. Prieiga per: doi:10.1016/j.jeem.2019.04.001
17. LAWRENCE, Mark G., et al. Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals. *Nature Communications* [interaktyvus]. 2018, 9(1) [žiūrėta 2022 m. spalio 18 d.]. ISSN 2041-1723. Prieiga per: doi:10.1038/s41467-018-05938-3
18. STUHLMACHER, Michelle, et al. Cap-and-trade and emissions clustering: A spatial-temporal analysis of the European Union Emissions Trading Scheme. *Journal of Environmental Management* [interaktyvus]. 2019, 249, 109352 [žiūrėta 2022 m. spalio 22 d.]. ISSN 0301-4797. Prieiga per: doi:10.1016/j.jenvman.2019.109352
19. EFTHYMIOU, Marina, and Andreas PAPTODOROU. EU Emissions Trading scheme in aviation: Policy analysis and suggestions. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019, 237, 117734 [žiūrėta 2022 m. spalio 25 d.]. ISSN 0959-6526. Prieiga per: doi:10.1016/j.jclepro.2019.117734
20. AL MAMUN, Md, Sabri BOUBAKER, and Duc Khuong NGUYEN. Green finance and decarbonization: Evidence from around the world. *Finance Research Letters* [interaktyvus]. 2022, 46, 102807 [žiūrėta 2022 m. lapkričio 4 d.]. ISSN 1544-6123. Prieiga per: doi:10.1016/j.frl.2022.102807
21. LONGO, Danila, et al. Energy Poverty and Protection of Vulnerable Consumers. Overview of the EU Funding Programs FP7 and H2020 and Future Trends in Horizon Europe. *Energies* [interaktyvus]. 2020, 13(5), 1030 [žiūrėta 2022 m. lapkričio 4 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en13051030
22. APVA: Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos aplinkos projektų valdymo agentūra [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2022 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.apva.lt/>
23. TAGHIZADEH-HESARY, Farhad, and Naoyuki YOSHINO. Sustainable Solutions for Green Financing and Investment in Renewable Energy Projects. *Energies* [interaktyvus]. 2020, 13(4), 788 [žiūrėta 2022 m. lapkričio 15 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en13040788
24. STEFFEN, Bjarne. The importance of project finance for renewable energy projects. *Energy Economics* [interaktyvus]. 2018, 69, 280–294 [žiūrėta 2022 m. lapkričio 15 d.]. ISSN 0140-9883. Prieiga per: doi:10.1016/j.eneco.2017.11.006
25. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos nutarimas dėl nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo, suvestinė redakcija nuo 2018-06-30 [interaktyvus] [žiūrėta 2022 m. gruodžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.429490/asr>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymas dėl elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo, 2012 m. vasario 3 d. Nr. 1-22 [interaktyvus] [žiūrėta 2022 m. gruodžio 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418124/asr>
27. MELIALA, Selamat, et al. Application of Off-Grid Solar Panels System for Household Electricity Consumptions in Facing Electric Energy Crisis. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology* [interaktyvus]. 2022, 2(1), 30–37 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 3 d.]. ISSN 2775-2674. Prieiga per: doi:10.52088/ijesty.v2i1.199

28. AMRR, Syed Muhammad, et al. Low cost residential microgrid system based home to grid (H2G) back up power management. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus]. 2018, 36, 204–214 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 3 d.]. ISSN 2210-6707. Prieiga per: doi:10.1016/j.scs.2017.10.016
29. LI, Jinghua, et al. A coordinated dispatch method with pumped-storage and battery-storage for compensating the variation of wind power. *Protection and Control of Modern Power Systems* [interaktyvus]. 2018, 3(1) [žiūrėta 2022 m. gruodžio 5 d.]. ISSN 2367-0983. Prieiga per: doi:10.1186/s41601-017-0074-9
30. EUROPEAN COMMISSION. Summary of the EC guidance document on hydropower requirements with regard to EU nature protection legislation [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 18 d.]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/guidance_en.htm
31. BÓDIS, Katalin, et al. Solar Photovoltaic Electricity Generation: A Lifeline for the European Coal Regions in Transition. *Sustainability* [interaktyvus]. 2019, 11(13), 3703 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 18 d.]. ISSN 2071-1050. Prieiga per: doi:10.3390/su11133703
32. PALACIOS, A., et al. Thermal energy storage technologies for concentrated solar power – A review from a materials perspective. *Renewable Energy* [interaktyvus]. 2020, 156, 1244–1265 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 18 d.]. ISSN 0960-1481. Prieiga per: doi:10.1016/j.renene.2019.10.127
33. ENEVOLDSEN, Peter, et al. How much wind power potential does europe have? Examining european wind power potential with an enhanced socio-technical atlas. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2019, 132, 1092–1100 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 18 d.]. ISSN 0301-4215. Prieiga per: doi:10.1016/j.enpol.2019.06.064
34. BHATTARAI, Utsav, et al. How will hydro-energy generation of the Nepalese Himalaya vary in the future? A climate change perspective. *Environmental Research* [interaktyvus]. 2022, 214, 113746 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 19 d.]. ISSN 0013-9351. Prieiga per: doi:10.1016/j.envres.2022.113746
35. WEGNER, Newmar, et al. Hydro energy potential considering environmental variables and water availability in Paraná Hydrographic Basin 3. *Journal of Hydrology* [interaktyvus]. 2020, 580, 124183 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 19 d.]. ISSN 0022-1694. Prieiga per: doi:10.1016/j.jhydrol.2019.124183
36. BILDIRICI, Melike E., and Seyit M. GÖKMENOĞLU. Environmental pollution, hydropower energy consumption and economic growth: Evidence from G7 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2017, 75, 68–85 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 20 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2016.10.052
37. GUANGUL, Fiseha Mekonnen, and Girma T. CHALA. Solar Energy as Renewable Energy Source: SWOT Analysis. In: *2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)* [interaktyvus]. IEEE, 2019 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 20 d.]. ISBN 9781538680469. Prieiga per: doi:10.1109/icbdsc.2019.8645580
38. REHBEIN, Jose A., et al. Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Global Change Biology* [interaktyvus]. 2020, 26(5), 3040–3051 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 21 d.]. ISSN 1365-2486. Prieiga per: doi:10.1111/gcb.15067
39. AHMADI, Mohammad Hossein, et al. Solar power technology for electricity generation: A critical review. *Energy Science & Engineering* [interaktyvus]. 2018, 6(5), 340–361 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 21 d.]. ISSN 2050-0505. Prieiga per: doi:10.1002/ese3.239
40. LI, Jinjiang, et al. A review on development of offshore wind energy conversion system. *International Journal of Energy Research* [interaktyvus]. 2020, 44(12), 9283–9297 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 22 d.]. ISSN 1099-114X. Prieiga per: doi:10.1002/er.5751

41. EERE: Office of Energy Efficiency and Renewable Energy [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2022 m. gruodžio 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.energy.gov/eere/wind/frequently-asked-questions-about-wind-energy#Impacts>
42. RAHMAN, Abidur, Omar FARROK, and Md Mejbaul HAQUE. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2022, 161, 112279 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 22 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2022.112279
43. BOJNEC, Štefan, and Alan KRIŽAJ. Electricity Markets during the Liberalization: The Case of a European Union Country. *Energies* [interaktyvus]. 2021, 14(14), 4317 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 28 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en14144317
44. UGURLU, Umut, Ilkay OKSUZ, and Oktay TAS. Electricity Price Forecasting Using Recurrent Neural Networks. *Energies* [interaktyvus]. 2018, 11(5), 1255 [žiūrėta 2022 m. gruodžio 28 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en11051255
45. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. Elektros energijos rinka [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/elektra/elektros-energijos-rinka>
46. VALSTYBINĖ ENERGETIKOS REGULIAVIMO TARYBA. Visuomeninės elektros energijos kainos ir jų taikymo tvarka [interaktyvus]. 2022 [Žiūrėta 2023 m. sausio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.regula.lt/Puslapiai/naujienos/2022-metai/2022-06-08/vert-skelbia-patvirtintas-uab-ignitis-2022-metu-visuomenines-elektros-energijos-kainas-ir-ju-taikymo-tvarka.aspx>
47. CELASUN, Oya, et al. Surging Energy Prices in Europe in the Aftermath of the War: How to Support the Vulnerable and Speed up the Transition Away from Fossil Fuels. *IMF Working Papers* [interaktyvus]. 2022, 2022(152), 1 [žiūrėta 2023 m. sausio 8 d.]. ISSN 1018-5941. Prieiga per: doi:10.5089/9798400214592.001
48. PRADHAN, Ashis Kumar, Sandhyarani ROUT, and Imran Ahmed KHAN. Does market concentration affect wholesale electricity prices? An analysis of the Indian electricity sector in the COVID-19 pandemic context. *Utilities Policy* [interaktyvus]. 2021, 73, 101305 [žiūrėta 2023 m. sausio 8 d.]. ISSN 0957-1787. Prieiga per: doi:10.1016/j.jup.2021.101305
49. GHIANI, Emilio, et al. Impact on Electricity Consumption and Market Pricing of Energy and Ancillary Services during Pandemic of COVID-19 in Italy. *Energies* [interaktyvus]. 2020, 13(13), 3357 [žiūrėta 2023 m. sausio 8 d.]. ISSN 1996-1073. Prieiga per: doi:10.3390/en13133357
50. EUROPEAN COMMISSION. Market reports for 2nd quarter highlight impact of Covid lockdown on electricity and gas markets [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2023 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/info/news/market-reports-2nd-quarter-highlight-impact-covid-lockdown-electricity-and-gas-markets-2020-oct-12_en
51. VAASETT. Covid-19 impact on European residential energy market prices [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2023 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://euagenda.eu/upload/publications/covid-19-impact-on-european-residential-energy-market-prices.pdf>
52. ALEXOPOULOS, Thomas A. The growing importance of natural gas as a predictor for retail electricity prices in US. *Energy* [interaktyvus]. 2017, 137, 219–233 [žiūrėta 2023 m. sausio 18 d.]. ISSN 0360-5442. Prieiga per: doi:10.1016/j.energy.2017.07.002
53. BRUEGEL. Is Europe's gas and electricity price surge a one-off [interaktyvus]? 2021 [Žiūrėta 2023 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.bruegel.org/blog-post/europes-gas-and>

electricity-price-surge-

one?fbclid=IwAR1UJ6x_btUbvIP41VsI5Y2LpXdhz7naqHd03YJ_hnUfDQZ09Dm9TqFAG0o

54. DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY&INDUSTRIAL STRATEGY. Energy Trends [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1126177/Energy_Trends_December_2022.pdf
55. CHEN, Yi-Tui. The Factors Affecting Electricity Consumption and the Consumption Characteristics in the Residential Sector—A Case Example of Taiwan. *Sustainability* [interaktyvus]. 2017, 9(8), 1484 [žiūrėta 2023 m. sausio 19 d.]. ISSN 2071-1050. Prieiga per: doi:10.3390/su9081484
56. OWID: Our World in Data. Energy consumption by source [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2023 m. sausio 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>
57. ENERGY MONITOR. Opinion: It's time for California to decide the future of its floating offshore wind industry [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2023 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.energymonitor.ai/>
58. IEA: International Energy Agency. Renewable electricity [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023 m. sausio 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/reports/renewables-2022/renewable-electricity>
59. Simultaneous attainment of energy goals by means of green certificates and emission permits. *Fuel and Energy Abstracts* [interaktyvus]. 2003, 44(4), 241–242 [žiūrėta 2023 m. sausio 25 d.]. ISSN 0140-6701. Prieiga per: doi:10.1016/s0140-6701(03)83052-7
60. CSEREKLYEI, Zsuzsanna, Songze QU, and Tihomir ANCEV. The effect of wind and solar power generation on wholesale electricity prices in Australia. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2019, 131, 358–369 [žiūrėta 2023 m. sausio 25 d.]. ISSN 0301-4215. Prieiga per: doi:10.1016/j.enpol.2019.04.007
61. KOLB, Sebastian, et al. The impact of renewables on electricity prices in Germany - An update for the years 2014–2018. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2020, 134, 110307 [žiūrėta 2023 m. sausio 25 d.]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2020.110307
62. TINGTING XU, A., et al. Impact of the COVID-19 pandemic on the reduction of electricity demand and the integration of renewable energy into the power grid. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* [interaktyvus]. 2021, 13(2), 026304 [žiūrėta 2023 m. sausio 28 d.]. ISSN 1941-7012. Prieiga per: doi:10.1063/5.0045825
63. SORKNÆS, Peter, et al. Quantifying the influence of wind power and photovoltaic on future electricity market prices. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. 2019, 180, 312–324 [žiūrėta 2023 m. sausio 28 d.]. ISSN 0196-8904. Prieiga per: doi:10.1016/j.enconman.2018.11.007
64. SNIEŠKA, Vytautas ir kt. Mikroekonomika. Kaunas: Technologija, 2010 [žiūrėta 2023 m. sausio 28 d.]. ISBN 9986-13-350-8. Prieiga per: doi:10.5755/e01.9789955259756
65. JAKUTIS, Algirdas ir kt. Ekonomikos teorijos pagrindai. Kaunas: Smaltija, 2006. ISBN 9986965357
66. LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. Impacts of High Variable Renewable Energy Futures on Wholesale Electricity Prices, and on Electric-Sector Decision Making [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2023 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://escholarship.org/uc/item/2xq5d6c9>
67. MARTINĖNAS, Bronislovas. Eksperimento duomenų statistinė analizė. Vilnius: Technika, 2004. ISBN 9986-05-529-6

68. TRINOMICS. Final report cost of energy (LCOE). Energy costs, taxes and the impact of government interventions on investments [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2023 m. vasario 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://trinomics.eu/wp-content/uploads/2020/11/Final-Report-Cost-of-Energy-LCOE.pdf>
69. IEA: International Energy Agency. Projected costs of generating electricity-2020 edition. Organisation for Economic Co-Operation and Development [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2023 m. vasario 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>
70. EUROPOS VADOVŲ TARYBA. Infografikas. Iš kur ES gauna dujas [interaktyvus]? 2023 [žiūrėta 2023 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.consilium.europa.eu/lt/infographics/eu-gas-supply/>
71. IMF: International Monetary Fund. Chasing the Sun and Catching the Wind: Energy Transition and Electricity Prices in Europe [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2022/11/04/Chasing-the-Sun-and-Catching-the-Wind-Energy-Transition-and-Electricity-Prices-in-Europe-525079>
72. LITGRID: Lithuanian electricity transmission system operator [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2023 m. vasario 22 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.litgrid.eu/index.php/tinklo-pletra/lietuvos-elektros-perdavimo-tinklu-10-metu-pletros-planas-/3850>
73. BENINI, Giacomo, and Gilles CATTANI. Measuring the long run technical efficiency of offshore wind farms. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2022, 308, 118218 [žiūrėta 2023 m. kovo 10 d.]. ISSN 0306-2619. Prieiga per: doi:10.1016/j.apenergy.2021.118218
74. WIND EUROPE: European Wind Energy Association. Wind energy is the cheapest source of electricity generation [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2023 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://windeurope.org/policy/topics/economics/>
75. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymas dėl nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos patvirtinimo, 2012 m. birželio 26 d. Nr. XI-2133 [interaktyvus] [žiūrėta 2023 m. kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418124/asr>

Priedai

1 priedas. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal ketvirčius 2018–2022 m.

GAMYBA PAGAL KETVIRČIUS 2018-2022 M. (TWh)								
Ketvirtis	Elektros energijos gamyba (Neto)	Šiluminės elektrinės	Kruonio HAE	Hidroelektrinės	Vėjo elektrinės	Biokuro elektrinės	Saulės energijos elektrinės	Atliekų deginimo elektrinės
2018.01.01-2018.03.31	0,913	0,187	0,122	0,169	0,296	0,107	0,010	0,022
2018.10.01-2018.12.31	0,785	0,108	0,149	0,079	0,317	0,106	0,007	0,019
2019.01.01-2019.03.31	0,992	0,179	0,069	0,140	0,464	0,112	0,009	0,020
2019.10.01-2019.12.31	0,961	0,192	0,124	0,078	0,429	0,110	0,006	0,021
2020.01.01-2020.03.31	1,206	0,233	0,193	0,116	0,517	0,115	0,013	0,019
2020.10.01-2020.12.31	1,355	0,529	0,194	0,062	0,435	0,108	0,007	0,020
2021.01.01-2021.03.31	1,194	0,461	0,178	0,105	0,330	0,080	0,015	0,022
2021.10.01-2021.12.31	1,239	0,326	0,218	0,104	0,463	0,091	0,018	0,019
2022.01.01-2022.03.31	1,273	0,285	0,170	0,173	0,514	0,081	0,036	0,014
2022.10.01-2022.12.31	1,055	0,332	0,158	0,079	0,381	0,083	0,021	0,000
2018.04.01-2018.06.30	0,779	0,149	0,104	0,118	0,281	0,080	0,035	0,014
2018.07.01-2018.09.30	0,743	0,163	0,146	0,060	0,245	0,083	0,028	0,017
2019.04.01-2019.06.30	0,798	0,174	0,124	0,080	0,295	0,073	0,037	0,014
2019.07.01-2019.09.30	0,888	0,181	0,266	0,044	0,265	0,083	0,031	0,018
2020.04.01-2020.06.30	1,153	0,435	0,163	0,075	0,325	0,092	0,044	0,019
2020.07.01-2020.09.30	1,428	0,752	0,218	0,044	0,268	0,086	0,044	0,017
2021.04.01-2021.06.30	1,165	0,448	0,171	0,104	0,292	0,074	0,062	0,014
2021.07.01-2021.09.30	1,095	0,486	0,132	0,067	0,268	0,060	0,063	0,019
2022.04.01-2022.06.30	0,96	0,199	0,111	0,128	0,348	0,060	0,099	0,014
2022.07.01-2022.09.30	0,962	0,345	0,105	0,077	0,270	0,048	0,117	0,000
Vidurkis:	0,9971	0,3332	0,154	0,080	0,2857	0,0739	0,056	0,0146
Vidurkis:	1,0973	0,2832	0,1575	0,1105	0,4146	0,0993	0,0142	0,0176

2 priedas. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.

GAMYBA PAGAL KETVIRČIUS IR PAROS LAIKĄ (MWh)						
Ketvirtis	Elektros energijos gamyba (Neto)	Šiluminės elektrinės	Hidroelektrinės	Vėjo elektrinės	Kitų energijos šaltinių gamyba	Saulės energijos elektrinės
Paros laikas, 03:00 h						
2018.01.01-2018.03.31	295.70	45.99	37.46	130.69	81.55	0.00
2018.10.01-2018.12.31	301.11	33.10	27.57	140.11	100.31	0.00
2019.01.01-2019.03.31	359.24	44.03	26.91	204.86	83.45	0.00
2019.10.01-2019.12.31	378.03	58.85	24.43	189.62	105.13	0.00
2020.01.01-2020.03.31	410.06	57.31	39.78	228.26	84.71	0.00
2020.10.01-2020.12.31	488.09	162.14	30.96	192.27	102.72	0.00
2021.01.01-2021.03.31	360.00	113.39	36.43	145.70	64.48	0.00
2021.10.01-2021.12.31	431.79	99.92	38.94	204.65	88.28	0.00
2022.01.01-2022.03.31	401.26	70.10	44.16	226.94	60.06	0.00
2022.10.01-2022.12.31	365.43	101.76	28.66	168.40	66.61	0.00
Vidurkis:	379.07	78.66	33.53	183.15	83.73	0.00
2018.04.01-2018.06.30	282.07	37.69	27.53	135.86	80.99	0.00
2018.07.01-2018.09.30	374.25	47.17	34.83	123.36	168.89	0.00
2019.04.01-2019.06.30	286.90	44.01	25.30	142.63	74.96	0.00
2019.07.01-2019.09.30	408.80	52.38	52.42	133.43	170.58	0.00
2020.04.01-2020.06.30	392.32	110.03	29.51	157.13	95.64	0.00
2020.07.01-2020.09.30	570.81	217.61	44.30	134.94	173.96	0.00
2021.04.01-2021.06.30	364.42	113.32	34.10	141.18	75.82	0.00
2021.07.01-2021.09.30	442.65	140.63	33.65	134.94	133.43	0.00
2022.04.01-2022.06.30	311.99	50.34	29.64	168.25	63.76	0
2022.07.01-2022.09.30	347.62	99.83	30.77	135.95	81.07	0.0027
Vidurkis:	378.18	91.30	34.20	140.77	111.91	0.00
Paros laikas, 09:00 h						
2018.01.01-2018.03.31	551.32	73.79	240.15	125.68	85.02	26.68
2018.10.01-2018.12.31	514.61	63.83	201.20	134.04	104.46	11.08
2019.01.01-2019.03.31	551.13	70.63	172.48	197.01	87.00	24.01
2019.10.01-2019.12.31	592.11	113.48	178.25	181.40	109.47	9.50
2020.01.01-2020.03.31	689.46	91.94	255.00	219.51	88.32	34.68
2020.10.01-2020.12.31	840.56	312.67	225.90	183.94	106.96	11.08
2021.01.01-2021.03.31	662.81	181.91	233.55	140.11	67.23	40.02
2021.10.01-2021.12.31	793.02	192.69	284.14	195.78	91.92	28.49
2022.01.01-2022.03.31	772.42	112.46	283.06	218.24	62.61	96.05
2022.10.01-2022.12.31	669.08	196.23	209.14	161.11	69.36	33.24
Vidurkis:	663.65	140.96	228.29	175.68	87.23	31.48
2018.04.01-2018.06.30	444.59	60.17	182.57	83.29	81.17	37.39
2018.07.01-2018.09.30	525.69	68.15	175.75	75.03	172.88	33.88
2019.04.01-2019.06.30	440.13	70.27	167.77	87.44	75.13	39.52
2019.07.01-2019.09.30	633.42	75.68	264.47	81.16	174.61	37.51
2020.04.01-2020.06.30	610.59	175.67	195.73	96.33	95.85	47.00
2020.07.01-2020.09.30	851.31	314.41	223.52	82.08	178.07	53.24
2021.04.01-2021.06.30	635.85	180.92	226.16	86.55	75.99	66.23
2021.07.01-2021.09.30	667.85	203.20	169.78	82.08	136.58	76.23
2022.04.01-2022.06.30	549.72	80.37	196.55	103.15	63.9	105.75
2022.07.01-2022.09.30	606.75	144.24	155.27	82.69	82.98	141.57
Vidurkis:	596.59	137.31	195.76	85.98	113.72	63.83

3 priedas. Lietuvos elektros energijos komerciniai srautai pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.

KOMERCINIAI SRAUTAI (-IMPORTAS/+EKSPORTAS) PAGAL KETVIRČIUS 2018-2022 M. (MWh)										
Ketvirtis	Komerčinis srautas Lietuva - Baltarusija		Komerčinis srautas Lietuva - Latvija		Komerčinis srautas Lietuva - Kaliningradas		Komerčinis srautas Lietuva - Lenkija		Komerčinis srautas Lietuva - Švedija	
	Paros laikas, 03:00 h									
	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS
2018.01.01-2018.03.31	0.00	0.00	-350.14	7.53	-361.77	0.35	-184.82	44.92	-150.54	76.89
2018.10.01-2018.12.31	0.00	0.00	-312.64	5.01	-458.55	0.00	-163.54	56.82	-93.51	118.14
2019.01.01-2019.03.31	0.00	0.00	-221.39	9.71	-383.44	0.00	-183.04	68.64	-19.53	266.60
2019.10.01-2019.12.31	0.00	0.00	-88.21	36.13	-233.54	0.00	-70.88	82.09	-198.35	98.27
2020.01.01-2020.03.31	0.00	0.00	-145.83	28.46	-198.97	0.00	-97.88	120.24	-638.62	0.00
2020.10.01-2020.12.31	0.00	0.00	-56.78	99.64	-326.73	0.00	-104.17	60.01	-569.76	0.03
2021.01.01-2021.03.31	0.00	0.00	-756.65	0.00	-379.63	0.00	-44.61	170.39	-343.12	31.34
2021.10.01-2021.12.31	0.00	0.00	-493.90	5.83	-353.34	0.00	-106.41	216.79	-573.24	2.22
2022.01.01-2022.03.31	0.00	0.00	-500.00	8.16	-258.83	0.00	-54.36	218.17	-641.80	3.17
2022.10.01-2022.12.31	0.00	0.00	-441.68	18.60	0.00	0.00	-236.72	80.52	-575.35	7.81
Vidurkis:	0.00	0.00	-336.72	21.91	-295.48	0.03	-124.64	111.86	-380.38	60.45
2018.04.01-2018.06.30	0.00	0.00	-219.21	56.05	-366.28	0.00	117.03	63.57	-281.96	59.63
2018.07.01-2018.09.30	0.00	0.00	-203.90	9.18	-530.87	0.00	-243.25	34.26	-22.76	54.31
2019.04.01-2019.06.30	0.00	0.00	-180.52	20.36	-371.01	0.00	-21.23	89.35	-271.96	-45.62
2019.07.01-2019.09.30	0.00	0.00	-291.97	7.83	-330.21	0.00	-56.04	92.09	-415.42	8.85
2020.04.01-2020.06.30	0.00	0.00	-98.11	63.91	-62.71	0.00	-150.70	58.78	-578.58	0.11
2020.07.01-2020.09.30	0.00	0.00	-167.73	21.24	-285.73	0.00	-25.40	144.25	-378.99	19.83
2021.04.01-2021.06.30	0.00	0.00	-871.88	0.87	-252.28	0.00	-7.37	191.89	-219.76	54.02
2021.07.01-2021.09.30	0.00	0.00	-745.93	0.00	-141.21	0.00	-35.47	255.38	-369.38	6.36
2022.04.01-2022.06.30	0.00	0.00	-559.98	0.33	-82.60	0.00	-36.02	248.39	-483.00	5.90
2022.07.01-2022.09.30	0.00	0.00	-468.84	0.30	0.00	0.00	-36.24	300.47	-660.29	0.00
Vidurkis:	0.00	0.00	-380.81	18.01	-242.29	0.00	-49.47	147.84	-368.21	16.34
	Paros laikas, 09:00 h									
	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS	IMPORTAS	EKSPORTAS
2018.01.01-2018.03.31	0.00	0.00	-554.50	0.86	-222.93	1.29	-81.87	77.40	-398.70	31.52
2018.10.01-2018.12.31	0.00	0.00	-352.26	13.34	-353.82	0.00	-100.47	94.83	-342.66	8.40
2019.01.01-2019.03.31	0.00	0.00	-340.59	13.66	-302.97	0.00	-106.44	158.01	-377.78	31.44
2019.10.01-2019.12.31	0.00	0.00	-113.10	81.74	-370.20	0.00	-101.17	146.25	-475.92	33.85
2020.01.01-2020.03.31	0.00	0.00	-255.51	29.60	-261.46	0.00	-44.29	229.42	-600.94	6.18
2020.10.01-2020.12.31	0.00	0.00	-77.30	128.90	-261.09	0.00	-75.80	71.86	-524.82	10.89
2021.01.01-2021.03.31	0.00	0.00	-447.83	41.38	-215.23	0.00	-112.07	140.69	-474.66	6.61
2021.10.01-2021.12.31	0.00	0.00	-474.93	19.60	-304.38	0.00	-88.36	232.12	-473.63	22.81
2022.01.01-2022.03.31	0.00	0.00	-558.62	14.92	-229.57	0.00	-79.75	264.91	-500.77	6.25
2022.10.01-2022.12.31	0.00	0.00	-333.03	15.81	0.00	0.00	-187.27	86.45	-551.40	2.86
Vidurkis:	0.00	0.00	-350.77	35.98	-252.16	0.13	-97.75	150.19	-472.13	16.08
2018.04.01-2018.06.30	0.00	0.00	-412.46	20.59	-229.98	0.00	-50.65	141.84	-488.68	9.08
2018.07.01-2018.09.30	0.00	0.00	-294.48	2.84	-451.93	0.00	-104.74	24.73	-250.17	1.95
2019.04.01-2019.06.30	0.00	0.00	-328.76	5.80	-315.08	0.00	-22.10	195.05	-513.67	5.04
2019.07.01-2019.09.30	0.00	0.00	-231.84	26.71	-269.86	0.28	-74.27	128.01	-555.67	0.02
2020.04.01-2020.06.30	0.00	0.00	-124.04	77.60	-118.71	0.00	-103.01	71.76	-497.62	2.36
2020.07.01-2020.09.30	0.00	0.00	-90.32	85.34	-229.46	0.00	-29.41	152.13	-450.99	4.98
2021.04.01-2021.06.30	0.00	0.00	-479.92	10.14	-140.60	0.00	-89.57	103.71	-268.78	27.75
2021.07.01-2021.09.30	0.00	0.00	-366.12	26.18	-112.41	0.00	172.20	78.36	402.70	14.41
2022.04.01-2022.06.30	0.00	0.00	-544.77	12.59	-81.75	0.00	-100.64	179.34	-440.88	2.67
2022.07.01-2022.09.30	0.00	0.00	-320.97	17.32	0.00	0.00	-105.30	138.97	-653.65	0.00
Vidurkis:	0.00	0.00	-319.37	28.51	-194.98	0.03	-50.75	121.39	-371.74	6.83

4 priedas. Vidutinės valandinės apkrovos pagal ketvirčius ir sezoną 2018– 2022 m.

VIDUTINĖ VALANDINĖ APKROVA PAGAL SEZONUS (KETVIRČIUS) 2018-2022 M.	
Ketvirtis	VID reikšmė, MWh
2018.01.01-2018.03.31	1508,96
2018.04.01-2018.06.30	1280,84
2018.07.01-2018.09.30	1299,20
2018.10.01-2018.12.31	1460,51
2019.01.01-2019.03.31	1494,59
2019.04.01-2019.06.30	1334,45
2019.07.01-2019.09.30	1295,97
2019.10.01-2019.12.31	1435,73
2020.01.01-2020.03.31	1442,19
2020.04.01-2020.06.30	1228,46
2020.07.01-2020.09.30	1282,28
2020.10.01-2020.12.31	1439,61
2021.01.01-2021.03.31	1512,45
2021.04.01-2021.06.30	1290,87
2021.07.01-2021.09.30	1330,79
2021.10.01-2021.12.31	1516,97
2022.01.01-2022.03.31	1561,28
2022.04.01-2022.06.30	1299,87
2022.07.01-2022.09.30	1305,71
2022.10.01-2022.12.31	1390,88
Vidutinė reikšmė žiemos sezonu:	1476,32
Vidutinė reikšmė vasaros sezonu:	1294,84

5 priedas. Lietuvos kainų zonos „Nord Pool“ vidutinės elektros kainos pagal ketvirčius ir paros laiką 2018–2022 m.

NORDPOOL KAINA PAGAL KETVIRČIUS IR PAROS LAIKĄ (Eur/MWh)	
Paros laikas, 03:00 h	
Ketvirtis	NordPool kaina
2018.01.01-2018.03.31	32,81
2018.10.01-2018.12.31	41,59
2019.01.01-2019.03.31	39,98
2019.10.01-2019.12.31	32,67
2020.01.01-2020.03.31	16,44
2020.10.01-2020.12.31	16,34
2021.01.01-2021.03.31	35,54
2021.10.01-2021.12.31	85,31
2022.01.01-2022.03.31	89,93
2022.10.01-2022.12.31	144,55
Vidurkis žiemos:	53,52
2018.04.01-2018.06.30	32,80
2018.07.01-2018.09.30	46,02
2019.04.01-2019.06.30	26,07
2019.07.01-2019.09.30	32,16
2020.04.01-2020.06.30	13,43
2020.07.01-2020.09.30	21,48
2021.04.01-2021.06.30	41,84
2021.07.01-2021.09.30	74,17
2022.04.01-2022.06.30	123,16
2022.07.01-2022.09.30	290,81
Vidurkis vasaros:	70,19
Paros laikas, 09:00 h	
Ketvirtis	NordPool kaina
2018.01.01-2018.03.31	58,40
2018.10.01-2018.12.31	59,53
2019.01.01-2019.03.31	52,36
2019.10.01-2019.12.31	49,32
2020.01.01-2020.03.31	38,65
2020.10.01-2020.12.31	49,96
2021.01.01-2021.03.31	63,40
2021.10.01-2021.12.31	182,33
2022.01.01-2022.03.31	198,55
2022.10.01-2022.12.31	269,30
Vidurkis žiemos:	102,18
2018.04.01-2018.06.30	50,89
2018.07.01-2018.09.30	59,74
2019.04.01-2019.06.30	54,24
2019.07.01-2019.09.30	54,58
2020.04.01-2020.06.30	34,22
2020.07.01-2020.09.30	42,05
2021.04.01-2021.06.30	71,27
2021.07.01-2021.09.30	113,59
2022.04.01-2022.06.30	213,53
2022.07.01-2022.09.30	454,55
Vidurkis vasaros:	114,87