



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros Baltijos jūros regione reikalingumo, siekiant dekarbonizacijos tikslų, tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Selvina Denisova

Projekto autorė

Asist. Eimantas Neniškis

Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros Baltijos jūros regione reikalingumo, siekiant dekarbonizacijos tikslų, tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Selvina Denisova

Projekto autorė

Asist. Eimantas Neniškis

Vadovas

Doc. Mindaugas Ažubalis

Recenzentas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Selvina Denisova

Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros Baltijos jūros regione reikalingumo, siekiant dekarbonizacijos tikslų, tyrimas

Akademinių 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.

Selvina Denisova

Patvirtinta elektroniniu būdu

Denisova, Selvina. Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros Baltijos jūros regione reikalingumo, siekiant dekarbonizacijos tikslų, tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas asist. dr. Eimantas Neniškis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: dekarbonizacija, tarpvalstybinės jungtys, MESSAGE, modelis.

Kaunas, 2025. 77 p.

Santrauka

Siekiant išsiaiškinti kokia turėtų būti tarpvalstybinių jungčių plėtra atsižvelgus į iškeltus dekarbonizacijos tikslus, bei šalių emisijų mažinimo strategijas, atliktas tarpvalstybinių jungčių plėtros tyrimas.

Šiame darbe analizuoti dokumentai, moksliniai straipsniai, kuriuose nagrinėjamas perėjimas prie 100 % AEI gamybos, analizuojamas tarpvalstybinių jungčių plėtros poreikis. Darbe nagrinėtos 9-ių Baltijos jūros regiono šalių (Lietuvos, Latvijos, Estijos, Lenkijos, Vokietijos, Danijos, Švedijos, Suomijos ir Norvegijos) energetikos sistemos.

Šių šalių sistemos, su iškeltais dekarbonizacijos tikslais, perkeltos į MESSAGE modeliavimo programą siekiant sudaryti matematini optimizacinį modelį, kad būtų ištirtas tarpvalstybinių jungčių poreikis. Darbe modeliuotas laikotarpis nuo 2022 iki 2050 metų. Apibendrinti darbo rezultatai pateikti 4 dalyje, o detalūs rezultatai 2 darbo priede.

Denisova, Selvina. Investigation of Necessity of Cross-Border Electricity Interconnections in Baltic Sea Region to Achieve Decarbonisation Objectives. Master's Final Degree Project / supervisor assist. dr. Eimantas Neniskis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: decarbonization, Cross-Border Electricity Interconnections, MESSAGE, model.

Kaunas, 2025. 77 p.

Summary

In order to find out what the development of cross-border interconnections should look like in the light of decarbonisation targets and countries' emission reduction strategies, a study on the development of cross-border interconnections was carried out.

This work analysed documents and scientific articles dealing with the transition to 100% RES production and the need for cross-border interconnection development. The paper analyses the energy systems of 9 countries in the Baltic Sea region (Lithuania, Latvia, Estonia, Poland, Germany, Denmark, Sweden, Finland and Norway).

The systems of these countries, with their decarbonisation targets, were transferred to the MESSAGE simulation program to build a mathematical optimisation model to investigate the need for cross-border interconnections. The period from 2022 to 2050 is modelled in the work. The summarised results of the work are presented in Section 4 and the detailed results in Annex 2.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų sąrašas	12
Įvadas	13
1. Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros poreikis siekiant dekarbonizacijos tikslų.....	15
1.1. Dekarbonizacijos tikslai	15
1.2. Tarpvalstybinė elektros energijos prekyba	18
1.3. Elektros sistemų, naudojančių skirtingus elektros gamybos šaltinius, sąveikos	21
1.4. Oro sąlygų Lietuvoje ir Baltijos šalių regione nepastovumo palyginimas	22
1.4.1. Apšvietos palyginimas.....	23
1.4.2. vėjo greičių palyginimas.....	25
1.5. Tarpvalstybinių jungčių modeliavimas siekiant anglies dioksido neutralumo	27
2. Baltijos jūros regiono valstybių energetikos sistemos ir jų perspektyvinė plėtra	30
2.1 Lietuvos elektros energijos sektorius	30
2.2. Latvijos elektros energijos sektorius	31
2.3. Estijos elektros energijos sektorius.....	31
2.4. Lenkijos elektros energijos sektorius	32
2.5. Vokietijos elektros energijos sektorius	33
2.6. Danijos elektros energijos sektorius	35
2.7. Švedijos elektros energijos sektorius.....	35
2.8. Suomijos elektros energijos sektorius	36
2.9. Norvegijos elektros energijos sektorius.....	37
3. Tarpvalstybinių elektros jungčių baltijos jūros regione modeliavimas	39
3.1. Tyrimo objektas.....	39
3.2. Programinė įranga.....	39
3.3. Modeliavimas taikant MESSAGE programinę įrangą	40
3.3.1. Energijos tiekimo grandinės modeliavimas.....	40
3.3.2. Elektros energiją gaminančių technologijų modeliavimas	43
3.3.3. Laiko intervalų nustatymas.....	44
3.3.4. Generacija iš AEI pagal laiko intervalus	44
3.3.5. Elektros energijos generacija iš AEI šalies viduje.....	47
3.3.6. Tarpvalstybinių jungčių modeliavimas (importas, eksportas).....	47
3.3.7. CO ₂ emisijų modeliavimas	48
4. Tyrimo rezultatų dalis.....	50
4.1. Baltijos jūros regiono šalių sistema	50
4.1.1. Baltijos jūros regiono šalių elektros poreikis ir gamyba	50

4.1.2. Baltijos jūros regiono šalių tarpvalstybinių jungčių plėtra	52
4.1.3. Baltijos jūros regiono šalių CO ₂ emisijos.....	53
4.2. Atskirų šalių elektros energetikos sistemų plėtra	54
4.2.1. Lietuvos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	54
4.2.2. Latvijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	56
4.2.3. Estijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	57
4.2.4. Lenkijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	59
4.2.5. Vokietijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	61
4.2.6. Danijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra.....	63
4.2.7. Švedijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	65
4.2.8. Suomijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	67
4.2.9. Norvegijos elektros poreikis, gamyba, CO ₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra	69
Išvados	71
Literatūros sąrašas	73
Priedai.....	78
1 priedas. Technologijų parametrai.....	78
2 priedas. Gauti modelio rezultatai.....	83

Lentelių sąrašas

2.1. lentelė. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [28], [29].	30
2.2 lentelė. Lietuvoje instaliuota elektrinių galia, MW	30
2.3 lentelė. Latvijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [33], [34].	31
2.4 lentelė. Latvijoje instaliuota elektrinių galia, MW	31
2.5. lentelė. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [37], [38].	32
2.6. lentelė. Estijoje instaliuota elektrinių galia, MW	32
2.7. lentelė. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [41], [42].	33
2.8. lentelė. Lenkijoje instaliuota elektrinių galia, MW	33
2.9. lentelė. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [45], [46].	34
2.10. lentelė. Vokietijoje instaliuota elektrinių galia, MW	34
2.11. lentelė. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [49], [50].	35
2.12. lentelė. Danijoje instaliuota elektrinių galia, MW	35
2.13. lentelė. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [53], [54].	36
2.14. lentelė. Švedijoje instaliuota elektrinių galia, MW	36
2.15. lentelė. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [57], [58].	37
2.16. lentelė. Suomijoje instaliuota elektrinių galia, MW	37
2.17. lentelė. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [61], [62].	38
2.18. lentelė. Norvegijoje instaliuota elektrinių galia, MW	38
3.1. lentelė. Elektros energijos gamybos iš AEI tikslai iki 2030 metų pagal NEKSVP, %	47
3.2. lentelė. Elektros energijos gamyba iš AEI pagal elektros energijos poreikį, %	47
3.3. lentelė. Elektros energijos pardavimo kaina Eur/MWh [75].	48
3.4. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių kainos mln. Eur/MW.	48
3.5. lentelė. CO ₂ emisijų faktoriai, tCO ₂ /MWh [76]	48
3.6. lentelė. CO ₂ emisijų kainos, Eur/tCO ₂ .	49
3.7. lentelė. CO ₂ emisijų tikslai, MtCO ₂ ekv.	49
4.1. lentelė. Baltijos jūros regiono elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh	50
4.1. lentelės tęsinys	51
4.2. lentelė. Baltijos jūros regiono elektrinėse instaliuota galia pagal kuro rūšį, MW	51
4.2. lentelės tęsinys	51
4.3. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra, MW	52
4.3. lentelės tęsinys	52
4.4. lentelė. Baltijos jūros regiono šalių CO ₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO ₂	53

4.5. lentelė. Lietuvos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	55
4.6. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Lietuva, MW	55
4.7. lentelė. Latvijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	56
4.8. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Latvija, MW	57
4.9. lentelė. Estijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	58
4.10. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Estija, MW	59
4.11. lentelė. Lenkijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	60
4.12. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Lenkija, MW	60
4.13. lentelė. Vokietijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	62
4.13. lentelės tęsinys	62
4.14. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Vokietija, MW	62
4.15. lentelė. Danijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	64
4.16. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Danija, MW	64
4.17. lentelė. Švedijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	66
4.18. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Švedija, MW	66
4.19. lentelė. Suomijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	68
4.19. lentelės tęsinys	68
4.20. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Suomija, MW	68
4.21. lentelė. Norvegijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW	70
4.22. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Norvegija, MW	70

Paveikslų sąrašas

1.1. pav. BRELL galios žiedas	17
1.2. pav. Straipsnyje naudojamas energetikos modelis [7].....	18
1.3. pav. Europos sąjungos šalių pasiskirstymas pagal konkrečią grupę [13].....	21
1.4. pav. ES Baltijos jūros regiono strategijos tikslai [14]	22
1.5. pav. Saulės apšvieta W/m ² Baltijos jūros regiono šalyse, imant mėnesio vidurkio duomenis ...	23
1.6. pav. Saulės apšvieta W/m ² Baltijos jūros regiono šalyse, imant metų vidurkio duomenis	24
1.7. pav. Saulės elektrinių Baltijos jūros regiono šalyse galios išnaudojimo koeficientas.....	24
1.8. pav. Vėjo greitis Baltijos jūros regiono šalyse 2 m aukštyje.....	25
1.9. pav. Vidutiniai vėjo greičiai m/s 2 m aukštyje Baltijos jūros regiono šalyse.....	26
1.10. pav. Vėjo elektrinių Baltijos jūros regiono šalyse galios faktorius	26
1.11. pav. Visų šalių CO ₂ emisijos pagal sektorius	28
3.1. pav. Modelio schema.....	40
3.2. pav. Hidroakumuliacinės elektrinės modelio schema	41
3.3. pav. Tarpusavyje sujungtų šalių importo schema.....	42
3.4. pav. Energijos formos MESSAGE programoje.....	42
3.5. pav. Modelio laiko intervalai.....	44
3.6. pav. Lietuvos apšvietos galios koeficientų grafikai pagal sezonus ir savaitės išskirstymą	45
3.7. pav. Lietuvos vėjo galios koeficientų grafikai pagal sezonus ir savaitės išskirstymą	46
4.1. pav. Baltijos jūros regiono šalių bendras elektros energijos poreikis, gamyba, TWh.....	50
4.2. pav. Baltijos jūros regiono šalių CO ₂ emisijos elektros energijos gamyboje	53
4.3. pav. Baltijos jūros regiono šalių CO ₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO ₂	53
4.4. pav. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	54
4.5. pav. Latvijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	56
4.6. pav. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	57
4.7. pav. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	59
4.8. pav. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	61
4.9. pav. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	63

4.10. pav. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	65
4.11. pav. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	67
4.12. pav. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO ₂ emisijos, MtCO ₂	69

Santrumpų sąrašas

HE – hidroelektrinė.

AE – atominė elektrinė.

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai.

KHAE - Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė.

VE – vėjo elektrinė (-ės).

CET – Central Europe time (vidurio Europos laikas).

PSO – perdavimo sistemos operatorius (-iai).

IEA – International energy agency (liet. Tarptautinė energetikos agentūra).

NEKSVP – nacionalinius energetikos ir klimato srities veiksmų planus.

ATL – apyvartiniai taršos leidimai.

ES – Europos Sąjunga.

Įvadas

Temos aktualumas: Technologijoms kiekvienais metais žengiant į priekį, elektros energija taip pat tampa vis didesne kiekvieno žmogaus gyvenimo dalimi. Keičiant šiluminę ir iškastinio kuro energiją į elektros energiją, didėja ir elektros energijos poreikiai todėl vis daugiau kalbama apie gaunamos elektros energijos kilmę. „Kadangi 75% ES šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio išmetama dėl energijos vartojimo ir gamybos, energetikos sektoriaus priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimas yra labai svarbus žingsnis siekiant neutralaus poveikio klimatui ES“ [1]. 2016 metų lapkričio 4 d. įsigaliojo Paryžiaus susitarimas [2], kuriuo numatoma, kad vidutinės pasaulinės temperatūros prieaugis neviršytų 2 °C lyginant su iki pramoninio laikotarpio ir stengtis pažaboti augimą iki 1,5 °C. Siekiant įvykdyti šį įsipareigojimą Europos komisija pasirašė ir pristatė Žaliajį kursą [1], kurio tikslų įgyvendinimas užtikrins poveikio klimatui neutralumą. Europos žaliajame kurse paminėti tikslai, tokie kaip švaresnės energijos išteklių plėtra ir naudojimas, taip pat skatinama elektros energetikos sistemų integracija visoje Europos sąjungoje. Tačiau didėjant gamybai iš CO₂ neutralių šaltinių, tokiu kaip saulė, vėjas, susiduriama su balansavimo problemomis. Šiuo metu balansavimo problemas padeda spręsti iškastinio kuro elektrinės, bet turint omenyje daromą neigiamą įtaką klimatui, balansavimo problemoms spręsti gali būti pasitelkiamos kitos šalys, o konkrečiai jungtys su jomis. Pavyzdžiui Norvegija turi hidroelektrines, Švedija be HE turi ir atominės elektrines, Suomija – AE ir biokuro elektrines, Lietuva – KHAE. Šios šalys per balansavimo paslaugą, esant elektros energijos trūkumui kitose šalyse dėl nepastovios elektros energijos gamybos iš saulės ar vėjo elektrinių, parduodant balansavimo paslaugą gali užtikrinti balansą tarp elektros poreikio ir vartojimo. Tam, kad būtų užtikrinta balansavimo paslauga reikalingos tarpvalstybinės jungtys, bet kuo daugiau AEI integruojant į šalies sistemą, tuo didesnės galios pralaidumų tarpvalstybinėms jungtims reikia. Lygiai taip pat šalys skiriasi savo geografine aplinka, o tai lemia skirtingą apšvietą, skirtingus vėjo greičius, todėl reikia vertinti ir skirtingą gamybą viso regiono mastu iš konkrečių AEI.

Tarpvalstybinių jungčių plėtra privaloma priemonė, norint ne tik pasiekti Žaliojo kurso susitarimus, bet ir užtikrinti švarios energijos gamybos didėjimą ir tuo pačiu tinklo balansavimą. Baltijos jūros regionas dėl perspektyvos jūrinių vėjo elektrinių plėtrai, turi didžiausią potencialą tarpvalstybinių jungčių plėtrai, tačiau tam reikia įvertinti ir esamas jungtis, esamus šalių tinklus, kurie padės nustatyti tarpvalstybinių jungčių plėtros poreikį konkrečiose šalyse siekiant dekarbonizacijos tikslų.

Darbo objektas: 9-ios Baltijos jūros regiono valstybių elektros energetikos sistemos (Lietuva, Latvija, Estija, Lenkija, Vokietija, Danija, Švedija, Suomija, Norvegija).

Darbo tikslas: nustatyti Baltijos jūros regiono tarpvalstybinių jungčių plėtros poreikį atsižvelgiant į iškeltus anglies dvideginio emisijų mažinimo tikslus.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinę literatūrą, kuri padės nustatyti tarpvalstybinių jungčių plėtros poreikį Baltijos jūros regione;
2. Surinkti ir apibendrinti informaciją apie Baltijos jūros regiono valstybių energetikos sistemas ir jų perspektyvinę plėtrą;

3. Sudaryti 9- ių šalių energetikos sistemų matematinį modelį taikant MESSAGE programinę įrangą;
4. Atlikti Baltijos jūros regiono šalių elektros energetikos sistemų perspektyvinių jungčių analizę taikant sudarytą matematinį modelį.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir statistinių duomenų analizė, matematinis optimizacinis modeliavimas, gautų duomenų analizė.

Darbo apimtis: 77 psl.

1. Tarpvalstybinių elektros jungčių plėtros poreikis siekiant dekarbonizacijos tikslų

1.1. Dekarbonizacijos tikslai

Pagrindinis dokumentas, kuriuo remiamasi siekiant sumažinti neigiamą poveikį klimatui – Paryžiaus susitarimas [2]. Tai veiksmų planas iki 2050 m., kuriuo siekiama apriboti visuotinį atšilimą. Susitarimą sudaro pagrindiniai tikslai:

- „vyriausybės susitarė užtikrinti, kad vidutinės temperatūros prieaugis pasaulio mastu būtų gerokai mažesnis nei 2 °C, palyginti su iki pramoninio laikotarpio temperatūra, ir dėti pastangas, kad ji nepadidėtų daugiau kaip 1,5 °C;
- prieš Paryžiaus konferenciją ir jos metu šalys pateikė išsamius nacionalinius kovos su klimato kaita veiksmų planus (sutrumpintai NDC – nacionaliniu lygmeniu nustatytus įpareigojančius veiksmus), kuriais siekiama sumažinti išmetamų teršalų kiekį;
- vyriausybės susitarė savo veiksmų planus pateikti kas penkerius metus, kiekviename plane nustatant dar didesnio užmojo tikslus;
- kad būtų užtikrintas skaidrumas ir priežiūra, šalys sutiko viena kitai ir visuomenei pranešti, kaip joms sekasi siekti savo tikslų;
- toliau bus teikiamas kovos su klimato kaita finansavimas pažeidžiamoms šalims, siekiant joms padėti sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį ir padidinti atsparumą kovojant su klimato kaitos poveikio padariniais“ [2].

Tai laikoma pagrindiniu dokumentu, kuriuo remiantis buvo išleisti kiti dokumentai. Paryžiaus susitarimas [2] – tai bendras visų šalių susitarimas nenumatant konkrečių veiksmų, bet įsipareigojant kitoms šalims, imtis veiksmų, kurie mažintų klimato kaitą. Tam, kad šis susitarimas būtų patvirtintas, jį turėjo pasirašyti bent 55 šalys, kurių šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis sudaro bent 55 % pasaulio mastu išmetamo kiekio. Šį susitarimą yra ratifikavusios 194 šalys – Vatikanas šiam pasiūlymui pritaria, bet oficialiai pasirašęs jo nėra.

ES siekdama rodyti pavyzdį Žaliajame kurse išsikėlė tikslą tapti "pirmuoju klimatui neutraliu žemynu" todėl 2019 m. buvo pasirašytas „Žaliasis kursas“, kuriame numatyti konkretūs tikslai Paryžiaus susitarimui [2] įgyvendinti. Žaliojo kurso iniciatyvos apima įvairias sritis:

- teisinę – ES teisės aktai turi būti suderinti su ES klimato srities tikslais;
- ekologinę – iki 2030 m. sumažinti bent 50 %, o siekti 55 % lyginant su 1990 metų lygiu išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų;
- civilinę – parengti planus, kurie gyventojus supažindintų su galimais metrologiniais reiškiniais, daugiausia dėmesio skiriant prevencijai, parengčiai, atsakui, atkūrimui;
- biologinę – išplėsti saugomas sausumos ir jūros teritorijas, atkurti nualintas ekosistemas ir pan.;
- ekonominę – pereiti prie žiedinių gamybos ir vartojimo sistemų;
- energetinę – gerinti baterijų vidaus rinkos veikimą, švari, įperkama ir saugiai tiekiamą energiją [1].

Į energetikos sektorių yra nukreipiamas didžiausias dėmesys – dėl daromos didžiausios neigiamos įtakos klimatui. Žaliasis kursas numato, kad reikalingas spartesnis ir didesnio masto AEI elektrinių įrengimas.

Pagal ES reikalavimus Lietuvos valstybė privalo išleisti dokumentus, kurie numato konkrečius veiksmus jau anksčiau minėtų tikslų įgyvendinimui. Vienas tokių Energetikos ir aplinkos ministerijos patvirtintas „Nacionalinės energetikos ir klimato srities veiksmų planas“ 2021–2030 m. [3]. Šis planas akcentuojasi į penkias sritis.

1. Energijos vartojimo efektyvumas – daugiabučių, viešųjų ir privačių pastatų modernizavimas siekiant pereiti prie mažesnių energijos sąnaudų. Taip pat gatvių apšvietimo modernizavimas. Didelę dalį vartojimo efektyvumo gali sudaryti ir vartotojų švietimas apie vartojimo įpročių keitimą, apie energijos efektyvumą ir energijos taupymą. Šis švietimas turi užtikrinti ir įmonių švietimą apie energijos taupymą, taip pat energijos efektyvumo didinimą ir kt.
2. Energetinis saugumas – pradėti biokuro elektrinių Vilniuje, Kaune eksploataciją, didinti sausumos ir jūros VE plėtrą, sukurta rezervinės galios paslaugų rinka, kuri užtikrins dažnio, įtampos stabilumo, aktyvios galios ir įtampos valdymą, bei avarių prevenciją ir greitesnį jų likvidavimą ir kt.
3. Energijos vidaus rinka – 330 kV Kruonio HAE – Bitėnai, Vilnius – Neris, Darbėnai – Bitėnai perdavimo linijų statyba, 330 kV skirstyklų „Mūša“, „Darbėnai“ statyba, „Harmony Link“ jungties su Lenkija statyba, elektros tinklų plėtra ir kt.
4. Energetinis nepriteklis – būsto šildymo išlaidų kompensacija, geriamojo ir karšto vandens išlaidų kompensacija, teisinė pažeidžiamų vartotojų apsauga ir kt.
5. Moksliniai tyrimai, inovacijos ir konkurencingumas – išanalizuoti vėjo energetikos technologijų komponentų gamybos Lietuvoje galimybes, skatinti mokslinius tyrimus AEI srityje ir kt.

Šis parengtas veiksmų planas numato, perėjimą prie švaresnės energijos, patikimo elektros energijos tiekimo, energijos vartojimo efektyvumo. O svarbiausia padės atsijungus nuo BRELL žiedo užsitikrinti patikimą elektros energijos tiekimą.

Lietuva, kaip ir kitos Baltijos šalys Latvija ir Estija iki 2025 vasario 8 dienos buvo prijungtos prie BRELL žiedo (1.1 pav.) su Baltarusija ir Rusija. „Pasirašytas susitarimas yra konfidencialus ir narystė pratęsiama kiekvienais metais, jei likus šešiems mėnesiams iki susitarimo pabaigos nei viena iš šalių nepraneša apie pasitraukimą“ [5].

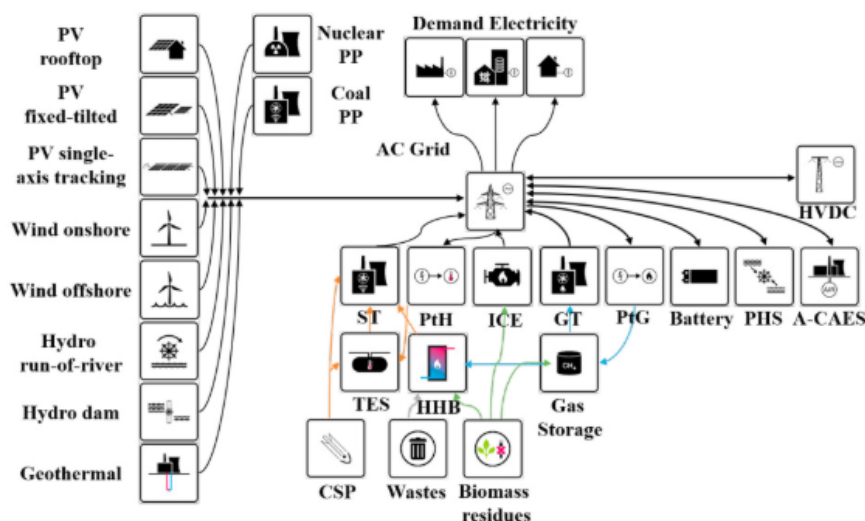


1.1. pav. BRELL galios žiedas

Iki atsijungimo laikotarpio nepaisant sumažėjusios prekybos, elektros energija BRELL žiede, energijos srautai, keliaujantys žiedu, užtikrino labai svarbų vaidmenį stabilizuojant sistemos dažnį. Atsijungimas nuo BRELL žiedo buvo vienas reikšmingiausių veiksmų, kuris užtikrinto, kad esant nesutarimams tarp šalių nebūtų kenkiama kitos šalies infrastruktūrai. Energija kaip politinis ginklas buvo naudojamas ir anksčiau, tai parodo pavyzdys, kai Gazprom manipuliudama savo padėtimi trikdydavo dujų tiekimą, kai tuo metu dujos buvo viena pagrindinių elektros energijos gamybos priemonių. Kadangi energetiškai susijusios šalys yra viena nuo kitos priklausomos, labai svarbu palaikyti tvirtus santykius – turint tarptautines jungtis tarpusavyje derimasi dėl elektros energijos srautų, tinklo apkrautumo, kad būtų išlaikomas balansas. Tai taptų sunku įgyvendinti, kai viena iš šalių yra priešiška nusiteikusi ir norėdama galios svertą turėti savo pusėje į derybas nesileistų.

Pereinant prie 100% atsinaujinančių energijos išteklių – elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių išteklių, tokių kaip saulės ar vėjo elektrinių yra gana sunkiai prognozuojama. Taip pat dažniausiai elektros energija generuojama tada, kai jos poreikis yra ne toks didelis. Pavyzdžiui saulės elektrinės gamina elektros energiją dienos metu, kai suvartojimas namų ūkiuose yra nedidelis. Aišku, skirstymo operatoriai gali pasiūlyti „pasaugojimo“ paslaugą, kuri tik saugo elektros energiją virtualiai, o realybėje ji atiduodama į tinklą ir būna suvartojama arba gali būti parduota. Taip pat kol nėra didelių elektros energijos saugyklų, nėra užtikrinamas iš AEI gaminamos elektros energijos panaudojimas vartotojui reikiamu metu, o „synchronizuotame tinkle paklausa ir pasiūla turi būti subalansuota“ [4]. Saulės ir vėjo energija taip pat dėl nepastovios gamybos „išbalansuoja tinklą“ o tai lemia, kad kaimyninės šalys turi padėti užtikrinti dažnio palaikymo paslaugą. Kol šalies viduje ar iš kaimyninių šalių tokia paslauga užtikrinama, atsinaujinantys ištekliai yra tinkamas energijos gamybos šaltinis, bet visoms šalims pereinant prie 100% AEI ir neturint balansavimo paslaugos, būtų susiduriama su tiekimo ir energijos patikimumo sutrikimais.

2018 metais Michael Child, Dmitrii Bogdanov, Christian Breyer parašytas straipsnis „The Baltic Sea Region: Storage, grid exchange and flexible electricity generation for the transition to a 100% renewable energy system“, kuris aptaria modeliavimo rezultatus, kai Baltijos jūros regiono šalys gamina elektros energiją iš 100% atsinaujinančių šaltinių, o energija kaupiama akumuliatoriuose, hidroakumuliacinėse talpyklose, naudojamas adiabatinis suspausto oro energijos kaupimas, šiluminės energijos kaupimas ir energijos kaupimas dujomis. „Modelyje pristatomos keturios technologijų kategorijos: elektros energijos gamyba, energijos kaupimas, energetikos sektorius ir elektros energijos perdavimas“ 1.2. pav. [7]. Modeliuoti 5 metų laikotarpiai nuo 2015 m. iki 2050 m.



1.2. pav. Straipsnyje naudojamas energetikos modelis [7]

Šis modelis išsiskiria tuo, kad jame jau integruotos kaupimo sistemos, kurios būtinos atsinaujinančios energijos saugojimui. Straipsnyje taip pat kalbama apie tai kokią įtaką perėjimas prie atsinaujinančios energijos turi CO₂ mažinimui, tačiau bendrai aptarti rezultatai nėra pakankami – trūksta informacijos kokie šalių duomenys buvo imti ir ar įtraukta tinklo plėtra, taip pat trūksta informacijos koks modeliavimo metodas taikomas.

1.2. Tarpvalstybinė elektros energijos prekyba

Prekyba elektros energija vykdoma dviem būdais – dvišalėmis sutartimis arba prekyba biržoje. Kalbant apie prekybą dvišalėmis sutartimis tai būna iš anksto sutarta elektros energijos kaina, sutartys sudaromos įvairiam terminui priklausomai nuo pardavėjo/pirkėjo susitarimo. Tokios sutartys gali padėti išvengti elektros energijos šuolio, jeigu kaina yra užfiksuojama, bet analogiškai kaina gali būti užfiksuojama didesnė, nei bus konkrečiu metu. Taip pat dvišalės sutartys gali būti sudaromos neatsižvelgiant į konkurenciją tarp kitų įmonių, „paslauga už paslaugą“ principą, taip pat tokios sutartys mažiau prižiūrimos, todėl gali būti ir sutarties išsipareigojimų nevykdymas, o tokių ginčų sprendimas yra sudėtingesnis procesas, kai reikalingas paslaugos užtikrinimas čia ir dabar.

Kai prekyba vykdoma biržoje, kaina nustatoma paklausos pasiūlos principu, bet kainai didelę įtaką daro kuro, kuris naudojamas elektros energijos gamybai, kaina. Prekyba biržoje vyksta kitos paros arba einamosios paros būdais.

- Kitos paros (angl. *Day-ahead*) – tai kai uždaramė aukcione pirkėjai gali pirkti arba pardavėjai parduoti elektros energiją atsižvelgdami į tinklo apribojimus. 10 val. CET laiku skelbiami

turimi tinklo pajėgumai, o pirkėjai ir pardavėjai iki 12 val. CET pateikia galutinius pasiūlymus kitos dienos tiekimo valandoms. Pateikti užsakymai suderinami su kitais užsakymais taikant „Euphemia“ algortimą. Suderinimo metu atsižvelgus į tinklo apribojimus, kiekvienai valandai ir kiekvienai tiekimo zonai nustatoma bendra kaina, kur pirkimo ir pardavimo kainos sutampa [8].

- Einamosios paros (angl. *Intraday*) – ji veikia kartu su kitos dienos rinka ir padeda užtikrinti reikiamą pasiūlos ir paklausos pusiausvyrą. Didėjant AEI gamybos su pertrūkiais, susidomėjimas šia rinka yra didėjantis, nes rinkos dalyviams vis sunkiau išlaikyti elektros energijos pusiausvyrą užsidarius „Day-ahead“ rinkai. Taip pat einamos dienos rinka padeda subalansuoti tinklą arčiau tiekimo laiko, tai naudinga rinkos dalyviams, ir elektros energijos sistemoms, nes sumažėja rezervo poreikis, su tuo susijusios išlaidos. „Intraday“ rinka yra esminė siekiant užtikrinti nepertraukiamą elektros energijos tiekimą atsižvelgiant į netikėtus vartojimo svyravimus. Šioje rinkoje prekyba vyksta nuolat – kiekvieną dieną, visą parą likus valandai iki tiekimo. Kaina nustatoma pagal principą „pirmas atėjai, pirmas gavai“, kai geriausios kainos nustatomos pirmiausia – didžiausia pirkimo kaina ir mažiausia pardavimo kaina [9].

Tačiau nereikia suprasti taip, kad visa šalyje generuojama elektros energija yra suvartojama konkrečios šalies poreikiams patenkinti, o tik jos perteklius parduodamas. Elektros energija importuojama ir iš kitų šalių, kai jos kaina yra žemesnė nei gamybos kaina būtų tuo metu ir tuo pačiu principu elektros energija yra eksportuojama iš šalies, kai kaimyninės šalys ją gali nupirkti už didesnę kainą. Norint eksportuoti šalyje pagamintą elektros energiją, šalis turi turėti užtikrintą gamybos šaltinį, kuris esant poreikiui galėtų greitai generuoti elektros energiją, jeigu šalyje elektros energijos poreikis staigiai išaugtų. Tam netinka elektrinės, kurių paleidimas užtrunka arba tokios, kurių pačių gamybos apimtys nenusipėjamos, pavyzdžiui saulės ar vėjo.

Dar viena privaloma paslauga rinkoje, už kurią atsakingi PSO – balansavimo paslauga. Ši paslauga teikiama tam, kad būtų išlaikomas balansas tarp elektros energijos gamybos ir vartojimo realiu laiku. Elektros energijos gamintojas parduoda elektros energiją valandą prieš tiekimą, po valandos tiekimo yra suvedama sąskaita. Jei vartotojai suvartojo mažiau elektros energijos nei užsakyta, reiškia PSO nupirko perteklinę galią. Priešingu atveju jeigu vartojimas buvo didesnis, nei nupirktas kiekis, pardavėjas automatiškai perka elektros energiją iš PSO. Pardavėjo perkama elektros energija arba galios pardavimas sistemos operatoriui ir vadinama balansavimo paslauga. Pavyzdžiui, sugenda gamintojo elektrinė, jis jau sutaręs konkretų kiekį ir kainą su pardavėju. Jei gamintojas negali nusipirkti elektros energijos rinkoje, jis perka balansavimo paslaugą iš PSO, o pardavėjas su gamintoju vis tiek atsiskaito už numatytą kiekį, nors gamintojas nieko ir negamino. „Tačiau gamintojams kaina nustatoma šiek tiek kitaip: per valandą, kai reguliavimas aukšty (reikia padidinti gamybą siekiant subalansuoti tinklą), gamintojams, gaminantiems per daug, mokama tik rinkos kaina (o ne padidinta kaina). Per valandą, kai reguliavimas aukšty, gamintojams, gaminantiems per mažai, bus padidinta kaina (paprastai didesnė nei rinkos kaina). Valandomis, kai reguliavimas žemyn, gamintojams, gaminantiems per daug, bus mokama mažesnė reguliuojama kaina (paprastai mažesnė už rinkos kainą). Gamintojams, gaminantiems per mažai, taikoma rinkos kaina. Prekiautojas, kuris prekiauja elektros energija, turi atsiskaityti su pardavimo sistemos operatoriumi už balansavimo energiją, jei jo pirkimas ir pardavimas yra nesubalansuoti. Taigi, norėdamas išvengti atsiskaitymo su

PSO už balansavimo energiją, prekiautojas turi užtikrinti, kad kiekvieną valandą pirtų ir parduotų tokį patį energijos kiekį“ [10].

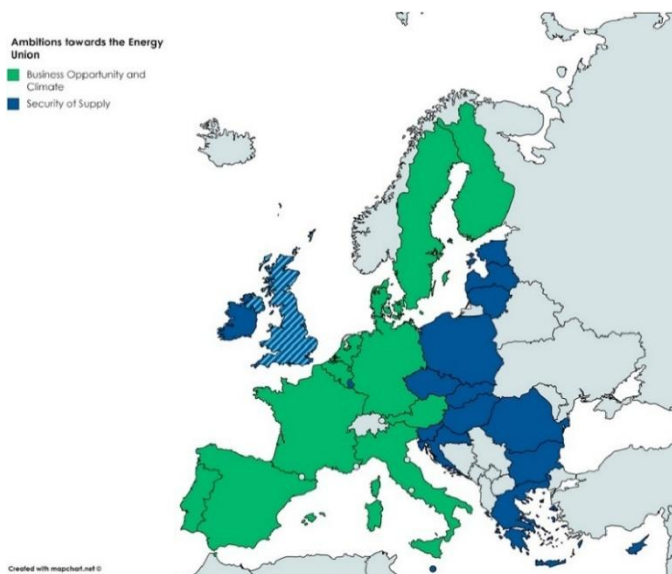
Balansavimas šalies viduje yra didelių išlaidų reikalaujanti paslauga, nes jai užtikrinti sistemos operatorius iš vietinių gamintojų turi pirkti balansavimo paslaugą vartotojų poreikiams padengti. Balansavimas svarbus ir dėl tiekimo saugumo (įvykus sutrikimams, avarijoms generacijos šaltiniuose), ir dėl galutinės vartotojų kainos. Naudojant tarpvalstybines jungtis, balansavimo paslauga gali būti paskirstyta tarp šalių, taip pat pasitelkus didesnę rinką galima mažinti išlaidas, nes dėl didesnio elektrinių kiekio, mažėja ir kaina. Balansavimas tarpvalstybinėmis jungtimis gali padėti neutralizuoti nepastovios gamybos poveikį integruojant daugiau ir įvairesnių šaltinių elektrinių. Pavyzdžiui pasitelkti kaimyninės šalies elektrinių gaminamą elektrą padengti nepastoviai VE gamybai. „Nors Europos energijos rinkos integruojamos pagal gana aiškius tikslinius modelius, pavyzdžiui, pajėgumų paskirstymo taisyklės, nustatytas privalomose pajėgumų paskirstymo ir perkrovos valdymo gairėse (CACM) ir Tinklo kodekse dėl išankstinio pajėgumų paskirstymo (NC FCA), įvairių rūšių balansavimo paslaugos dar nėra išsamiai aprašytos. 2012 m. paskelbtoje ENTSO-E pagalbinių paslaugų pirkimo ir balansavimo rinkos struktūros apklausoje parodyta dabartinių balansavimo rinkų įvairovė ir išryškintas suderinimo uždavinys. Elektros energijos balansavimo tinklo kodekse (NC EB) nustatyti procesai, kaip plėtoti rinkos pagrindu grindžiamą bendradarbiavimą ir įgyvendinti regioninės ir Europos integracijos žingsnius, kurie savo ruožtu leidžia pasiekti didesnio efektyvumo ir kartu išlaikyti veiklos saugumą“ [11].

Didelę įtaką balansavimo paslaugai ir jos funkcijos atlikimui, turi jungčių pralaidumai. Esant nepakankamų jungčių galioms, gali būti neužtikrinama balansavimo paslauga arba konkreti paslauga privalo būti perkama iš konkrečios šalies, nes būtent iš tos šalies turima jungties galia tinkama galiai perduoti. Turėti tinkamus pralaidumus tarp šalių svarbu ir dėl to, kad perkant energiją dieną prieš rinkoje privalo būti įvertintos konkrečios jungties, tinklo apkrovos, kad būtų galima įvertinti elektros energijos pirkimą. Kadangi šiuo metu balansavimo paslauga užsiima kiekvienos šalies PSO, siūloma plėsti tarpvalstybines jungtis ir kurti bendrą balansavimo rinką, kurioje būtų užtikrinama, kad balansavimo paslaugos, kaip ir elektros energijos pirkimas būtų ekonomiškai efektyvus. Tarpvalstybinių jungčių plėtra leis kiekvienai šaliai pasirinkti iš kokios šalies pirkti balansavimo paslaugą atsižvelgiant į pralaidumus ir kainą.

Bendra rinka naudinga ir tuo atveju kai perkama elektros energija, o ne balansavimo paslauga, nes galima pirkti / parduoti elektros energiją konkurencinga kaina. Būtent dėl šios priežasties ir buvo sukurta pirmoji pasaulyje elektros energijos birža. Ta pati birža pradėjo ir tarptautinės biržos veiklą. Šią funkciją atlieką „Nord Pool“ – ji organizuoja didmeninę prekybą elektros energija Europos biržoje, užtikrina prekybos elektros energija techninį aptarnavimą ir palaikymą, skelbia informaciją apie didmeninę prekybą elektros energija biržoje, užtikrina vienodas sąlygas visiems biržos dalyviams užkertant kelią karteliniams susitarimams, taip pat konsultuoja elektros biržos dalyvius organizavimo ir biržos veiklos klausimais. Vienos bendros biržos privalumas yra ne tik konkurencinga kaina, o biržos organizaciniai klausimai ir vienodos taisyklės. Įvertinant rinkų skirtumus „Nord Pool“ sukūrė bendras gaires ir taisykles visiems. Kadangi „Nord Pool“ veikia Europos Sąjungoje, ji yra įsipareigojusi ir padeda užtikrinti Europos Sąjungos iškeltus tikslus, įskaitant dekarbonizacijos, dėl to „Nord Pool“ biržoje skatina AEI energijos integraciją.

1.3. Elektros sistemų, naudojančių skirtingus elektros gamybos šaltinius, sąveikos

Elektros biržoje parduodama elektros energija yra gaunama iš skirtingų šaltinių – kiekvienas generacijos šaltinis turi savų privalumų ir savų trūkumų. Pagrindinis AEI generacijos šaltinių privalumas – tai gamybos metu neišskiriamas CO₂. Tačiau ši energija išbalansuoja tinklą savo nevienoda gamyba, nesant kaupikliams, todėl reikalingas pastovus generavimo šaltinis, kuris tiekimo paslaugą užtikrintų nepaisant oro sąlygų. 2018 metais pasirašytas ES tarybos susitarimas su Europos Parlamentu, kurio „pagrindinis tikslas – kad 2030 m. ES lygmeniu atsinaujinančiųjų išteklių energija sudarytų 32 % energijos“ [12], kitų energijos šaltinių integracija į bendrą kontinento tinklą yra dar svarbesnė. AEI tikslas labai ambicingas, tačiau reikia paminėti, kad ne visos Europos sąjungos šalys turi vienodus pajėgumus, ne visos šalys turi finansines arba geografines galimybes įsirengti AEI elektrines. Pavyzdžiui Vokietija, Danija labai stipriai remia atsinaujinančiųjų išteklių plėtrą, kai tuo metu Lenkija tam priešinasi. Austrija ir Švedija turi labai palankias sąlygas atsinaujinančiųjų šaltinių plėtrai, o tokios šalys kaip Vengrija ar Rumunija neturi finansinių išteklių atsinaujinančios energetikos plėtrai. Kai kurios šalys „ekologiškesnių kaimynų pastangas vertina kaip trukdį, kuris kelia grėsmę tiekimo už prieinamą kainą saugumui, sukelia problemų elektros tinkle ir kainų svyravimus, tačiau neduoda jokių papildomų pajamų ar naudos užimtumui“ [13].



1.3. pav. Europos sąjungos šalių pasiskirstymas pagal konkrečią grupę [13]

Europos Sąjungos šalys yra susiskirsčiusios į dvi grupes – mėlynoji, kurios šalims rūpi tiekimo saugumas ir šaltinių įvairinimas. Bendrai visoms šalims yra svarbus tiekimo saugumas, bet būtent mėlynos šalys dėl esamų jungčių yra labiau pažeidžiamos tiekimo sutrikimams. Antroji grupė žaliaji. Jos Europos Sąjungą laiko priemone kovoti su klimato kaita ir atsinaujinančią energetiką laiko verslo galimybe, taip pat galimybe pajvairinti energijos rūšis bei mažinti priklausomybę nuo importo. Šalių skirtumas dėl turimų generacijos šaltinių gali būti išnaudojamas ir kaip privalumas vertinant bendras tarpvalstybines jungtis. Apžvelgiant generacijos šaltinius, kurie padeda užtikrinti nepertraukiamą tiekimą integruojant ir AEI elektrines, išskiriamos šios elektrinės:

- Hidroelektrinės – dėl savo greito paleidimo yra vienas efektyviausių generacijos šaltinių dengiant iš AEI atsiradusį trūkumą. Lygiai taip pat esant AEI gamybos pertekliui HE galima sustabdyti. Pats elektrinių principas yra tas, kad iš viršutinio į žemutinį baseiną vanduo yra paleidžiamas ir generuojama elektros energija dienos metu, kai poreikis elektros energijai yra

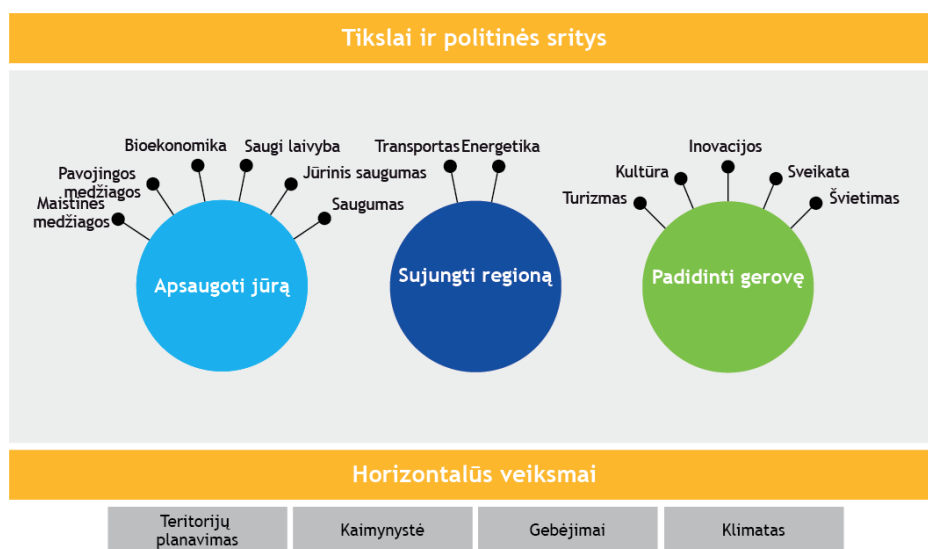
didžiausias. O naktį, kai elektros energija pigi vanduo siurblių pagalba pumpuojamas atgal į viršutinį baseiną. Šis veikimo principas gali būti stabdomas, reguliuojamas priklausomai nuo poreikio, todėl tai puikus būdas užtikrinti energijos rezervo paslaugą konkrečiam laikui.

- Atominės elektrinės – nors tai potencialiai pavojingas elektros gamybos būdas, jis vienas stabiliausių generavimo būdų. AE stabdymas įmanomas tik per ilgą laikotarpį, todėl priešingai nei hidroelektrinių, AE nei sustabdyti, nei paleisti esant generacijos trūkumui/pertekliui iš AEI. Nepaisant to, AE padeda užtikrinti stabilų energijos tiekimą ir padeda užtikrinti rezervo paslaugą ilgam laikotarpiui.
- Kogeneracinės elektrinės – tai energijos ir šilumos gamybos būdas, kuris kaip ir hidroelektrinės, gali būti reguliuojamas priklausomai nuo poreikio. Priklausomai nuo kuro rūšies, kuris naudojamas energijai ir šilumai gaminti, jos gali būti priskiriamos ir prie AEI (biokuro elektrinės). Taip pat šios elektrinės gali padėti dengti elektros energijos gamybą iš AEI šaltuoju periodu, pavyzdžiui kai saulės apšvieta yra mažesnė, nei pavasarį ar vasarą.

Bendras šalių tinklų apjungimas su skirtingais generavimo šaltiniais padėtų lengviau planuoti ir prognozuoti elektros energijos poreikį viso regiono mastu, nes tai kokios sąlygos yra vienoje šalyje, nebūtinai yra kitoje šalyje. Pavyzdžiui šiaurinėje Europos dalyje pučiant stipriam vėjui, nebūtinai centrinės Europos dalyje yra tokios pačios sąlygos ir pan. Būtent šiuos šalių skirtumus galima panaudoti siekiant plėsti tarpvalstybines jungtis.

1.4. Oro sąlygų Lietuvoje ir Baltijos šalių regione nepastovumo palyginimas

Kalbant apie šalių skirtumus reikia apžvelgti skirtumus atsinaujinančių išteklių srityje. Nagrinėjant Europos strategijos dokumentus susipažinau su „ES Baltijos jūros regiono strategija“ [14]. Ši strategija kurta 8-ioms šalims Lietuvai, Lenkijai, Vokietijai, Danijai, Švedijai, Suomijai, Estijai, Latvijai. Strategijos tikslai – apsaugoti jūrą, sujungti regioną ir padidinti gyventojų gerovę (1.4. pav.)

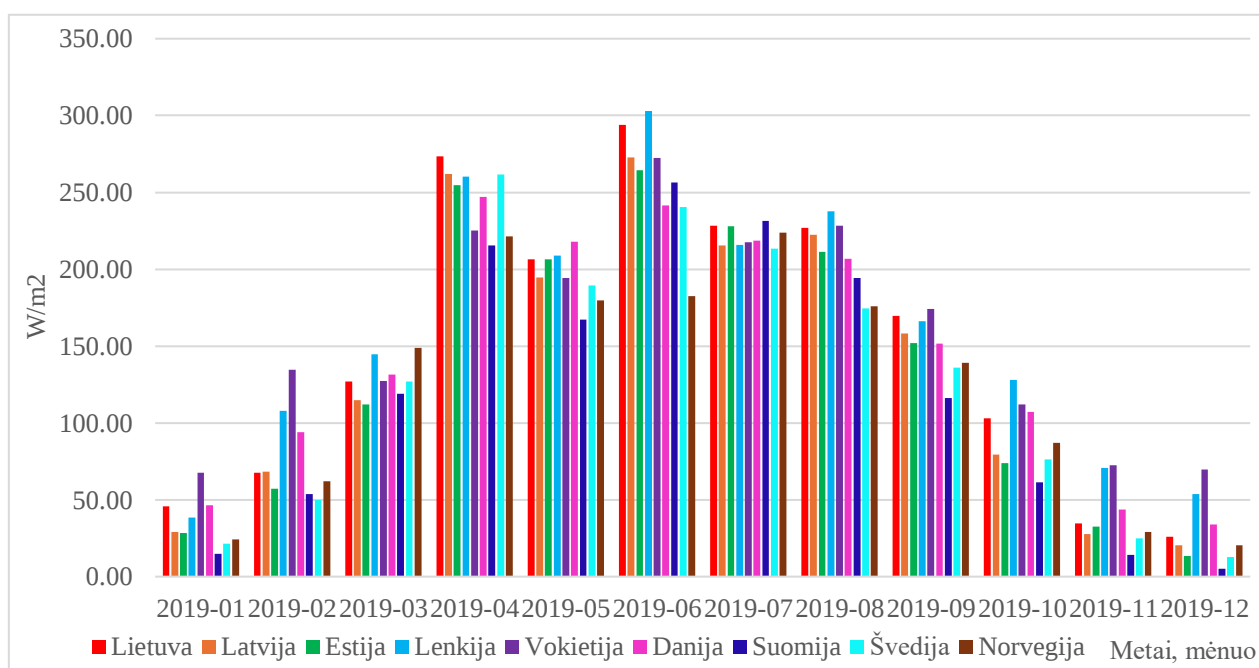


1.4. pav. ES Baltijos jūros regiono strategijos tikslai [14]

Kadangi ši strategija tiesiogiai susijusi ir su Paryžiaus susitarimu [2], toliau darbe bus nagrinėjamos būtent šios šalys neįtraukiant Rusijos, kuri turi prieigą prie Baltijos jūros.

1.4.1. Apšvietos palyginimas

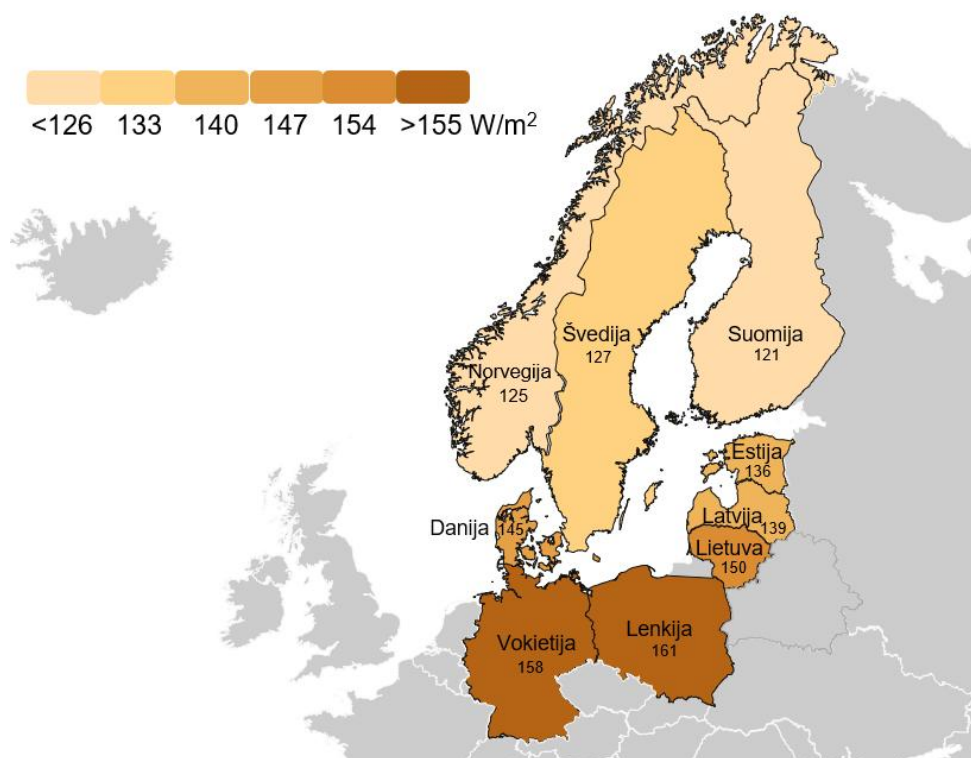
Norint susipažinti su kiekvienos šalies apšvietos duomenimis ir saulės elektrinių plėtros galimybėmis, buvo išanalizuoti 2019 metų saulės apšvietos duomenys iš „Europos komisijos“ puslapio [15]. Dėl didelės duomenų imties nuspręsta imti vidurkio duomenis (1.5. pav.)



1.5. pav. Saulės apšvieta W/m² Baltijos jūros regiono šalyse, imant mėnesio vidurkio duomenis

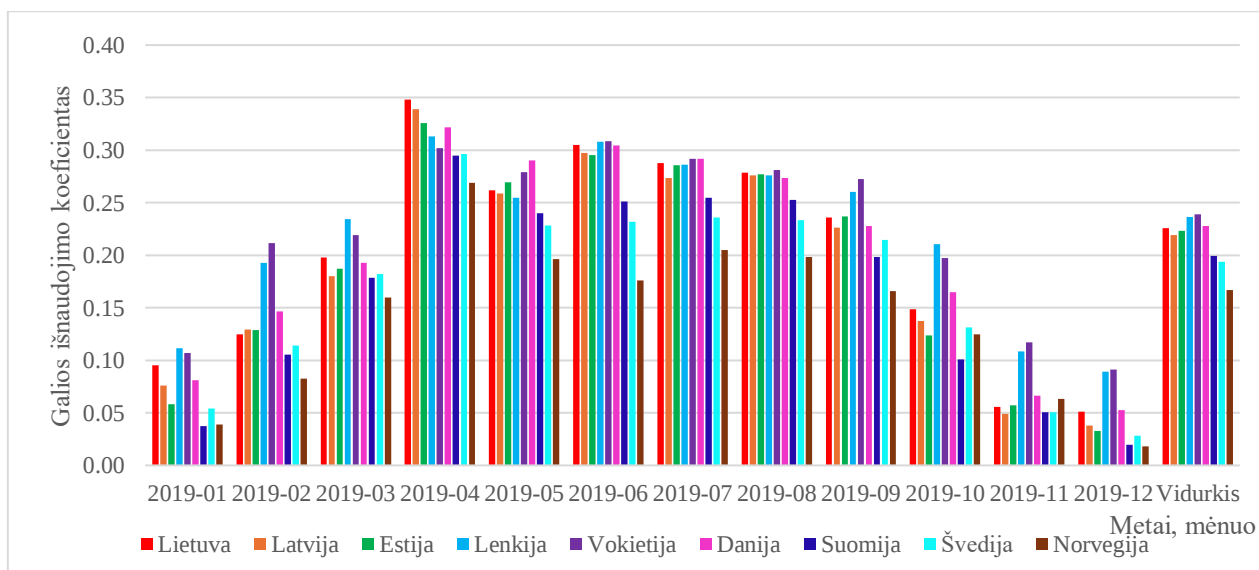
Iš šių duomenų galima daryti išvadą, kad apšvieta skirtingose šalyse labai skiriasi, pavyzdžiui Suomijoje saulės apšvieta yra labai maža lapkričio ir gruodžio mėnesiais, kai tuo tarpu Vokietijoje ir Lenkijoje ji yra ženkliai didesnė.

Norint susidaryti dar geresnį vaizdą nuspręsta padaryti žemėlapi su vidutinės apšvietos duomenimis kiekvienai šaliai. Duomenys imti [15], jie pateikti 1.6. pav.



1.6. pav. Saulės apšvieta W/m² Baltijos jūros regiono šalyse, imant metų vidurkio duomenis

Iš šio žemėlapio matosi, kad didžiausia apšvieta yra Vokietijoje ir Lenkijoje, nes kuo arčiau pusiaujo, tuo didesnė saulės apšvieta. Esant didesnei apšvietai, galimas geresnis saulės išnaudojimas gaminant energiją. Šiai hipotezei patvirtinti arba paneigti imtas saulės elektrinių galios faktorius iš „Renewables.ninja“ [16]. Galios išnaudojimo koeficientas nusako koku pajėgumu elektrinė dirbo – kai 0 reiškia, kad saulės elektrinė elektros negamino, o 1 reiškia, kad elektrinė dirbo maksimaliu pajėgumu pagal instaliuotą galią (1.7. pav.)

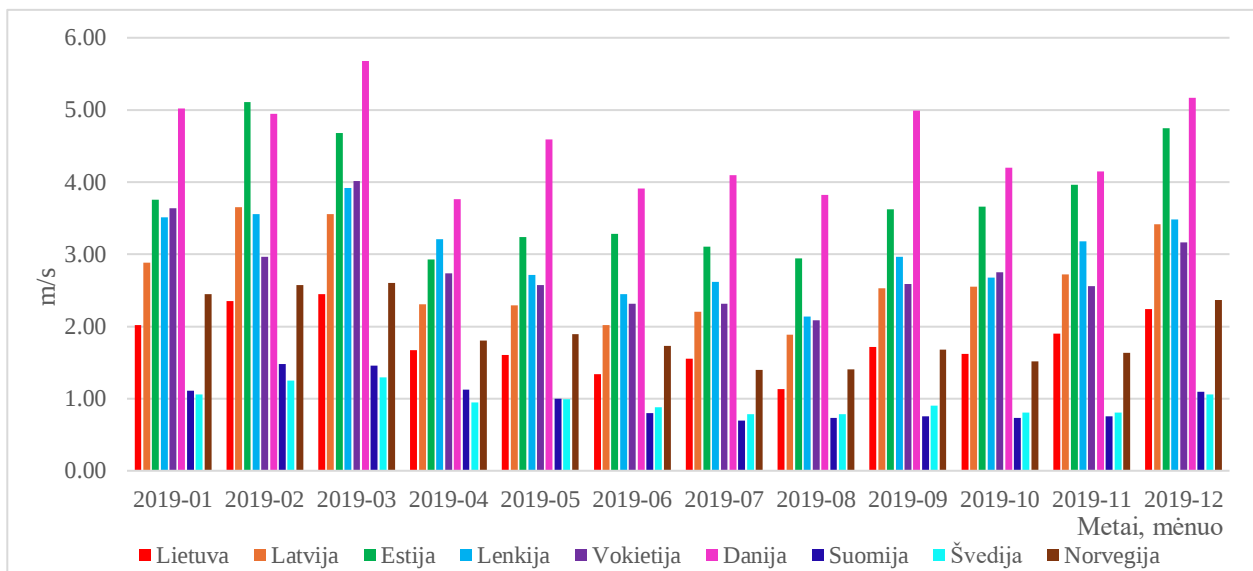


1.7. pav. Saulės elektrinių Baltijos jūros regiono šalyse galios išnaudojimo koeficientas

Iš grafiko matome, kad elektrinės, imant vidutinius mėnesio duomenis, neišnaudoja visos savo instaliuotos galios. Geriausią metų mėnesį, balandį, išnaudojo trečdalį savo instaliuotos galios. Todėl vien tik saulės energijos neužtektų padengti elektros energijos poreikio pereinant prie 100 proc. AEI.

1.4.2. vėjo greičių palyginimas

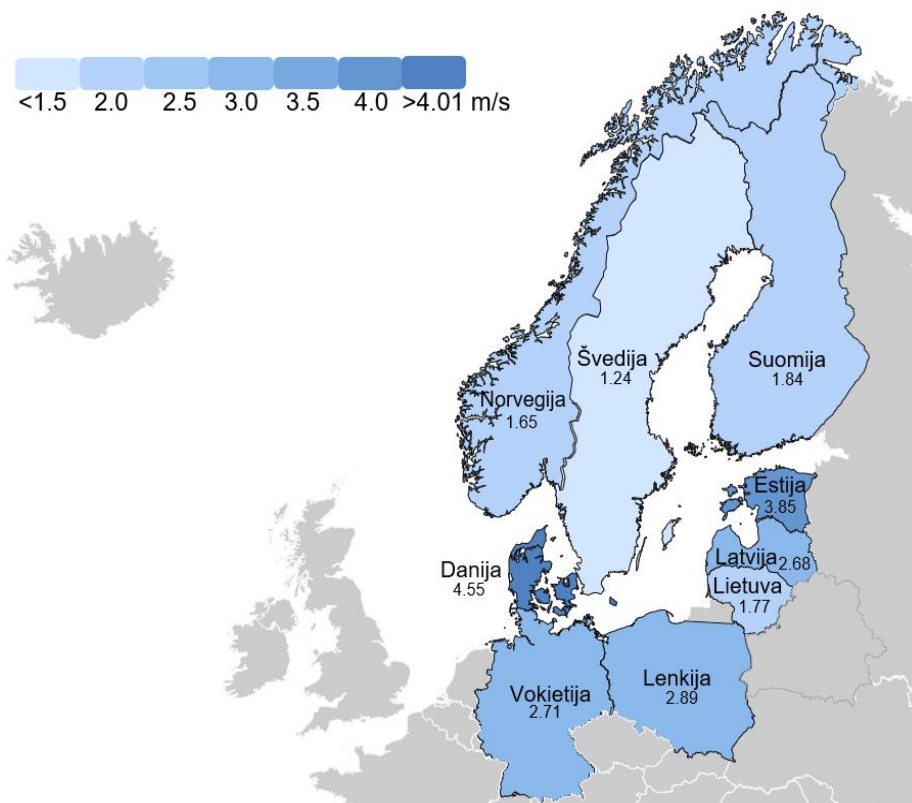
Analogiškai norint susipažinti su vėjo duomenimis buvo paimti vėjo greičių duomenys kiekvienoje šalyje, imti 2019 metų valandiniai duomenys [16]. Imtas 2 metrų aukštyje vėjo greitis m/s. Kaip ir su saulės apšvietos duomenimis analizuojant vėjo greičius imant valandinius duomenis jų buvo per daug, o kadangi vėjo greičiai panašūs, atskirti kiekvienos šalies duomenų nebuvo įmanoma, todėl nuspręsta duomenis imti vidutinius mėnesiui. Jie pateikti 1.8. pav.



1.8. pav. Vėjo greitis Baltijos jūros regiono šalyse 2 m aukštyje

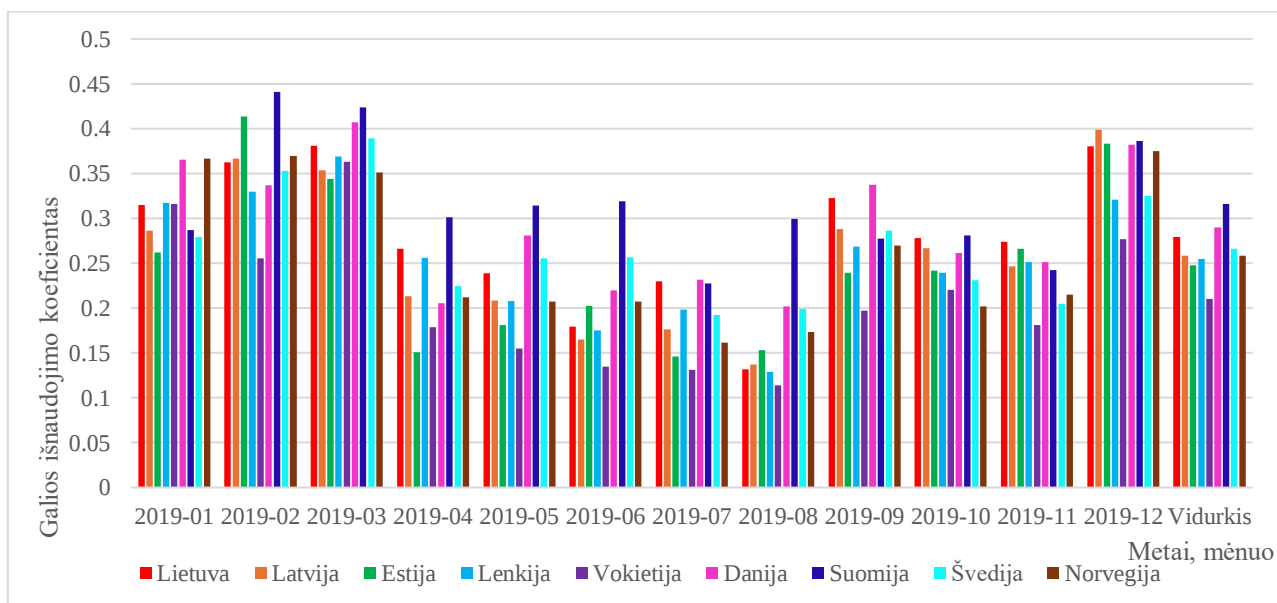
Vertinant vėjo greičių duomenis matoma, kad didžiausias vėjo greitis visus mėnesius, išskyrus vasarį, yra Danijoje, kas ir buvo tikėtasi, nes būtent Danijoje dėl didelių vėjų yra daug vėjo elektrinių. Taip pat matoma, kad kai kurių šalių vėjo greičiai tarpusavyje panašūs, pavyzdžiui Latvijos, Lenkijos ir Vokietijos.

Turint mėnesio vidurkių duomenis, kaip ir saulės atveju, sudarytas žemėlapis su vėjo greičiais imant metų vidurkį (1.9. pav.)



1.9. pav. Vidutiniai vėjo greičiai m/s 2 m aukštyje Baltijos jūros regiono šalyse

Pagal šį žemėlapi, gali susidaryti prielaida, kad geriausias vėjo elektrinių galios išnaudojimo koeficientas turėtų būti Danijoje, Estijoje, Lenkijoje ir Vokietijoje. Hipotezei patvirtinti arba paneigti, imamas vėjo elektrinių galios faktorius, duomenys pateikti 1.10. pav.



1.10. pav. Vėjo elektrinių Baltijos jūros regiono šalyse galios faktorius

Iš sudaryto grafiko matoma, didžiausias galios faktorius buvo Suomijoje, Danijoje, Lietuvoje ir Švedijoje. Tai galima paaiškinti keletu priežasčių – šios šalys turi didesnius priėjimus prie jūros, o jūros vėjas yra stabilesnis nei sausumos. Tokios šalys kaip Suomija ir Švedija daugiau investuoja į vėjo elektrines, kurios gamina elektros energiją iš vidutinio vėjo greičio (turi didesnę galios faktorių prie mažesnio vėjo greičio).

Pagrindinis skirtumas nuo saulės, kurį galima pastebėti analizuojant vėjo elektrinių galios faktoriaus duomenis, tai kad yra tam tikras sezoniškumo faktorius – jeigu saulės apšvietos duomenys didžiausi pavasarį-vasarą, tai vėjo šiuo laikotarpiu (išskyrus kovo mėnesį) yra mažiausi. Tam tikra prasme saulės ir vėjo generacija gali viena kitą „dengti“ skirtingu metų laiku. Be abejo, nėra 100 proc. tikslu, kad nesant vėjui, švies saulė ir atvirkščiai, bet sezoniškumas matomas.

1.5. Tarpvalstybinių jungčių modeliavimas siekiant anglies dioksido neutralumo

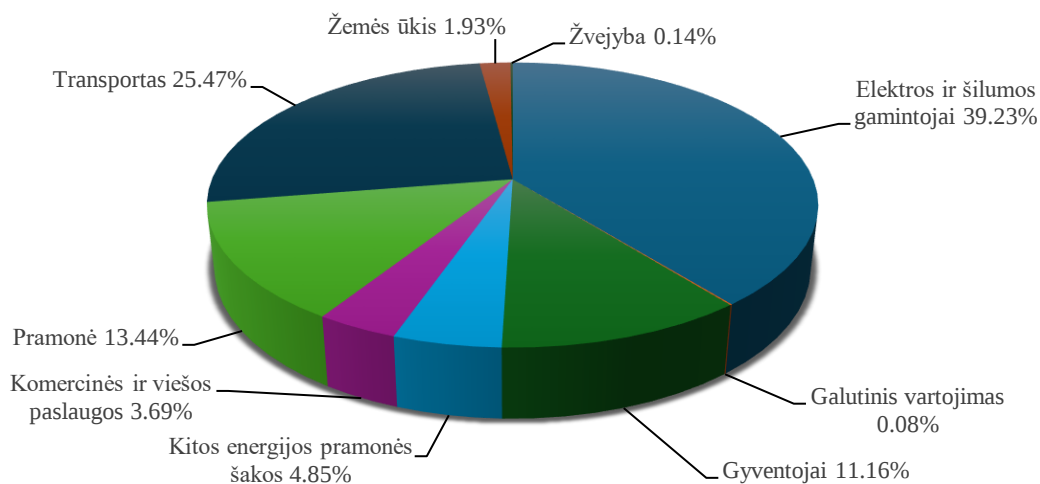
Tarpvalstybinių jungčių plėtra, siekiant sumažinti paliekamą anglies dioksido pėdsaką ir pereiti prie anglies dioksido neutralumo, analizuojama 2023 metais Haein Kim parašytame straipsnyje „Grid interconnections and decarbonization pathways for carbon neutrality of Northeast Asia“ [18]. Nors šis straipsnis analizuoja Šiaurės Rytų Azijos šalis – Kiniją, Pietų Korėją ir Japoniją, šis tyrimas ir jo rezultatai gali būti pritaikomi nagrinėjant ES šalis „Kinija, Pietų Korėja ir Japonija – prisijungė prie pasaulinio anglies dioksido neutralumo judėjimo, šiame tyrime nagrinėjamas tarpvalstybinis elektros energijos perdavimas tarp tų šalių, kurį reikia apsvarstyti siekiant optimalių technologinių kelių, kad būtų pasiektas grynojo nulinio išmetamųjų teršalų kiekio tikslas“.

Kadangi energetikos sektorius vienas iš didesnių CO₂ emisijas generuojančių sektorių, būtent jį vertą tirti siekiant išsiaiškinti kokie veiksmai gali būti atlikti emisijų mažinimui ir galiausiai perėjimo prie nulinių emisijų. Tam, kad būtų galima tirti tarpvalstybines jungtis ir jų svarbą, pirma reikia sužinoti kiekvienos šalies atskirai ir bendrą išmetamų CO₂ emisijų kiekį. Pasinaudojus Tarptautinės energetikos agentūros duomenimis (IEA) rastas 2022 metų duomenimis išmetamų CO₂ emisijų kiekis pagal sektorių ir pagal tai sudarytas grafikas 1.11 pav.

1.1 lentelė. CO₂ emisijų kiekis pagal šalis ir sektorius, MtCO₂

Sektoriai	Lietuva [19]	Latvija [20]	Estija [21]	Lenkija [22]	Vokietija [23]	Danija [24]	Švedija [25]	Suomija [26]	Norvegija [27]	Iš viso pagal sektorių
Elektros ir šilumos gamintojai	1,13	1,00	6,52	140,26	238,06	6,46	6,00	11,88	1,67	412,98
Galutinis vartojimas, nepatikslinta	0,03	0,02	0,00	0,00	0,21	0,08	0,00	0,46	0,09	0,89
Gyventojai	0,80	0,41	0,12	28,15	85,21	1,60	0,50	0,72	0,01	117,52
Kitos energijos pramonės šakos	1,34	0,00	0,07	7,22	23,08	1,58	3,54	2,74	11,48	51,04
Komercinės ir viešos paslaugos	0,29	0,42	0,19	5,95	28,71	0,71	0,71	0,91	0,96	38,83
Pramonė	1,20	0,60	0,32	27,46	88,45	3,82	7,06	6,23	6,36	141,50
Transportas	5,98	3,06	2,47	67,34	140,96	11,14	13,82	9,68	13,74	268,17
Žemės ūkis	0,26	0,46	0,24	8,60	7,29	1,00	0,78	1,31	0,42	20,36
Žvejojba	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,38	0,06	0,10	0,87	1,47

Visų šalių CO₂ emisijos pagal sektorius



1.11. pav. Visų šalių CO₂ emisijos pagal sektorius

Iš grafiko matoma, kad 2022 metų duomenimis beveik 40 proc. CO₂ emisijų susidarė elektros ir šilumos gamintojų sektoriuose. Nagrinėjame straipsnyje šis kiekis buvo daugiau kaip 60 proc. [18]. Tokie skaičiai įpareigoja energetikos sektorių pereiti prie atsinaujinančios energetikos kaip CO₂ negeneruojančios energetikos srities.

Straipsnyje aprašyto tyrimo metu nagrinėti keli scenarijai:

1. kaip keičiasi CO₂ išmetimas pasirinkus energijos generavimą ir vartojimą šalies viduje;
2. kaip keičiasi CO₂ išmetimas pasirinkus energijos generavimą ir vartojimą tiek šalies viduje, tiek vykdant tarpvalstybinį importą ir eksportą;
3. įrašius skirtingas prognozuojamas CO₂ kainas kaip keičiasi generacijos ir importo/eksporto kiekis;
4. nustatyta kokių tinklo pralaidumų reikia įvertinus energijos nuostolius dėl energijos perdavimo;
5. nustatoma kokių išlaidų reikalauja tarpvalstybinių jungčių eksploatacija ir kokios išlaidos reikalingos CO₂ emisijų apmokėjimui ir atliekamas ekonominis palyginimas.

Straipsnio išvados patvirtina darytą prielaidą, kad tarpvalstybinės jungtys padeda sumažinti CO₂ emisijas, nes nepagaminus reikiamo kiekio energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių, ją galima pirkti iš kitos šalies. Taip pat matoma, kad didinant CO₂ emisijų kainą, šalys yra priverstos investuoti į atsinaujinančią energetiką, į tarpvalstybinių jungčių plėtrą, kad pereiti prie nulinių CO₂ emisijų. Ir atlikus palyginimą nustatyta, kad „išlaidos susijusios su perdavimo linijų sąnaudomis padidėja ne daugiau kaip 0,5 %, palyginti su savaiminio generavimo. Procentinio pokyčio dydis mažėja kai už išmetamųjų teršalų kiekį taikomos griežtesnės sankcijos, o tai reiškia, kad perdavimo linijų statybos ir priežiūros išlaidas kompensuoja sutaupytos kitų komponentų sąnaudos“ [18].

Turint omenyje iškeltus dekarbonizacijos tikslus labai svarbu atlikti tokius tyrimus ir modeliuoti įvairius galimus scenarijus ne tik dėl iškeltų tikslų dekarbonizacijai, bet ir siekiant išsiaiškinti skirtingų dedamųjų priklausomybę vienas nuo kito – kaip tarpvalstybinės jungtys gali prisidėti prie dekarbonizacijos, kokia tarpvalstybinių jungčių plėtra turi būti atsižvelgiant į elektros vartojimo pokyčius ir kt.

2. Baltijos jūros regiono valstybių energetikos sistemos ir jų perspektyvinė plėtra

2.1 Lietuvos elektros energijos sektorius

Lietuva, kol dar neveikė sinchroniniai kompensatoriai, buvo labai priklausanti nuo importo. 2022 metų duomenimis 67,8% elektros energijos buvo importuota. Bendrai elektros energijos importas didėjo nuo 2000 iki 2023 metų ir pasiekė 112% [28]. 2023 m. metais 42,4% bendros elektros energijos generacijos sudarė vėjo elektrinės, 16,5% hidroelektrinės, 11,5% saulės elektrinės, o 8,9% biokuro kogeneracinės elektrinės.

2.1. lentelė. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [28], [29].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Biokuras	0,0	0,0	0,14	0,40	0,52	0,54	0,55	0,53
Branduolinė energija	8,42	10,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gamtinės dujos	1,62	3,02	3,19	2,00	1,70	1,22	0,51	0,58
Hidro energija	0,64	0,82	1,30	1,02	1,08	1,09	1,02	0,99
Naftos produktai	0,66	0,40	0,65	0,28	0,12	0,10	0,38	0,21
Saulė	0,0	0,0	0,0	0,07	0,07	0,19	0,34	0,69
Vėjas	0,0	0,0	0,22	0,81	1,55	1,36	1,51	2,54
Atliekos	0,09	0,20	0,25	0,27	0,21	0,19	0,06	0,02
Poreikis	6,20	7,98	8,33	9,34	10,36	11,15	10,66	10,22

Europos elektros energijos perdavimo sistemos operatorių grupės (toliau ENTSO-E) duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Lietuvoje siekė 5288 MW [30].

2.2 lentelė. Lietuvoje instaliuota elektrinių galia, MW

Sausumos vėjo elektrinės	1288
Hidroelektrinės	1029
Saulės elektrinės	1165
Gamtinių dujų elektrinės	1503
Biomasės elektrinės	196
Atliekų elektrinės	70
Kitos elektrinės	37

Lietuvos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Lenkija LitPol Link 500 MW;
- Su Švedija NordBalt 700 MW;
- Su Latvija 1199 MW;
- Su Lenkija Harmony Link 700 MW (įrengiama).

Nauja Harmony Link jungtis bus pabaigta ir prijungta 2025 m. pabaigoje.

Lietuvos energetinė nepriklausomybė vertinama 27,1%, o CO₂ emisijos asmeniui 4,11 tCO₂ [32].

2.2. Latvijos elektros energijos sektorius

Latvijoje, priešingai nei Lietuvoje, elektros energijos importas 2023 m. duomenimis sudarė mažesnę dalį – 12,8%. 59,4% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš hidroelektrinių, 22,3% gamtinių dujų elektrinių ir 10,3% biokuro elektrinių [33].

2.3 lentelė. Latvijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [33], [34].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Biokuras	0,0	0,04	0,07	0,77	0,86	0,86	0,80	0,66
Gamtinės dujos	1,13	1,49	2,99	2,76	2,08	2,13	1,21	1,42
Hidro energija	2,82	3,33	3,52	1,86	2,60	2,71	2,75	3,79
Naftos produktai	0,11	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saulė	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,04	0,24
Vėjas	0,0	0,05	0,05	0,15	0,18	0,14	0,19	0,27
Poreikis	4,48	5,73	6,22	6,46	6,52	6,74	6,46	6,27

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Latvijoje siekė 3305 MW [35].

2.4 lentelė. Latvijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Sausumos vėjo elektrinės	136
Hidroelektrinės	1558
Saulės elektrinės	303
Gamtinių dujų elektrinės	1112
Biomosės elektrinės	166

Latvijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Estija 1259/1447 MW;
- Su Lietuva 1199 MW.

Latvijos energetinė nepriklausomybė vertinama 63,9%, o CO₂ emisijos asmeniui 5,36 tCO₂ [36].

2.3. Estijos elektros energijos sektorius

Estijoje elektros energijos importas 2023 m. duomenimis buvo didesnis nei Latvijos – 46,3%. 44,6% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš anglų deginančių elektrinių, 28,3% biokuro elektrinių, o 12% vėjo elektrinių [37].

2.5. lentelė. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [37], [38].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Biokuras	0,01	0,04	0,74	0,76	1,78	1,71	1,52	1,61
Gamtinės dujos	0,60	0,54	0,30	0,06	0,03	0,04	0,03	0,02
Hidro energija	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Naftos produktai	0,06	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04	0,03	0,02
Saulė	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,35	0,56	0,63
Vėjas	0,0	0,05	0,28	0,72	0,84	0,73	0,67	0,68
Anglis	7,84	9,52	11,58	8,40	2,99	4,16	5,90	2,53
Atliekos	0,0	0,0	0,0	0,13	0,15	0,15	0,14	0,16
Poreikis	5,02	6,04	6,91	6,85	7,18	7,88	7,14	6,00

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Estijoje siekė 2877 MW [39].

2.6. lentelė. Estijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Sausumos vėjo elektrinės	447
Saulės elektrinės	812
Naftos skalūnų elektrinės	1330
Atliekų elektrinės	17
Gamtinių dujų elektrinės	15
Iš akmens anglių gaunamų dujų	78
Biomasės elektrinės	150
Kitos elektrinės	20

Estijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Latvija 1259/1447 MW;
- Su Suomija 1016 MW.

Estijos energetinė nepriklausomybė vertinama 99,6%, o CO₂ emisijos asmeniui 6,50 tCO₂ [40].

2.4. Lenkijos elektros energijos sektorius

Lenkija, priešingai nei anksčiau minėtos šalys yra elektros energijos eksportuotoja. Eksportas 2023 m. sudarė 2,8%. 60,3% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš anglį deginančių elektrinių, 14% vėjo elektrinių, o 10,2% gamtinių dujų [41].

2.7. lentelė. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [41], [42].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	0,93	5,17	4,80	6,39	17,29	15,82	11,82	16,98
Hidro energija	4,12	3,78	3,49	2,44	2,94	3,10	3,02	3,73
Naftos produktai	1,92	2,76	2,89	2,12	1,75	2,00	2,43	2,23
Biokuras	0,22	1,51	6,30	9,94	8,17	7,71	6,99	7,79
Saulė	0,0	0,0	0,0	0,06	1,96	3,93	8,14	11,34
Vėjas	0,01	0,14	1,66	10,86	15,80	16,23	19,45	23,25
Anglis	137,92	143,25	138,38	132,96	109,37	129,81	125,55	100,29
Atliekos	0,08	0,04	0,05	0,08	0,68	0,93	0,77	0,73
Kiti	0,0	0,30	0,08	0,12	0,09	0,08	0,10	0,05
Poreikis	98,07	105,01	118,69	127,82	137,32	143,69	139,86	133,33

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Lenkijoje siekė 60756 MW [43].

2.8. lentelė. Lenkijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Akmens anglies elektrinės	18687
Sausumos vėjo elektrinės	9628
Lignito elektrinės	7548
Hidroelektrinės	2382
Saulės elektrinės	14282
Gamtinių dujų elektrinės	5143
Iš akmens anglių gaunamų dujų elektrinės	281
Naftos elektrinės	393
Biomasės elektrinės	678
Kitos elektrinės	1734

Lenkijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Lietuva LitPol Link 500 MW;
- Su Švedija 600 MW;
- Su Vokietija 2000 MW.

Lenkijos energetinė nepriklausomybė vertinama 57,3%, o CO₂ emisijos asmeniui 7,94 tCO₂ [44].

2.5. Vokietijos elektros energijos sektorius

Vokietija, kaip ir Lenkija elektros energiją eksportuoja. Eksportas 2023 m. sudarė 1,9%. 26,6% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš anglį deginančių elektrinių, 27% vėjo elektrinių, o 17,1% gamtinių dujų [45].

2.9. lentelė. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [45], [46].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	52,50	73,96	90,35	63,02	96,29	95,13	91,70	89,12
Atominė energija	169,61	163,06	140,56	91,79	64,38	69,13	34,71	7,22
Hidro energija	25,96	26,42	27,35	24,90	25,28	24,97	23,57	25,35
Naftos produktai	4,79	12,0	8,74	6,21	4,69	4,58	4,85	4,49
Biokuras	2,49	11,46	29,18	44,56	45,11	41,11	41,59	39,80
Saulė	0,06	1,28	11,73	38,73	49,50	49,34	60,79	61,54
Vėjas	9,35	27,77	38,55	80,62	132,10	114,65	125,29	140,54
Anglis	304,16	297,75	273,46	283,71	143,70	175,01	193,50	138,40
Atliekos	7,63	6,50	11,10	12,82	12,54	12,52	12,09	12,16
Geoterminė energija	0,0	0,0	0,03	0,13	0,23	0,24	0,25	0,21
Kiti	0,0	2,92	2,08	1,82	1,65	1,67	1,15	1,19
Poreikis	483,45	522,41	532,02	514,95	482,23	499,74	477,20	453,59

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Vokietijoje siekė 242151 MW [47].

2.10. lentelė. Vokietijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Akmens anglies elektrinės	12966
Sausumos vėjo elektrinės	59915
Lignito elektrinės	18363
Geoterminės elektrinės	56
Hidroelektrinės	14577
Jūrinės vėjo elektrinės	8386
Saulės elektrinės	73821
Atliekų elektrinės	1808
Gamtinių dujų elektrinės	36255
Iš akmens anglių gaunamų dujų elektrinės	1257
Naftos elektrinės	4118
Biomasės elektrinės	8641
Iš kitų atsinaujinančių šaltinių elektrinės	358
Kitos elektrinės	1630

Vokietijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Norvegija 1444 MW;
- Su Danija 2500 MW ir 985 MW;
- Su Švedija 615 MW;
- Su Lenkija 2000 MW.

Vokietijos energetinė nepriklausomybė vertinama 33,9%, o CO₂ emisijos asmeniui 6,74 tCO₂ [48].

2.6. Danijos elektros energijos sektorius

Danija elektros energiją importuoja. Importas 2023 m. sudarė 10,4%. 57,6% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš vėjo elektrinių, 16,2% biokuro elektrinių, o 9,9% saulės elektrinių [49].

2.11. lentelė. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [49], [50].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	8,77	8,78	7,91	1,82	1,18	1,54	1,02	1,00
Hidro energija	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Naftos produktai	4,44	1,38	0,77	0,32	0,26	0,26	0,33	0,31
Biokuras	0,62	2,18	3,68	3,26	4,98	7,75	6,25	5,51
Saulė	0,0	0,0	0,01	0,60	1,18	1,31	2,20	3,36
Vėjas	4,24	6,61	7,81	14,13	16,33	16,05	18,87	19,54
Anglis	16,67	15,46	17,01	7,11	3,06	4,67	4,43	2,52
Atliekos	1,24	1,44	1,66	1,67	1,72	1,77	1,85	1,68
Kiti	0,04	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Poreikis	32,46	33,46	32,06	30,81	30,26	32,25	30,81	30,41

ENTSO-E duomenimis 2023 m. įrengtoji elektrinių galia Danijoje siekė 17168 MW [51].

2.12. lentelė. Danijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Akmens anglies elektrinės	3022
Sausumos vėjo elektrinės	4711
Hidroelektrinės	5
Jūrinės vėjo elektrinės	2306
Saulės elektrinės	2322
Atliekų elektrinės	385
Gamtinių dujų elektrinės	1568
Naftos elektrinės	959
Biomasės elektrinės	1754
Iš kitų atsinaujinančių šaltinių elektrinės	136

Danijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Norvegija 1632 MW;
- Su Švedija 1700, 715 MW;
- Su Vokietija 2500 ir 1000 MW.

Danijos energetinė nepriklausomybė vertinama 60,7%, o CO₂ emisijos asmeniui 4,40 tCO₂ [52].

2.7. Švedijos elektros energijos sektorius

Švedija elektros energiją eksportuoja. Eksportas 2023 m. sudarė 17,2%. 40% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš hidroelektrinių, 29,1% atominių elektrinių, o 20,5% vėjo elektrinių [53].

2.13. lentelė. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [53], [54].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	0,46	0,59	2,88	0,43	0,10	0,28	0,20	0,22
Atominė energija	57,32	72,38	52,17	56,35	49,20	52,97	51,94	48,29
Hidro energija	78,62	72,87	66,50	75,44	72,44	73,93	70,30	66,34
Naftos produktai	1,53	1,38	1,77	0,25	0,14	0,35	0,45	0,26
Biokuras	4,0	6,97	10,48	9,02	9,53	11,27	9,44	8,56
Saulė	0,0	0,0	0,01	0,10	1,05	1,53	1,96	3,10
Vėjas	0,46	0,94	3,49	16,32	27,53	27,24	33,09	34,07
Anglis	2,54	1,93	2,68	1,26	0,66	0,75	0,66	0,53
Atliekos	0,34	1,39	2,92	2,95	3,19	3,49	5,17	4,46
Poreikis	128,73	130,70	131,22	124,86	122,99	127,53	122,27	120,32

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Švedijoje siekė 49700 MW [55].

2.14. lentelė. Švedijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Atominės elektrinės	6900
Sausumos vėjo elektrinės	16700
Hidroelektrinės	16300
Saulės elektrinės	3200
Kitos elektrinės	6600

Švedijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Norvegija 700, 250, 600, 2145 MW;
- Su Suomija 1100, 1200 MW;
- Su Lietuva 700 MW;
- Su Lenkija 600 MW;
- Su Vokietija 615 MW;
- Su Danija 1700, 715 MW.

Švedijos energetinė nepriklausomybė vertinama 78,5%, o CO₂ emisijos asmeniui 3,55 tCO₂ [56].

2.8. Suomijos elektros energijos sektorius

Suomija elektros energiją importuoja. Importas 2023 m. sudarė 2,3%. 42,3% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš atominių elektrinių, 18,7% hidroelektrinių, o 18,1% vėjo elektrinių [57].

2.15. lentelė. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [57], [58].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	10,13	11,23	11,26	5,20	3,99	3,83	1,04	0,67
Atominė energija	22,48	23,27	22,8	23,25	23,29	23,60	25,34	34,31
Hidro energija	14,66	13,78	12,92	16,77	15,88	15,79	13,49	15,20
Naftos produktai	0,59	0,5	0,48	0,21	0,20	0,17	0,21	0,18
Biokuras	8,53	9,25	10,68	10,95	11,08	13,0	11,9	10,92
Saulė	0,0	0,0	0,01	0,01	0,22	0,3	0,38	0,65
Vėjas	0,08	0,17	0,29	2,33	8,26	8,51	12,02	14,69
Anglis	13,14	11,69	21,41	8,79	5,18	5,59	6,45	3,32
Atliekos	0,18	0,44	0,51	0,86	0,96	1,09	1,12	0,93
Kiti	0,19	0,25	0,31	0,25	0,23	0,26	0,24	0,26
Poreikis	75,69	80,75	83,51	78,50	76,90	82,09	76,87	74,16

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Suomijoje siekė 22051 MW [59].

2.16. lentelė. Suomijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Durpių elektrinės	1044
Atominės elektrinės	4364
Akmens anglies elektrinės	1410
Sausumos vėjo elektrinės	6618
Hidroelektrinės	3173
Saulės elektrinės	27
Atliekų elektrinės	87
Gamtinių dujų elektrinės	1742
Naftos elektrinės	1051
Biomasės elektrinės	1695
Iš kitų atsinaujinančių šaltinių elektrinės	392
Kitos elektrinės	448

Suomijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Švedija 1100, 1200 MW;
- Su Estija 1016 MW.

Suomijos energetinė nepriklausomybė vertinama 61,3%, o CO₂ emisijos asmeniui 6,46 tCO₂ [60].

2.9. Norvegijos elektros energijos sektorius

Norvegija elektros energiją eksportuoja. Eksportas 2023 m. sudarė 11,5%. 89,1% visos generacijos šalies viduje sudarė elektros energija iš hidroelektrinių, o 9% vėjo elektrinių [61].

2.17. lentelė. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh [61], [62].

	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
Gamtinės dujos	0,21	0,38	4,80	2,21	1,60	0,31	1,15	1,53
Hidro energija	142,29	136,45	117,15	138,45	142,47	144,37	129,37	137,97
Naftos produktai	0,01	0,02	0,10	0,42	0,22	0,40	0,18	0,01
Biokuras	0,23	0,29	0,26	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Saulė	0,0	0,0	0,0	0,0	0,08	0,11	0,17	0,36
Vėjas	0,03	0,50	0,88	2,52	9,91	11,77	14,81	13,97
Anglis	0,07	0,13	0,14	0,15	0,18	0,19	0,16	0,15
Atliekos	0,06	0,09	0,19	0,44	0,40	0,36	0,39	0,41
Kiti	0,08	0,15	0,13	0,33	0,29	0,38	0,46	0,46
Poreikis	109,53	110,73	113,57	111,53	116,19	122,26	114,95	115,32

ENTSO-E duomenimis 2024 m. įrengtoji elektrinių galia Norvegijoje siekė 40452 MW [63].

2.18. lentelė. Norvegijoje instaliuota elektrinių galia, MW

Sausumos vėjo elektrinės	5133
Hidroelektrinės	34600
Saulės elektrinės	9
Atliekų elektrinės	92
Gamtinių dujų elektrinės	473
Biomasės elektrinės	14
Iš kitų atsinaujinančių šaltinių elektrinės	100
Kitos elektrinės	31

Norvegijos jungtys su kitomis šalimis [31]:

- Su Švedija 700, 250, 600, 2145 MW;
- Su Danija 1632 MW;
- Su Vokietija 1444 MW.

Norvegijos energetinė nepriklausomybė vertinama 100%, o CO₂ emisijos asmeniui 6,14 tCO₂ [64].

3. Tarpvalstybinių elektros jungčių Baltijos jūros regione modeliavimas

3.1. Tyrimo objektas

Šiame tyrime nagrinėjamos 9-ios Baltijos jūros regiono valstybių elektros energetikos sistemos (Lietuva, Latvija, Estija, Lenkija, Vokietija, Danija, Švedija, Suomija, Norvegija) ir tarpvalstybinių jungčių plėtra iki 2050 m.

3.2. Naudojama programinė įranga

Norint ištirti tyrimo objekto šalių tarpvalstybinių jungčių plėtrą įtraukiant išskeltus dekarbonizacijos tikslus, tinkamiausia naudoti matematinį optimizacinį modelį. Naudojant tokį modelį galima imituoti įvairius scenarijus, kurie gali įvykti siekiant dekarbonizacijos tikslų – įrengtų arba naujai įrengiamų elektrinių galios pasikeitimus, tinklo pralaidumus, vartotojų vartojimo pokyčius, CO₂ emisijų kainas ir kt. Modeliui sudaryti ir optimizaciniam uždaviniui išspręsti pasirinkta MESSAGE programinė įranga dėl tokių savo privalumų:

- Bendro modelio kūrimas visoms pasirinktoms Baltijos jūros regiono šalims, o ne kiekvienos šalies atskirai, nurodant šalių tarpusavio ryšius (jungtis);
- Pasirinktų šalių elektros energijos sistemų aprašymas nurodant tiek dabartinę sistemą, tiek įtraukiant būsimus planus;
- Ne tik elektros energijos sistemų modeliavimas, bet ir galimybė pridėti taikomus apribojimus CO₂ emisijoms, taip pat modeliuojant skirtingais scenarijais galimybė pridėti ir koreguoti CO₂ emisijų kainas skirtingais metais, kainų pokyčius;
- Modelis gali būti kuriamas ilgam laikotarpiui vertinant būsimus pokyčius visam laikotarpiui, o ne kiekvieniems metams atskirai;
- Didelio ir sudėtingo modelio kūrimas ir didelio kiekio informacijos apdorojimas viename modelyje;
- Nereikia įsigyti licencijos naudojimuisi programine įranga.

Taip pat šiame darbe pasirinkta naudoti MESSAGE programinę įrangą, nes ji plačiai naudojama energetikos sektoriuose atliekant įvairius tyrimus;

- Baltijos šalių energetikos plėtros analizei – tyrimas apėmė Baltijos šalių trumpalaikės ir ilgalaikės energijos paklausos ir tiekimo galimybių analizę [65];
- Tarptautinė atsinaujinančios energijos agentūra (angl. *IRENA*) naudoja MESSAGE programinę įrangą su SPLAT papildiniu Afrikos elektros energijos sistemos pajėgumų plėtros vaizdavimui penkių Afrikos energijos telkinių šalyse [66];
- „REEEM projekto metu MESSAGE modelis naudojamas atvejo analizei „Baltijos regiono ir Suomijos regioninis energetinis saugumas“. Šiuo tikslu sukurtas matematinis modelis MESSAGE-BALFIN daug išsamiau nei daugelis Europos lygio modelių atspindi Baltijos šalių ir Suomijos energetikos sistemų ypatumus. Pagrindinis dėmesys skiriamas energetikos ir centralizuoto šildymo sistemoms“ [67].

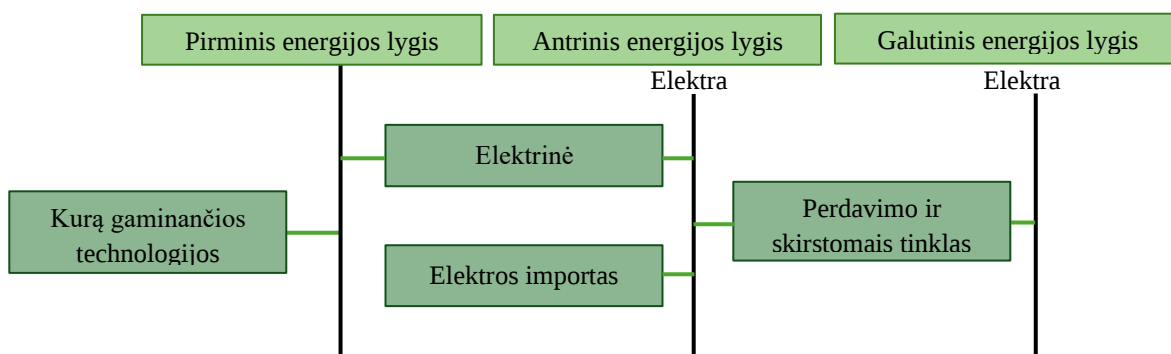
3.3. Modeliavimas taikant MESSAGE programinę įrangą

3.3.1. Energijos tiekimo grandinės modeliavimas

MESSAGE programine įranga modelis sudaromas grandinės principu – nurodant skirtingas energijos rūšis ir technologijas, kurios generuoja elektros energiją iš atitinkamų kuro rūšių. Modelyje naudojama toliau pateikta energijos lygių ir formų struktūra:

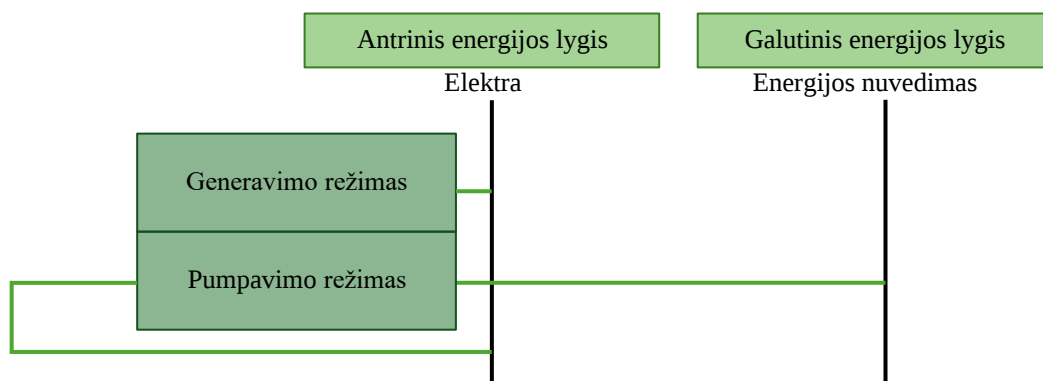
- Pirminiame energijos lygyje nurodoma kuro rūšis:
 - ❖ Akmens anglis
 - ❖ Atliekos
 - ❖ Biokuras
 - ❖ Branduolinis kuras
 - ❖ Durpės
 - ❖ Gamtinės dujos
 - ❖ Naftos produktai
 - ❖ Rusvoji anglis
 - ❖ Skalūnai
- Antriniame energijos lygyje nurodoma energijos forma, kuri gaunama po konversijos:
 - ❖ Elektros energija
- Galutiniame energijos lygyje nurodoma energijos forma, kuri pasiekia galutinį vartotoją:
 - ❖ Elektros energija
 - ❖ Energijos nuvedimas. Ši energijos forma reikalinga hidroakumuliacinių elektrinių modeliavimui

Kadangi modelis kuriamas elektros energijos generacijai analizuoti, modelio principas paprastas, imama kuro rūšis iš pirminės energijos rūšies ir generuoja antrinio lygio elektros energiją. Pirmą ir antrą lygius jungia elektrinės. 3.1. pav. ji pavaizduota viena, tačiau realiaame modelyje bus nurodomos skirtingos elektrinių rūšys sujungiant jas su atitinkamomis kuro rūšimis.



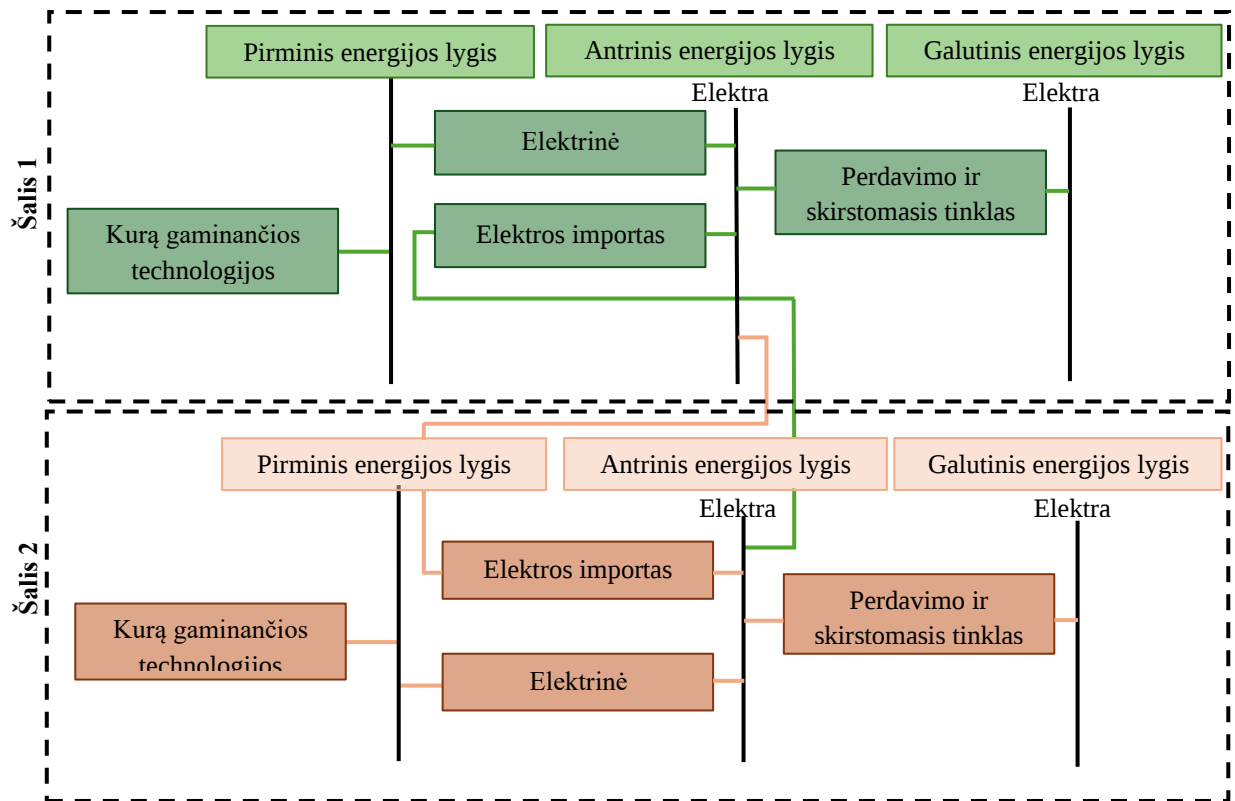
3.1. pav. Modelio schema

Šiek tiek kitokia situacija yra su hidroakumuliacinėmis elektrinėmis, nes joms pirminio lygio energijos nėra. Nėra ir sujungimo su pirminiu energijos lygiu, kuro rūšimi, bet elektros generavimas yra vykdomas. 3.2. pav. pavaizduotas energijos nuvedimas – kadangi atliekant vandens pumpavimą iš žemutinio į aukštutinį baseiną reikalinga elektros energija, ji bus imama iš galutinio energijos lygio ir po to sugeneruota elektros energija perduodama į antrinį lygį, iš kurio per perdavimo ir skirstomuosius tinklus perduodama galutiniam vartotojui.



3.2. pav. Hidroakumuliacinės elektrinės modelio schema

Tačiau modeliuojant hidroakumuliacinės elektrinės modelį, tam kad modelis fiksuotų generavimą reikia sukurti saugyklą, kurioje saugomas atitinkamas elektros energijos kiekis. Kadangi talpyklų (baseinų), kurių vandens pagalba yra generuojama elektros energija, dydžiai skiriasi priklausomai nuo elektrinių dydžių, vietovės, kurioje ji pastatyta, nuspręsta parinkti talpyklos dydį pagal Lietuvos hidroakumuliacinę elektrinę. Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė esant avarijai gali elektros energiją tiekti iki 12 val. šalies suvartojimo [68], tad šis skaičius parinktas ir kitoms šalims. Turint omenyje, kad hidroakumuliacinė elektrinė turi palaikyti 12 val. energijos kiekį nuolat, modelis kuriamas su mintimi, kad išnaudojus atitinkamą kiekį elektros energijos vandens pumpavimui, trūkstamas kiekis turi būti grąžinamas į saugyklą. Priimama, kad sugeneruota elektros energija grąžinama ją sumažinus 1,33 karto (hidroakumuliacinių elektrinių efektyvumas gali būti tarp 70-80% todėl priimtas 75% efektyvumas). Turint konkrečios šalies modelį galimi du variantai – sukuriami likusių šalių modeliai atskirai ir nagrinėjamos šalių sistemas atskirai arba kuriamas bendras tarpusavyje susietų šalių modelis ir optimizacinis modelis kuriamas kaip vienas bendrai visai energetikos sistemai. Pirmas variantas nėra tinkamas, nes kiekviena šalis turi tarpvalstybines jungtis, kuriomis yra importuojama ir eksportuojama elektros energija. Toks modelis neatitiktų realios situacijos, o ir anksčiau nustatyta, kad kiekviena šalis nebūtinai gali pasigaminti reikiamą elektros energijos kiekį šalies viduje priimant, kad generuojama elektros energija turi būti „švari“, t. y. neišskirianti CO₂. Šiuo atveju pasirenkamas antras variantas, kai modeliai tarpusavyje sujungti, kaip pavaizduota 3.3. pav.



3.3. pav. Tarpusavyje sujungtų šalių importo schema

Modelyje sukūrus reikiamą šalių skaičių, kiekvienai iš jų aprašoma pagrindinė informacija – įrašoma diskonto norma (vakarų šalims diskonto norma numatoma tarp 4-5%, todėl kiekvienai šaliai parenkama 5% diskonto norma). Toliau nurodomi metai, kuriems modeliuojama. Kadangi modelis priima tik didėjančių intervalų metus parenkami tokie metai 2022, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 ir 2050. Toliau apsirąšomos energijos formos 3.4. pav.

level name (double click to show fuels)	id	description
Final	F	Final energy level
Secondary	S	Secondary energy level
Primary	P	Primary energy level
Resources	R	Resource energy level

3.4. pav. Energijos formos MESSAGE programoje

Toliau kiekvienai energijos formai apsirrašoma:

- Resources (liet. Ištekliai) – ištekliai, kurie išgaunami šalies viduje;
- Primary (liet. Pirminė) – energijos rūšis, kuri importuojama;
- Secondary (liet. Antrinė) – energijos rūšis, kuri gaunama po konversijos;
- Final (liet. Galutinė) – energijos rūšis, kuri perduodama vartotojui.

Toliau apsirrašomas energijos poreikis. Skiltyje „Demand“ (liet. Poreikis). Poreikio skiltyje pasirenkama, kad yra galutinės energijos poreikis, pasirenkame, kad bus pastovus augimas, nurodomas energijos kiekis ir koks prieaugis kiekvienais metais. **Pastaba:** MESSAGE programoje kiekis matuojamas MWyr (megavatmetės), tad reikiamas MWh kiekis turi būti perskaičiuojamas į MWyr. Šis perskaičiavimas atliekamas visame modelyje.

$$\text{Megavatmetės MWyr} = \text{Megavatvalandės MWh} / 365 \text{ dienos} / 24 \text{ valandos}; \quad (1)$$

Išnagrinėjus elektros energijos poreikio kitimą kiekvienai šaliai pradedant nuo 2022 (bazinių metų) parenkamas procentas, kuriuo pastoviai kis elektros energijos poreikis perskaičiuotas į megavatmetes, pavyzdžiui pagal 2.1. lentelėje pateiktus duomenis Lietuvai pasirinktas 5% elektros energijos poreikio kitimas.

Toliau pereinama prie išteklių apsirrašymo. Pasirenkami turimi ištekliai ir juos papildomai galima apriboti nurodant kiek megavatmečių per metus gali būti maksimaliai ar kiek minimaliai gali būti sunaudojama. Šiame modelyje šis kiekis neribojamas, nes iki 2050 metų resursai nebus išnaudoti.

3.3.2. Elektros energiją gaminančių technologijų modeliavimas

Apsirašant technologijas, jų parametrai yra skirstomi į dvi grupes. Pirmojoje grupėje nurodoma su technologijos veikla susijusi informacija, o antroje grupėje su galia.

Veiklos parametrai:

- Įėjime nurodoma energijos rūšis, kurią technologija naudoja;
- Išėjime nurodoma energijos rūšis, kurią technologija generuoja;
- Naudingumo koeficientas;
- Kintamieji kaštai;
- Laiko kreivės – tai labai aktualu saulės ir vėjo elektrinėms;
- Apribojimai – galima nurodyti minimalią ir maksimalią ribą technologijos veiklai, apribojimus emisijoms ir pan.

Galios parametrai:

- Technologijų pirmi ir paskutiniai naudojimo metai;
- Galios faktorius;
- Technologijos minimalaus panaudojimo reikšmė;
- Technologijos gyvavimo trukmė – kiek metų elektrinė veiks nuo pastatymo;
- Investicijos 1 kW galios pastatyti;
- Pastovūs kaštai;
- Istorinė galia – kokia galia instaliuota iki nagrinėjamo laikotarpio pradžios;
- Minimali ir maksimali galia;

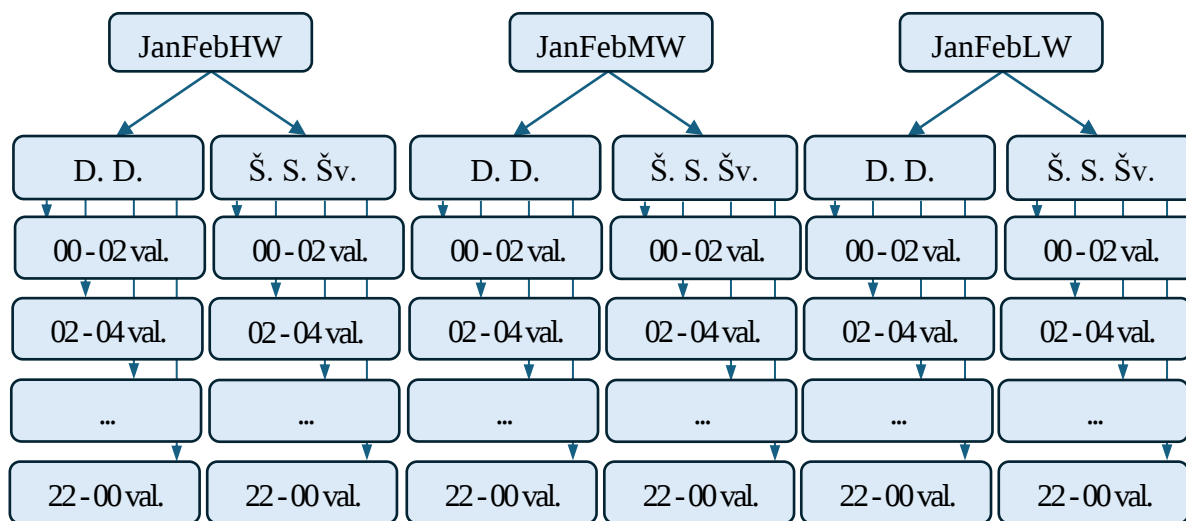
- Statomo technologijos vieneto galia;
- Apribojimai – galima nurodyti minimalią ir maksimalią ribą naujai instaliuotai galiai, suminiai galiai ir pan.

Technologijų parametrai parinkti ir pateikti 1 priede.

3.3.3. Laiko intervalų nustatymas

Programoje turi būti parenkami laiko periodai, kuriems atliekamas modeliavimas. Laiko intervalais modeliuojami metai išskirstomi į sezonus, kurių gali būti iki 53 (kas savaitinis modelis). Galimas ir dienų pasirinkimas modelyje nuo pirmadienio iki sekmadienio. Nurodant skirtingus laiko intervalus modeliavimas yra tikslesnis, tačiau modeliui apskaičiuoti juos reikia daugiau laiko.

Modelyje pasirinkta modeliuoti metus nuo 2022 iki 2050 sekančiais intervalais: 2022, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 ir 2050. Kiekvienai metų išskirstoma į 6 sezonus, kas du mėnesius, ir kiekvieną sezoną išskiriant į tris dalis, kai vėjai aukšti, vidutiniai, žemi, o savaitė skirstoma į darbo dienas ir savaitgalius su šventinėmis dienomis. Šis segmentavimas pasirinktas, kadangi darbo dienų (1 grupės) ir savaitgalio bei šventinių dienų (2 grupė) suvartojimas skiriasi. Diena skirstoma į 12 intervalų lygiomis dalimis po 2 valandas, tam kad būtų įvertinta atsitiktinė generacija, kuri kaip minėta labai aktuali saulės ir vėjo generacijai įvertinti. Tam, kad modelis nebūtų apkrautas kiekvienos dienos skaičiavimu, nuspręsta padaryti grupavimą kaip pavaizduota 3.5. pav. Paveikslėlyje nurodytas vieno sezono pavyzdys, toks grupavimas taikomas visiems šešiems sezonams.

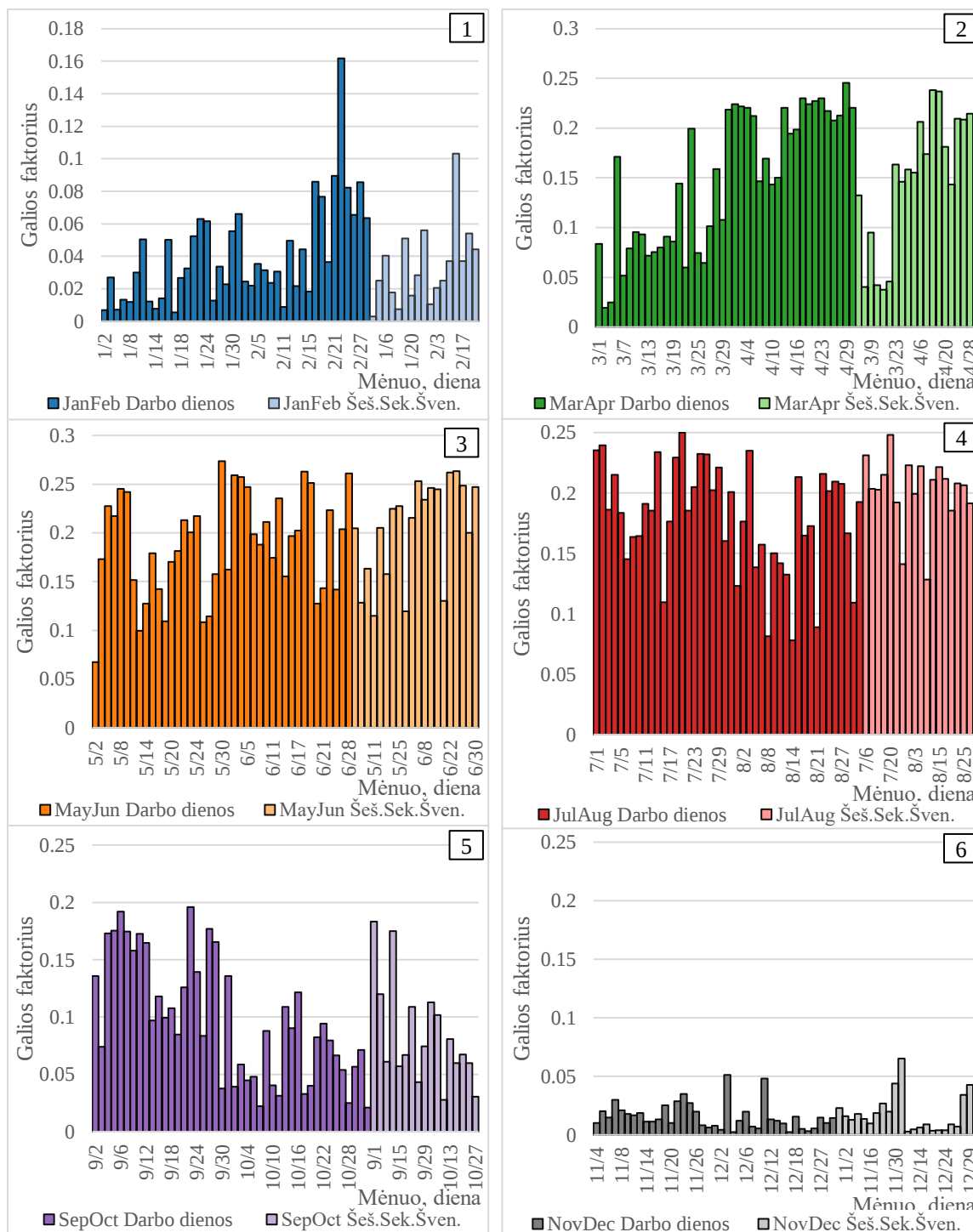


3.5. pav. Modelio laiko intervalai

3.3.4. Generacija iš AEI pagal laiko intervalus

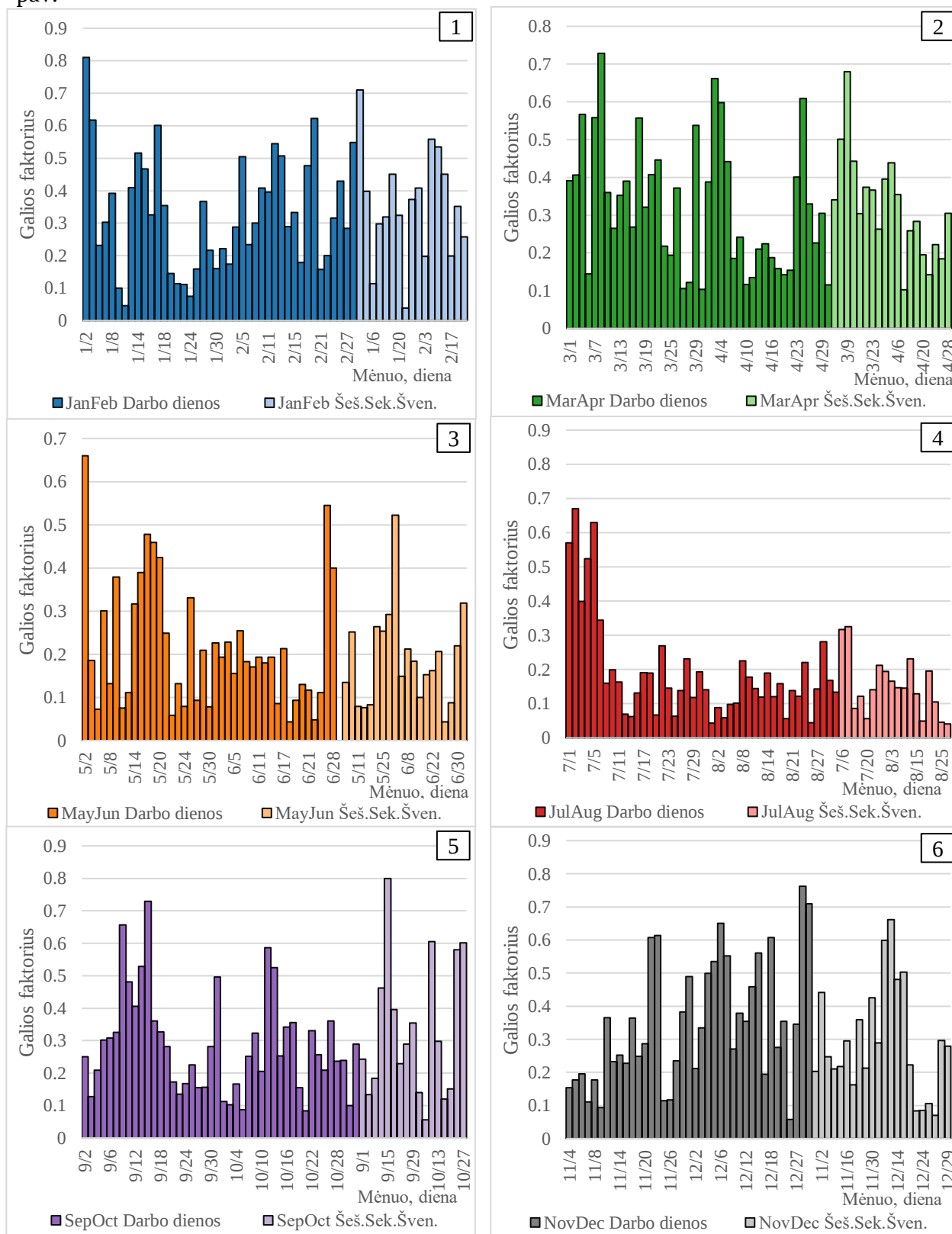
Atsinaujinančių energijos išteklių generacija yra puikus būdas pasiekti nulines CO₂ emisijas, tačiau tokia elektros energijos gamyba yra nepastovi. Saulei šviečiant ar vėjui pučiant skirtingu intensyvumu ir greičiu kasdien labai sunku prognozuoti gaminamą elektros energijos kiekį. Būtent dėl šios priežasties iš dalies vis dar skeptiškai žiūrima į atsinaujinančią energetiką. Šią problemą padeda spręsti tokio tipo elektrinės, kurios esant poreikiui greitai galėtų trūkstamą energijos kiekį generuoti nepriklausomai nuo sezono ar oro sąlygų (anglies, hidroakumuliacinės elektrinės ir pan.) arba trūkstamas kiekis perkamas biržoje tos pačios dienos (angl. *Intraday*) rinkoje.

1.4. skyriuje nurodyti saulės apšvietos ir vėjo greičių duomenys kiekvienai modeliuojamai šaliai, tačiau duomenys imti apibendrinti palyginimui. Siekiant atlikti detalesnius skaičiavimus imti 2019 metų duomenys [16] tik išskaidymas atliktas į modelyje taikomus sezonus ir į savaitės dalis (darbo dienos ir savaitgalis-sventinės dienos). Kadangi duomenų imtis didelė padaryti 6 atskiri grafikai, tačiau iš jų palyginimo galime matyti pavasarį ir vasarą generacija yra pastovesnė lyginant rudeni ir žiemą. Taip pat galios faktorius nuo pavasario pradžios iki rugpjūčio vidurio didėjantis ir pastovesnis, o pereinant į rudeni ir į žiemą jis vis mažėja. Tai kuo puikiausiai paaiškinama mažesne saulės apšvieta ir trumpesniu šviesos paros laiku.



3.6. pav. Lietuvos apšvietos galios koeficientų grafikai pagal sezonus ir savaitės išskirstymą

Toliau imami vėjo galios koeficientų duomenys palyginti kaip vėjo generacija priklauso nuo sezono ir savaitės išskirstymo. Duomenys imti taip pat 2019 metų, Lietuvos [16]. Duomenys pateikti 3.8. pav.



3.7. pav. Lietuvos vėjo galios koeficientų grafikai pagal sezonus ir savaitės išskirstymą

Iš pateiktų duomenų matome, kad didžiausia generacija iš vėjo elektrinių yra lapkričio – gruodžio mėnesį, o mažiausia liepą - rugpjūtį (priešingai nei saulės atveju). Taip pat dėl savaitės pasiskirstymo, kaip ir saulės atveju, kadangi darbo dienų yra daugiau nei savaitgalio ir šventinių dienų, tai ir generacija šiuo metu yra didžiausia.

3.3.5. Elektros energijos generacija iš AEI šalies viduje

Norint užtikrinti kad Europos Sąjungos šalys pasiektų Žaliojo kurso ir Paryžiaus susitarimo iškeltus tikslus švarios energijos srityje, valstybės narės rengia nacionalinius energetikos ir klimato srities veiksmų planus. Plane nurodytas procentas kiek nuo bendro elektros suvartojamo kiekio turi būti pagaminama iš AEI. Šie duomenys nurodyti 3.1. lentelėje.

3.1. lentelė. Elektros energijos gamybos iš AEI tikslai iki 2030 metų pagal NEKSVP, %

Šalis Metai	Lietuva [69]	Latvija [70]	Estija [71]	Lenkija [72]	Vokietija [73]	Danija [74]	Švedija [75]	Suomija [76]	Norvegija [77]
Iki 2030	100	>60	40	32	80	100	>80	62	100

Matoma, kad planai labai skirtingi pagal šalis, todėl nuspręsta peržiūrėti paskutinius pasiekiamus duomenis apie elektros energijos gamybos iš AEI kiekį lyginant su galutiniu suvartojimu. Šie duomenys pateikti 3.2. lentelėje.

3.2. lentelė. Elektros energijos gamyba iš AEI pagal elektros energijos poreikį, %

Šalis Metai	Lietuva [32]	Latvija [36]	Estija [40]	Lenkija [44]	Vokietija [48]	Danija [52]	Švedija [56]	Suomija [60]	Norvegija [64]
2020	60,80	63,75	48,87	18,38	44,84	81,61	68,48	51,87	98,20
2023	81,95	77,85	47,09	27,77	53,49	87,22	69,40	50,36	98,27

Iš pateiktų duomenų matoma, kad šalys išsikėlė įgyvendinamus planus – kai kurios šalys jau yra pasiekusios numatytą tikslą, kitoms dar trūksta, pavyzdžiui Vokietijai norint pasiekti numatytą tikslą gaminamą elektros energijos kiekį procentine išraiška reikia padidinti 26,51 proc.

Kuriant modelį taip pat uždėti tikslai nurodyti 3.1. lentelėje, kad kiekviena iš šalių šalyje gamintų atitinkamą procentą elektros energijos iš AEI.

3.3.6. Tarpvalstybinių jungčių modeliavimas (importas, eksportas)

Kadangi kiekviena šalis gamina elektros energiją ne tik savo reikmėms, bet elektros energija yra importuojama ir eksportuojama, modelyje įvestos 2 dalyje aprašytos šalių tarpvalstybinės jungtys. Šios jungtys įvestos kaip technologija generuojanti elektros energiją į antrinį energijos lygį. Atitinkamai, kad elektros energija nebūtų perduodama iš vienos šalies kitai šaliai nemokamai, įvesta elektros energijos kaina, ji modelyje pažymėta kaip kintami kaštai nustatant kasmetinį kainos didėjimą 2 %.

3.3. lentelė. Elektros energijos pardavimo kaina Eur/MWh [78].

Šalis Metai	Lietuva	Latvija	Estija	Lenkija	Vokietija	Danija	Švedija	Suomija	Norvegija
2024	87,34	87,43	87,27	96,26	96,26	71,02	49,71	45,57	38,13
2025	89,09	89,18	89,02	98,19	98,19	72,44	50,70	46,48	38,89

Modeliuojant tarpvalstybines jungtis, nenustačius investicijų kaštų, modelis priima, kad jos yra diegiamos nemokamai, todėl surinkta informacija apie esamų jungčių įrengimo kainas. Kadangi kainos skiriasi priklausomai nuo to, kuriais metais jos buvo įrengiamos, kokia tai jungtis – žemyninė, jūrinė ar mišri, nuspręsta jungtims taikyti vidutinę įrengimo kainą remiantis istoriniais duomenimis. Jungčių kainos pateiktos 3.4. lentelėje.

3.4. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių kainos mln. Eur/MW.

Šalis	Lietuva	Latvija	Estija	Lenkija	Vokietija	Danija	Švedija	Suomija	Norvegija
Lietuva		0,2	-	1	-	-	1	-	-
Latvija	0,2		0,2	-	-	-	-	-	-
Estija	-	0,2		-	-	-	-	0,5	-
Lenkija	1	-	-		0,5	-	0,5	-	-
Vokietija	-	-	-	0,5		2	1	-	1
Danija	-	-	-	-	2		1	-	1
Švedija	1	-	-	0,5	1	1		0,5	1
Suomija	-	-	0,5	-	-	-	0,5		-
Norvegija	-	-	-	-	1	1	1	-	

3.3.7. CO₂ emisijų modeliavimas

Modeliuojant technologijoms nurodomas ryšys tarp sunaudojamo kuro kiekio ir CO₂ emisijų kiekio. Tai atliekama naudojant ryšių (angl. *relations*) funkciją. CO₂ emisijų faktoriai nurodyti 3.5. lentelėje.

3.5. lentelė. CO₂ emisijų faktoriai, tCO₂/MWh [79]

Kuro rūšis	Emisijos faktorius
Akmens anglis	0,35388
Atliekos	0,36000
Durpės	0,38160
Gamtinės dujos	0,20196
Mediena	0,40320
Nafta	0,26388
Rusvoji anglis (lignitas)	0,36360
Skalūnai	0,38520

Kiekvienai šaliai yra išduodamas atitinkamas kiekis apyvartinių taršos leidimų (toliau ATL), tačiau viršijus nustatytą leidimų skaičių jie perkami aukcione. Kadangi fiksuotų kainų nėra, kokios jos bus irgi nėra aišku, modelyje naudojamos galimos kainos atsižvelgiant į prognozes. Kadangi modelis yra apribotas emisijų tikslų ir papildomai nustatoma emisijų kaina, modelyje keičiant kainas duomenys labai ženkliai nesiskiria.

3.6. lentelė. CO₂ emisijų kainos, Eur/tCO₂

Metai	Emisijų kaina, Eur/tCO ₂
2025	73
2030	196
2035	271
2040	346
2045	398
2050	496

CO₂ emisijos taikomos visoms kurą deginančioms elektrinėms, išskyrus biokuro elektrinėms, nes jos degimo metu išskiria mažiau CO₂, nei išskirtų biomasės puvimo metu.

Kiekviena šalis turi nusimačiusi maksimalų CO₂ emisijų išmetimų kiekį remiantis emisijų mažinimo tikslais. Šis kiekis nurodytas 3.7. lentelėje.

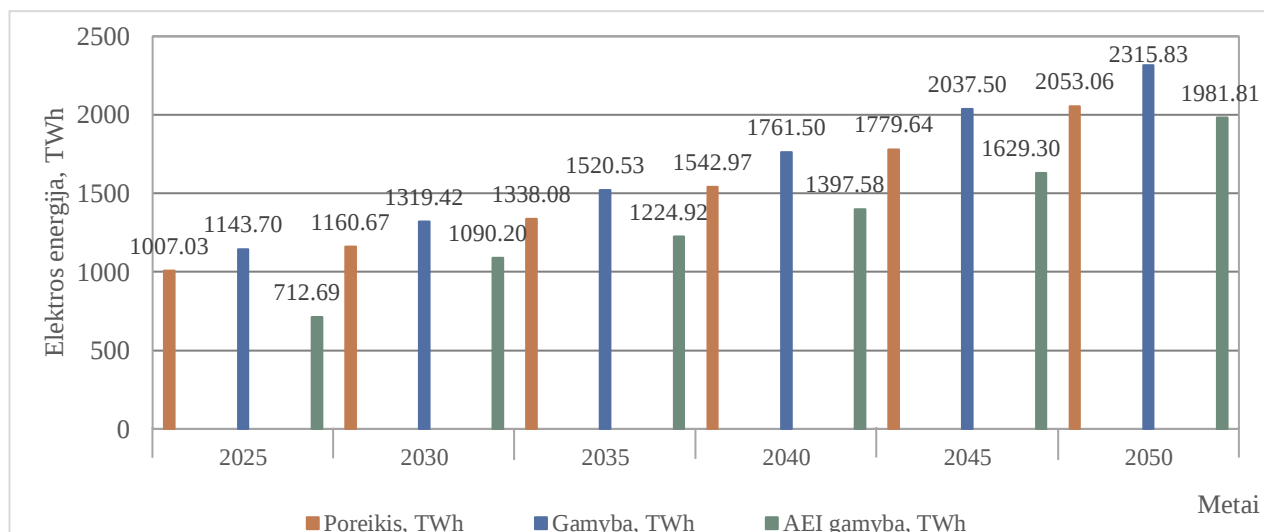
3.7. lentelė. CO₂ emisijų tikslai, MtCO₂ ekv.

Šalis Metai	Lietuva [69]	Latvija [70]	Estija [71]	Lenkija [72]	Vokietija [73]	Danija [74]	Švedija [75]	Suomija [76]	Norvegija [77]
2025	4.00	2.64	6.50	218.00	349.16	29.00	18.80	30.90	24.38
2030	3.92	1.76	6.40	170.00	279.33	25.00	18.50	20.60	16.25
2040	3.90	0.88	5.60	122.00	139.67	21.00	18.20	10.30	8.13
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4. Tyrimo rezultatų dalis

4.1. Baltijos jūros regiono šalių sistema

4.1.1. Baltijos jūros regiono šalių elektros poreikis ir gamyba



4.1. pav. Baltijos jūros regiono šalių bendras elektros energijos poreikis, gamyba, TWh

Iš 4.1. pav. matoma, kad elektros energijos poreikis kiekvienu analizuojamu laiko periodu yra patenkinamas – elektros energijos poreikis sudaro apie 88 % pagaminamo elektros energijos kiekio. Taip pat gaminamas elektros energijos kiekis iš AEI didėja 2025 metais jis 62,43 % nuo pagaminamo elektros energijos kiekio, o 2050 metais padidėja iki 85,58 %. Tačiau šis kiekis nepasiekia 100 %, kodėl taip yra, bus analizuojama toliau darbe nagrinėjant atskirų šalių sistemas.

4.1. lentelė. Baltijos jūros regiono elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Hidro energija	Geoterminė energija	Biokuras	Atominė energija	Atliekos
2025	117.27	198.50	36.02	330.88	0.04	30.02	88.81	3.98
2030	266.45	373.30	66.96	366.83	0.36	16.66	150.10	0.00
2035	294.68	482.74	62.83	366.83	0.39	17.84	211.40	0.00
2040	339.78	608.78	62.49	366.83	0.44	19.70	272.70	0.00
2045	347.40	842.59	57.92	366.83	0.25	14.57	334.00	0.00
2050	401.42	1156.86	56.04	366.83	0.02	0.66	334.00	0.00
Viso	1766.99	3662.77	342.26	2165.04	1.49	99.45	1391.01	3.99

4.1. lentelės tęsinys

Metai	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Skalūnai	Anglies dujos	Anglis	Durpės
2025	130.43	55.63	15.15	2.50	0.43	129.43	2.47
2030	73.72	0.32	0.73	0.03	0.36	3.59	0.00
2035	80.06	0.28	0.59	0.02	0.32	2.55	0.00
2040	87.80	0.25	0.44	0.02	0.27	1.99	0.00
2045	69.26	0.27	1.36	0.05	1.53	1.46	0.00
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Viso	441.27	56.76	18.26	2.63	2.92	139.02	2.48

Pagal 4.1. lentelę pateiktą informaciją matoma, kad 2025 metais didžiausią elektros energijos kiekį gamina hidroelektrinės, toliau seka sausumos vėjo elektrinės, o po to gamtinių dujų elektrinės ir per 1 TWh mažiau anglies elektrinės. 2025 metais 29,79 % pagaminamos elektros energijos yra iš iškastinio kuro elektrinių. 2030 metais šis procentas sumažėja iki 5,97 %, o 2050 metais jau siekia 0 %. Taipogi 2050 metais daugiausia elektros energijos pagaminama iš sausumos vėjo elektrinių, toliau iš saulės elektrinių, o trečioje vietoje hidroelektrinių pagaminama elektros energija.

4.2. lentelė. Baltijos jūros regiono elektrinėse instaliuota galia pagal kuro rūšį, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Hidro energija	Geoterminė energija	Biokuras	Atominė energija	Atliekos
2025	100456	104608	62487	73637	54	13214	15320	2459
2030	255022	219906	133000	74446	63	14580	23095	2459
2035	280524	286550	134800	74446	73	17062	30870	2459
2040	318577	367052	136780	74446	84	20561	38645	1967
2045	349464	486581	128611	74446	98	23895	46420	0
2050	463645	590798	146705	74446	113	27653	46420	0

4.2. lentelės tęsinys

Metai	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Skalūnai	Anglies dujos	Anglis	Durpės
2025	47832	25920	6521	1330	274	41752	1044
2030	95425	25920	6521	1330	274	41752	1044
2035	120268	25920	6521	1330	274	41752	1044
2040	153831	25920	6521	1330	274	41752	1044
2045	178235	25920	6521	1330	274	41752	1044
2050	144099	25920	6521	1064	274	41752	1044

Pereinant prie elektrinių instaliuotų galių matoma, kad ir 2025 metais ir 2050 metais daugiausia įdiegtos galios yra AEI elektrinėse – 2025 metais sausumos vėjo elektrinės, saulės elektrinės ir hidroelektrinės turi daugiausia įdiegtos galios, o 2025 metais hidroelektrinės keičia jūros vėjo

elektrinės. Šie kiekiai nesutampa su pagaminamu elektros energijos kiekiu dėl nevienodų naudingumo faktorių. Juos palyginti galima 1 priede.

4.1.2. Baltijos jūros regiono šalių tarpvalstybinių jungčių plėtra

4.3. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra, MW

Metai	LT-LV	LT-PO	LT-SE	LV-EE	EE-FI	PO-DE	PO-SE	DE-DK
2025	1199	500	700	1259	1016	2000	600	3485
2030	1199	500	700	1259	1016	9223	15041	3485
2035	1199	500	748	1259	1059	9937	18315	3485
2040	1264	500	1124	1259	1059	9937	19018	3485
2045	1280	500	2059	1259	1603	9937	19863	3485
2050	2552	653	4289	1727	3435	9937	21299	3485
Pokytis	1353	153	3589	468	2419	7937	20699	0

4.3. lentelės tęsinys

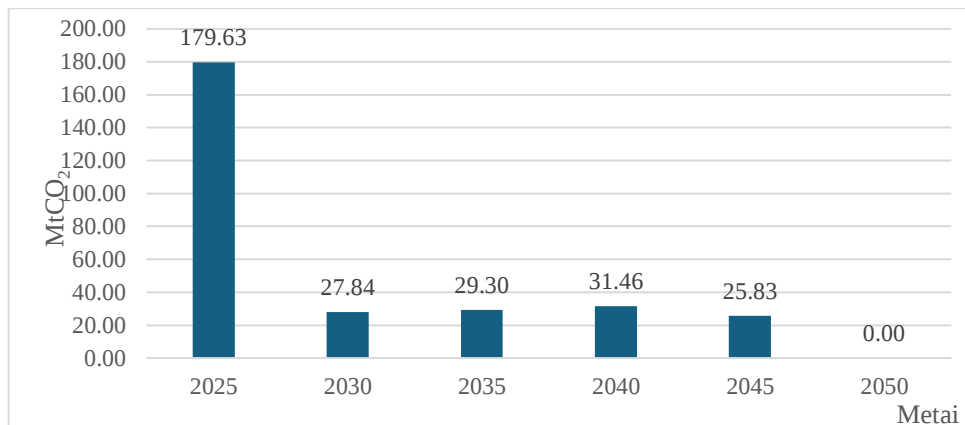
Metai	DE-SE	DE-NO	DK-SE	DK-NO	SE-NO	SE-FI	Viso
2025	615	1444	2415	1632	3695	2300	0
2030	9054	12467	2415	1632	3695	4639	43465
2035	15970	14413	2415	1632	3695	7852	16154
2040	26308	17871	2910	1632	3695	21074	28656
2045	45116	28545	2910	3655	3695	39822	52594
2050	74841	41668	2910	3655	3695	85738	96154
Pokytis	74226	40224	495	2023	0	83438	237023

Iš lentelėje pateiktų duomenų matoma, kad bendras tarpvalstybinių jungčių pokytis yra labai didelis – 237 GW. Didžiausią kiekį tarpvalstybinių jungčių galios padidėjimo sudaro Švedijos – Suomijos, Švedijos – Vokietijos, Norvegijos – Vokietijos ir Švedijos – Lenkijos jungtys. Kadangi Lenkija ir Vokietija nemažą elektros energijos dalį gamina iš emisijas generuojančių elektrinių, pereinant prie AEI, poreikiams patenkinti reikalingos ne tik didesnės galios elektrinės dėl mažesnio galios išnaudojimo koeficiento, bet ir didesnis elektros energijos kiekis, kai šalys negali užtikrinti pakankamos gamybos šalies viduje. Švedijos jungtys su kitomis šalimis didėja dėl numatomos atominių elektrinių plėtos iki 2050 metų, atitinkamai atsiradus didesniai elektros energijos kiekiui, per esamas jungtis reikės jas perduoti kitoms šalims.

Keletas papildomų paaiškinimų didelėms jungčių galioms yra didėjantis elektros energijos poreikis. Šiame modelyje nustatytas 3 % elektros energijos didėjimas, kuris netgi pagal dabartinius planus gali būti per mažas. Sumažinus metinį elektros prieaugį į 2 % tarpvalstybinių jungčių galių bendras pokytis sumažėja iki 67,5 GW. Kadangi netgi su sumažintu suvartojimu tarpvalstybinių jungčių pokytis yra 3 kartus didesnis lyginant 2025 ir 2050 metus, tarpvalstybinių jungčių plėtrą sumažintų ne tik efektyvesnis elektros energijos vartojimas, bet ir energijos kaupikliai. Darbe šis scenarijus neanalizuotas, bet turint tiek vietinį (namų ūkio), tiek šalies mastu įrengtą kaupiklį ar kaupiklių

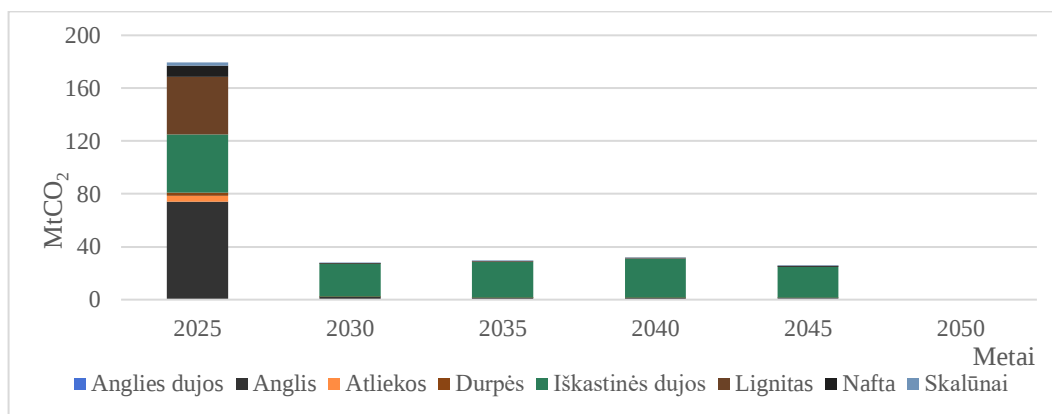
sistemą, sumažėtų elektros energijos poreikis iš kitų šalių, kai nėra užtikrinama elektros energijos gamyba iš AEI esant poreikiui.

4.1.3. Baltijos jūros regiono šalių CO₂ emisijos



4.2. pav. Baltijos jūros regiono šalių CO₂ emisijos elektros energijos gamyboje

Pagal gaminamą elektros energijos kiekį iš CO₂ generuojančių elektrinių (4.1. lentelė), matomas ir CO₂ emisijų padidėjimas 4.2. pav. grafike. Išskyrus CO₂ emisijas pagal kuro rūšį ir duomenis sulyginus su 4.2. lentelėje padidėjusia elektrinių galia matyti, kad CO₂ emisijos padidėja iš tų elektrinių, kurios turi mažiausią CO₂ emisijų faktorių (3.5. lentelė). Šie duomenys atvaizduoti 4.3. pav. ir 4.4. lentelėje.



4.3. pav. Baltijos jūros regiono šalių CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

4.4. lentelė. Baltijos jūros regiono šalių CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

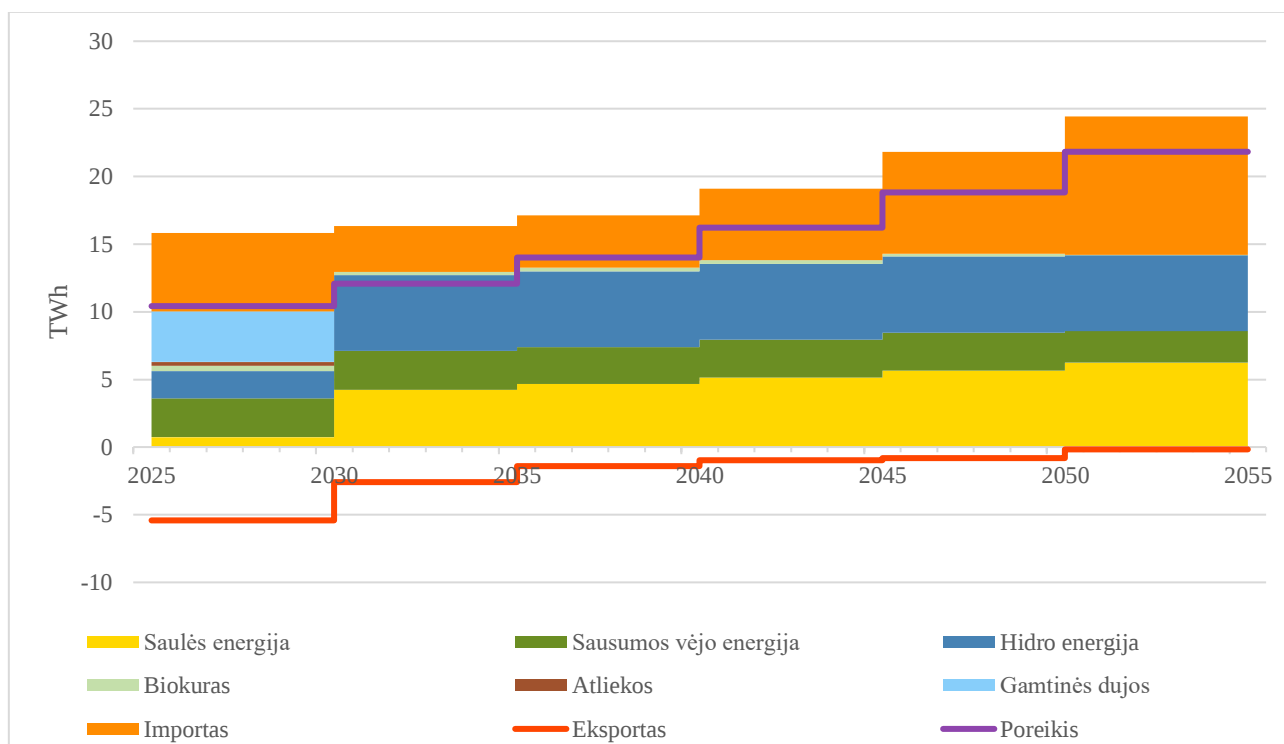
Metai	Anglies dujos	Anglis	Atliekos	Durpės	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Skalūnai
2025	0.15	73.93	4.37	2.36	44.26	43.60	8.60	2.36
2030	0.12	2.13	0.01	0.00	24.94	0.25	0.41	0.02
2035	0.11	1.51	0.01	0.00	27.09	0.22	0.33	0.02
2040	0.09	1.18	0.00	0.00	29.71	0.20	0.25	0.02
2045	0.52	0.87	0.00	0.00	23.44	0.21	0.77	0.04
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Iš gautų rezultatų matoma, kad nors ir visos šalys iki 2050 metų nustoja gaminti elektros energiją iš CO₂ generuojančių šaltinių, matyti, kad šių išteklių mažėjimas nėra tolygus, t. y. CO₂ emisijas generuojančiose elektrinėse gamyba 2035 – 2045 metais padidėja, o po to vėl krenta iki nulio 2050 metais. Atitinkamai 4.2. lentelėje matoma, kad anglies dujų, gamtinių dujų ir naftos elektrinių galios didėja. Tai gali būti paaiškinama tik tuo, kad esamos elektrinės, kurios generuoja elektros energiją iš atsinaujinančių išteklių ir elektrinės negeneruojančios CO₂, nėra pakankamos galios, elektros energijos gamybai pagal sudarytą elektros energijos poreikių kreivę.

Iš gautos informacijos matoma, kad ženkliai didėja Vokietijos, Lenkijos ir Švedijos jungtys. Vokietija – Lenkija, Švedija – Lenkija, Švedija – Vokietija, Norvegija – Vokietija ir Suomija – Švedija. Išvadas ar tokios didelės plėtros reikia, galima daryti nagrinėjant atskirų šalių plėtros scenarijus.

4.2. Atskirų šalių elektros energetikos sistemų plėtra

4.2.1. Lietuvos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.4. pav. Lietuvos elektros energijos poreikis, gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh

Lietuvoje elektros energijos poreikis 2025 metams nustatytas 10,42 TWh, nustatant kiekvienais metais elektros energijos poreikio didėjimą 3 %. Iki 2050 metų poreikis padidėja iki 21,83 TWh. 3 % didėjimas nustatytas visoms šalims, kadangi elektros energijos poreikis didėja dėl transporto sektoriaus elektrifikacijos, dėl šildymo sektoriaus elektrifikacijos. Iš 4.4. pav. matoma, kad 2025 metais nepilną trečdalį viso elektros energijos kiekio sudaro gamyba iš gamtinių dujų, labai nedidelė dalis elektros energijos pagaminama iš atliekų elektrinės, tačiau nuo 2030 metų gamyba iš šių elektrinių nebevykdoma. Taip yra dėl to, kad pagal iškeltus tikslus (3.1. lentelė) Lietuvai yra uždėtas apribojimas nuo 2030 metų visą elektros energiją gaminti tik iš AEI.

4.5. lentelė. Lietuvos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	1165	1288	1029	196	70	1505
2030	4100	1288	1138	196	70	1505
2035	4510	1288	1138	263	70	1505
2040	4961	1288	1138	305	56	1505
2045	5457	1288	1138	354	0	1204
2050	6003	1030	1138	410	0	0

Uždėjus apribojimus gamybai iš iškastinio kuro elektrinių, jų įdiegta galia mažėja iki kol 2050 metais pasiekia 0. Nuo 2025 iki 2030 metų hidroelektrinių gamyba padidėja, toliau iki 2050 laikosi stabiliam lygyje. Taip pat padidėjusi hidroelektrinių galia nuo 2035 metų nesikeičia, kadangi hidroelektrinių plėtra Lietuvoje yra labai ribota.

Nuo 2025 iki 2050 metų saulės elektrinių galia ir generuojamas elektros energijos kiekis didėja ir generacija iš saulės šalies lygiu sudaro 43,90 % šalyje generuojamos energijos. Saulės elektrinės tampa pagrindiniu elektros energijos gamybos šaltiniu šalies viduje.

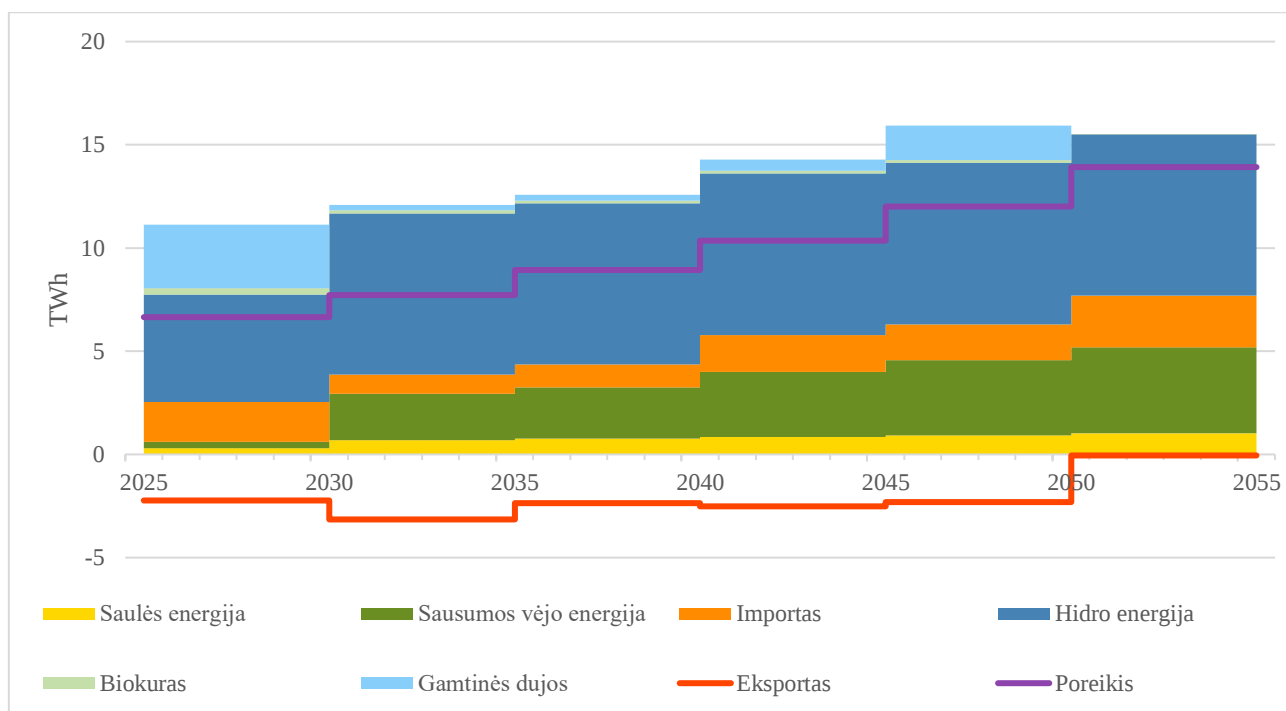
Vėjo elektrinių generacija nuo 2025 metų neženkiai keičiasi iki 2045 metų išlaikant ribą apie 2,8 TWh, o 2050 metais sumažėja 0,5 TWh. Taip pat biokuro elektrinių gaminama elektros energija nors ir nuo 2035 iki 2045 metų didėja, 2050 metais pasiekia 0,01 TWh ribą ir ženkiai sumažėja kaip ir vėjo elektrinių generacija. Tai galima paaiškinti didelio elektros energijos kiekio importu iš Švedijos (2 priedo 3 lentelė). Nagrinėjant importo ir eksporto duomenis matoma, kad importuotas didelis elektros energijos kiekis iš Švedijos padengia ne tik atsiradusį elektros energijos trūkumą dėl sumažėjusios elektros generacijos iš AEI, bet yra eksportuojamas ir į Latviją bei Lenkiją turimomis tarpvalstybinėmis jungtimis.

4.6. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Lietuva, MW

Metai	LT-LV	LT-PO	LT-SE
2025	1199	500	700
2030	1199	500	700
2035	1199	500	748
2040	1264	500	1124
2045	1280	500	2059
2050	2552	653	4289

4.6. lentelėje matoma, kad modelis siūlo visas tris tarpvalstybines jungtis su Latvija, Lenkija ir Švedija plėsti bendrai tarpvalstybinių jungčių galią padidinant iki 7494 MW nuo dabar turimų 2399 MW.

4.2.2. Latvijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.5. pav. Latvijos elektros energijos poreikis, gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh

Latvijoje elektros energijos poreikis 2025 metais siekia 6,65 TWh ir 2050 metais pakyla iki 13,92 TWh. Latvijos iškeltas tikslas iki 2030 metų pagaminti >60 % iš AEI įgyvendinamas jau 2025 metais kai gamyba iš AEI pasiekia 66,56 %. Bendrai gamyba iš AEI kiekvienais metais kyla ir 2050 metais pasiekia tikslo numatytą 100 %.

Kiekvienais metais Latvija pasigamina pakankamą kiekį elektros energijos poreikiams patenkinti, jeigu žiūrima bendrai į metinius duomenis, tačiau duomenis analizuojant detaliau (2 priedo 7 lentelė) matoma, kad nuo 2025 iki 2050 metų nuo 0,12 iki 0,57 TWh elektros energijos yra importuojama iš Lietuvos, o nuo 0,75 iki 2,34 TWh iš Estijos. Tai galima paaiškinti tuo, kad momentinės elektros energijos pagal poreikių ir gamybos kreives trūksta. Elektros energijos importas 2050 metais iš Estijos padidėja dėl susidariusio elektros energijos trūkumo sustabdžius gamtinių dujų elektrinių veiklą.

4.7. lentelė. Latvijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Gamtinės dujos
2025	303	136	1588	166	1112
2030	700	1000	1588	166	1112
2035	770	1100	1588	166	1112
2040	847	1410	1588	166	1510
2045	932	1631	1588	300	1287
2050	1025	1864	1588	348	398

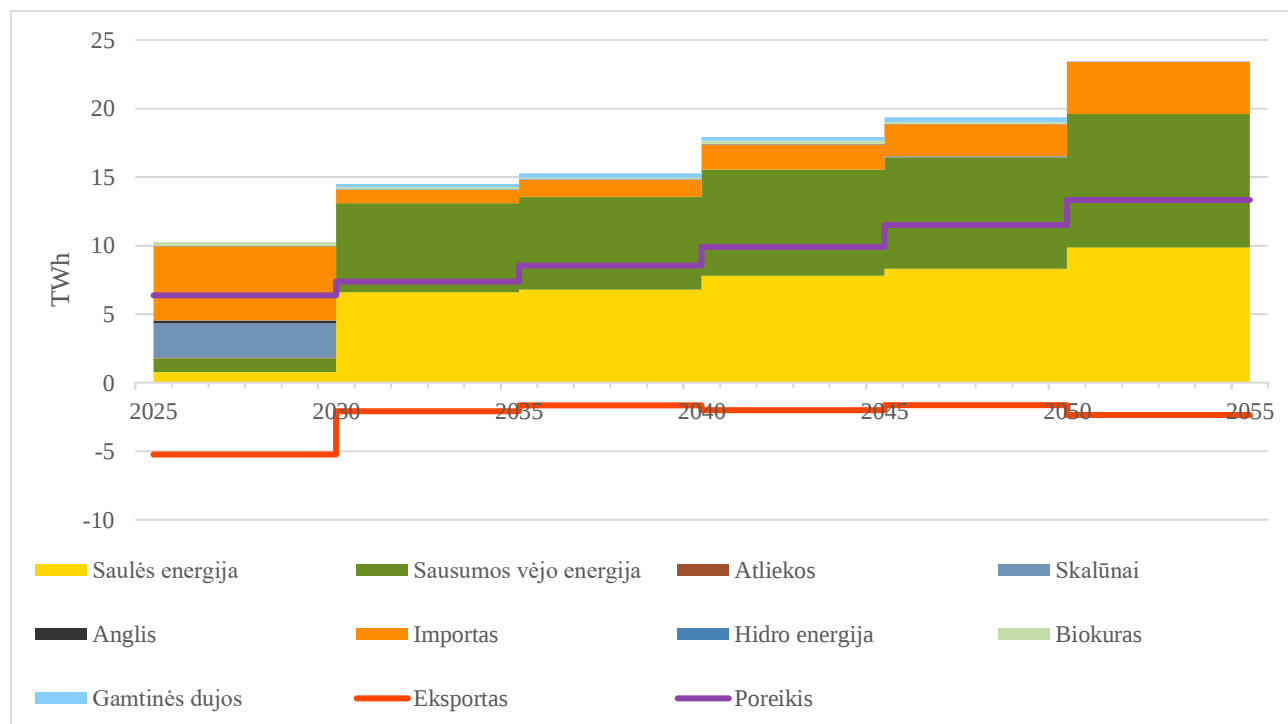
Nagrinėjant elektrinių duomenis matoma, kad dvigubai padidėja biokuro elektrinių galia lyginant 2025 ir 2050 metus, hidroelektrinių galia išlieka pastovi dėl riboto resurso. Žiūrint į gamtinių dujų elektrinių duomenis matoma, kad nuo 2025 iki 2035 metų jų galia lieka pastovi, tada nuo 2040 metų padidėja iki 1510 MW, o iki 2050 metų galia mažėja, bet visiškai neuždaroma. Šis galios padidėjimas atsiranda dėl atsiradusio elektros energijos trūkumo Lietuvai.

Matoma, kad iš Latvijos į Lietuvą nuo 2030 iki 2045 metų eksportuota 8,87 TWh. Be abejo šis kiekis yra ne tik dėl gamtinių dujų elektrinių, bet ir dėl išaugusios elektros energijos gamybos iš AEI – saulės ir vėjo elektrinių galia didėja nuo 439 MW iki 2889 MW. 4.13. lentelėje matyti, kad nemažą elektros energijos kiekį Latvija eksportuoja į Lietuvą ir importuoja iš Estijos, todėl 4.15. lentelėje matoma tarpvalstybinių jungčių plėtra su Lietuva ir Estija bendrai abiejų šalių galią padidinant nuo 2458 iki 4279 MW.

4.8. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Latvija, MW

Metai	LV-LT	LV-EE
2025	1199	1259
2030	1199	1259
2035	1199	1259
2040	1264	1259
2045	1280	1259
2050	2552	1727

4.2.3. Estijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.6. pav. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Estijos elektros energijos poreikis yra labai panašus su Latvija ir 2025 metais siekia 6,37 TWh ir iki 2050 metų padidėja iki 13,33 TWh. Iš 2 priedo 9 lentelės matoma, kad nuo 2030 iki 2050 metų Estija pagamina daugiau elektros energijos, nei reikėtų šalies poreikiams patenkinti, todėl šią elektros energiją eksportuoja ir į Latviją, tačiau susidariusį elektros energijos trūkumą dengia importu iš Suomijos.

Elektros energijos gamyba iš AEI nuo 2025 iki 2030 metų padidėja daugiau nei 10 TWh, taip kelis kartus pralenkiant iškeltą tikslą iki 2030 metų pagaminti 40 % iš AEI. Nuo 2030 metų nustojama gaminti elektros energiją iš anglies bei atliekų elektrinių, kurios turi vienas didžiausių emisijų, bet skalūnų elektrinės vis dar gamina elektros energiją iki 2045 metų, nors turi didesnes emisijas nei kitos elektrinės. Tai yra dėl to, kad skalūnų transformacijos į elektrą koeficientas yra didesnis nei anglies ar atliekų elektrinių (1 priedas 15 lentelė).

Kaip ir Latvijoje, Estijoje elektros energijos gamyba iš gamtinių dujų didėja su trumpu kritimu tarp 2035 ir 2040 metų, po to vėl pakyla į 2035 metų lygį. Gamtinių dujų elektrines kaip atsarginę technologiją esant momentiniam elektros poreikiui naudoja ne tik Latvija, Estija, bet ir Lenkija, Vokietija ir Suomija, o tai yra dėl to, kad jos turi mažiausią emisijų faktorių. Dėl to Estijos emisijos nuo 2030 iki 2045 metų siekia vos 0,51 MtCO₂, kas per 15 metų yra labai nedidelis kiekis.

4.9. lentelė. Estijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos	Skalūnai	Anglis
2025	812	447	8	150	17	15	1330	78
2030	2500	4000	8	150	17	167	1330	78
2035	2750	4400	8	150	17	1087	1330	78
2040	3025	4840	8	300	14	1087	1330	78
2045	3328	5324	8	300	0	1084	1330	78
2050	3660	5856	8	300	0	1072	1064	78

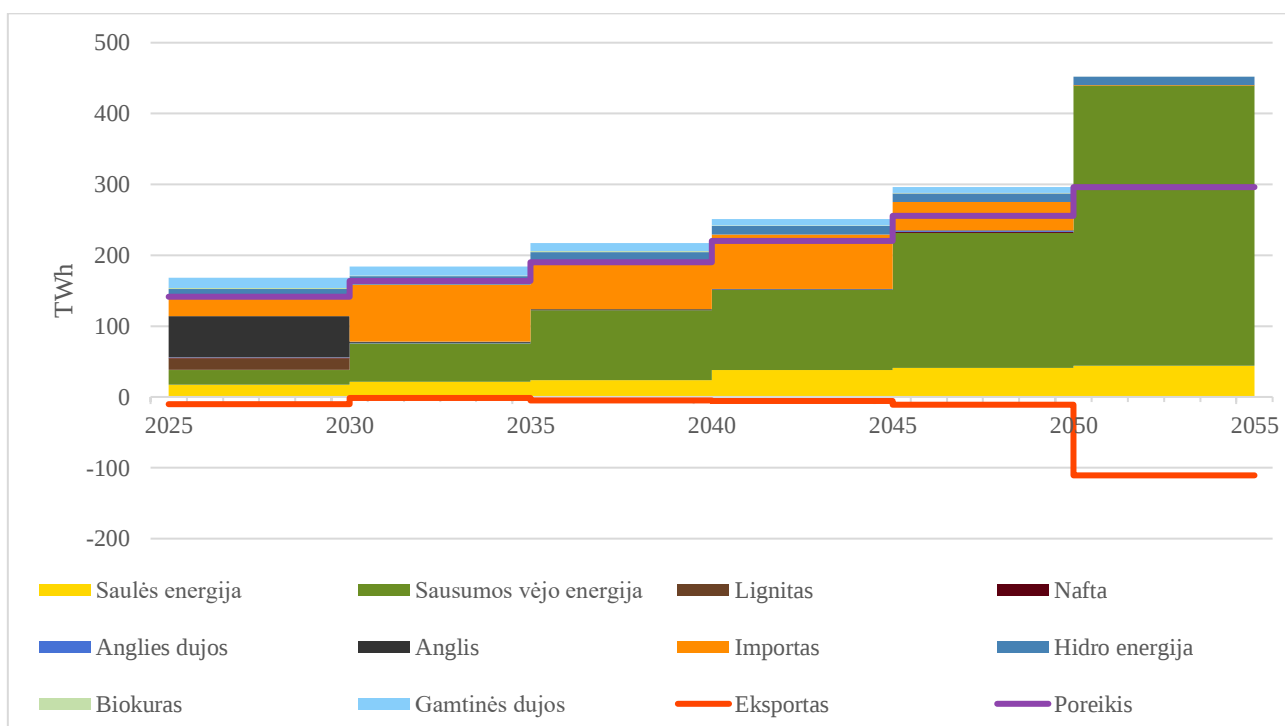
Esant elektros energijos trūkumui kai negeneruojama iš AEI 2040 metais, modelis nusprendė padidinti ir gamybą iš biokuro elektrinių, jų galią padidinant dvigubai, tačiau atsiradus nemažam elektros energijos importui iš Suomijos, biokuro elektrinių gamyba mažėja ir 2050 metais pasiekia 0,01 TWh. Importas iš Latvijos kasmet mažėja ir Estija iš importuojančios šalies tampa eksportuojančia Latvijos atžvilgiu, o eksportas į Suomiją kiekvienais metais mažėja didėjant importui. Tai gali reikšti tik du dalykus – kad arba Suomija pasigamina reikiamą kiekį elektros energijos ne tik sau, bet ir kitoms šalims, arba, kad Suomija importuoja elektros energiją į šalį nuperkant ją pigiau iš kitos šalies, o po to ją eksportuoja turimomis tarpvalstybinėmis jungtimis už didesnę kainą. Šiuo konkrečiu atveju iš 2 priedo 11 lentelės matoma, kad importas iš Suomijos padidėjęs, o tai yra dėl didelės elektros energijos generacijos iš AEI Suomijoje.

4.10. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Estija, MW

Metai	EE-LV	EE-FI
2025	1259	1016
2030	1259	1016
2035	1259	1059
2040	1259	1059
2045	1259	1603
2050	1727	3435

Lyginant tarpvalstybinių jungčių plėtrą matoma, kad jungties su Latvija galia didėja 1,37 karto, o su Suomija daugiau nei 3 kartus. Tai gali reikšti, kad didėjant elektros energijos poreikiui ir neturint pastovaus elektros generacijos šaltinio, reikia ženkliai didinti tarpvalstybines jungtis.

4.2.4. Lenkijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.7. pav. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Lenkijos elektros energijos poreikis 2025 metais yra 141,45 TWh, jis iki 2050 metų padidėja iki 296,16 TWh. Iš 4.10. pav. ir 4.23. lentelės matoma, kad 2025 metais elektros energijos gamyba beveik lygi elektros energijos poreikiui, vėliau nuo 2030 iki 2040 metų yra mažesnė nei poreikiai. 2045 metais vėl susilygina, o 2050 metais elektros energijos gamyba lyginant su poreikiais padidėja 1,5 karto. Žiūrint į elektros energijos gamybą iš AEI matoma, kad kiekvieną periodą nuo 2025 metų ji didėja iki kol 2050 metais pasiekia 100 %. Elektros energijos gamybai iš AEI iki 2030 metų uždėtas tikslas 32 %. Jis pasiekiamas jau 2025 metais.

Uždėjus apribojimus elektros energijos gamybai iš iškastinio kuro, nuo 2030 metų gamyba iš anglies dujų, iš anglies, gamtinių dujų, lignito ir naftos elektrinių sumažėja šiek tiek daugiau nei 6 kartus, atitinkamai sumažėja CO₂ emisijos. Iki šiol elektros energiją daugiausiai gaminanti iš iškastinio kuro, Lenkija negali taip greitai įdiegti pakankamo kiekio saulės ir vėjo elektrinių privalo importuoti elektros energiją iš kitų šalių. Iš 2 priedo 15 lentelės matyti, kad didžiausią dalį elektros energijos nuo 2030 iki 2045 metų Lenkija importuoja iš Švedijos, o šiuo laikotarpiu į Švediją elektros energijos neeksportuoja. O Lenkija nuo 2035 metų didesnę elektros energijos dalį eksportuoja nei importuoja į Vokietiją – eksportuojamas elektros kiekis 2050 metais padidėja net iki 108.56 TWh.

4.11. lentelė. Lenkijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Anglies dujos	Anglis
2025	14609	9585	2378	662	5162	7557	393	274	18831
2030	18480	25195	2378	662	5162	7557	393	274	18831
2035	20328	49504	2378	890	5162	7557	393	274	18831
2040	32361	58389	2378	1031	5162	7557	393	274	18831
2045	34597	112558	2378	1196	5162	7557	393	274	18831
2050	37057	181080	2378	1386	5162	7557	393	274	18831

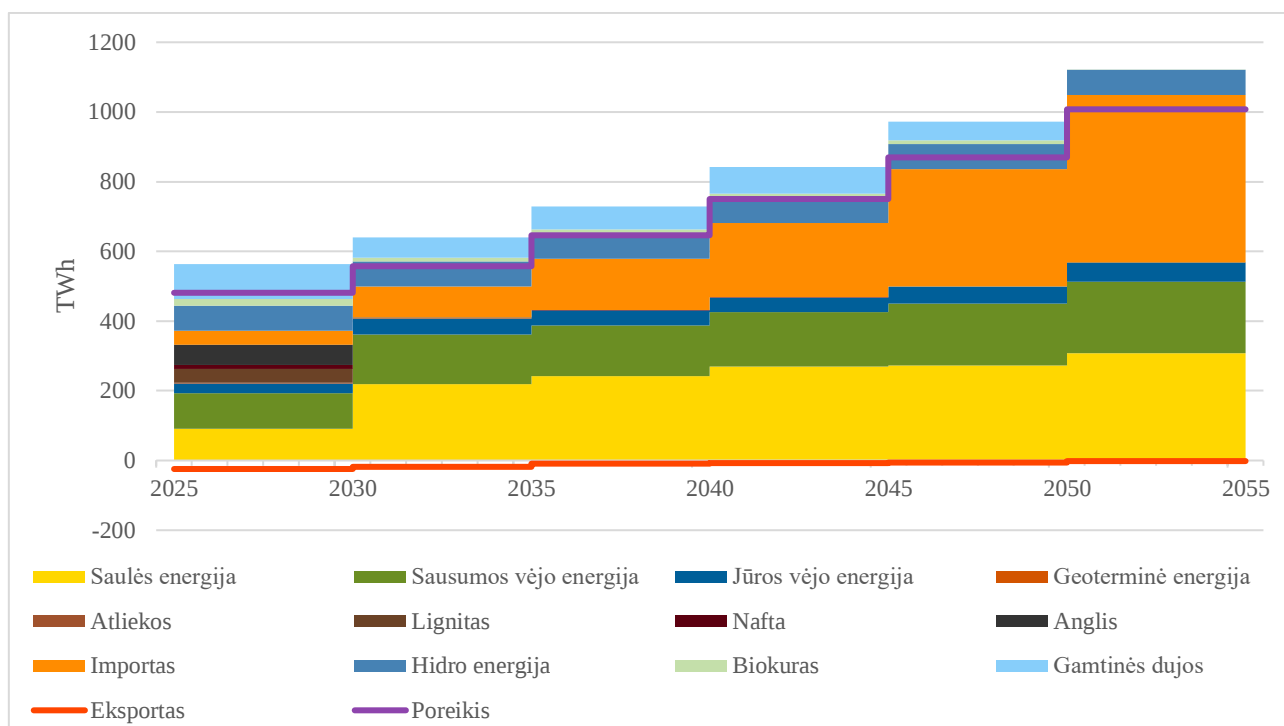
Dėl iškeltų emisijų mažinimo tikslų nuo 2025 iki 2050 daugiau nei dvigubai didėja saulės ir vėjo elektrinių galia, hidroelektrinių galia lieka ta pati dėl ribotų galimybių plėstis, didėja ir biokuro elektrinių galia.

4.12. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Lenkija, MW

Metai	PO-LT	PO-DE	PO-SE
2025	500	2000	600
2030	500	9223	15041
2035	500	9937	18315
2040	500	9937	19018
2045	500	9937	19863
2050	653	9937	21299

Kadangi importas ir eksportas nagrinėjama laikotarpį tarp šalių sudaro didelį kiekį elektros energijos, modelis siūlo labai stipriai didinti tarpvalstybines jungtis. Su Lietuva jungtis padidėtų nuo 500 iki 653 MW, kas nėra labai ženklus pokytis, bet jungties su Vokietija ir Švedija padidėjimas per nagrinėjamus 25 metus yra net 28 636 MW. Šis pokytis yra toks didelis dėl to, kad tiek Lenkijoje, tiek Vokietijoje uždarius iškastinio kuro elektrines, 2050 metais atsiranda didelis elektros energijos trūkumas. Šį trūkumą kompensuoja iš Švedijos gaunama elektros energija, atitinkamai esant elektros gamybos iš AEI pertekliui iš vėjo elektrinių, Lenkiją šią energiją eksportuoja į Vokietiją. Didelį elektros energijos kiekio trūkumą galėtų kompensuoti biokuro elektrinės, tačiau dėl jų palyginti nedidelio transformacijos koeficiento, modelis nusprendė, kad tinkamesnė išeitis yra didinti tarpvalstybinių jungčių galią.

4.2.5. Vokietijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.8. pav. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Iš visų šalių Vokietijos elektros energijos poreikis yra didžiausias – 2025 metais tai yra 481,21 TWh ir iki 2050 metų padidėja iki 1007,56 TWh. Taip pat Vokietija, iš nagrinėjamų šalių, daugiausiai elektros energijos gamina iš iškastinio kuro elektrinių. Kadangi šalyje nuo 2024 metų elektros energija nebėra gaminama iš atominės energijos, modelyje šios energijos rūšis nenaudojama, tačiau matant 2.9. lentelėje pateiktus duomenis ir juos lyginant su 4.8. pav. matomais duomenimis matome, kad nagrinėjamo laikotarpio pradžioje Vokietija, dar nesant griežtiems iškastinio kuro elektrinių apribojimams, trūkstamą elektros kiekį gamina iš iškastinio kuro elektrinių. Nesant griežtiems emisijų ribojimams 2025 metais Vokietija sugeneruoja 108,56 MtCO₂. Toliau uždedant apribojimus emisijoms, didėja elektros energijos generacija iš AEI ir atitinkamai emisijos sumažėja lyginant su 2025 metais. Nors 4.8. pav. matomas emisijų padidėjimas tarp 2030 iki 2040 metų, šios emisijos sudaro mažą dalį to, kas buvo prieš tai.

Nepaisant didėjančios gamybos iš AEI, atsiranda elektros energijos trūkumas kai gamtos sąlygos nesutampa su vartotojų poreikiais, todėl trūkstama elektros energija yra importuojama iš anksčiau minėtų Lenkijos, Danijos, Švedijos ir Norvegijos. Didžiausią elektros energijos kiekį Vokietija importuoja iš Švedijos bei Norvegijos. Švedija trūkstamą elektros energijos kiekį pasigamina iš atominių elektrinių, o Norvegija iš hidroelektrinių.

4.13. lentelė. Vokietijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Hidro energija	Geoterminė energija	Biokuras
2025	76601	59841	59841	14561	54	8577
2030	215000	115000	115000	14561	63	9943
2035	236500	115000	115000	14561	73	11527
2040	260150	115000	115000	14561	84	13363
2045	286165	104653	104653	14561	98	15491
2050	341066	120351	120351	14561	113	17958

4.13. lentelės tęsinys

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Anglis
2025	1808	36255	18363	4118	18411
2030	1808	76256	18363	4118	18411
2035	1808	99540	18363	4118	18411
2040	1446	132290	18363	4118	18411
2045	0	157978	18363	4118	18411
2050	0	128974	18363	4118	18411

Šaliai pereinant prie AEI nuo 2025 iki 2050 metų 4,45 karto padidėja saulės elektrinių galia, 2 kartus sausumos ir jūros vėjo elektrinių galios, taip pat 2 kartus padidėja ir biokuro elektrinių galios. Nepaisant emisijų ribojimų, dėl trūkstamo elektros energijos kiekio, siūloma didinti gamtinių dujų elektrinių galią iki 2045 metų, o 2050 metais sumažėja.

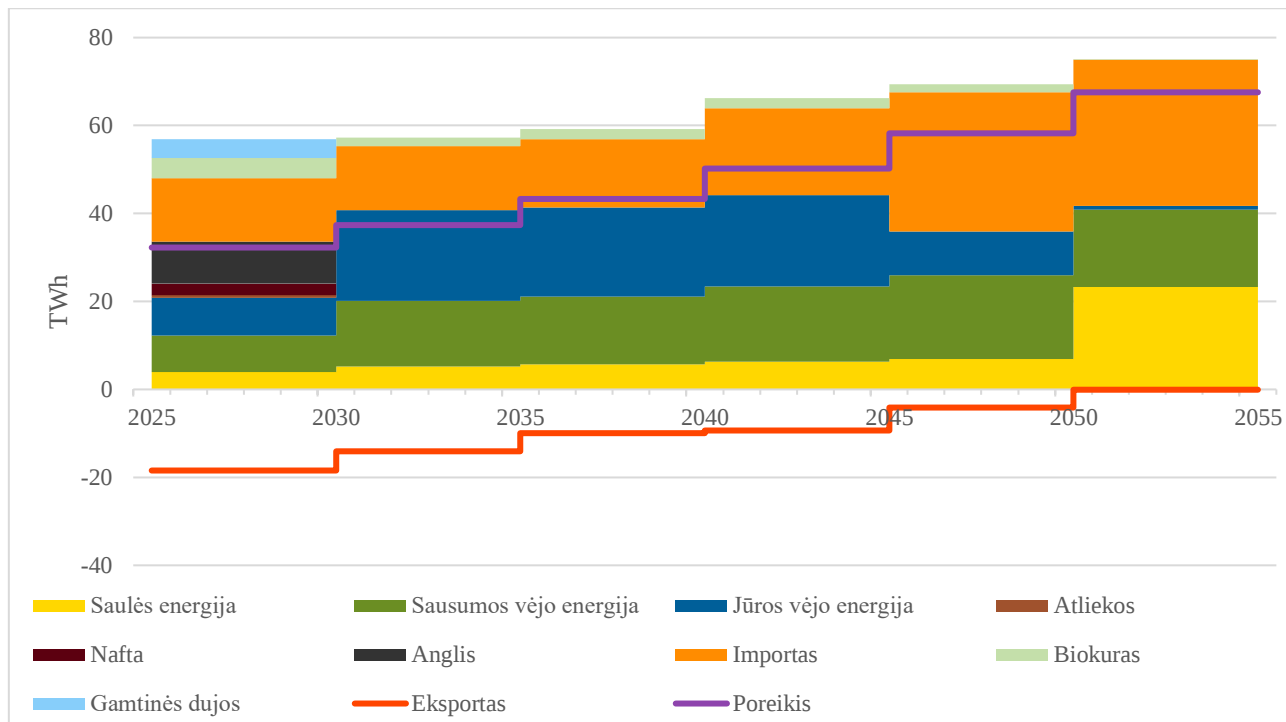
4.14. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Vokietija, MW

Metai	PO-DE	DE-DK	SE-DE	NO-DE
2025	2000	3485	615	1444
2030	9223	3485	9054	12467
2035	9937	3485	15970	14413
2040	9937	3485	26308	17871
2045	9937	3485	45116	28545
2050	9937	3485	74841	41668

Vokietija atsisakiusi iškastinio kuro elektrinių tampa stipriai priklausoma nuo kitų šalių – pačiai turint ribotą hidro ir geoterminės energijų išteklius, ji kliaunasi kitų šalių pagalba. Atitinkamai 4.14. lentelėje pavaizduotos stipriai padidėjusios tarpvalstybinės jungtys su Lenkija, Švedija ir Norvegija. Bendrai nuo 2025 iki 2050 metų visų tarpvalstybinių jungčių galia padidėja 122 387 MW. Šio padidėjimo pilnai nereikėtų priimti, nes modelis nevertina kitų turimų tarpvalstybinių jungčių, pavyzdžiui Vokietijos su Austrija, Belgija, Čekija, Prancūzija, Liuksemburgu, Nyderlandais bei Šveicarija. Su šiomis šalimis Vokietija turi apie 24 000 MW su galimybe plėstis ateityje. Todėl

tarpvalstybinių jungčių plėtrą reikia priimti kaip neišvengiamą darbą siekiant dekarbonizacijos, tačiau ne būtinai tokiu mastu kaip nurodo sukurtas modelis.

4.2.6. Danijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.9. pav. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Danijoje elektros energijos poreikis 2025 metais yra 32,26 TWh, o iki 2050 metų padidėja iki 67,55 TWh. Danija yra išsikėlusį tikslą iki 2030 metų gaminti 100 % elektros energijos iš AEI ir iš 4.9. pav. matoma, kad šis tikslas pasiekiamas, todėl ir taip mažos 2 priedo 24 lentelėje atvaizduotos emisijos nuo 2030 metų pasiekia 0. Iš 4.9. pav. matoma, kad nuo 2025 iki 2035 metų gamyba šalies viduje yra didesnė nei jos poreikiai, tačiau 2040 metų gamyba sumažėja.

Sumažėjusi gamyba matoma 4.9. pav – nuo 2045 metų sumažėja biokuro elektrinių gamyba, apribota jūrinių ir sausumos vėjo elektrinių gamyba. Teoriškai esam panašioms sąlygoms jūrinės vėjo elektrinės nuo 2045 metų galėtų maksimaliai pagaminti 20,77 TWh per 5 metų laikotarpį, o sausumos vėjo elektrinės nuo 2045 iki 2050 metų – 19,11 TWh. Tačiau šis elektros energijos kiekis yra apribotas dėl didelio elektros energijos kiekio importo iš Švedijos bei Norvegijos dėl anksčiau minėtų priežasčių – atominių Vokietijoje ir hidroelektrinių Norvegijoje. Sumažėjus šių šalių generacijai Danija turėtų neišnaudotą vėjo energiją, kurią esant palankioms sąlygoms būtų galima panaudoti.

4.15. lentelė. Danijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos	Nafta	Anglis
2025	3730	4860	2646	1754	385	1568	959	3022
2030	4900	9000	18000	1754	385	1568	959	3022
2035	5390	9900	19800	2357	385	1568	959	3022
2040	5929	10890	21780	2733	308	1568	959	3022
2045	6522	11979	23958	3168	0	1254	959	3022
2050	26715	13177	26354	3672	0	0	959	3022

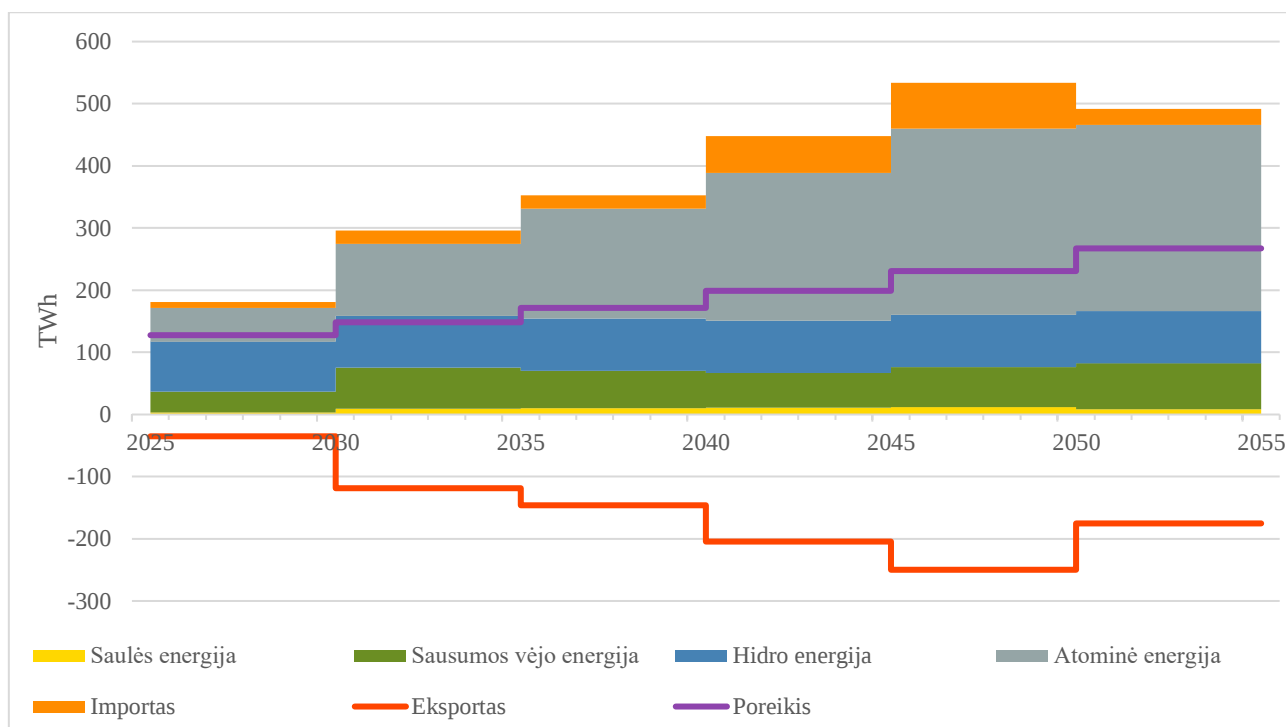
Vienintelis elektros energijos šaltinis, kuris šalyje yra iš reguliuojamų priklausomai nuo vartotojų poreikių – biomasės elektrinės. Iš 4.15. lentelės matyti, kad nuo 2025 iki 2050 metų jų galia padidėja daugiau nei dvigubai nuo 1754 MW iki 3672 MW. Nesant galimybės importuoti elektros energijos iš kitos šalies arba esant didelei elektros energijos kainai, biomasės elektrinės galėtų padėti palaikyti vartotojų poreikį trumpą laiką, nes šios elektrinės veikia kogeneraciniu režimu – elektros gamybos dalis yra mažesnė lyginant su šilumos gamyba.

4.16. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Danija, MW

Metai	DK-DE	DK-SE	DK-NO
2025	3485	2415	1632
2030	3485	2415	1632
2035	3485	2415	1632
2040	3485	2910	1632
2045	3485	2910	3655
2050	3485	2910	3655

Priešingai nei prieš tai nagrinėtų šalių, Danijos tarpvalstybinės jungtys pasikeičia ne taip stipriai – 4.16. lentelėje matyti, kad tarpvalstybinės jungtys padidėja su Švedija nuo 2415 MW iki 2910 MW ir su Norvegija nuo 2025 metais buvusių 1632 MW iki 3655 MW 2050 metais.

4.2.7. Švedijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.10. pav. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Švedijoje elektros energijos poreikis nuo 127,65 TWh 2025 metais padidėja iki 267,27 TWh. Iš 4.10. pav. matyti, kad visą nagrinėjamą laikotarpį elektros energijos gamyba yra didesnė nei šalies poreikiai, nagrinėjant ir 2.13. lentelėje pateiktą informaciją matoma, kad nuo 2000 metų Švedija gamindavo daugiau elektros energijos nei reikia jos poreikiams patenkinti. 2 priedo 25 lentelėje matoma, kad „Gamyba“ ir „AEI gamyba“ nėra didesnės nei iškeltas tikslas elektros energijos gamybai iš AEI. Tai yra todėl, kad rengiant energetikos strategiją, Švedija yra nusimačiusi iki 2030 metų gaminti daugiau nei 80 % iš AEI, ši statistika neįtraukia atominių elektrinių gamybos, o yra orientuoti į iškastinio kuro elektrinių atsisakymą. Pagal pateiktą 2 priede 26 lentelėje informaciją matoma, kad gamybos iš iškastinio kuro elektrinių nėra, todėl emisijų grafikas nėra sudarytas.

Taip pat matoma, kad nuo 2025 iki 2045 metų atominių elektrinių elektros energija padidėja 245,19 TWh. Tai yra todėl, kad šiai dienai Švedija iki 2050 metų planuoja, kad atominių elektrinių gaminamas elektros energijos kiekis bus iki 300 TWh, todėl šis apribojimas uždėtas ir atominėms elektrinėms Švedijoje. Kadangi atominės elektrinės dėl technologinių procesų, dėl ekonominių priežasčių turėtų veikti bent 90 % laiko, tai nustatyta ir modelyje. Būtent dėl šios priežasties Švedija, kaip daugiausiai tarpvalstybinių jungčių turinti ir daugiausiai elektros energijos ne iš AEI generuojanti šalis tampa pagrindinė elektros energijos gamintoja. Iš 4.18. lentelėje pateiktų duomenų matoma, kad iš likusių 8 nagrinėjamų šalių, Švedija turi jungtis su 6 šalimis. Dvi šalys, kurios neturi jungčių tai Latvija ir Estija. Latvija trūkstamą elektros energiją galėtų gauti per Lietuvą ar Estiją, o Estija iš Suomijos.

4.17. lentelė. Švedijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Atominė energija
2025	3200	16700	16300	6900
2030	8800	30400	17000	14675
2035	9680	33440	17000	22450
2040	10648	36784	17000	30225
2045	11713	40462	17000	38000
2050	12884	44509	17000	38000

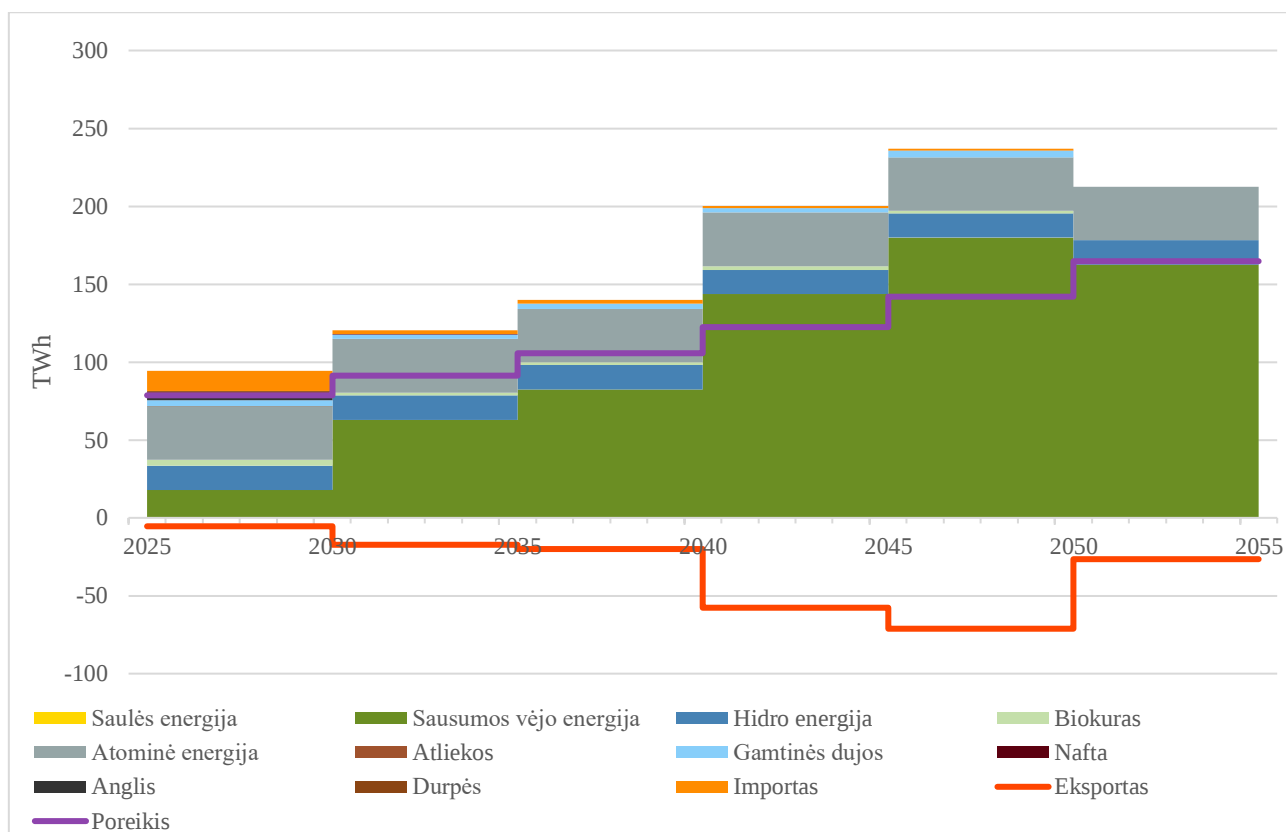
Švedija visų savo elektrinių galias didina – hidroelektrinių galia didėja mažiausiai, dėl anksčiau minėtos atominių elektrinių plėtros, saulės elektrinių galia didėja 4 kartus, sausumos vėjo elektrinių 2,67 karto.

4.18. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Švedija, MW

Metai	SE-LT	SE-PO	SE-DE	SE-DK	SE-NO	SE-FI
2025	700	1259	1016	2000	600	3485
2030	700	1259	1016	9223	15041	3485
2035	748	1259	1059	9937	18315	3485
2040	1124	1259	1059	9937	19018	3485
2045	2059	1259	1603	9937	19863	3485
2050	4289	1727	3435	9937	21299	3485

4.18. lentelėje matyti, kad Švedijos ir Suomijos jungtis lieka tos pačios galios, o kitų šalių bendrai sudėjus nuo 2025 iki 2050 metų padidėja net ant 35 112 MW. Kadangi Švedija turi tarpvalstybines jungtis su trimis šalimis, šis jungčių pokytis galėtų būti mažesnis jeigu Švedija nuspręstų mažinti planuojamas atominių elektrinių apimtis arba esant poreikiui nuspręstų įsirengti jungtį su Jungtine Karalyste arba Olandija. Kadangi jungčių galios yra labai didelės nuspręsta sutikrinimui atominių elektrinių generacijos neapriboti leidžiant modeliui pačiam nuspręsti gaminamos elektros energijos kiekį. Tačiau tarpvalstybinių jungčių galia neženkiai pasikeičia, nes trūkstamą elektros energiją perima generuoti vėjo elektrinės, ženkliai išauga biomasės elektrinių galia, neuždėjus apribojimų didėja ir hidroelektrinių galia nepaisant ribotų išteklių. Tai patvirtina Švedijos poreikį ne tik didinti esamų jungčių galia, bet ieškoti galimybių įsirengti papildomas jungtis su kitomis šalimis.

4.2.8. Suomijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.11. pav. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Suomijoje 2025 metais elektros energijos poreikis 78,67 TWh, o 2050 metais padidėja iki 164,72 TWh. Nuo 2025 metų Suomija pasigamina pakankamą elektros energijos kiekį vartotojų poreikiams padengti teoriškai, tačiau kaip ir kitose šalyse atsiranda elektros energijos trūkumas gaminant iš AEI. Iki 2030 metų Suomija yra išsikėlusį tikslą gaminti daugiau nei 60 % iš AEI ir kaip ir Švedijos atveju į šią statistiką netraukiant atominių elektrinių gamybos, tikslas yra pasiekiamas – 2030 metais gamyba siekia 68 % ir kyla iki kol 2050 metais pasiekia 83,82 %.

Kadangi Suomija tokio griežto tikslo iki 2030 metų pasiekti 100 % gamybą iš AEI, kaip Lietuva, Danija ir Norvegija neturi, elektros energijos gamyba iš iškastinio kuro elektrinių vis dar yra iki 2050 metų atitinkamai uždėtiems emisijų tikslams. 4.11. pav. matyti, kad analogiškai kitoms šalims, kurios iškastinių elektrinių elektros energijos gamybos nėra apribojusios nuo 2030 metų, modelis parenka trūkstamą elektros energijos kiekį gaminti iš gamtinių dujų.

4.19. lentelė. Suomijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atominė energija
2025	27	6618	3173	1695	4364
2030	42	25000	3173	1695	4364
2035	46	40553	3173	1695	4364
2040	51	84099	3173	2641	4364
2045	84	84099	3173	3061	4364
2050	62	84099	3173	3549	4364

4.19. lentelės tęsinys

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos	Nafta	Anglis	Durpės
2025	87	1742	1051	1410	1044
2030	87	9182	1051	1410	1044
2035	87	9821	1051	1410	1044
2040	70	10235	1051	1410	1044
2045	0	9887	1051	1410	1044
2050	0	8493	1051	1410	1044

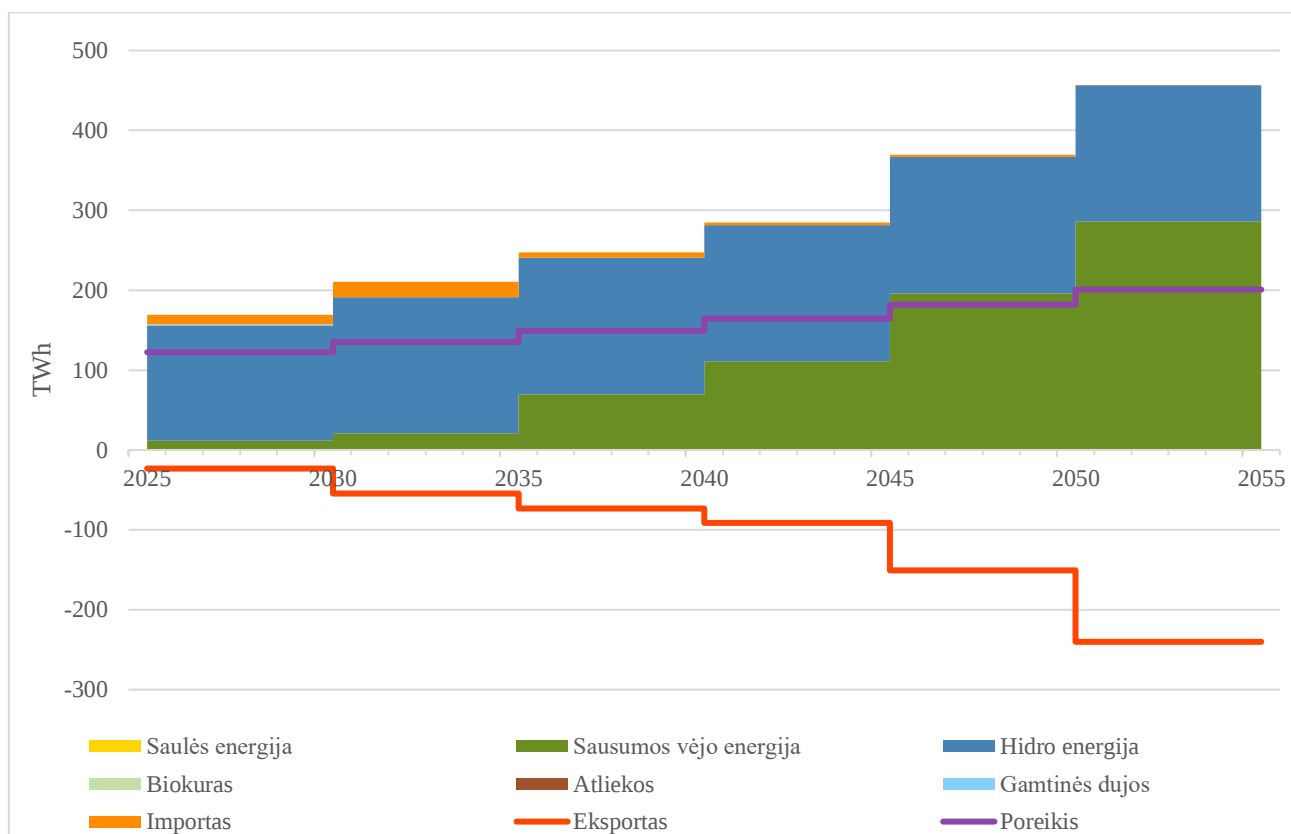
Užfiksavus atominių elektrinių ir hidroelektrinių galias, dėl nepakankamų išteklių ir planų plėstis nebuvimo, mažėjant emisijas generuojančių elektrinių gamybai ir didėjant vartotojų poreikiams didėja ir saulės bei vėjo elektrinių galia, taip pat ir biokuro elektrinių galia. Vėjo elektrinių galios pokytis yra labai didelis, tačiau įgyvendinamas, nes su dabartiniais planais iki 2050 metų bendras galios pokytis su sausumos ir jūros elektrinėmis būtų apie 100 GW

4.20. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Suomija, MW

Metai	EE-FI	FI-SE
2025	1016	2300
2030	1016	4639
2035	1059	7852
2040	1059	21074
2045	1603	39822
2050	3435	85738

Tarpvalstybinės jungtys, kaip minėta ankstesnėse šalyse, su Estija didėja 3 kartus iki 3435 MW, o su Švedija iki 85738 MW. Peržiūrint importo ir eksporto duomenis (2 priedas 30 lentelė) Suomija tampa eksportuojanti šalis ir Estijai daugiau elektros energijos eksportuoja nei iš jos importuoja nuo 2040 metų, o į Švediją eksportuoja daugiau nei iš jos importuoja jau nuo 2030 metų.

4.2.9. Norvegijos elektros poreikis, gamyba, CO₂ emisijos ir tarpvalstybinių jungčių plėtra



4.12. pav. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, importas ir eksportas, TWh, CO₂ emisijos, MtCO₂

Norvegijos elektros energijos poreikis labai panašus į Švedijos – Norvegijai 2025 metų poreikis yra 122,34 TWh, o 2050 metais padidėja iki 200,72 TWh. Elektros energijos gamyba šalies viduje visa laikotarpį viršija šalies poreikį ir kiekvieną nagrinėjamą laikotarpį didėja – 2025 metais gamyba beveik 1,3 karto didesnė nei poreikis, o 2050 metais padidėja iki beveik 2,3 karto. Šis didėjimas atsiranda dėl didėjančios hidro ir saulės bei vėjo elektrinių generacijos.

Kadangi Norvegija yra išsikėlusį tikslą iki 2030 metų gaminti elektros energiją iš AEI, nuo 2030 metų nebėra generacijos iš atliekų ir gamtinių dujų elektrinių. Kadangi šių elektrinių veikla stabdoma, o didelis elektros energijos kiekis yra gaminamas iš anksčiau minėtos saulės, vėjo ir hidroelektrinių, biomasės elektrinių veikla, kas liečia elektros energijos gamybą, sumažėja ir laikosi apie 0,01-0,03 TWh visą laikotarpį. Nepaisant to modelis nurodo, kad biokuro elektrinių galia didėja dvigubai. Tai gali būti dėl rezervo užtikrinimo jeigu nebūtų saulės ar vėjo elektrinių generacijos ar stabdant hidroelektrinių veiklą.

4.21. lentelė. Norvegijos elektrinių instaliuotos galios pagal kuro rūšis, MW

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	9	5133	34600	14	92	473
2030	500	9023	34600	14	92	473
2035	550	31365	34600	14	92	473
2040	605	54352	34600	22	74	473
2045	666	124587	34600	25	0	378
2050	743	138832	34600	29	0	0

Modelis siūlo ženkliai plėsti vėjo elektrinių galią nuo 2025 metais 5 133 MW iki 138 832 MW. Toks galios pokytis atsiranda dėl didelio elektros energijos kiekio importavimo į Vokietiją. Šis kiekis gali mažėti atitinkamai kitų šalių, kurios turi su Vokietija tarpvalstybines jungtis planams – joms integruojant į savo šalių sistemas daugiau elektrinių, importas į Vokietiją iš Norvegijos atitinkamai mažėtų.

4.22. lentelė. Tarpvalstybinių jungčių plėtra su Norvegija, MW

Metai	NO-DE	NO-DK	SE-NO
2025	1444	1632	3695
2030	12467	1632	3695
2035	14413	1632	3695
2040	17871	1632	3695
2045	28545	3655	3695
2050	41668	3655	3695

4.22. lentelėje nurodyta siūloma tarpvalstybinių jungčių plėtra – siūloma jas plėsti su Vokietija ir Danija bendrai galią padidinant 42 247 MW, kur didžioji dalis pokyčių numatyta su Vokietija. Tarpvalstybinė jungtis tarp Norvegijos ir Švedijos liktų tos pačios galios.

Išvados

1. Tyrimo metu išanalizuoti Europos Sąjungos ir pasaulio mastu pasirašyti susitarimai, kurių tikslai – užtikrinti, kad vidutinės temperatūros prieaugis būtų gerokai mažesnis nei 2°C , palyginti su iki pramoninio laikotarpio temperatūra, sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį bent 50 % ir siekti 55 % lyginant su 1990 metų lygiu. Taip pat atsižvelgiant į išmetamo CO_2 kiekį reikalingą elektros energijos ir šilumos gamybai, remiantis pasirašytais susitarimais ir išnagrinėjus mokslinius straipsnius nustatyta, kad siekiant iki 2050 metų pasiekti nulines CO_2 emisijas, šalys turi generuoti elektros energiją iš AEI. Esant skirtingoms sąlygoms šalims gaminti elektros energiją iš saulės ir vėjo elektrinių, privaloma tarpvalstybinių jungčių plėtra siekiant išlaikyti subalansuotą kiekvienos šalies elektros energijos tinklą ir išvengti elektros energijos tiekimo sutrikimų.
2. Darbo metu surinkus ir apibendrinus tiriamų Baltijos jūros regiono šalių energetikos sistemas nustatyta, kad 2023 metų duomenimis 9-ių tyrime nagrinėjamų šalių, emisijas generuojančių elektrinių galia siekė 122,6 GW, kai tuo tarpu AEI elektrinių galia buvo 271,7 GW. Nepaisant to, kad AEI elektrinių galia 2,2 karto didesnė nei emisijas generuojančių elektrinių, elektros energijos gamyba iš šių elektrinių sudarė 43,4 % visos gamybos. 23,5 % visos generuojamos elektros energijos sudarė hidroelektrinių ir biomasės elektrinių gamyba. Didžiausios hidroelektrinių galios Norvegijoje, biomasės, saulės, sausumos ir jūrinių vėjo elektrinių – Vokietijoje. Nepaisant didelių AEI elektrinių galių, Vokietijoje 2023 metų duomenimis 39,5 % gaminamos elektros energijos buvo iš emisijas generuojančių elektrinių. Tyrimo metu surinkta informacija apie šalių esamas tarpvalstybines jungtis, kurių bendra galia siekia 22,86 GW. Siekiant įgyvendinti dekarbonizacijos tikslus, tarpvalstybinės jungtys gali padėti išspręsti elektros energijos trūkumą sumažėjus generacijai iš saulės ir vėjo.
3. Surinkus 9-ių šalių elektros energetikos sistemų duomenis, jie perkelti į MESSAGE modelį. Siekiant, kad modelis atliktų teisingus skaičiavimus ir kuo tiksliau prognozuotų elektros energijos gamybą, elektrinėms uždėti kintami ir pastovūs kaštai, galios, investicijų kaštai, eksploatacinis laikotarpis, nustatytas veikimo laikotarpis metų dalimi, statybų trukmė bei naudingo veikimo koeficientas. Tokioms elektrinėms kaip saulės ir vėjo uždėtos ir gamybos kreivės remiantis istoriniais duomenimis. Modelyje iš viso naudojama 18 sezonų – metai padalinti kas du mėnesius į 6 sezonus, kurių kiekvienas turi aukšto, vidutinio ir žemo vėjo greičių pjūvius – toks skaidymas pasirinktas kadangi vėjo elektrinių gamybai vidurkio išvedimas stipriai iškraipytų gamybos duomenis. Po to savaitė papildomai skirstoma į 2 dalis – darbo dienas ir savaitgalius, o diena išskirstyta į 12 intervalų kas dvi valandas. Modelyje taip pat nustatyti elektros energijos poreikiai, kurie išskaidyti atitinkamai sudarytai laiko kreivei, kad kuo tiksliau atitiktų realias poreikio sąlygas nustačius 3 % metinį prieaugį. Modeliuojant tarpvalstybines jungtis suvestos ne tik jų galios, bet ir investicijų kaštai ir elektros energijos kainos nustatant 2 % kilimą. Visoms šalims uždėti ne tik emisijų tikslai, bet ir emisijų kainos pagal kuro rūšį tam, kad modelis laikotarpiui, kai gamyba iš emisijas generuojančių elektrinių galima, galėtų nuspręsti kuri kuro rūšis kainos atžvilgiu ekonomiškesnė.
4. Sudarius matematinį optimizacinį modelį nustatyta, kad siekiant 100 % dekarbonizacijos tikslų esamų AEI elektrinių galia turi padidėti 9488,5 GW, tarpvalstybinių jungčių galia – 237,02 GW. Didžiausią kiekį tarpvalstybinių jungčių galios padidėjimo sudaro Švedijos –

Suomijos 35,20 %, Švedijos – Vokietijos 31,32 %, Norvegijos – Vokietijos 16,97 % ir Švedijos – Lenkijos jungtys 8,73 %. Bendrai šios jungtys padidėja 218,59 GW, kas yra 92,22 %. Kadangi Lenkija ir Vokietija, nepaisant didėjančios AEI elektrinių galių, nemažą kiekį elektros energijos gamina iš emisijas generuojančių elektrinių. Siekiant perėjimo prie 100 % generacijos iš AEI ir negalint pilnai patenkinti didėjančių vartotojų elektros energijos poreikių, reikia didinti tarpvalstybinių jungčių galias, siekiant trūkstamą elektros energijos kiekį gauti iš kitų šalių. Švedijos jungtys su kitomis šalimis didėja dėl numatomos atominių elektrinių plėtros iki 2050 metų. Vokietijos ir Danijos, bei Švedijos ir Norvegijos jungčių galia nesikeičia, o kitos jungtys padidėja nuo 0,06 % iki 1,51 %. Didelis AEI elektrinių galios pokytis yra dėl to, kad emisijas generuojančių elektrinių ir AEI elektrinių galios išnaudojimo koeficientai skiriasi, taip pat didėjant elektros energijos poreikiams turi didėti ir generuojamos elektros energijos kiekis. Tarpvalstybinių jungčių galia didėja, nes kiekvienai šaliai atitinkamu laiko periodu šalies viduje nesugeneravus reikiamo elektros energijos kiekio, tas kiekis turi būti perduodamas iš kitos šalies siekiant išlaikyti vartojimo ir gamybos balansą.

Literatūros sąrašas

1. ES Tarybos ir Europos Vadovų Tarybos svetainė. Europos žaliasis kursas [žiūrėta 2024-05-27]. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/green-deal/>
2. ES Tarybos ir Europos Vadovų Tarybos svetainė. Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos [žiūrėta 2024-05-27]. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/paris-agreement/#what>
3. LR Energetikos ministerija. Nacionalinio energetikos ir klimato srities veiksmų plano 2021–2030 m. atnaujinimui esamų priemonių analizei reikalingų dokumentų parengimas. [žiūrėta 2024-05-27]. Prieiga per: [https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/NEKSVP%20esam%C5%B3%20priemoni%C5%B3%20analiz%C4%97%2003%2023%20pristatymas%20\(03%2031\).pdf](https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/NEKSVP%20esam%C5%B3%20priemoni%C5%B3%20analiz%C4%97%2003%2023%20pristatymas%20(03%2031).pdf)
4. Fang S., Jaffe A.M., Loch-Temzelides T., Lo Prete C. Electricity grids and geopolitics: A game-theoretic analysis of the synchronization of the Baltic States' electricity networks with Continental Europe. Elsevier, Energy Policy, 2024, volume 188 114068. [žiūrėta 2024-05-27]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421524000880>
5. ENTSOE. CCR Baltic Regulatory Authorities statement of disagreement on the CCR Baltic TSO's proposal on Capacity calculation methodology according to Commission Regulation (EU) 2016/1719 (FCA GL). [žiūrėta 2024-05-28]. Prieiga per: <https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/nc-tasks/Baltic%20-%2010.1%20-%20Baltic%20Regulatory%20Authorities%20statement%20of%20disagreement.pdf>
6. Elering. Synchronisation with continental Europe. [interaktyvus] [žiūrėtas 2024-05-28]. Prieiga per internetą: <https://elering.ee/en/synchronization-continental-europe>
7. Child M., Bogdanov D., Breyer C. The Baltic Sea Region: Storage, grid exchange and flexible electricity generation for the transition to a 100% renewable energy system. Elsevier, Energy procedia, 2018, volume 155. 390-402. [žiūrėta 2024-05-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021830986X>
8. Nord Pool. Day-ahead market. [žiūrėta 2024-05-30]. Prieiga per: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Day-ahead-market/>
9. Nord Pool. Intraday market. [žiūrėta 2024-05-30]. Prieiga per: <https://www.nordpoolgroup.com/en/the-power-market/Intraday-market/>
10. Nord Pool. Balancing power [žiūrėta 2024-05-31]. Prieiga per: https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/tso/how-does-it-work_balancing-power.pdf
11. ENTSO-E. Cross Border Electricity Balancing Pilot Projects [žiūrėta 2024-05-31]. Prieiga per: [https://www.entsoe.eu/Documents/Network%20codes%20documents/Implementation/Pilot Projects/Report_PP2.pdf](https://www.entsoe.eu/Documents/Network%20codes%20documents/Implementation/Pilot%20Projects/Report_PP2.pdf)
12. ES Tarybos ir Europos Vadovų Tarybos svetainė. Atsinaujinančiųjų išteklių energija. Taryba patvirtina su Europos Parlamentu pasiektą susitarimą [žiūrėta 2024-05-31]. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/press/press-releases/2018/06/27/renewable-energy-council-confirms-deal-reached-with-the-european-parliament/>
13. Perez M. de la E. M., Scholten D., Smith Stegen K. The multi-speed energy transition in Europe: Opportunities and challenges for EU energy security. Elsevier, Energy strategy

- reviews, 2019, volume 26, 100415. [žiūrėta 2024-06-01]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301087>
14. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija. ES Baltijos jūros regiono strategija. [žiūrėta 2024-06-01]. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/tarptautinis-bendradarbiavimas-1/regioninis-bendradarbiavimas/es-baltijos-juros-regiono-strategija/>
 15. European Commision. Photovoltaic geographical information system [žiūrėta 2024-06-01]. Prieiga per: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#HR
 16. Renewables.Ninja [žiūrėta 2024-06-02]. Prieiga per: <https://www.renewables.ninja/>
 17. Elering. Synchronisation with continental Europe. [žiūrėtas 2024-06-02]. Prieiga per: <https://elering.ee/en/synchronization-continental-europe>
 18. Haein K. Grid interconnections and decarbonization pathways for carbon neutrality of Northeast Asia, 2023, volume 219, Part 1, 119358. [žiūrėta 2025-01-14]. Prieiga per internetą: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123012739?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=902757ad0f0fdd27
 19. International energy agency. Lithuania emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/lithuania/emissions>
 20. International energy agency. Latvia emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/latvia/emissions>
 21. International energy agency. Estonia emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/estonia/emissions>
 22. International energy agency. Poland emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/poland/emissions>
 23. International energy agency. Germany emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/germany/emissions>
 24. International energy agency. Denmark emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/denmark/emissions>
 25. International energy agency. Sweden emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/sweden/emissions>
 26. International energy agency. Finland emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/finland/emissions>
 27. International energy agency. Norway emissions. [žiūrėta 2025-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/countries/norway/emissions>
 28. International energy agency. Lithuania. [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/lithuania/electricity>
 29. Eurostat Energy balances. Lithuania. [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/LT>
 30. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Lithuania [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Lithuania>
 31. ENTSO-E. Net Transfer Capacities of regional Nordic group [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://www.nordpoolgroup.com/globalassets/download-center/tso/max-ntc.pdf>
 32. Enerdata. Lithuania Energy information. [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/lithuania/>
 33. International energy agency. Latvia [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/latvia/electricity>

34. Eurostat Energy balances. Latvia. [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/LV>
35. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Latvia [žiūrėta 2024-05-29]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Latvia>
36. Enerdata. Latvia Energy information [žiūrėta 2024-06-03]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/latvia/>
37. International energy agency. Estonia [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/estonia/electricity>
38. Eurostat Energy balances. Estonia. [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/EE>
39. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Estonia [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Estonia>
40. Enerdata. Estonia Energy information [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/estonia/>
41. International energy agency. Poland [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/poland/electricity>
42. Eurostat Energy balances. Poland. [žiūrėta 2024-06-04]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/PL>
43. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Poland [žiūrėta 2024-05-31]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Poland>
44. Enerdata. Poland Energy information [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/poland/>
45. International energy agency. Germany [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/germany/electricity>
46. Eurostat Energy balances. Germany. [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/DE>
47. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Germany [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Germany>
48. Enerdata. Germany Energy information [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/germany/>
49. International energy agency. Denmark [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/denmark/electricity>
50. Eurostat Energy balances. Denmark. [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/DK>
51. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Denmark [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Denmark>
52. Enerdata. Denmark Energy information [žiūrėta 2024-06-05]. Prieiga per: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/denmark/>
53. International energy agency. Sweden [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per: <https://www.iea.org/countries/sweden/electricity>
54. Eurostat Energy balances. Sweden. [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/SE>
55. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Sweden [žiūrėta 2024-06-02]. Prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Sweden>

56. Enerdata. Sweden Energy information [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per:
<https://www.enerdata.net/estore/energy-market/sweden/>
57. International energy agency. Finland [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per:
<https://www.iea.org/countries/finland/electricity>
58. Eurostat Energy balances. Sweden. [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per internetą:
<https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/SE>
59. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Finland [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per:
<https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Finland>
60. Enerdata. Finland Energy information [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per:
<https://www.enerdata.net/estore/energy-market/finland/>
61. International energy agency. Norway [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per:
<https://www.iea.org/countries/norway/electricity>
62. Eurostat Energy balances. Norway. [žiūrėta 2024-06-06]. Prieiga per internetą:
<https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/energy-balances/enbal.html/NO>
63. ENTSO-E. Installed Capacity per Production Type. Norway [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per:
<https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacity/Norway>
64. Enerdata. Norway Energy information [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per:
<https://www.enerdata.net/estore/energy-market/norway/>
65. Analyses of Energy Supply Options and security of Energy Supply in the Baltic States [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per internetą: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1541_web.pdf
66. System Planning Test SPLAT models for Africa [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per internetą:
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Planning/SPLAT-Models-for-Africa>
67. REEM Energy Systems Modelling Project [žiūrėta 2025-01-20]. Prieiga per internetą:
<https://www.reem.org/message/>
68. Ignitis gamyba. Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: <https://ignitissgamyba.lt/veikla/elektros-energijos-gamyba-ir-prekyba/kruonio-hidroakumuliacine-elektrine-kruonio-hae/136>
69. Galutinis atnaujintas Lietuvos Respublikos nacionalinio energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m. [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą:
<https://enmin.lrv.lt/public/canonical/1727959588/5212/Galutinis%20atnaujintas%20NEKSV%20P.pdf>
70. Latvia's national energy and climate plan 2021-2030 [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-04/lv_final_necp_main_en_0.pdf
71. Estonia's 2030 national energy and climate plan [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą:
https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/ee_final_necp_main_en.pdf
72. Executive summary of Poland's national energy and climate plan for the years 2021-2030 [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/pl_final_necp_summary_en_0.pdf
73. Update of the integrated national energy and climate plan plan of the Federal Republic of Germany [žiūrėta 2025-01-21]. Prieiga per internetą:
https://commission.europa.eu/document/download/cd8ba2d6-1af6-4f37-aa07-059989bb1264_en?filename=GERMANY%E2%80%93FINAL%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20%28ENGLISH%29.pdf

74. Integrated national energy and climate plan Denmark [žiūrēta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: https://climate-laws.org/documents/integrated-national-energy-and-climate-plan_5baf?id=denmarks-integrated-national-energy-and-climate-plan_9ed8
75. Sweden's integrated national energy and climate plan [žiūrēta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/se_final_necp_main_en_0.pdf
76. Finland's integrated energy and climate plan [žiūrēta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/fi_final_necp_main_en_0.pdf
77. Norway's climate action plan for 2021–2030 [žiūrēta 2025-01-21]. Prieiga per internetą: <https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/en-gb/pdfs/stm202020210013000engpdfs.pdf>
78. Entso-e Transparency Platform. Energy Prices [žiūrēta 2025-02-13]. Prieiga per internetą: <https://newtransparency.entsoe.eu/market/energyPrices>
79. IPCC.2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 [žiūrēta 2025-01-24]. Prieiga per internetą: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

Priedai

1 priedas. Technologijų parametrai

1 lentelė. Akmens anglies dujų elektrinės technologijos parametrai

Akmens anglies dujų elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2500						
Pastovūs kaštai, €/kW	125						
Kintami kaštai, €/kW	105						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,4						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,45						

2 lentelė. Anglies elektrinės technologijos parametrai

Anglies elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1300						
Pastovūs kaštai, €/kW	90						
Kintami kaštai, €/kW	60						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,8						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,45						

3 lentelė. Atliekų elektrinės technologijos parametrai

Atliekų elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2700						
Pastovūs kaštai, €/kW	110						
Kintami kaštai, €/kW	65						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	20						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,7						
Statybų trukmė metais	3						
Naudingo veikimo koeficientas	0,75						

4 lentelė. Atominės elektrinės technologijos parametrai

Atominė elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	6000						
Pastovūs kaštai, €/kW	150						
Kintami kaštai, €/kW	105						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	60						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9						
Statybų trukmė metais	10						
Naudingo veikimo koeficientas	1						

5 lentelė. Biokuro elektrinės technologijos parametrai

Biokuro elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2500						
Pastovūs kaštai, €/kW	90						
Kintami kaštai, €/kW	70						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	30						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,85						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,3						

6 lentelė. Durpių elektrinės technologijos parametrai

Durpių elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1500						
Pastovūs kaštai, €/kW	75						
Kintami kaštai, €/kW	70						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9						
Statybų trukmė metais	2,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,3						

7 lentelė. Gamtinių dujų elektrinės technologijos parametrai

Gamtinių dujų elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	600						
Pastovūs kaštai, €/kW	90						
Kintami kaštai, €/kW	100						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	25						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,7						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,45						

8 lentelė. Geoterminės elektrinės technologijos parametrai

Geoterminė elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	5500						
Pastovūs kaštai, €/kW	115						
Kintami kaštai, €/kW	35						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95						
Statybų trukmė metais	6						
Naudingo veikimo koeficientas	1						

9 lentelė. Hidroelektrinės technologijos parametrai

Hidroelektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2100						
Pastovūs kaštai, €/kW	40						
Kintami kaštai, €/kW	0						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	60						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,75						
Statybų trukmė metais	2,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,75						

10 lentelē. Jūrinės vėjo elektrinės technologijos parametrai

Jūrinė vėjo elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1900						
Pastovūs kaštai, €/kW	120						
Kintami kaštai, €/kW	65						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	25						
Statybų trukmė metais	25						
Vidutinis galios faktorius	0,370359						

11 lentelē. Lignito elektrinės technologijos parametrai

Lignito elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1750						
Pastovūs kaštai, €/kW	100						
Kintami kaštai, €/kW	85						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,7						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,35						

12 lentelē. Naftos elektrinės technologijos parametrai

Naftos elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	700						
Pastovūs kaštai, €/kW	70						
Kintami kaštai, €/kW	70						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9						
Statybų trukmė metais	4,5						
Naudingo veikimo koeficientas	0,35						

13 lentelė. Saulės elektrinės technologijos parametrai

Saulės elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	900						
Pastovūs kaštai, €/kW	10						
Kintami kaštai, €/kW	10						
Eksploatacinis laikotarpis, metais	25						
Statybų trukmė metais	2						
Vidutinis galios faktorius	0,122145						

14 lentelė. Sausumos vėjo elektrinės technologijos parametrai

Sausumos vėjo elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	3000						
Pastovūs kaštai, €/kW	50						
Kintami kaštai, €/kW	20						
Eksploatacinis laikotarpis, metais	30						
Statybų trukmė metais	2,5						
Vidutinis galios faktorius	0,250178						

15 lentelė. Skalūnų elektrinės technologijos parametrai

Skalūnų elektrinė							
	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2000						
Pastovūs kaštai, €/kW	110						
Kintami kaštai, €/kW	70						
Eksploatacinis laikotarpis, metais	30						
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,7						
Statybų trukmė metais	3						
Naudingo veikimo koeficientas	0,4						

2 priedas. Gauti modelio rezultatai

1 lentelė. Lietuvos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	10.42	10.03	6.01
2030	12.08	12.92	12.92
2035	14.01	13.25	13.25
2040	16.24	13.81	13.81
2045	18.83	14.28	14.28
2050	21.83	14.19	14.19

2 lentelė. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	0.74	2.86	2.02	0.39	0.29	3.73
2030	4.23	2.87	5.61	0.22	0.00	0.00
2035	4.65	2.73	5.61	0.26	0.00	0.00
2040	5.13	2.79	5.61	0.29	0.00	0.00
2045	5.64	2.83	5.61	0.19	0.00	0.00
2050	6.23	2.35	5.61	0.01	0.00	0.00

3 lentelė. Lietuvos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	LT-LV	LV-LT	LT-PO	PO-LT	LT-SE	SE-LT
2025	0.57	0.38	4.38	0.91	0.47	4.50
2030	0.12	2.73	2.09	0.03	0.39	0.63
2035	0.36	1.93	0.89	0.05	0.16	1.89
2040	0.34	2.17	0.54	0.15	0.09	2.98
2045	0.34	2.04	0.44	0.79	0.03	4.71
2050	0.16	0.03	0.01	2.09	0.00	8.12

4 lentelė. Lietuvos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	0.35	1.40
2030	0	0
2035	0	0
2040	0	0
2045	0	0
2050	0	0

5 lentelē. Latvijas elektros enerģijas poreikis ir gamība, TWh

Metai	Poreikis	Gamība	AEI gamība
2025	6.65	9.18	6.11
2030	7.71	11.19	10.91
2035	8.94	11.47	11.19
2040	10.36	12.51	11.94
2045	12.01	14.20	12.53
2050	13.92	13.02	13.02

6 lentelē. Latvijas elektros enerģijas gamība pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vējo energija	Hidro energija	Biokuras	Gamtinās dujas
2025	0.30	0.31	5.20	0.31	3.07
2030	0.70	2.24	7.82	0.15	0.27
2035	0.77	2.47	7.82	0.13	0.27
2040	0.85	3.14	7.82	0.13	0.56
2045	0.93	3.64	7.82	0.14	1.67
2050	1.02	4.17	7.82	0.01	0.00

7 lentelē. Latvijas imports ir eksports iš/ī kitas šalis, TWh

Metai	LT-LV	LV-LT	LV-EE	EE-LV
2025	0.57	0.38	1.86	1.36
2030	0.12	2.73	0.42	0.80
2035	0.36	1.93	0.43	0.75
2040	0.34	2.17	0.34	1.45
2045	0.34	2.04	0.26	1.39
2050	0.16	0.03	0.02	2.34

8 lentelē. Latvijas CO₂ emisijas pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Gamtinās dujas
2025	1.04
2030	0.09
2035	0.09
2040	0.19
2045	0.56
2050	0.00

9 lentelē. Estijos elektros enerģijas poreikis ir gāmyba, TWh

Metai	Poreikis	Gāmyba	AEI gāmyba
2025	6.37	4.86	2.06
2030	7.38	13.53	13.29
2035	8.56	14.07	13.73
2040	9.92	16.11	15.84
2045	11.50	17.03	16.66
2050	13.33	19.65	19.65

10 lentelē. Estijos elektros enerģijas gāmyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulēs enerģija	Sausumos vējo enerģija	Hidro enerģija	Biokuras	Atliekos	Gāmtinēs dujos	Skālūnai	Anglis
2025	0.77	1.01	0.03	0.26	0.06	0.03	2.5	0.21
2030	6.59	6.49	0.04	0.16	0	0.21	0.03	0
2035	6.81	6.74	0.04	0.14	0	0.32	0.02	0
2040	7.82	7.72	0.04	0.27	0	0.24	0.02	0
2045	8.3	8.16	0.04	0.15	0	0.32	0.05	0
2050	9.88	9.73	0.04	0.01	0	0	0	0

11 lentelē. Estijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	LV-EE	EE-LV	EE-FI	FI-EE
2025	1.86	1.36	3.88	3.54
2030	0.42	0.80	1.30	0.55
2035	0.43	0.75	0.92	0.79
2040	0.34	1.45	0.54	1.46
2045	0.26	1.39	0.25	2.07
2050	0.02	2.34	0.01	3.77

12 lentelē. Estijos CO₂ emisijas pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Anglies dujos	Atliekos	Gāmtinēs dujos	Skālūnai
2025	0.21	0.08	0.02	2.36
2030	0.00	0.00	0.08	0.02
2035	0.00	0.00	0.12	0.02
2040	0.00	0.00	0.09	0.02
2045	0.00	0.00	0.12	0.04
2050	0.00	0.00	0.00	0.00

13 lentelė. Lenkijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	141.45	141.62	51.44
2030	163.98	103.08	88.35
2035	190.09	147.56	134.84
2040	220.37	174.28	163.86
2045	255.47	256.25	243.91
2050	296.16	451.33	451.33

14 lentelė. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Anglies dujos	Anglis
2025	17.23	21.01	11.72	1.48	14.24	16.22	1.08	0.43	58.2
2030	21.8	54.05	11.72	0.78	12.45	0.08	0.05	0.36	1.79
2035	23.98	98.19	11.72	0.95	11.23	0.06	0.04	0.32	1.07
2040	38.17	112.95	11.72	1.02	9.03	0.07	0.03	0.27	1.01
2045	40.81	190.67	11.72	0.71	8.39	0.16	1.2	1.53	1.06
2050	43.71	395.88	11.72	0.02	0	0	0	0	0

15 lentelė. Lenkijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	LT-PO	PO-LT	PO-DE	DE-PO	PO-SE	SE-PO
2025	4.38	0.91	8.46	16.81	0.47	5.26
2030	2.09	0.03	1.39	5.81	0.00	72.78
2035	0.89	0.05	5.02	2.65	0.00	65.76
2040	0.54	0.15	5.48	2.69	0.00	73.60
2045	0.44	0.79	10.15	1.31	0.00	38.01
2050	0.01	2.09	108.56	0.00	0.03	0.70

16 lentelė. Lenkijos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Anglies dujos	Anglis	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta
2025	0.15	34.47	4.82	12.71	0.62
2030	0.12	1.06	4.21	0.06	0.03
2035	0.11	0.64	3.80	0.05	0.02
2040	0.09	0.60	3.05	0.05	0.02
2045	0.52	0.63	2.84	0.13	0.68
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

17 lentelė. Vokietijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	481.21	523.13	311.44
2030	557.86	552.03	491.18
2035	646.71	581.63	514.20
2040	749.71	629.05	551.95
2045	869.12	635.91	580.47
2050	1007.56	640.59	640.59

18 lentelė. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Hidro energija	Geoterminė energija	Biokuras
2025	90.96	102.14	27.43	71.75	0.04	19.16
2030	218.4	143.31	46.23	71.75	0.36	11.49
2035	242.27	145.26	42.59	71.75	0.39	12.33
2040	269.98	155.34	41.72	71.75	0.44	13.15
2045	272.07	178.65	47.98	71.75	0.25	10.03
2050	307.77	205.44	55.18	71.75	0.02	0.43

18 lentelės tęsinys

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta	Anglis
2025	2.77	100.04	39.41	11.36	58.06
2030	0	57.95	0.24	0.53	1.76
2035	0	65.01	0.22	0.43	1.39
2040	0	75.25	0.18	0.32	0.9
2045	0	54.6	0.11	0.12	0.36
2050	0	0	0	0	0

19 lentelė. Vokietijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	PO-DE	DE-PO	DE-DK	DK-DE	DE-SE	SE-DE	DE-NO	NO-DE
2025	8.46	16.81	1.90	14.30	1.29	5.18	4.31	12.25
2030	1.39	5.81	7.28	8.39	1.26	29.07	4.20	49.58
2035	5.02	2.65	4.03	7.80	0.03	66.06	1.95	67.67
2040	5.48	2.69	4.92	7.06	0.01	115.81	0.03	84.13
2045	10.15	1.31	5.11	3.49	0.01	193.44	0.00	129.86
2050	108.56	0.00	1.72	0.07	0.00	154.75	0.00	217.42

20 lentelė. Vokietijos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Anglis	Atliekos	Gamtinės dujos	Lignitas	Nafta
2025	34.39	3.00	33.83	30.89	6.45
2030	1.04	0.00	19.60	0.19	0.30
2035	0.82	0.00	21.99	0.17	0.24
2040	0.53	0.00	25.45	0.14	0.18
2045	0.21	0.00	18.47	0.09	0.07
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

21 lentelė. Danijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	32.26	42.53	25.44
2030	37.40	42.76	42.76
2035	43.36	43.59	43.59
2040	50.26	46.57	46.57
2045	58.27	37.74	37.74
2050	67.55	41.88	41.88

22 lentelė. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Jūros vėjo energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos	Nafta	Anglis
2025	3.95	8.3	8.58	4.61	0.59	4.33	2.65	9.53
2030	5.19	14.91	20.72	1.94	0	0	0	0
2035	5.71	15.36	20.24	2.28	0	0	0	0
2040	6.28	17.13	20.77	2.39	0	0	0	0
2045	6.9	19.11	9.93	1.8	0	0	0	0
2050	23.35	17.54	0.86	0.13	0	0	0	0

23 lentelė. Danijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	DE-DK	DK-DE	DK-SE	SE-DK	DK-NO	NO-DK
2025	1.90	14.30	1.59	5.64	2.55	6.87
2030	7.28	8.39	0.96	4.16	4.77	3.05
2035	4.03	7.80	0.96	7.35	1.13	4.20
2040	4.92	7.06	1.05	9.41	1.27	5.37
2045	5.11	3.49	0.02	10.45	0.63	16.05
2050	1.72	0.07	0.00	11.58	0.00	19.92

24 lentelė. Danijos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Anglis	Atliekos	Gamtinės dujos	Nafta
2025	2.82	0.64	1.46	1.50
2030	0.00	0.00	0.00	0.00
2035	0.00	0.00	0.00	0.00
2040	0.00	0.00	0.00	0.00
2045	0.00	0.00	0.00	0.00
2050	0.00	0.00	0.00	0.00

25 lentelė. Švedijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	127.65	171.50	117.10
2030	147.98	274.73	159.03
2035	171.55	331.08	154.08
2040	198.88	388.91	150.62
2045	230.55	459.69	160.10
2050	267.27	466.01	166.42

26 lentelė. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Atominė energija
2025	3.28	33.50	80.32	54.40
2030	9.02	66.25	83.77	115.70
2035	9.92	60.39	83.77	177.00
2040	10.91	55.94	83.77	238.29
2045	12.00	64.33	83.77	299.59
2050	8.67	73.98	83.77	299.59

27 lentelė. Švedijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	LT-SE	SE-LT	PO-SE	SE-PO	DE-SE	SE-DE	DK-SE	SE-DK
2025	0.47	4.50	0.47	5.26	1.29	5.18	1.59	5.64
2030	0.39	0.63	0.00	72.78	1.26	29.07	0.96	4.16
2035	0.16	1.89	0.00	65.76	0.03	66.06	0.96	7.35
2040	0.09	2.98	0.00	73.60	0.01	115.81	1.05	9.41
2045	0.03	4.71	0.00	38.01	0.01	193.44	0.02	10.45
2050	0.00	8.12	0.03	0.70	0.00	154.75	0.00	11.58

27 lentelės tęsinys

Metai	SE-NO	NO-SE	SE-FI	FI-SE
2025	5.34	4.17	9.15	1.87
2030	10.52	2.01	1.26	16.65
2035	3.57	1.26	1.33	19.31
2040	1.78	1.89	0.94	56.27
2045	2.23	4.84	0.92	69.09
2050	0.09	2.80	0.05	22.89

28 lentelė. Suomijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	78.67	81.46	37.27
2030	91.20	117.88	80.45
2035	105.73	137.57	99.73
2040	122.57	198.85	161.57
2045	142.09	235.78	196.99
2050	164.72	212.59	178.18

29 lentelė. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atominė energija
2025	0.03	17.82	15.63	3.79	34.41
2030	0.05	62.86	15.63	1.91	34.41
2035	0.05	82.33	15.63	1.72	34.41
2040	0.06	143.45	15.63	2.43	34.41
2045	0.1	179.73	15.63	1.53	34.41
2050	0.07	162.41	15.63	0.06	34.41

29 lentelės tęsinys

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos	Nafta	Anglis	Durpės
2025	0.13	3.68	0.06	3.44	2.47
2030	0	2.84	0.14	0.04	0
2035	0	3.23	0.12	0.09	0
2040	0	2.71	0.09	0.08	0
2045	0	4.29	0.05	0.04	0
2050	0	0	0	0	0

30 lentelė. Suomijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	EE-FI	FI-EE	SE-FI	FI-SE
2025	3.88	3.54	9.15	1.87
2030	1.30	0.55	1.26	16.65
2035	0.92	0.79	1.33	19.31
2040	0.54	1.46	0.94	56.27
2045	0.25	2.07	0.92	69.09
2050	0.01	3.77	0.05	22.89

31 lentelė. Suomijos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Anglis	Atliekos	Durpės	Gamtinės dujos	Nafta
2025	2.03	0.14	2.36	1.25	0.03
2030	0.02	0.00	0.00	0.96	0.08
2035	0.05	0.00	0.00	1.09	0.07
2040	0.05	0.00	0.00	0.92	0.05
2045	0.03	0.00	0.00	1.45	0.03
2050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

32 lentelė. Norvegijos elektros energijos poreikis ir gamyba, TWh

Metai	Poreikis	Gamyba	AEI gamyba
2025	122.34	157.26	155.81
2030	135.08	191.31	191.31
2035	149.13	240.30	240.30
2040	164.66	281.41	281.41
2045	181.79	366.63	366.63
2050	200.72	456.57	456.57

33 lentelė. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis, TWh

Metai	Saulės energija	Sausumos vėjo energija	Hidro energija	Biokuras	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	0.01	11.56	144.21	0.03	0.14	1.31
2030	0.48	20.33	170.49	0.02	0	0
2035	0.53	69.27	170.49	0.01	0	0
2040	0.58	110.32	170.49	0.02	0	0
2045	0.64	195.48	170.49	0.01	0	0
2050	0.71	285.37	170.49	0	0	0

34 lentelė. Norvegijos importas ir eksportas iš/į kitas šalis, TWh

Metai	DE-NO	NO-DE	DK-NO	NO-DK	SE-NO	NO-SE
2025	4.31	12.25	2.55	6.87	5.34	4.17
2030	4.20	49.58	4.77	3.05	10.52	2.01
2035	1.95	67.67	1.13	4.20	3.57	1.26
2040	0.03	84.13	1.27	5.37	1.78	1.89
2045	0.00	129.86	0.63	16.05	2.23	4.84
2050	0.00	217.42	0.00	19.92	0.09	2.80

35 lentelė. Norvegijos CO₂ emisijos pagal kuro rūšis, MtCO₂

Metai	Atliekos	Gamtinės dujos
2025	0.15	0.44
2030	0.00	0.00
2035	0.00	0.00
2040	0.00	0.00
2045	0.00	0.00
2050	0.00	0.00