



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Eimantas Neniškis

BALTIJOS REGIONO ŠALIŲ ELEKTROS ENERGETIKOS
SEKTORIAUS PERSPEKTYVINĖS RAIDOS ANALIZĖ

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**BALTIJOS REGIONO ŠALIŲ ELEKTROS ENERGETIKOS
SEKTORIAUS PERSPEKTYVINĖS RAIDOS ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė
2017-06-02

Recenzentas

Doc. dr. Audrius Jonaitis

Projektą atliko

Eimantas Neniškis
2017-06-02

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Eimantas Neniškis

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio 2 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Eimanto Neniškio** baigiamasis projektas tema „Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Neniškis, Eimantas. Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *MESSAGE, modelis, elektros energetikos sektorius, raida, 2045.*

Kaunas, 2017. 92 p.

SANTRAUKA

Siekiant įvertinti kaip gali kisti elektros energetikos sektoriaus raida Baltijos šalių regione, priklausomai nuo skirtingų iškastinio kuro kainų bei Europos Sąjungos tikslų mažinti anglies dvideginio emisijas, darbe atlikta perspektyvinės raidos analizė.

Šiame darbe apžvelgtos esamos Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektorių perspektyvinę raidą vertinančios studijos. Išnagrinėta dabartinė elektros energetikos sektoriaus situacija 9 Baltijos regiono valstybėse (Danija, Estija, Latvija, Lenkija, Lietuva, Norvegija, Suomija, Švedija, Vokietija)

Baltijos valstybių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos analizė grįsta sudarytu matematinio optimizaciniu modeliu MESSAGE programine įranga. Darbe detalai aprašyti matematinio optimizacinio modelio sudarymo principai.

Taikant sudarytą matematinį optimizacinį modelį analizuojami 4 galimi scenarijai: žemų, vidutinių ir aukštų iškastinio kuro kainų bei panaikintų ribojimų, kuriame nėra apribojama naujų atominių elektrinių statyba ir nėra vertinami Europos Sąjungos CO₂ emisijų mažinimo tikslai. Modeliuojamas laiko periodas nuo 2016 m. iki 2045 m. Darbe pateikti skaičiavimų rezultatai 4 scenarijais bendrai Baltijos šalių regionui ir kiekvienai šaliai individualiai.

Neniškis, Eimantas. Analysis of Perspective Development of Electric Power Sector in Baltic Region Countries: *Master's thesis in Electrical Power Systems* / supervisor assoc. prof. dr. Inga Konstantinavičiūtė. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electric Power Systems

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *MESSAGE, model, power sector, development, 2045.*

Kaunas, 2017. 92 p.

SUMMARY

In order to assess how Baltic region electricity power sector may change in the future, depending on the different fossil fuel prices and European Union's carbon dioxide emission reduction objectives, prospective analysis was carried out.

In this Master's theses existing research on prospective development of Baltic region power sector was reviewed. Also analysis was carried out on the current electricity sector situation in 9 Baltic region countries (Denmark, Estonia, Latvia, Lithuania, Norway, Finland, Sweden, Germany).

Analysis of Baltic region countries' power sector prospective development is based on created mathematical optimization model using MESSAGE software. In this work there is a detailed description of modelling principles.

4 possible scenarios were analysed by using created mathematical optimization model: low, medium and high fossil fuel price scenarios and a scenario with removed restrictions in which there are no limitations on construction of new nuclear power plants and EU's CO₂ emission reduction targets are not considered.

Time period from 2016 to 2045 was simulated. Simulation results of 4 different scenarios are presented for Baltic region as a whole and for each country individually.

TURINYS

Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas.....	12
Įvadas.....	13
1. Apžvalginė dalis.....	14
1.1. Perspektyvinės elektros energetikos sistemos raidos analizė	14
1.1.1. Esamų Baltijos regiono elektros energetikos perspektyvinę raidą nagrinėjančių studijų apžvalga.....	15
1.2. Baltijos regiono šalys.....	19
1.3. Baltijos regiono šalių Elektros energetikos sektoriai.....	19
1.3.1. Danijos elektros energetikos sektorius	19
1.3.2. Estijos elektros energetikos sektorius.....	21
1.3.3. Latvijos elektros energetikos sektorius.....	22
1.3.4. Lenkijos elektros energetikos sektorius.....	23
1.3.5. Lietuvos elektros energetikos sektorius.....	25
1.3.6. Norvegijos elektros energetikos sektorius	26
1.3.7. Suomijos elektros energetikos sektorius	28
1.3.8. Švedijos elektros energetikos sektorius.....	29
1.3.9. Vokietijos elektros energetikos sektorius	30
2. Metodinė dalis.....	32
2.1. Tyrimo objektas	32
2.2. Programinė įranga.....	32
2.3. Modeliavimas taikant MESSAGE programinę įrangą.....	33
2.3.1. Energijos tiekimo grandinės modeliavimas	33
2.3.2. Elektros energijos importo iš Rusijos ir Baltarusijos modeliavimas.....	36
2.3.3. Modeliuojamų technologijų parametrai	37
2.3.4. Laiko segmentavimas.....	38
2.3.5. Generacijos naudojant AEI modeliavimas	39
2.3.6. CO ₂ emisijų modeliavimas.....	42
2.3.6. Minimalios elektros gamybos šalies viduje ir gamybos naudojant AEI ribojimai	45
2.3.6. Nuostoliai elektros ir šilumos tinkluose	46
2.3.6. Kuro kainos ir nagrinėjami scenarijai	47

3. Tyrimo rezultatų dalis	48
3.1. Baltijos regiono elektros energetikos sistemos perspektyvinės raidos scenarijai	48
3.1.1. Žemų iškastinio kuro kainų scenarijus	48
3.1.2. Vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijus	50
3.1.3. Aukštų iškastinio kuro kainų scenarijus	52
3.1.5. Panaikintų ribojimų scenarijus	54
3.2. Atskirų šalių elektros energetikos sistemų perspektyvinės raidos scenarijai	56
3.2.1. Danija	56
3.2.2. Estija	58
3.2.3. Latvija	60
3.2.4. Lenkija	62
3.2.5. Lietuva	64
3.2.6. Norvegija	66
3.2.7. Suomija	68
3.2.8. Švedija	70
3.2.9. Vokietija	72
Išvados	74
Literatūros sąrašas	75
Priedai	79
Priedas 1. Technologijų parametrai	79
Priedas 2. Kuro kainos	88

SANTRUMPŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

AE – Atominė elektrinė

AEI – Atsinaujinantys energijos ištekliai

BVP – Bendras vidaus produktas

CO₂ – Anglies dvideginis

ES – Europos Sąjunga

KHE – Kauno hidro elektrinė

ŠŠ – Šeštadieniai, sekmadieniai iš šventinės dienos

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav. Elektros metinių srautų ir elektros kainų rezultatai didelės integracijos – didelės AEI plėtros scenarijaus atveju
- 1.2 pav. Lietuvos, Latvijos ir Estijos elektros gamyba naudojant skirtingą kūrą, skirtingų scenarijų atvejais
- 1.3 pav. Elektros kaina skirtingų scenarijų atvejais
- 1.4 pav. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.5 pav. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.6 pav. Latvijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.7 pav. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.8 pav. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.9 pav. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.10 pav. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.11 pav. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 1.12 pav. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai
- 2.1 pav. Supaprastinta modelio schema
- 2.2 pav. Kogeneracinės ir hidroakumuliacinės elektrinių alternatyvių veiklų modelio schema
- 2.3 pav. Skirtingų šalių modelių sujungimo elektros importo technologijomis schema
- 2.4 pav. Elektros energijos importo iš Rusijos kainų kreivė Lietuvai, Latvijai ir Estijai
- 2.5 pav. Laiko segmentai
- 2.6 pav. Lietuvos vidutinės sezoninės apšvietos kreivės
- 2.7 pav. Lietuvos saulės elektrinių galios faktorių kreivė
- 2.8 pav. Vėjo greičio pasiskirstymas metuose Norvegijoje
- 2.9 pav. Enercon E-82 galios kreivė
- 2.10 pav. Norvegijos vėjo elektrinių gamybos kreivės

2.11 pav. CO₂ emisijų leidimų generavimo ir vartojimo schema

3.1 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.2 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.3 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.4 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.5 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.6 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.7 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju

3.8 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju

3.9 pav. Elektros gamyba Danijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.10 pav. Elektros gamyba Danijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.11 pav. Elektros gamyba Estijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.12 pav. Elektros gamyba Estijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.13 pav. Elektros gamyba Latvijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.14 pav. Elektros gamyba Latvijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

3.15 pav. Elektros gamyba Lenkijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.

- 3.16 pav. Elektros gamyba Lenkijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.17 pav. Elektros gamyba Lietuvoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.18 pav. Elektros gamyba Lietuvoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.19 pav. Elektros gamyba Norvegijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.20 pav. Elektros gamyba Norvegijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.21 pav. Elektros gamyba Suomijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.22 pav. Elektros gamyba Suomijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.23 pav. Elektros gamyba Švedijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.24 pav. Elektros gamyba Švedijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.25 pav. Elektros gamyba Vokietijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.
- 3.26 pav. Elektros gamyba Vokietijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Estijos elektrinių instaliuota elektrinė galia

1.2 lentelė. Lietuvoje instaliuota elektrinė galia MW

2.1 lentelė. CO₂ emisijų faktoriai

2.2 lentelė. Europa 2020 CO₂ emisijų mažinimo tikslai

2.3 lentelė. Suvartojamos energijos dalis, kuri turi būti pagaminta naudojant AEI

2.4 lentelė. Elektros perdavimo ir skirstomųjų tinklų efektyvumas

3.1. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

3.2. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

3.3. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

3.4. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju, TWh

IVADAS

Temos aktualumas. Elektros energetikos sistema yra bene didžiausias ir sudėtingiausias žmonijos kūrinys. Jau net sunkiai įsivaizduojamas gyvenimas be elektros energijos ir iš tiesų jos tiekimo nutrūkimas gali sukelti itin didelius nuostolius. 2000-2001 m. Kalifornijos elektros krizės metu įvyko net keletas elektros tiekimo griūčių, kurių padariniai vertinami 40 mlrd. dolerių papildomų išlaidų bei BVP sumažėjimu tarp 0,7% ir 1,5%. [1]. Yra itin svarbu, kad ne tik būtų užtikrintas patikimas ir stabilus elektros tiekimas, tačiau ir užtikrinta mažiausia galima energijos kaina. Siekiant tai užtikrinti būtina priimti optimalius sprendimus, sprendžiant kiek, kokių ir kada elektrinių turi būti pastatyta, kokias skatinamąsias priemones verta taikyti tam tikroms elektrą generuojančioms technologijoms, kokius ribojimus taikyti ir t.t. Tokie sprendimai turi būti grindžiami išsamiomis analizėmis, atsižvelgiant į perspektyvinę elektros energetikos sistemos raidą. Kadangi nuolat kinta tiek kuro, tiek energijos kainos, atsiranda naujos technologijos, keičiasi technologijų kainos, šio sektoriaus planavimas turi būti nuolatinis procesas ir elektros energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos analizės visad bus aktualios.

Darbo objektas: Baltijos regiono valstybių elektros energetikos sistemos

Darbo tikslas: atlikti Baltijos regiono valstybių elektros energetikos sistemų perspektyvinės raidos analizę, atsižvelgiant į Europa 2020 ir 2050 energetikos strategijos anglies dvideginio emisijų mažinimo tikslus bei prognozuojamas skirtingas iškastinio kuro kainas.

Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti esamas perspektyvinės plėtros studijas, kurios apima Baltijos regiono valstybes
- Surinkti ir apibendrinti informaciją apie Baltijos regiono šalių elektros energetikos sistemas
- Sudaryti šių šalių energetikos sistemų matematinį optimizacinį modelį taikant MESSAGE programinę įrangą
- Atlikti Baltijos regiono šalių elektros energetikos sistemų perspektyvinės raidos analizę taikant sudarytą matematinį optimizacinį modelį

Tyrimo metodika: 1 dalyje naudojama mokslinės literatūros lyginamoji analizė ir statistinių duomenų analizė, 2 dalyje matematinis optimizacinis modeliavimas, o 3 dalyje taikoma matematinio optimizacinio modeliavimo rezultatų lyginamoji analizė.

Darbo apimtis: 92 puslapiai, magistro darbe pateikiama 10 lentelių, 49 paveikslai, 47 literatūros šaltiniai ir 2 priedai.

1. APŽVALGINĖ DALIS

1.1. PERSPEKTYVINĖS ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS RAIDOS ANALIZĖ

Planavimas elektros energetikos sistemoje yra sudėtingas procesas, nes elementų eksploatacijos trukmė gali siekti nuo kelių metų iki keleto dešimčių, o sistema nėra statiška ir per tą laiką gali gana ženkliai pasikeisti. Ekonomiškai patrauklus projektas po keleto metų nukritus elektros rinkos kainoms gali tapti nepelningas. Taigi vertinant energetinį projektą (elektrinė, elektros linija su kita valstybe...) verta atsižvelgti ir į galimus pasikeitimus energetikos sektoriuje per visą eksploatacijos laikotarpį. Tam yra atliekamos perspektyvinės sistemos raidos analizės.

Bandant įvertinti galimus pasikeitimus ateityje visada yra susiduriama su gausybe neapibrėžtumų, todėl tokios analizės susijusios su įvairiomis prielaidomis: kaip kis įvairių technologijų ir kuro kainos, kaip kis emisijų apmokestinimas, kokie bus teisiniai ribojimai ir t.t. Dažnai tame pačiame tyrime yra daromi skirtingi scenarijai, priimant kiek skirtingas prielaidas, kaip skirtingi tikslai (pvz. tam tikra gamybos iš AEI dalis bendroje generacijoje, tam tikros šiltnamio dujų emisijos) ar skirtingos kuro kainos. Įvertinus įvairius scenarijus galima priimti optimalius sprendimus.

Perspektyvinės elektros energetikos sistemos raidos analizės yra svarbios ne tik atskirų projektų įvertinimui, jos net dar svarbesnės yra sudarant regiono elektros energetikos strategijas ar siekiant įvertinti kokią įtaką sektoriui turėtų tam tikri sprendimai, pvz. didesnis emisijų apmokestinimas, subsidijų AEI panaikinimas, srautų tarp sistemų ribojimas ir pan. Tokioms analizėms atlikti būtina naudoti optimizacinius matematinius modelius. Taikant šiuos modelius galima įvertinti kaip patenkinti elektros poreikius mažiausiais kaštais. Keletas tokių modeliavimo įrankių pavyzdžių [2] :

- BALMOREL
- MARKAL
- MESSAGE

Atliekant tyrimą, kaip keisis energetikos sektorius nacionaliniu mastu, svarbu yra įvertinti ir aplinkinių valstybių raidą, nes pokyčiai jose gali turėti itin didelę įtaką nagrinėjamos valstybės raidai. Siekiant dar labiau padidinti nagrinėjamos valstybės tyrimo tikslumą galima didinti nagrinėjamos valstybės modeliavimo tikslumą iki itin detalaus. Tam, kad modelis nepasidarytų per daug sudėtingas ir programinė įranga būtų pajėgi rasti optimalų sprendimą, aplinkinių

valstybių sistemos gali būti agreguojamos, tačiau išlaikomos visos tendencijos gautos regiono raidos analizės rezultatais. Taigi siekiant užtikrinti kuo didesnę tikslumą atliekant įvairias studijas, kaip keisis Lietuvos elektros energetikos sistema ateityje, priklausomai nuo kintančių kuro kainų, priimamų vietinių, globalių ar ES mastu sprendimų ar kitų veiksnių yra reikalinga energetikos Baltijos regiono sistemų raidos analizė, kuri remtųsi sistemų modeliavimu, naudojantis kiek galima naujesniais duomenimis.

1.1.1. Esamų Baltijos regiono elektros energetikos perspektyvinę raidą nagrinėjančių studijų apžvalga

„Increased Integration of the Nordic and German Electricity Systems“ yra Agora Energiewende (Vokietija) ir Global Ultmaning (Švedija) užsakymu atlikta studija, kuria siekiama įvertinti didesnės integracijos tarp Vokietijos ir Skandinavijos šalių elektros sistemų, atsižvelgiant į galimus skirtingus integracijos ir AEI raidos scenarijus. Šioje studijoje išnagrinėti 4 scenarijai:

1. vidutinės integracijos – vidutinės AEI plėtros
2. didelės integracijos – vidutinės AEI plėtros
3. vidutinės integracijos – didelės AEI plėtros
4. didelės integracijos – didelės AEI plėtros

Studijos aprėpiamas valstybes galima išskirti į dvi grupes: pagrindines ir šalutines. Modeliavimas buvo atliekamas tiek pagrindinių, tiek šalutinių, tačiau visa studija orientuota į pagrindines valstybes ir gauti rezultatai nagrinėti būtent šioms valstybėms.

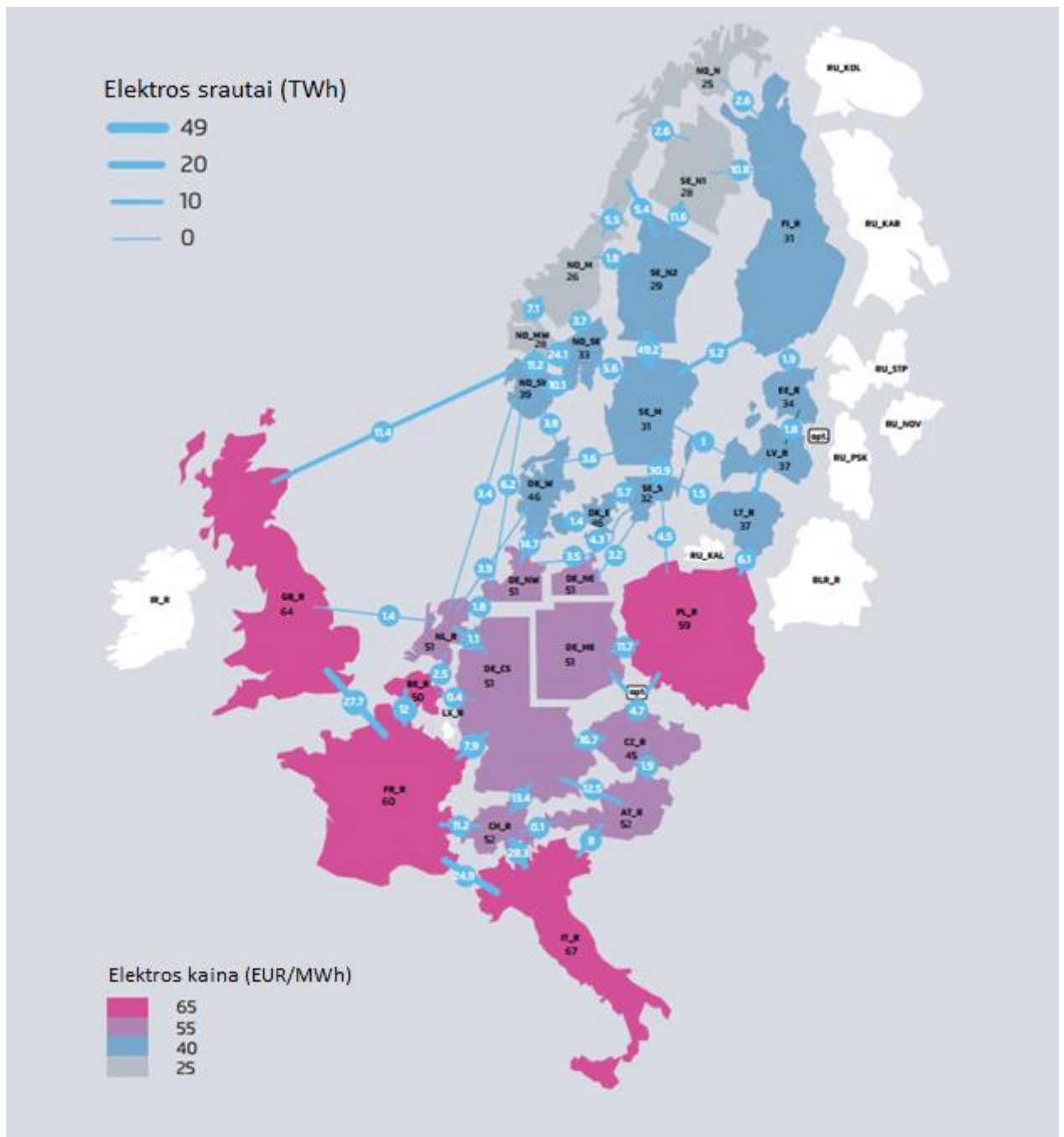
Pagrindinės valstybės: Vokietija, Norvegija, Danija, Švedija, Suomija

Šalutinės valstybės: Lietuva, Latvija, Estija, Lenkija, Čekija, Austrija, Šveicarija, Italija, Prancūzija, Belgija, Nyderlandai ir Didžioji Britanija.

Pasirinktas modeliavimo įrankis – BALMOREL

Skaičiavimai atlikti 2020 ir 2030 metams. Baziniai metai – 2013.

Pagal prieš tai minėtus scenarijus, studijoje apskaičiuotos pagrindinėms valstybėms įrengtos elektrinės galios bei generuojama energija, pagal naudojamą kurą, elektros kainas ir metinius elektros srautus kiekvienoje iš paminėtų valstybių. Taip pat įvertintos pagrindinių valstybių CO₂ emisijos. Šioje analizėje Lietuvai pateikti rezultatai yra tik srautų ir kainų skaičiavimai.



1.1 pav. Elektros metinių srautų ir elektros kainų rezultatai didelės integracijos – didelės AEI plėtros scenarijaus atveju [3]

Panašus tyrimas buvo atliktas 2014 m. Ea Energy Analyses (Danija) „Electricity Grid Expansion in the context of renewables integration in the Baltic sea region“. Šio tyrimo tikslas buvo nustatyti, kaip AEI plėtra paveiks naujų tarpšalinių elektros jungčių poreikius. Baltijos šalių politinis noras prisijungti prie sinchroninio darbo su vakarų Europos valstybėmis šiame darbe nebuvo vertinamas.

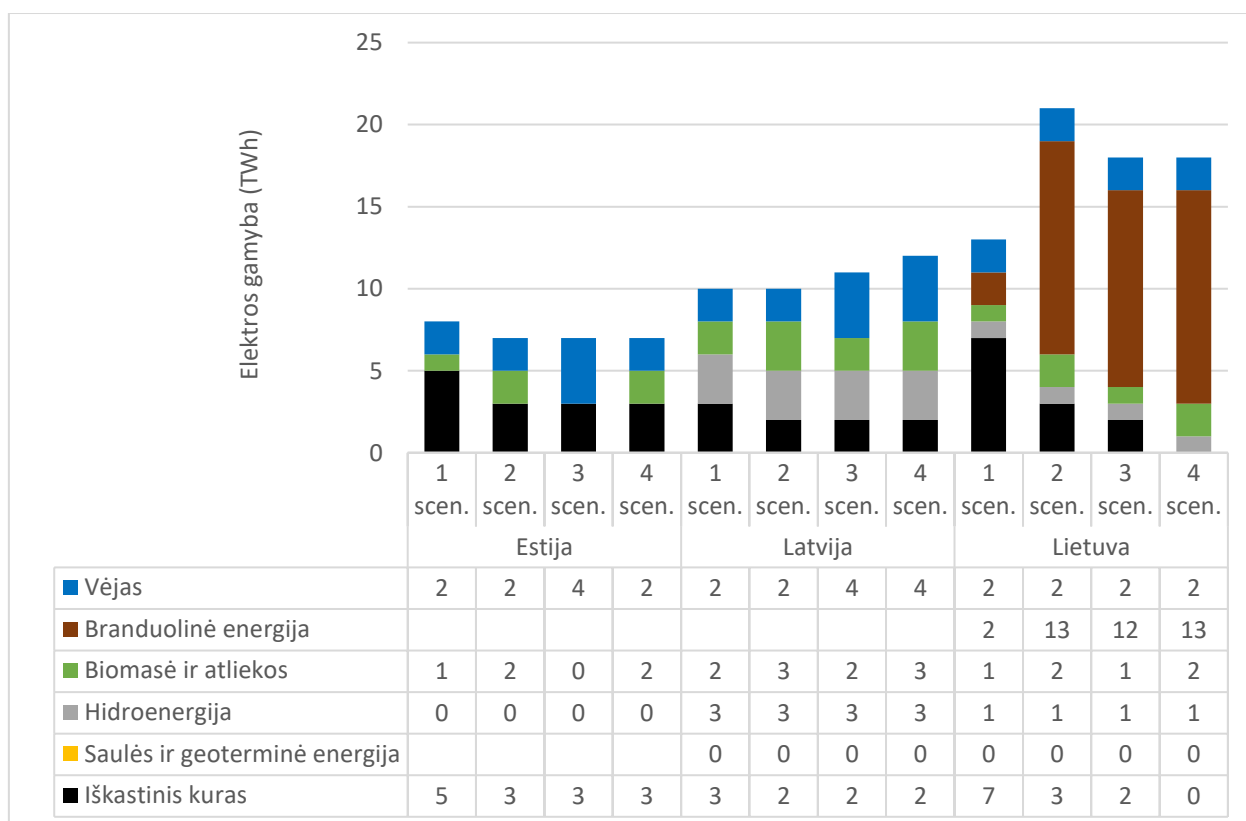
Studijoje valstybės įtrauktos į modeliavimą: Danija, Estija, Suomija, Vokietija, Latvija, Lietuva, Norvegija, Lenkija, Rusija (šiaurės vakarų) ir Švedija. Taip pat į modelį įtrauktos ir Austrija, Belgija, Čekija, Prancūzija, Italija, Nyderlandai, Liuksemburgas ir Šveicarija, tačiau šių valstybių skaičiavimų rezultatai ataskaitoje nėra pateikti.

Modeliavimo įrankis, kaip ir prieš tai minėtoje studijoje, pasirinktas – BALMOREL.

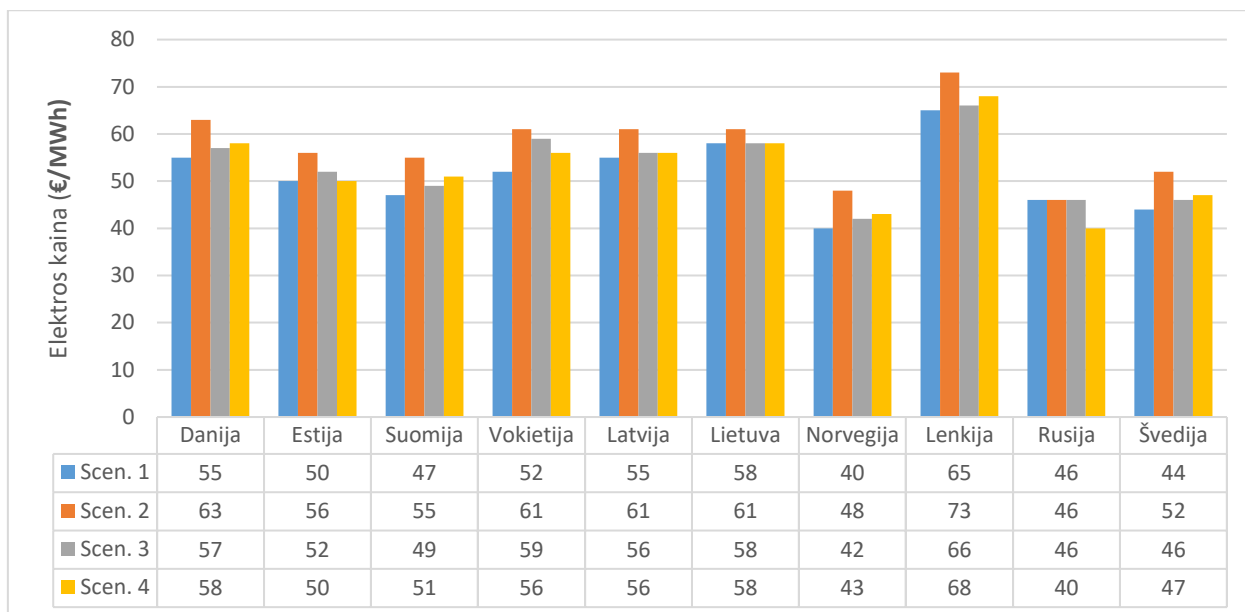
Skaičiavimai atlikti 2020 ir 2030 metams. Baziniai metai – 2014.

Nagrinėjami viso 8 scenarijai: 4 pagrindiniai taikant investicijas į naujas tarpvalstybines jungtis ir 4 ataskaitiniai, kai nėra taikomos investicijos. Abi šios scenarijų grupės turi po keturis scenarijus, kuriuose 1 – taikoma maža CO₂ kaina (25 €/t), 2 – taikoma didelė CO₂ kaina (42 €/t), 3 - taikoma didelė CO₂ kaina bei teikiamos subsidijos vėjo/saulės energijai (15 €/MWh), 4 - taikoma didelė CO₂ kaina ir veikia galių birža.

Visiems scenarijams apskaičiuota ir ataskaitoje pateikta elektros gamyba pagal kurą, vėjo elektrinių instaliuotos galios plėtra, CO₂ emisijos, elektros energijos kainos, investicijos į naujas jungtis.



1.2 pav. Lietuvos, Latvijos ir Estijos elektros gamyba naudojant skirtingą kurą, skirtingų scenarijų atvejais



1.3 pav. Elektros kaina skirtingų scenarijų atvejais

Kaip jau anksčiau minėta, prielaidos turi labai didelę įtaką modelių rezultatams, todėl matomas gana nemažas rezultatų skirtumas tarp šių studijų, nors skaičiavimams atlikti naudota ta pati programinė įranga. 2030 m. Lietuvoje elektros kaina, pagal „Increased Integration of the Nordic and German Electricity Systems“ tyrimą turėtų siekti 36-49 €/MWh, o pagal „Electricity Grid Expansion in the context of renewables integration in the Baltic sea region“ 58-60 €/MWh. Pagrindinių šių studijų šalių kainų skirtumas yra kiek mažesnis Vokietija 51-58 €/MWh ir 52-61 €/MWh, Danija 42-56 €/MWh ir 55-63 €/MWh. Taip yra, nes šios šalys yra tiksliau modeliuojamos, atliekama mažesnė duomenų agregacija, taigi kartu ir šiek tiek mažesnė paklaida dėl daromų prielaidų. Nagrinėjant Baltijos regiono energetikos sistemos raidą iš Lietuvos perspektyvos reikia naudoti modelius, kuriuose tiksliau modeliuojama Lietuvos situacija ir šalia esančios kaimyninės valstybės.

1.2. BALTIJOS REGIONO ŠALYS

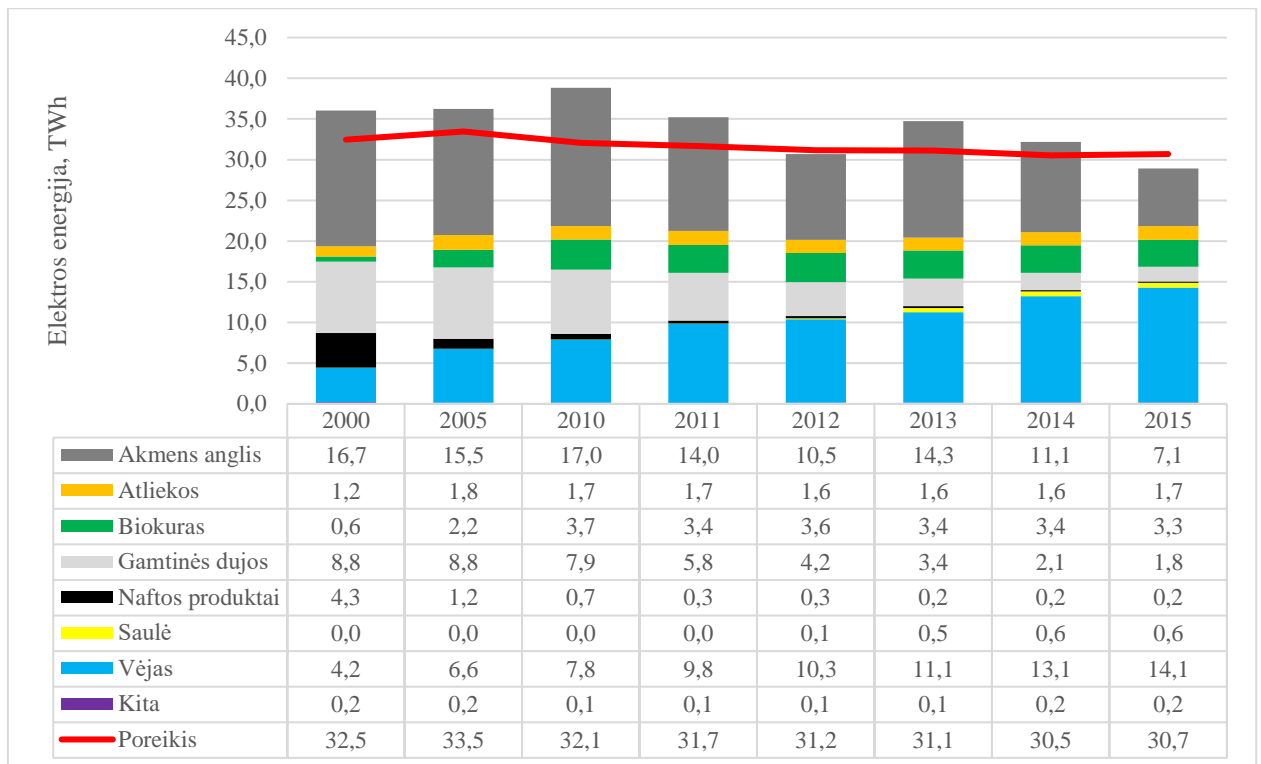
Šiandien Baltijos regiono sąvoką apibūdinti yra ganėtinai sudėtinga, nes įvairūs specialistai šį regioną apibrėžia skirtingai. [4] Šiame darbe sąvoka remiasi Europos Komisijos samprata, kurią galima vertinti pagal šalis, kurias apima ES Baltijos jūros regiono strategija. Šią strategiją yra įsipareigojusios įgyvendinti 8 ES valstybės: Danija, Estija, Latvija, Lenkija, Lietuva, Suomija, Švedija ir Vokietija. Nors ši strategija yra skirta ES valstybėms, tačiau yra siekiama įtraukti į jos įgyvendinimą Norvegiją ir Rusiją. [5] Taigi galima priskirti šias 10 valstybių Baltijos regionui. Kadangi šiame darbe bus nagrinėjamas elektros energetikos sektorius, o Rusijos santykinai nedidelė dalis yra prie Baltijos jūros, lyginant su jos pačios dydžiu, todėl Rusija nebus nagrinėjama.

1.3. BALTIJOS REGIONO ŠALIŲ ELEKTROS ENERGETIKOS SEKTORIAI

1.3.1. Danijos elektros energetikos sektorius

Danija – vakarinė Baltijos regiono valstybė turinti 5,7 mln. gyventojų [6], kurių poreikiams patenkinti sunaudojama apie 31 TWh elektros energijos. Pagaminta 2015 m. kiek mažiau nei 29 TWh. Suvartojamos bei generuojamos elektros, naudojant skirtingą kurą, kiekių tendencijos nuo 2000 m. pateiktos 1.4 pav. Kaip matoma paveikslėlyje daugiausiai elektros Danijoje yra pagaminama vėjo elektrinėse – 49% bei anglimi kūrenamose elektrinėse – 25%, nemaža dalis yra dar generuojama deginant biokurą – 11%, deginant gamtines dujas tik 6%, iš atliekų generuojama taip pat 6%, iš saulės 2%, o naftos produktų 1%. Iš viso generacija iš AEI 2015 m. sudarė 68%, o 2000 m. sudarė tik 17% [7]. Matoma ženkli elektrinių, naudojančių atsinaujinančius šaltinius, plėtra, tuo tarpu mažėja gamyba iš iškastinio kuro. Taip pat verta paminėti, kad pastebimas mažėjimas tiek suvartojamos elektros energijos, tiek generuojamos, tačiau šis mažėjimas yra nežymus. Vidutiniai metiniai mažėjimo tempai, pagal (1) formulę, Poreikiams 0,996, o gamybai 0,985, taigi kiekvienais metais apytiksliai poreikiai sumažėja 0,4%, o gamyba 1,5%.

$$\bar{T}_x = \sqrt[n-1]{\frac{x_n}{x_1}} \quad (1)$$



1.4 pav. Danijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [7]

Didžiausios Danijos elektrinės [8]:

- Fynsværket. Ši kogeneracinė elektrinė turi tris blokus: 7 blokas kūrenamas anglimi turi įdiegtą 407 MW elektrinę galią ir 570 MW šiluminę; 8 bloke deginami šiaudai, įrengta 31 MWe ir 624 MWš galia; atliekų deginimo bloko galia 23 MWe ir 64 MWš [9]
- Nordjyllandsværket. Joje instaliuoti 2 anglimi kūrenami kogeneraciniai blokai, iš kurių vieno galia yra 305 MWe ir 42 MWš, kito 410 MWe ir 490 MWš, taip pat yra vienas dujomis kūrenamas blokas, jo galia 25 MW. [10]
- Skærbækværket. Anglimi kūrenama 392 MWe ir 447 MWš elektrinė. [11]
- Studstrupværket. 714 MWe ir 986 MWš anglimi kūrenama elektrinė. Modernizuoti 3 ir 4 blokai gali deginti ir šiaudus. [11]
- Esbjergværket. 371 MWe ir 460 MWš anglimi kūrenama kogeneracinė elektrinė. [11]
- Avedøreværket. Itin efektyvi kogeneracinė elektrinė. 1 jos blokas kūrenamas anglimi, o antrasis gali deginti dujas, naftos produktus, šiaudus, medžio granules. Bendras elektrinės efektyvumas siekia iki 89%. [11]
- Kyndbyværkets. Mazutu bei dujomis kūrenama kondensacinė 734 MW elektrinė. [11]
- Anholt vėjo parkas. Didžiausias jūrinis parkas Danijoje ir 3 pagal dydį pasaulyje. Instaliuota galia 399,6 MWe. [12]

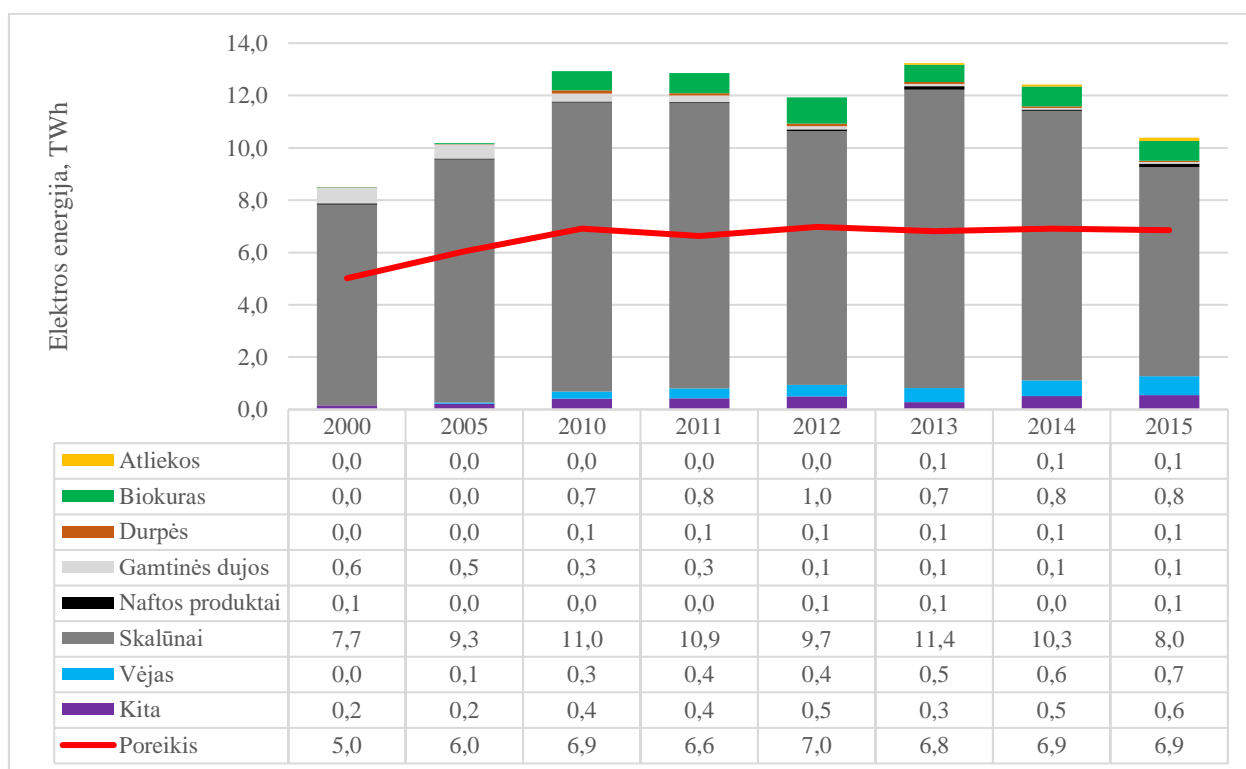
Danija turi elektros jungtis su 3 valstybėmis [13]:

- su Norvegija DK1-NO2¹ 1632 MW linija.
- su Švedija DK2-SE4 1700/1300² MW ir DK1-SE3 740/680 MW linijomis
- su Vokietija DK1-DE 1780/1500 MW ir DK2-DE 585/600 MW linijomis

1.3.2. Estijos elektros energetikos sektorius

Estija – mažiausiai gyventojų iš Baltijos regiono turinti valstybė su sąlyginai nedideliu plotu, tačiau sėkmingai išnaudojanti turimus gamtos resursus. Estija turi didelius naftos skalūnų rezervus, kurie vertinami tarp 1 ir 2 mlrd. t. Net 77 % elektros energijos yra pagaminama deginant naftos skalūnus. Šie resursai leidžia generuoti pigią energiją, kas lemia, kad gaminama ženkliai daugiau elektros energijos nei suvartojama. (Žiūrėti 1.5 pav.). Nuo 2010 m. pastebimas generacijos iš AEI augimas, tačiau 2015 m. gamyba iš AEI sudarė tik apie 15 %.

Nuo 2000 m. iki 2015 m. elektros poreikiai vidutiniškai augo po 2,3%. Nuo 2000 iki 2013 pastebimas elektros gamybos augimas, o nuo 2014 mažėjimas.



1.5 pav. Estijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [14]

¹ DK1, DK2, NO2, SE4, DE – yra kainų zonos, pagal kurias vykdoma prekyba NordPool biržoje.

² DK2-SE4 1700/1300 MW pasviruoju brūkšneliu atskiriama instaliuota galia srautui iš DK2 į SE4 ir galia srautui iš SE4 į DK2

1.1 lentelė. Estijos elektrinių instaliuota elektrinė galia [15]

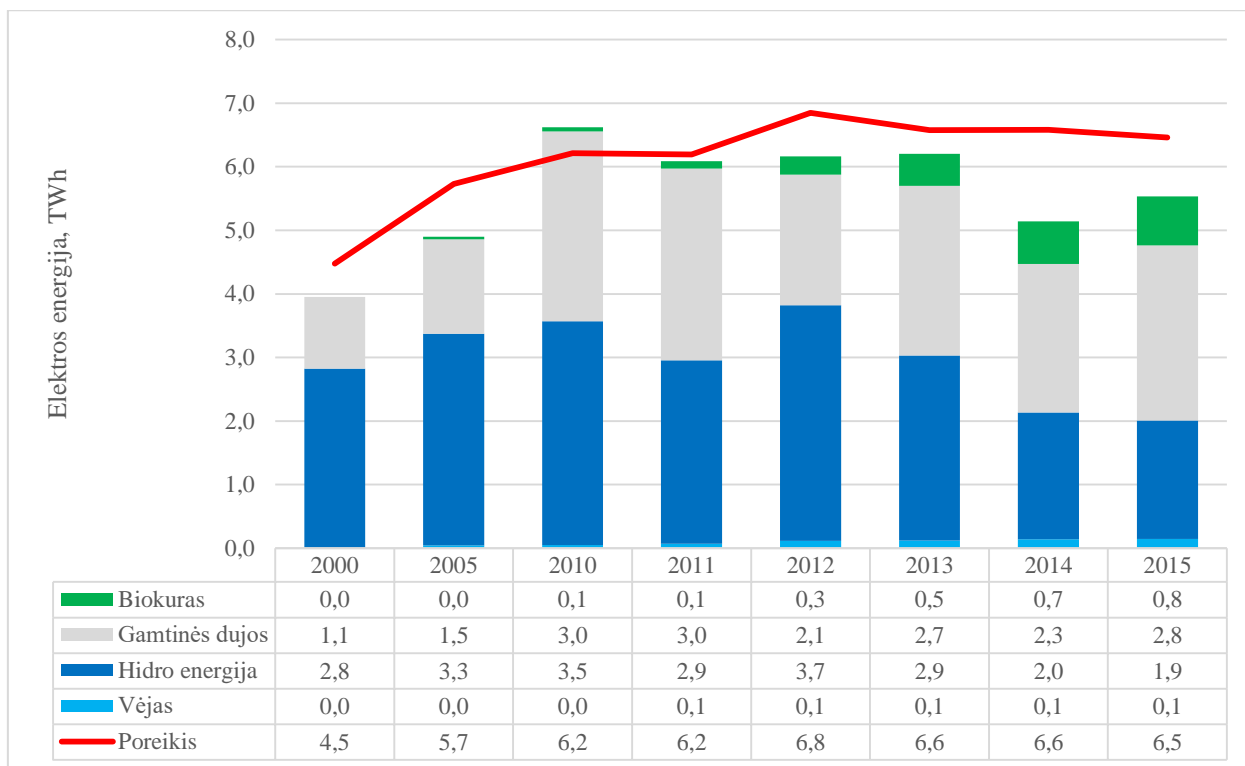
Elektrinė	Instaliuota galia, MW
Esti	1355
Balti	432
Iru	173
Elering avarinis galios rezervas Kiisal	250
Põhja	54
Lõuna	7
Sillamäe	15,8
Talino elektrinė	21
Tartu elektrinė	22
Pärnu elektrinė	20
Pramoninės ir mažosios kogeneracinės elektrinės	52
Hidroelektrinės	7,5
Vėjo elektrinės	301
Viso	2713

Estija turi elektros jungtis su trimis valstybėmis – Suomija, Latvija ir Rusija [13]:

- su Suomija jungia EE-FI 1016/1000 MW linija
- su Latvija EE-LV 1000/879 MW linija
- su Rusija EE-RU 800/950 MW.

1.3.3. Latvijos elektros energetikos sektorius

Latvijos metiniai elektros energijos poreikiai 2015 m. siekė 6461 GWh, kurių didžiąją dalį tenkina šalyje generuojama energija. 2015m. 50 % elektros šalyje yra pagaminta iš gamtinių dujų, 34% hidroelektrinėse. Verta paminėti, kad gamyba hidroelektrinėse itin priklauso nuo upių vandeningumo, kuris kinta kiekvienais metais. 2010 m. hidroelektrinėse buvo pagaminta net 53 % šalyje generuotos elektros energijos. Nuo 2013 m. matomas biokuro ir vėjo elektrinių indėlio augimas, tačiau kartu paėmus 2015 m. sudarė tik apie 17 % visos elektros gamybos. Šalies elektros poreikiai kiekvienais metais nuo 2010 m. iki 2015 m. augo vidutiniškai po 2,7 %.



1.6 pav. Latvijas elektros enerģijas gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Latvijojē yra 3 pagrindinēs hidroelektrinēs Plavinas HE 893,5 MW, Riga HE 402 MW, Kegums HE 264 MW ir keletas mažū, kuriū bendra galia tesudaro 30 MW. Kiti didieji gamintojai yra kogeneracinēs elektrinēs TEC-1 144 MW ir TEC-2 881 MW, Liepojos biomasēs 63 MW ir biodujū 58 MW elektrinēs. [17] 2015 m. buvo viso įdiegta 69,8 MW vējū elektriniū, iš kuriū didžiausias yra Venstpilio rajone esantis 20,7 MW vējo parkas. [18]

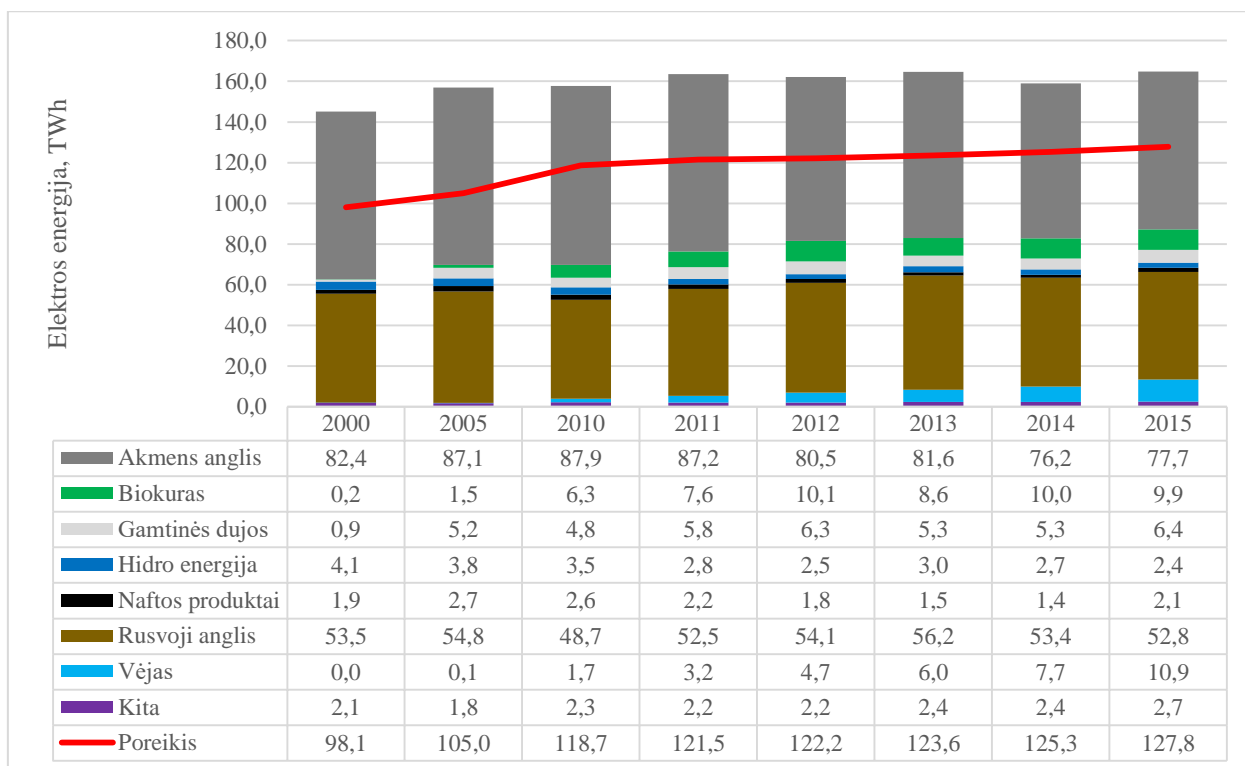
Latvija turi elektros jungtis su trimis valstybēm [13]:

- su Estija LV-EE 879/1000 MW
- su Lietuva LV-LT 1350/860 MW
- su Rusija LV-RU 291/323 MW

1.3.4. Lenkijos elektros energetikos sektorius

Lenkija yra viena iš daugiausiai anglies Europojē išgaunančių valstybiū. Jos anglies rezervai vertinami apie 19,1 mlrd. tonū. Pagal rezervus Lenkijā Europojē lenkia tik Ukraina, kuri turi 31,8 mlrd. t. [19] Ši gausi vietinē anglies gavyba leidžia šiuos resursus išnaudoti elektros enerģijos gamybai. Net 79,1 % šalyje pagaminamos elektros enerģijos yra pagaminama iš anglies (antracitas, lignitas bei kiti įvairūs anglies produktai, kaip anglies dujos). Gamyba deginant biokurā sudaro 6 %, gamtinēs dujas – 3,9 % ir vējo elektrinēsē – 6,6 %, o bendrai visose likusiose

elektrinėse, naudojančiose kitą kurą – 4,4 %. Pastaruosius 10 metų sugeneruotas elektros kiekis per metus svyruoja tarp 150 ir 165 TWh, tuo tarpu suvartojama apie 128 TWh. Nuo 2000 m. šalies elektros poreikiai vidutiniškai auga po 2 % per metus. Poreikių augimas gana stabilus.



1.7 pav. Lenkijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Suminė visų elektrinių Lenkijoje įdiegta galia yra lygi 38,7 GW [20]. Didžiausios Lenkijos elektrinės yra [21]:

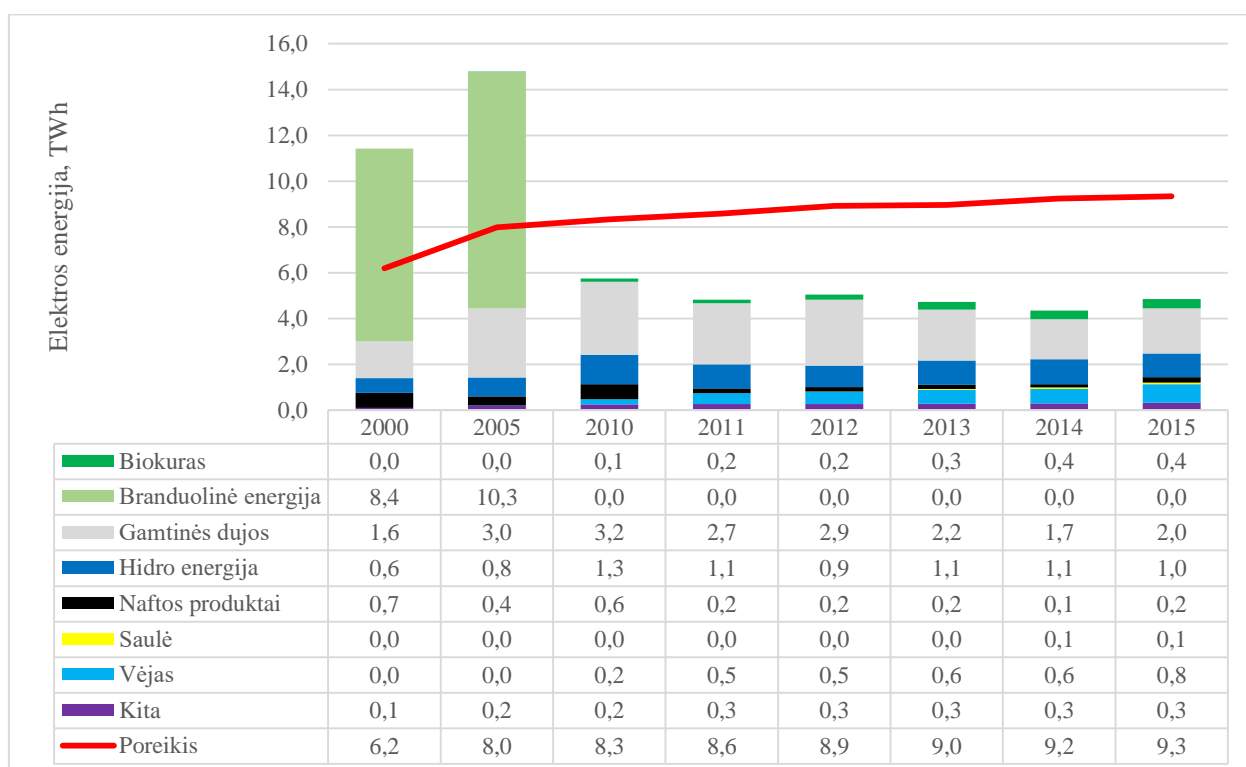
- Belchatow lignitu kūrenama elektrinė - 5420 MW.
- Kozienice anglimi ir biokuru kūrenama elektrinė – 2820 MW
- Turow lignitu kūrenama elektrinė – 2106 MW
- Polaniec angimi kūrenama elektrinė – 1800 MW
- Rybnik anglimi kūrenama elektrinė – 1775 MW

Lenkija turi elektros jungtis su šiomis kaimyninėmis valstybėmis [13] [22]:

- Su Lietuva 500 MW
- Su Švedija 600 MW
- Su Vokietija 3588 MVA
- Su Čekija 3572 MVA
- Su Ukraina 415 MVA

1.3.5. Lietuvos elektros energetikos sektorius

Lietuva yra viena iš labiausiai priklausomų šalių ES nuo elektros importo. 2015 m. importuota 61% suvartotos elektros energijos. Iki 2010 m. Lietuvoje buvo generuojama daugiau nei suvartojama. Iki uždarymo Ignalinos AE generacija viršijo šalies poreikius, tačiau uždarius situacija kardinaliai pasikeitė. Nuo 2010 m. daugiausiai šalyje elektros pagaminama iš gamtinių dujų. 2015 m. 40 % bendros elektros generacijos sudarė generacija deginant gamtines dujas. 21% pagaminama KHE ir mažosiose hidroelekcinėse, 16% vėjo elektrinėse, 8% biokuro kogeneracinėse elektrinėse ir 15% kitose.



1.8 pav. Lietuvos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Lietuvos sistemos operatoriaus duomenimis 2016 m. įrengtoji elektrinė galia Lietuvoje siekė 3558 MW [23].

1.2 lentelė. Lietuvoje instaliuota elektrinė galia MW [23].

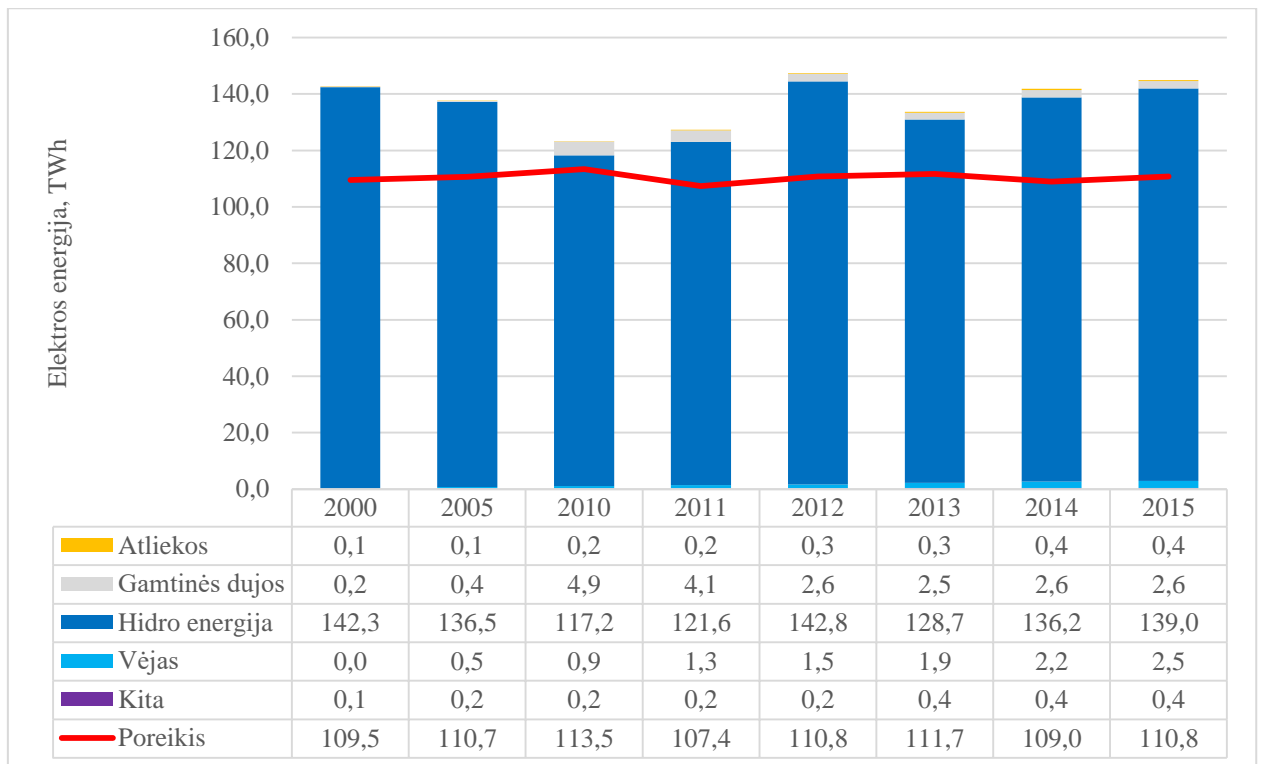
<i>Šiluminės elektrinės</i>	1910
Lietuvos elektrinė	1045
Vilniaus elektrinė 3	360
Kauno termofikacijos elektrinė	170
Panevėžio elektrinė	35
Petrašiūnų elektrinė	8
Įmonių elektrinės	292
<i>Hidroelektrinės</i>	1028
Kauno hidroelektrinė	101
Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė	900
Hidroelektrinės prijungtos prie skirstomojo tinkle	27
<i>Vėjo elektrinės</i>	438
Vėjo elektrinės prijungtos prie perdavimo tinkle	366
Vėjo elektrinės prijungtos prie skirstomojo tinkle	72
<i>Kiti atsinaujinantys energijos ištekliai</i>	181
Biokuro elektrinės	108
<i>Biomosės elektrinės</i>	57
<i>Biodujų elektrinės</i>	30
<i>Atliekų elektrinės</i>	21
Saulės elektrinės	73
VISO:	3558

Lietuva turi elektros jungtis su 5 valstybėmis:

- Su Baltarusija LT-BY 1350/1800 MW
- Su Rusija (Kaliningradu) LT-KAL 680/600 MW
- Su Latvija LT-LV 860/1350 MW
- Su Lenkija LT-PL 500 MW
- Su Švedija LT-SE4 700 MW

1.3.6. Norvegijos elektros energetikos sektorius

Norvegija apsirūpina elektros energija praktiškai vien iš hidroelektrinių. Gamyba jose sudaro 96% bendros šalies elektros generacijos. Norvegijoje gyventojų yra beveik du kartus daugiau nei Lietuvoje, tačiau elektros energijos poreikiai yra didesni daugiau nei 10 kartų – 111 TWh. Hidroelektrinėse pagaminama energijos daugiau nei pakanka patenkinti šalies poreikius.



1.9 pav. Norvegijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Norvegijoje suminė visų elektrinių galia siekia 31 190 MW, iš kurių 29 850 MW yra hidroelektrinių [24]. Didžiausios iš jų yra [21]:

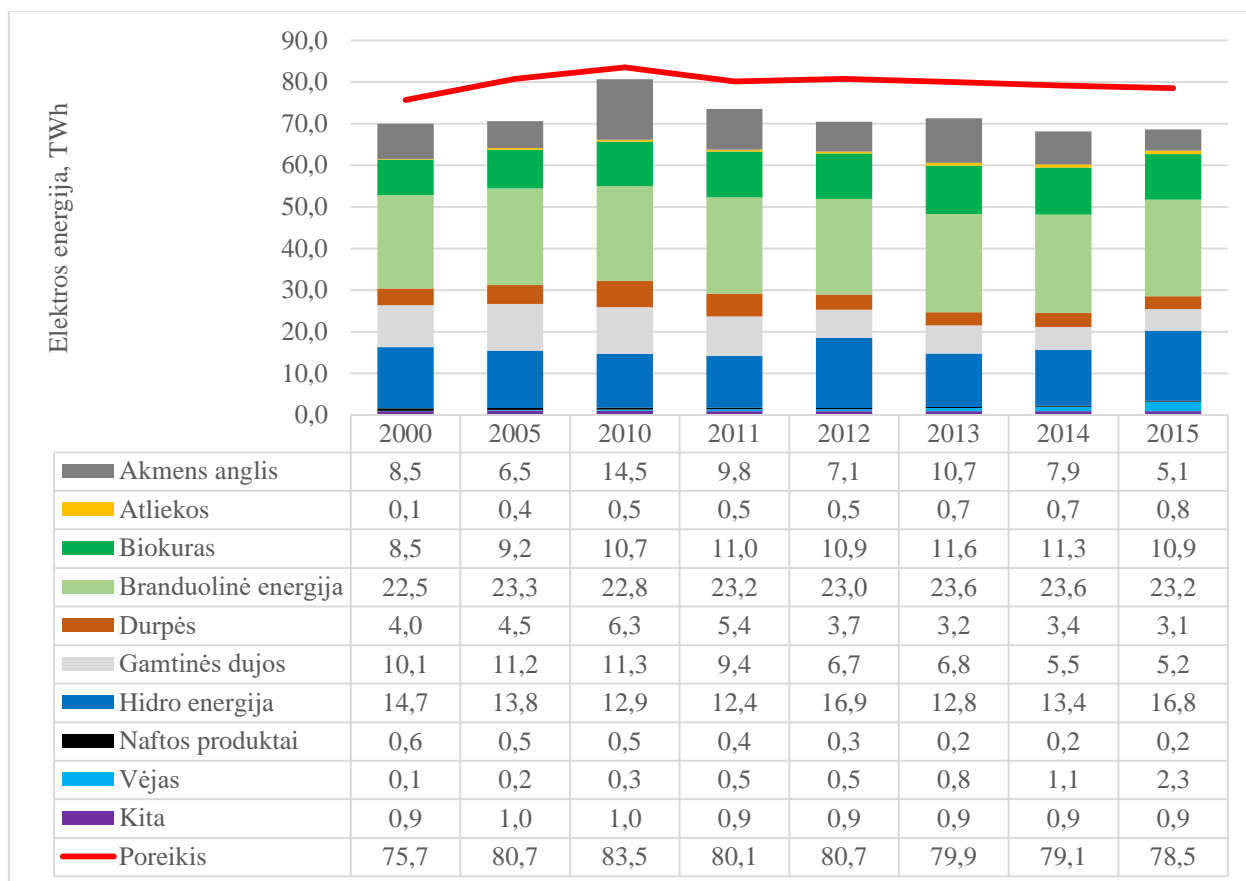
- Kvilldal 1240 MW
- Aurland 1128 MW
- Tonstad 960 MW
- Saurdal 640 MW
- Svartisen 600 MW

Norvegiją ir kaimynines valstybes jungia šios elektros jungtys [13]:

- Su Danija NO2-DK1 1632 MW
- Su Nyderlandais NO2-NL 723 MW
- Su Švedija NO1-SE3 2145/2095 MW, NO3-SE2 600/1000 MW, NO4-SE1 500/300 MW, NO4-SE2 250/300 MW
- Su Rusija NO4-RU 56 MW

1.3.7. Suomijos elektros energetikos sektorius

Elektros energijos poreikiai Suomijoje pastaruosius 10 metų svyruoja apie 80 TWh. Didžioji dalis yra patenkinama vietinės generacijos. Elektros gamyba šioje valstybėje yra ganėtinai diversifikuota. Daugiausiai elektros yra pagaminama apie 34% šalies dviejose atominėse elektrinėse – Loviisa ir Olkiluoto, 24% hidroelektrinėse, 16% biokurą deginančiose elektrinėse, 7% anglį, 8% gamtines dujas, 5% durpes ir 6% kitokį kurą naudojančiose elektrinėse.



1.10 pav. Suomijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Suminė instaliuota elektrinė galia Suomijoje viršija 16 GW. Įdiegtų hidroelektrinių elektrinė galia siekia - 3166 MW, dviejų atominų elektrinių – 2752MW, anglį kurenančių – 2189 MW, biokurą naudojančių kogeneracinių elektrinių, įskaitant pramoninę medieną bei popieriaus gamybos atliekas deginančias elektrines galia lygi 1939 MW, durpes naudojančių, kaip pagrindinį kurą, termofikacinių elektrinių - 1893 MW, gamtines dujas deginančių – 1472 MW, įvairius naftos produktus 1424 MW. Nepaminėtų elektrinių suminė galia siekia 225 MW [25]³.

³ Įvertintos elektrinės, kurių galia viršija 1 MW

Didžiausią galia turinčios elektrinės [25]:

- Oikiluoto AE – 1760 MW
- Loviisa AE – 992 MW
- Vuosaari gamtinėmis dujomis kūrenama kogeneracinė elektrinė – 648 MW
- Meri-Pori anglimi kūrenama kogeneracinė elektrinė – 565 MW

Suomija turi elektros jungtis su 3 valstybėmis:

- Su Estija FI-EE 1016 MW
- Su Rusija FI-RU 350/1300 MW
- Su Švedija FI-SE1 1100/1500 MW ir FI-SE3 1200 MW

1.3.8. Švedijos elektros energetikos sektorius

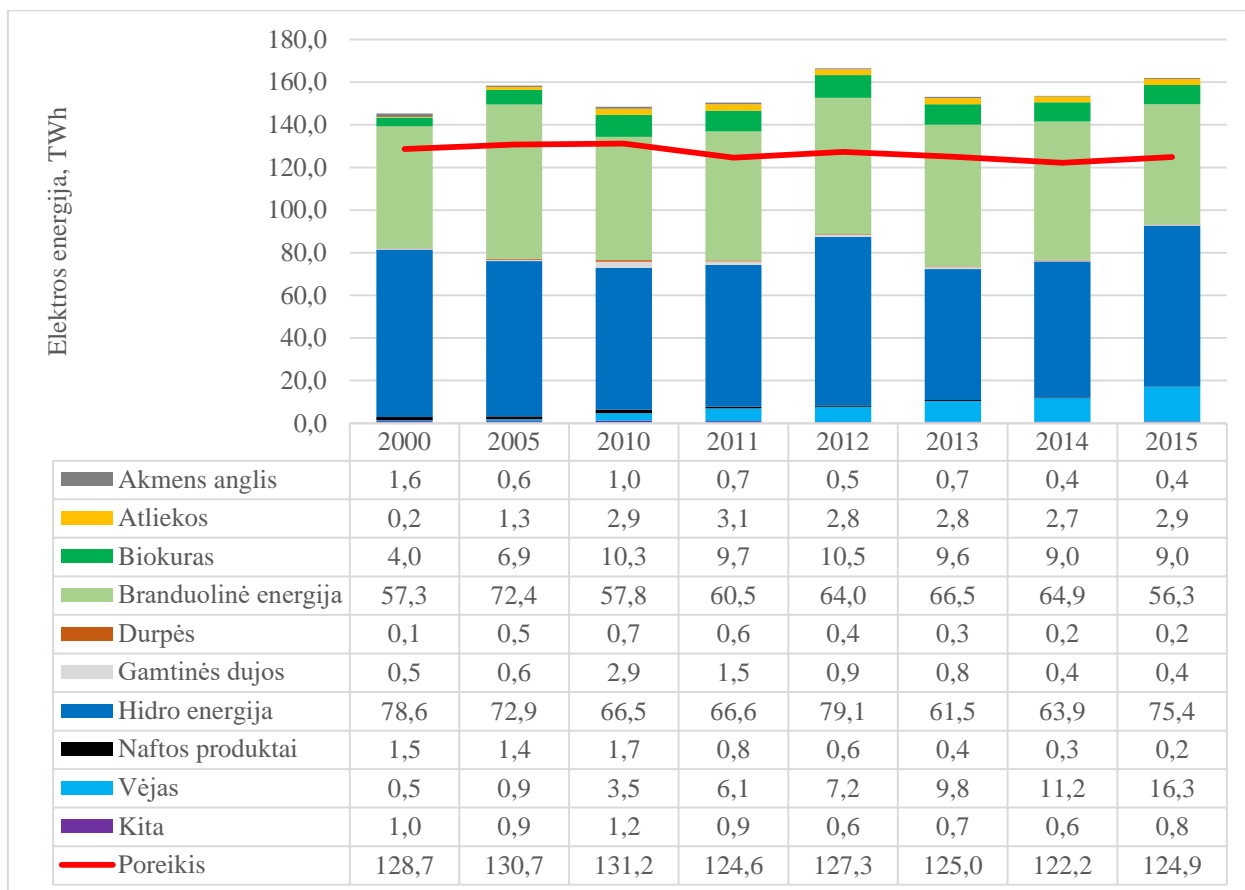
Švedijos karalystėje pagrindiniai elektros šaltiniai yra hidroelektrinės, kuriose pagaminama 47% bendros šalies generacijos, atominės elektrinės, kurios generuoja 35%. Gamyba vėjo elektrinėse sudaro 10 %, biokuro elektrinėse 6 %, o visose kitose apie 2 %. Šalies elektros energijos poreikiai beveik siekia 125 TWh. Pastaruosius 10 metų vidutiniškai per metus poreikiai sumažėja po 0,5%.

Švedijoje suminė įdiegta elektrinė galia lygi 38,91 GW iš kurių 16,16 GW hidroelektrinės, 8,85 GW atominės elektrinės, 8,58 GW AEI, 5,29 GW šiluminės elektrinės. Didžiausią galia turinčios elektrinės yra šios: [26] [27] [28]

- Ringhals AE 3685 MW
- Forsmark AE 3291 MW
- Oskarshamn AE 1873 MW
- Harsprånget HE 977 MW

Švedija turi elektros jungtis su šiomis valstybėmis:

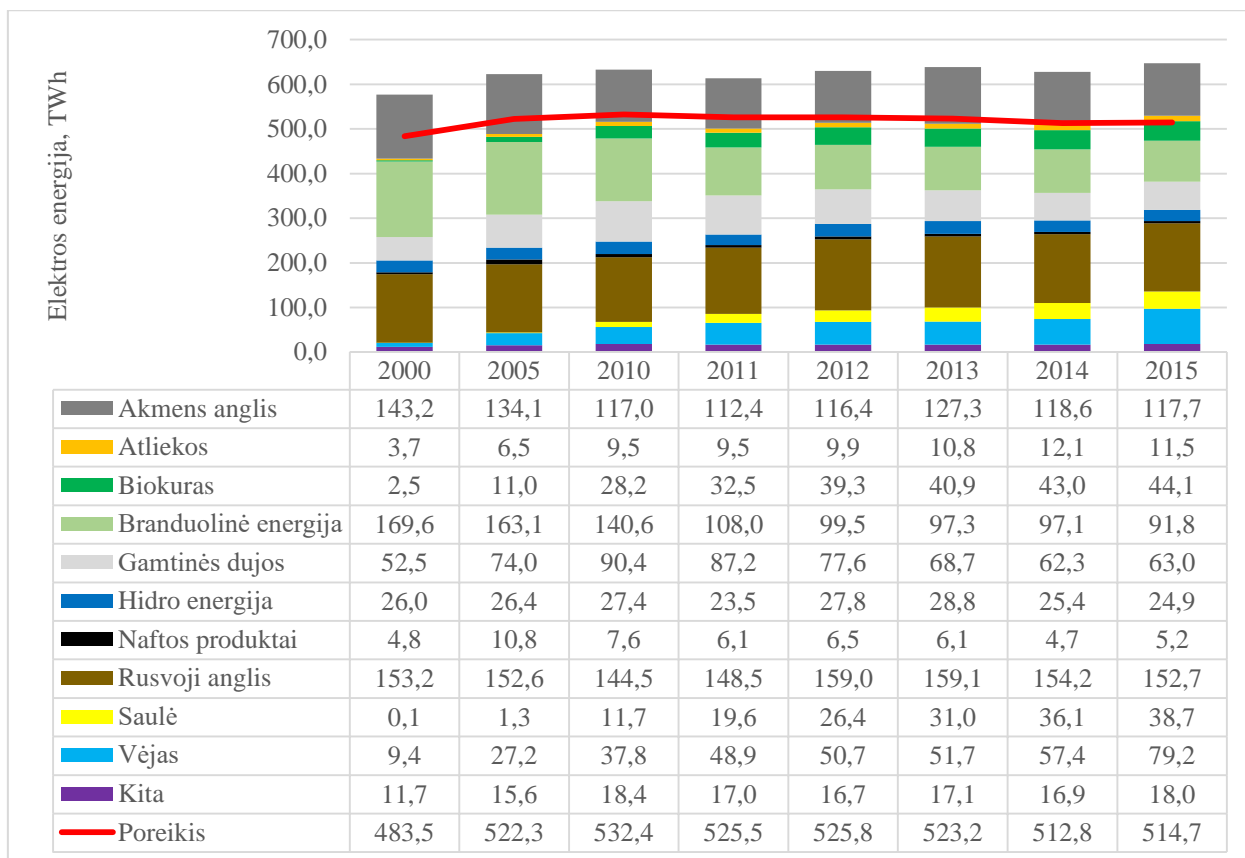
- Su Danija SE3-DK1 680/740 MW; SE4-DE-TenneT 600/615 MW; SE4-DK2 1300/1700 MW
- Su Suomija SE1-FI 1500/1100 MW; SE3-FI 1200 MW
- Su Lietuva SE4-LT 700 MW
- Su Norvegija SE3-NO1 2095/2145 MW; SE2-NO3 1000/600 MW; SE1-NO4 600/700 MW; SE2-NO3 1000/600 MW; SE1-NO4 600/700 MW; SE2-NO4 300/250 MW
- Su Lenkija SE4-PL 600 MW



1.11 pav. Švedijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

1.3.9. Vokietijos elektros energetikos sektorius

Vokietija – didžiausia Europos ekonomika, kurios elektros poreikiams patenkinti reikia apie 515 TWh elektros energijos. Didžioji dalis yra generuojama iškastinio kuro elektrinėse. Anglimi kūrenamų elektrinių gamyba sudaro 42 % bendrų šalies elektros generavimo apimčių, atominių elektrinių 14 %, gamtinių dujų apie 10 %, vėjo elektrinių 12 %, saulės 6%, biokuro 7%, hidroelektrinių 4%, atliekų 2 %, visų kitų 3 %.



1.12 pav. Vokietijos elektros energijos gamyba pagal kuro rūšis ir poreikiai [16]

Vokietijoje suminė instaliuota elektrinė galia siekia 193,38 GW iš kurių 42,26 GW antžeminės vėjo elektrinės, 3,74 GW jūrinės, 39,63 GW saulės elektrinės, 28,49 GW gamtines dujas deginančios elektrinės, 28,31 GW akmens anglies, 21,14 GW lignito, 10,8 GW Atominės elektrinės, 8,97 GW biomasę naudojančios, 4,24 GW naftos produktus naudojančios elektrinės ir 5,59 GW hidroelektrinės. [29]

2. METODINĖ DALIS

2.1. TYRIMO OBJEKTAS

Šis tyrimas apima Baltijos šalių regiono (Danijos, Estijos, Latvijos, Lenkijos, Lietuvos, Suomijos, Norvegijos, Švedijos ir Vokietijos) elektros energetikos sektoriaus perspektyvinę raidą iki 2045 m.

2.2. PROGRAMINĖ ĮRANGA

Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinei raidai įvertinti tinkamiausia yra naudoti matematinį optimizacinį modelį. Naudojant tokį modelį galima išskaičiuoti kokių technologijų instaliuotų galių plėtra yra reikalinga kuriuo metu, siekiant užtikrinti elektros poreikių tenkinimą mažiausiais kaštais, atsižvelgiant į esamus bei galimus ribojimus ateityje dėl galios rezervavimo, energetinio saugumo, aplinkosauginių ar kitų reikalavimų. Modeliui sudaryti ir optimizaciniam uždaviniui išspręsti gali būti naudojama įvairi programinė įranga. Energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos modeliams sudaryti dažniausiai naudojamos šios programos:

- BALMOREL. Tai yra atviro kodo programa, kurta komercine GAMS kalba. Todėl yra būtina GAMS licencija norint naudotis šia programine įranga. Taip pat reikalingas optimizatorius, kuris turi būti susietas su GAMS kalba. BALMOREL programos bene didžiausias privalumas yra tai, kad naudojamas atviras kodas ir kodų dokumentacija yra viešai prieinama, kas leidžia bet kuriam vartotojui perprasti ir modifikuoti kodus taip, kad programa galėtų spręsti norimus uždavinius. Šios programos vienas iš didžiausių trūkumų yra tai, kad atliekant optimizavimą, jis atliekamas kiekvieniems metams atskirai, o ne visam pasirinktam laiko periodui. [30] [31]
- Markal/TIMES yra tarptautinės energetikos agentūros programa parašyta GAMS kalba. Kaip ir BALMOREL programinei įrangai, taip ir TIMES reikalinga GAMS licencija bei optimizatorius susietas su GAMS. Taip pat reikalinga vartotojo sąsaja (VEDA arba ANSWER), kuri yra komercinė. Taigi norint naudotis Markal/TIMES programine įranga reikalingos gana didelės finansinės investicijos. TIMES leidžia aprašyti technologijas detaliau nei BALMOREL ar OSeMOSYS. Jos gali būti nesusijusios su elektros ir šilumos gamyba, saugojimu ar perdavimu. Tai leidžia modeliuoti kuro išgavimą, perdirbimą bei kitus sektorius, kurie netiesiogiai susiję, bet daro įtaką energijos gamybai.

Sudarytas modelis optimizuojamas ne kiekvieniems metams atskirai, bet visam pasirinktam laikotarpiui. [32]

- MESSAGE programinę įrangą sukūrė tarptautinis taikomųjų sistemų analizės institutas (Austrija). Šia programine įranga leidžiama naudotis tarptautinės atominės energijos agentūros narėms tik akademiniai tiksliais. MESSAGE parašyta uždaru kodu, todėl nėra galimybės modifikuoti programos kodą. Pati programa turi vartotojo sąsają, glpk (nekomercinį) optimizatorių ir yra nemokama. Vis dėlto galimas ir ženkliai spartesnis komercinis optimizatorius cplex. Kaip ir TIMES, MESSAGE leidžia gana detalai aprašyti technologijas, kurios nebūtinai turi būti tiesiogiai susijusios su elektros ir šilumos gamyba, perdavimu ar saugojimu. Modelis taip pat optimizuojamas visam pasirinktam laikotarpiui. [33]
- OSeMOSYS. Ši programa yra gerokai paprastesnė nei Markal/TIMES ar MESSAGE ir turinti žymiai trumpesnę mokymosi kreivę bei mažesnes laiko sąnaudas kuriant modelius ir jais naudojantis. OSeMOSYS parašytas nekomercine GNU MathProg programavimo kalba taip pat nenaudojamas komercinis optimizatorius, todėl nereikalingos finansinės investicijos. Ši programa turi kelias skirtingas vartotojo sąsajas: internetinę MoManl, LEAP ir tekstinę. [34]

Įvertinus galimų programų privalumus ir trūkumus pasirinkta MESSAGE programinė įranga, nes ja galima pakankamai detalai aprašyti technologijas, modelį optimizuoti visam laikotarpiui, o ne kiekvieniems metams atskirai. Taip pat norint naudotis šia programa nereikia įsigyti komercinių elementų, kaip GAMS licenciją, optimizatorių ar vartotojo sąsają.

2.3. MODELIAVIMAS TAIKANT MESSAGE PROGRAMINĘ ĮRANGĄ

2.3.1. Energijos tiekimo grandinės modeliavimas

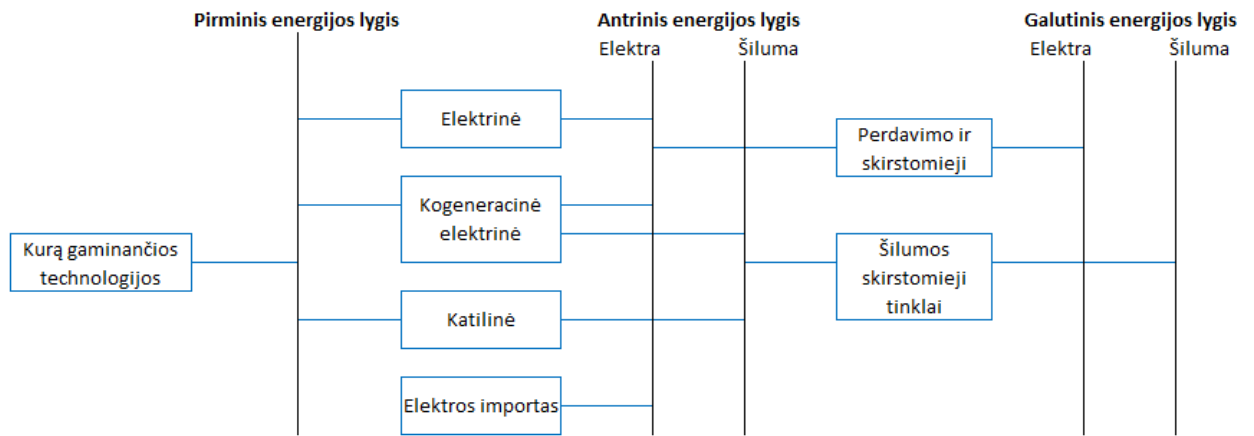
MESSAGE programine įranga modeliavimas atliekamas sudarant energijos grandinę, susidedančią iš energijos formų ir jas jungiančių technologijų. Vieną ar daugiau energijos formų apima energijos lygis. Sudarytame modelyje naudojama tokia energijos lygių ir formų struktūra:

- Pirminis energijos lygis apima išgautą kurą atitinkančias energijos formas:
 - Akmens anglis
 - Atliekas
 - Biokurą
 - Branduolinį kurą

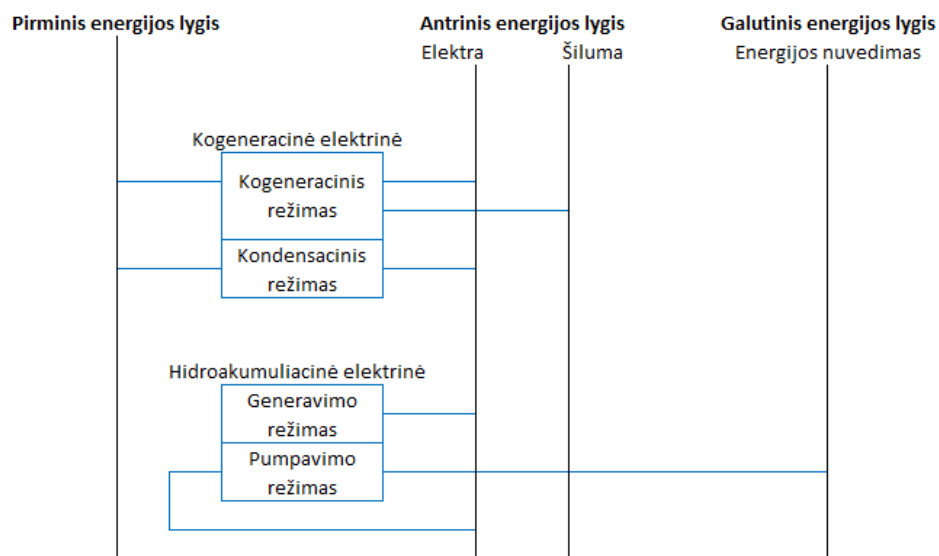
- Durpes
- Gamtines dujas
- Naftos produktus
- Rusvąją anglį
- Skalūnus
- Antrinis energijos lygis apima tas energijos formas, kurios gaunamos po konversijos:
 - Elektros energiją
 - Šilumos energiją
- Galutinis energijos lygis apima energijos formas atitinkančias vartojamą energiją:
 - Elektros energiją
 - Šilumos energiją
 - Energijos nuvedimą. Ši energijos forma reikalinga hidroakumuliacinių elektrinių modeliavimui.

Energijos formas jungia technologijos, kurios vienu formų energiją naudoja, o kitų gamina. Pvz. biokuro kogeneracinės elektrinės technologija naudoja biokurą iš pirminės energijos lygio ir generuoja antrinio energijos lygio elektrą ir šilumą. Saulės, vėjo elektrinių bei hidroelektrinės technologijos neturi įėjimo iš jokios energijos formos, jos tik generuoja energiją. MESSAGE programinėje įrangoje technologija gali nebūtinai naudoti energiją, bet generavimas yra privalomas.

Kogeneracinės ir hidroakumuliacinės elektrinės turi skirtingus režimus. Kogeneracinė elektrinė gali gaminti elektros ir šiluminę energiją arba tik elektrą. Hidroakumuliacinė elektrinė pumpuodama vandenį į baseiną naudoja elektros energiją, o išleisdama iš baseino generuoja. Tokių skirtingų režimų modeliavimui naudojamos technologijos veiklos alternatyvos. Šių alternatyvų naudojamos ir generuojamos energijos gali skirtis nuo technologijos pagrindinės veiklos.



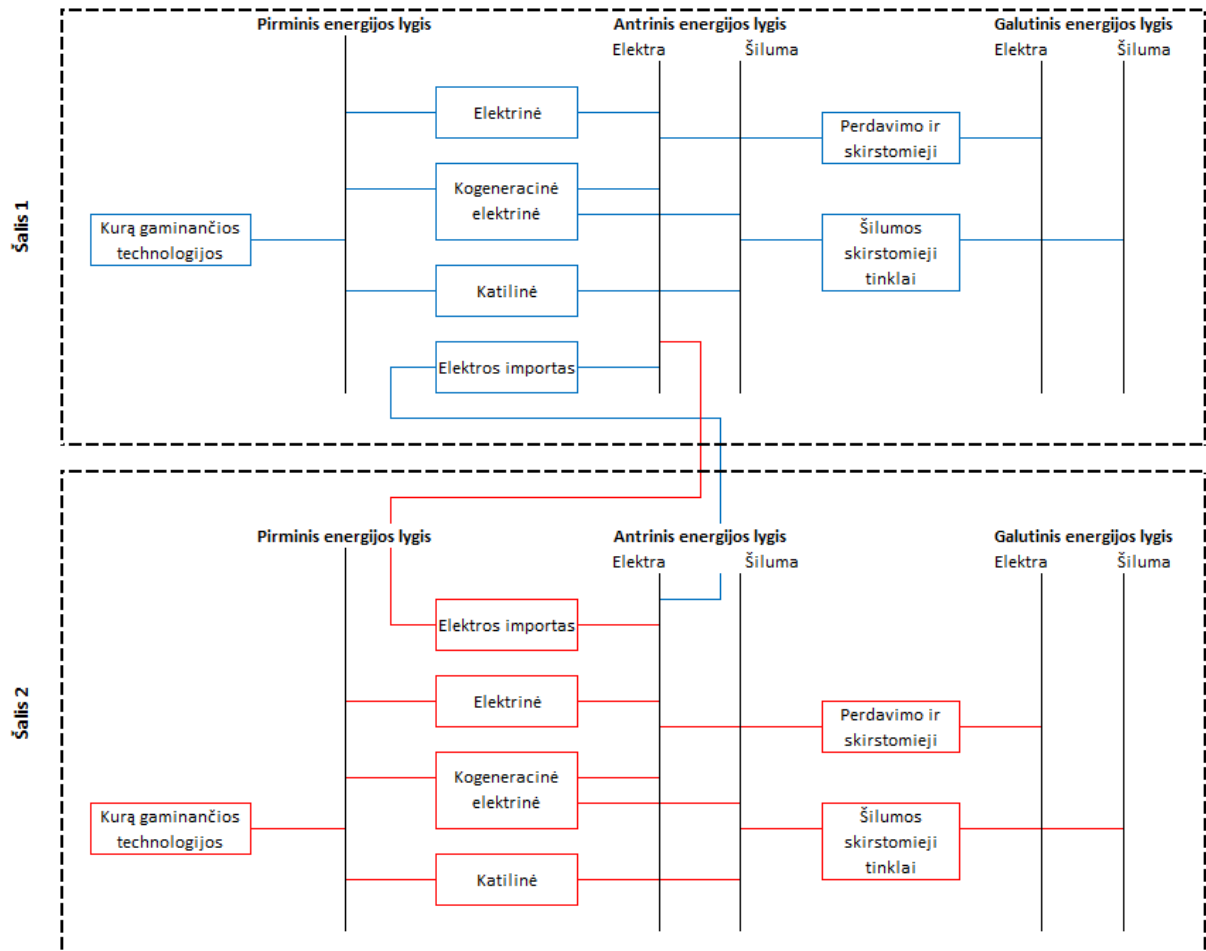
2.1 pav. Supaprastinta modelio schema



2.2 pav. Kogeneracinės ir hidroakumuliacinės elektrinių alternatyvių veiklų modelio schema

Hidroakumuliacinės elektrinės technologijos modelyje susietos su energijos saugyklomis, kurių dydis kiekvienai modeliujamai šaliai yra parinktas toks, kad atitiktų šalies suvartojamą energijos kiekį per 12 valandų. Hidroakumuliacinei elektrinei veikiant pumpavimo režimu naudojama elektros energija iš antrinio energijos lygio ir generuojama energija į energijos nuvedimą galutiniame energijos lygyje. Nuvedimas yra modeliuojamas, nes, kaip jau minėta, technologijos būtinai turi turėti kokios nors energijos formos generaciją. Pumpavimo režimas su energijos saugykla susietas taip, kad hidroakumuliacinei elektrinei sunaudojus elektros energijos vieneta, sukauptas elektros energijos kiekis saugykloje padidėtų atitinkamai tokiu pačiu dydžiu. Generavimo režime sugeneravus elektros energijos vieneta saugykloje sukauptas elektros energijos kiekis sumažinamas 1,3333 karto daugiau nei sugeneruota elektros energijos (priimtas 75% efektyvumas).

Šiame darbe modeliuojamos 9 šalių elektros energetikos sistemos. Kiekvienai šaliai sudarytas identiškios struktūros modelis. Tarpusavyje modeliai sujungiami elektros importo technologijomis. Toks daugiaregioninis modelis sprendžiamas kaip vienas uždavinys ir optimizuojant ieškoma bendro optimalaus sprendinio.

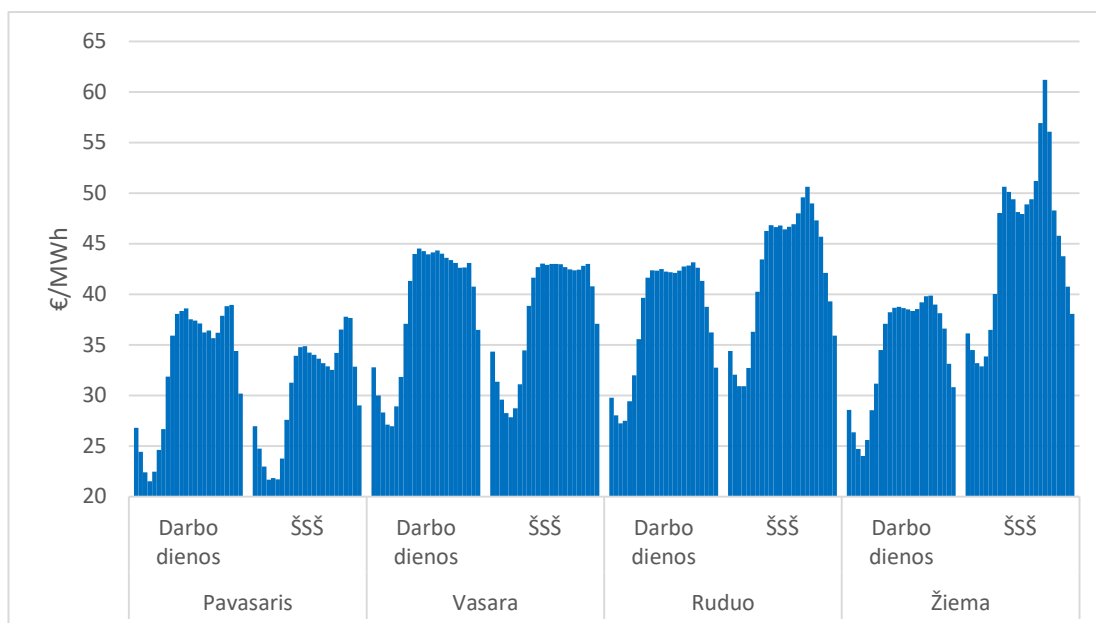


2.3 pav. Skirtingų šalių modelių sujungimo elektros importo technologijomis schema

2.3.2. Elektros energijos importo iš Rusijos ir Baltarusijos modeliavimas

Lietuva, Latvija, Estija ir Suomija turi elektros jungtis su Rusija. Šios jungtys modeliuotos kaip technologijos neturinčios įėjimo iš jokios energijos formos, tačiau generuojančios elektros energiją į antrinį energijos lygį. Siekiant įvertinti importo iš Rusijos kainos svyravimus importo technologijos kintamiems kaštams sudaryta kreivė remiantis Rusijos prekybos sistemos administratoriaus duomenimis [35]. Apskaičiuota vidutinė Rusijos sistemos elektros kaina 16,17 €/MWh. Keičiant vidutinę kainą modelyje stebėti tarpvalstybiniai elektros srautai, pagal tai nustatyta importo iš Rusijos kaina Lietuvai, Latvijai ir Estijai 34,33 €/MWh, Suomijai 28,62 €/MWh. Sudaryta elektros importo iš Rusijos kainų kreivė Suomijai yra tokia pati tik kiekvienu

laiko momentu kaina mažesnė 16,6%. Elektros energijos eksportas į Rusiją šiame modelyje nevertintas.



2.4 pav. Elektros energijos importo iš Rusijos kainų kreivė Lietuvai, Latvijai ir Estijai

Elektros importui iš Rusijos naudojama tokia pati kainų kreivė kaip ir iš Rusijos. Visos kitos tarpvalstybinės elektros jungtys su ne Baltijos regiono šalimis yra šiame modelyje nevertinamos.

2.3.3. Modeliuojamų technologijų parametrai

Technologijų parametrai yra skiriami į dvi grupes. Pirmos grupės parametrai susiję su veikla, o antrosios su instaliuotomis galiomis. Viena technologija gali turėti kelias alternatyvias veiklas, pvz. sumodeliuota elektrinė technologija gali veikti kogeneraciniu ir kondensaciniu režimais. Visos alternatyvios veiklos aprašomos tokiais pačiais parametrais.

Pirmosios grupės parametrai:

- Pagrindinis įėjimas. Nurodoma energijos forma, kurios energiją ši technologija naudoja.
- Pagrindinis išėjimas atitinka energijos formą, kurios energiją ši technologija generuoja.
- Naudingumo koeficientas
- Kintamieji kaštai
- Antriniai įėjimai. Jie nurodomi jei technologija naudoja energiją daugiau nei vienos energijos formos.

- Antriniai išėjimai. Jie nurodomi jei technologija generuoja daugiau nei vienos energijos formos energiją.
- Laiko kreivės. Jei gamybos, kintamų kaštų, galios faktoriaus ar kitų parametrų reikšmės nėra pastovios laike įvedama laiko kreivė, kuri nurodo kaip keičiasi parametro reikšmė laike.
- Įvairūs ribojimai ir papildomi parametrai. Galima nustatyti žemutines, viršutines ar fiksuotas ribas technologijos veiklai, riboti įsiskverbimą į rinką, sudaryti ribojimus emisijoms ir kita.

Antrosios grupės parametrai:

- Pirmi ir paskutiniai technologijos naudojimo metai.
- Galios faktorius.
- Minimalus technologijos panaudojimas.
- Gyvavimo trukmė, kuri parodo kiek laiko nuo šios technologijos vieneto pastatymo maksimaliai gali praeiti iki uždarymo.
- Reikiamos investicijos norint pastatyti 1 kW galios.
- Pastovūs kaštai.
- Istorinė galia. Ja nurodomos technologijų instaliuotos galios iki nagrinėjamo laikotarpio pradžios.
- Minimali galia.
- Maksimali galia.
- Statomo technologijos vieneto galia.
- Statybų trukmė.
- Įvairūs ribojimai ir papildomi parametrai. Galima nustatyti žemutines, viršutines ar fiksuotas ribas naujai instaliuojamai galiai, suminei instaliuotai galiai, nurodyti statybų uždelsimus ir kita.

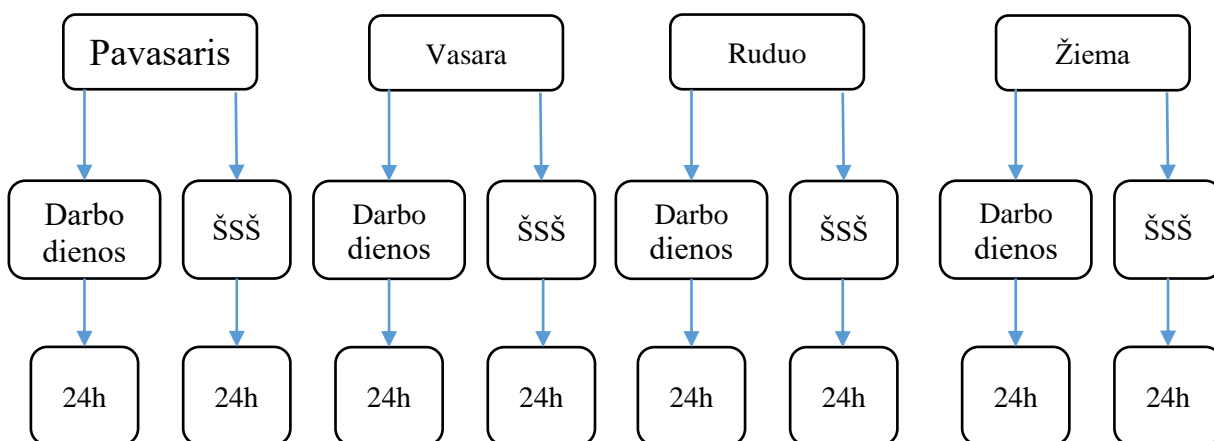
Technologijų parametrai parinkti remiantis Danijos energetikos agentūros [36], Vokietijos ekonominių tyrimų instituto [37] ir tarptautinės atsinaujinančių energijos išteklių agentūros [38] duomenimis. Technologijų parametrai pateikti 1 priede.

2.3.4. Laiko segmentavimas

MESSAGE programoje laiko segmentais yra nustatomi laiko periodai, kuriems atliekami skaičiavimai. Laiko segmentais modeliuojami metai yra skirstomi į sezonus. Sezonų mažiausiai gali būti 1 (nevertinami sezoniniai pokyčiai), o daugiausiai 53 (sezoniškumas vertinamas savaitių tikslumu). Sezonai skirstomi į dienas (galimi dienų pasirinkimai: bet kuri diena nuo pirmadienio

iki sekmadienio, darbo dienos, savaitgaliai ir šventinės dienos, bet kokios dienos). Kuo detaliau laikas yra modeliuojamas, tuo daugiau lygčių yra sugeneruojama. Esant didesniai lygčių skaičiui sprendinio radimas užtrunka ilgiau.

Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus modeliavimui pasirinkta modeliuoti laikotarpį nuo 2016 metų iki 2045. Skaičiavimai atliekami 2016, 2020, 2025, 2030, 2035, 2040 ir 2045 metams. Metai skirstomi į keturis sezonus: pavasarį, vasarą, rudenį ir žiemą. Kiekvieną sezoną sudaro 2 tipų dienos: darbo dienos; savaitgaliai ir šventinės dienos. Kiekvienas dienų tipas skirstomas į 24 valandas. Pasirinktas valandinis dienos laiko segmentavimas tam, kad būtų galima įvertinti stochastinės generacijos įtaką sistemai, tačiau siekiant išvengti itin didelio generuojamų lygčių skaičiaus. Skaičiavimai atliekami ne atskirai kiekvienai savaitės dienai, bet jas grupuojant į tipines darbo dienas ir nedarbo dienas, taip pat sezoniškumams atvaizduoti nuspręsta naudoti tik 4 sezonus.

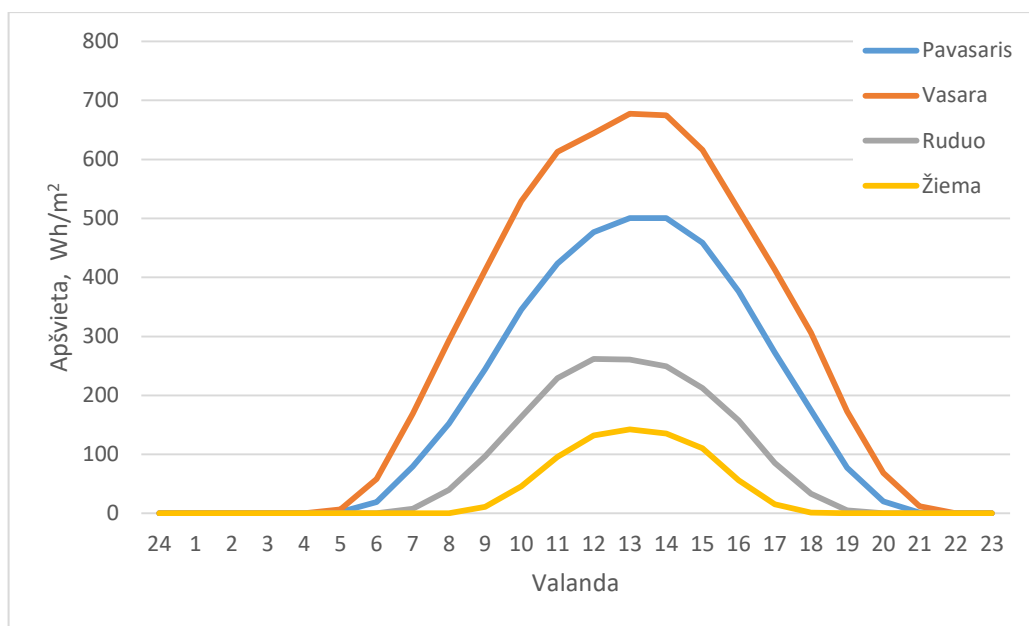


2.5 pav. Laiko segmentai

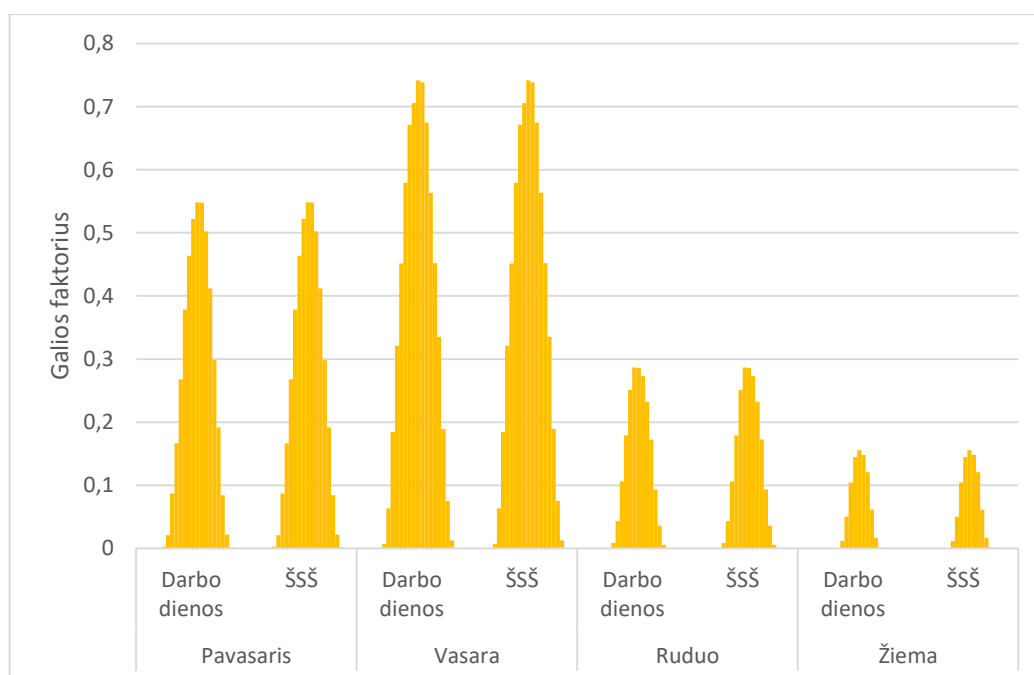
2.3.5. Generacijos naudojant AEI modeliavimas

Vėjo ir saulės elektrinių elektros gamyba yra praktiškai nevaldoma. Tam, kad užtikrinti efektyvų tokių elektrinių darbą paprastai generuojama didžiausia galima galia, kuri priklauso nuo momentinio vėjo greičio ar apšvietos. Kintant vėjo greičiui ar apšvietai keičiasi ir atitinkamų elektrinių generuojama galia. Didėjant AEI naudojančių elektrinių instaliuotai galiai, elektros sistemos valdymas darosi sudėtingesnis. Kiekvienu momentu privalo būti užtikrintas elektros energijos balansas. Gamyba iš AEI yra stochastinė ir sklandžiam sistemos darbui yra reikalingos greitai galią galinčios keisti elektrinės ir/ar elektros energijos kaupimo įrenginiai. Kadangi nepastovi gamyba iš AEI, priklausomai nuo instaliuotų galių kiekio, daro gana ženkliai įtaką elektros sistemai, todėl sudarant elektros energetikos sektoriaus modelį reikia įvertinti stochastinės gamybos įtaką.

Apšvietos kitimą ir kartu generuojamą elektros energijos kiekį saulės elektrinėse modeliuoti pasirinkta saulės elektrinių technologijoms nurodant galios faktoriaus laiko kreives. Tokiu būdu modeliuojant elektros energijos gamybos nepastovumus užtikrinama galimybė reguliuoti generaciją ją mažinant. Kiekvienam sezonui nurodyta skirtinga kreivė, tačiau to paties sezono dienų tipams naudotos tokios pačios. (Žiūrėti 2.7 pav.) Kreivės sudarytos remiantis 2015 metų apšvietos duomenimis [39], apskaičiuojant kiekvienai valandai vidutinę sezoninę tos valandos apšvietą. (Žiūrėti 2.6 pav.)

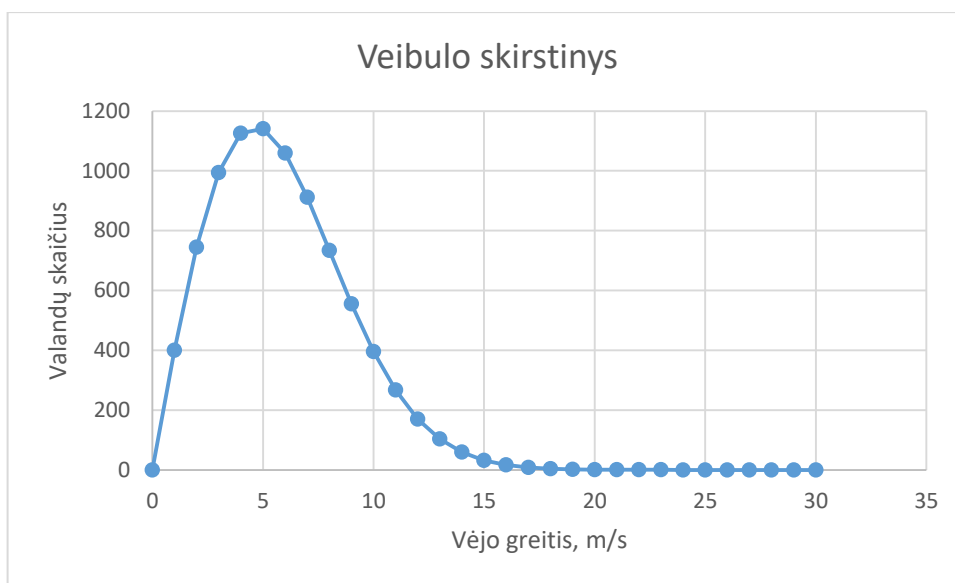


2.6 pav. Lietuvos vidutinės sezoninės apšvietos kreivės

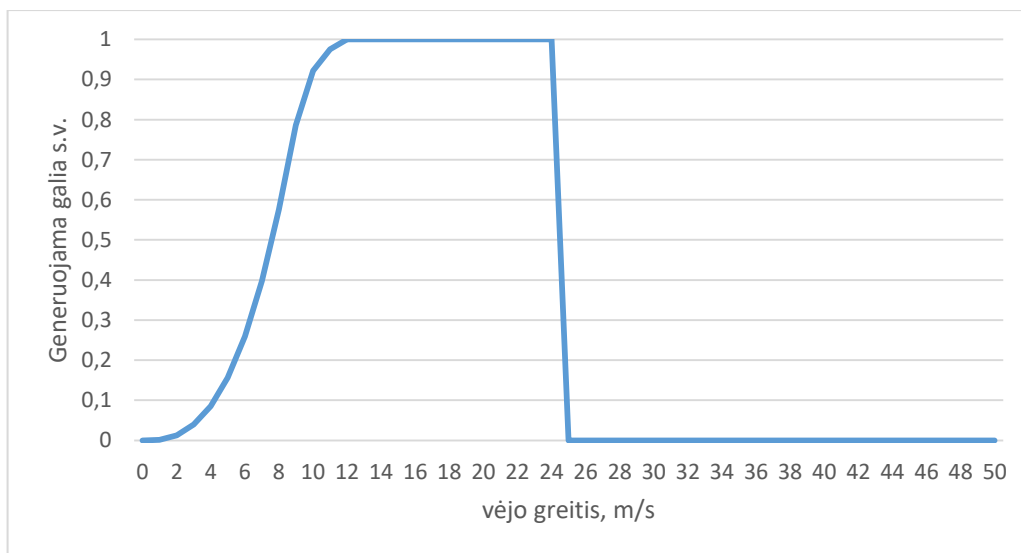


2.7 pav. Lietuvos saulės elektrinių galios faktorių kreivė

Vėjo elektrinių gamybos nepastovumas modeliuotas taip pat nurodant galios faktoriaus laiko kreivę. Kreivės sudarytos atsižvelgiant į faktinių vėjo elektrinių generuojamų galių pasiskirstymą metuose. Kiekvienai šaliai sudarant kreives, naudojami tokių metų duomenys, kuriais buvo mažiausias vėjo elektrinių įdiegtos galios padidėjimas, siekiant sumažinti naujai įdiegtų galių įtaką. Norvegijai ir Lenkijai faktiniai duomenys nebuvo galimi, todėl vėjo greičio pasiskirstymo metuose nustatymui naudotas Veibulo skirstinys, o generuojamos galios priklausomybei nuo vėjo greičio įvertinti naudota ENERCON E-82 galios kreivė [40].

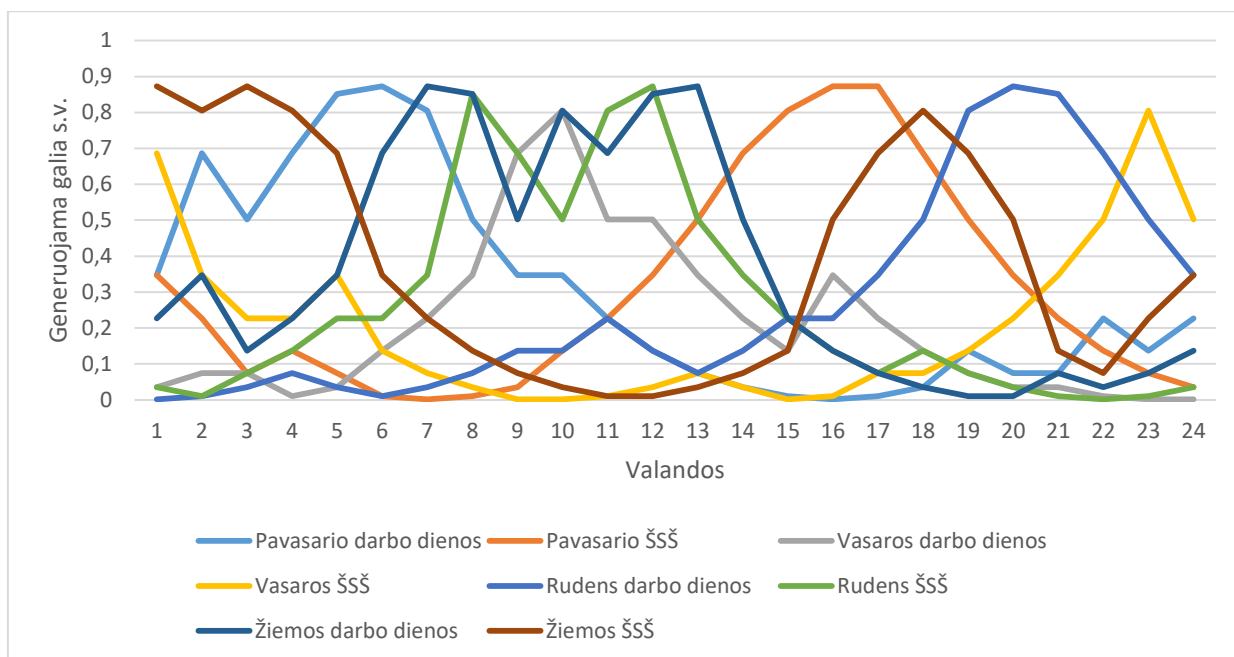


2.8 pav. Vėjo greičio pasiskirstymas metuose Norvegijoje



2.9 pav. Enercon E-82 galios kreivė

Įvertinus vėjo elektrinių generuojamų galių pasiskirstymą kiekvienoje šalyje sudarytos modelio laiko segmentus atitinkančios unikalios vėjo elektrinių galios faktoriaus kreivės kiekvienam dienos tipui ir sezonui.



2.10 pav. Norvegijos vėjo elektrinių gamybos kreivės

Jūrinių ir žemyninių vėjo elektrinių gamybos kreivės sutampa, išskyrus Danijos ir Norvegijos atvejais. Šioms šalims jūrinių vėjo elektrinių gamybai sudarytos atskiros kreivės, remiantis faktiniais šių elektrinių gamybos duomenimis. Kitoms šalims, siekiant įvertinti jūroje esantį didesnę vėjo greitį nei žemyninėje dalyje, įvedamas papildomas koeficientas, kuris yra sudauginamas su kiekviena galios faktoriaus kreivės reikšme. Šio koeficiento reikšmės yra parenkamos pagal 1 priede pateiktas jūrinių ir žemyninių vėjo elektrinių vidutinių galios faktorių reikšmes.

2.3.6. CO₂ emisijų modeliavimas

Anglies dvideginio emisijos modeliuotos naudojantis ryšių funkcija (relations). Šiame modelyje kurą generuojančios technologijos gamina tik tiek, kiek elektrinės sunaudoja kuro, todėl galima CO₂ emisijas įvertinti fiksuojant kuro gamybą ir ją dauginant iš atitinkamo anglies dvideginio emisijos faktoriaus. CO₂ emisijų faktoriai pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. CO₂ emisijų faktoriai [41]

Kuro rūšis	Emisijos faktorius, tCO ₂ /MWh
Skalūnai	0,38520
Akmens anglis	0,35388
Rusvoji anglis	0,36360
Durpės	0,38160
Gamtinės dujos	0,20196
Nafta	0,26388
Mediena	0,40320
Atliekos	0,36000

Technologijos su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu naudoja kūrą, kurį generuojant fiksuojamos CO₂ emisijos, todėl turi būti atimamos šių technologijų emisijos, kurios atitinka surinktą ir saugomą CO₂ dujų skaičių. Tokios emisijos skaičiuojamos naudojantis formule:

$$m_{CO_2 \text{ surenk.}} = \frac{E_{tech}}{\eta_{tech}} \cdot \eta_{surink.} \cdot k \quad (1)$$

Čia: $m_{CO_2 \text{ surenk.}}$ – surenkamų ir saugomų CO₂ emisijų kiekis; E_{tech} - technologijos gaminamos energijos kiekis; η_{tech} - technologijos naudingo veikimo koeficientas; $\eta_{surink.}$ – technologijos CO₂ surinkimo efektyvumas; k – emisijos faktorius.

Modelyje anglies dvideginio emisijos dėl biokuro deginimo yra nevertinamos ir laikoma, kad biokuru kūrenama kogeneracinė elektrinė su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu turi neigiamas CO₂ emisijas.

Kiekvienai modeliuojamai šaliai taikomi CO₂ ribojimai. Ribojimų modeliavimui naudojamosi ryšių funkcija, kur galima įvesti papildomas lygtis. Šalies anglies dvideginio emisijų ribojimui naudojama ši lygtis:

$$\sum m_{CO_2} - \sum m_{CO_2 \text{ surenk.}} \leq m_{CO_2 \text{ maks.}} \quad (2)$$

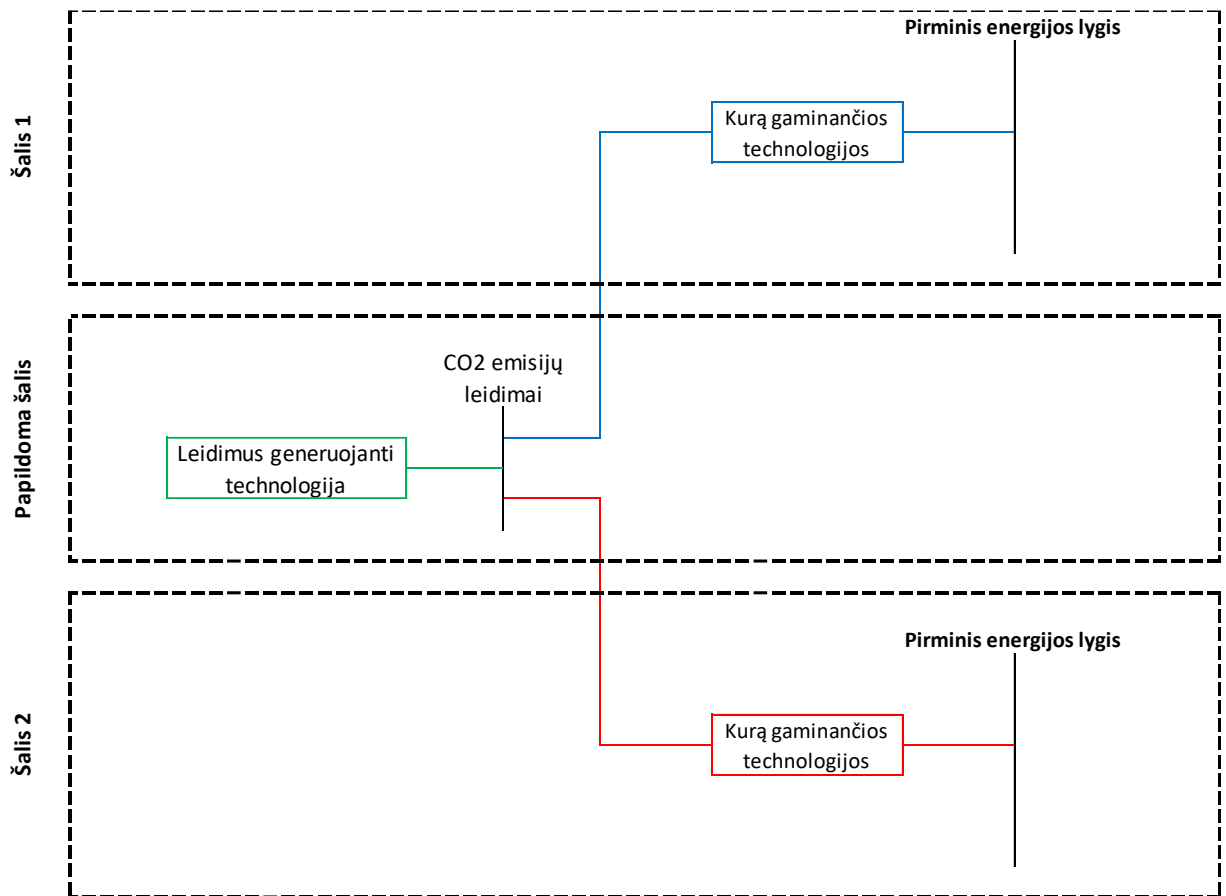
Čia: m_{CO_2} - CO₂ emisijų kiekis gaunamas generuojamo kuro kiekį dauginant iš emisijos faktoriaus; $m_{CO_2 \text{ maks.}}$ – maksimalus šalies CO₂ emisijų kiekis elektros ir šilumos gamyboje.

Maksimalus šalies CO₂ emisijų kiekis elektros ir šilumos gamyboje 2020 metams nustatytas remiantis ES 2020 energetikos ir klimato kaitos strategijoje numatytais anglies dvideginio mažinimo tikslais.

2.2 lentelė. Europa 2020 CO₂ emisijų mažinimo tikslai [42] [43]

Šalis	CO ₂ emisijų sumažinimo tikslas iki 2020 m. lyginant su 2005 m.	CO ₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje 2005 m., kt	2020 m. CO ₂ emisijų riba, kt
Danija	20%	20424	16339
Estija	11%	12205	10863
Latvija	17%	1992	1653
Lenkija	14%	168526	144932
Lietuva	15%	3829	3255
Suomija	16%	18684	15695
Švedija	17%	8007	6646
Vokietija	14%	332601	286037

Modelyje tolimesniam nuo 2025 iki 2045 metų anglies dvideginio emisijų ribojimui taikomi ribojimai ne individualiai kiekvienai šaliai, bet visam regionui. Vis dėlto 2020 m. nustatytų individualių emisijų ribų šalys taip pat negali viršyti. Europos Sąjungoje yra siekiama iki 2030 metų sumažinti CO₂ emisijas 40% lyginant su 1990 m., iki 2040 m. 60% ir iki 2050 m. 80% [44]. Pagal šiuos tikslus yra nustatytos emisijų ribos visam Baltijos šalių regionui: 2025 m. – 441480 kt CO₂; 2030 m. – 397542 kt CO₂; 2035 m. – 331285 kt CO₂; 2040 m. – 265028 kt CO₂; 2045 m. – 198771 kt CO₂. Šie ribojimai visam regionui į modelį įvedami sudarant atskirą papildomos šalies modelį. Šis modelis neatspindi jokios realios šalies, tačiau jame yra technologija generuojanti CO₂ emisijų leidimus visam Baltijos šalių regionui. Nustatyta, kad šios technologijos leidimų generavimas negali viršyti prieš tai minėtų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų ribų 2025-2050 metams. Kiekvienos šalies kurą generuojančios technologijos naudoja leidimus kuro generacijai, t.y. akmens anglį generuojanti technologija norint pagaminti 1 MWh turi sunaudoti 0,35388 t CO₂ (atitinkamai pagal emisijų faktorius) leidimų.



2.11 pav. CO₂ emisijų leidimų generavimo ir vartojimo schema

2.3.6. Minimalios elektros gamybos šalies viduje ir gamybos naudojant AEI ribojimai

Modelyje daroma prielaida, kad stabiliam elektros sistemos darbui yra būtina šalies viduje generuoti ne mažiau kaip 25% suvartojamos elektros energijos. Ribojimas įvedamas sudarant papildomą lygtį:

$$\sum E_{gen} \geq 0,25 \cdot E_{tinkl} \quad (3)$$

Čia: E_{gen} – kiekvienos elektros energiją gaminančios technologijos, išskyrus importo technologijas, generacija; E_{tinkl} – perdavimo ir skirstomųjų tinklų perduodamas elektros energijos kiekis į galutinį energijos lygį.

Kiekvienos analizuotos šalies ribojimai gamybai naudojant AEI nustatyti remiantis valstybiniais veikslių planais parengtais siekiant įgyvendinti Europa 2020 strategijoje numatytus tikslus.

2.3 lentelė. Suvartojamos energijos dalis, kuri turi būti pagaminta naudojant AEI [45]

Šalis	Elektros		Šilumos	
	2016	2020	2016	2020
Danija	47%	52%	37%	40%
Estija	4%	5%	19%	18%
Latvija	52%	60%	49%	53%
Lenkija	14%	19%	14%	17%
Lietuva	20%	21%	36%	39%
Suomija	28%	33%	43%	47%
Švedija	n/d	63%	n/d	62%
Vokietija	n/d	30%	n/d	14%

Pastaba: Norvegijai ribojimai suvartojamos energijos daliai, kuri turi būti pagaminta iš AEI, netaikyti.

Gamybos naudojant AEI ribojimams kiekvienai šaliai 2016 ir 2020 metams sudaromos panašios lygtys į minimalios gamybos šalies viduje lygtis:

$$\sum E_{AEI\ gen} \geq l_e \cdot E_{tinkl} \quad (4)$$

Čia: $E_{AEI\ gen}$ - kiekvienos elektros energiją gaminančios technologijos naudojant AEI generacija; l_e – suvartojamos elektros energijos dalis, kuri turi būti pagaminta naudojant AEI

$$\sum Q_{AEI\ gen} \geq l_s \cdot Q_{tinkl} \quad (5)$$

Čia: $Q_{AEI\ gen}$ - kiekvienos šilumos energiją gaminančios technologijos naudojant AEI šilumos generacija; l_s – suvartojamos šiluminės energijos dalis, kuri turi būti pagaminta naudojant AEI; Q_{tinkl} – šilumos skirstomųjų tinklų perduodamas šiluminės energijos kiekis į galutinį energijos lygį.

2.3.6. Nuostoliai elektros ir šilumos tinkluose

Nuostoliai elektros ir šilumos tinkluose įvertinami elektros perdavimo ir skirstomųjų tinklų bei šilumos skirstomųjų tinklų technologijose nurodant tinklų efektyvumą. Elektros tinklų efektyvumas apskaičiuotas naudojantis Europos statistikos departamento duomenimis [46].

2.4 lentelė. Elektros perdavimo ir skirstomųjų tinklų efektyvumas

Šalis	Elektros perdavimo ir skirstomųjų tinklų efektyvumas
Danija	94,4%
Estija	90,8%
Latvija	93,5%
Lenkija	92,4%
Lietuva	92,2%
Norvegija	92,6%
Suomija	97,0%
Švedija	95,2%
Vokietija	95,3%

Visų šalių šilumos skirstymo tinklų efektyvumas priimta, kad yra lygūs 83,9%.

2.3.6. Kuro kainos ir nagrinėjami scenarijai

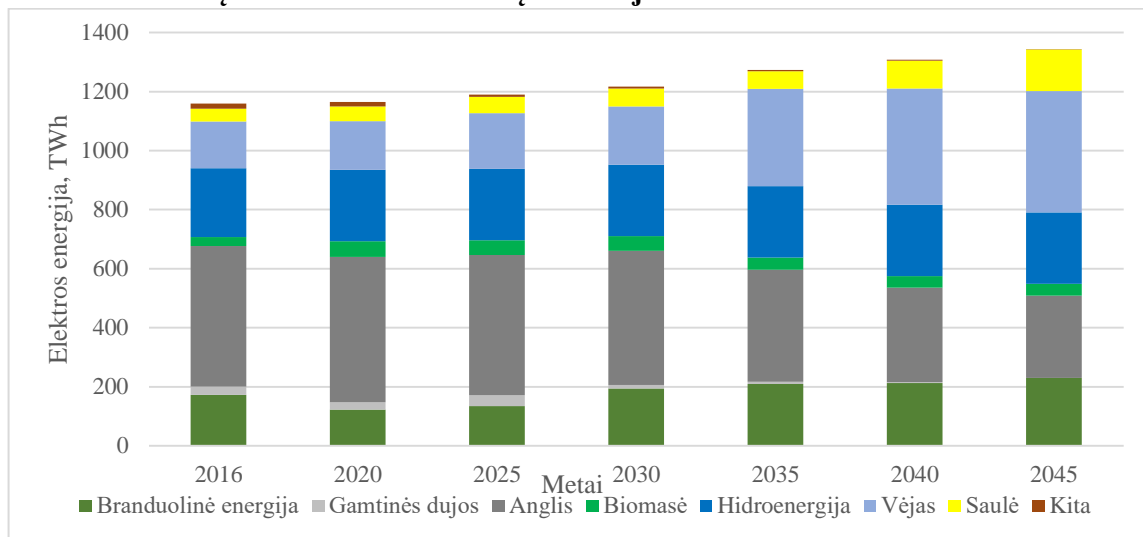
Perspektyvinės kuro kainos modeliuotos kurą generuojančioms technologijoms nurodant kintamus kaštus, kurių vertės atitinka kuro kainas. Pasirinkti trys kuro kainų kitimo scenarijai: žemų, vidutinių ir aukštų iškastinio kuro kainų. Kainų kitimas sudarytas remiantis Tarptautinės Energetikos Agentūros daromomis prielaidomis modelyje „Energetikos Technologijų Perspektyvos 2016“. Šiose prielaidose pateiktas kainų kitimas tik bendrai Europos Sąjungai, o ne individualioms šalims, todėl kainos parenkamos pagal kiekvienos šalies duomenis, bet jų kitimo laike tendencijos pagrįstos „Energetikos Technologijų Perspektyvos 2016“ modelio prielaidomis. Perspektyvinės kuro kainos kiekvienai nagrinėjamai šaliai pateiktos 2 priede.

Siekiant įvertinti taikomų aplinkosauginių ribojimų įtaką skaičiavimo rezultatams sudarytas papildomas scenarijus, kuriame taikomos vidutinės iškastinio kuro kainos ir yra panaikinti CO₂ emisijų, gamybos naudojant AEI ribojimai ir draudimai statyti naujas atominės elektrines Vokietijoje ir Danijoje. Taigi šiame darbe nagrinėjama Baltijos regiono šalių elektros energetikos sektoriaus perspektyvinė raida 4 scenarijais: žemų kainų, vidutinių kainų, aukštų kainų ir panaikintų ribojimų.

3. TYRIMO REZULTATŲ DALIS

3.1. BALTIJOS REGIONO ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS PERSPEKTYVINĖS RAIDOS SCENARIJAI

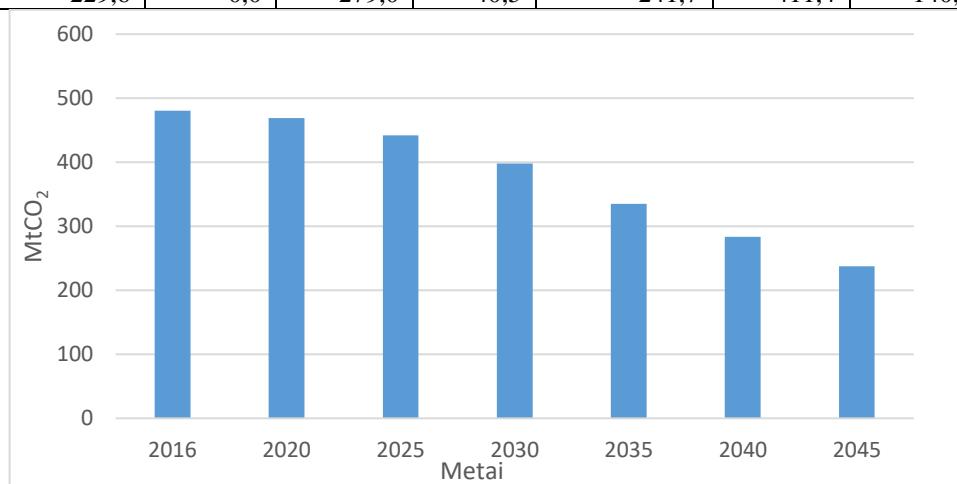
3.1.1. Žemų iškastinio kuro kainų scenarijus



3.1 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.1. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

	Branduolinė energija	Gamtinės dujos	Anglis	Biomasė	Hidroenergija	Vėjas	Saulė	Kita
2016	172,3	28,8	475,6	30,7	233,0	158,7	43,2	17,3
2020	122,4	25,3	491,7	53,9	241,7	164,9	49,8	15,3
2025	133,9	36,9	475,6	49,5	241,7	189,0	55,0	7,6
2030	194,0	12,5	454,3	49,3	241,7	198,3	59,8	6,4
2035	209,7	7,2	379,6	41,2	241,7	329,9	59,1	4,3
2040	212,6	2,9	320,5	38,7	241,7	393,7	94,5	3,3
2045	229,6	0,0	279,0	40,5	241,7	411,4	140,9	0,3



3.2 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

Dėl uždaromų atominų elektrinių Vokietijoje ir Švedijoje žemų iškastinio kuro kainų scenarijuje matomas elektros gamybos atominėse elektrinėse sumažėjimas 2020 m. iki 122 TWh, tačiau nuo 2025 m. prognozuojamas augimas, kurį sąlygoja naujų atominų elektrinių atsiradimas Lenkijoje. 2045 m. atominėse elektrinėse generuojama 230 TWh, iš kurių net 187 TWh Lenkijoje.

Elektros gamyba deginant gamtines dujas 2020 m. sumažėja nuo 28,8 TWh iki 25,3 TWh, tačiau 2025 m. padidėja iki 36,9 TWh dėl augimo Lenkijoje ir Vokietijoje. Nuo 2030 m. generacija mažėja ir 2045 m. elektra dujas naudojančiose elektrinėse nebegaminama.

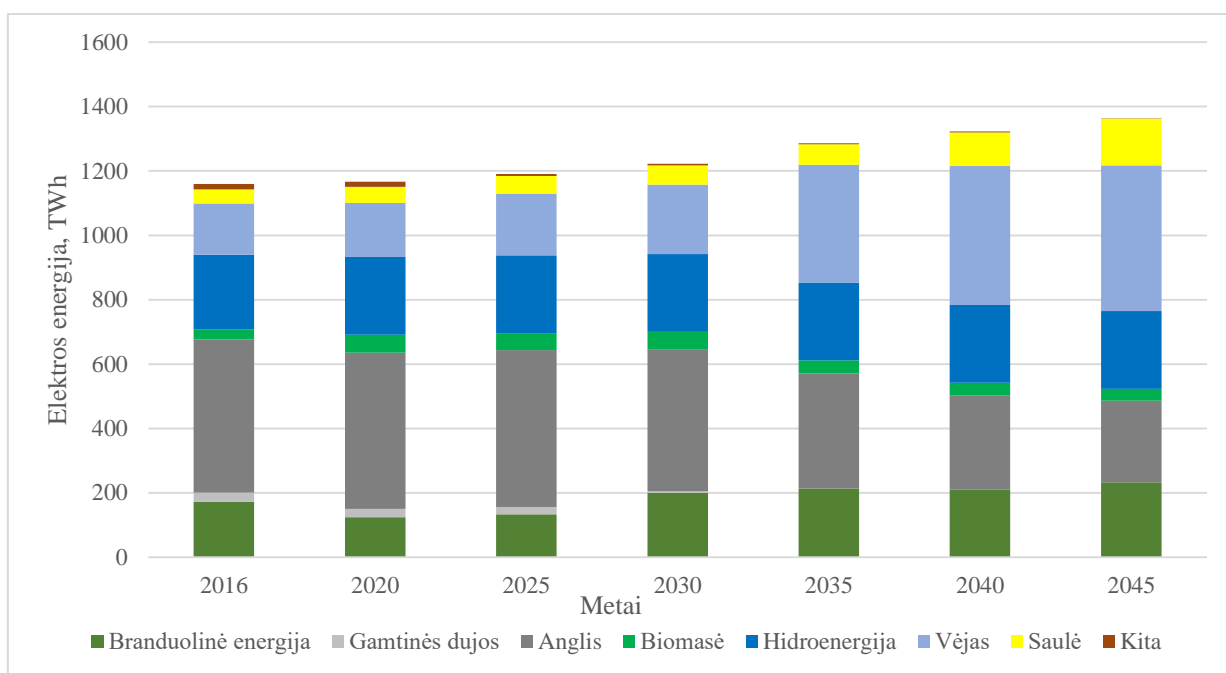
Žemų iškastinio kuro kainų scenarijuje iš visų nagrinėjamų scenarijų lėčiausiai mažėja elektros energijos generacija anglį naudojančiose elektrinėse. 2020 m. gamyba padidėja 16 TWh lyginant su 2016 m. 2025 m. sumažėja vėl iki 2016 m. lygio ir nuo 2035 m. stabiliai mažėja. 2045 m. generuojama 279 TWh.

Biomasę deginančiose kogeneracinėse elektrinėse 2020 m. elektros gamyba padidėja 76% ir pasiekia 53,9 TWh. 2025 m. sumažėja iki 49,5 TWh ir beveik išlieka nepakitusi iki 2030 m. 2035 m. ir 2040 m. sumažėja 8 TWh ir 3 TWh, tačiau 2045 m. paauga iki 40,5 TWh.

Hidroelektrinėse generuojama elektros energija turi mažiausią savikainą iš visų elektros energiją generuojančių technologijų, todėl optimizuojant modelį rezultatuose matoma maksimali gamyba nepriklausomai nuo scenarijaus. Nuo 2016 m. iki 2020 m. padidėjimas atsiranda dėl įvertinto mažųjų hidroelektrinių potencialo Lenkijoje ir Vokietijoje.

Mažų iškastinio kuro kainų scenarijuje elektros energijos gamybos vėjo ir saulės elektrinėse augimo tempai yra mažiausi lyginant su vidutinių ir aukštų kainų scenarijumi, tačiau didesni nei panaikintų ribojimų atveju. 2045 m. vėjo elektrinėse generuojama 411 TWh, o saulės 141 TWh.

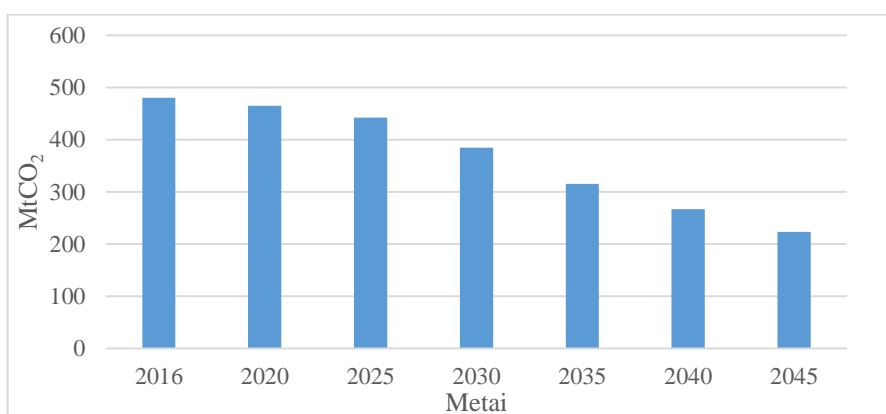
3.1.2. Vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijus



3.3 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.2. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

	Branduolinė energija	Gamtinės dujos	Anglis	Biomasaė	Hidroenergija	Vėjas	Saulė	Kita
2016	172,3	28,8	475,5	30,7	233,0	159,0	43,2	17,3
2020	123,8	26,0	486,1	55,4	241,7	168,2	49,8	15,3
2025	133,0	23,4	486,8	53,2	241,7	191,5	55,0	5,9
2030	199,7	5,4	441,7	53,5	241,7	215,1	59,8	5,3
2035	213,7	0,3	356,5	41,4	241,7	366,0	63,2	3,0
2040	209,9	0,1	293,1	38,7	241,7	432,1	104,6	2,9
2045	232,3	0,0	253,9	36,6	241,7	453,4	144,5	0,1



3.4 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

Vidutinių iškastinio kuro scenarijaus atveju elektros gamybos tendencijos atominėse elektrinėse atitinka esančias žemų kainų scenarijuje tik gamyba vidutiniškai didesnė 1,7 TWh.

Gamtines dujas naudojančių elektrinių generuojamo elektros kiekio mažėjimas šiame scenarijuje, lyginant su žemų kainų scenarijumi, yra spartesnis ir nėra gamybos padidėjimo 2025 m. Visą nagrinėjamą laikotarpį matomas stabilus mažėjimas. 2016 m. generuojama 28,8 TWh, 2020 m. 26 TWh, 2025 m. 23,4 TWh, 2030 m. 5,4 TWh, 2035 m. ir 2040 m. gamyba nesiekia 1 TWh, o 2045 m. nebegaminama.

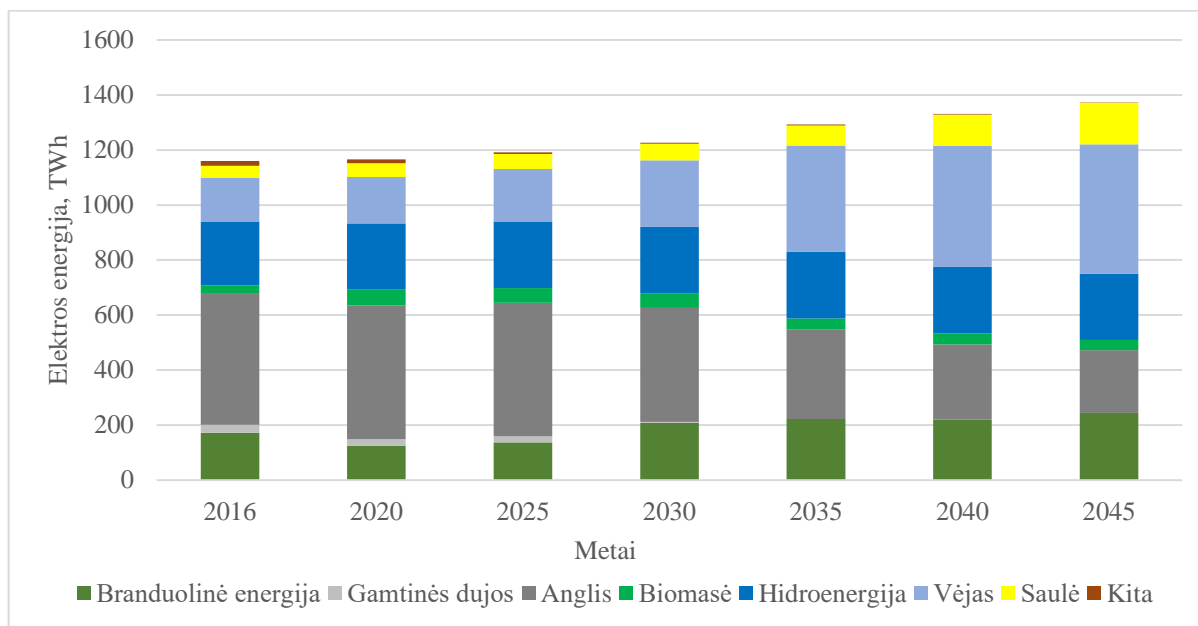
Esant vidutinėms iškastinio kuro kainoms pastebima mažesnė elektros gamyba anglimi kūrenamose elektrinėse nei žemų kainų scenarijuje, išskyrus 2025 m. kai gaminama 487 TWh (11 TWh daugiau nei žemų kainų atveju). Nuo 2030 m. generuojama vidutiniškai 6% mažiau nei žemų kainų scenarijuje.

Dėl didesnių iškastinio kuro kainų biomasės kogeneracinėse elektrinėse gaminama elektros energija yra konkurencingesnė, todėl 2020 m. generuojama 3% daugiau, 2025-2030 m. apie 8 % daugiau. 2035 ir 2040 m. generacija praktiškai nesiskiria tarp šių dviejų scenarijų, o 2045 m. gaminama 10% mažiau, dėl didesnės gamybos atominėse, vėjo ir saulės elektrinėse.

Vėjo elektrinėse 2020 m. gaminama 168 TWh elektros energijos (3 TWh daugiau nei žemų kainų scenarijuje). 2030 m. 215 TWh (17 TWh daugiau), o 2045 m. 454 TWh (42 TWh daugiau).

Iki 2030 m. didesnės iškastinio kuro kainos elektros generacijai saulės elektrinėse praktiškai neturi įtakos. Tik 2035 m. pradama gaminti 4 TWh daugiau. 2045 m. vidutinių kainų scenarijuje gaminama 144,5 TWh, o žemų kainų 140,9 TWh.

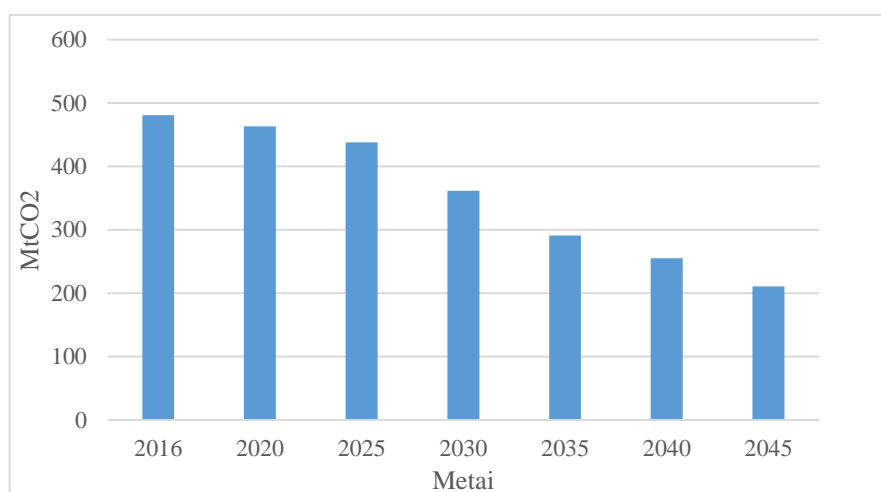
3.1.3. Aukštų iškastinio kuro kainų scenarijus



3.5 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

3.3. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, TWh

	Branduolinė energija	Gamtinės dujos	Anglis	Biomasaė	Hidroenergija	Vėjas	Saulė	Kita
2016	172,3	28,8	475,6	30,7	233,0	158,7	43,2	17,3
2020	124,6	23,6	487,5	56,1	241,7	168,6	49,8	14,3
2025	137,1	21,6	485,5	54,3	241,7	190,4	55,0	5,5
2030	207,6	3,9	413,9	53,7	241,7	241,6	59,8	4,3
2035	222,0	0,3	324,2	41,2	241,7	386,0	74,1	2,8
2040	219,2	0,1	274,0	40,0	241,7	439,4	114,0	2,6
2045	244,5	0,0	228,0	36,8	241,7	470,0	151,0	0,1



3.6 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju

Aukštų išskastinio kuro kainų scenarijuje gamybos atominėse elektrinėse augimas yra spartesnis už žemų ir vidutinių kainų, tačiau mažesnis už panaikintų ribojimų scenarijų. Elektros energijos generacija šiose elektrinėse 2045 m. pasiekia 245 TWh. tai yra 6,5% daugiau nei žemų kainų scenarijuje ir 5,3% daugiau nei vidutinių kainų.

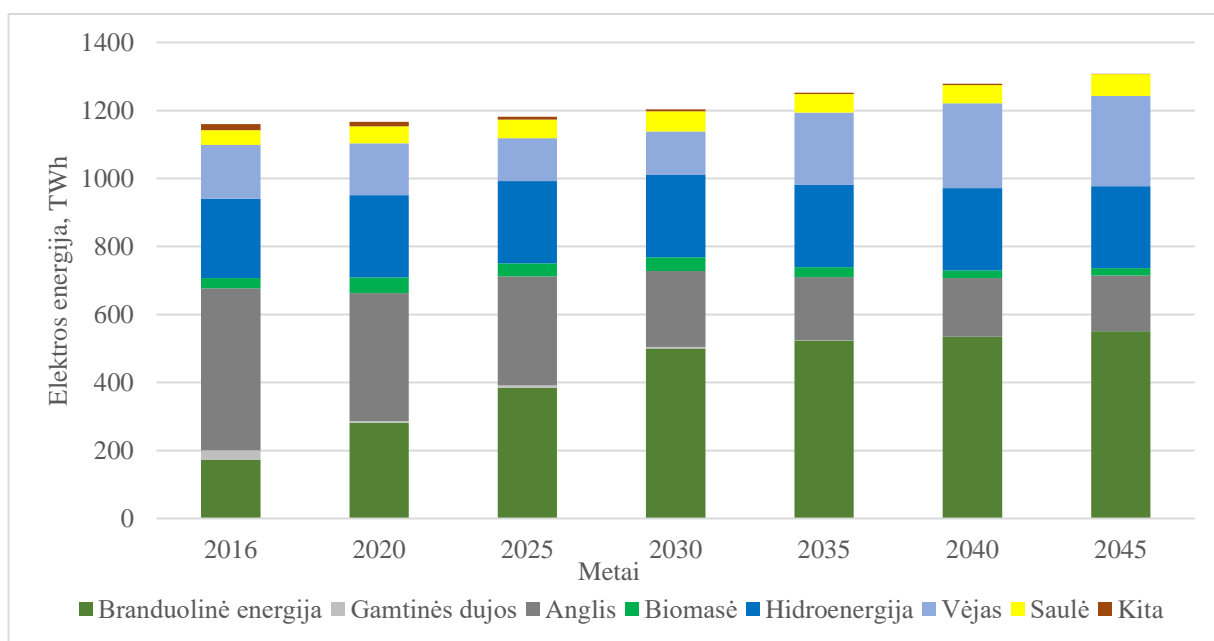
Gamtines dujas deginančių elektrinių generuojamų elektros kiekių mažėjimas yra gan panašus į vidutinių kainų scenarijų tik 2020-2030 m. laikotarpyje gaminama apie 2 TWh mažiau.

Anglis naudojančiose elektrinėse aukštų kainų scenarijuje 2020 m. ir 2025 m. elektros gamyba nedaug skiriasi nuo vidutinių kainų scenarijaus, tačiau nuo 2030 m. pastebimas ryškesnis mažėjimas. 2030 m. generuojama 413 TWh, tai yra 40 TWh mažiau nei žemų kainų atveju ir 28 TWh mažiau nei vidutinių kainų. 2045 m. pagaminama 228 TWh. 51 TWh mažiau nei žemų kainų scenarijuje ir 26 TWh mažiau nei vidutinių kainų.

Biomasės kogeneracinių elektrinių elektros gamyba aukštų ir vidutinių kainų scenarijuose yra ganėtinai panaši. Aukštų išskastinio kuro kainų atveju ji yra nežymiai didesnė.

Šiame, iš visų nagrinėjamų scenarijų, pastebima didžiausia vėjo ir saulės elektrinių plėtra. Vėjo elektrinėse 2020 m. gaminama 169 TWh, 2030 m. 242 TWh, o 2045m. 470 TWh, 2045m. generuojama 59 TWh daugiau elektros energijos nei esant žemoms išskastinio kuro kainoms ir 17 TWh nei vidutinėms kainoms. Saulės elektrinėse iki 2030 m. generuojama tiek pat, kiek ir prieš tai nagrinėtuose scenarijuose, tačiau nuo 2035 m. gaminama 15 TWh daugiau nei žemų kainų scenarijuje ir 11 TWh daugiau nei vidutinių. 2045 m. 10 TWh ir 6 TWh atitinkamai daugiau.

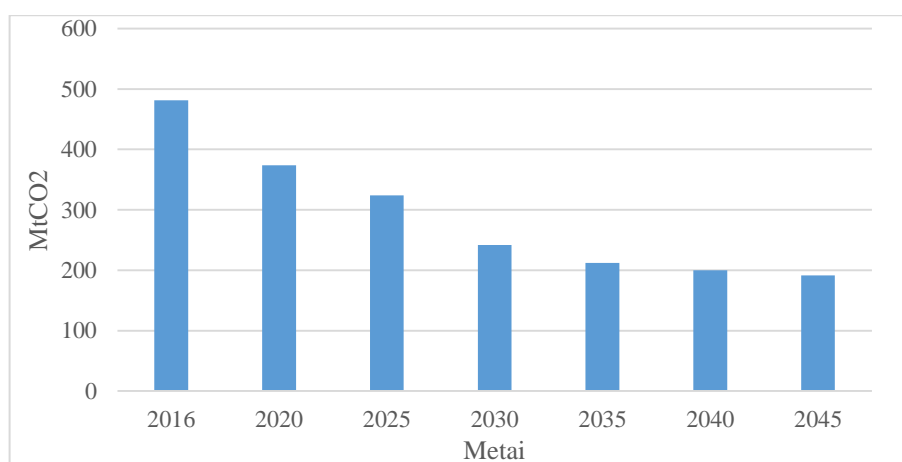
3.1.5. Panaikintų ribojimų scenarijus



3.7 pav. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju

3.4. lentelė. Elektros energijos gamyba pagal kurą Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju, TWh

	Branduolinė energija	Gamtinės dujos	Anglis	Biomasaė	Hidroenergija	Vėjas	Saulė	Kita
2016	172,3	28,6	475,7	30,7	233,0	158,7	43,2	17,9
2020	281,1	5,3	376,6	46,1	241,7	152,5	49,8	13,8
2025	383,8	8,2	320,1	38,4	241,7	126,1	55,0	8,1
2030	500,0	4,5	223,7	40,0	241,7	128,1	59,8	5,8
2035	523,1	1,2	186,1	28,8	241,7	212,7	54,5	4,0
2040	534,4	0,3	172,1	23,3	241,7	249,4	53,6	3,4
2045	551,2	0,0	163,3	21,5	241,7	264,8	64,8	0,3



3.8 pav. CO₂ emisijos elektros ir šilumos gamyboje Baltijos šalių regione panaikintų ribojimų scenarijaus atveju

Panaikintų ribojimų scenarijuje Vokietijoje nėra ribojimo draudžiančio naujų atominių elektrinių statybą, todėl šiame scenarijuje matoma didžiausia šių elektrinių plėtra. Nuo 2016 m. iki 2020 m. elektros generacija atominėse elektrinėse padidėja nuo 172 TWh iki 281 TWh, 2030 m. iki 500 TWh, o 2045 m. iki 551 TWh, tai sudaro daugiau nei 40% generuojamos energijos visame Baltijos šalių regione.

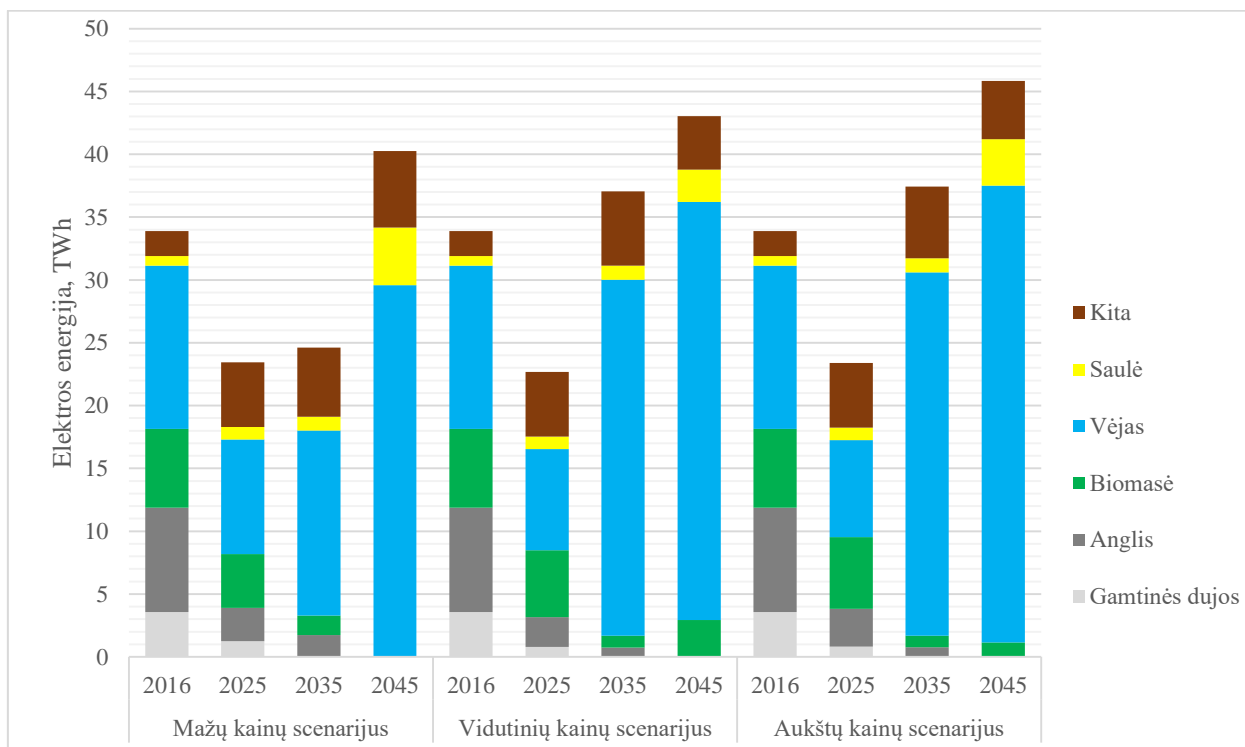
Gamtines dujas deginančiose elektrinėse šiame scenarijuje 2020 m. yra itin staigus gamybos sumažėjimas. Nuo 28,6 TWh 2016 m. iki 5,3 TWh. 2025 m. generacija padidėja iki 8,2 TWh, o nuo 2030 m. matomas mažėjimas ir 2045 m. elektros energija naudojant gamtines dujas nėra išgaunama.

Sparčiai didėjant elektros generacijai atominėse elektrinėse vis mažiau yra gaminama deginant anglį. Iš visų nagrinėtų scenarijų šiame matomas didžiausias generacijos akmens anglį naudojančiose elektrinėse sumažėjimas – iki 163 TWh 2045 m. Kituose scenarijuose 2045m. gaminama 228-279 TWh. Panaikintų ribojimų atveju, nėra gamybos padidėjimo 2020 m., pastebėto skirtingų iškastinio kuro kainų scenarijuose.

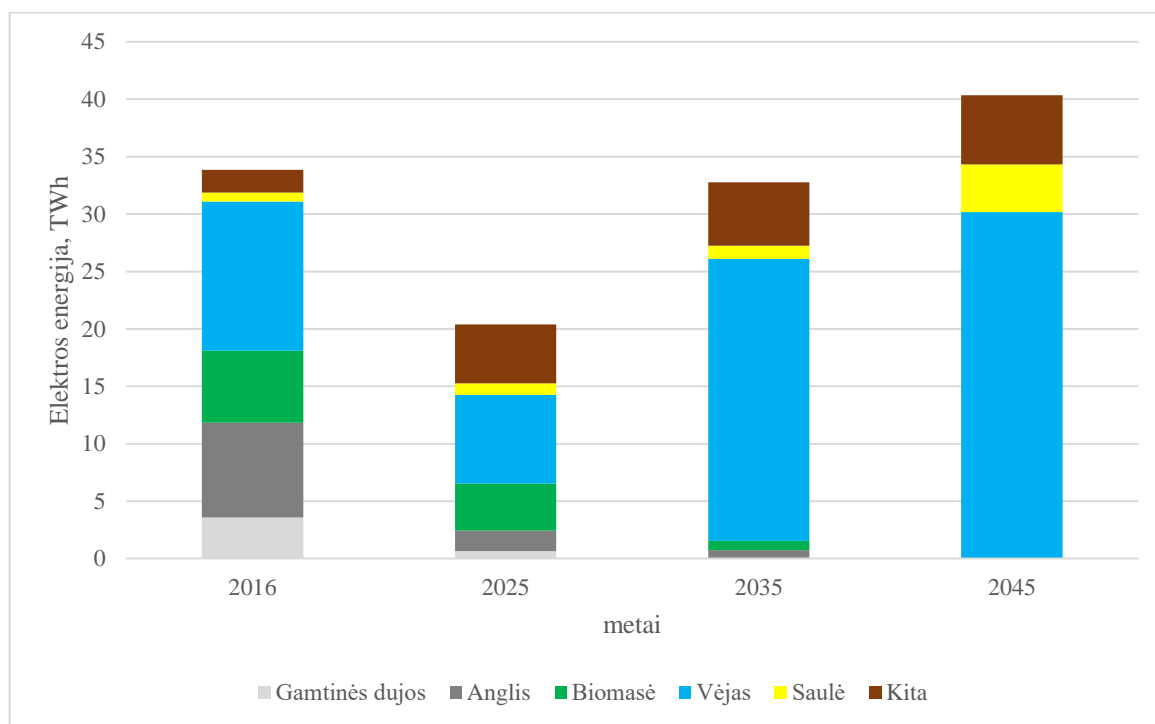
Iš visų nagrinėtų scenarijų, šiame matoma mažiausia elektros energijos gamyba vėjo ir saulės elektrinėse. Iki 2025 m. vėjo elektrinių generuojamas elektros kiekis sumažėja nuo 159 TWh iki 126,1 TWh, tuo tarpu kituose scenarijuose 2025 m. padidėja iki 189-192 TWh. Nuo 2030 m. elektros gamyba vėjo elektrinėse pradeda augti ir 2045 m. pasiekia 265 TWh, apie 36-44% mažiau nei kitais atvejais. Saulės elektrinių gamyba 2016-2030 m. laikotarpyje sutampa su kitų scenarijų. 2035-2040 m. generacija šiose elektrinėse sumažėja ir 2045 m. pasiekia 65 TWh, apie 54-57% mažiau nei kitais atvejais.

3.2. ATSKIRŲ ŠALIŲ ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ PERSPEKTYVINĖS RAIDOS SCENARIJAI

3.2.1. Danija



3.9 pav. Elektros gamyba Danijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.10 pav. Elektros gamyba Danijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

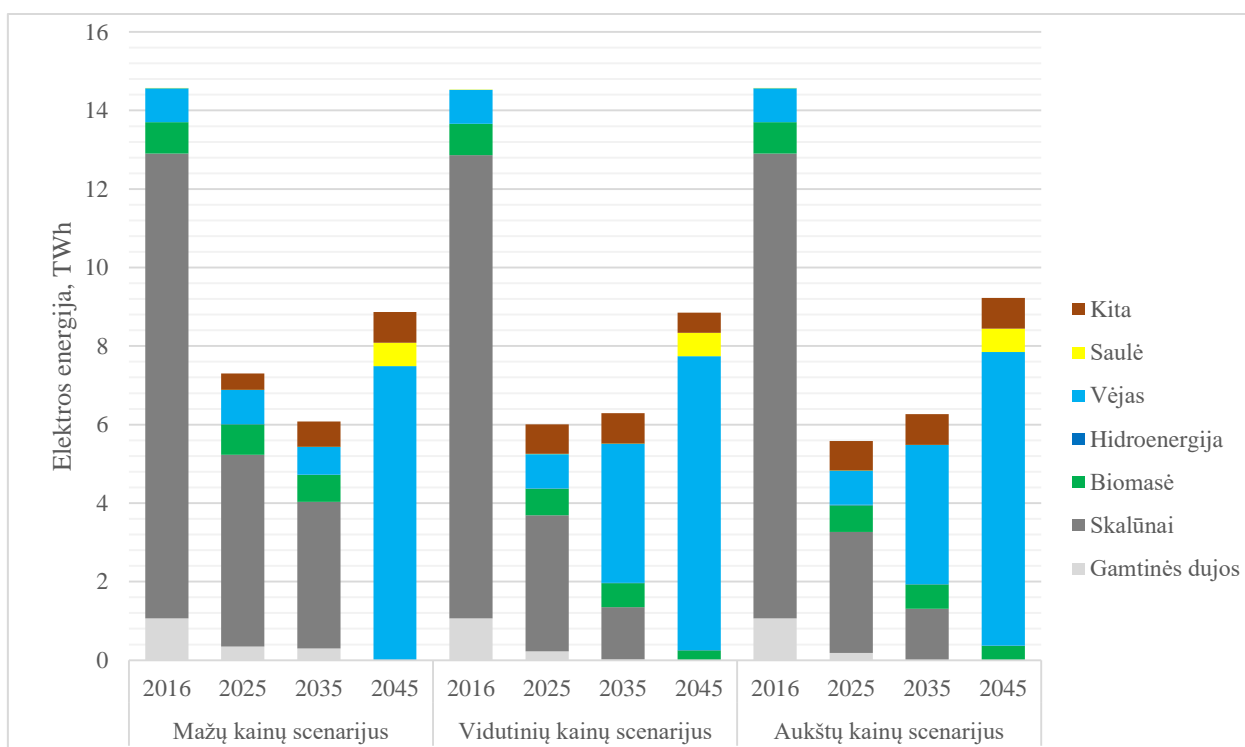
Danijoje 2016 m. elektros gamyba siekia 33,9 TWh, kurios didžiąją dalį beveik 13 TWh sudaro gamyba vėjo elektrinėse. Deginant anglį generuojama 8,3 TWh, biomasę 6,3 TWh, gamtines dujas 3,6 TWh, atliekas beveik 2 TWh, o saulės elektrinėse 0,8 TWh. Visuose nagrinėjamuose scenarijuose pastebimas gamybos sumažėjimas 2025 m. Skirtingų kuro kainų scenarijuose iki apytiksliai 23 TWh, panaikintų ribojimų scenarijuje iki 20 TWh. Dėl sumažėjusios gamybos 2025-2035 metais mažų kainų ir panaikintų ribojimų scenarijuose bei 2020 metais likusiuose scenarijuose išauga elektros importas iš Švedijos ir Norvegijos.

Labiausiai mažėja gamyba anglimi kūrenamose elektrinėse, kuriose 2025 m. generuojama jau tik 2-3 TWh, 2035 m. mažų kainų scenarijuje 1,7 TWh, o likusiuose apie 0,7 TWh. 2045 m. iš anglies elektros energija Danijoje jau nebėra generuojama. Visuose scenarijuose elektros gamyba iš gamtinių dujų nutraukiama iki 2035 metų. Taip pat pastebimas generacijos biomasės kogeneracinėse elektrinėse mažėjimas, kuris yra sparčiausias mažų kainų ir panaikintų ribojimų scenarijuose, tačiau atliekas deginančiose kogeneracinėse elektrinėse gamyba didėja ir 2025 m. viršija 5 TWh, o 2035 m. 5,5 TWh. Žemų iškastinio kuro kainų ir panaikintų ribojimų scenarijuose elektros gamyba iš atliekų 2045 m. padidėja iki 6 TWh, o vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose sumažėja iki 4,3 TWh ir 4,7 TWh.

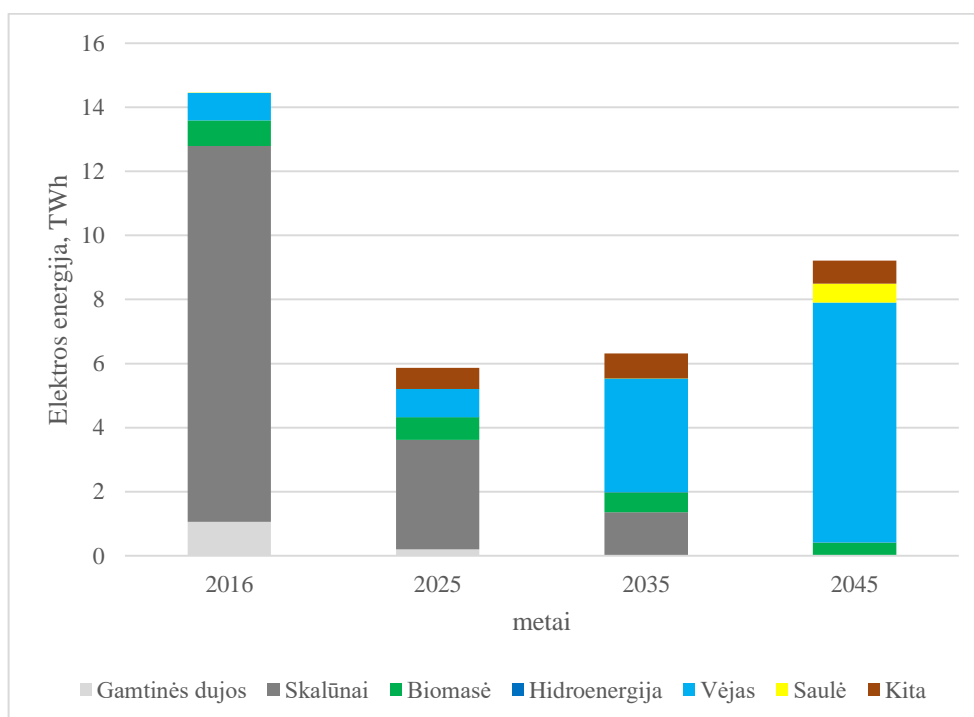
Generacija vėjo elektrinėse 2025 sumažėja dėl uždaromų vėjo elektrinių, kurios baigia eksploatacinį laikotarpį ir praktiškai naujos nėra diegiamos, tačiau pingant technologijai ir didėjant jų efektyvumui nuo 2035 m. Danijoje naujų vėjo elektrinių statyba tampa konkurencinga ir matomas 2035-2045 m. generacijos šiose elektrinėse augimas. 2045 m. vėjo elektrinėse žemų kainų ir panaikintų ribojimų scenarijuose gaminama 30 TWh, vidutinių kainų 33 TWh ir aukštų kainų scenarijuje 36 TWh.

Elektros energijos gamyba saulės elektrinėse yra labai panaši visuose scenarijuose. 2025 m. generuojama 1 TWh, 2035 m. 1,1 TWh, 2045 m. 4,6 TWh žemų kainų scenarijaus atveju, 2,6 TWh vidutinių kainų, 3,7 TWh aukštų kainų ir 4,1 TWh panaikintų ribojimų.

3.2.2. Estija



3.11 pav. Elektros gamyba Estijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.12 pav. Elektros gamyba Estijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

2016 m. Estijoje pagrindinis šaltinis elektros gamyboje yra naftos skalūnai. Iš jų gamyba sudaro net 81% (11,8 TWh) šalies generacijos, tačiau visuose scenarijuose matomas elektros gamybos naudojant šį kurą mažėjimas: 2025 m. iki 4,9 TWh, o 2035 m. iki 3,7 TWh, kai iškastinio kuro kainų lygis yra žemas ir iki 3-3,5 TWh 2025m. bei iki 1,3 TWh 2035 m. kitų scenarijų atvejais. 2045 m. elektra naftos skalūnus naudojančiose elektrinėse nebegaminama.

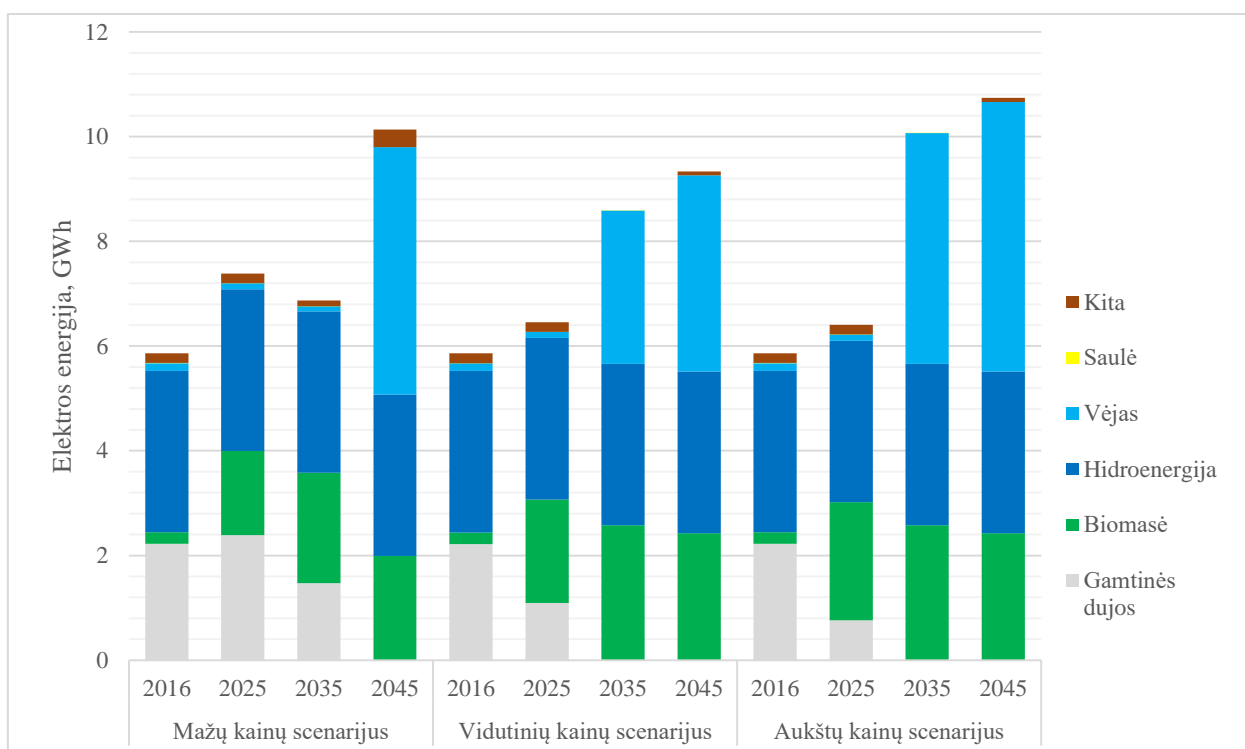
Gamtinių dujų kogeneracinėse elektrinėse matomas spartus mažėjimas visuose scenarijuose: 2016 m. 1,06 TWh, 2025 m. 0,19-0,35 TWh, 2035 m. 0,01-0,3 TWh, 2045 m. 0 TWh.

Estijoje elektros generacija biomasę deginančiose elektrinėse visų scenarijų atvejais stabiliai mažėja: 2016 m. iš biokuro gaminama 801 GWh; 2025 m. 682-776 GWh; 2035 m. 600-626 GWh; 2040 m. 29-468 GWh; 2045 m. 0 – 411 GWh; Greičiausias mažėjimas yra mažų iškastinio kuro kainų scenarijuje, o lėčiausias panaikintų ribojimų.

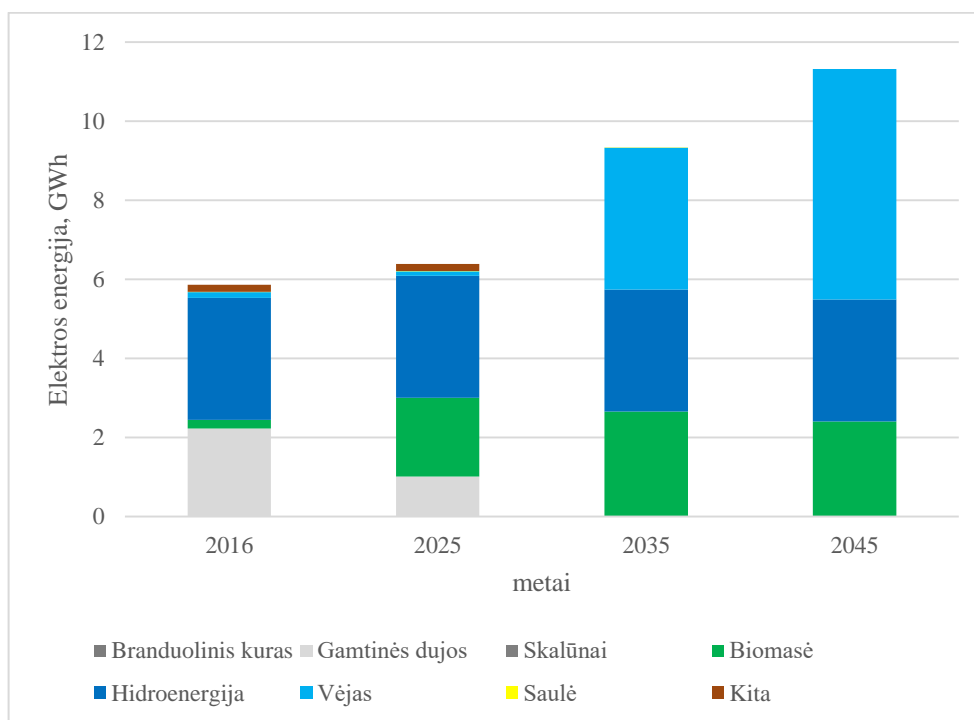
Generacijos apimtys saulės ir vėjo elektrinėse mažai priklauso nuo nagrinėjamo scenarijaus. Saulės elektrinėse reikšmingesnė generacija matoma tik 2045 m. – apie 0,6 TWh. Vėjo elektrinėse 2016 m. generuojama 0,9 TWh elektros energijos, 2025 m. išlieka praktiškai nepakitusi, o 2035 m. paauga iki apytiksliai 3,5 TWh, išskyrus žemų kainų scenarijų, kuriame sumažėja iki 0,7 TWh. 2045 m. visuose scenarijuose gaminama apie 7,5 TWh.

Nuo 2025 m. atsiranda elektros gamyba iš atliekų. Žemų kainų scenarijuje ji lygi 0,4 TWh, o kituose 0,65-0,75 TWh. 2035 m. gamyba šiose elektrinėse kiek padidėja. 2045 m. žemų ir aukštų kainų scenarijaus atveju generacija pasiekia 0,78 TWh, vidutinių kainų 0,5 TWh, o panaikintų ribojimų 0,72 TWh.

3.2.3. Latvija



3.13 pav. Elektros gamyba Latvijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



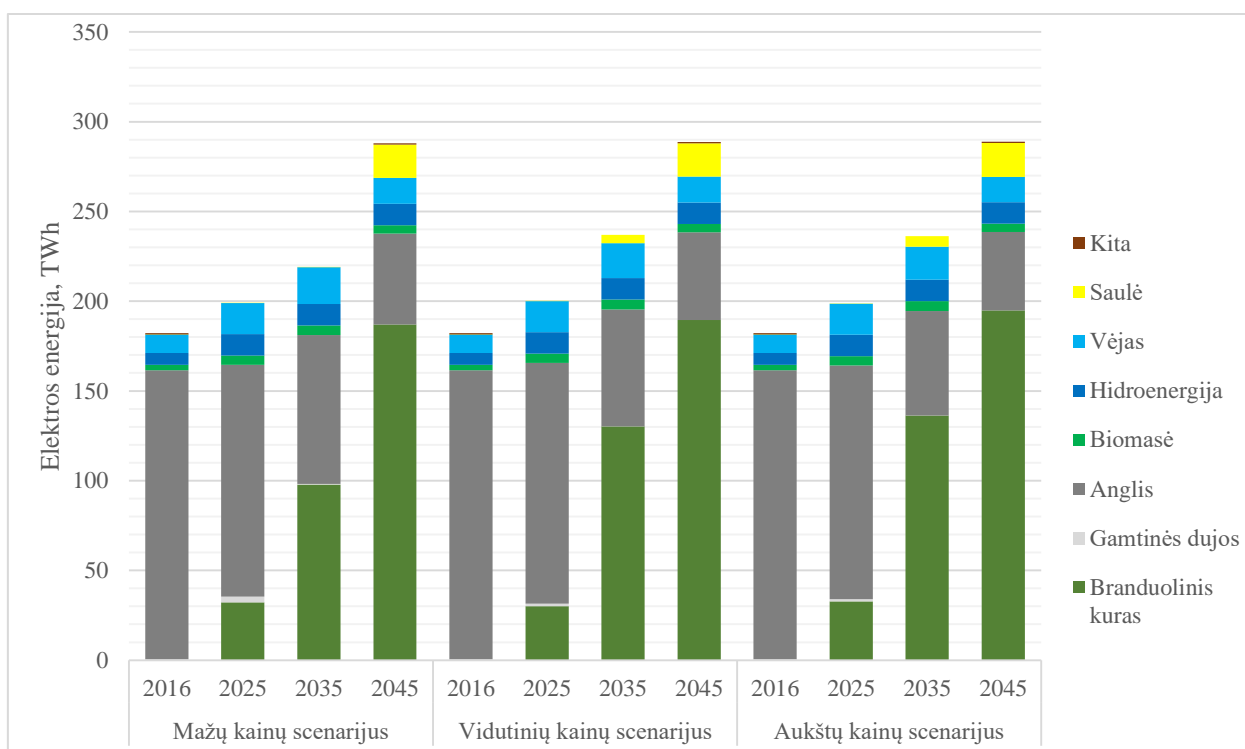
3.14 pav. Elektros gamyba Latvijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

Latvijoje 2016 m. 3,1 TWh išgaunama hidro elektrinėse, 2,2 TWh gamtines dujas naudojančiose kogeneracinėse elektrinėse po 0,2 TWh atliekų ir biomasės kogeneracinėse elektrinėse ir 0,15 TWh vėjo elektrinėse. Visuose scenarijuose matomas bendros gamybos didėjimas, kuris 2045 m. pasiekia 9-11 TWh. Daugiausiai padidėja panaikintų ribojimų scenarijuje, o mažiausiai vidutinių iškastinio kuro kainų. Gamybos didėjimą lemia generacijos augimas biomasę naudojančiose kogeneracinėse elektrinėse ir vėjo elektrinėse. Biomasės kogeneracinėse elektrinėse 2025 m. gamyba siekia 1,6-2 TWh; 2035 m. 2,1-2,7 TWh, o 2045m. 2-2,4 TWh. Žemų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju gamyba iš biokuro mažiausia, o visų kitų scenarijų atveju ji yra ganėtinai panaši.

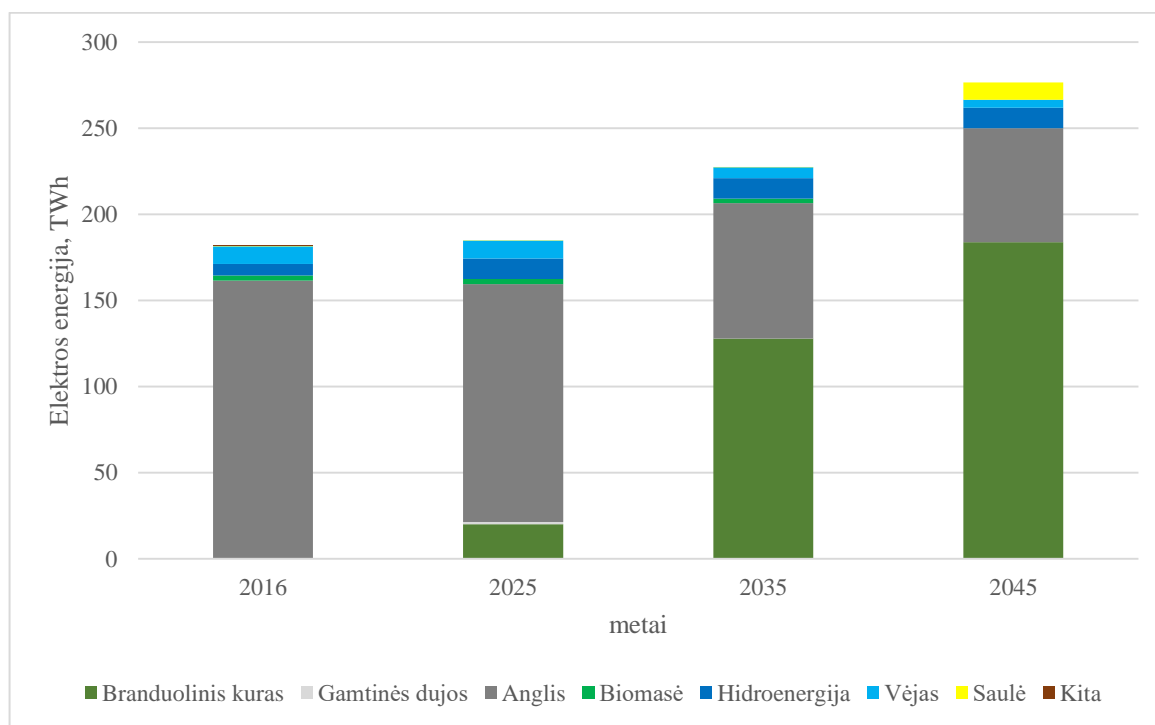
Visuose scenarijuose, išskyrus žemų kainų, gamtinių dujų kogeneracinėse elektrinėse 2025 m. sumažėja iki apytiksliai 1 TWh ir nuo 2035 m. elektra jose nebegaminama. Žemų kainų atveju, 2025 m. generacija padidėja iki 2,4 TWh, tačiau 2035 m. sumažėja iki 1,5 TWh ir nuo 2045 m. elektra iš gamtinių dujų nebėra gaminama.

Laikantis žemoms kuro kainoms iki 2035 m. naujos vėjo elektrinės nėra statomos ir matomas generacijos mažėjimas dėl uždaromų elektrinių, kurių baigiasi eksploatacinis laikotarpis, tačiau 2045 m. vėjo elektrinėse gaminama elektros energija tampa konkurencinga ir matomas staigus generacijos augimas iki 3,7 TWh. Kituose scenarijuose konkurencinga tampa jau 2035 m ir nuo tada didėja. 2045 m. iš vėjo esant vidutinėms iškastinio kuro kainoms generuojama 2,9 TWh, esant aukštomis kainoms 5,1 TWh, panaikintų ribojimų atveju 5,8 TWh.

3.2.4. Lenkija



3.15 pav. Elektros gamyba Lenkijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.16 pav. Elektros gamyba Lenkijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

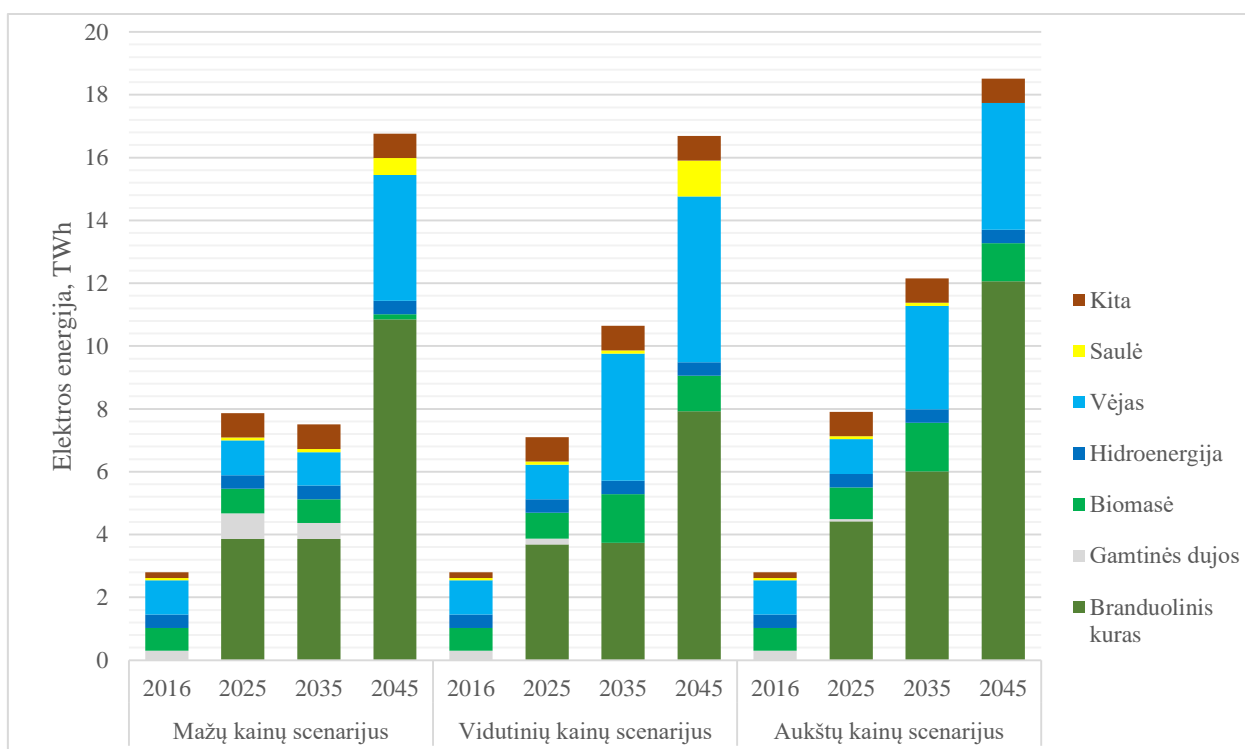
Lenkijos elektros gamyboje pagrindinis šaltinis yra anglis. Iš anglies 2016 m. pagaminama 161 TWh (88,5% Lenkijos elektros gamybos). Nuo 2025 m. visų scenarijų rezultatuose matomas elektros gamybos deginant anglį mažėjimas. 2025 m. panaikintų ribojimų scenarijuje šiose elektrinėse generacija sumažėja iki 138 TWh, kitų scenarijų atvejais 129 – 134 TWh. Sparčiausiai mažėja elektros gamyba anglimi kūrenamose Lenkijos elektrinėse aukštų iškastinio kuro kainų scenarijaus atveju, o lėčiausiai panaikintų ribojimų. Nepriklausomai nuo scenarijaus matomas elektros gamybos iš anglies mažėjimas ir generacijos atominėse elektrinėse atsiradimas. Tai parodo, kad brangstant angliai ir baigiant senų anglimi kūrenamų elektrinių eksploatacinį laikotarpį, pigiausias naujas elektros šaltinis Lenkijoje yra atominės elektrinės. 2025 m. naujai pastatytose atominėse elektrinėse generuojama 20 TWh panaikintų ribojimų scenarijuje ir 30-33 TWh kituose. Elektros gamyba atominėse elektrinėse nuolat auga ir 2045 m. esant mažoms iškastinio kuro kainoms pasiekia 187 TWh, esant vidutinėms kainoms 189 TWh ir aukštoms 195 TWh. Net ir panaikintų ribojimų scenarijaus atveju, kur Lenkija nėra priversta mažinti CO₂ emisijas žemiau jai nustatyto 2020 m. lygio, 2045 m. elektros gamyba atominėse elektrinėse pasiekia 183,8 TWh.

Lenkijos hidroelektrinėse 2016 m. pagaminama 7 TWh elektros energijos, o nuo 2025 m. 12 TWh. Šis padidėjimas yra dėl įvertintų mažųjų hidroelektrinių potencialo išnaudojimo.

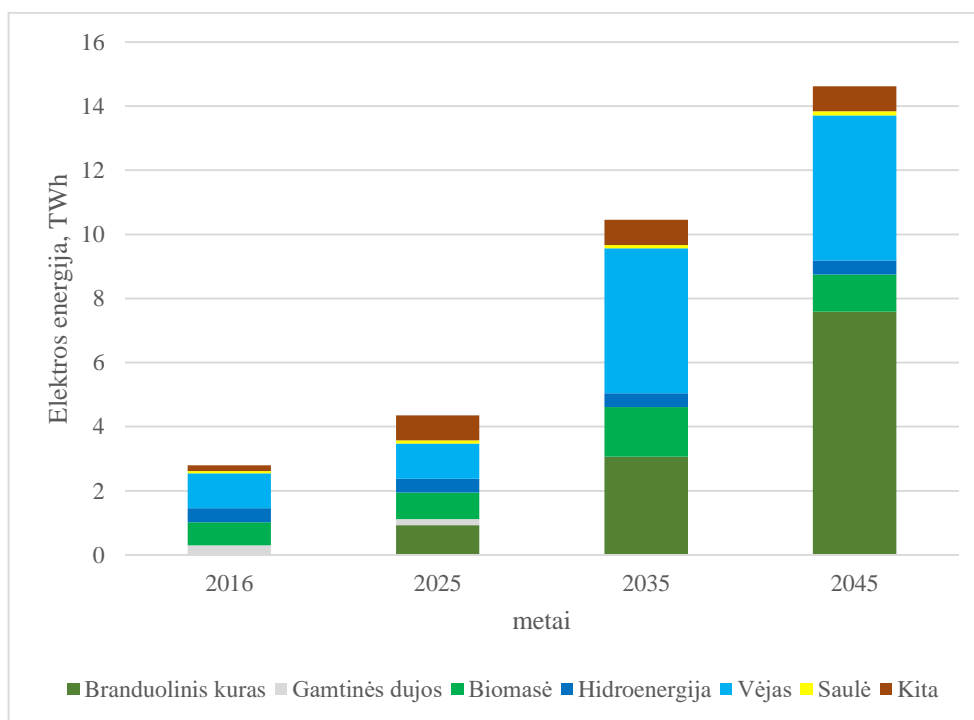
Elektros gamyba Lenkijos vėjo elektrinėse auga iki 2035 m. nepriklausomai nuo iškastinio kuro kainos. 2016 m. generuojama 10 TWh, 2025 m. 17 TWh, 2035 m. 18-20 TWh. 2045 m. gamyba sumažėja iki 14 TWh. Panaikintų ribojimų scenarijaus atveju nuo 2016 iki 2025 gamyba praktiškai nepakinta, o nuo 2035 m. mažėja ir 2045 m. pasiekia 4,6 TWh.

Biomasės kogeneracinėse elektrinėse generuojama elektros energija nuo 2016 m. gaminamų 2,9 TWh 2025 m. padidėja iki 5 TWh. ir išsilaiko panaši visą nagrinėjamą laikotarpį. Rezultatai kiek skiriasi tik esant panaikintiems ribojimams – nuo 2016 m. iki 2035 m. generacija beveik nekinta, o 2045 m. ji tampa lygi 0.

3.2.5. Lietuva



3.17 pav. Elektros gamyba Lietuvoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.18 pav. Elektros gamyba Lietuvoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

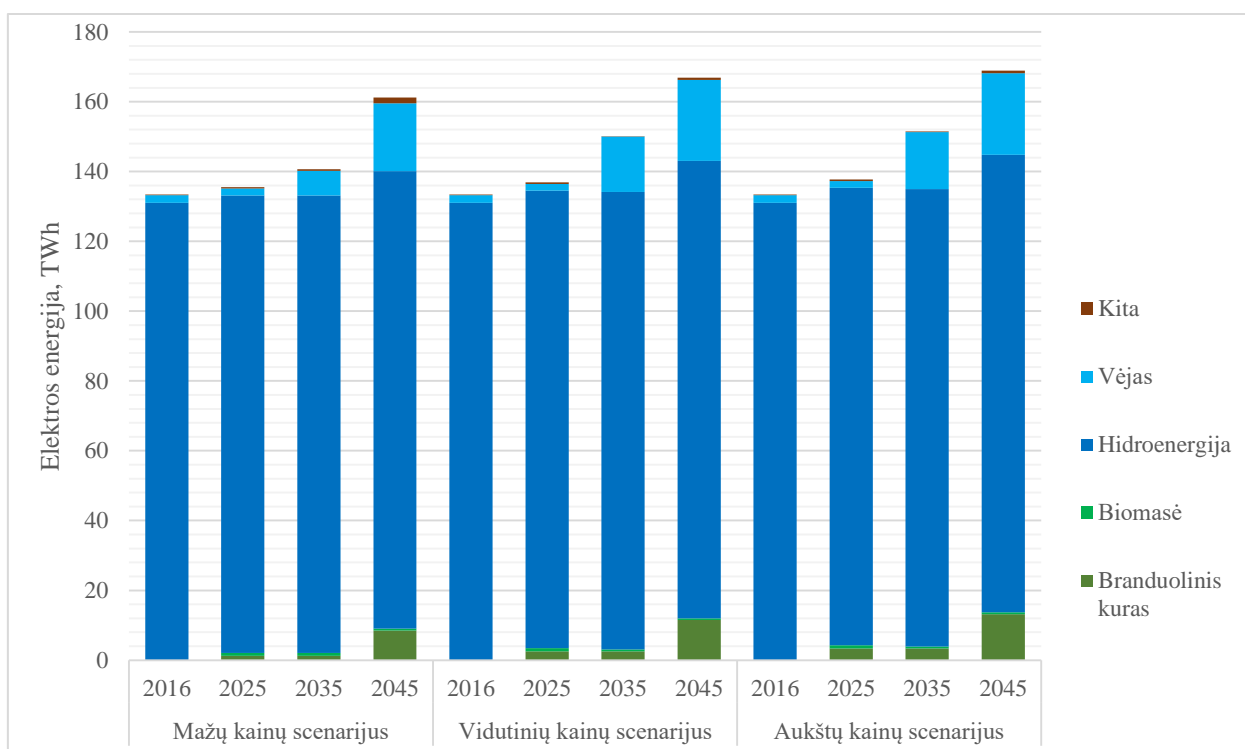
Lietuvoje visuose scenarijuose nuo 2025 atsiranda elektros gamyba atominėje elektrinėje. Mažų iškastinio kuro kainų scenarijuje ji lygi 3,9 TWh, vidutinių kainų 3,7 TWh, aukštų 4,5 TWh, o panaikintų ribojimų 0,9 TWh. Visuose scenarijuose ši gamyba auga ir 2045 m. pasiekia 10,8 TWh žemų kainų scenarijuje, 7,9 TWh vidutinių, 12 TWh aukštų kainų ir 7,6 TWh panaikintų ribojimų. Modelyje nėra nurodyta minimali reaktoriaus galia, todėl optimizuojant rezultatuose yra galimas itin mažų galių diegimas, ko pasekoje Lietuvoje galima tokia nedidelė gamyba, kuri nėra reali. Vis dėlto 2045 m. žemų ir aukštų iškastinio kuro kainų scenarijuose generacija viršija 10 TWh, kas atitinka realią atominės elektrinės gamybą.

Lietuvoje deginant gamtines dujas 2016 m. pagaminama 298 GWh. Visą generaciją sudarė Lietuvos elektrinės 9 blokas. Lietuvos šilumos tinklai agreguoti į vieną regioną, todėl itin efektyviai išnaudojami biokuro kogeneracinių elektrinių ir katilinių pajėgumai ir gamyba gamtinių dujų kogeneracinėse elektrinėse nėra būtina. Lietuvos elektrinės 9 bloke visuose scenarijuose, išskyrus žemų iškastinio kuro kainų, nuo 2025 m. elektra nėra gaminama. Žemų kainų scenarijuje 2025 generuojama 478 GWh, 2035 – 115 GWh. 2025 m. visuose scenarijuose atsiranda gamyba dujų kogeneracinėse elektrinėse, kuri lygi 75-340 GWh, tačiau 2035 m. gaminama tik žemų kainų scenarijuje (187 GWh). Daugiausiai iš gamtinių dujų elektros generuojama žemų iškastinio kuro kainų scenarijuje, o mažiausiai aukštų kainų.

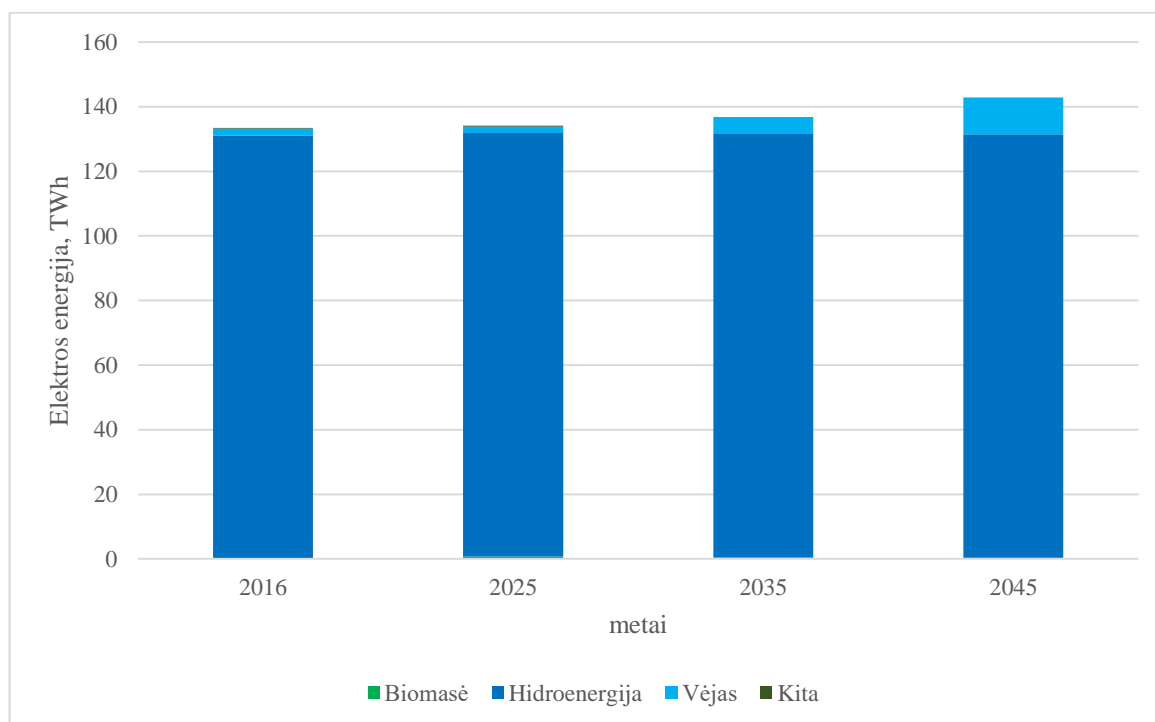
Lietuvoje deginant biomasę kogeneracinėse elektrinėse 2016 m. išgaunama 722 GWh elektros energijos. Žemų kainų scenarijaus atveju gamyba padidėja 2025 m. iki 783 GWh, tačiau 2035 m. ji sumažėja iki 698 GWh, o 2045 m. iki 160 GWh. Vidutinių kainų scenarijaus atveju 2025 m. gamyba padidėja iki 821 GWh, 2035 m. iki 1546 GWh ir 2045 m. sumažėja iki 1137 GWh. Aukštų kainų scenarijaus atveju matoma kiek didesnė elektros gamyba iš biomasės nei prieš tai minėtų scenarijų rezultatuose: 2025 m. gaminama 1010 GWh, 2035 m. 1456 GWh, o 2045 m. 1215 GWh. Panaikintų ribojimų scenarijaus rezultatai yra praktiškai identiški vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijaus rezultatams.

Atliekų kogeneracinėse elektrinėse visuose scenarijuose elektros gamyba padidėja nuo 184 GWh 2016 m. iki 780 GWh ir tokia išsilaiko visą nagrinėjamą laikotarpį. Nuo 2016 m. iki 2025 m. gamyba vėjo elektrinėse praktiškai nepakinta ir būna lygi 1,1 TWh. Žemų iškastinio kuro kainų scenarijuje 2035 m. ji nežymiai sumažėja ir 2045 m. padidėja iki 4 TWh, vidutinių kainų 2035 m. padidėja iki 4 TWh, o 2045 m. iki 5,3 TWh, aukštų kainų scenarijuje 2035 m. padidėja iki 4,5 TWh ir iki 2045 išlieka praktiškai nepakitusi. Lietuvos hidroelektrinėse gaminamas elektros energijos kiekis (431 GWh) nekinta. Saulės elektrinėse gaminama elektros energija nesiekia 150 GWh, išskyrus žemų ir vidutinių kainų scenarijų 2045 metus (542 GWh ir 1142 GWh atitinkamai).

3.2.6. Norvegija



3.19 pav. Elektros gamyba Norvegijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



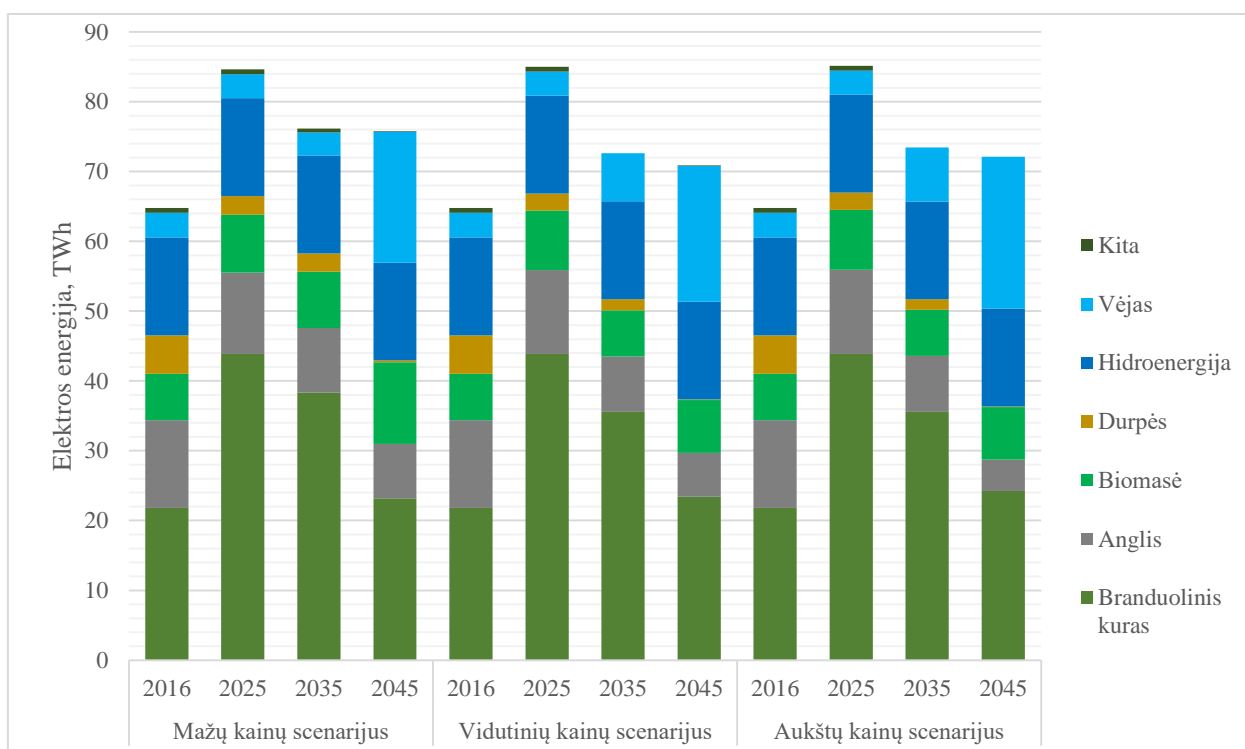
3.20 pav. Elektros gamyba Norvegijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

Norvegijoje 2016 m. net 98% (131 TWh) šalyje pagaminamos elektros energijos yra iš hidroelektrinių. Dėl santykinai mažos elektros savikainos nepriklausomai nuo scenarijaus gaminamas maksimalus elektros energijos kiekis hidroelektrinėse.

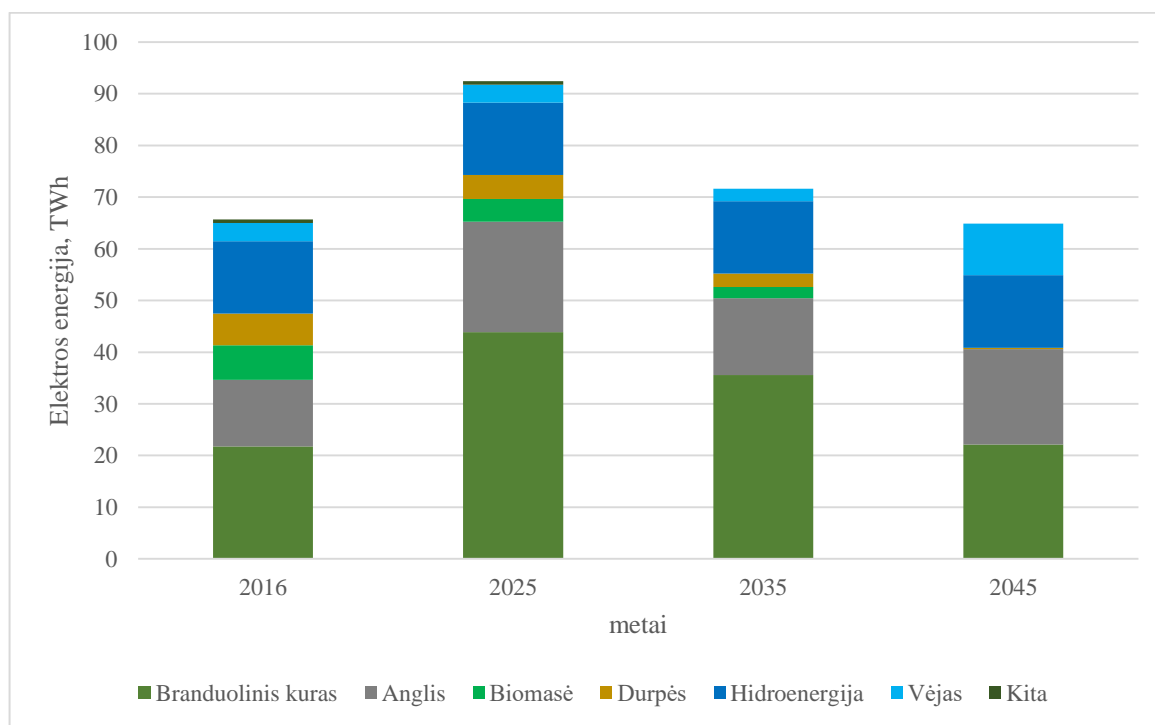
Uždarant atominės elektrinės Vokietijoje susidaro galios trūkumas, kuris dalinai kompensuojamas elektros importu iš Skandinavijos šalių, ko pasekoje Norvegijoje įdiegimos nedidelės AE galios. Tačiau verta paminėti, kad kaip ir Lietuvos atveju, tokių mažų galių diegimas nėra realus. Norvegijoje atominių elektrinių generacija 2025 metais mažų kainų scenarijaus atveju lygi 1,2 TWh, vidutinių kainų 2,5 TWh ir aukštų kainų 3,4 TWh. 2035 m. gamyba išlieka praktiškai tokia pati. Atominėje elektrinėje pagaminama elektros energija 2045 m. žemų iškastinio kuro kainų scenarijuje pasiekia 8,5 TWh, vidutinių kainų 11,5 TWh, aukštų kainų 13,1 TWh. Norvegijoje hidroelektrinių gamyba visame modeliuojamame laikotarpyje viršija elektros poreikius, todėl galima spręsti, kad ši papildoma generacija atsiranda dėl aukštų elektros gamybos kainų Vokietijoje ir Danijoje, kur nėra galimas naujų atominių elektrinių diegimas. Panaikintų ribojimų scenarijuje, kur Vokietijoje ir Danijoje galimas naujų AE diegimas, taip pat nėra CO₂ emisijų ribojimų taikomų regionui, Norvegijoje visame nagrinėjamame periode gamybos atominėse elektrinėse nėra.

2016 m. Norvegijoje vėjo elektrinės pagamina 2,2 TWh elektros energijos. Šis kiekis visuose scenarijuose 2025 m. sumažėja iki 2 TWh ir nuo 2035 m. pradeda didėti. Mažų iškastinio kuro kainų scenarijuje 2035 m. gamyba padidėja iki 7 TWh 2045 m. iki 19 TWh. Vidutiniu ir aukštų kainų scenarijuose gamyba padidėja 2035 m. iki 16 TWh, 2045 m. iki 23 TWh, o panaikintų ribojimų scenarijuje iki 5 TWh ir 11 TWh atitinkamai.

3.2.7. Suomija



3.21 pav. Elektros gamyba Suomijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.22 pav. Elektros gamyba Suomijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

Suomijoje visuose 4 scenarijuose elektros gamyba branduolinėse elektrinėse išlieka itin panaši. 2016 – 2035 m. laikotarpyje ji yra identiška. 2016 m. – 21,8 TWh, 2025 m. - 43,9 TWh, 2035 m. – 35,5 TWh. Gamyba nežymiai skiriasi tik 2045 m. 22 – 24 TWh. 2025 m. gamyba padidėja dėl naujai atidaromų Olkiluoto ir Hanhikivi elektrinių reaktorių, o 2035 m. sumažėja dėl uždaromų senų reaktorių Loviisa ir Olkiluoto elektrinėse.

Suomijoje 2016 m. 12,6 TWh (19,4% šalyje generacijos) elektros energijos pagaminta anglimi kūrenamose elektrinėse. Visuose scenarijuose, išskyrus panaikintų ribojimų, Elektros gamyba šiose elektrinėse 2025 m. nežymiai sumažėja iki 12 TWh. Padidėjimą lemia paaugusi generacija anglimi kūrenamose kogeneracinėse elektrinėse. Elektros gamyba iš anglies 2035 m. lygi 8 TWh, o priklausomai nuo scenarijaus 4,5-8 TWh. Panaikintų ribojimų scenarijaus rezultatai kiek labiau skiriasi. 2025 m. matomas generacijos padidėjimas iki 21 TWh. 2035 m. elektros gamyba iš anglies sumažėja iki 15 TWh, tačiau 2045 m. vėl padidėja, tik šį kartą, iki 18 TWh.

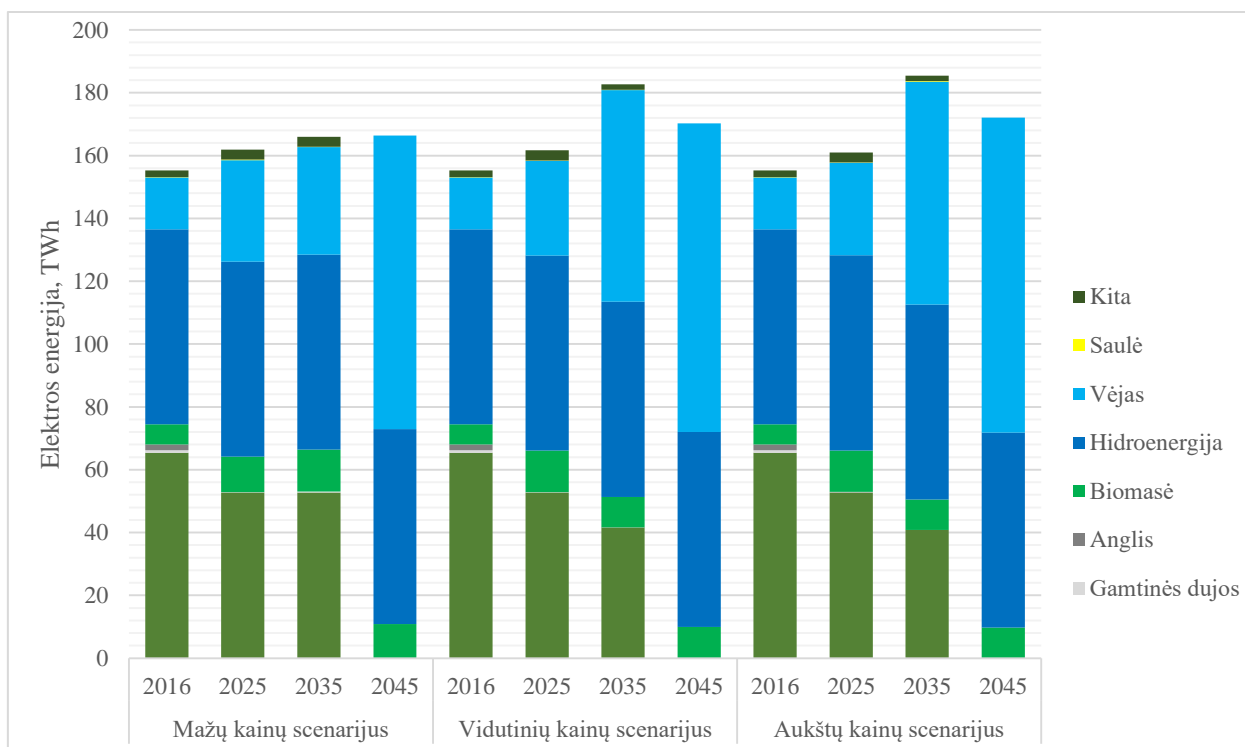
Elektros energijos generacija durpėmis kūrenamomis elektrinėse mažėja visuose skirtingo kuro kainų scenarijuose nuo 5,5 TWh 2016 m iki 2,5-2,7 TWh 2025m. 2035 m. žemų kainų atveju gamyba lieka praktiškai nepakitusi, o 2045 m. sumažėja iki 0,25 TWh. Vidutinių ir aukštų kainų atveju elektros gamyba 2035 m. sumažėja iki 1,5 TWh, o 2045 m. iki 0,1TWh. Panaikintų ribojimų scenarijuje 2016 m. generuojama 6,1 TWh, 2025 m. 4,7 TWh, 2035 m. 2,6 TWh ir 2045 m. 0,2 TWh.

Gamyba deginant dujas yra itin maža ir nei vienu momentu nagrinėjame laikotarpyje nesiekia 1% bendros šalies elektros gamybos. Kaip ir kitose šalyse, matomas gamybos mažėjimas ir 2045m. elektra nebėra gaminama deginant dujas.

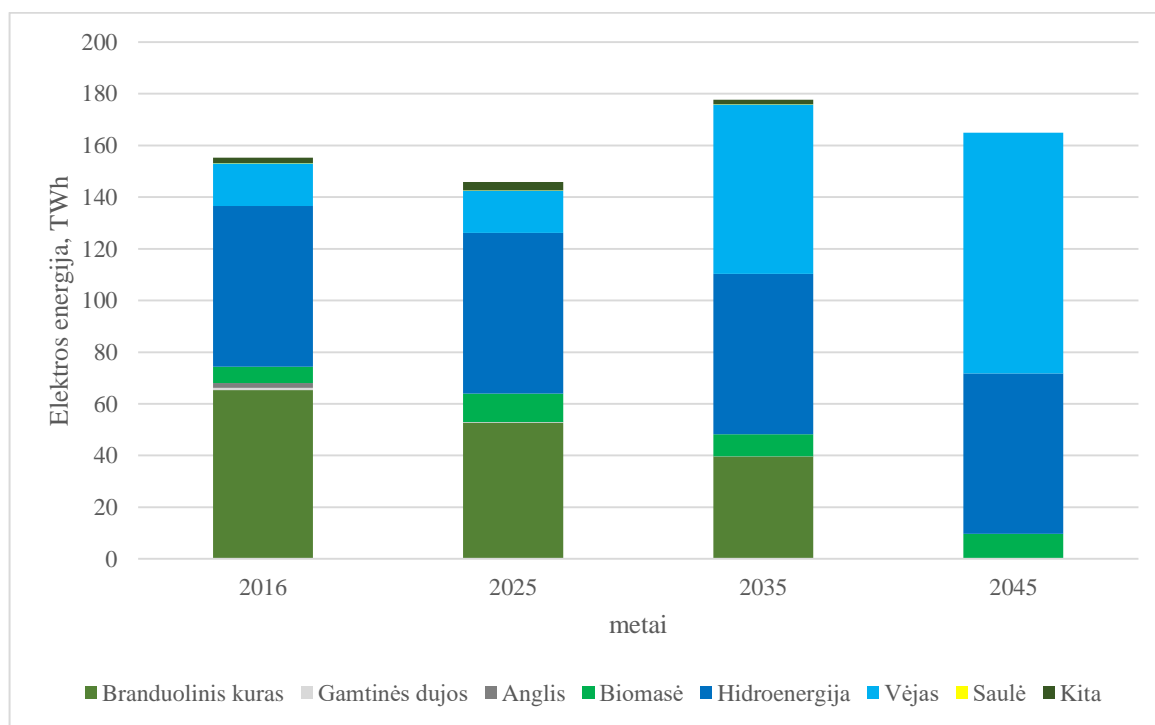
2016 m. vėjo elektrinėse pagaminama apie 3,5 TWh elektros energijos, 2025 m. gamybos apimtys praktiškai nesikeičia. Žemų iškastinio kuro kainų ir panaikintų ribojimų atvejais 2035 m. matomas generacijos sumažėjimas iki 3,3 ir 2,5 TWh, tuo tarpu vidutinių ir aukštų iškastinio kuro kainų scenarijuose matomas augimas iki 6,9 ir 7,7 TWh atitinkamai. 2045 m. elektros gamyba padidėja visuose scenarijuose. Daugiausiai aukštų kainų scenarijuje (iki 22 TWh), mažiausiai panaikintų ribojimų (iki 10 TWh). Žemų ir vidutinių kainų scenarijuose gaminama apie 19 TWh.

Elektros gamyba hidroelektrinėse nesikeičia ir ji yra lygi 14 TWh.

3.2.8. Švedija



3.23 pav. Elektros gamyba Švedijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.24 pav. Elektros gamyba Švedijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

Švedijoje visuose scenarijuose naujos atominės elektrinės nėra statomos ir iki 2045 m. joms baigiant eksploatacinį laikotarpį yra visos uždaromos. Visuose scenarijuose 2016 m. jose generuojama 65 TWh, 2025 m. 52,8 TWh. 2035 m. žemų kainų scenarijaus atveju generuojama 52 TWh, o kitų scenarijų 39 – 42 TWh.

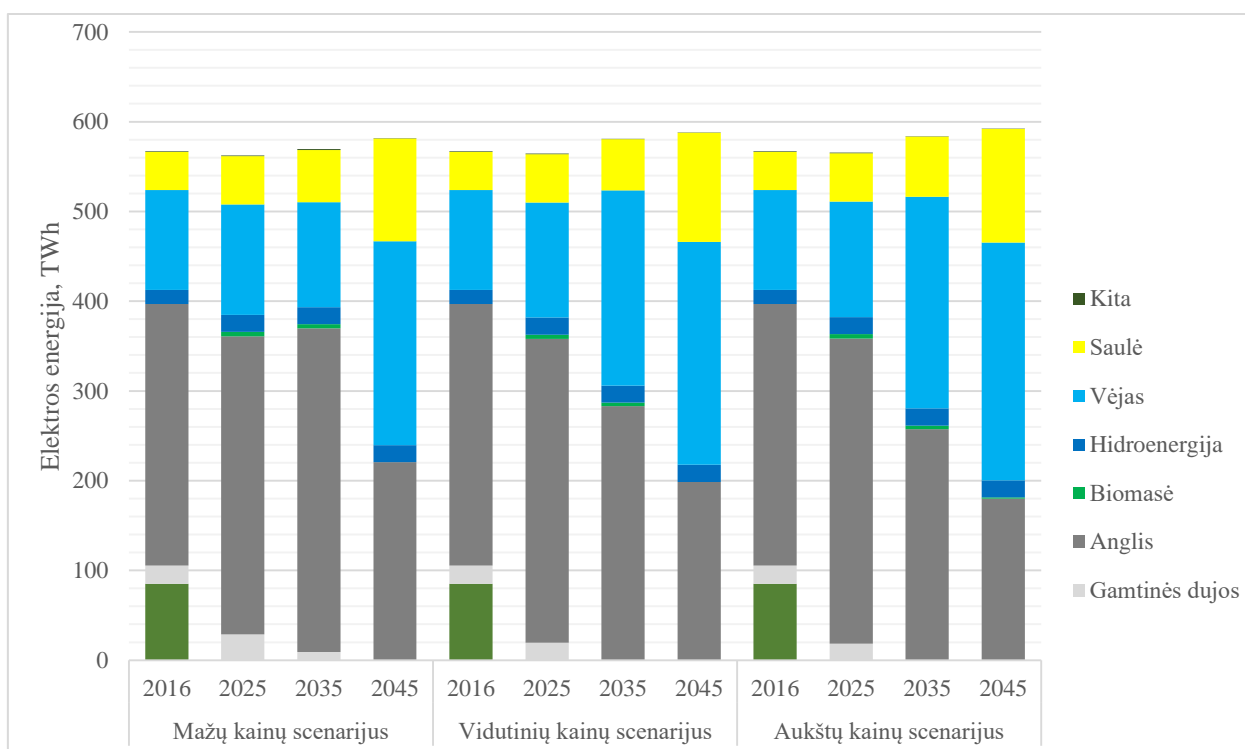
Anglimi kūrenamose kogeneracinėse elektrinėse 2016 m. pagaminama 1,9 TWh elektros energijos, tai atitinka 1,2 % šalyje generuojamo elektros energijos kiekio. Visų scenarijų atvejais matomas spartus generacijos šiose elektrinėse mažėjimas. Nuo 2035 m. elektros energija iš anglies Švedijoje nebegaminama.

Švedijos biomasės kogeneracinėse elektrinėse generuojama 6,3 TWh elektros energijos. Pastebimas 2025 m. gamybos padidėjimas žemų kainų ir panaikintų ribojimų scenarijų atvejais iki 11 TWh, o vidutinių ir aukštų iškastinio kuro kainų iki 13 TWh. Esant žemoms iškastinio kuro kainoms 2035 m. gamyba padidėja iki 13 TWh, o 2045 m. sumažėja iki 11 TWh. Kituose scenarijuose 2035 m. gamyba sumažėja iki 8,6-9,7 TWh, o 2045 m. nežymiai padidėja iki 9,6-9,9 TWh.

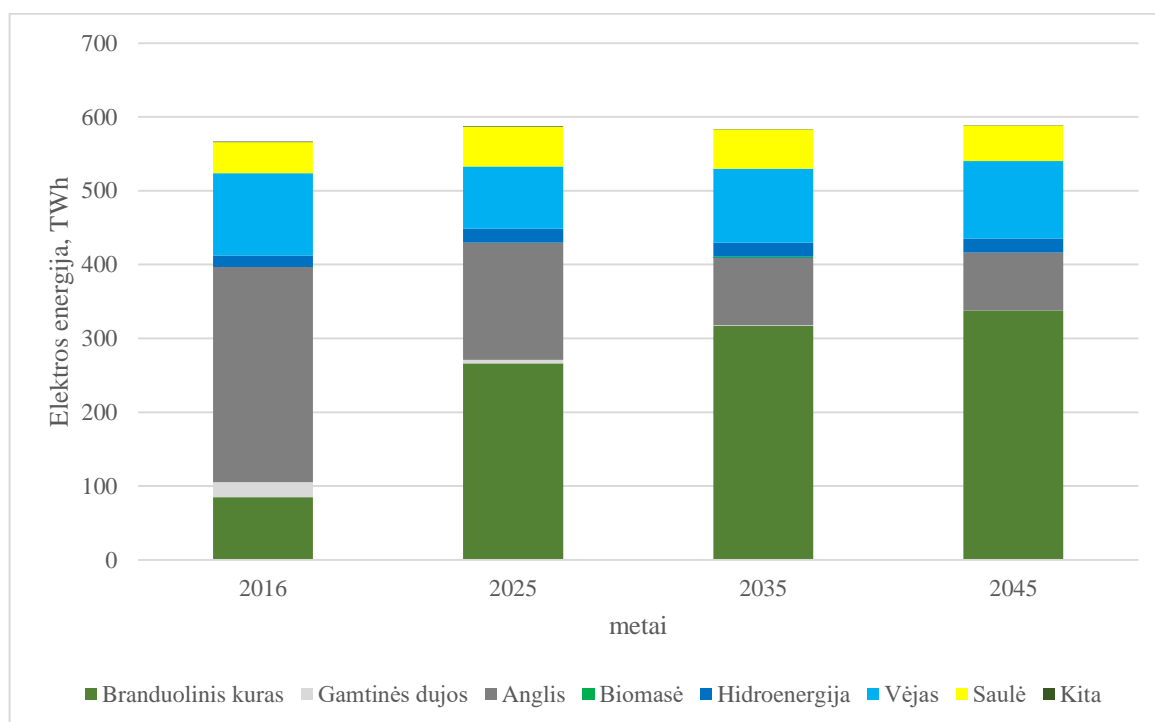
Elektros gamybos augimas vėjo elektrinėse matomas visuose scenarijuose. Sparčiausiai generacija auga vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose: 2016 m. 16,5 TWh, 2025 m. 30 TWh, 2035 m. 67-71 TWh, 2045 m. 98-100 TWh. Laikantis žemoms iškastinio kuro kainoms 2025 m. gamyba vėjo elektrinėse padidėja iki 32 TWh, 2035 m. iki 34 TWh, o 2045 m. iki 95 TWh. Panaikintų ribojimų scenarijaus atveju 2025 m. generacija išlieka nepakitusi, 2035 m. padidėja iki 66 TWh, o 2045 m. pasiekia 93 TWh.

Švedijos hidroelektrinėse nepriklausomai nuo scenarijaus 62 TWh elektros gamybos apimtys išlieka nepakitusios.

3.2.9. Vokietija



3.25 pav. Elektros gamyba Vokietijoje mažų, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose nuo 2016 m. iki 2045 m.



3.26 pav. Elektros gamyba Vokietijoje panaikintų ribojimų scenarijuje nuo 2016 m. iki 2045 m.

Vokietijoje dėl politinių siekių uždaryti visas atominės elektrinės [47] nuo 2025 m. šiose elektrinėse elektros gamyba nebėra vykdoma. Tačiau panaikintų ribojimų scenarijuje naujų AE statyba nėra ribojama ir nuo 2025 m. Vokietijoje pastebimas gamybos šiose elektrinėse augimas. 2025 m. generuojama 266,2 TWh elektros energijos, 2035 m. 316,9 TWh, o 2045 m. 337,6 TWh. Augant gamybai atominėse elektrinėse atitinkamai mažėja elektros generacija iš anglies: 2016 m. 291 TWh, 2025 m. 159 TWh, 2035 m. 92 TWh, 2045 m. 78,5 TWh. Šiame scenarijuje elektros gamyba kitose ne atominėse ir anglies elektrinėse visą nagrinėjamą laikotarpį išlieka praktiškai nepakitusi.

Naudojant anglį 2016 m. sugeneruojama 291 TWh elektros energijos, tai atitinka 51,5% šalies gamybos. Dėl uždaromų atominių elektrinių trijuose skirtingo iškastinio kuro kainų scenarijuose elektros generacija deginant anglį auga ir 2025 m. pasiekia 330-340 TWh. 2035 m. žemų kainų scenarijuje gamyba padidėja iki 360 TWh, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose sumažėja iki 283 TWh ir 257 TWh. 2045 m. elektros gamyba sumažėja iki 180-221 TWh.

Vokietijos gamtines dujas kaip kurą naudojančiose elektrinėse 2016 m. generuojama 20,1 TWh (3,6% bendros elektros gamybos). 2025 m. panaikintų ribojimų scenarijuje pastebimas itin staigus gamybos sumažėjimas iki 4,6 TWh. Mažų kainų scenarijuje 2025 elektros generacija padidėja iki 28,7 TWh, o vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose sumažėja iki 18-20 TWh. 2035 m. generacija mažėja visuose scenarijuose ir 2045 m. elektra nebėra gaminama iš gamtinių dujų.

Vėjo elektrinėse gaminamos elektros energijos kiekio augimas matomas visuose skirtingų kuro kainų scenarijuose. Nuo 111 TWh 2016 m. gamyba padidėja iki 123-128 TWh 2025 m. Žemų kainų scenarijuje 2035 m. sumažėja iki 117 TWh, vidutinių ir aukštų kainų scenarijuose padidėja iki 218 TWh ir 236 TWh. 2045 m. visuose trijuose scenarijuose viršija 220 TWh. Daugiausiai gaminama aukštų kainų atveju – 265 TWh. Panaikintų ribojimų scenarijuje 2025m. generacija sumažėja iki 84 TWh, 2035 m. padidėja iki 100 TWh, o 2045 m. iki 105 TWh.

Saulės elektrinių elektros generacija visuose skirtingų kuro kainų scenarijuose stabiliai auga. 2016 m. 42 TWh, 2025 m. 54 TWh, 2035 m. 57-67 TWh, 2045 m. 114-127 TWh. Augimas didžiausias aukštų iškastinio kuro kainų atveju, o mažiausias žemų. Panaikintų ribojimų atveju elektros gamyba tarp 2025 m. ir 2045 m. laikosi apie 50 TWh.

IŠVADOS

1. Išanalizavus jau atliktas elektros energetikos sistemų perspektyvinės plėtros studijas, kurios apima Baltijos regiono valstybes nustatyta, kad šalys modeliuojamos ne vienodu tikslumu. Pagrindinės šalys, kaip Vokietija ar Danija modeliuojamos detaliau, o tokios kaip Lietuva ar Latvija mažiau detaliai. Todėl norint užtikrinti rezultatų patikimumą mažesnių šalių elektros energetikos sistemos turėtų būti modeliuojamos tokiu pačiu detalumu kaip ir didžiųjų šalių. Analizuotose studijose modeliavimui naudota BALMOREL programinė įranga, kuri optimizavimą atlieka ne visam nagrinėjamam laiko periodui, bet kiekvieniems metams atskirai.
2. Surinkta informacija apie Baltijos regiono valstybėse veikiančių elektrinių įdiegtas elektrines galias bei šių elektrinių pastatymo datas, apie elektros nuostolius perdavimo ir skirstomuose tinkluose, apie tapvalstybinių elektros linijų pralaidumus ir kuro kainas. Ši informacija įgalino Baltijos regiono energetikos sistemų modelio sukūrimą.
3. Remiantis surinktais Baltijos regiono valstybių elektros energetikos sistemų duomenimis sudarytas matematinis optimizacinis modelis taikant MESSAGE programinę įrangą. Visų valstybių modeliuojamoms elektros energetikos sistemoms naudojama identiška universali modelio struktūra, kuri suteikia galimybę išplėsti modelį apimant ir kitų ES valstybių elektros energetikos sistemas.
4. Baltijos regiono šalių elektros energetikos sistemų perspektyvinė raida analizuota modeliuojant 4 skirtingus scenarijus: mažų iškastinio kuro kainų, vidutinių iškastinio kuro kainų, aukštų iškastinio kuro kainų ir panaikintų ribojimų. Panaikintų ribojimų scenarijuje taikomos kuro kainos, atitinkančios vidutinių iškastinio kuro kainų scenarijų, tačiau bendrai Baltijos regionui neribojamos CO₂ emisijos, taip pat galima naujų atominių elektrinių statyba Vokietijoje ir Danijoje.
5. Atlikus optimizacinius skaičiavimus prognozuojama, kad jei Vokietijoje bus laikomasi politinio sprendimo riboti naujų atominių elektrinių statybą, Baltijos regiono valstybių elektros gamyba 2045 m. atominėse elektrinėse padidės nuo 2016 m. 172 TWh iki 230-244 TWh, vėjo elektrinėse nuo 159 TWh iki 411-470 TWh, saulės elektrinėse nuo 43 TWh iki 141-151 TWh, o anglimi kūrenamose elektrinėse sumažės nuo 476 TWh iki 228-279 TWh. Jei Vokietijoje būtų galima naujų atominių elektrinių statyba, tokiu atveju 2045 m. elektros generacija atominėse elektrinėse padidėtų iki 551 TWh, vėjo elektrinėse iki 265 TWh, saulės elektrinėse iki 65 TWh, o anglimi kūrenamose elektrinėse sumažėtų iki 163 TWh.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- [1] ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, Counting the cost: the economic and social costs of electricity shortfall in the UK, 2014. [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 20]. Prieiga per internetą: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/counting-the-cost>
- [2] Dalius Tarvydas. Energetinės sistemos plėtros analizei skirtų modelių apžvalga. *Energetika Nr. 1 2005*, p. 40-45.
- [3] Agora Energiewende. Increased Integration of the Nordic and German Electricity Systems [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 20]. Prieiga per internetą: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/nordic-german-integration-project/Agora_Increased_Integration_Nordics_Germany_LONG_WEB.pdf
- [4] M. Simanavičius. BALTIJOS REGIONO TERMINAS IR JO TRANSFORMACIJA. *Politikos mokslų almanachas 2010*, p. 65.
- [5] ES BALTIJOS JŪROS REGIONO STRATEGIJA [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 15]. Prieiga per internetą: <http://www.baltijosjurosregionas.lt/baltijos-juros-strategija/>
- [6] STATISTICS DENMARK [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 15]. Prieiga per internetą: <http://www.statbank.dk/statbank5a/default.asp?w=1920>
- [7] Danish Energy Agency. Energy statistics 2015 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 13]. Prieiga per internetą: <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/figures2015.xlsx>
- [8] NORDPOOL. Generation capacity in Denmark larger than 100 mw [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: http://www.nordpoolspot.com/globalassets/download-center/tso/generation-capacity_denmark_larger-than-100mw_20140424.pdf
- [9] FJERNVARME FYN [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: <http://www.fjernvarmefyn.dk/om-fjernvarme-fyn/fynsvaerket/>
- [10] VATTENFALL [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: http://www.vattenfall.dk/cps/rde/xchg/vattenfall_dk/hs.xsl/nordjyllandsvaerket.htm
- [11] DONG energy. Where we operate [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: <http://www.dongenergy.com/da/vores-forretning/bioenergy-thermal-power/hvor-vi-er-aktive>
- [12] 4Coffshore. Anholt Offshore Wind Farm [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: <http://www.4coffshore.com/windfarms/djursland-anholt-denmark-dk13.html>
- [13] NORDPOOL. Connections [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 16]. Prieiga per internetą: <https://umm.nordpoolspot.com/infra/connections>
- [14] Statistics Estonia. Annual statistics [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 18]. Prieiga per internetą: <http://pub.stat.ee/px->

- web.2001/I_Databas/Economy/07Energy/02Energy_consumption_and_production/01Annual_statistics/01Annual_statistics.asp
- [15] Elering. EESTI ELEKTRISÜSTEEMI TARBIMISNÕUDLUSE RAHULDAMISEKS VAJALIKU TOOTMISVARU HINNANG [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 16]. Prieiga per internetu: http://elering.ee/public/Infokeskus/Aruanded/Elering_Tootmispisavuse_aruanne_2014.pdf
- [16] Eurostat. Supply, transformation and consumption of electricity - annual data [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 17]. Prieiga per internetu: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- [17] Latvenergo. Generation [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 17]. Prieiga per internetu: http://www.latvenergo.lv/eng/about_us/generation/
- [18] K. Stepanovs. Vēja enerģijas izmantošanas perspektīvas. [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 17]. Prieiga per internetu: http://www.klimats2015.lv/files/files/Vēja%20perspektīvas_20160210.pdf
- [19] Euracoal. EURACOAL STATISTICS. [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: <https://euracoal.eu/info/euracoal-eu-statistics/>
- [20] World energy council. ENERGY SECTOR OF THE WORLD AND POLAND [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2014/12/Energy_Sector_of_the_world_and_Poland_EN.pdf
- [21] industcards. [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: <http://www.industcards.com/ppworld.htm>
- [22] M. Mika-Bryska. Making Europe's electricity grid fit for 2030. [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: http://www.energy-infrastructure-forum.com/documents/Session%202/03.%20Malgorzata%20-%20Myka%20Briska%20%20PL_Energy%20Department,%20Ministry%20of%20Economy,%20Poland.pdf
- [23] Litgrid. Irenģtoji galia [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: <http://www.litgrid.eu/index.php/energetikos-sistema/elektros-energetikos-sistemas-informacija/irengtoji-galia/502>
- [24] P. M. Korpås. Norway as a green battery [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 18]. Prieiga per internetu: http://norren.no/wp-content/uploads/Korpås_Norway_as_a_green_battery-2.pdf
- [25] Energy authority. Voimalaitosrekisteri [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 19]. Prieiga per internetu: <http://www.energiavirasto.fi/en/voimalaitosrekisteri>
- [26] Global Transmission Report. Data & Statistics [interaktyvus][Žiūrēta 2016 06 19]. Prieiga per internetu: <http://www.globaltransmission.info/archive.php?id=22594>

- [27] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Nuclear Power in Sweden [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 19]. Prieiga per internetą:
<http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/sweden.aspx>
- [28] Vattenfall. Harsprånget [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 19]. Prieiga per internetą:
<http://powerplants.vattenfall.com/harspranget>
- [29] Fraunhofer ISE. Net installed electricity generation capacity in Germany in 2016 [interaktyvus][Žiūrėta 2016 06 19]. Prieiga per internetą:
https://www.energy-charts.de/power_inst.htm
- [30] EnergyPLAN. BALMOREL [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 22]. Prieiga per internetą:
<http://www.energyplan.eu/othertools/global/balmorel/>
- [31] Balmorel. Getting started [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 22]. Prieiga per internetą:
<http://www.balmorel.com/index.php/downloadmodel/getting-started>
- [32] EnergyPLAN. MARKAL/TIMES [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 22]. Prieiga per internetą:
<http://www.energyplan.eu/othertools/national/markaltimes/>
- [33] EnergyPLAN. MESSAGE [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 22]. Prieiga per internetą:
<http://www.energyplan.eu/othertools/global/message/>
- [34] OSeMOSYS [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 22]. Prieiga per internetą:
<http://users.osemosys.org/>
- [35] ATC. Суточные индексы и объемы (Первая ценовая зона) [interaktyvus][Žiūrėta 2017 03 21]. Prieiga per internetą: <http://www.atsenergo.ru/results/rsv/indexes/indexes1/index.htm>
- [36] Energistyrelsen. Teknologikataloger [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą:
<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger>
- [37] DIW Berlin. Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą:
https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.424566.de/diw_datadoc_2013-068.pdf
- [38] International Renewable Energy Agency. Hydropower. Technology Brief [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 12]. Prieiga per internetą:
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_E06_Hydropower.pdf
- [39] SoDa. Time series of solar radiation data from CAMS radiation service [interaktyvus][Žiūrėta 2017 01 23]. Prieiga per internetą: http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/cams-radiation-service?p_p_lifecycle=0&p_p_id=58
- [40] ENERCON. E-82 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą:
<http://www.enercon.de/en/products/ep-2/e-82/>

- [41] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 psl. 16-17 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 16]. Prieiga per internetą:
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- [42] European Commision. Overview of Europe 2020 targets [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 16]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_en.pdf
- [43] United Nations Framework Convension on Climate Change. National Inventory Submissions 2016 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 16]. Prieiga per internetą:
http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php
- [44] European Commision. 2050 low-carbon economy [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 16]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
- [45] European Commision. National action plans [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 16]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/energy/node/71>
- [46] Eurostat. Supply, transformation and consumption of electricity - annual data [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 20]. Prieiga per internetą:
http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_105a
- [47] Energinet. Environmental reporting [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą:
<http://www.energinet.dk/EN/KLIMA-OG-MILJOE/Miljoerapportering/Sider/default.aspx>

PRIEDAI

PRIEDAS 1. TECHNOLOGIJŲ PARAMETRAI

1 lentelė. Atominės elektrinės technologijos parametrai

Atominė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	3000							
Pastovūs kaštai, €/kW	0							
Kintami kaštai, €/MWh	11,1							
Uždarymo kaštai, €/kW	450							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	60							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9							
Statybų trukmė, metais	10							
Naudingo veikimo koeficientas	1							

2 lentelė. Dujų kogeneracinės elektrinės technologijos parametrai

Dujų kogeneracinė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1300							
Pastovūs kaštai, €/kW	38							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	30							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,92							
Statybų trukmė, metais	4,5							
Kintami kaštai, €/MWh	0,82							
Kondensacinis režimas								
Naudingo veikimo koeficientas	0,465							
Kogeneracinis režimas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,36							
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,5							

3 lentelė. Dujų kondensacinės elektrinės technologijos parametrai

Dujų kondensacinė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	600	590	575	560	550	540	530	520
Pastovūs kaštai, €/kW	20	19,5	19,05	18,6	18,45	18,3	18,15	18
Kintami kaštai, €/MWh	4,5	4,4	4,3	4,2	4,15	4,1	4,05	4
Eksploatacinis laikotarpis, metais	25							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9225							
Statybų trukmė, metais	1,5							
Naudingo veikimo koeficientas	0,39	0,4	0,405	0,41	0,415	0,42	0,425	0,43

4 lentelė. Dujų kombinuoto ciklo elektrinės technologijos parametrai

Dujų kombinuoto ciklo elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	900	880	840	800	900	1000	1100	1200
Pastovūs kaštai, €/kW	30	29,3	28,55	27,8	27,35	26,9	26,45	26
Kintami kaštai, €/MWh	4,5	4,4	4,3	4,2	4,15	4,1	4,05	4
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	25							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,9221	0,9259	0,9268	0,9278	0,9278	0,9278	0,9278	0,9278
Statybų trukmė, metais	4,5							
Naudingo veikimo koeficientas	0,55	0,56	0,57	0,58	0,585	0,59	0,595	0,6

5 lentelė. Anglimi kūrenamos kogeneracinės elektrinės technologijos parametrai

Anglimi kūrenama kogeneracinė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	2040	2030	2010	1990	1965	1940	1915	1890
Pastovūs kaštai, €/kW	57,2	61,6						
Kintami kaštai, €/MWh	2	2,2						
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95							
Statybų trukmė, metais	4,5							
Kondensacinis režimas								
Naudingo veikimo koeficientas	0,46	0,485	0,5025	0,52	0,52375	0,5275	0,53125	0,535
Kogeneracinis režimas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,3643							
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,485714							

6 lentelė. Anglimi kūrenamos kondensacinės elektrinės technologijos parametrai

Anglimi kūrenama kondensacinė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1200							
Pastovūs kaštai, €/kW	30							
Kintami kaštai, €/MWh	7,75							
Ekspluatacinis laikotarpis, metais	40							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95							
Statybų trukmė, metais	4,5							
Naudingo veikimo koeficientas	0,39							

7 lentelė. Anglimi kūrenamos superkritinių parametų kondensacinės elektrinės technologijos parametrai

Anglimi kūrenama superkritinių parametų kondensacinė elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1425							
Pastovūs kaštai, €/kW	43							
Kintami kaštai, €/MWh	6							
Eksploatacinis laikotarpis, metai	40							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95							
Statybų trukmė, metai	4,5							
Naudingo veikimo koeficientas	0,460	0,485	0,503	0,520	0,524	0,528	0,531	0,535

8 lentelė. Anglimi kūrenamos kogeneracinės elektrinės su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu parametrai

Anglimi kūrenama kogeneracinė elektrinė su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	5340	5110	5075	5040	5005	4970	4935	4900
Pastovūs kaštai, €/kW	136,7							
Kintami kaštai, €/MWh	5,75							
Eksploatacinis laikotarpis, metai	40							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95							
Statybų trukmė, metai	4,5							
CO ₂ surinkimo efektyvumas	0,9							
Kondensacinis režimas								
Naudingo veikimo koeficientas	0,419	0,441	0,457	0,473	0,477	0,480	0,483	0,487
Kogeneracinis režimas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,331513							
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,44199974							

9 lentelė. Anglimi kūrenamos kondensacinės elektrinės su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu technologijos parametrai

Anglimi kūrenama kondensacinė elektrinė su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	4500	4270	4235	4200	4165	4130	4095	4060
Pastovūs kaštai, €/kW	109,5							
Kintami kaštai, €/MWh	11,5							
Eksploatacinis laikotarpis, metai	40							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,95							
Statybų trukmė, metai	4,5							
CO ₂ surinkimo efektyvumas	0,9							
Naudingo veikimo koeficientas	0,355							

10 lentelē. Rusvaja anglimi kūrenamos kondensacinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Rusvaja anglimi kūrenama kondensacinē elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	2165							
Pastovūs kaštai, €/kW	28							
Kintami kaštai, €/MWh	8,5							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	40							
Veikimo trukmē metuose, metų dalimi	0,95							
Statybū trukmē, metais	4,5							
Naudingo veikimo koeficients	0,43							

11 lentelē. Rusvaja anglimi kūrenamos kogeneracinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Rusvaja anglimi kūrenama kogeneracinē elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	3300							
Pastovūs kaštai, €/kW	30							
Kintami kaštai, €/MWh	6							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	40							
Veikimo trukmē metuose, metų dalimi	0,95							
Statybū trukmē, metais	4,5							
Kondensacinis režīmas								
Naudingo veikimo koeficients	0,37							
Kogeneracinis režīmas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficients	0,32							
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficients	0,48							

12 lentelē. Skalūnais kūrenamos kogeneracinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Skalūnais kūrenama kogeneracinē elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	574							
Pastovūs kaštai, €/kW	159,3							
Kintami kaštai, €/MWh	0							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	30							
Veikimo trukmē metuose, metų dalimi	0,9							
Statybū trukmē, metais	3							
Kondensacinis režīmas								
Naudingo veikimo koeficients	0,398							
Kogeneracinis režīmas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficients	0,356							
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficients	0,148							

13 lentelē. Skalūnais kūrenamos kondensacinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Skalūnais kūrenama kondensacinē elektrinē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	2126,68							
Pastovūs kaštai, €/kW	23,4							
Kintami kaštai, €/MWh	2,765							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	30							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,90							
Statybu trukmē, metais	3							
Naudingo veikimo koeficientas	0,4							

14 lentelē. Naftos produktais kūrenamos kondensacinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Naftos produktais kūrenama kondensacinē elektrinē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	570							
Pastovūs kaštai, €/kW	6,4							
Kintami kaštai, €/MWh	1,500							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	40							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,90							
Statybu trukmē, metais	4,5							
Naudingo veikimo koeficientas	0,34							

15 lentelē. Biokuru kūrenamos kogeneracinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Biokuru kūrenama kogeneracinē elektrinē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	4000							
Pastovūs kaštai, €/kW	29							
Kintami kaštai, €/MWh	3,9							
Ekspluatācijas laukotarpis, metais	30							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,9							
Statybu trukmē, metais	4,5							
Kondensacinis režīmas								
Naudingo veikimo koeficientas	0,29	0,30				0,31		
Kogeneracinis režīmas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,29	0,30				0,31		
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficientas	0,77							

16 lentelē. Biokuru kūrenamos kogeneracinēs elektrinēs su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu tehnoloģijas parametri

Biokuru kūrenama kogeneracinē elektrinė su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investiciju kaštai, €/kW	7000							
Pastovūs kaštai, €/kW	109							
Kintami kaštai, €/MWh	7,65							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	30							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,9							
Statybu trukmē, metais	4,5							
CO ₂ surinkimo efektyvumas	0,9							
Kondensacinis režīmas								
Naudingo veikimo koeficients	0,264	0,273	0,278	0,282				
Kogeneracinis režīmas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficients	0,264	0,273	0,278	0,282				
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficients	0,701							

17 lentelē. Atliekomis kūrenamos kogeneracinēs tehnoloģijas parametri

Atliekomis kūrenama kogeneracinē elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investiciju kaštai, €/kW	8500							
Pastovūs kaštai, €/kW	0							
Kintami kaštai, €/MWh	15,41							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	20							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,93							
Statybu trukmē, metais	3							
Kondensacinis režīmas								
Naudingo veikimo koeficients	0,24	0,26						
Kogeneracinis režīmas								
Elektros gamybos naudingo veikimo koeficients	0,24	0,26						
Šilumos gamybos naudingo veikimo koeficients	0,74	0,72						

18 lentelē. Hidroakumuliacinēs elektrinēs tehnoloģijas parametri

Hidroakumuliacinē elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investiciju kaštai, €/kW	600							
Pastovūs kaštai, €/kW	9							
Kintami kaštai, €/MWh	0							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	50							
Veikimo trukmē metuose, metu dalimi	0,75							
Statybu trukmē, metais	2,5							
Naudingo veikimo koeficients	0,75							

19 lentelė. Hidroelektrinės technologijos parametrai

Hidroelektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1796,5	1920	2074	2228	2228			
Pastovūs kaštai, €/kW	42	45	48	50,5	53			
Kintami kaštai, €/MWh	0							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	100							
Veikimo trukmė metuose, metų dalimi	0,98							
Statybų trukmė, metais	4,75							

20 lentelė. Jūrinės vėjo elektrinės technologijos parametrai

Jūrinė vėjo elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	3500	3100	2900	2700	2600	2500	2400	2300
Pastovūs kaštai, €/kW	72,6	64,7	59,85	55	53,15	51,3	49,45	47,6
Kintami kaštai, €/MWh	5,5	4,8	4,4	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2
Eksploatacinis laikotarpis, metais	25	27	28,5	30	30	30	30	30
Statybų trukmė, metais	3	2,5	2,5	2,5	2,375	2,25	2,125	2
Vidutinis galios faktorius	0,5	0,51	0,52	0,53	0,5375	0,545	0,5525	0,56

21 lentelė. Žemyninės vėjo elektrinės technologijos parametrai

Žemyninė vėjo elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1020	940	865	790	792,5	795	797,5	800
Pastovūs kaštai, €/kW	25,6	23,9	23,1	22,3	22,025	21,75	21,475	21,2
Kintami kaštai, €/MWh	2,8	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1
Eksploatacinis laikotarpis, metais	25	27	28,5	30				
Statybų trukmė, metais	1,5							
Vidutinis galios faktorius	0,37	0,37	0,375	0,38	0,3825	0,385	0,3875	0,39

22 lentelė. Saulės elektrinės technologijos parametrai

Saulės elektrinė								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investicijų kaštai, €/kW	1200	1020	920	820	787,5	755	722,5	690
Pastovūs kaštai, €/kW	12	10,2	9,18	8,16	7,855	7,55	7,245	6,94
Kintami kaštai, €/MWh	0							
Eksploatacinis laikotarpis, metais	30	35	37,5	40				
Statybų trukmė, metais	3	2,5	2,5	2,5	2,375	2,25	2,125	2
Vidutinis galios faktorius	0,165	0,19	0,21	0,23	0,2375	0,245	0,2525	0,26

23 lentelē. Dujomis kūrenamos katilīnēs tehnoloģijas parametri

Dujomis kūrenama katilīnē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	100							
Pastovūs kaštai, €/kW	3,7							
Kintami kaštai, €/MWh	0							
Ekspluatācijas laika periods, gadi	35							
Stāvēšanas laiks, gadi	0,75							
Veikšanas laiks metos, metu daļi	0,985							
Naudīgo veikšanas koeficients	1,1							

24 lentelē. Anglimi kūrenamos katilīnēs tehnoloģijas parametri

Anglimi kūrenama katilīnē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	80							
Pastovūs kaštai, €/kW	0							
Kintami kaštai, €/MWh	5,4							
Ekspluatācijas laika periods, gadi	20							
Stāvēšanas laiks, gadi	0,75							
Veikšanas laiks metos, metu daļi	0,985							
Naudīgo veikšanas koeficients	1.08							

25 lentelē. Naftas produktos kūrenamos katilīnēs tehnoloģijas parametri

Naftas produktos kūrenama katilīnē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	80							
Pastovūs kaštai, €/kW	0							
Kintami kaštai, €/MWh	5,4							
Ekspluatācijas laika periods, gadi	20							
Stāvēšanas laiks, gadi	0,75							
Veikšanas laiks metos, metu daļi	0,985							
Naudīgo veikšanas koeficients	1.08							

26 lentelē. Biokuru kūrenamos katilīnēs tehnoloģijas parametri

Biokuru kūrenama katilīnē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investīciju kaštai, €/kW	800							
Pastovūs kaštai, €/kW	0							
Kintami kaštai, €/MWh	5,4							
Ekspluatācijas laika periods, gadi	20							
Stāvēšanas laiks, gadi	0,75							
Veikšanas laiks metos, metu daļi	0,97							
Naudīgo veikšanas koeficients	1,08							

27 lentelē. Atliekomis kūrenamos katilnēs tehnoloģijas parametri

Atliekomis kūrenama katilnē								
	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Investiciju kaštai, €/kW	1200	1100						
Pastovs kaštai, €/kW	54	53						
Kintami kaštai, €/MWh	5,6	5,4						
Eksploatacinis laikotarpis, gadi	20							
Statybū trukmē, gadi	3							
Veikimo trukmē metuose, metū dalimi	0,932							
Naudingo veikimo koeficients	95,6	97,6						

PRIEDAS 2. KURO KAINOS

3 lentelė. Anglies kaina, €/MWh [1] [2] [3] [4] [5] [6]

Šalis	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Mažų kainų scenarijus							
Danija	21,500	23,974	24,247	24,111	23,974	23,838	23,702	23,565
Vokietija	9,248	10,313	10,585	10,449	10,313	10,176	10,040	9,904
Latvija	9,458	10,547	10,819	10,683	10,547	10,411	10,274	10,138
Lenkija	7,192	8,063	8,336	8,199	8,063	7,927	7,790	7,654
Suomija	8,097	9,028	9,301	9,165	9,028	8,892	8,756	8,620
Vidutinių kainų scenarijus								
Danija	21,500	28,170	28,170	28,715	29,260	29,669	30,078	30,487
Vokietija	9,248	12,117	12,117	12,663	13,208	13,617	14,025	14,434
Latvija	9,458	12,392	12,392	12,938	13,483	13,892	14,300	14,709
Lenkija	7,192	9,474	9,474	10,019	10,564	10,973	11,382	11,791
Suomija	8,097	10,608	10,608	11,154	11,699	12,108	12,516	12,925
Aukštų kainų scenarijus								
Danija	21,500	29,668	28,851	29,941	31,032	31,577	32,122	32,667
Vokietija	9,248	12,762	12,799	13,889	14,979	15,525	16,070	16,615
Latvija	9,458	13,052	13,074	14,164	15,254	15,800	16,345	16,890
Lenkija	7,192	9,978	10,155	11,246	12,336	12,881	13,426	13,971
Suomija	8,097	11,173	11,290	12,380	13,470	14,016	14,561	15,106

4 lentelė. Skalūnų kaina, €/MWh [1] [7]

Šalis	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Mažų kainų scenarijus							
Estija	11,416	9,909	9,909	9,785	9,661	9,537	9,413	9,289
Vidutinių kainų scenarijus								
Estija	11,416	11,643	12,138	12,634	13,005	13,377	13,748	14,120
Aukštų kainų scenarijus								
Estija	11,416	12,262	13,253	14,244	14,739	15,235	15,730	16,226

5 lentelė. Gamtinių dujų kaina, €/MWh [1] [8]

Šalis	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Mažų kainų scenarijus							
Danija	21,200	23,145	20,118	23,523	22,766	21,632	21,253	20,875
Vokietija	22,600	24,673	21,647	25,051	24,295	23,160	22,782	22,403
Estija	22,950	25,055	22,029	25,433	24,677	23,542	23,164	22,785
Latvija	22,800	24,891	21,865	25,270	24,513	23,378	23,000	22,622
Lietuva	25,650	28,003	24,977	28,381	27,625	26,490	26,111	25,733
Lenkija	16,750	18,286	15,260	18,665	17,908	16,773	16,395	16,017
Suomija	38,100	41,595	38,569	41,973	41,217	40,082	39,703	39,325
Švedija	34,900	38,101	35,075	38,480	37,723	36,588	36,210	35,832
Norvegija	34,900	38,101	35,075	38,480	37,723	36,588	36,210	35,832
	Vidutinių kainų scenarijus							
Danija	21,200	24,070	24,070	30,501	36,932	39,202	41,472	43,363
Vokietija	22,600	25,660	25,660	32,091	38,522	40,791	43,061	44,953
Estija	22,950	26,057	26,057	32,488	38,919	41,189	43,459	45,350
Latvija	22,800	25,887	25,887	32,318	38,749	41,019	43,288	45,180
Lietuva	25,650	29,123	29,123	35,554	41,985	44,254	46,524	48,416
Lenkija	16,750	19,018	19,018	25,449	31,880	34,149	36,419	38,311
Suomija	38,100	43,259	43,259	49,690	56,120	58,390	60,660	62,551
Švedija	34,900	39,625	39,625	46,056	52,487	54,757	57,027	58,918
Norvegija	34,900	39,625	39,625	46,056	52,487	54,757	57,027	58,918
	Aukštų kainų scenarijus							
Danija	21,200	24,996	25,205	33,528	41,850	44,498	46,768	49,416
Vokietija	22,600	26,647	26,795	35,117	43,439	46,088	48,357	51,005
Estija	22,950	27,060	27,192	35,515	43,837	46,485	48,755	51,403
Latvija	22,800	26,883	27,022	35,344	43,667	46,315	48,584	51,232
Lietuva	25,650	30,243	30,258	38,580	46,902	49,550	51,820	54,468
Lenkija	16,750	19,749	20,153	28,475	36,797	39,445	41,715	44,363
Suomija	38,100	44,922	44,394	52,716	61,038	63,686	65,956	68,604
Švedija	34,900	41,149	40,760	49,083	57,405	60,053	62,323	64,971
Norvegija	34,900	41,149	40,760	49,083	57,405	60,053	62,323	64,971

6 lentelė. Durpių kaina, €/MWh [1] [9]

Šalis	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mažų kainų scenarijus								
Suomija	13,553	11,764	11,764	11,617	11,470	11,323	11,175	11,028
Vidutinių kainų scenarijus								
Suomija	13,553	13,822	14,410	14,999	15,440	15,881	16,322	16,763
Aukštų kainų scenarijus								
Suomija	13,553	14,558	15,734	16,910	17,498	18,087	18,675	19,263

7 lentelė. Biokuro kaina, €/MWh [2] [10] [7] [11] [12] [13] [9] [14]

Šalis	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Danija	23,076	23,307	23,540	23,775	24,013	24,253	24,496	24,741
Vokietija	32,720	33,047	33,378	33,711	34,049	34,389	34,733	35,080
Estija	15,851	16,009	16,170	16,331	16,495	16,660	16,826	16,994
Latvija	11,652	11,769	11,886	12,005	12,125	12,247	12,369	12,493
Lietuva	15,378	15,532	15,687	15,844	16,003	16,163	16,324	16,488
Lenkija	18,888	19,077	19,268	19,460	19,655	19,851	20,050	20,250
Suomija	19,483	19,678	19,875	20,073	20,274	20,477	20,682	20,888
Švedija	18,680	18,867	19,055	19,246	19,438	19,633	19,829	20,027
Norvegija	18,680	18,867	19,055	19,246	19,438	19,633	19,829	20,027

8 lentelė. Naftos kaina, €/MWh [1]

2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mažų kainų scenarijus							
53,695	42,624	48,160	53,695	53,142	52,588	52,034	51,481
Vidutinių kainų scenarijus							
53,695	44,285	53,695	62,552	66,980	70,855	73,623	75,837
Aukštų kainų scenarijus							
53,695	45,945	59,231	71,963	77,498	83,034	87,462	90,783

9 lentelė. Branduolinio kuro kaina, €/MWh [15]

2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
7,03	7,03	7,03	7,03	7,03	7,03	7,03	7,03

LITERATŪROS SARAŠAS

- [1] International Energy Agency. Framework assumptions [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/etp/etpmodel/assumptions/>
- [2] Energistyrelsen. NOTAT OM PRISEN PÅ ENERGI PÅ KRAFTVÆRKMED HHV. KUL OG BIOMASSE – RENSET FOR AFGIFTER. [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 12]. Prieiga per internetą: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/EnergiKlimapolitik/prisen_paa_energi_paa_kraftvaerk_med_hhv_kul_og_biomasse.pdf
- [3] DESTATIS. Einfuhr von Steinkohle: Deutschland, Monate, Ursprungsland [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 11]. Prieiga per internetą: <https://www-genesis.destatis.de>
- [4] Central Statistical Bureau. ENG19. Average prices of energy resources for final consumers (excluding VAT) [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 21]. Prieiga per internetą: <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/metodologija/energoresursu-videjas-cenas-galapateretajiem-37141.html>
- [5] Polski Rynek Węgla. Indeks PSCMI 1 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 04 18]. Prieiga per internetą: <http://www.polskirynekwegla.pl/indeks-pscmi-1>
- [6] Tilastokeskus. Consumer Prices of Hard Coal and Natural Gas in Energy Production (VAT not included) [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin__ene__ehi/030_ehi_tau_103_en.px/?rxid=076c4eb4-a864-46c2-b811-6fd7f4f64ae2
- [7] Eesti statistika. AVERAGE COST OF FUELS AND ENERGY CONSUMED BY ENTERPRISES BY TYPE OF FUEL/ENERGY [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: <http://pub.stat.ee>
- [8] Eurostat. Gas prices for industrial consumers - bi-annual data (from 2007 onwards) [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 22]. Prieiga per internetą: http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nrg_pc_203
- [9] Tilastokeskus. Energy prices: Consumer Prices of Domestic Fuels in Energy Production (VAT not included) [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą: http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi_2016_04_2017-03-08_tie_001_en.html
- [10] C.A.R.M.E.N. Preisentwicklung bei Waldhackschnitzeln - der Energieholz-Index [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 12]. Prieiga per internetą: <https://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel/jahresmittelwerte>
- [11] Didzis Palejs. Latvian case [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/events/2014-05-12_13_AEBIOM%20konf/Workshop/03_LatbioPresentationBrussels.pdf
- [12] BALT POOL. Tiekiamo biokuro kaina [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: <http://www.baltpool.lt/lt/tiekimo-kaina/?mwh>
- [13] Internetowa Gielda Biomasy. Cena biomasy [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: <http://ebiomasa.pl/cena-biomasy>

- [14] Energimyndigheten. Trädbränsle- och torvpriser [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 15]. Prieiga per internetą: http://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/priser/sm1701_2.pdf
- [15] DIW Berlin. Current and Prospective Costs of Electricity Generation until 2050 [interaktyvus][Žiūrėta 2017 05 19]. Prieiga per internetą: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.424566.de/diw_datadoc_2013-068.pdf