TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

BALTI RIIKIDE ELEKTRITOOTMISE MODELLEERIMINE ENERGYPRO TARKVARA ABIL

BALTIC ELECTRICITY GENERATION MODELLING WITH ENERGYPRO SOFTWARE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Silver Rooste

Üliõpilaskood: 185536EAAB

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2022

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....20..... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....
/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks[1]

Mina Silver Rooste

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Balti riikide elektritootmise modelleerimine energyPRO tarkvara abil",

mille juhendaja on Reeli Kuhi-Thalfeldt,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

21.12.2022

---

[1] *Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Silver Rooste *Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Balti riikide elektritootmise modelleerimine energyPRO tarkvara abil

Kuupäev: 21.12.2022 81 *lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)*

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt

Sisu kirjeldus:

Bakalaureusetöö eesmärk on saada parem ülevaade Balti riikide elektri tootmisest ja tarbimisest 2030. aastal. Selleks on kasutatud energyPRO tarkvara ning käesolevaid andmeid. Käesolevateks andmeteks on 2021. aasta Balti riikide elektri tootmise, tarbimise, impordi ja ekspordi andmed. Antud andmetele on teostatud analüüs, mida on kasutatud modelleeritud mudeli tulemuste võrdlemiseks ja analüüsimiseks.

Balti riikide mudeli modelleerimisel on kasutatud prognoositud tootmisvõimsusi 2030. aastaks. Samuti on mudelis kasutatud iga riigi 2021. aasta elektri tarbimise andmeid, et oleks võimalik paremini võrrelda hetkeolukorra andmeid modelleeritud andmetega. Mudeli põhimõte seisneb selles, et prioriseeritud on taastuvenergia elektritoodangus. Seda on tehtud selleks, et näha kui hästi on taastuvenergia võimeline asendama mittetaastuvenergia tootmisüksusi.

Modelleeritud mudeli tulemuste põhjal selgus, et tuule- ja päikesepargid on võimelised 2030. aastal asendama suurema osa põlevkivi- ja maagaasijaamade elektritoodangust. Kuid selleks, et katta elektri tarbimist aastaringselt, tuleb rajada juurde stabiilsemaid tootmisüksusi nagu biomassi- ja biogaasijaamu. Tulemustest saab järeldada, et prognoositud tootmisvõimsustega suudavad Balti riigid oma elektritoodangut parendada, kuid kasvab ebakindlus elektritoodangus, sest konstantseid tootmisüksusi väheneb.

Märksõnad: Taastuvenergia, elektri tarbimine, elektri tootmine, tootmisvõimsus, energyPRO, elektri import, elektri eksport, päikesepark, tuulepark.

ABSTRACT

Author: Silver Rooste *Type of the work:* Bachelor Thesis

Title: Baltic electricity generation modelling with energyPRO software

Date: 21.12.2022 81 *pages (the number of thesis pages including appendices)*

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Senior Lecturer Reeli Kuhi-Thalfeldt

Abstract:

The aim of the Bachelor's thesis is to get a better overview of the production and consumption of electricity in the Baltic States by 2030. In order to achieve this, energyPRO software is used alongside current data. The current data involves the production, consumption, import and export of electricity in the Baltic States for 2021. The existing data is analyzed and compared to the results of the model.

Projected production capacities for 2030 are used in the Baltic States model. The model also uses the electricity consumption data of each country in 2021, in order for the model to be compared better with the current situation. The model prioritises Renewable energy production units. This has been done to see how well Renewable energy is capable of replacing non-renewable energy production units.

Based on the results of the model, it was revealed that wind farms and solar parks are capable of replacing the majority of electricity production of oil shale and natural gas plants in 2030. However, in order to meet electricity consumption throughout the year, it is necessary to build more stable production units such as biomass and biogas plants. Based on the results, it can be concluded that the Baltic States can improve their electricity production with the projected production capacities, but as a result, the uncertainty of electricity production increases because of the decrease in constant production units.

Keywords: Renewable energy, electricity consumption, electricity generation, production capacity, energyPRO, electricity import, electricity export, solar park, wind farm.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	**Balti riikide elektritootmise modelleerimine energyPRO tarkvara abil**
Lõputöö teema inglise keeles:	**Baltic electricity generation modelling with energyPRO software**
Üliõpilane:	**Silver Rooste, 185536**
Eriala:	
Lõputöö liik:	**bakalaureusetöö**
Lõputöö juhendaja:	**Reeli Kuhi-Thalfeldt**
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	2022/2023 2022/2023 Sügis
Lõputöö esitamise tähtaeg:	**21.12.2022**

_____	_____	_____
Üliõpilane (allkiri)	Juhendaja (allkiri)	Õppekava juht (allkiri)

_____
Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Seoses rohepöördega näevad Euroopa Liidu riigid ette suuremahulist üleminekut elektri tootmises süsinikuvabadele tootmisviisidele, milleks on enamasti päikese- ja tuuleenergiast elektri tootmine. Samas suunas on liikumas ka kõik Balti riigid, kes on esitanud Euroopa komisjonile riiklikud energia- ja kliimakavad tootmisvõimsuste lisandumise plaanidega aastani 2030. Selleks aastaks plaanitakse, et Eestis kasvab elektrituulikute tootmisvõimsus 1200 MW-ni ning päikesepaneelide võimsus 415 MW-ni. Lätis peaks elektrituulikute võimsus kasvama 1100 MW võrra. Leedus plaanitakse tõsta elektrituulikute tootmisvõimsus 1322 MW-ni ja päikesepaneelide võimsus 792 MW-ni aastaks 2030. [1] [2] [3]

Tuule- ja päikeseelektrijaamade puhul on tegemist juhitamatute tootmisseadmetega, mille toodang sõltub ilmastikust. Juhitamatu toodangu osakaalu kasvades on aga aina keerulisem leida igal ajahetkel tasakaalu elektri tootmise ja tarbimise vahel. 2025.

aastal aset leidev Balti riikide elektrisüsteemi desünkroniseerimine Venemaa elektrisüsteemist seab aga täiendavaid väljakutseid bilansi tagamisele. Seetõttu on vajalik analüüsida, milliseks võib kujuneda elektri tootmine desünkroniseerimise järgselt, kui kõik riiklikes energia- ja kliimakavades ette nähtud tootmisvõimsused on rajatud. See võimaldab hinnata ka täiendavate tootmisvõimsuste, salvestuslahenduste vajadust. Üheks tarkvaraks, mis võimaldaks tunnipõhiselt elektri tarbimist ja tootmist modelleerida ning bilanssi hinnata, on energyPRO.
Töö tulemused võiksid huvi pakkuda Balti riikide majandus- ja keskkonnaministeeriumidele ja ka põhivõrgu operaatoritele. Samuti leiaks loodud Balti riikide elektri tarbimise ja tootmise mudel kasutust õppetöös elektroenergeetika magistriõppekava aines Energeetika arengu plaanimine.

2. Töö eesmärk

Bakalaureusetöö eesmärgiks on modelleerida iga Balti riigi elektrienergia tarbimist ja tootmist võimalikult detailsel viisil andmaks hinnangu selle kohta, milliseid väljakutseid on elektri tootmine ootamas ees aastal 2030.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1) Milline näeb tunnipõhiselt välja Balti riikide elektri tarbimise ja tootmise tunnipõhine graafik käesoleval hetkel ning mil määral sõltutakse elektri impordist ja ekspordist?
2) Milline näeks tunnipõhiselt välja Balti riikide elektri tarbimine ja tootmine tunnipõhine graafik aastal 2030 ning mil määral sõltutakse elektri impordist ja ekspordist?
3) Mil määral oleks otstarbekas rajada täiendavaid elektri tootmise ja/või salvestamise lahendusi?

4. Lähteandmed

Peamisteks lähteandmeteks on statistilised andmed Eurostati andmebaasis, elektri põhivõrgu operaatorite varustuskindluse aruanded, ENTSO-E tunnipõhised elektri tarbimise ja tootmise andmed, riiklikud energia- ja kliimakavad ning tehnoloogia kataloogid. EnergyPRO sisendandmeteks on ka päikesekiirguse, välistemperatuuri, tuulekiiruse ja sademetehulga tunnipõhised mõõteandmed ning elektrituru hinnad.

5. Uurimismeetodid

Peamiseks töös kasutatavaks uurimismeetodiks on mudeli loomine energyPRO tarkvaras, kus luuakse elektri tarbimise ja tootmise mudel kõigi Balti riikide kohta. Püsitatud ülesande lahendamiseks kasutatakse ka kirjanduse analüüsi ning võrdlevat

analüüsi elektri tootmise hetkeseisu ja 2030. a modelleeritud tootmise tulemuste analüüsimiseks.

6. Graafiline osa

- Elektri tunnipõhine tarbimine ja tootmine 2021. aastal iga Balti riigi kohta eraldi ning regioonis kokku (võimalusel 2022. a)
- Modelleeritud elektri tunnipõhine tarbimine ja tootmine 2030. aastal iga Balti riigi kohta eraldi ning regioonis kokku
- Kokkuvõtlikud tabelid elektri tootmise kohta igas Balti riigis erinevate tootmistehnoloogiate kaupa käesoleval hetkel ja ka üheksa aasta pärast.
- Kokkuvõtlikud tabelid elektri bilansi kohta igas Balti riigis ja ka regioonis kokku nii käesoleval hetkel ja ka üheksa aasta pärast.

7. Töö struktuur

- Tiitelleht;
- Lühikokkuvõte;
- Lõputöö ülesanne;
- Sisukord;
- Eessõna;
- Lühendite ja tähiste loetelu;
- Sissejuhatus;
- Põhiosa:
    - EnergyPRO tarkvara tööpõhimõte
    - Balti riikide elektri tarbimise, tootmise ja bilansi hetkeseis
    - Eesti elektri tarbimine ja tootmine 2030. a
    - Läti elektri tarbimine ja tootmine 2030. a
    - Leedu elektri tarbimine ja tootmine 2030. a
    - Balti riikide elektri tarbimine ja tootmine 2030. a
    - Järeldused
- Kokkuvõte;
- Kasutatud kirjanduse loetelu;
- Lisad;
- Graafiline osa.

8. Kasutatud kirjanduse allikad

- Eurostati koduleht. https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database

- Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030 (REKK 2030). (2019). https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/ee_final_necp_main_ee.pdf
- Latvia's national energy and climate plan 2021-2030. (2019). https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/lv_final_necp_main_en.pdf
- National energy and climate action plan of the republic of Lithuania for 2021-2030. (2019). https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/lt_final_necp_main_en.pdf
- Statistikaameti koduleht. https://www.stat.ee/
- EMD internationali koduleht. https://www.emd-international.com/
- ENTSO-E koduleht. https://www.entsoe.eu/

9. Lõputöö konsultandid

Puudulikud.

10. Töö etapid ja ajakava

- Sissejuhatus valmis ja materjalid läbitöödeldud (01.10.2022)
- EnergyPRO tarkvara tööpõhimõtte ning sisendite-väljundite kirjeldus (10.10.2022)
- Balti riikide elektri tarbimise, tootmise ja bilansi hetkeseis, sh ülevaade tootmisvõimsustest. (20.10.2022)
- Eesti elektrisüsteemi teoreetiline osa valmis, energyPRO tarkvaras taastuvenergiast sõltuv elektrisüsteem modelleeritud, vajalikud arvutused teostatud ning kokkuvõtlik ülevaade valmis. (30.10.2022)
- Läti elektrisüsteemi teoreetiline osa valmis, energyPRO tarkvaras taastuvenergiast sõltuv elektrisüsteem modelleeritud, vajalikud arvutused teostatud ning kokkuvõtlik ülevaade valmis. (10.11.2022)
- Leedu elektrisüsteemi teoreetiline osa valmis, energyPRO tarkvaras taastuvenergiast sõltuv elektrisüsteem modelleeritud, vajalikud arvutused teostatud ning kokkuvõtlik ülevaade valmis. (20.11.2022)
- Balti riikide kokkuvõtliku analüüsi ja lõputöö kokkuvõte olemas (24.11.2022)
- Lõputöö esimene versioon valmis, juhendajale läbilugemiseks saatmine (26.11.2022)
- Paranduste sisseviimine (08.12.2022)
- Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (09.12.2022)

- Kaitsmistaotluse esitamine (12.12.2022)
- Lõputöö esitamine (21.12.2022)

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE 4
ABSTRACT 5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE 6
EESSÕNA 13
SISSEJUHATUS 14
1. BALTI RIIKIDE ELEKTRISÜSTEEMID 15
1.1 Balti riikide elektrienergia tootmine ja tarbimine 17
1.2 Balti riikide tootmisvõimsused 18
1.3 Eksport ja import Balti riikides.....19
2. EESTI ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE 21
2.1 Eesti tootmisvõimsused 22
2.2 Eksport ja import Eesti riigis 24
3. LÄTI ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE 25
3.1 Läti tootmisvõimsused.....26
3.2 Eksport ja import Läti riigis 27
4. LEEDU ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE 29
4.1 Leedu tootmisvõimsused 30
4.2 Eksport ja import Leedu riigis.....32
5. 2030. AASTA BALTI RIIKIDE ELEKTRI TARBIMISE JA TOOTMISE ENERGYPRO MUDEL 33
5.1 EnergyPRO tarkvara.....33
5.2 EnergyPRO mudeli algandmed.....34
5.2.1 Päikeseparkide modelleerimine 35
5.2.2 Tuuleparkide modelleerimine 37
5.2.3 Elektrijaamade modelleerimine 38
5.2.4 Pumphüdroelektrijaama modelleerimine.....39
6. MODELLEERIMISE TULEMUSED.....40
6.1 Balti riikide kombineeritud tulemused.....40
6.2 Eesti tulemused.....42
6.3 Läti tulemused 44
6.4 Leedu tulemused 46
KOKKUVÕTE 49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 51
LISA 1. 2021. aasta koormuskestvusgraafikud 55
LISA 2. Balti riikide energyPRO mudeli piirkonnad.....59

LISA 3. Päikeseparkide ja tuuleparkide energyPRO elektritoodangu valemid 61
LISA 4. Eksisteerivate elektrijaamade asukohad 63
LISA 5. Kütuste osakaalud elektri tootmises 2021. aasta 67
LISA 6. Kütuste osakaalud elektri tootmises 2030. aasta 70
LISA 7. Balti riikide 2021. aasta elektri import ja eksport vastavalt aastaajale.....73
LISA 8. Balti riikide 2030. aasta elektri import vastavalt aastaajale.....77
LISA 9. Balti riikide päikese- ja tuuleparkide elektritoodang 2030. aastal 81

EESSÕNA

Lõputöö teema sai valitud minu ja minu juhendaja Reeli Kuhi-Thalfeldti huvide kooskõlastamise käigus, teema leiab kasutust minu juhendaja loengutest, ning eesmärk on saada põhjalikum ülevaade Balti riikide elektritootmisest ning selle tarbimisest olemasoleval ajal, kuid ka 2030. aastal, kasutades selleks energyPRO tarkvara. Lõputöös kasutatavad andmed sai läbi juhendaja enda kui ka interneti vahendusel.

Tahan tänada oma juhendajat Reeli Kuhi-Thalfeldti, kes aitas suunata, täpsustada ning motiveerida, et bakalaureuse töö valmis saaks.

SISSEJUHATUS

Euroopa liit on püstitanud eesmärgiks saavutada kliimaneutraalsus 2050. aastaks. Eesmärgi saavutamiseks tuli kõikidel liikmesriikidel, sealhulgas Balti riikidel, esitada energia- ja kliimakava aruanne 2019. aasta lõpuks. Aruandes on ära kirjeldatud vajalikud sammud 2030. aastaks, mille abil saavutatakse 55% madalam kasvuhoonegaaside heidete kogus võrreldes 1990. aastaga. 2030. aasta eesmärgi täitmine on vajalik samm, et saavutada kliimaneutraalsus 2050. aastaks. [4]

2021. aasta andmete kohaselt moodustas energia tarbimine ja tootmine rohkem kui 75% kogukasvuhoonegaaside heidetest Euroopa Liidus, sellest ka vajadus viia elektri tootmine üle taastuvenergiale. Taastuvenergia osakaalu suurendamiseks elektri tootmises on Balti riikidel plaanis 2030. aastaks rajada juurde ning asendada taastuvenergia tootmisüksustega eksisteerivaid mittetaastuvenergia tootmisüksusi. Selleks on Eesti, Läti ja Leedu prognoosinud tootmisvõimsused 2030. aastaks, millest suurema osa moodustaks taastuvenergia. Nendest tootmisvõimsustest näevad kõige suuremat kasvu tuuleparkide ja päikeseparkide tootmisvõimsused, kuid mõlema tootmisüksuse korral on probleemiks ebastabiilne elektritoodang, sest mõlemad sõltuvad ilmastikuoludest. Seetõttu on väga keeruline ette näha milliseks kujuneb elektritoodang 2030. aastal. [5]

Põhieesmärk on töös saada põhjalikum ülevaade Balti riikide elektri tootmisest ja tarbimisest 2030. aastal, kasutades selleks energyPRO tarkvara ning käesolevaid andmeid. Selleks, et saaks 2030. aasta modelleeritud mudeli tulemusi hinnata, tuleb neid võrrelda 2021. aasta andmetega. Seetõttu on töös koostatud analüüs 2021. aasta elektri tootmisele ja tarbimisele kui ka impordile ja ekspordile. Samuti on töös analüüsitud ja võrreldud 2021. aasta tootmisvõimsusi 2030. aasta prognositud tootmisvõimsustega.

1. BALTI RIIKIDE ELEKTRISÜSTEEMID

Järgnevates peatükides on antud ülevaade Balti riikide 2021. aasta elektri tarbimisest, tootmisest, impordist ja ekspordist. Samuti on väljatoodud tootmisvõimsused 2021. aasta seisuga ning prognoositud tootmisvõimsused 2030. aastaks. Peatükid 1, 2, 3 ja 4 annavad vajaliku ülevaate Balti riikide hetkeolukorrast, mille abil saab võrrelda ja hinnata töös koostatud 2030. aasta Balti riikide ühist elektritoodangu mudelit. Selleks, et mõista kuidas elektri tootmine ja tarbimine toimib Balti riikides tuleb alustada elektrisüsteemide joonisest 1.1.

Joonis 1.1 Balti riikide elektrisüsteem [6]

Balti riikide elektrisüsteemid kuuluvad BRELLI elektrisüsteemi koosseisu, kus on ka Venemaa ja Valgevene elektrisüsteemid. BRELLI elektrisüsteem on üks suur sünkroonselt töötav ühendussüsteem, kus riigi elektrisüsteemid säilitavad üksteisega bilanssi. Varasemalt imporditi elektrit Venemaalt ja Valgevenest, kuid alates 2022. aasta juunist imporditakse elektrit ainult nii palju, et säilitada bilanss Venemaaga. Põhjuseks on Euroopa Liidu poolt kehtestatud sanktsioonid Venemaa energiasektorile. [7] [8]

Balti riikidel on 2025. aasta lõpuks plaanis desünkroniseerida ennast BRELLI elektrisüsteemist ja ühendada Mandri-Euroopa elektrivõrguga. Venemaa ja Valgevene ei kuulu Euroopa Liitu ning seetõttu pole nad kohustatud järgima Euroopa Liidu poolt püstitatud kliima eesmärke. Selleks, et Balti riigid saavutaksid püsitatud eesmärgid tuleb lõpetada Venemaalt ja Valgevenest elektri import, sest nende poolt toodetud elekter ei vastaks enam nõuetele. Käesolevas töös on tähtis teada desünkroniseerimise plaanist, sest selle abil saavutatakse 2030. aasta rohelise energia eesmärgid ning energiajulgeolek Balti riikides. [8] [9] [10]

Töö lõputulemuste analüüsimiseks ja võrdlemiseks tuleb esialgselt analüüsida Balti riikide elektritoodangu ning tarbimise hetkelist olukorda nii üldiselt kui ka iga riigi kohta eraldi. Antud peatükis on toodud välja Balti riikide 2021. aasta elektri tootmise ja tarbimise koondtabel 1.1, mille andmed on saadud ENTSO-e andmebaasist.

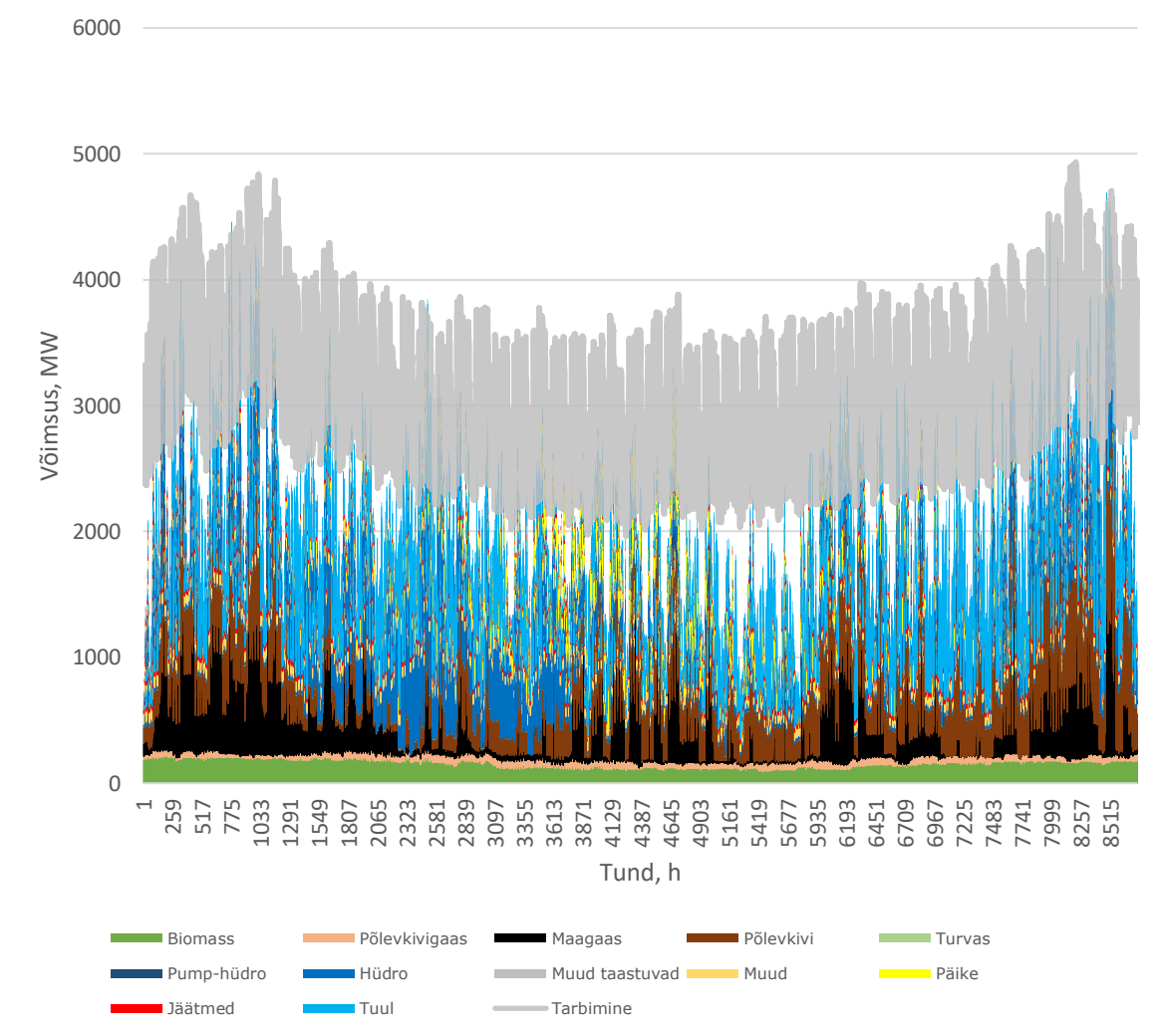
Tabel 1.1. Balti riikide tarbimine, tootmine, import ja eksport 2021. aastal [11]

	Eesti	**Läti**	**Leedu**	**Kokku**
Tootmine (GWh)	5943	5560	4205	15708
Tarbimine (GWh)	8428	7311	12373	28113
Import (GWh)	7169	3970	11589	22729
Eksport (GWh)	4521	2217	2394	9132
Tiputarbimine (MW)	1591	1237	2220	4931
Tipptootmine (MW)	1483	2086	1440	4694
Suurim netoimport (MW)	953	941	2165	2807
Suurim netoeksport (MW)	433	991	-83	409

Tabelit 1.1 analüüsides saab järeldada, et Balti riigid impordivad elektrit rohkem kui ekspordivad, selle põhjuseks on suuresti Leedu, kelle tarbimine on kõige suurem ning elektritoodang kõige madalam. Koondtabeli andmete süvaanalüüs on teostatud iga riigi jaoks eraldi peatükkis.

1.1 Balti riikide elektrienergia tootmine ja tarbimine

Viimasel kahel aastal on Balti riikide elektri tootmises hakanud kasvama taastuvenergia osakaal, selle põhjuseks on energia- ja kliimakava püsitatud eesmärgid iga riigi poolt, mis on kooskõlas Euroopa Liidu üldise eesmärgiga saavutada 2050. aastaks süsinikneutraalsus. Selleks, et hinnata kas 2030. aasta eesmärgid on realistlikud või mitte, tuleb analüüsida Balti riikide summeeritud elektri tootmist ja tarbimist 2021. aastal. Balti riikide elektri elektritoodang 2021. aastal oli 15708 GWh ja tarbimine oli 28113 GWh. Tarbimise analüüsil tuleb meeles pidada, et tegu on kogutarbimisega, mis sisaldab ka võrgukadusid. Balti riikide summeeritud elektri tootmist ja tarbimist näeb jooniselt 1.2. [4] [11]



Joonis 1.2 Balti riikide elektritoodang vastavalt kütuseliigile koos tarbimisega 2021. aastal [11]

Joonist 1.2 analüüsides saab järeldada, et Balti riikide 2021. aasta elektri baastoodangu moodustas biomass ehk puiduhake. Talvel toodeti suurema osa elektrienergiat maagaasist, põlevkivist ning tuuleenergiast. Kevadel väheneb elektritoodangus osakaal

maagaasil ning suureneb hüdroenergia kasutus, tuuleenergia on suurima osakaaluga. Suve algul langeb elektri tarbimine ning sellega ka elektritoodang. Ilmad on suvel selgemad, seetõttu kasvab ka päikeseenergia osakaal elektritoodangus. Suve keskel langeb elektri tarbimine kõige madalamale ning sellega ka elektritoodang. Suve lõpus hakkab tarbimine tõusma seoses ilma külmenemisega. Täheldada saab seda, et Balti riikide elektritoodang toetub väga palju tuuleenergiale, mis toodab aastaringselt elektrit ning on suhteliselt stabiilselt. Päikeseenergia on kordades ebastabiilsem, sest pilvisel päeval ja öösel ei tooda päikesepargid elektrit, võrreldes tuuleparkidega, mis on võimelised elektrit tootma ööpäevaringselt, niikaua kui tuuliku töötamiseks vajalik miinimum tuulekiirus on olemas. Sügisest kuni talveni katab suurema osa tarbimisest tuuleenergia, maagaas ning põlevkivi.

Analüüsi põhjal saab öelda, et Balti riigid toetuvad primaarselt biomassile, põlevkivile, maagaasile, tuuleenergiale, hüdroenergiale ning elektri impordile aastaringselt, et katta elektri tarbimine. Tarbimisest on näha, et vastavalt aastaajale, eriti külmemal ning tüüpiliselt ka pimedamal perioodil on elektri tarbimine suurem. Balti riikide tarbimine on suurim talvel ning sügisel. 2021. aasta tiputarbimine on 4931 MW, see saavutatakse talvel 09.12.2021, kell 8:00-9:00 ja elektritootmise tipp on 4694 MW, mis on samuti talvel 20.12.2021, kell 15:00-16:00. [11]

1.2 Balti riikide tootmisvõimsused

2030. aastaks on eesmärk toota elektrit enamasti taastuvenergiast, et eesmärk saavutada tuleb Balti riikidel asendada mittetaastuvenergia tootmisüksusi taastuvenergia tootmisüksustega. Selleks, et parem ülevaade saada 2030. aasta prognoositud tootmisvõimsustest, tuleb neid võrrelda 2021. aasta tootmisvõimsustega. Töös on kasutatud netotootmisvõimsust, mis ei arvesta avariide ja hooldustega, mille tõttu reaalsuses ei ole kunagi võimalik kasutada üheaegselt tervet tootmisvõimsust. Koondtabelis 1.2 on väljatoodud Balti riikide summeeritud tootmisvõimsused vastavalt energialiigile 2021. aastal ja 2030. aastal. [4] [12]

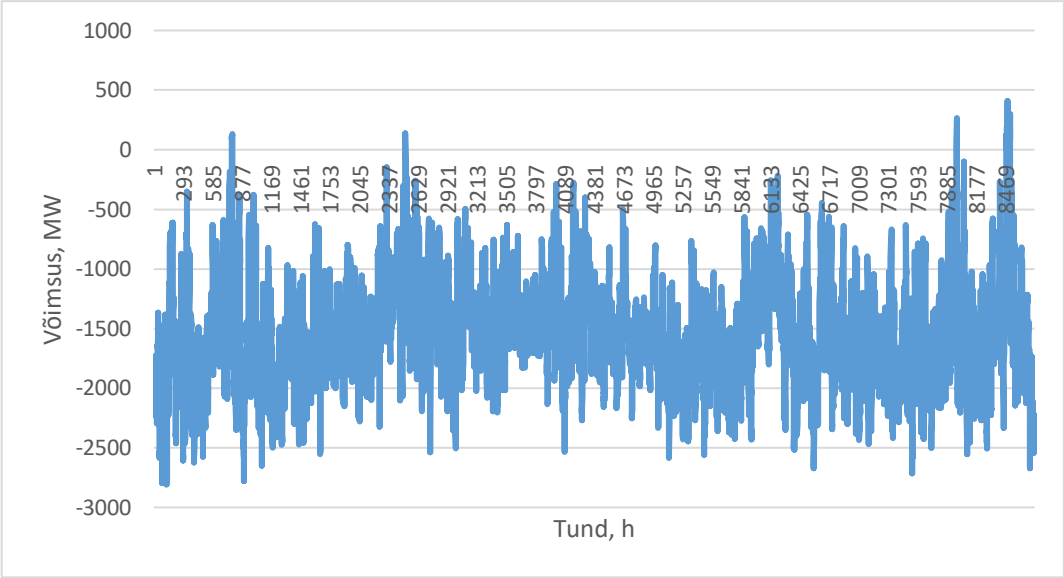
Tabel 1.2 Balti riikide elektrisüsteemi tootmisvõimsused (MW)

Energialiik	**2021**	**2030**
Taastuvenergiast kogutootmisvõimsus	3503	13919
Hüdroenergia	1693	1755
Tuuleenergia	914 (maismaal)	7691 (2900 merel)
Päikeseenergia	504	3750
Biogaas	325	187
Puiduhake (Biomass)		447
Jäätmekütus	67	89
Mittetaastuvenergia kogutootmisvõimsus	5519	1794
Põlevkivi (sisaldab põlevkivi uttegaasi ja generaatorgaasi)	1445	763
Maagaas	3137	131
Pumphüdroenergia	900	900
Muu	37	-
Kogutootmisvõimsus	9022	15713

Tabelist 1.2 on näha, et 2030. aasta kogutootmisvõimsus on tõusnud 6691 MW võrreldes 2021. aastaga. Selle põhjuseks on suur kasv taastuvenergia osakaalus, mis on asendanud eksisteerivaid mittetaastuvenergia tootmisüksusi ja lisaks on installeeritud suures koguses juurde taastuvenergia tootmisüksusi. Märkimisväärne kasv tootmisvõimsustes on päikeseenergial ja tuuleenergial, mis koos moodustavad 2030. aastal 73% kogutootmisvõimsusest. Vastupidine on mittetaastuvenergial, kus maagaasi osakaal koguvõimsusest on langenud 35%-ilt 0,8%-ni 2030. aastaks. Selle põhjuseks on kliimaneutraalsuse eesmärk kui ka soov Venemaa maagaasist lahti öelda, tagades sellega suurem energiajulgeolek.

1.3 Eksport ja import Balti riikides

Elektrienergia import ja eksport käib vastavalt olukorrale, kus suurema tarbimise korral kaetakse toodangu puudused impordiga ning üle tootmise korral eksporditakse teistele riikidele. 2021. aastal imporditi elektrienergiat 22729 GWh ja eksporditi 9132 GWh. Joonisest 1.2 on näha, et Balti riikide elektritoodang ei suuda katta elektri tarbimist ning seetõttu on vajalik elektrit importida nagu on kujutatud joonisel 1.3. [11]

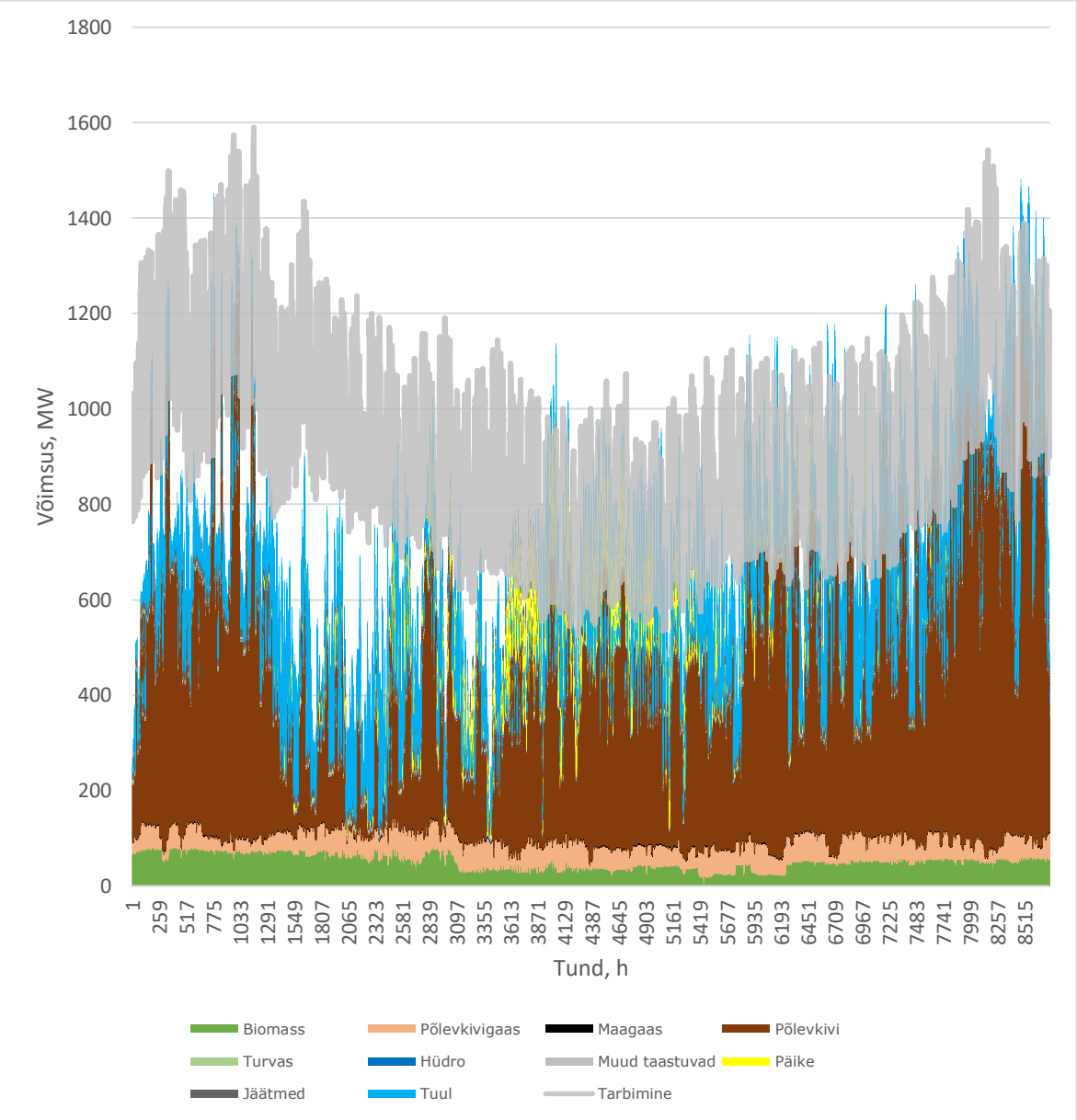


Joonis 1.3 Elektrienergia import ja eksport Balti riikides 2021. aastal [11]

Balti riikide summeeritud elektri importimise ja eksportimise jooniselt 1.3 on näha, et Balti riigid on sõltuvuses elektri importist aastaringselt, sellesse panustab väga palju Leedu. Leedu elektri tootmine on praktiliselt olematu võrreldes tarbimisega ning seetõttu on ta väga suuresti sõltuvuses elektri impordist, järeldust kinnitab tabel 1.1 andmed. Kuna tegu on 2021. aasta andmetega, siis import ja eksport sisaldavad ka Venemaa ja Valgevene vahelist ühendust enne sanktsioone. Suurim netoimport saavutatakse 06.01.2021, kell 07:00-08:00, milleks on 2807 MW ja suurim netoeksport saavutatakse 20.12.2021 kell 18:00-19:00, milleks on 409 MW. Netoimpordi saab siis kui impordist lahutada eksport antud perioodil, sama käib netoekspordi kohta, kus on ekspordist lahutatud import. [11]

2. EESTI ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE

Eesti elektri tarbimine 2021. aastal oli 8428 GWh ja tootmine oli 5943 GWh. Suurima osakaaluga kütused elektri tootmises olid põlevkivi (63%), tuul (13%) ja biomass (8%) (vt. lisa 5). Saab järeldada, et rohkem kui pool Eesti 2021. aasta elektritoodangust moodustas mittetaastuvenergia. Parema ülevaate elektri tootmisest ja tarbimisest annab joonis 2.1. [11]



Joonis 2.1 Eesti riigi elektritoodang vastavalt kütuseliigile koos tarbimisega 2021. aastal [11]

Eesti elektri tarbimise ja tootmise jooniselt 2.1 on näha, et Eesti elektri tootmine on suuresti sõltuv põlevkivist ja tuuleenergiast. Eesti elektri baastoodangust katab aastaringselt biomass ehk puiduhake. Kevadel on tootmine madal ning suurema osa

tarbitavast elektrienergiast imporditakse, võrreldes suve ja sügisega, kus elektritoodang on võimeline katma vahel ka elektri tarbimist. Kevadel langeb põlevkivi kasutamine, mis on kõige madalam võrreldes teiste aastaaegadega. Kevadel saab näha, et elektrienergia tarbimisel algab langev trend, mis jätkub suve keskpaigani ning sealt edasi hakkab jälle tõusma. Põhjuseks suvel tarbimise ja toodangu vahelise suhte paranemisel on see, et tarbimine langeb sooja ilma tõttu, kui võrrelda seda talve ja sügisega kus tarbimine on palju kõrgem kütmise tõttu. Jooniselt saab täheldada, et kõrgeim elektritoodang on sügisel, selle põhjuseks on elektritarbimise kasv, mida põhjustab ilmade külmenemine.

Analüüsi põhjal saab järeldada, et Eestis toodetakse elektrienergiat peamiselt põlevkivist, millele järgneb tuuleenergia. Mõlemad energiaallikad katavad tarbimist aastaringselt. Tiputarbimine on 18.02.2021, kell 08:00-09:00, milleks on 1591 MW ja tipptootmine 20.12.2021, kell 09:00-10:00, milleks on 1483 MW. [11]

2.1 Eesti tootmisvõimsused

2021. aasta seisuga on Eesti elektrijaamade summaarne tootmisvõimsus 2356 MW. Eesti tootmisvõimsusi saab näha tabelist 2.1, kus on väljatoodud 2021. aasta tootmisvõimsused ja prognoositud tootmisvõimsused 2030. aastaks. [14]

Tabel 2.1 Eesti riigi elektrisüsteemi netotootmisvõimsused (MW) [1] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]

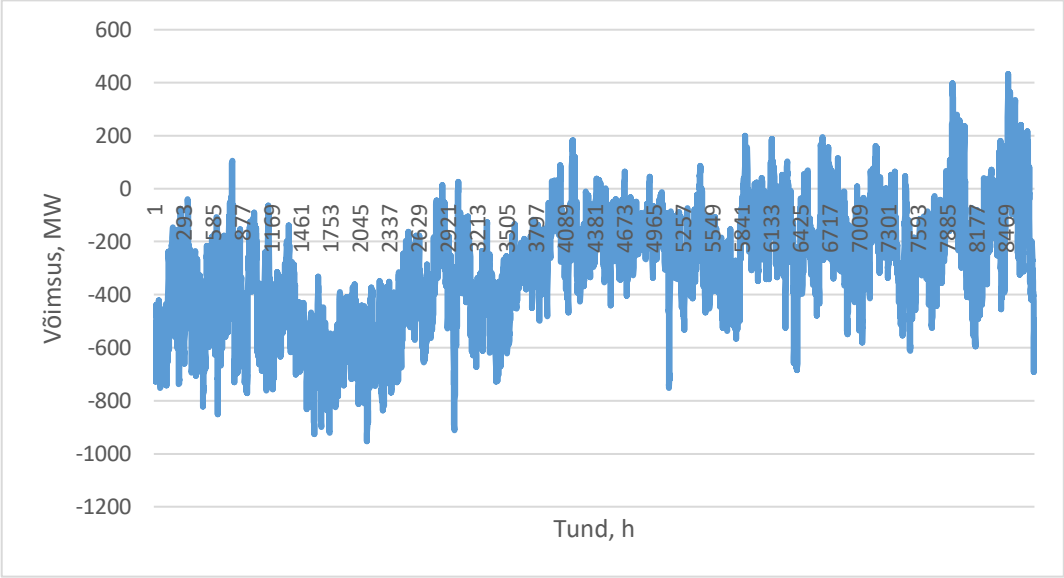
Energialiik	**2021**	**2025**	**2030**
Taastuvenergiast kogutootmisvõimsus	800	1539	3150
Hüdroenergia	4	8	8
Tuuleenergia	310 (maismaal)	520 (maismaal)	1491 (1000 merel)
Päikeseenergia	335	860	1500
Biogaas	6	6	6
Puiduhake (Biomass)	126	126	126
Jäätmekütus	19	19	19
Mittetaastuvenergia kogutootmisvõimsus	1556	874	874
Põlevkivi	1445	763	763
Maagaas	111	111	111
Kogutootmisvõimsus	2356	2413	4024

Tabelis 2.1 on esitatud 2021. aasta tootmisvõimsuste andmed Eesti korral, mis on leitavad Eleringi 2021. aasta varustuskindluse aruandest. Eesti taastuvenergia summaarne tootmisvõimsus 2021. aasta lõpuseisuga on 800 MW, see sisaldab 310 MW tuuleparke ning 335 MW päikeseparke, viimase puhul peab täheldama, et tegu on pidevalt muutuva võimsusega, sest päikeseparke tekib pidevalt juurde ning nende ehitamiseks saadaval olev pinnas on suurem ning odavam, kui teiste energialiikide korral. Taastuvenergias on tähtsal kohal ka biomass ehk puiduhake, mille tootmisvõimsus on 126 MW, ülejäänud 29 MW tootmisvõimsusest moodustab biogaas 6 MW, jäätmekütus 19 MW ning hüdroenergia 4 MW. Mittetaastuvenergia summaarne tootmisvõimsus on 1556 MW, Eestis tagab suurema osa mittetaastuvast tootmisvõimsusest põlevkivi, selleks on 1445 MW. Ülejäänud 111 MW mittetaastuvast kogutootmisvõimsusest on maagaas. Tabelist saab järeldada, et kogutootmisvõimsus, milleks on 2356 MW-i, moodustab 66% mittetaastuvenergia ning 34% taastuvenergia. [14]

Eesti riigi energia- ja kliimakava alusel plaanitakse 2025. aastaks saavutada taastuvenergial elektrijaamade tootmisvõimsuseks 1539 MW ning 2030. aastaks 3150 MW. Sellest suurema osa moodustavad tuule- ja päikeseelektrijaamad. Tuuleparkide 310 MW tootmisvõimsusele plaanitakse lisada 1181 MW 2030. aastaks. Tegu on ligikaudse prognoosiga, mis sisaldab eksisteerivat tootmisvõimsust ja tulevaste projektide võimsusi, milleks on Sopi tuulepark (160 MW), Purtse tuulepark (21 MW) ja Liivi lahe meretuulepark (1000 MW). 2030. aasta tuuleparkide summaarsest tootmisvõimsusest moodustaks 1000 MW meretuulepargid ja 491 MW maismaa tuulepargid. 2030. aastaks on prognoositud päikeseparkide kogutootmisvõimsuseks ligikaudselt 1500 MW, kuna päikeseparke tekib pidevalt juurde, siis on väga keeruline prognoosida ette konkreetset tootmisvõimsust. Hüdroenergia 4 MW tootmisvõimsust plaanitakse suurendada 2025. aastaks 4 MW võrra ning edasi suurendada ei ole plaanis. Hüdroelektrijaamade väikese võimsuse taga on Eestimaa maapind, kus puuduvad kiire veevooluga suured jõed. Biomassi korral ei ole toodud konkreetset tootmisvõimsust, sama kehtib ka jäätmekütuse ning biogaasi korral, seetõttu sai antud töös 2030. aasta korral kasutatud 2021. aasta andmeid. Mittetaastuvenergia tootmisvõimsus on 874 MW 2030. aastal, sest Eesti- ja Balti elektrijaama peale suletakse kokku 1291 MW tootmisvõimsust. 2030. aasta prognoositavast 4024 MW kogutootmisvõimsusest, moodustab 22% mittetaastuvenergia ning 78% taastuvenergia. [1] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21]

2.2 Eksport ja import Eesti riigis

Eesti elektri import oli 2021. aastal 7169 GWh, samas kui elektri eksport oli 4521 GWh. Kuna Eesti impordib rohkem kui ekspordib, siis saab järeldada, et Eesti on elektrienergiat importiv riik. Seda kinnitab joonis 2.2, kus on väljatoodud tunnipõhine elektri import ja eksport. [11]

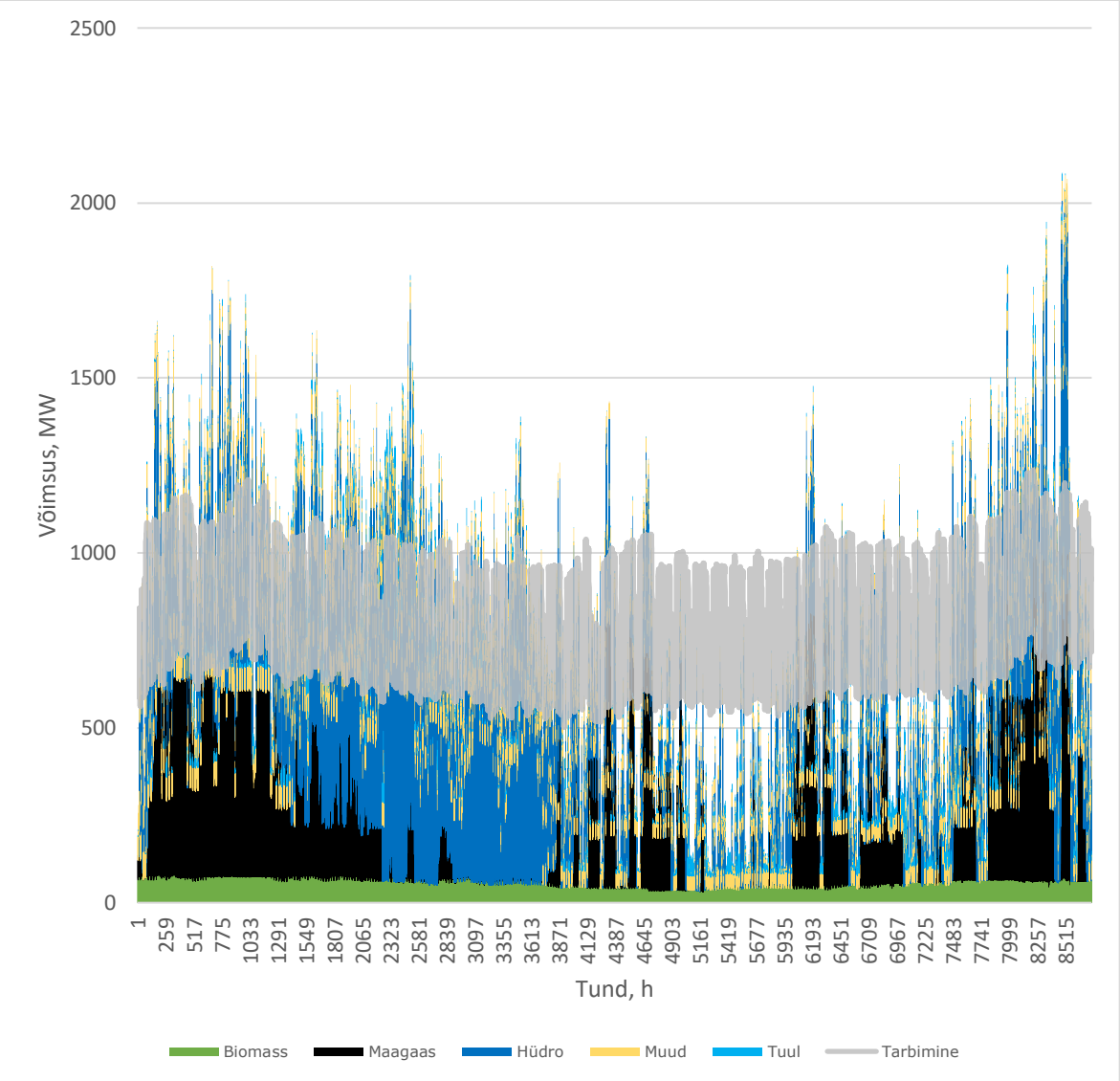


Joonis 2.2 Elektrienergia import ja eksport Eesti elektrisüsteemis 2021. aastal [11]

Jooniselt 2.2 on näha, et Eesti impordib elektrit aastaringselt. Talvel ja kevadel toimub enamasti elektri import. Suve ja sügise perioodil toimub suurema osa elektri ekspordist võrreldes impordiga, mis püsib suhteliselt konstantsena läbi aasta (vt. lisa 7). Impordi ja ekspordi jooniselt 2.2 saab järeldada, et aasta esimesel poolel on Eesti riik enamasti elektri tarbija kui tootja. Suurim netoimport on 30.03.2021, kell 09:00-10:00, milleks on 953 MW ja netoeksport toimub 21.12.2021, kell 00:00-01:00, milleks on 433 MW. [11]

3. LÄTI ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE

Läti elektri tarbimine 2021. aastal oli 7311 GWh ja elektritoodang oli 5560 GWh. Lätil on tarbimine ja tootmine madalam kui Eestil. Samas on Läti elektritoodang palju rohelisem kui Eestil. Suurema osa Läti elektritoodangust moodustas hüdroenergia (47%), biomass (9%) ja maagaas (33%) (vt. lisa 5). Vastupidiselt Eestile moodustas mittetaastuvenergia enamuse elektritoodangust. Läti elektritoodangust annab hea ülevaate joonis 3.1. [11]



Joonis 3.1 Läti riigi elektritoodang vastavalt kütuseliigile koos tarbimisega 2021. aastal [11]

Joonist 3.1 analüüsides on näha, et Läti riigi elektritootmine on palju paremas olukorras, kui Eesti ja Leedu oma, sest enamus ajast on Läti võimeline oma tarbimist katma elektritootmisega, eriti sügisel, talvel ja kevadel. Läti riigi elektritoodang on suurim talvel ja kevadel, kus üle toodetud elekter eksporditakse naaberriikidesse nagu Eesti ja

Leedu. Elektri tootmise baastoodangu katab biomass ehk puiduhake, kuid suurema osa elektritoodangust moodustab maagaas ja hüdroenergia. Võrreldes teiste Balti riikidega katab Läti elektri tarbimist talvel ja kevadel väga palju hüdroenergia abil. Ainult suvel on Lätil probleeme elektri tootmisega, selle põhjuseks on suur sõltuvus hüdroenergiast, mille toodang langeb suvel praktiliselt olematuks, sest suvel on vee ressurss piiratud. Tiputarbimine saavutati 09.12.2021, kell 15:00-16:00, milleks on 1237 MW ja tipptootmine saavutati 20.12.2021, kell 17:00-18:00, milleks on 2086 MW. [11]

3.1 Läti tootmisvõimsused

2021. aasta seisuga on Läti elektrijaamade summaarne tootmisvõimsus 2858 MW, mis on Eesti omast 502 MW suurem ja Leedust 950 MW väiksem. Läti tootmisvõimsused on saadud 2021. aasta ja 2030. aasta jaoks AST 2021. aasta varutuskindluse aruandest. 2021. aasta andmete korral tuleb meeles pidada, et summaarsed tootmisvõimsused, mis on antud varustuskindluse aruandes on ebatäpsed ning osaliselt puudulikud. kuid võrreldes alternatiiv allikatega osutus AST andmete kasutamine kõige mõistlikumaks. [22]

Tabel 3.1 Läti riigi elektrisüsteemi netotootmisvõimsused (MW) [2] [18] [22]

Energialiik	**2021**	**2025**	**2030**
Taastuvenergiast kogutootmisvõimsus	1719	2184	3389
Hüdroenergia	1561	1617	1619
Tuuleenergia	64	255 (maismaal)	1200 (500 merel)
Päikeseenergia	0	108	250
Biogaas	94	82	140
Puiduhake (Biomass)		122	180
Mittetaastuvenergia kogutootmisvõimsus	1139	1096	20
Maagaas	1139	1096	20
Kogutootmisvõimsus	2858	3280	3409

Analüüsides tabelit 3.1 on näha, et tegu on enamasti taastuvenergiale toetuva riigiga, kus 2021. aasta kogutootmisvõimsusest moodustab 1719 MW taastuvenergia (60%) ja 1139 MW mittetaastuvenergia (40%), milleks on maagaas. Suurema osa

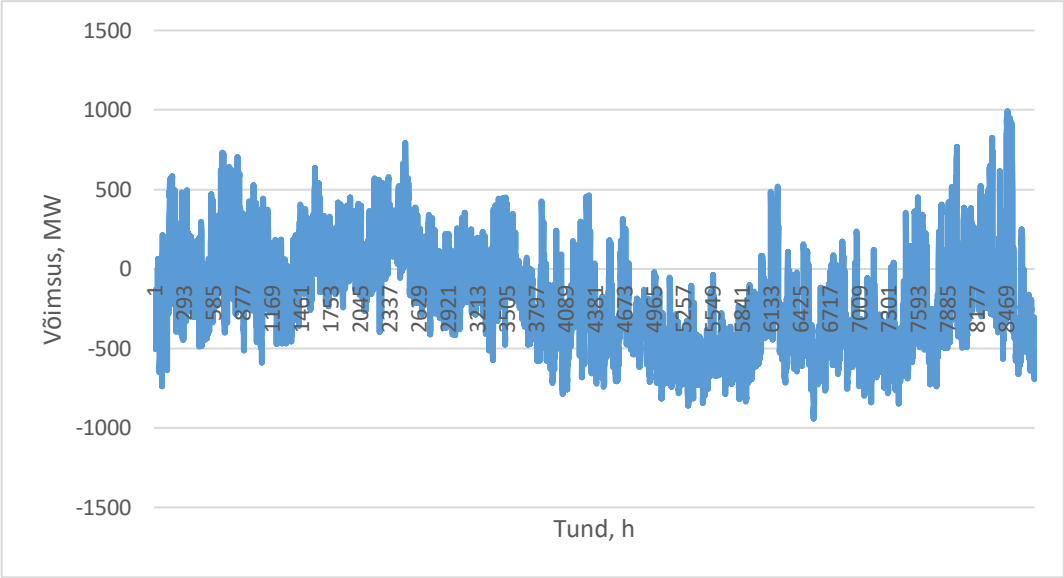
taastuvenergiast on hüdroenergia, mille tootmisvõimsus on 1561 MW. Kui Eesti ja Leedu peamine tootmisüksus on mittetaastuvenergia nagu põlevkivi või maagaas, siis Läti korral on suurim tootmisüksus taastuvenergia, milleks on hüdroenergia. Samas on Läti päikeseenergia ja tuuleenergia valdkonnas kõige nõrgemal kohal Balti riikidest, 2021. aasta andmete järgi on tootmisvõimsus 0 MW ja tuuleenergia tootmisvõimsus 64 MW. Biomass ja biogaas on kokku pandud, sest AST varustuskindluse aruandes on 2021. aasta kohta saadaval mõlemast energiaressursist summaarne tootmisvõimsus, milleks on 94 MW. [2] [18] [22]

2030. aastaks on Lätil prognoositud kolm erinevat tootmisvõimsuste stsenaariumi, mis varieeruvad üksteisest märkimisväärselt, stsenaariumiteks on: [22]
1) konservatiivne stsenaarium A;
2) baas stsenaarium B;
3) optimistilik stsenaarium Euroopa Liit 2030.

Antud töös on kasutatud stsenaarium kolme ehk optimistlikku stsenaariumi Euroopa Liit 2030. 2030. aasta lõpuks kõige suuremad muutused taastuvenergias on tuule- ja päikeseenergia võimsustes. Tuuleenergia tootmisvõimsuse prognoos 2030. aastaks on 1200 MW, millest 500 MW on meretuulepargid, see on suur kasv võrreldes 2021. aasta 64 MW tootmisvõimsusega. Päikeseparkide tootmisvõimsuse muutus pole küll nii märkimisväärne, kuid on märgatav, sest 2030. aastaks on prognoositud 250 MW tootmisvõimsust võrreldes 2021. aasta 0 MW võimsusega. Mittetaastuvenergia kogutootmisvõimsuses on samuti 2030. aastal suur muutus, sest maagaasi võimsus on 20 MW, mis on märkimisväärne, kui võrrelda 2021. aastase tootmisvõimsusega. Valitud stsenaariumi järgi on 2030. aastaks summaarne tootmisvõimsus 3409 MW, mis sisaldab 3389 MW taastuvenergiat (99%) ning 20 MW mittetaastuvenergiat (1%). Tegu on väga optimistliku prognoosiga ning suure tõenäosusega tootmisvõimsused ei kujune samaks, mis stsenaarium kolm prognoosib. [2] [18] [22]

3.2 Eksport ja import Läti riigis

2021. aastal oli Läti elektri import 3970 GWh ja eksport 2217 GWh. Samamoodi nagu Eesti, on ka Läti peamiselt elektrienergia importija. Selleks, et mõista kuidas Läti elektri import ja eksport 2021. aastal välja näeb, tuleb analüüsida joonist 3.2. [11]

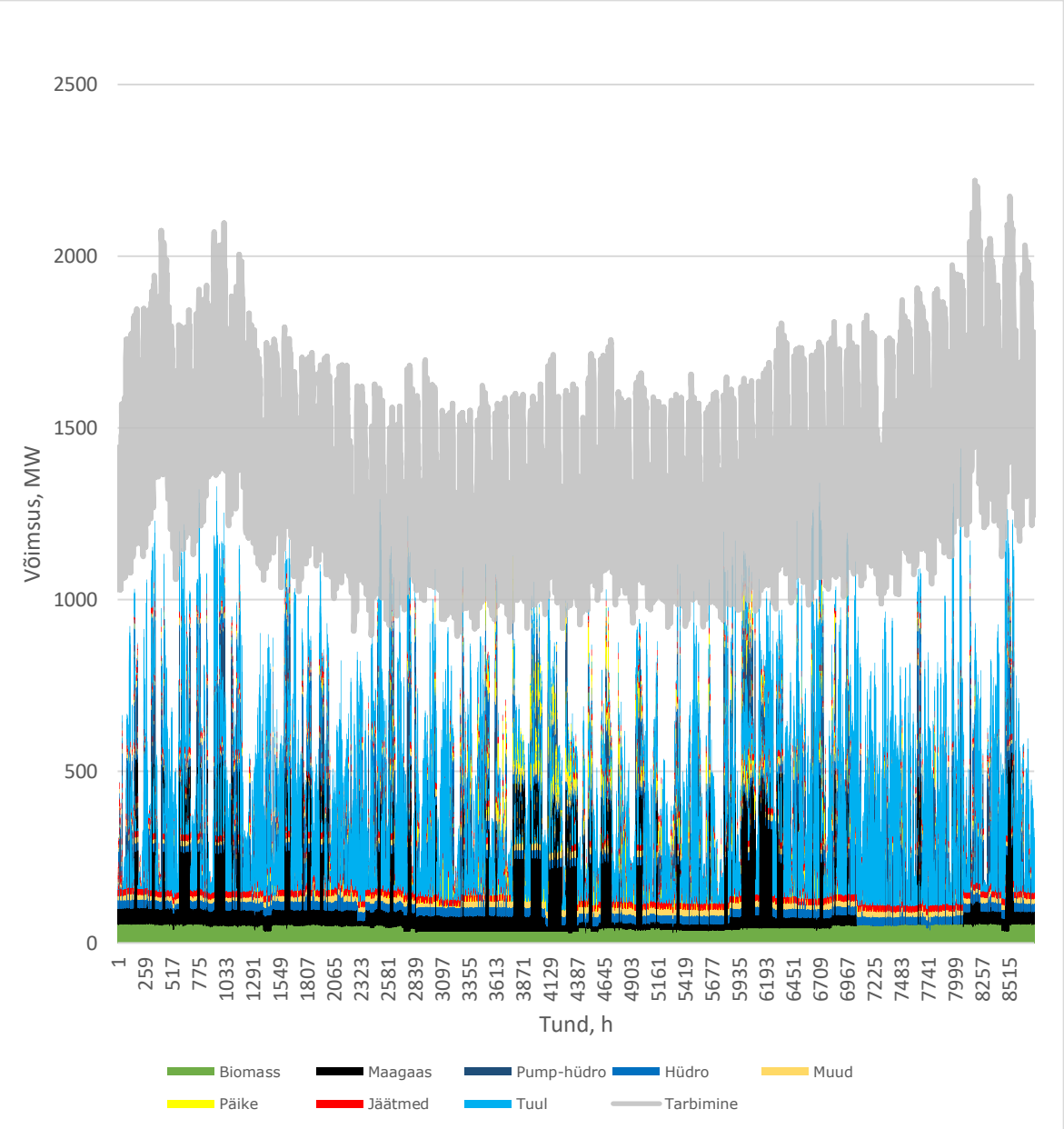


Joonis 3.2 Elektrienergia import ja eksport Läti elektrisüsteemis 2021. aastal [11]

Suurema osa Läti elektri impordist toimub suvel ja sügisel, ekspordi kõige kõrgemaks perioodiks on kevad (vt. lisa 7). Seda kinnitab tootmise joonis 3.1 kui ka elektri impordi ja ekspordi joonis 3.2. Suve alguses hakkab elektri eksport stabiilselt langema ning import tõusma, see on kooskõlas tootmise ja tarbimise graafikuga, kus suvel on elektri tootmine väike, ning see trend jätkub kuni sügise keskpaigani, kus tootmine hakkab jälle kasvama ning sellest ka ekspordi osakaal. Suurim netoimport on 941 MW, 01.10.2021, kell 09:00-10:00 ja netoeksport on 991 MW, 20.12.2021, kell 18:00-19:00. [11]

4. LEEDU ELEKTRIENERGIA TOOTMINE JA TARBIMINE

Leedu elektri tarbimine 2021. aastal oli 12373 GWh ning tootmine 4205 GWh. Suurima osakaaluga kütused elektri tootmises olid tuul (30%), maagaas (26%), pump-hüdro (17%) ja biomass (10%) (vt. lisa 5). Leedu elektritoodangust moodustab 54% taastuvenergia, mis on väiksem kui Lätil, kuid suurem kui Eestil. Leedu 2021. aasta elektritoodangut saab näha jooniselt 4.1. [11]



Joonis 4.1 Leedu riigi elektritoodang vastavalt kütuseliigile koos tarbimisega 2021. aastal [11]

Leedu elektri baastoodangu 2021. aastal moodustas biomass ehk puiduhake, maagaas, hüdroenergia ja jäätmekütus. Suurem osa elektri tarbimisest üritatakse katta tuuleenergia ja maagaasiga. Kuna Leedu elektri tootmise eripärad vastavalt aastaajale suuresti ei erine teistest Balti riikidest ning elektri tootmine on suhteliselt stabiilne, siis ei ole vajalik süvaanalüüsi joonisele 4.1. Küll saab jooniselt 4.1 järeldada, et Leedu riigi elektri tootmine ei ole võimeline katma tarbimist. Balti riikidest on Leedu kõige suurem elektritarbija ja kõige väiksem elektritootja. Samas on Leedu riigi elektritootmine aastaringselt stabiilsem kui Eestil ja Lätil. Elektri tarbimine saavutab tiputarbimise 08.12.2021, kell 08:00-09:00, milleks on 2220 MW ja tipptootmine 02.12.2021, kell 16:00-17:00, milleks on 1440 MW. [11]

4.1 Leedu tootmisvõimsused

2021. aasta seisuga on Läti elektrijaamade summaarne tootmisvõimsus 3808 MW. Leedul on kõige suurem kogutootmisvõimsus kõikidest Balti riikidest, kuid elektritoodang on kõige väiksem. Madalale elektritoodangule ei aita kaasa pumphüdroenergia, mille tootmisvõimsust ei ole võimalik ööpäevaringselt täisvõimsusel hoida, sama kehtib päikeseparkide ja tuuleparkide korral. Seega on Leedul puudujääk tootmisvõimsustest, mis on suutelised konstantselt elektrit tootma. 2021. aasta ja 2030. aasta tootmisvõimsusi näeb tabelist 4.1. [23]

Tabel 4.1 Leedu riigi elektrisüsteemi netotootmisvõimsused (MW) [3] [13] [18] [23]

Energialiik	2021	2025	2030
Taastuvenergiast kogutootmisvõimsus	984	-	7380
Hüdroenergia	128	-	128
Tuuleenergia	540 (maismaal)	-	5000 (3600 merel)
Päikeseenergia	169	-	2000
Biogaas	36	-	41
Biomass	63	-	141
Jäätmekütus	48	-	70
Mittetaastuvenergia kogutootmisvõimsus	2824	-	900
Muu	37	-	-
Pumphüdroenergia	900	-	900
Maagaas	1887	-	0
Kogutootmisvõimsus	3808	-	8280

2021. aasta netotootmisvõimsused vastavalt tarbitavale kütusele on saadud Leedu põhivõrgu operaatori Litgridi kodulehelt, kus on tabelina tootmisvõimsused välja toodud.

2021. aasta seisuga on saadaval olevast kogutootmisvõimsusest jaotunud 26% taastuvenergiale, milleks on 984 MW ja 74% mittetaastuvale, milleks on 2824 MW. Taastuvenergia suurimad tootmisvõimsused on tuuleenergia 540 MW ja päikeseenergia 169 MW. Mittetaastuvenergia suurimad tootmisvõimsused on maagaas 1887 MW ja pumphüdroenergia 900 MW. 2021. aasta tootmisvõimsuste andmetest saab järeldada, et Leedu ainuke suurim tootmisüksus, mis on võimeline elektrit tootma konstantselt, on maagaas. Sellest ka energiajulgeoleku probleem, arvestades et suurema osa maagaasist tuleb Venemaalt, on tegemist väga haavatava tootmisüksusega. [13] [23]

2030. aasta andmed on saadud Leedu energia- ja kliimakava aruandest ning artiklitest. Aruandes on prognoositud kahe erineva stsenaariumi jaoks tootmisvõimsused, need stsenaariumid on: [3]
1) EPM – *Existing policies and measures*;
2) PPM – *Planned policies and measures*.

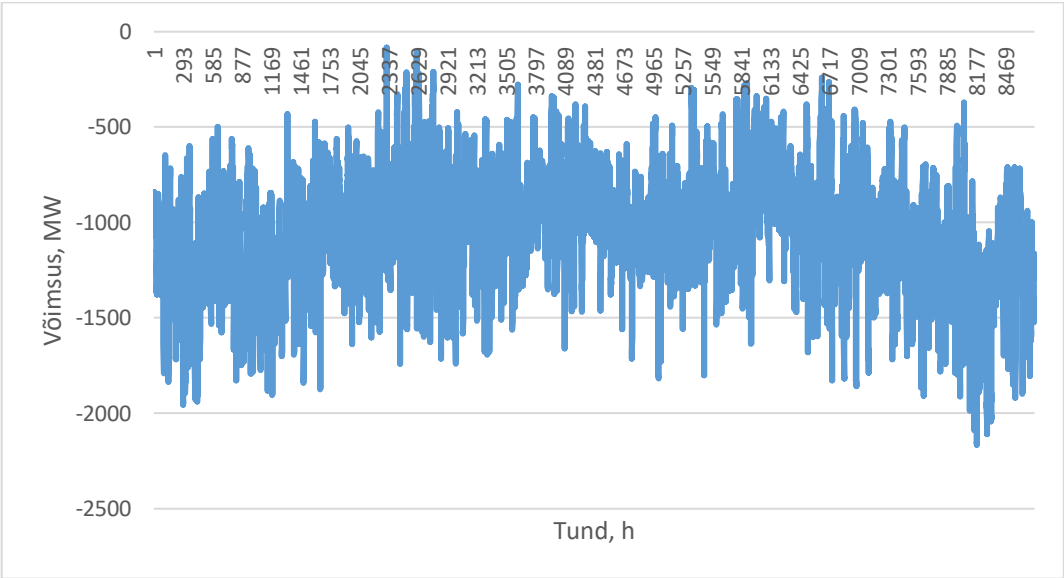
Töö teemas püsimise eesmärgil on kasutatud PPM-i prognoositud andmeid. PPM-i stsenaariumi tootmisvõimsusi on kasutatud töös sellepärast, et stsenaarium arvestab ka poliitilisi poliise, mida pole veel implementeeritud seadusteks, kuid on tulevikus plaanis teha. Samas kui EPM-i stsenaarium prognoosib tootmisvõimsusi aruande esitamise ajal eksisteerivate poliiside põhjal, mis ei sisalda taastuvenergia arendamiseks vajalikke toetusi ja seadusi. [3]

2030. aastaks on prognoositud kogutootmisvõimsus 9051 MW, millest 89% on taastuvenergia ja 11% mittetaastuvenergia. Tuuleparkide võimsus on 5000 MW 2030. aastal, sellest 1400 MW on meretuulepargid. Päikeseparkide tootmisvõimsus on 2000 MW ning biomass 141 MW, ülejäänud taastuvenergia tootmisvõimsused püsivad kas sama suured või on kasvanud vähesel määral. Mittetaastuvenergia korral on maagaasi tootmisvõimsus 0 MW 2030. aastal, mis on suur langus kui võrrelda 2021. aasta tootmisvõimsusega, milleks on 1887 MW. Maagaasist loobumise põhjuseks on 2050. aasta kliimaeesmärk ja Venemaa, kes kasutab maagaasi poliitilise relvana. 2030. aasta pumphüdroenergia tootmisvõimsus püsib sama, mis 2021. aastal. [3] [13] [18] [23]

Leedu tootmisvõimsuste tabeli 4.1 andmetest saab järeldada, et eesmärk on muuta taastuvenergia osakaalu märkimisväärselt 2030. aastaks. Õnnestumise korral tagaks see Leedule energiajulgeoleku, kus ei peaks sõltuma teiste riikide elektri impordist.

4.2 Eksport ja import Leedu riigis

Elektrit eksporditi 2021. aastal 2394 GWh, mis on väga väike võrreldes impordiga, milleks oli 11589 GWh. Suure impordi põhjuseks on praktiliselt olematu elektri tootmine ja suur tarbimine. Elektri import katab suurema osa Leedu tarbimist aastaringselt (vt. lisa 7). Leedu importi ja eksporti näeb jooniselt 4.2. [11]



Joonis 4.2 Elektrienergia import ja eksport Leedu elektrisüsteemis 2021. aastal [11]

Analüüsides Leedu elektri impordi ja ekspordi joonist 4.2, saab järeldada, et Leedu riik on kõige suurem elektrienergia importija kõikidest Balti riikidest, põhjuseks on suurem tarbijate arv ning väike elektritoodang. Suurim netoimport toimub 08.12.2021, kell 01:00-02:00, milleks on 2165 MW ning suurim netoeksport 07.04.2021, kell 11:00-12:00, milleks on -83 MW. [11]

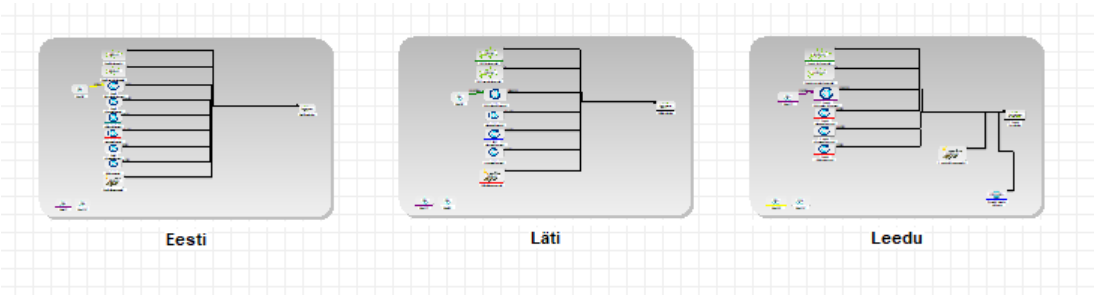
5. 2030. AASTA BALTI RIIKIDE ELEKTRI TARBIMISE JA TOOTMISE ENERGYPRO MUDEL

5.1 EnergyPRO tarkvara

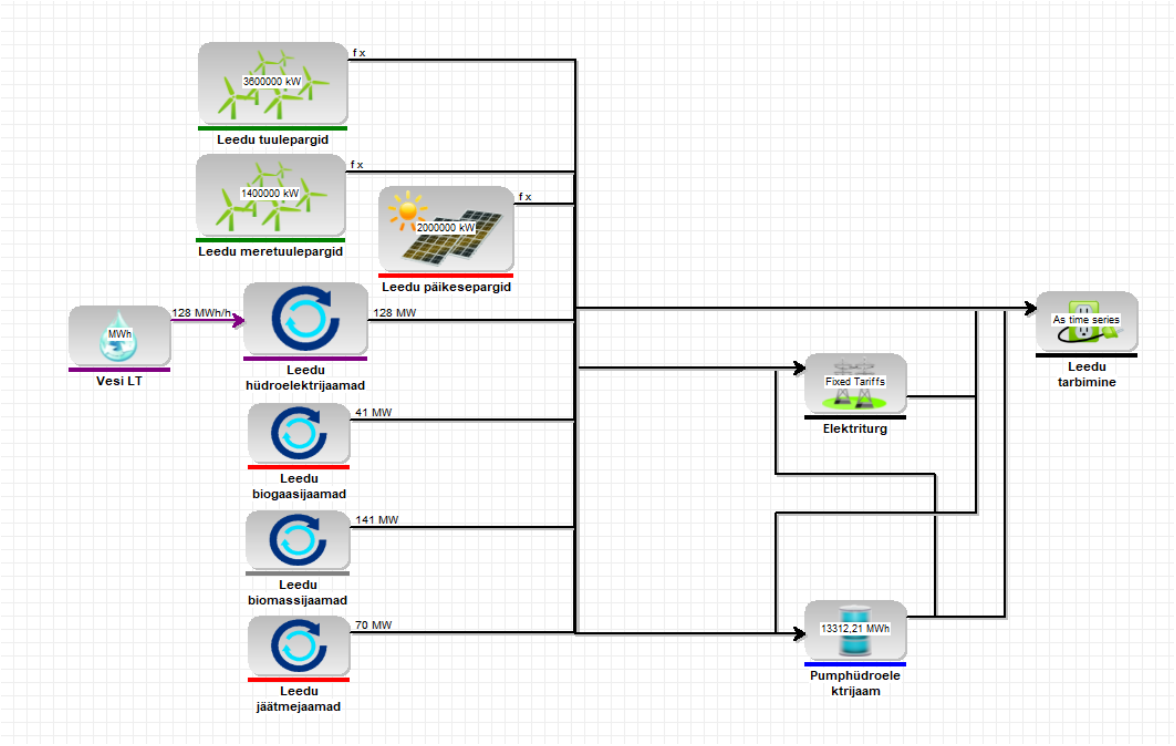
Antud bakalaureuse töös on kasutatud energyPRO tarkvara 2030. aasta elektritoodangu ja tarbimise modelleerimiseks ning analüüsimiseks. EnergyPRO tarkvara on kasutatud, kuna teised tarkvarad pole suutelised genereerima nii põhjalikku mudelit. Põhieesmärk on 2021. aasta ressursi- ja tarbimisandmete põhjal näha, milline võiks olla tootmine 2030. aastal.

Energypro tarkvara sobib elektri, soojuse tootmise ja tarbimise modelleerimiseks ning rahavoogude analüüsiks, nii eksisteerivale seadmele, kui planeeritavale. Tarkvara võimaldab sisendandmete abil teostada süvaanalüüsi nii tuleviku kui mineviku jaoks. Mudeli modelleerimisel on võimalik määrata tootmisstrateegia, mille kaudu saab valida mudeli andmete töötlemiseks vajaliku arvutusmeetodi ja seadmete töötamisstrateegia. Tarkvara põhimõte seisneb selles, et kasutaja sisestab vajalikud sisendandmed ning programm arvutab valitud arvutusmeetodi ja parameetrite abil väljundandmed. Sisendandmed varieeruvad vastavalt modelleeritavale mudelile. Kuna tarkvara arvestab tootmisseadme asukoha ja selle ilmastikuoludega, siis on tegu väga võimsa ning mitmekülgse analüütilise tööriistaga. Tarkvara annab väga põhjaliku ülevaate ka elektriseadmete tasuvusest, sest võimalik on modelleerida elektritoodangut mitme aasta peale kokku. [24] [38]

Mudelis on modelleeritud Balti riikide tootmisüksused, elektriturg ja tarbimised. Tootmisüksused on elektrijaamad, päikesepargid, tuulepargid ja salvestusseade, milleks on pumphüdroelektrijaam. Balti riikide mudel on jaotatud kolmeks piirkonnaks, tagades sellega parema ülevaate elektritoodangust 2030. aastal. Jooniselt 5.1 on näha jaotatud piirkondi ja ühe selle piirkonna sisu jooniselt 5.2 (vt. lisa 2).



Joonis 5.1 Balti riikide modelleeritud mudeli piirkonnad

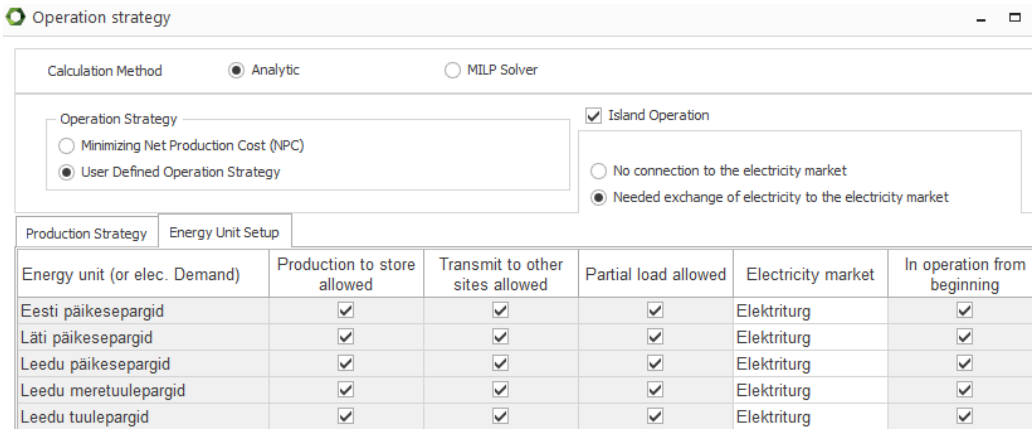


Joonis 5.2 Leedu mudel

Mudelis modelleeritud piirkondadeks on Eesti, Läti ja Leedu. Iga riik on modelleeritud eraldi piirkonnaks, selleks et saaks mudeli lõputulemuses iga riigi elektri tootmist ja tarbimist paremini eristada.

5.2 EnergyPRO mudeli algandmed

Mudeli modelleerimisel on tähtis valida õiged sisendandmed, et saada võimalikult täpne mudel. Selleks, et mudel oleks korratav on vaja detailselt ära kirjeldada, milliseid algandmeid ning piiranguid mudel sisaldab.



Energy unit (or elec. Demand)	Production to store allowed	Transmit to other sites allowed	Partial load allowed	Electricity market	In operation from beginning
Eesti päikesepargid	✓	✓	✓	Elektriturg	✓
Läti päikesepargid	✓	✓	✓	Elektriturg	✓
Leedu päikesepargid	✓	✓	✓	Elektriturg	✓
Leedu meretuulepargid	✓	✓	✓	Elektriturg	✓
Leedu tuulepargid	✓	✓	✓	Elektriturg	✓

Joonis 5.3 Tootmisstrateegia

Mudeli tootmisstrateegia on määratud kasutaja poolt, kus on prioriseeritud taastuvenergia tootmisüksused, mis tähendab et mudelis üritavad katta tarbimist peamiselt päikese- ja tuulepargid ning puudujäägi korral rakenduvad ülejäänud taastuvenergia tootmisüksused. Viimasena rakenduvad mittetaastuvad tootmisüksused, seda ainult siis kui taastuvenergia ei ole võimeline katma tarbimist. Päikese- ja tuuleparkide tootmisstrateegias on vaja määrata, et üle tootmisel on lubatud elektri salvestamine, mida saab kasutada elektritoodangu madalamatel perioodidel. Samuti on tootmisstrateegias määratud saare operatsioon, kus on lubatud vajalik elektrivahetus elektriturul. Mudelis lõputulemuste arvutusmeetodiks on kasutatud analüütilist meetodit. [24] [38]

2030. aasta mudelis on vajalik sisestada elektri tarbimise andmed, selleks on kasutatud ENTSO-E andmebaasi, kust on saadud 2021. aasta tunnipõhise tarbimise andmed. 2021. aasta andmeid on kasutatud, sest 2030. aasta tarbimise prognoosid on pidevalt muutuvad või puudulikud riikidel. Samuti võimaldab 2021. aasta tarbimise andmete kasutamine võrrelda mudeli tulemusi 2021. aasta elektritoodanguga. Mudelisse on lisatud fikseeritud hinnaga elektriturg, mis võimaldab elektri importi. Tootmisüksuste modelleerimisel on kasutatud 2030. aasta tootmisvõimsusi. Mudeli lihtsustamise mõttes, pole arvestatud hoolduste ja avariidega. [24] [38]

5.2.1 Päikeseparkide modelleerimine

Mudelis on Eesti, Läti ja Leedu päikesepargid modelleeritud sama päikesepaneeli sisendandmetega, sest päikeseparke on palju ning igal päikesepargil on kasutuses erinevat tüüpi päikesepaneelid. Mudeli lihtsustamiseks on paigutatud igas Balti riigis päikesepargid ühte punkti. Selline lahendus on kõige parem, sest väga paljude päikeseparkide kohta pole saadaval asukoha informatsiooni ega kasutatavate päikesepaneelide infot.

Päikeseparkide päikesepaneeliks on kasutatud SPR-MAX6-440-E4-AC paneeli, mille tootjaks on SUNPOWER. Paneel on valitud artiklite põhjal, kus on võrreldud 2022. aasta parimaid päikesepaneele. Päikesepaneeli valikul on arvestatud tulevikuga, sest aja jooksul kasvab paneelide efektiivsus ja võimsus. Tootja andmelehelt saab vajalikud sisendandmed energyPRO mudelile: [25] [26]

Tabel 5.1 EnergyPRO mudeli päikeseparkide sisendandmed riigi kohta [13] [17] [22] [26] [38]

Sisendandmed	Eesti	Läti	Leedu	Ühik
Tootmisvõimsus	1500	250	2000	MW
Kaldenurk	35	35	35	°
Kõrvalekaldne nurk lõuna ilmakaarest	0	0	0	°
Paneeli võimsus	440			W
Temperatuuri koefitsient võimsusest	-0,29			%/°C
Nominaalne töötemperatuur	60			°C
Muundamiskadu	10			%
Riigi päikeseparkide asukoht	Tartu	Ogre	Kaunas	

Tabelis 5.1 on väljatoodud mudelis modelleeritud päikeseparkide sisendandmed. Installeeritud kogutootmisvõimsused on saadud iga riigi päikeseparkide 2030. aasta tootmisvõimsuste prognoosidest. Paneelide kaldenurk on valitud lähtuvalt päikeseparkide paiknemis asukohast. Selleks on kasutatud PVGIS interaktiivset kaarti, mis aitab määrata vastavalt asukohale kõige optimaalsema kaldenurga elektritoodanguks. Loogika seisneb selles, et alati proovitakse päikesepaneele paigaldada nii, et tagada maksimaalne efektiivsus valitud asukohas. Sama põhimõte kehtib ka päikesepaneeli nurga valikul lõuna ilmakaare suhtes. Temperatuuri koefitsient võimsusest on -0,29 %/°C, mis tähendab, et õhutemperatuuri kasvamisel langeb päikesepaneeli tootmisvõimsus. Nominaal töötemperatuuriks on valitud 60 °C, mis on mudeli katsetamise käigus saadud, sest tootja andmelehe järgi on päikesepaneel võimeline töötama -40 °C kuni +60 °C. Päikeseparkide modelleerimisel tuleb ka arvestada muundamiskadudega, selleks on valitud 10%, mis on samuti saadud mudeli katsetamise käigus. [13] [17] [22] [26] [27] [38]

Päikeseparkide asukoha määramisel on lähtutud eksisteerivate päikeseparkide asukohast ja Global Solar Atlasi interaktiivsest päikesekiirguse kaardist (vt. lisa 4). Viimasena on vaja määrata mudeli tunnipõhine päikesekiirgus ja õhutemperatuur. Mudelis on võetud 2021. aasta päikesekiirguse ja õhutemperatuuri tunnipõhised andmed, antud andmed on madalama poolsed võrreldes 2020. ja 2019. aasta andmetega. Tunnipõhised mõõteandmed on energyPRO enda andmebaasist saadud, mis sisaldab erinevate mõõtejaamade andmeid. Lähtudes päikeseparkide asukohast on kasutatud sisendandmetes kõige lähedasema mõõtejaama mõõteandmeid. [28] [38]

5.2.2 Tuuleparkide modelleerimine

Elektrituuliku valikul on lähtutud tuuleparkide projekteerimise tulevikust, kus eesmärk on saavutada võimalikult suur tootmisvõimsus, võimalikult väikesel pinnal. Hetkel ei ole võimalik prognoosida ette, et millise võimsusega ning kelle elektrituulikuid kasutatakse tulevaste tuuleparkide rajamisel Balti riikides. Seetõttu on mudelis kasutatud tuuleparkide modelleerimisel Vestase V236-15,0 MW elektrituulikut, mille nimivõimsus on 15 MW. Tuulikut on võimalik installeerida nii merele kui ka maismaale. Valikule aitas kaasa ka Eesti Liivi lahe meretuulepargi projekt, mille kohaselt planeeritakse paigaldada 2028. aastaks 50-100 elektrituulikut, see tähendab et ühe elektrituuliku võimsus jääb 10-20 MW juurde, sest projekti koguvõimsus on 1000 MW. Vestase elektrituulik on suurima nimivõimsusega toodetav tuulik Euroopas. [21] [32] [33] [38]

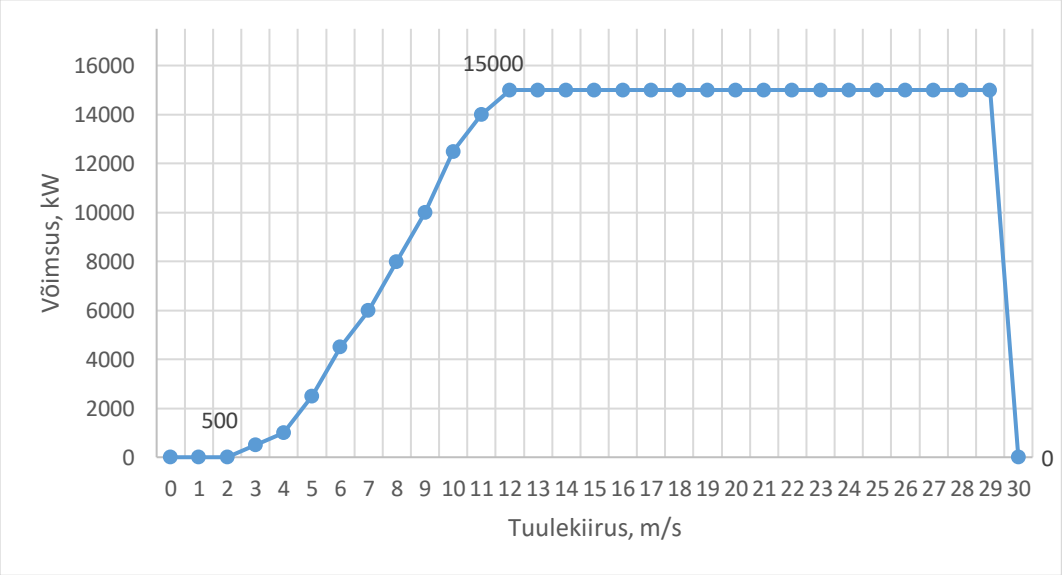
Tuuleparkide modelleerimisel on lähenemisviis sama nagu päikeseparkide korral, ainuke vahe on et tuulepargid on jaotatud mere ja maismaa tuuleparkideks igas piirkonnas. Tuuleparkide modelleerimisel on tähtsad järgnevad sisendandmed:

Tabel 5.2 EnergyPRO mudeli tuuleparkide sisendandmed riigi kohta [13] [14] [20] [22] [32] [38]

Sisendandmed	**Eesti**	**Läti**	**Leedu**	**Ühik**
Tootmisvõimsus	1491 (millest 1000 on meretuulepargid)	1200 (millest 500 on meretuulepargid)	5000 (millest 1400 on meretuulepargid)	MW
Tuuliku nimivõimsus	25			MW
Masti kõrgus (ingl. hub height)	160 (maismaal) ja 200 (merel)			m
Mõõtekõrgus	25			m
Käivitamise tuulekiirus (ingl. *cut-in wind speed*)	3			m/s
Nimivõimsuse tuulekiirus (ingl. *rated wind speed*)	12			m/s
Väljalülitamise tuulekiirus (ingl. *cut-out wind speed*)	30			m/s
Asukoht	Liivi laht (merel) ja Torgu vald (maismaal)	Ventspils (merel) ja Grobina (maismaal)	Palanga (merel) ja Palanga (maismaal)	

Tuuliku Hellmanni eksponent on valitud mudeli korrigeerimise käigus, tuuliku elektritoodangu korrigeerimiseks on kasutatud kasutusteguri valemit (vt. lisa 3), et saada kõige realistlikum elektritoodang valitud asukohas. Tuuliku käivitamise, nimivõimsuse ja väljalülitamise tuulekiirus on leitavad tootja andmelehelt, sealhulgas

ka tuuliku nimivõimsus. Elektrituuliku masti kõrguseks on valitud merel 200 meetrit ja maismaal 160 meetrit. Mõõtejaamade korral on eeldatud, et mõõtekõrgus on 25 meetrit. Mere ja maismaa tuuleparkide asukoha valikul on lähtutud eksisteerivate tuuleparkide asukohast ja Global Wind Atlasist, kust näeb keskmist tuulekiirust valitud asukohas (vt. lisa 4). Tuuleparkide modelleerimisel on vajalik sisendandmetes tunnipõhine tuulekiirus, selleks on kasutatud tuulepargi asukoha lähedal asuva mõõtejaama 2021. aasta tuulekiiruse andmeid, mis on madalam kui 2019. ja 2020. aasta andmed. Viimaseks on vajalik koostada elektrituulikule võimsuskõver, mida on samuti kasutatud sisendandmetes: [38]



Joonis 5.4 Elektrituuliku võimsuskõver [32]

Võimsuskõverast on näha, et elektrituuliku käivitamise tuulekiirus on 3 m/s ja tuulik saavutab nimivõimsuse tuulekiirusega 12 m/s. Kui tuulekiirus saavutab 30 m/s, siis lülitub tuulik välja. [32]

5.2.3 Elektrijaamade modelleerimine

Vajalik on summeerida elektrijaamade tootmisvõimsused vastavalt tarbitavale kütusele, sest mudeli modelleerimisel on tähtis prioriseerida elektri tootmises taastuvenergiat. Tabelitest 2.1, 3.1 ja 4.1 on näha Balti riikide elektrijaamade tootmisvõimsusi ning tarbitavat kütuseliiki. 2021. aasta elektritoodangu kuupõhiseid andmeid on mudelis kasutatud ainult hüdroelektrijaamade modelleerimisel, et limiteerida elektritoodangut. Kuna hüdroelektrijaamade töö sõltub veehulgast, mis omakorda sõltub sademetest. Seega ei saa hüdroelektrijaamad pidevalt töötada. Mudelis on kasutatud reaalsete tootmisandmete põhjal arvutatud kuupõhist hüdroenergia ressursi kogust, tagades

sellega realistlikuma toodangu. Teiste elektrijaamade korral sama probleemi ei esine. Elektrijaamade modelleerimisel on sisendandmeteks: [38]

- Tootmisvõimsus, MW;
- Kasutatava küttevääртuse sisend, MWh;
- Kuupõhine elektritoodang 2021. aastal, MW (hüdroelektrijaamad).

5.2.4 Pumphüdroelektrijaama modelleerimine

Pumphüdroelektrijaamu pole Balti riikides rohkem kui üks, mis asub Kruonises, Leedus. Pumphüdroelektrijaama mudel erineb hüdroelektrijaama mudelist ning seetõttu tuleb kasutada erinevaid sisendandmeid modelleerimisel: [36]

Tabel 3.5 Pumphüdroelektrijaama sisendandmed [35] [36] [37] [38]

Sisendandmed	**Pumphüdroelektrijaam**	**Ühik**
Tootmisvõimsus	900	MW
Tootmisvõimsuse efektiivsus	74	%
Kõrguste vahe	100	m
Reservuaari maht	49000000	m^3
Kasutatavuse määr	100	%
Pumpamisvõimsus	880	MW
Pumpamisvõimsuse efektiivsus	74	%

Pumphüdroelektrijaama sisendandmed on nähtavad tabelist 3.5, kus 2030. aasta tootmisvõimsus on saadud Balti riikide tootmisvõimsuste koondtabelist 1.2. Ülejäänud pumphüdroelektrijaama sisendandmed on saadud netimaterjalist.

6. MODELLEERIMISE TULEMUSED

Käesolevas peatükis antakse ülevaade energyPRO tarkvaraga modelleeritud 2030. aasta elektri tootmisest. Mudeli tulemuste võrdlemiseks kasutatakse 2021. aasta elektritoodangu andmeid.

6.1 Balti riikide kombineeritud tulemused

Peatüki 5 kirjeldatud sisendandmete alusel koostati energyPRO mudel, mille kaudu saadi tarbimise ja tootmise andmed iga riigi kohta 2030. aastal. Koondtabelis 6.1 on väljatoodud iga riigi mudeli tunnipõhised andmed.

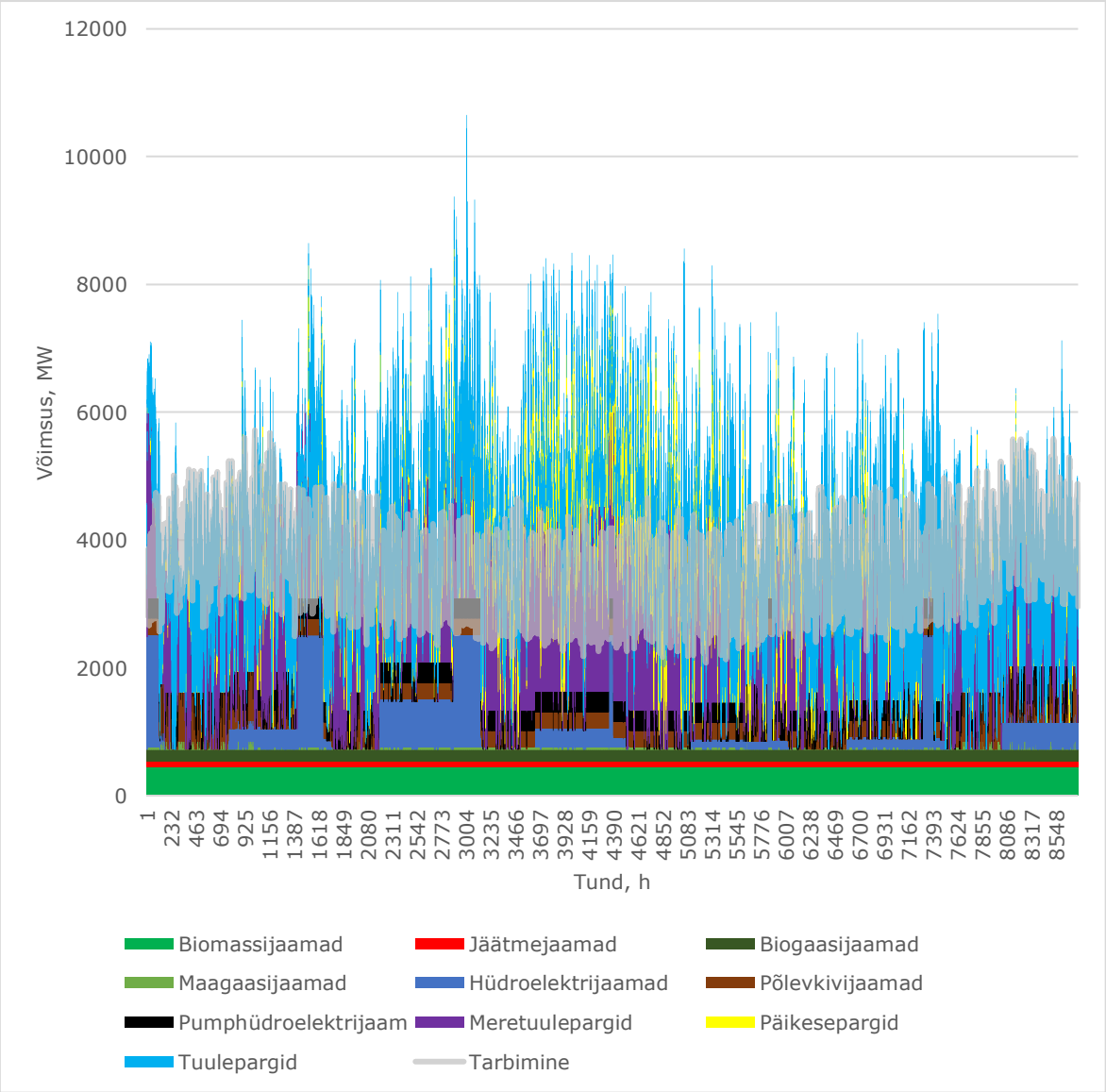
Tabel 6.1. Balti riikide tarbimine, tootmine, import ja eksport 2030. aastal [8]

	Eesti	**Läti**	**Leedu**	**Kokku**
Tootmine (GWh)	11313	9096	19969	40378
Tarbimine (GWh)	8429	7312	16064	31805
Import (GWh)	1360	786	991	3137
Eksport (GWh)	4244	2570	4896	11710
Tiputarbimine (MW)	1591	1237	3047	5715
Tipptootmine (MW)	3479	3081	5672	10653
Suurim netoimport (MW)	1281	808	1746	1964
Suurim netoeksport (MW)	2724	2162	3860	6501

Balti riikide 2030. aasta elektri tootmise ja tarbimise modelleeritud mudeli tulemuseks on saadud, et Eesti, Läti ja Leedu on võimelised oma tarbimist katma elektritoodanguga. Kõige soodsamal kohal on Leedu, kes toodab elektrit 3905 GWh rohkem kui tarbib. Eesti elektritoodang on samuti suurem kui Läti oma. Läti madala elektritoodangu põhjuseks on kõige väiksem kogutootmisvõimsus kõikidest Balti riikidest, aga isegi siis on võimeline katma oma tarbimist.

2030. aasta modelleeritud mudeli Balti riikide summeeritud elektri tarbimiseks on saadud 31805 GWh ja elektritoodanguks 40378 GWh. Elektritoodang on suurenenud märkimisväärselt võrreldes 2021. aastaga, selleks on 24670 MW (vt. lisa 6). Samuti on ka tarbimine suurenenud 3692 MW, selle põhjuseks on pumphüdroelektrijaama

aktiivsem roll elektritoodangus. Balti riikide modelleeritud mudeli elektri tarbimist ja tootmist näeb jooniselt 6.1.

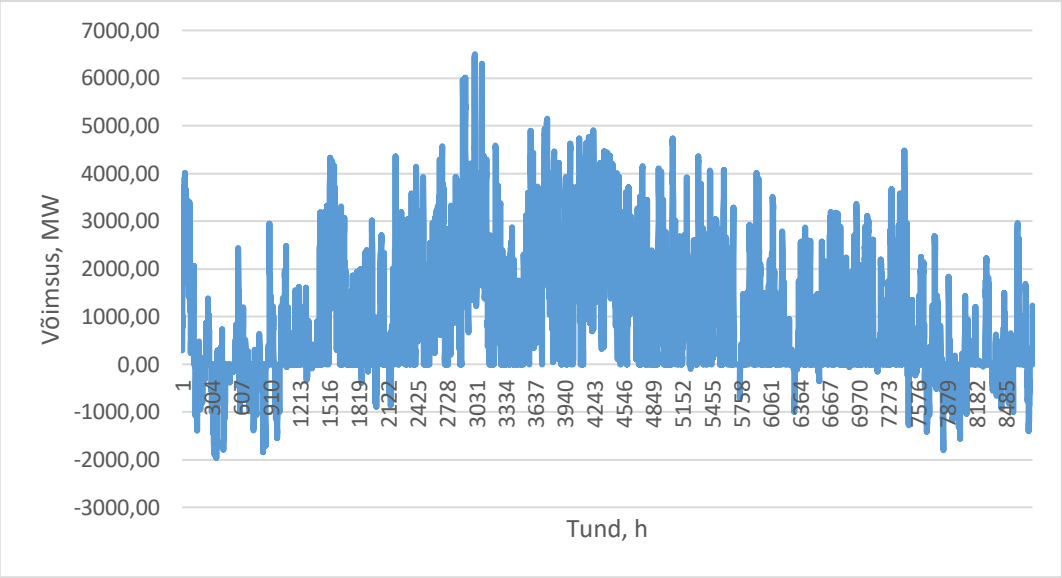


Joonis 6.1 Balti riikide modelleeritud elektritoodang 2030. aastal

Balti riikide elektri tootmise joonist analüüsides on näha, et suurema osa elektri tarbimisest kaetakse tuuleparkide elektritoodanguga. Võrreldes 2021. aastaga on päikeseparkide osakaal elektritoodangus kasvanud 10%-ini ja tuuleparkide osakaal 52%-ini (vt. lisa 6). Üldiselt on 2030. aastaks taastuvenergia osakaal elektritoodangus 47%-ilt kasvanud 86%-ni.

Energiajulgeoleku seisukohast on ka olukord parenenud, sest elektri import on langenud ligikaudu 86% võrreldes 2021. aastaga. Suurema osa elektri impordist imporditakse talvel ja sügisel (vt. lisa 8). Kuna eesmärk oli näha, kas prognoositud tootmisvõimsused on võimelised Balti riikide elektri tarbimist katma rohelise energiaga, siis saadud

tulemuste põhjal saab järeldada, et nad on rohkem kui võimelised tarbimist katma. Järeldust kinnitab ekspordi ja impordi joonis 6.2.

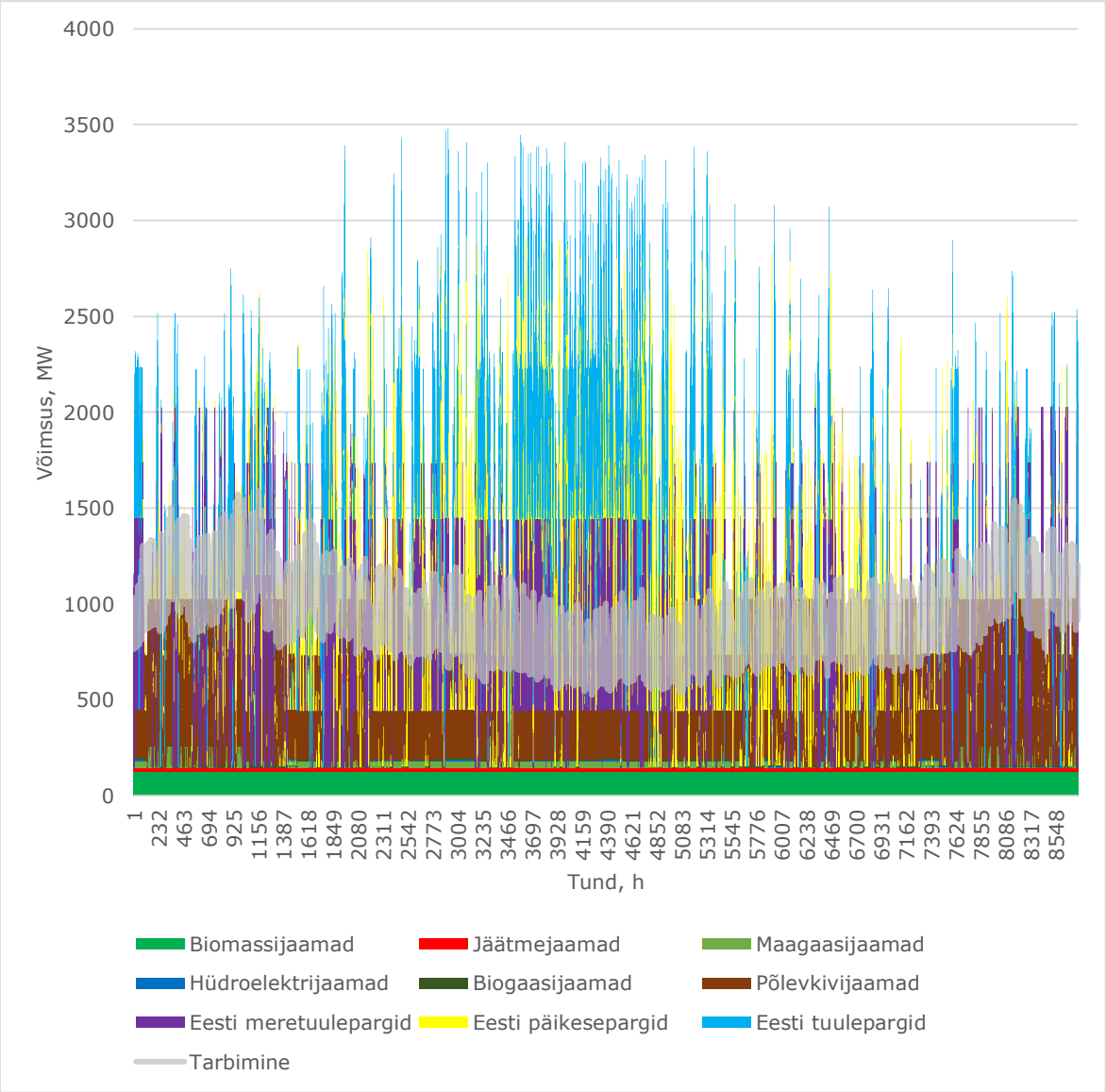


Joonis 6.2 Balti riikide import ja eksport 2030. aastal

Kui võrrelda Balti riikide 2021. aasta elektritoodangut 2030. aasta modelleeritud elektritoodangu mudeliga, saab järeldada, et elektritoodang on suurem, ning paremini võimeline katma Balti riikide elektri tarbimist. Kuna antud mudel kasutab 2021. aasta elektri tarbimise andmeid, siis hetkel prognoositud tootmisvõimsuste juures on Balti riigid võimelised elektrit tootma ka tulevikus piisavalt. Ilma, et oleks vaja suurtes kogustes elektrit importida nagu 2021. aastal. Küll peab mainima, et tarbimine kindlalt kasvab tulevikus, mille tõttu muutub ekspordi osakaal palju väiksemaks, kui hetkel saadud tulemustes on.

6.2 Eesti tulemused

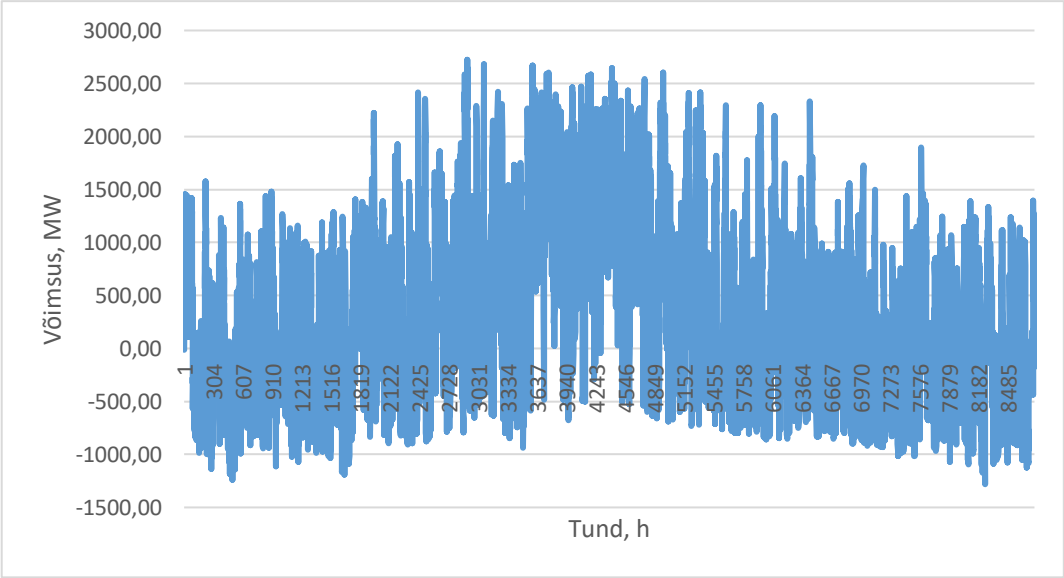
Eesti 2030. aasta mudeli korral on elektri tarbimine 8429 GWh. Tarbimine on sama nagu 2021. aastal. Eesti elektritoodangust moodustas 65% taastuvenergia, millest 40% on tuulepargid ja 13% päikesepargid (vt. lisa 6). See on suur erinevus, kui vaadata 2021. aasta elektritoodangut, kus 30% oli taastuvenergia osakaal elektritoodangus. Eesti mudeli elektritoodangu tulemusi näeb jooniselt 6.3.



Joonis 6.3 Eesti modelleeritud elektritoodang 2030. aastal

Joonist 6.3 analüüsides on märgata, et 2030. aastal on tuulepargid võtnud üle rolli põlevkivijaamadelt, kui peamise elektritootjana. Kuid põlevkivijaamad on jätkuvalt tähtsad selleks, et tagada vajalik elektritoodang, moodustades 31% koguelektritoodangust. Päikeseparkide osalus elektritoodangus on kasvanud 7% võrreldes 2021. aastaga. Kõige märgatavam on tuuleparkide kasv, milleks on 27%. Baastoodangu moodustab biomass ja jäätmed.

Eesti mudeli elektri import on 1360 GWh, see on 5809 GWh vähem, kui 2021. aastal, milleks oli 7169 GWh. Kui elektri import on vähenenud, siis ekspordi osakaal on kasvanud, isegi kui eksport on 277 GWh madalam kui 2021. aastal. Peamiselt imporditakse elektrit talvel (35%) ja sügisel (32%), ning eksporditakse suvel (47%) (vt. lisa 8). Jooniselt 6.4 on näha Eesti mudeli elektri importi ja eksporti.

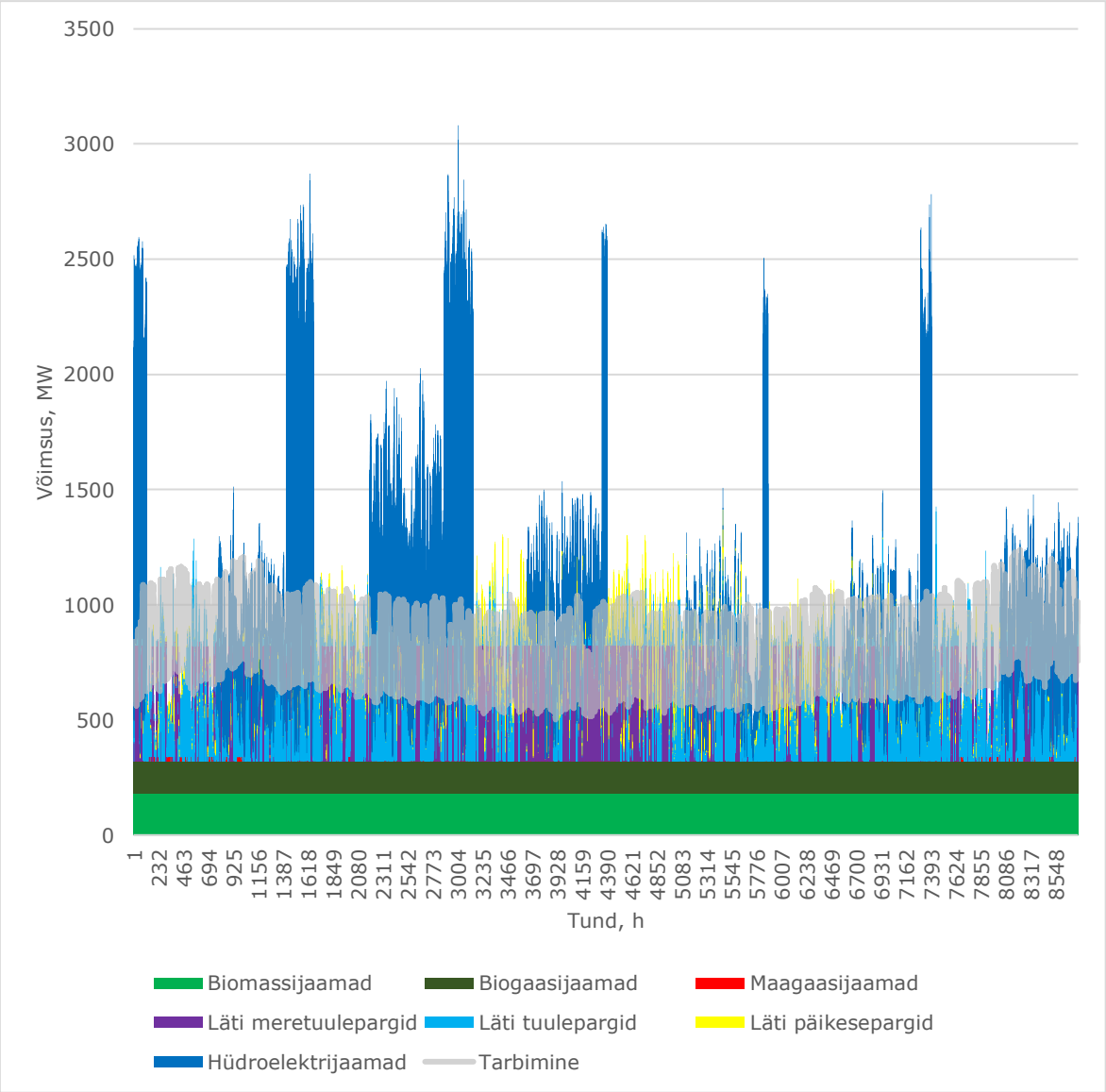


Joonis 6.4 Eesti import ja eksport 2030. aastal

Eesti mudeli tulemustest saab järeldada, et põlevkivil on jätkuvalt tähtis osa elektritoodangus, küll kordades väiksem kui 2021. aastal. Kui põlevkivijaamad eemaldada, siis saab eeldada, et elektri impordi osakaal tõuseb ka. Võrreldes Eesti elektri tootmise tulemusi teiste riikidega, siis on Eesti taastuvenergia osakaal kõige väiksem elektritoodangus.

6.3 Läti tulemused

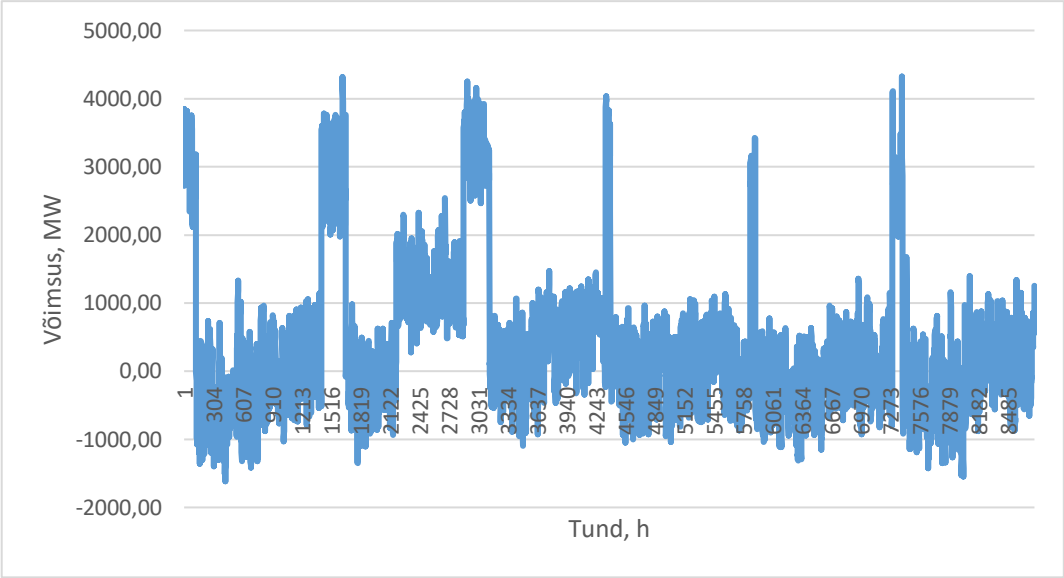
Läti mudeli põhjal on saadud elektri tarbimine 7312 GWh ja tootmine 9096 GWh. Elektri tootmine on kasvanud 3536 GWh võrreldes 2021. aastaga. Läti elektritoodang on kehvem, kui Eesti ja Leedu oma, kuid taastuvenergia osakaal on palju suurem, ligikaudu 100%. Läti peamised tootmisüksused on hüdroelektrijaamad (29%) ja tuulepargid (37%) (vt. lisa 6). Taastuvenergia osakaal elektritoodangus on suurenenud 42% võrreldes 2021. aastaga. Suur muutus on tingitud selles, et maagaasijaamad on põhiliselt asendatud tuuleparkidega. Jooniselt 6.5 on näha Leedu mudeli elektritoodangut.



Joonis 6.5 Läti modelleeritud elektritoodang 2030. aastal

Läti on võimeline oma elektritoodanguga katma elektri tarbimist praktiliselt aastaringselt. Läti mudeli elektritoodangust saab täheldada, et tuuleenergiast ja hüdroenergiast toodetakse põhiliselt terve aasta, ainuke periood on kevad ja suvi, kus elektrit toodetakse ka päikeseparkidest. Baastoodangu moodustab biomass ja biogaas.

Läti mudelis saadud elektri import on 786 GWh, see on 3184 GWh madalam kui 2021. aastal. Samas on elektri eksport kasvanud 353 GWh. Elektrit imporditakse peamiselt talvel (35%) ja sügisel (39%). Elektrit eksporditakse kõige rohkem kevadel (52%) (vt. lisa 8). Läti importi ja eksporti 2030. aastal näeb jooniselt 6.6.

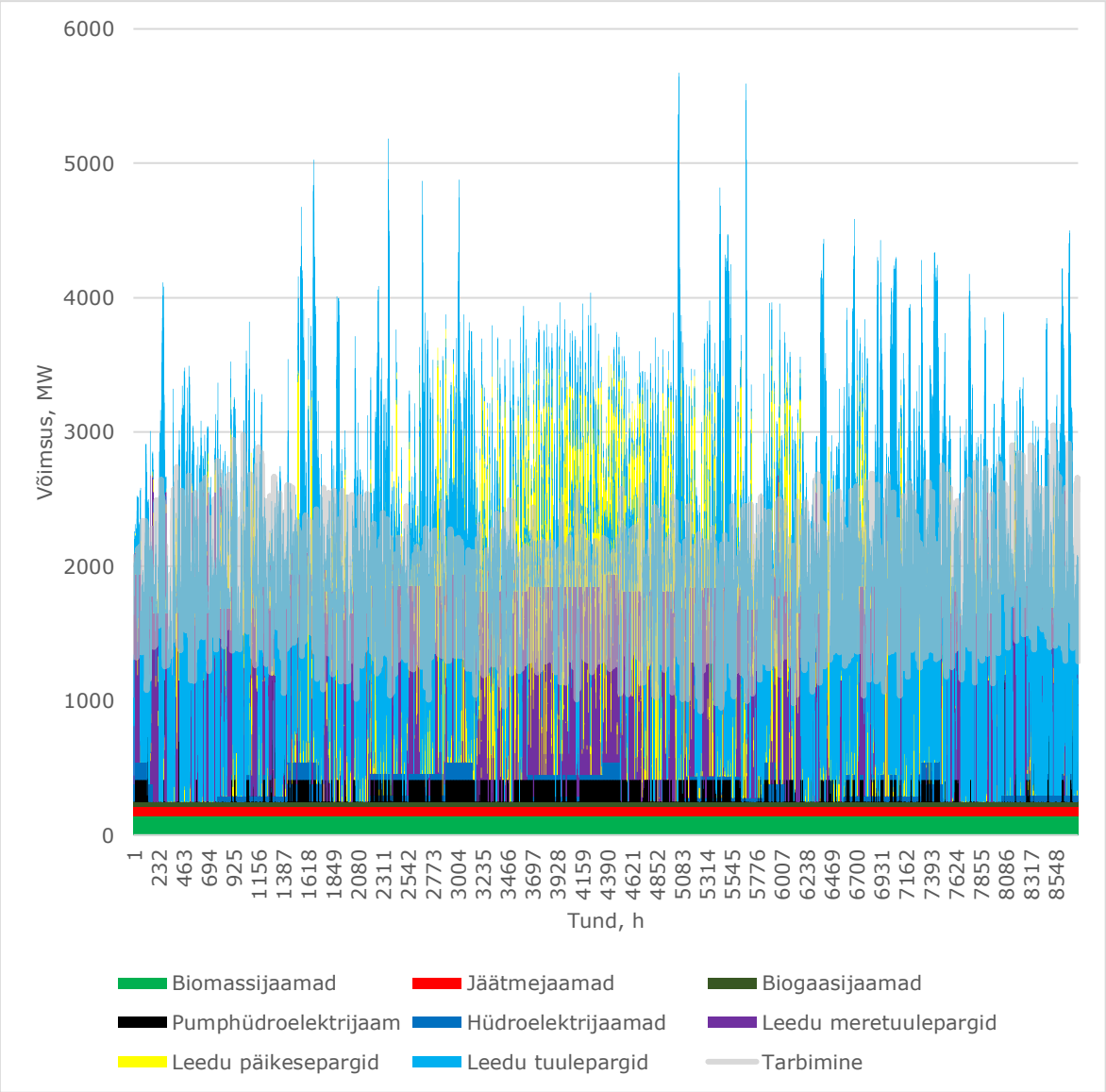


Joonis 6.6 Joonis 6.2 Läti import ja eksport 2030. aastal

Läti mudeli tulemuste põhjal saab öelda, et elektritoodang on parem kui 2021. aastal, kuid vajadus elektrit importida sügisel ja suvel on jätkuvalt olemas. Kõikidest riikidest on Lätil kõige väiksem varieeruvus elektritoodangus.

6.4 Leedu tulemused

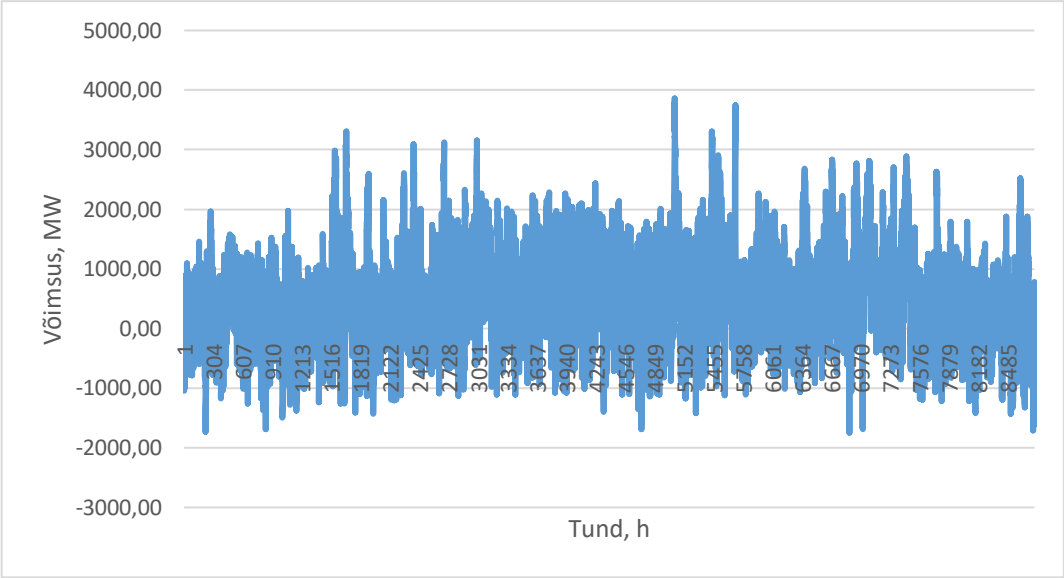
Leedu mudeli tulemuseks on saadud 2030. aasta elektri tarbimine 16064 GWh ja tootmine 19969 GWh. Tarbimine on suurenenud 3691 GWh võrreldes 2021. aasta tarbimisega. Kõige märgatavam muutus Leedu mudeli tulemustes on elektritoodang, mis on 2021. aastaga võrreldes 15764 GWh suurem. 2030. aasta elektritoodangust moodustas suurema osa tuulepargid (66%) ja päikesepargid (11%) (vt. lisa 6). Taastuvenergia osakaal on suurenenud 36% võrreldes 2021. aasta 54%-iga. Leedu elektritoodang ja tarbimine on kõige suurem kõikidest Balti riikidest. Leedu mudeli elektritoodangu tulemusi saab näha jooniselt 6.7.



Joonis 6.7 Leedu modelleeritud elektritoodang 2030. aastal

Leedu elektritoodangu jooniselt 6.7 on näha, et pumphüdroelektrijaam, tuule- ja päikesepargid toodavad suurema osa elektrist. Baastoodangu moodustab biomass ja jäätmed. Leedu mudeli tulemustest saab järeldada, et riigi eesmärk tagada elektri tarbimine puhtalt taastuvenergiast ei ole täielikult saavutatud, sest 10% kogu elektritoodangust moodustab pumphüdroelektrijaam.

Leedu mudelis saadud elektri import on 991 GWh ja eksport on 4896 GWh. Suur muudatus võrreldes 2021. aastaga, kus enamus elektri tarbimisest kaeti elektri impordiga. Suurema osa elektri impordist toimub talvel (43%) ja ekspordist suvel (31%) (vt. lisa 8). Leedu elektri importi ja eksporti näeb jooniselt 6.8.



Joonis 6.8 Leedu import ja eksport 2030. aastal

Kuna elektritoodang on kasvanud 15764 GWh, siis elektri impordist sõltuvus on vähenenud märkimisväärselt. Kui 2021. aasta seisuga oli Leedu suuresti sõltuvuses elektri impordist, siis 2030. aasta modelleeritud mudelis ei ole enam seda probleemi, mistõttu on Leedu elektritoodang palju iseseisvam ning energiajulgeolek suurem, sest suur vajadus elektri impordile on kadunud.

KOKKUVÕTE

Bakalaureuse töö eesmärgiks oli kujutleda ette, et milline näeb Balti riikide elektri tootmine 2030. aastal välja. Selleks sai töös koostatud energyPRO tarkvara abil mudel, mis sisaldas hetkel saadaval olevaid andmeid kui ka tulevikus prognoositud andmeid. Mudeli tulemuste hindamiseks ja võrdlemiseks sai analüüsitud hetkeolukorda, milleks oli 2021. aasta elektri tootmise, tarbimise, impordi ja ekspordi andmed.

2021. aasta andmete analüüsi käigus selgus, et Balti riikide elektritoodangust moodustas mittetaastuvenergia tootmisüksused 53% kogu elektritoodangust. Eesti oli kõige madalama taastuvenergia osakaaluga, milleks oli 30%. Eesti madala taastuvenergia osakaalu põhjuseks on põlevkivijaamad. Samas oli Lätil kõige rohelisem elektritoodang, sest 58% kogu elektritoodangust moodustas taastuvenergia, millest 47% on hüdroelektrijaamad. Eesti ja Läti suurim erinevus oli, et kui Eesti kasutab mittetaastuvenergiat, et katta suurema osa elektri tarbimisest, siis Läti puhul oli teistpidi. Kõige halvem olukord oli Leedul, kelle elektritoodang oli praktiliselt olematu, kuid rohelisem, kui Eesti, sest Leedu elektritoodangust moodustas 54% taastuvenergia tootmisüksused, millest suurim on tuulepargid. Kui teised riigid olid võimelised oma elektri tarbimist osaliselt katma elektritoodanguga, siis Leedu sõltus täielikult elektri impordist. Selle põhjuseks oli suurem elektri tarbimine ja olematu elektritoodang võrreldes teiste Balti riikidega.

Prognoositud tootmisvõimsuste ja olemasolevate tootmisvõimsuste võrdlemisel sai täheldatud, et kõik Balti riigid on pannud suure rõhu taastuvenergia tootmisüksuste suurendamisele. Kui 2021. aasta andmete kohaselt moodustas 39% taastuvenergia tootmisvõimsused, siis 2030. aasta prognoositud tootmisvõimsustest on 89% taastuvenergia. Samuti on märgatav, et prognoositud taastuvenergia tootmisvõimsused ei asendanud ainult eksisteerivaid mittetaastuvenergia tootmisüksusi, vaid ka on plaanis paigaldada taastuvenergia tootmisüksusi juurde suurtes kogustes. Nendest tootmisvõimsustest kõige suuremat kasvu näevad tuule- ja päikesepargid, mis hakkavad tulevikus asendama põlevkivi- ja maagaasijaamu. Kõikidest Balti riikidest on Leedu prognoositud tootmisvõimsused on kõige suuremad. Nende eesmärk on asendada 1887 MW maagaasijaamu, tuule- ja päikeseparkidega, mille võimsused oleks 5000 MW ja 2000 MW. Prognoositud tootmisvõimsuste analüüsist selgus, et antud tootmisvõimsustega on võimalik saavutada taastuvenergia enamus.

Mudeli koostamisel jaotati Balti riigid kolmeks piirkonnas, milleks oli Eesti, Läti ja Leedu. Piirkondade tekitamine oli vajalik selleks, et saaks iga riigi jaoks teostada eraldi

analüüsi. Piirkonnad sisaldasid vastavalt riigile 2030. aastaks prognoositud tootmisvõimsusi, elektriturgu ja 2021. aasta elektri tarbimist. Mudelis sai kasutatud 2021. aasta elektri tarbimise andmeid selleks, et saaks paremini võrrelda elektritoodangut 2021. aasta ja 2030. aasta vahel. Mudeli modelleerimisel oli vajalik määrata taastuvenergia tootmisüksuste prioriteet kõrgemaks, kui mittetaastuvenergial. Seda tehti selleks, et saada parem ülevaate elektritoodangust tulevikus, kus peab sõltuma rohkem taastuvenergiast. Mudeli tuule- ja päikeseparkide korrigeerimisel sai kasutatud kasutusteguri valemit.

2030. aasta ja 2021. aasta andmete võrdluse tulemuseks saadi, et prognoositud tootmisvõimsustega suudetakse palju paremini katta elektri tarbimist kui 2021. aasta tootmisvõimsustega. Balti riikide kogu elektritoodangust moodustas 85% taastuvenergia, millest 52% on tuulepargid ja 10% on päikesepargid. Eesti taastuvenergia osakaal elektritoodangus oli 65%, mis oli teistest Balti riikidest madalam, sest Eesti sõltub väga palju põlevkivijaamadest. Läti elektritoodang oli kõige väiksem, kuid ligikaudu 100% taastuvenergiast. Leedu oli vahepealne oma taastuvenergia osakaaluga, kuid kõige märkimisväärsem oli see, et võrreldes 2021. aasta andmetega, kus sõltuti suuresti elektri impordist, on 2030. aasta mudeli tulemuste järgi Leedu suuteline katma oma elektri tarbimist elektritoodanguga.

Töö tulemustest saab järeldada, et taastuvenergia suurem osakaal 2030. aasta elektri tootmises, sai iga riigi poolt saavutatud, sest taastuvenergia osakaal elektritoodangus oli igal riigil suurem kui 55%. Selle põhjuseks on suuresti tuuleparkide ning päikeseparkide lisavõimsuste paigaldamine põlevkivi- ja maagaasijaamade asemele. Balti riikide sõltuvus elektri impordist 2030. aastal vähenes ja kasvas elektri ekspordi osakaal. Kõikidest riikidest paranes Leedu elektri tootmine kõige rohkem, sest riik on võimeline iseseisvalt oma tarbimist katma. Suur muudatus arvestades, et 2021. aastal imporditi 74% kogu tarbitavast elektrist. Töö tulemuste põhjal saab öelda, et kliima eesmärkide saavutamine on realistlik, kuid keeruline, sest päikese- ja tuuleparke on vaja rajada suures koguses ning ainult neile ei saa toetuda aastaringselt, sest tegu pole kõige stabiilsemate tootmisüksustega.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

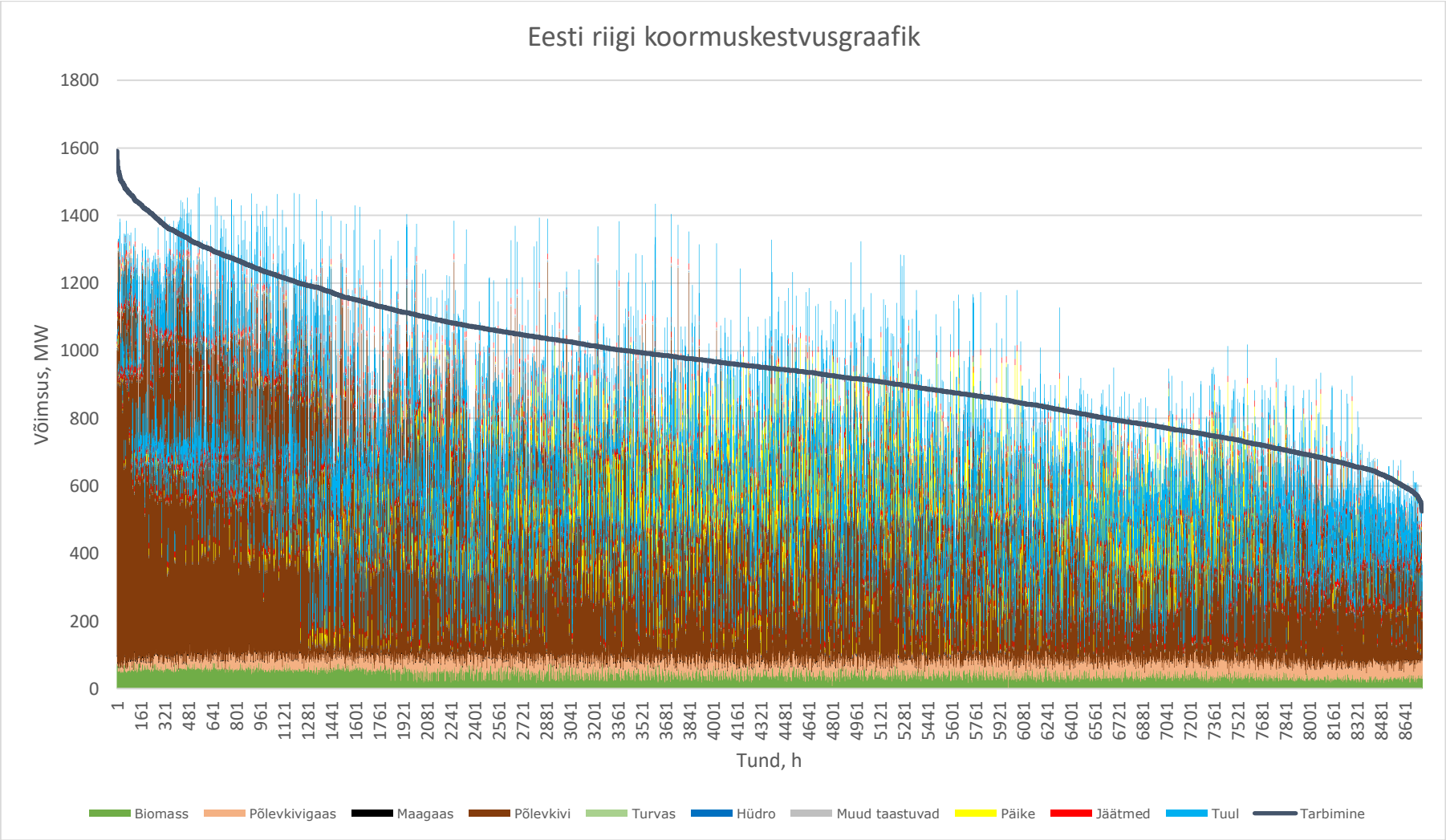
[1] Euroopa Komisjon, „ Estonia's National Energy and Climate Plan," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_et. [Kasutatud 20.09.2022]
[2] Euroopa Komisjon, „Latvia's National Energy and Climate Plan," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_et. [Kasutatud 20.09.2022]
[3] Euroopa Komisjon, „Lithuania's National Energy and Climate Plan," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-energy-and-climate-plans_et. [Kasutatud 20.09.2022]
[4] Euroopa Ülemkogu, „Infograafik – „Eesmärk 55"; mida teeb EL, et kliimaeesmärgid jõuaksid õigusaktidesse," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.consilium.europa.eu/et/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-turn-climate-goals-into-law/. [Kasutatud 28.09.2022]
[5] Shared Green Deal, „Clean Energy," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://sharedgreendeal.eu/clean-energy. [Kasutatud 28.09.2022]
[6] ENTSO-E, „Grid Map downloads," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.entsoe.eu/data/map/downloads/. [Kasutatud 28.09.2022]
[7] Elering AS, „Elektrisüsteem," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://elering.ee/elektrisusteem. [Kasutatud 28.09.2022]
[8] Ken Mürk, „Balti riigid kasutavad Vene elektrisüsteemi ainult võrgusageduse hoidmiseks," ERR, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.err.ee/1608621868/balti-riigid-kasutavad-vene-elektrisusteemi-ainult-vorgusageduse-hoidmiseks. [Kasutatud 16.10.2022]
[9] Elering AS, „Sünkroniseerimine Mandri-Euroopaga," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://elering.ee/sunkroniseerimine. [Kasutatud 16.10.2022]
[10] Elering AS, „Sünkroniseerimine KKK," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://elering.ee/sunkroniseerimise-kkk. [Kasutatud 20.10.2022]
[11] ENTSO-E, „Transparency Platfrom," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show. [Kasutatud 02.10.2022]
[12] Elering AS, „Elektri tarbimine ja tootmine," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://elering.ee/elektri-tarbimine-ja-tootmine. [Kasutatud 02.10.2022]

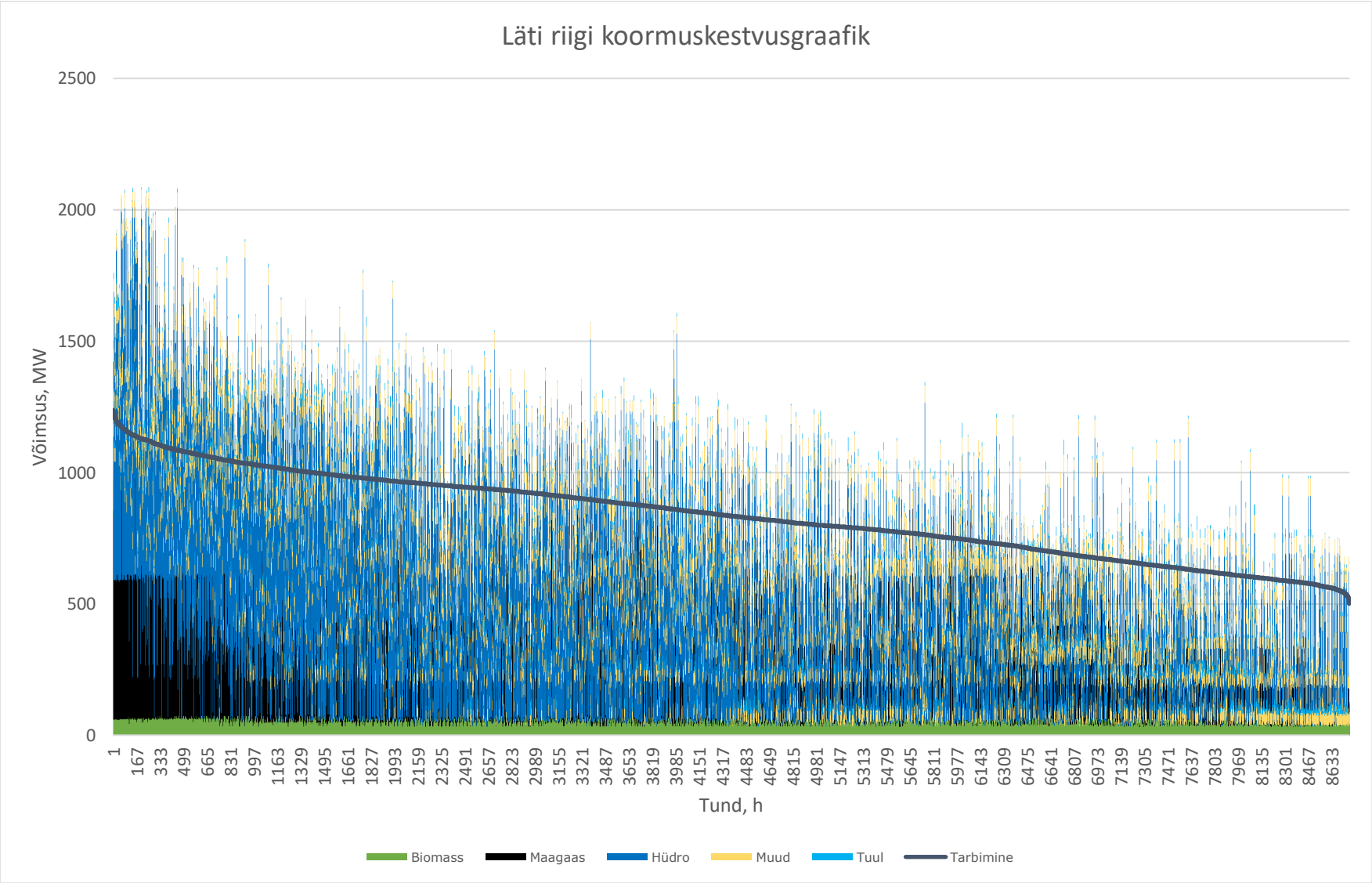
[13] Sunly, „Lithuania sees renewable energy as a way out of Russian gas," Sunly, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://sunly.ee/lithuania-sees-renewable-energy-as-a-way-out-of-russian-gas/. [Kasutatud 15.11.2022]
[14] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2021," [Võrgumaterjal]. Saadaval: Varustuskindluse aruanded | Elering. [Kasutatud 02.10.2022]
[15] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2020," [Võrgumaterjal]. Saadaval: Varustuskindluse aruanded | Elering. [Kasutatud 02.10.2022]
[16] Elering AS, „Varustuskindluse aruanne 2019," [Võrgumaterjal]. Saadaval: Varustuskindluse aruanded | Elering. [Kasutatud 02.10.2022]
[17] Silver Sillak, Estonian Green Movement, „100 per cent Renewable electricity is a realistic and necessary target for Estonia and Europe," CEE Bankwatch Network, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://bankwatch.org/blog/100-per-cent-renewable-electricity-is-a-realistic-and-necessary-target-for-estonia-and-europe. [Kasutatud 19.10.2022]
[18] Rödl & Partner, „Renewable energy project development in the Baltics," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.roedl.com/insights/baltic-states-estonia-latvia-lithuania-projects-renewable-energy. [Kasutatud 19.10.2022]
[19] The Baltic Times, „Estonia initiates designated spatial plan for connections of Gulf of Riga offshore farm," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.baltictimes.com/estonia_initiates_designated_spatial_plan_for_connections_of_gulf_of_riga_offshore_farm/. [Kasutatud 22.10.2022]
[20] Eesti Energia AS, „Eesti Energia Tegevuskava 2022-2026," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.energia.ee/-/doc/8644186/pdf/EestiEnergia.pdf. [Kasutatud 24.10.2022]
[21] Eesti Energia AS, „Projekti info - Liivi lahe meretuulepark," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://liivimeretuulepark.ee/projekti-info. [Kasutatud 24.10.2022]
[22] AST, „Transmission system operaator information for the year 2021," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ast.lv/en/content/tso-annual-statement. [Kasutatud 31.10.2022]
[23] Litgrid, „Generation capacity 2021," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.litgrid.eu/index.php/power-system/power-system-information/generation-capacity/546. [Kasutatud 06.11.2022]
[24] EMD International, „EMD International energyPRO," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.emd-international.com/energypro/. [Kasutatud 17.11.2022]
[25] Jason Svarc, „Most Efficient Solar Panels 2022," Clean Energy Reviews, 2022. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels. [Kasutatud 20.11.2022]

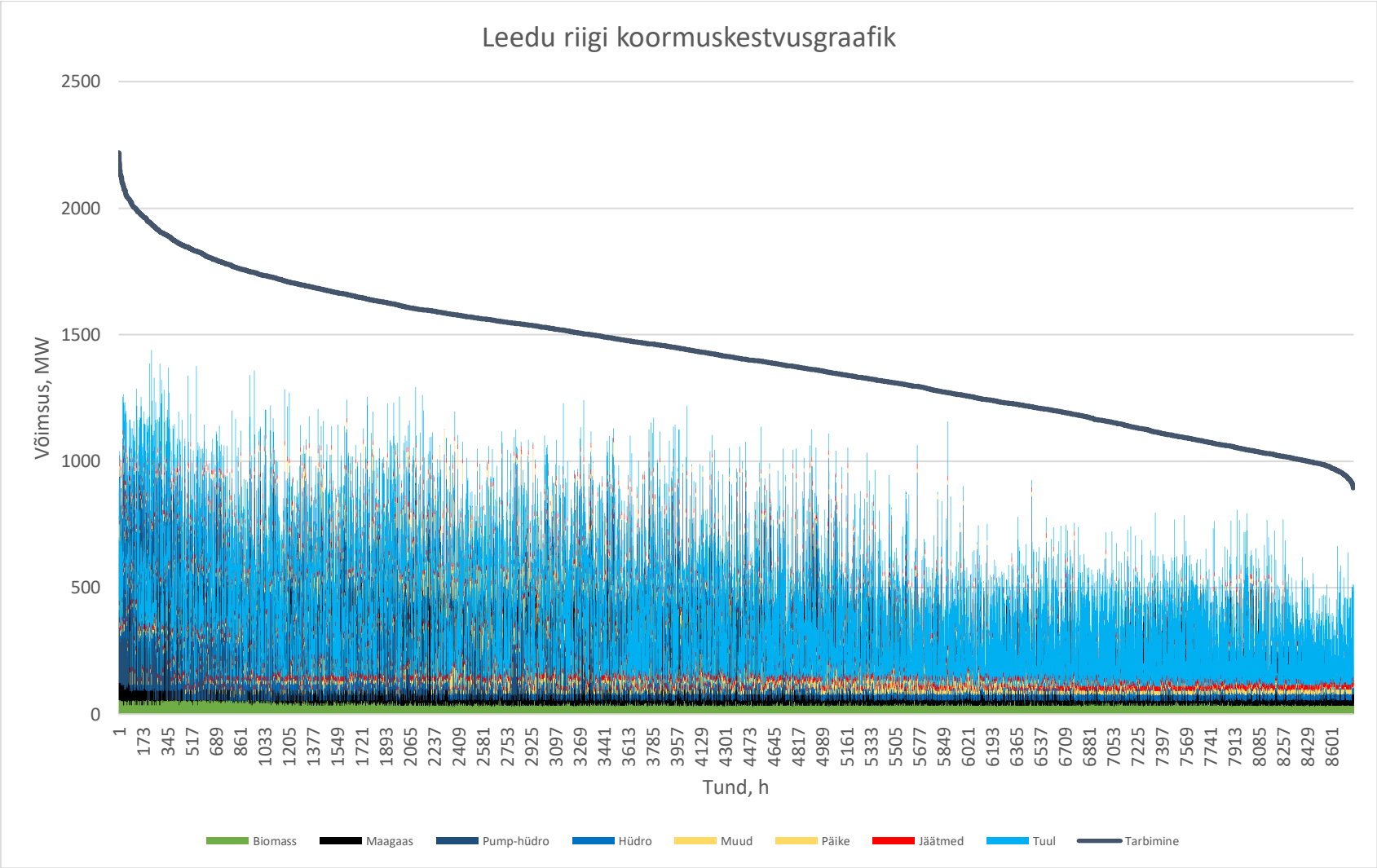
[26] SunPower, „Maxeon 6 AC Solar Panel 420-440 W," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://sunpower.maxeon.com/int/sites/default/files/2022-09/sp_max6_66c_res_e4_ac_ds_en_a4_546816.pdf. [Kasutatud 21.11.2022]
[27] Euroopa Komisjon, „Photovoltaic Geographical Information System," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. [Kasutatud 21.11.2022]
[28] Global Solar Atlas, „Global Solar Atlas," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.613281,3. [Kasutatud 21.11.2022]
[29] Fraunhofer ISE, „Energy-Charts," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.energy-charts.info/map/map.htm?l=en&c=EE&zoom=7&lat=58.128&lng=25.56&country=EE. [Kasutatud 21.11.2022]
[30] Fraunhofer ISE, „Energy-Charts," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.energy-charts.info/map/map.htm?l=en&c=LV&zoom=7&lat=55.134&lng=24.516&country=LV. [Kasutatud 21.11.2022]
[31] Fraunhofer ISE, „Energy-Charts," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.energy-charts.info/map/map.htm?l=en&c=LT&zoom=8&lat=56.128&lng=23.733&country=LT. [Kasutatud 21.11.2022]
[32] Vestas, „MHI Vestas Offshore V236-15.0 MW," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.vestas.com/en/products/offshore/V236-15MW. [Kasutatud 23.11.2022]
[33] Risto Lillemäe, „Meretuulepargi tasuvuse hindamine energyPRO tarkvara abil," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://digikogu.taltech.ee/et/Item/9424c5ac-c858-4c47-9d49-1172bd5d84d3. [Kasutatud 23.11.2022]
[34] Global Wind Atlas, „Global Wind Atlas," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://globalwindatlas.info/en. [Kasutatud 21.11.2022]
[35] Ministry of Energy of the Republic of Lithuania, „Pumped-storage hydroelectricity Plant Kruonis (5th block)," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://enmin.lrv.lt/en/strategic-projects/electricity-sector/pumped-storage-hydroelectricity-plant-kruonis-5th-block. [Kasutatud 25.11.2022]
[36] Ignitis gamyba, „Kruonis Pumped Storage Hydroelectric Plant (the KPSHP)," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ignitisgamyba.lt/en/our-activities/electricity-generation/kruonis-pumped-storage-hydroelectric-plant-the-kpshp/4188. [Kasutatud 26.11.2022]
[37] J. Augustis, J. Simaityte Volskiene, E. Uspuras ja J. Kriauciuniene, „Risk analysis of the Kaunas hydropower system," Vytautas Magnus University, Lithuanian Energy Institute, 2004 [Võrgumaterjal]. Saadaval:

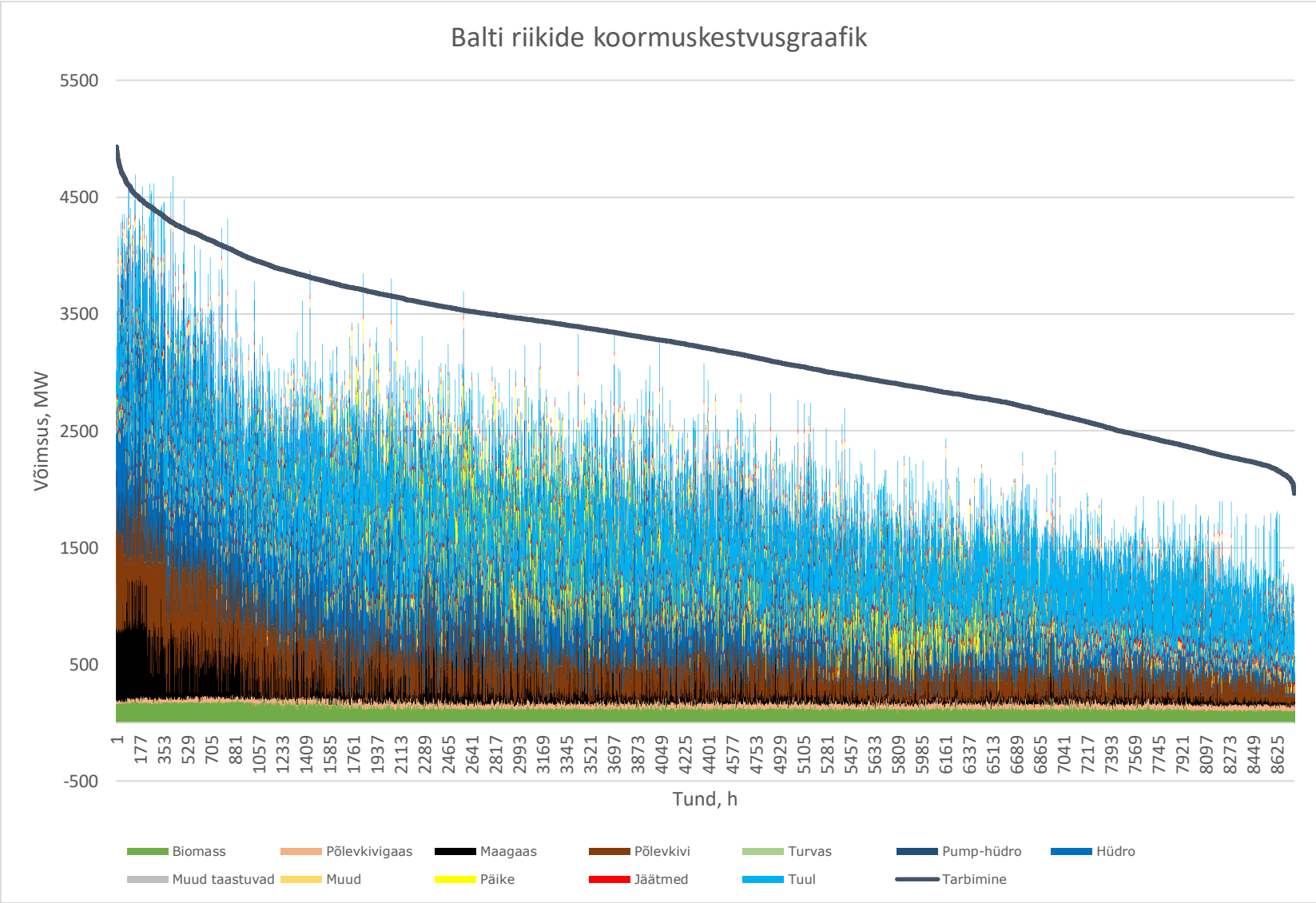
https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/RISK04/RISK04050FU.pdf. [Kasutatud 26.11.2022]
[38] EMD International, „energyPRO User's Guide," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.emd-international.com/energypro/support/tutorials-guides/. [Kasutatud 17.11.2022]
[39] EMD International, „Wind farms in energyPRO," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.emd-international.com/energypro/support/tutorials-guides/. [Kasutatud 17.11.2022]
[40] Energiatalgud, „Kasutustegur," [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://energiatalgud.ee/moisted/kasutustegur. [Kasutatud 17.11.2022]

LISA 1. 2021. aasta koormuskestvusgraafikud

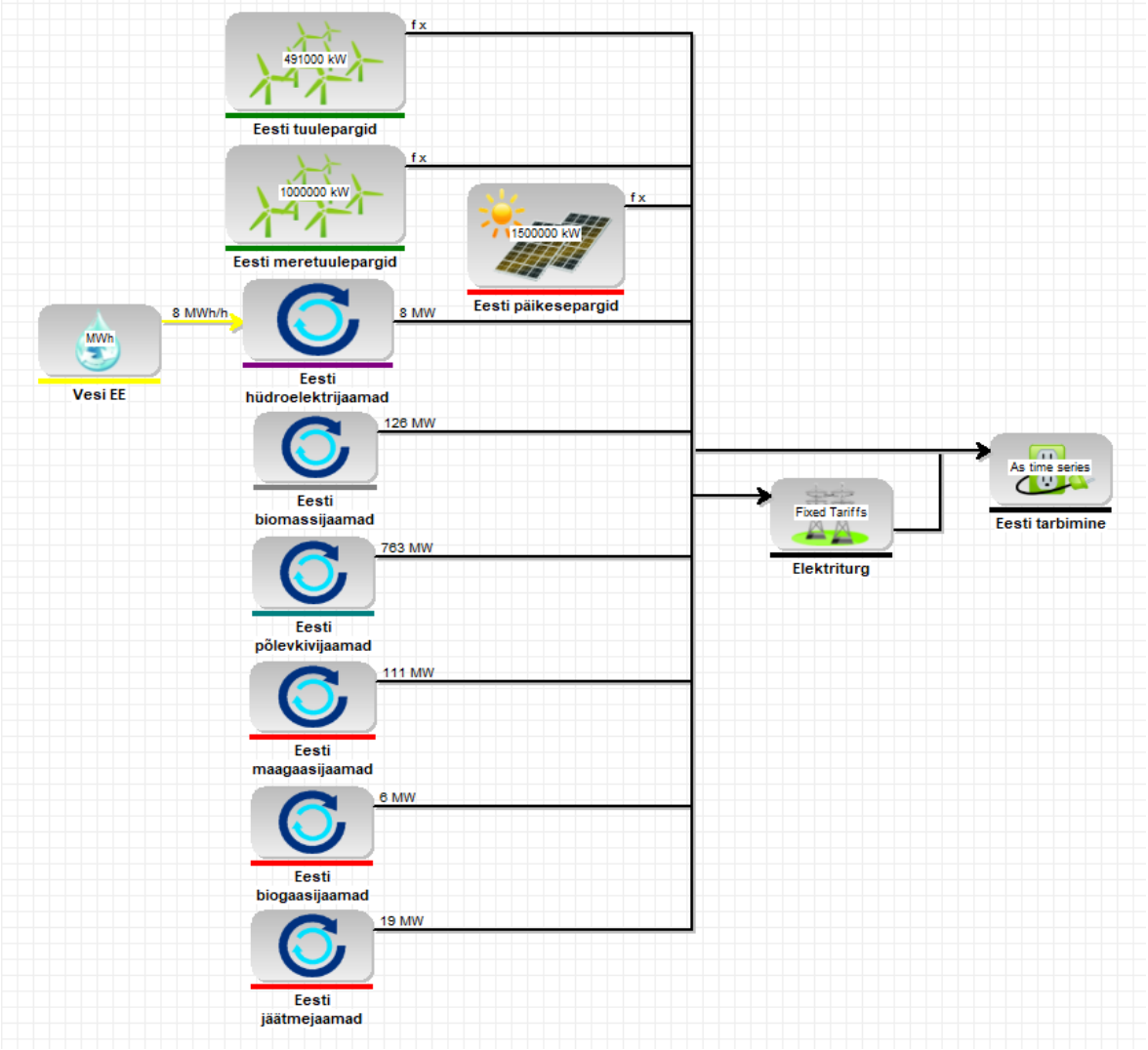



Läti riigi koormuskestvusgraafik
2500
2000
1500
1000
500
0
Võimsus, MW
1
167
333
499
665
831
997
1163
1329
1495
1661
1827
1993
2159
2325
2491
2657
2823
2989
3155
3321
3487
3653
3819
3985
4151
4317
4483
4649
4815
4981
5147
5313
5479
5645
5811
5977
6143
6309
6475
6641
6807
6973
7139
7305
7471
7637
7803
7969
8135
8301
8467
8633
Tund, h
Biomass
Maagaas
Hüdro
Muud
Tuul
Tarbimine

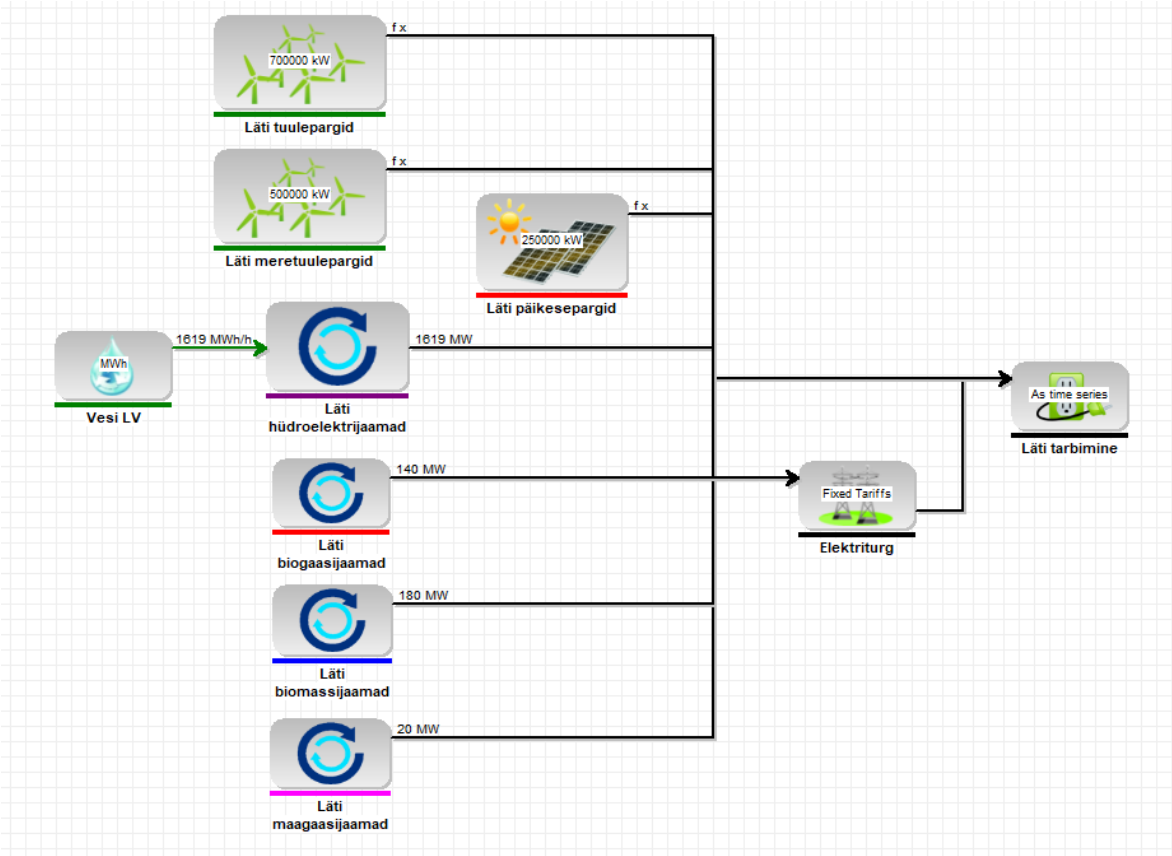

Leedu riigi koormuskestvusgraafik
Võimsus, MW
2500
2000
1500
1000
500
0
1
173
345
517
689
861
1033
1205
1377
1549
1721
1893
2065
2237
2409
2581
2753
2925
3097
3269
3441
3613
3785
3957
4129
4301
4473
4645
4817
4989
5161
5333
5505
5677
5849
6021
6193
6365
6537
6709
6881
7053
7225
7397
7569
7741
7913
8085
8257
8429
8601
Tund, h
Biomass
Maagaas
Pump-hüdro
Hüdro
Muud
Päike
Jäätmed
Tuul
Tarbimine


Balti riikide koormuskestvusgraafik
5500
4500
3500
2500
1500
500
-500
Võimsus, MW
1
177
353
529
705
881
1057
1233
1409
1585
1761
1937
2113
2289
2465
2641
2817
2993
3169
3345
3521
3697
3873
4049
4225
4401
4577
4753
4929
5105
5281
5457
5633
5809
5985
6161
6337
6513
6689
6865
7041
7217
7393
7569
7745
7921
8097
8273
8449
8625
Tund, h
Biomass
Põlevkivigaas
Maagaas
Põlevkivi
Turvas
Pump-hüdro
Hüdro
Muud taastuvad
Muud
Päike
Jäätmed
Tuul
Tarbimine

LISA 2. Balti riikide energyPRO mudeli piirkonnad



Joonis 2.1 Eesti



Joonis 2.2 Läti

LISA 3. Päikeseparkide ja tuuleparkide energyPRO elektritoodangu valemid

Energypro kasutab päikesepargi elektritoodangu P_{pv} arvutamiseks järgnevat valemit: [38]

$$P_{pv} = P_{max} * \frac{I_s}{I_{STC}} * [1 - \gamma_s * (T_{cell} - T_{STC})]$$

kus P_{max} – Installeeritud tootmisvõimsus, W;

I_s – Päikesekiirgus, W/m^2;

I_{STC} – Kiirgus normaaltingimustel, (1000 W/m^2) W/m^2;

γ_s – Temperatuuri koefitsient võimsusest, %/°C;

T_{cell} – Paneeli töötemperatuur, °C;

T_{STC} – Paneeli töötemperatuur normaaltingimustel, (25 °C) °C. [38]

Millest paneeli töötemperatuur arvutatakse valemiga: [38]

$$T_{cell} = T_a * I_s * \frac{NOCT - 20°C}{800W/m^2}$$

kus T_a – Õhutemperatuur, °C;

NOCT – Nominaalne töötemperatuur, °C. [38]

EnergyPRO kasutab tuulepargi elektritoodangu P(t) arvutamiseks järgnevat valemit: [39]

$$P(t) = PC(WS_C(t))$$

Kus $PC(WS_c(t))$ – Tunnipõhine tuulekiirus masti kõrgusel, m/s. [39]

Valemi $WS_c(t)$ kaudu saab vajaliku tuulekiiruse valitud masti kõrgusel: [39]

$$WS_c(t) = WS_m(t) * \left(\frac{H_h}{H_m}\right)^a$$

kus $WS_m(t)$ – Tunnipõhine mõõdetud tuulekiirus, m/s;

H_h – Masti kõrgus, m;

H_m – Mõõtekõrgus, m;

α – Hellmanni koefitsient. [39]

Selleks, et hinnata tuule- ja päikeseparkide elektritoodangu realitlikust, tuleb võrrelda mudeli tulemust kasutusteguri tulemusega. Kasutatavuse tegur on meretuuleparkide korral 40%, maismaa tuuleparkidel 27% ja päikeseparkidel 10%. Järgneva valemiga saab ligikaudselt realitliku elektritoodangu aastas: [40]

$$P = \frac{t}{100} * h$$

kus P – Tootmisüksuse võimsus, MW;

t - Kasutatavuse tegur, %;

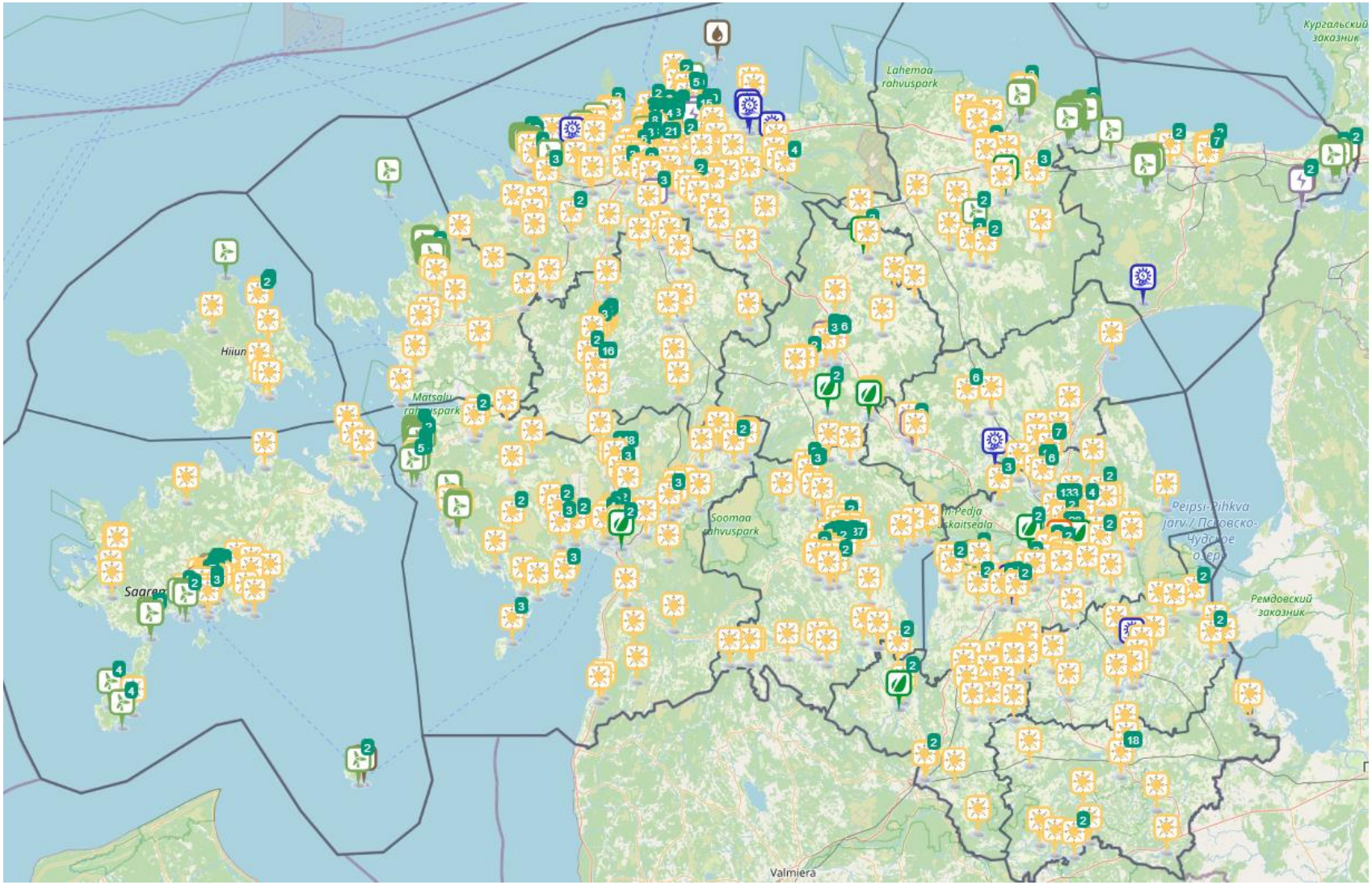
h – Aastas tunnid, 8760 h. [40]

Valemi põhjal on saadud järgmised tulemused:

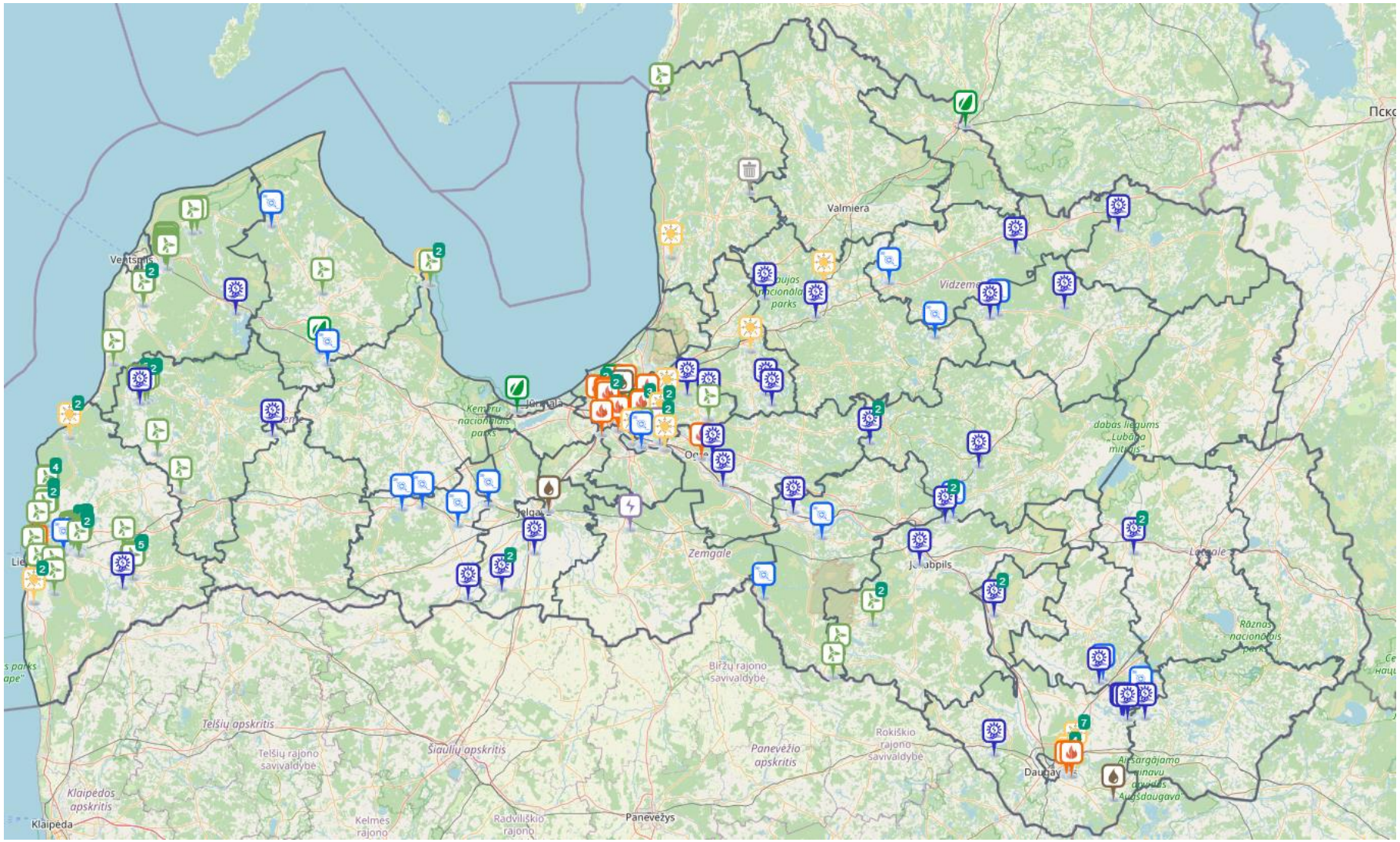
- Eesti tuulepargid – 1161, GWh
- Eesti meretuulepargid – 3504, GWh
- Läti tuulepargid – 1656, GWh
- Läti meretuulepargid – 1752, GWh
- Leedu tuulepargid – 8515, GWh
- Leedu meretuulepargid – 4906, GWh
- Eesti päikesepargid – 1314, GWh
- Läti päikesepargid – 219, GWh
- Leedu päikesepargid – 1752, GWh

LISA 4. Eksisteerivate elektrijaamade asukohad

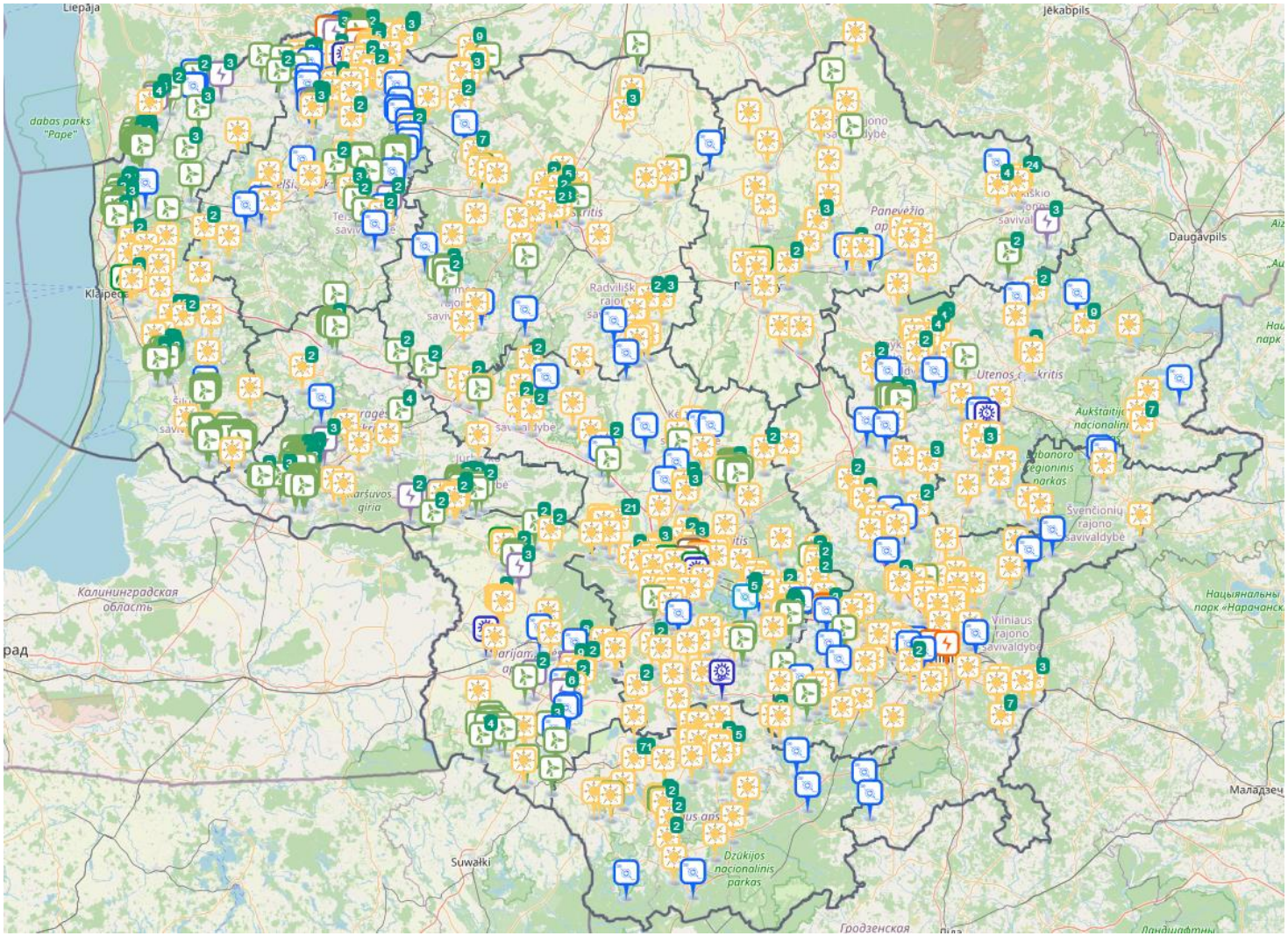
Joonis 3.1 Legend [29]



Joonis 3.2 Eesti [29]



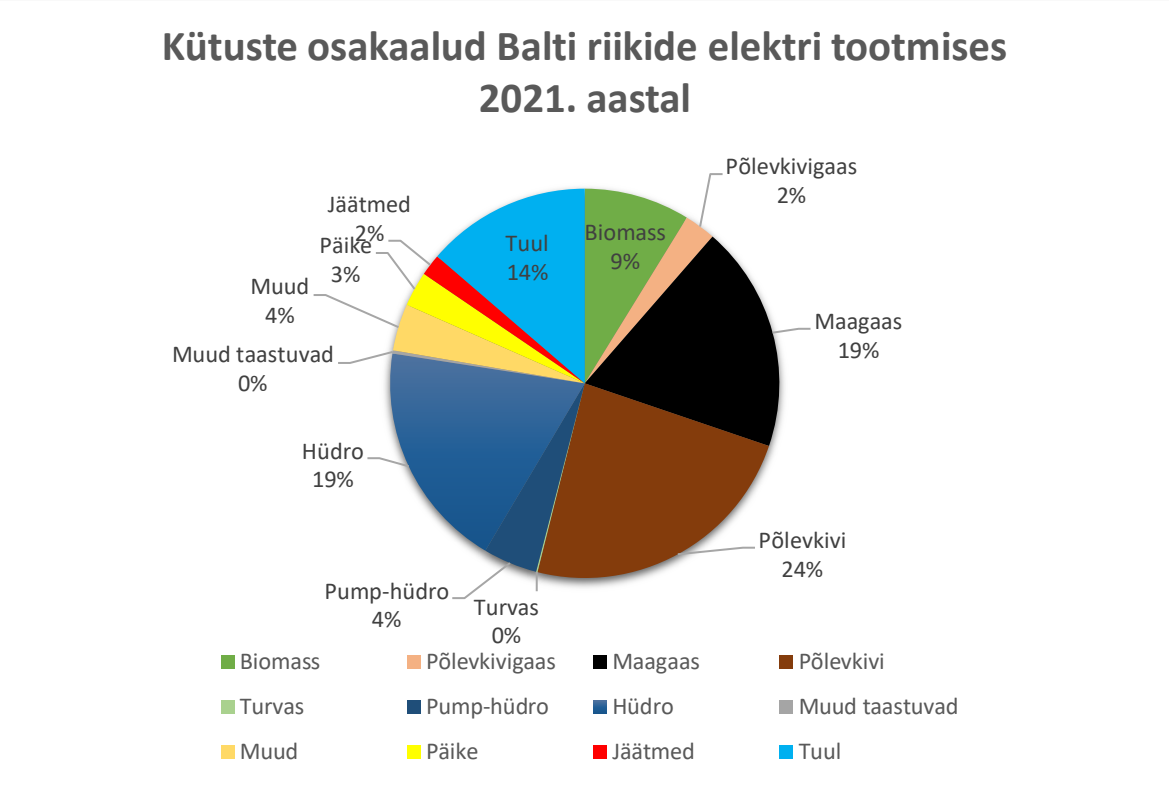
Joonis 3.3 Läti [30]

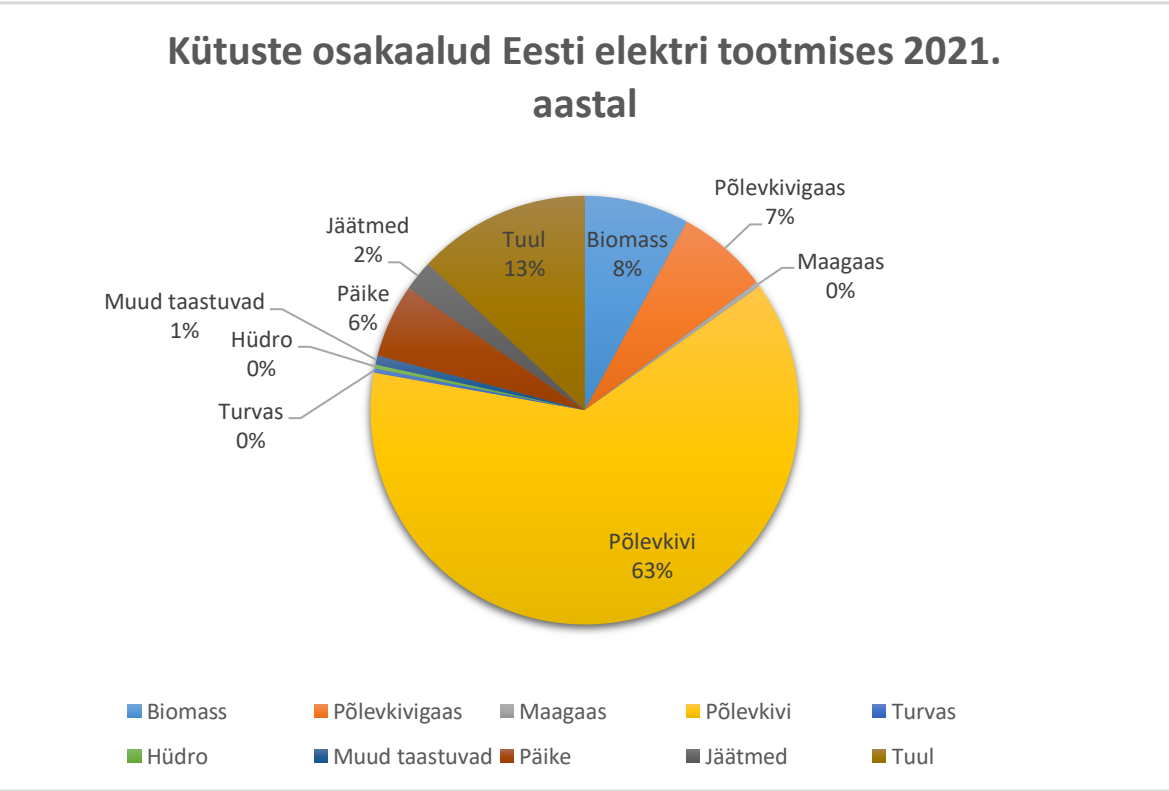


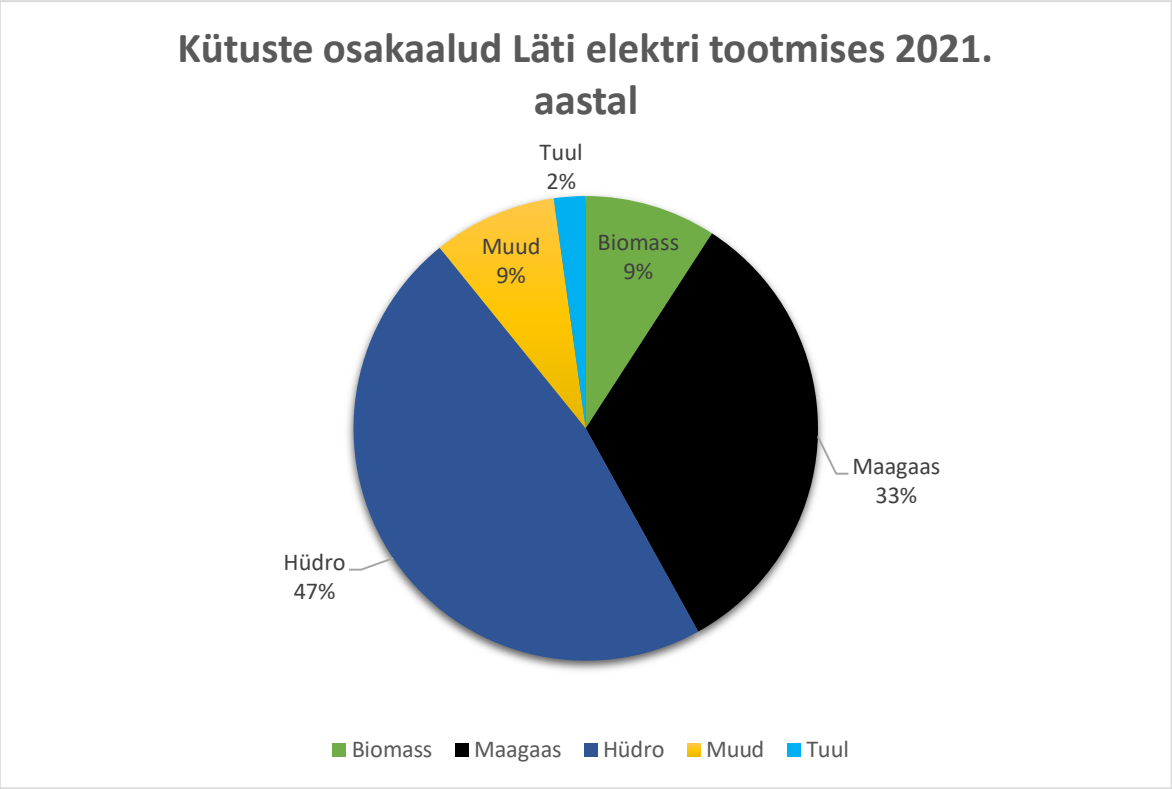
Joonis 3.4 Leedu [31]

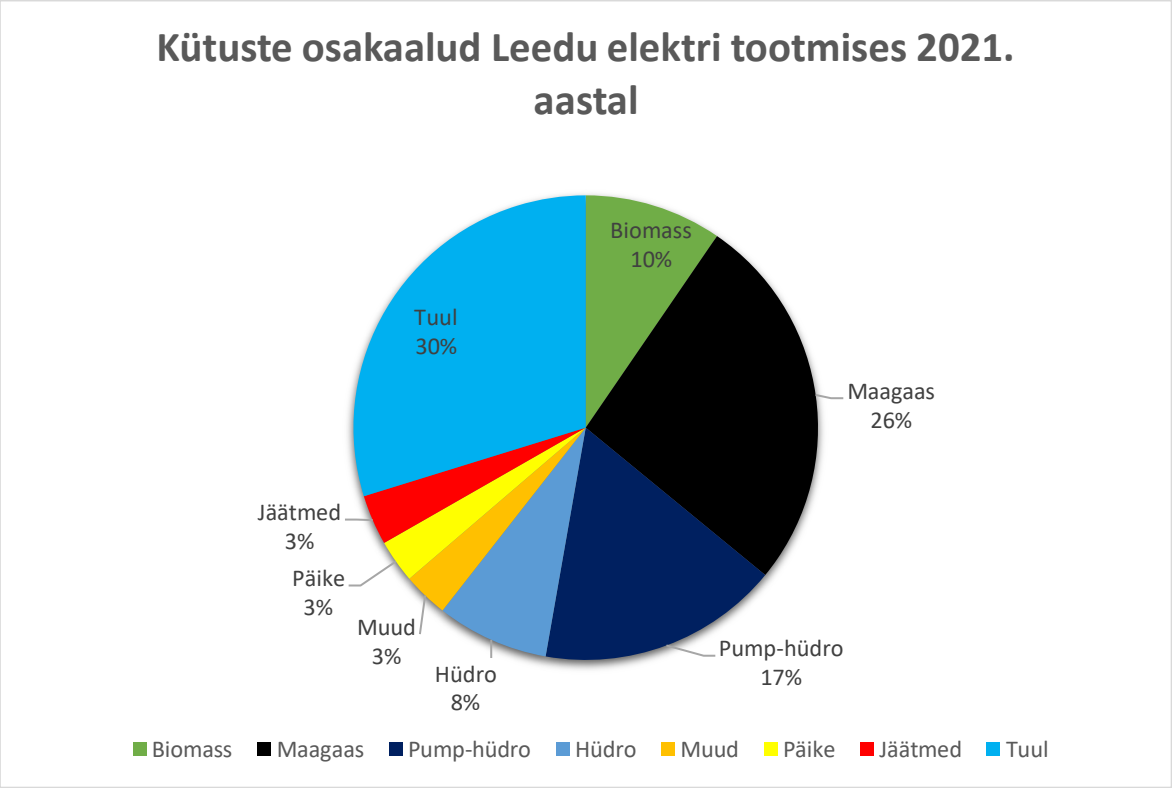
LISA 5. Kütuste osakaalud elektri tootmises 2021. aasta

Kütus	Eesti	Läti	Leedu	Kokku	Ühik
Biomass	470	509	402	1381	**GWh**
Päike	329	-	126	455	**GWh**
Hüdro	18	2626	328	2972	**GWh**
Tuul	776	122	1252	2150	**GWh**
Jäätmed	136	-	147	283	**GWh**
Muud taastuvad	41	-	-	41	**GWh**
Turvas	19	-	-	19	**GWh**
Põlevkivi	3722	-	-	3722	**GWh**
Põlevkivigaas	410	-	-	410	**GWh**
Maagaas	22	1824	1109	2955	**GWh**
Pumphüdro	-	-	708	708	**GWh**
Muud	-	479	133	612	**GWh**
Kokku	**5943**	**5560**	**4205**	**15708**	**GWh**


Kütuste osakaalud Balti riikide elektri tootmises 2021. aastal
Biomass 9%
Põlevkivigaas 2%
Maagaas 19%
Põlevkivi 24%
Turvas 0%
Pump-hüdro 4%
Hüdro 19%
Muud taastuvad 0%
Muud 4%
Päike 3%
Jäätmed 2%
Tuul 14%
Biomass
Põlevkivigaas
Maagaas
Põlevkivi
Turvas
Pump-hüdro
Hüdro
Muud taastuvad
Muud
Päike
Jäätmed
Tuul

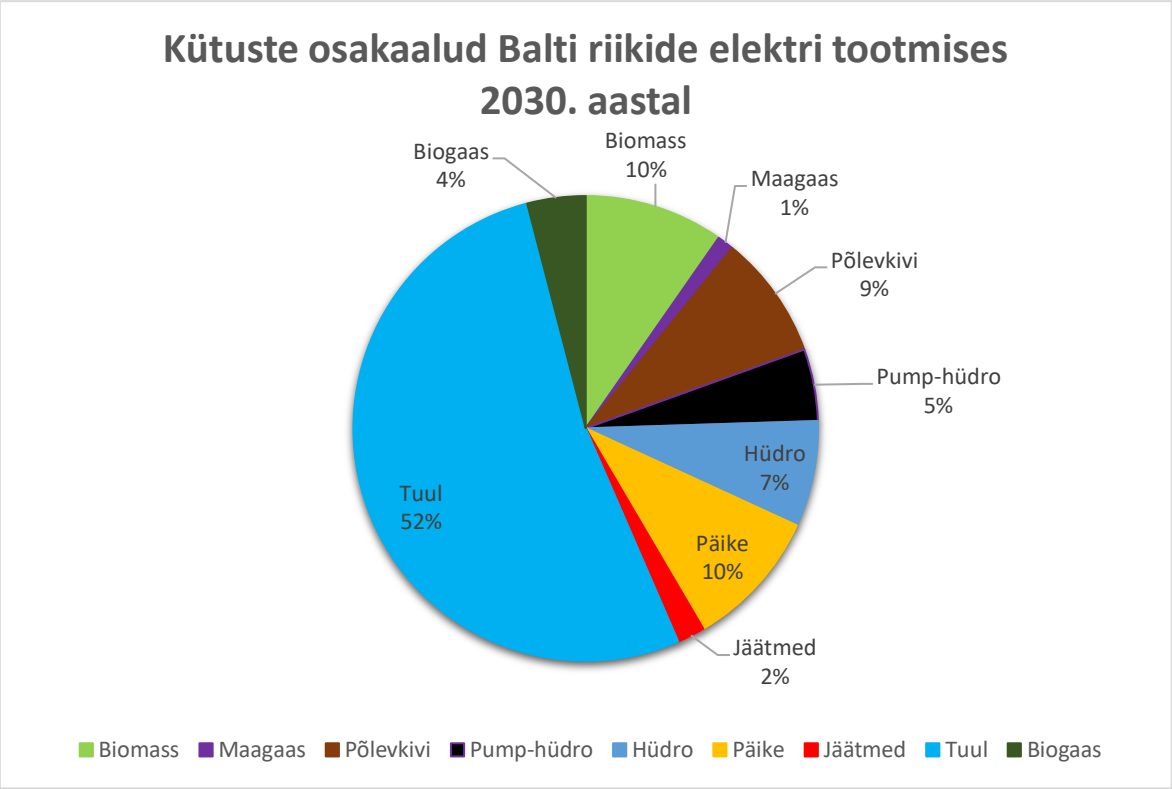

Kütuste osakaalud Eesti elektri tootmises 2021. aastal
Biomass 8%
Põlevkivigaas 7%
Maagaas 0%
Põlevkivi 63%
Turvas 0%
Hüdro 0%
Muud taastuvad 1%
Päike 6%
Jäätmed 2%
Tuul 13%
Biomass
Põlevkivigaas
Maagaas
Põlevkivi
Turvas
Hüdro
Muud taastuvad
Päike
Jäätmed
Tuul

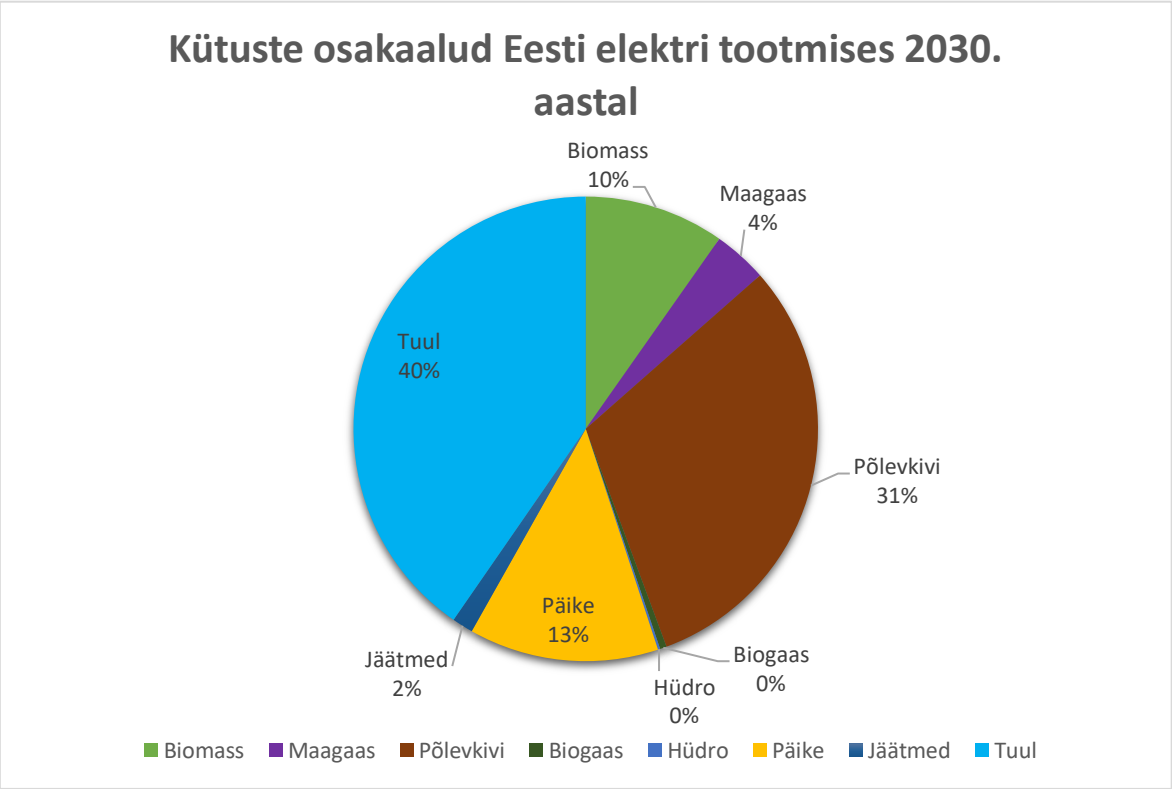

Kütuste osakaalud Läti elektri tootmises 2021. aastal
Tuul 2%
Biomass 9%
Muud 9%
Maagaas 33%
Hüdro 47%
Biomass
Maagaas
Hüdro
Muud
Tuul

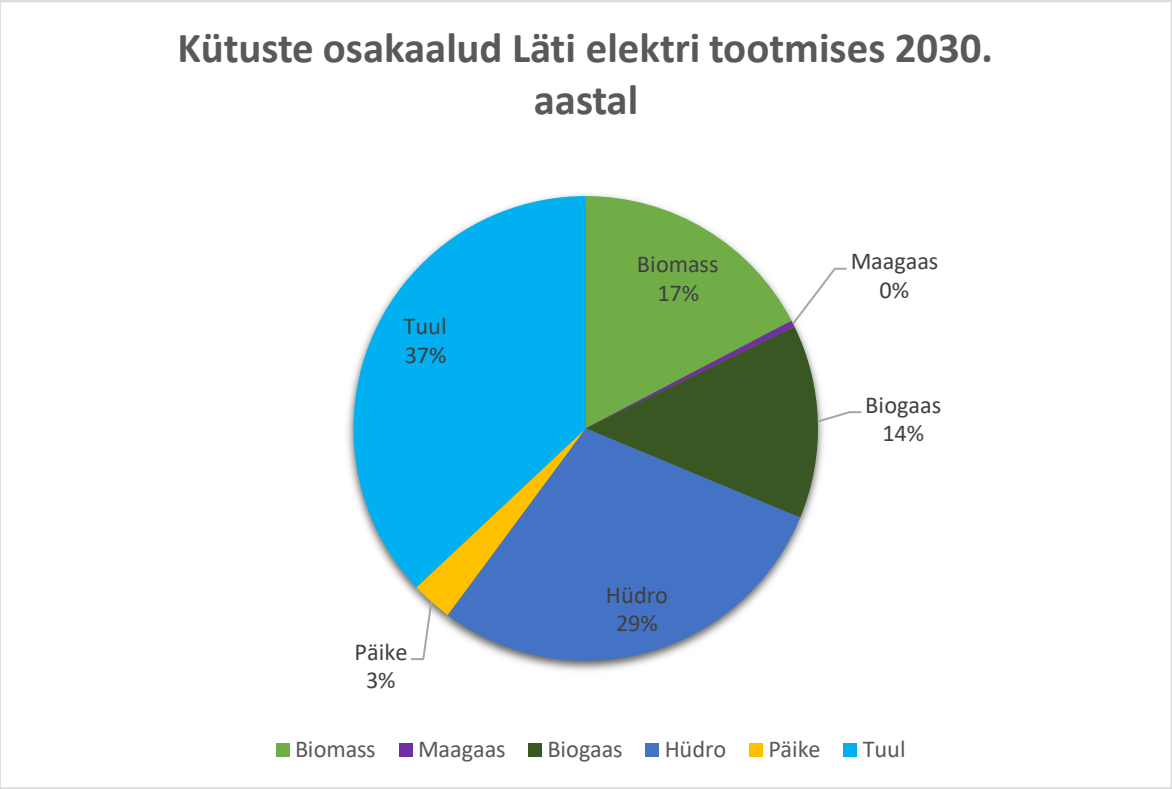

Kütuste osakaalud Leedu elektri tootmises 2021. aastal
Biomass 10%
Tuul 30%
Maagaas 26%
Jäätmed 3%
Päike 3%
Muud 3%
Hüdro 8%
Pump-hüdro 17%
Biomass
Maagaas
Pump-hüdro
Hüdro
Muud
Päike
Jäätmed
Tuul

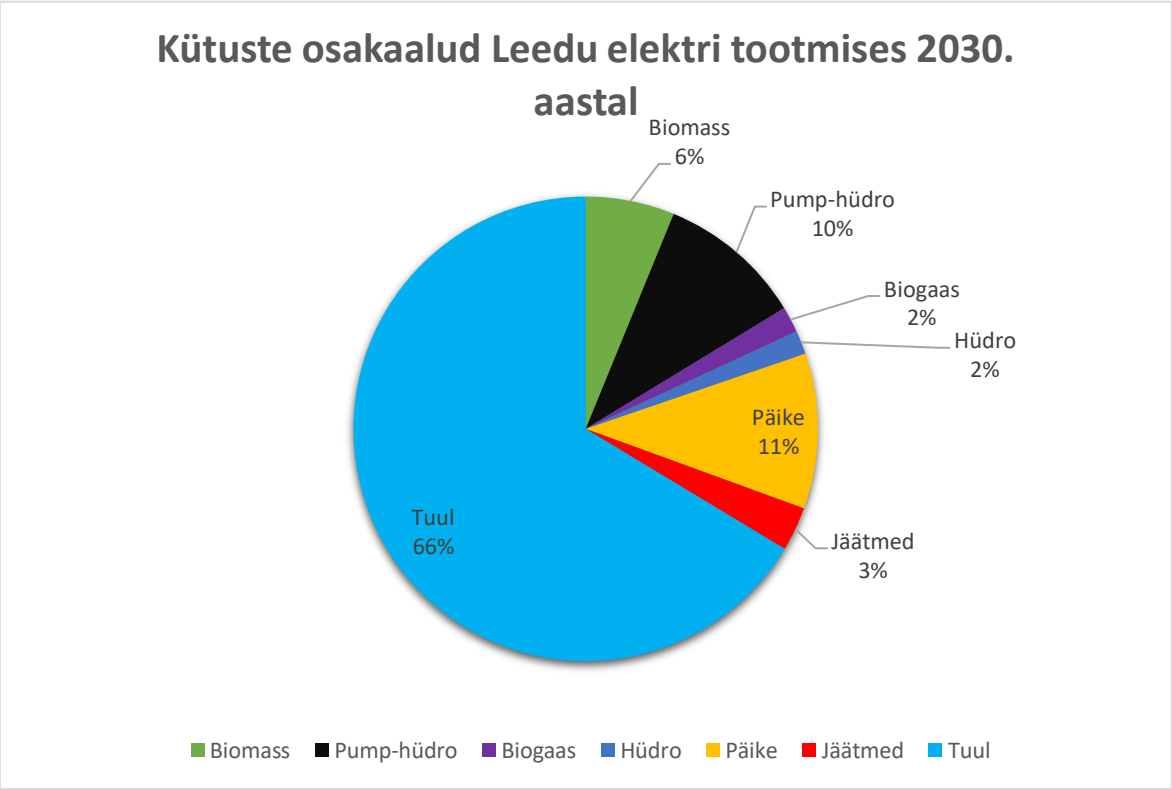
LISA 6. Kütuste osakaalud elektri tootmises 2030. aasta

Kütus	Eesti	Läti	Leedu	Kokku	Ühik
Biomass	1104	1577	1235	3916	**GWh**
Päike	1493	261	2160	3914	**GWh**
Hüdro	18	2626	328	2972	**GWh**
Tuul	4566	3365	13253	21184	**GWh**
Jäätmed	166	-	613	779	**GWh**
Biogaas	53	1226	359	1638	**GWh**
Põlevkivi	3488	-	-	3488	**GWh**
Maagaas	425	42	-	467	**GWh**
Pumphüdro	-	-	2020	2020	**GWh**
Kokku	**11313**	**9097**	**19968**	**40378**	**GWh**

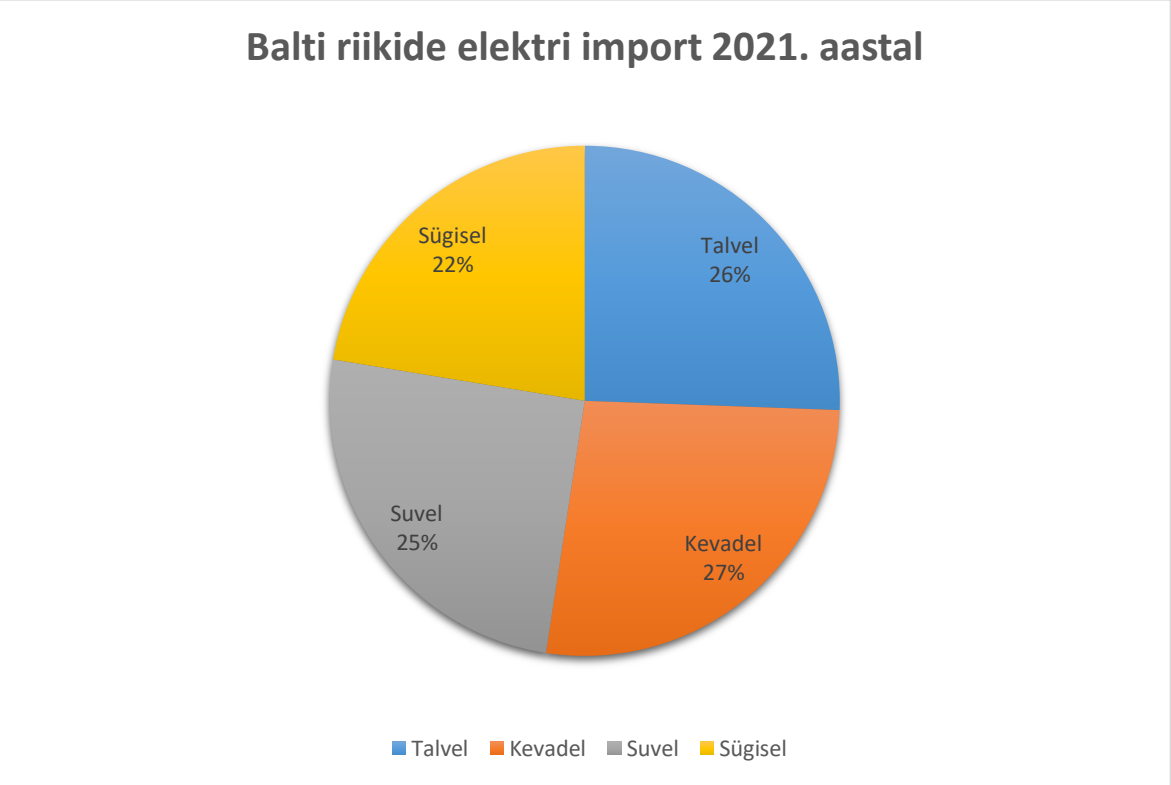

Kütuste osakaalud Balti riikide elektri tootmises 2030. aastal
Biogaas 4%
Biomass 10%
Maagaas 1%
Põlevkivi 9%
Pump-hüdro 5%
Hüdro 7%
Päike 10%
Jäätmed 2%
Tuul 52%
Biomass
Maagaas
Põlevkivi
Pump-hüdro
Hüdro
Päike
Jäätmed
Tuul
Biogaas

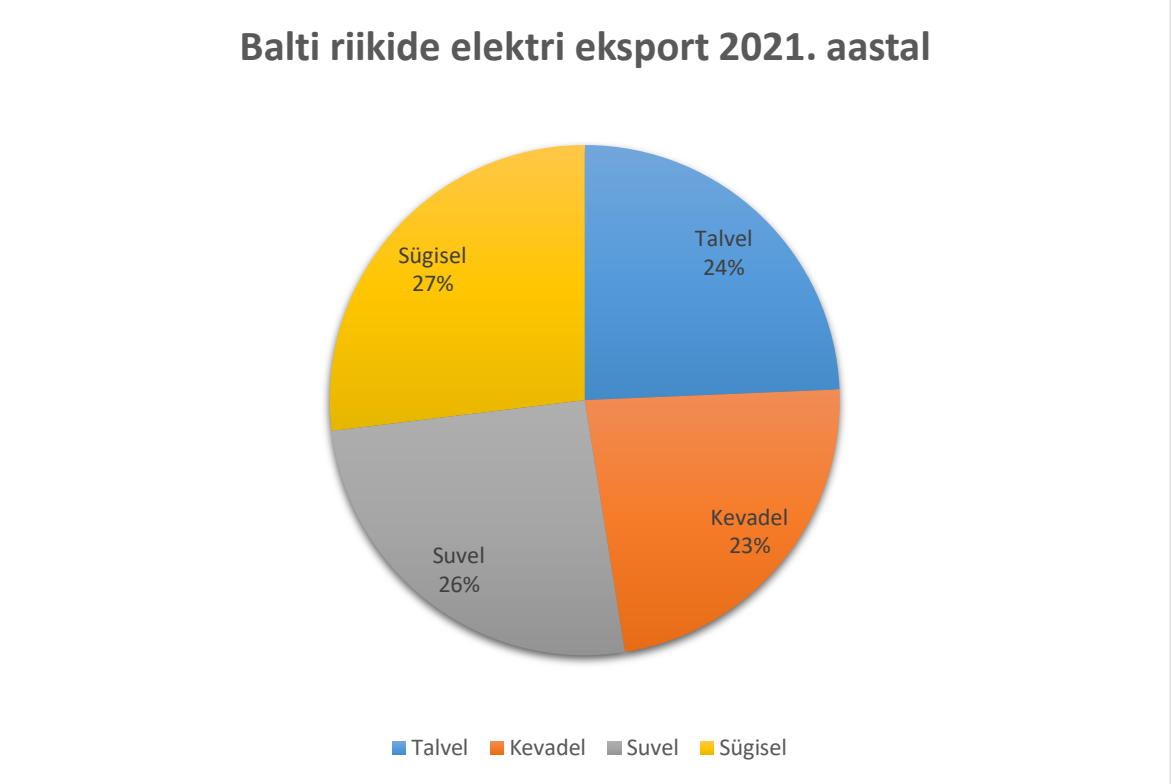

Kütuste osakaalud Eesti elektri tootmises 2030. aastal
Biomass 10%
Maagaas 4%
Tuul 40%
Põlevkivi 31%
Päike 13%
Jäätmed 2%
Hüdro 0%
Biogaas 0%
Biomass
Maagaas
Põlevkivi
Biogaas
Hüdro
Päike
Jäätmed
Tuul

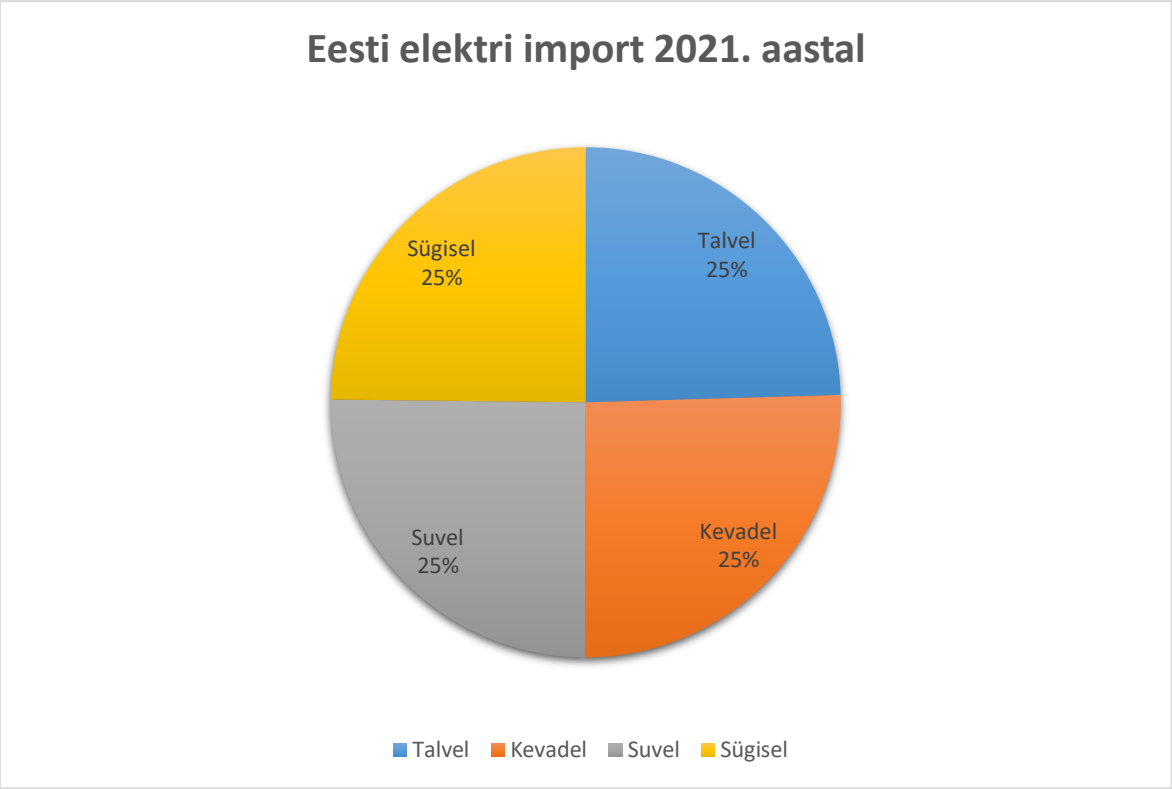

Kütuste osakaalud Läti elektri tootmises 2030. aastal
Biomass 17%
Maagaas 0%
Biogaas 14%
Hüdro 29%
Päike 3%
Tuul 37%
Biomass
Maagaas
Biogaas
Hüdro
Päike
Tuul

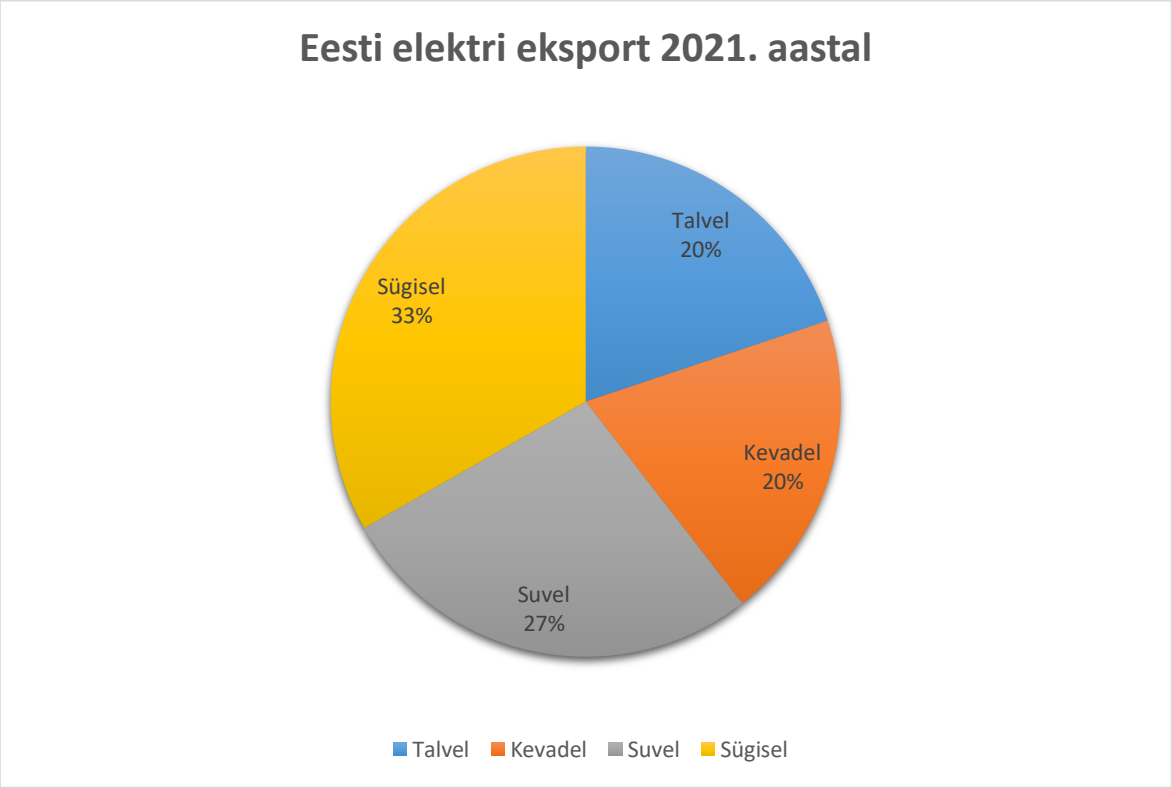

Kütuste osakaalud Leedu elektri tootmises 2030. aastal
Biomass 6%
Pump-hüdro 10%
Biogaas 2%
Hüdro 2%
Päike 11%
Jäätmed 3%
Tuul 66%
Biomass
Pump-hüdro
Biogaas
Hüdro
Päike
Jäätmed
Tuul

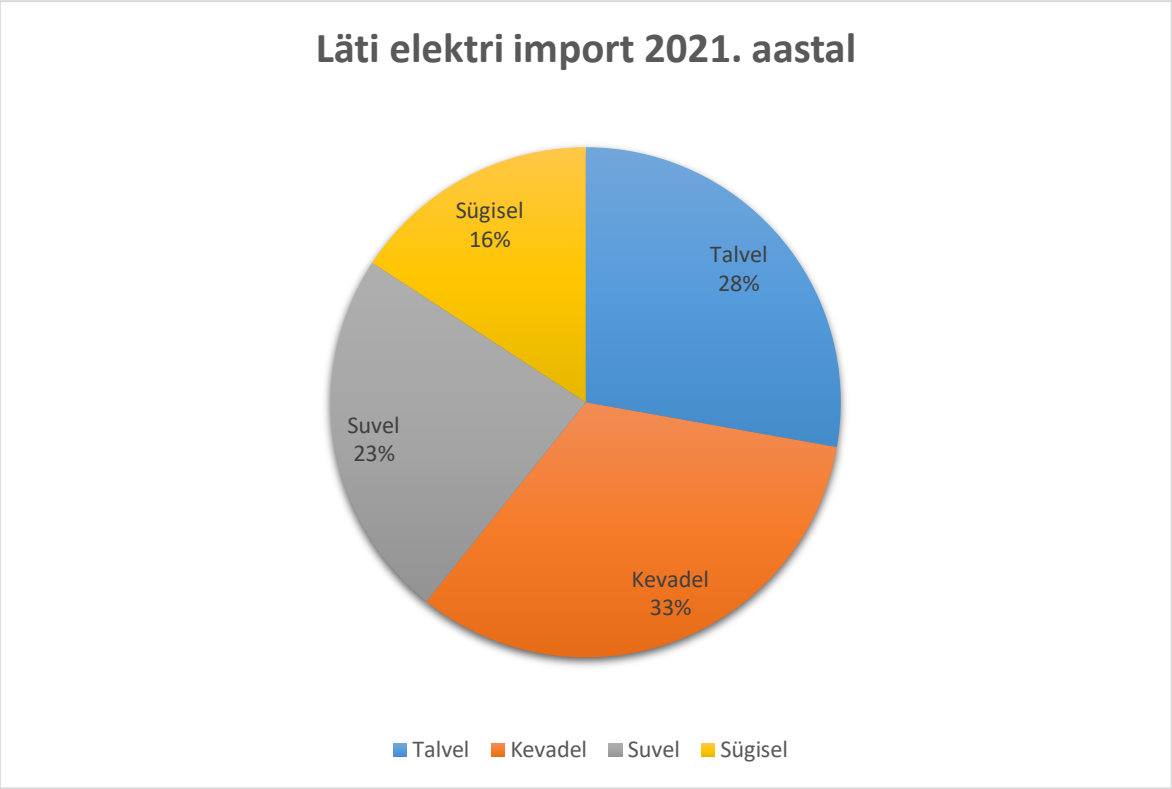
LISA 7. Balti riikide 2021. aasta elektri import ja eksport vastavalt aastaajale

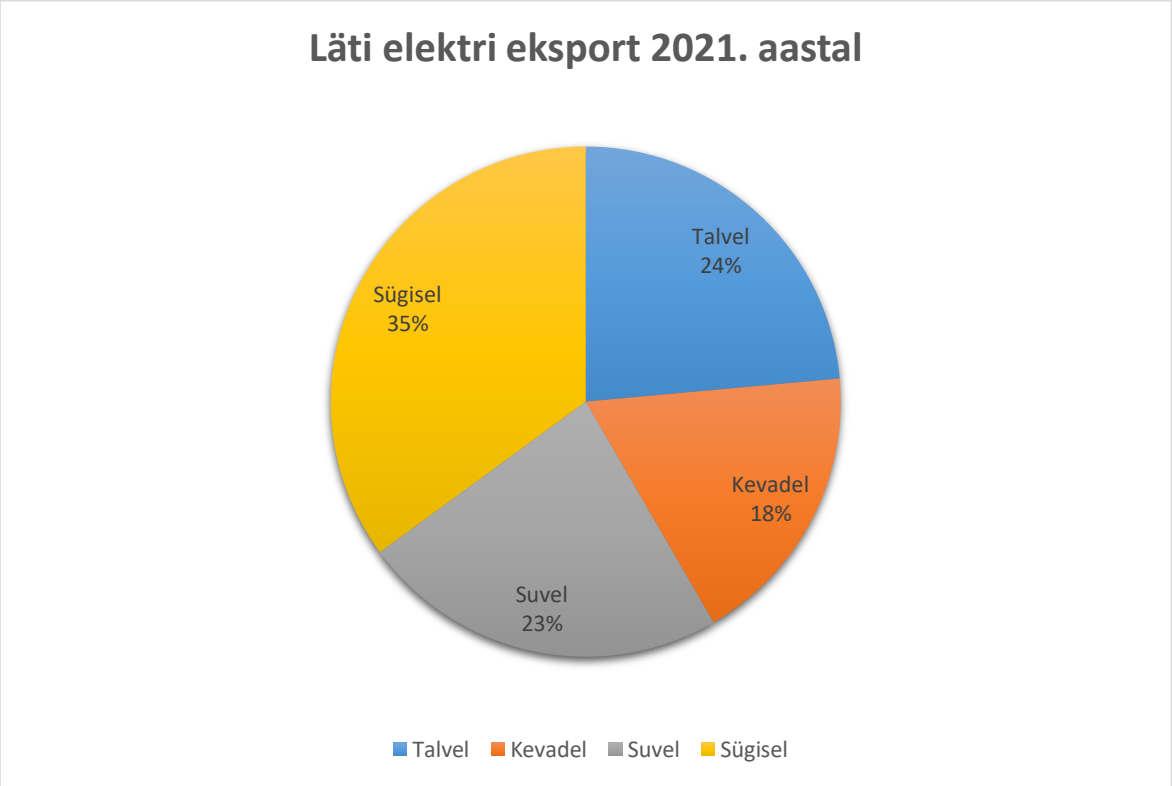


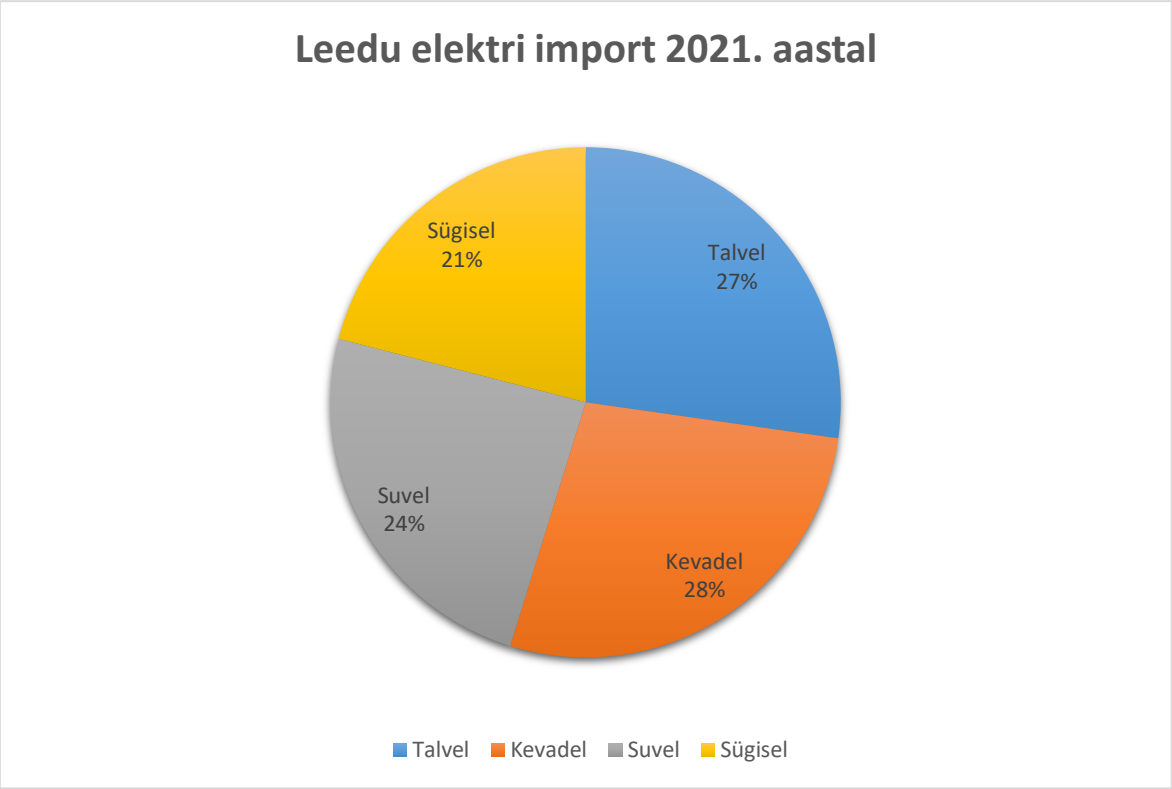


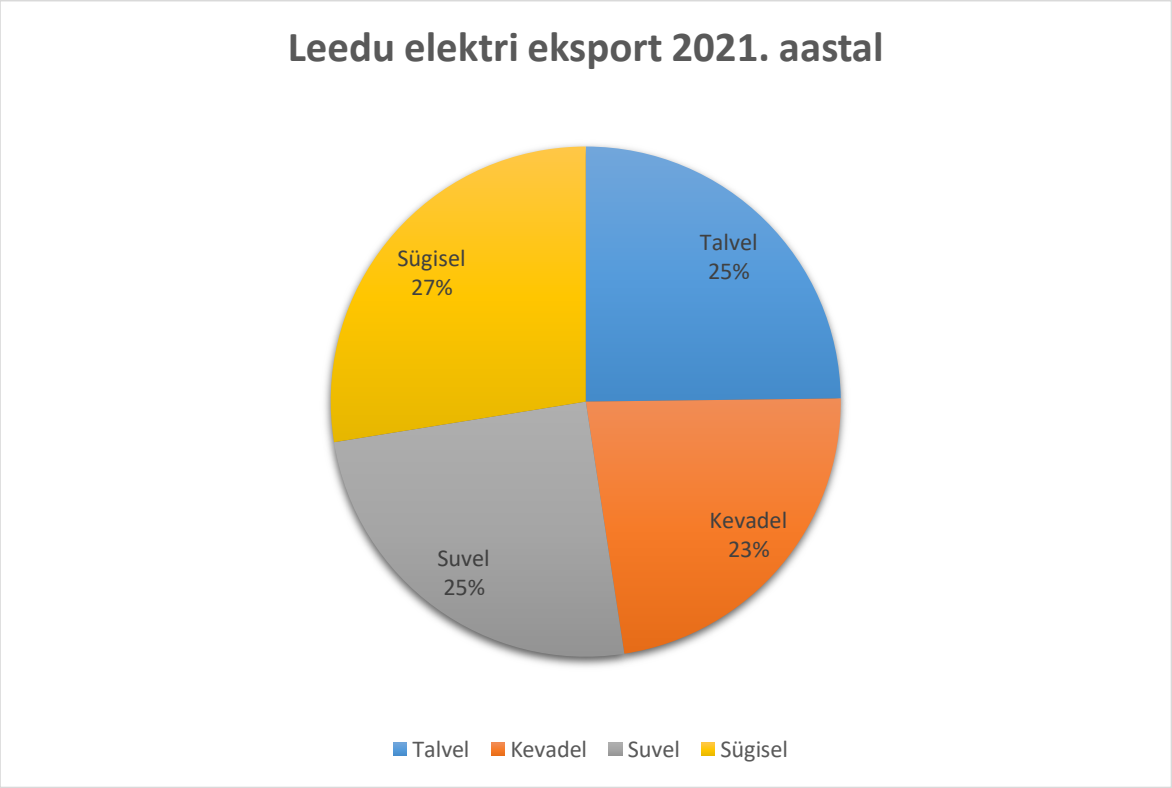

Eesti elektri import 2021. aastal
Talvel
25%
Kevadel
25%
Suvel
25%
Sügisel
25%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel


Eesti elektri eksport 2021. aastal
Talvel
20%
Kevadel
20%
Suvel
27%
Sügisel
33%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

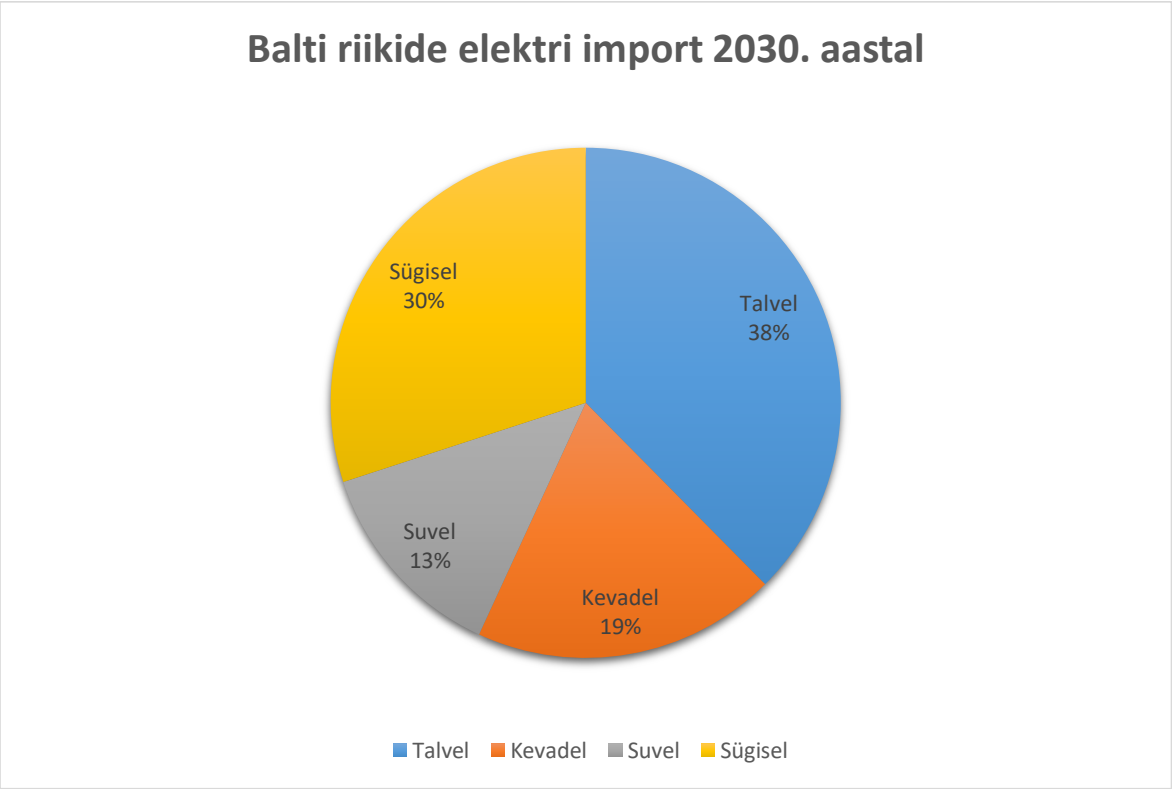

Läti elektri import 2021. aastal
Sügisel
16%
Talvel
28%
Suvel
23%
Kevadel
33%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

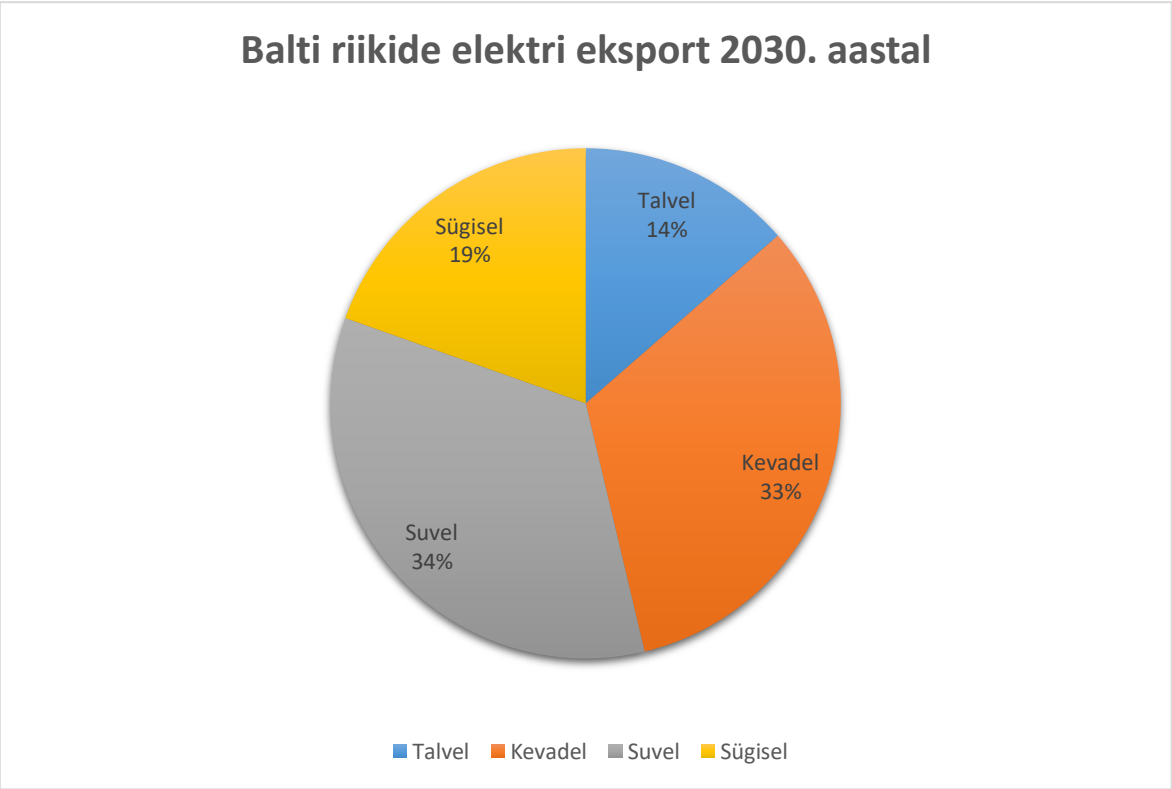

Läti elektri eksport 2021. aastal
Talvel
24%
Sügisel
35%
Kevadel
18%
Suvel
23%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

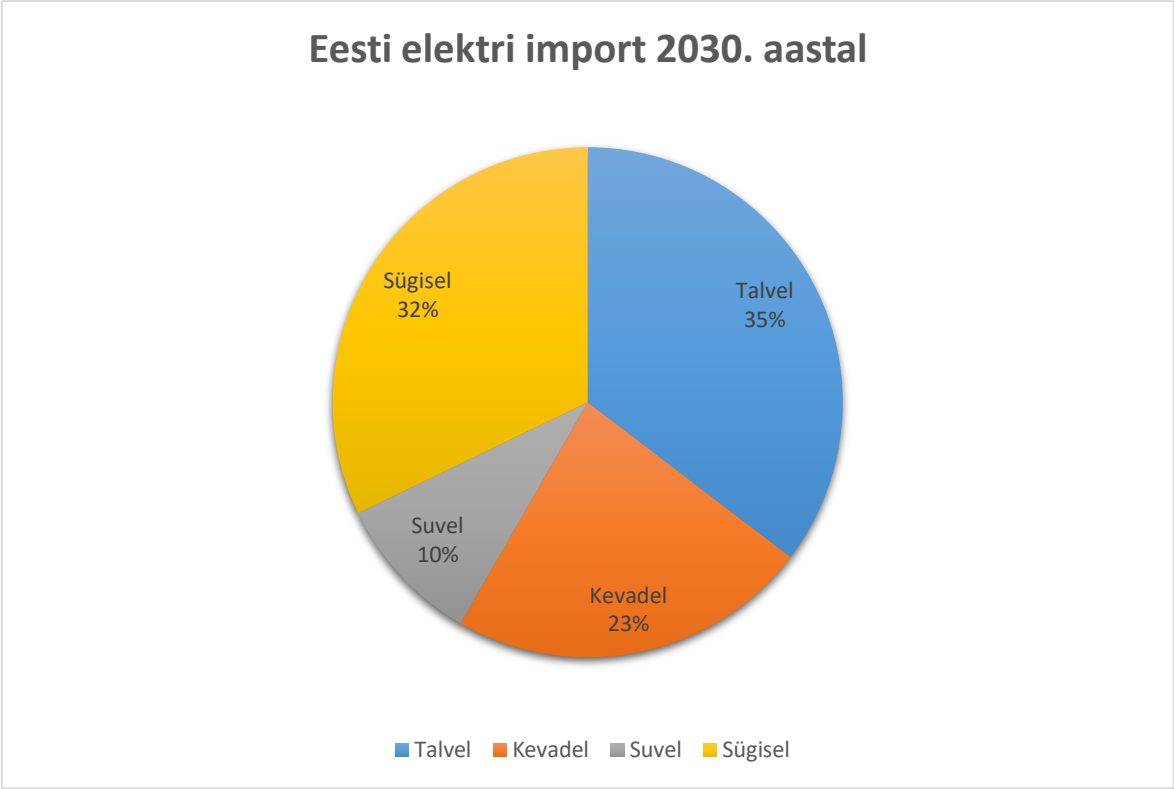

Leedu elektri import 2021. aastal
Talvel
27%
Kevadel
28%
Suvel
24%
Sügisel
21%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

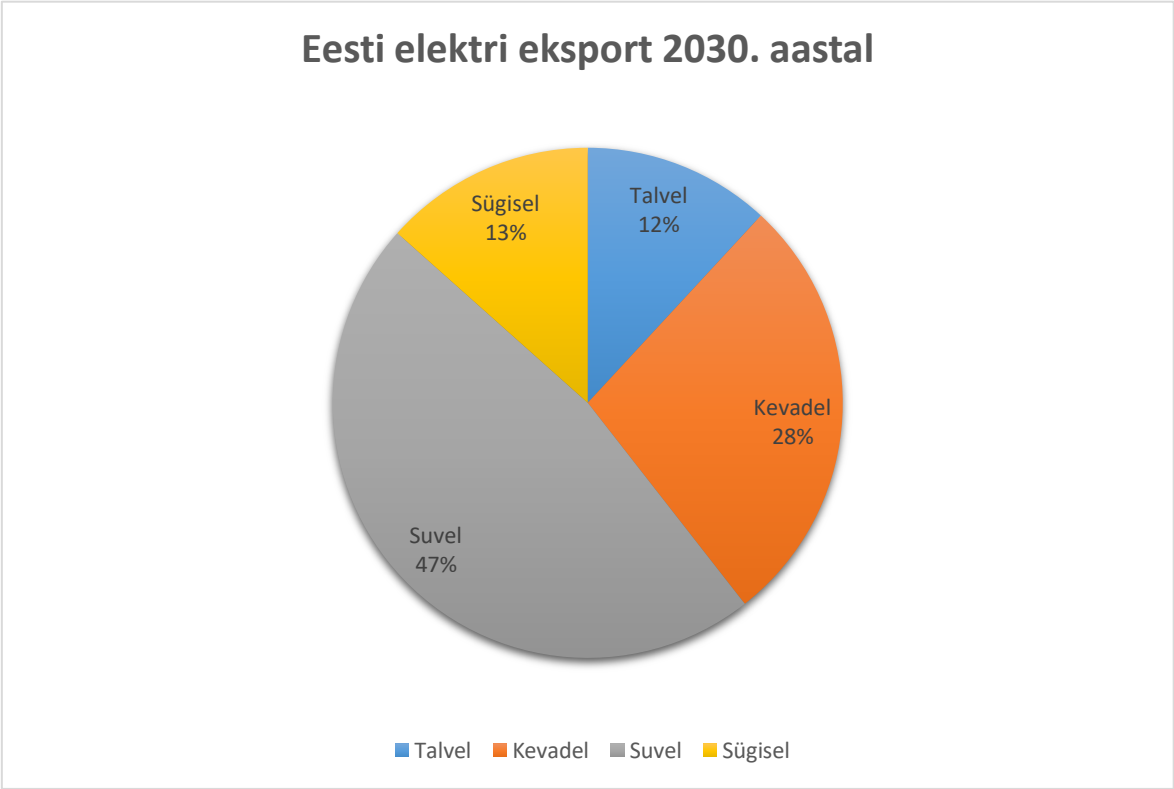

Leedu elektri eksport 2021. aastal
Talvel
25%
Kevadel
23%
Suvel
25%
Sügisel
27%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

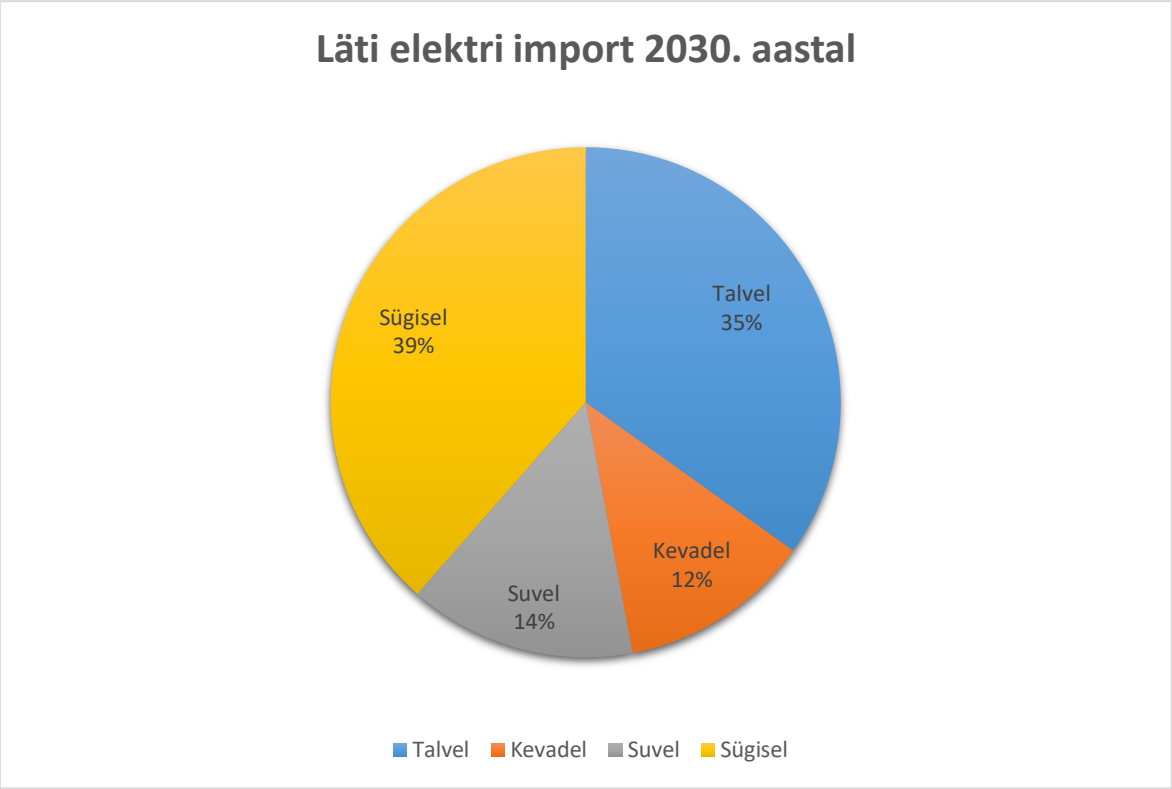
LISA 8. Balti riikide 2030. aasta elektri import vastavalt aastaajale

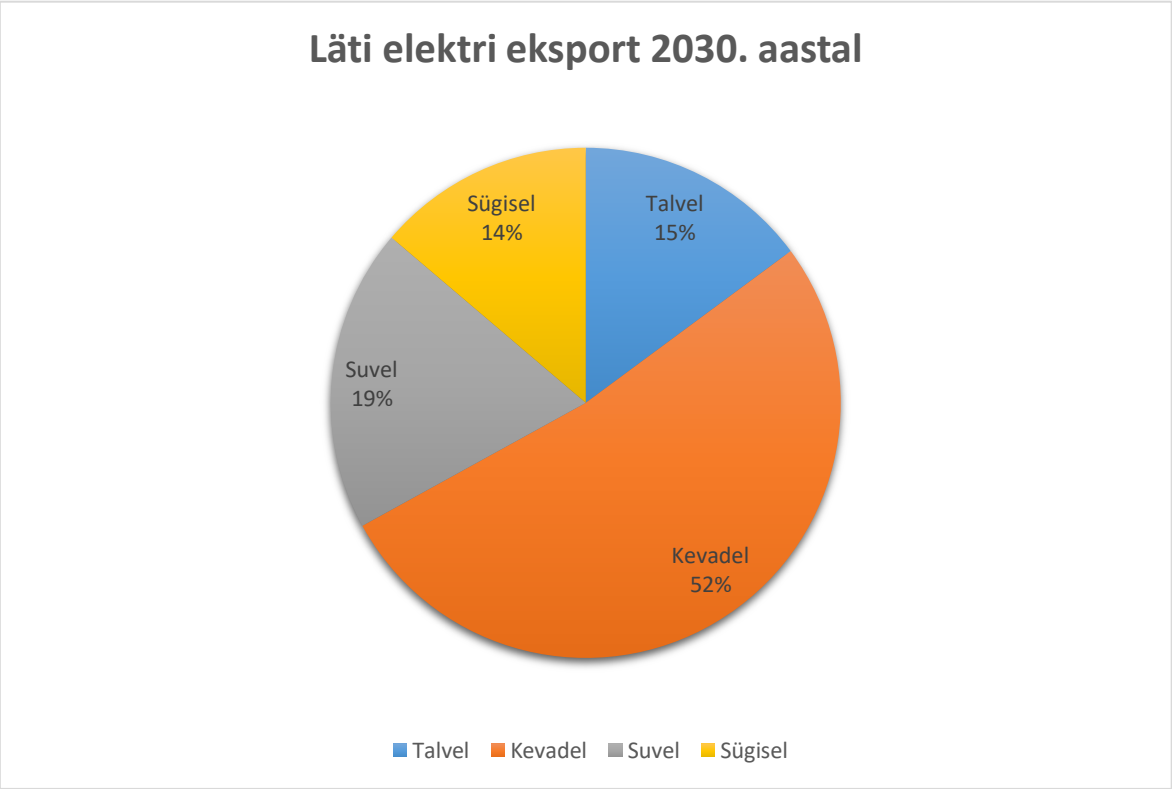


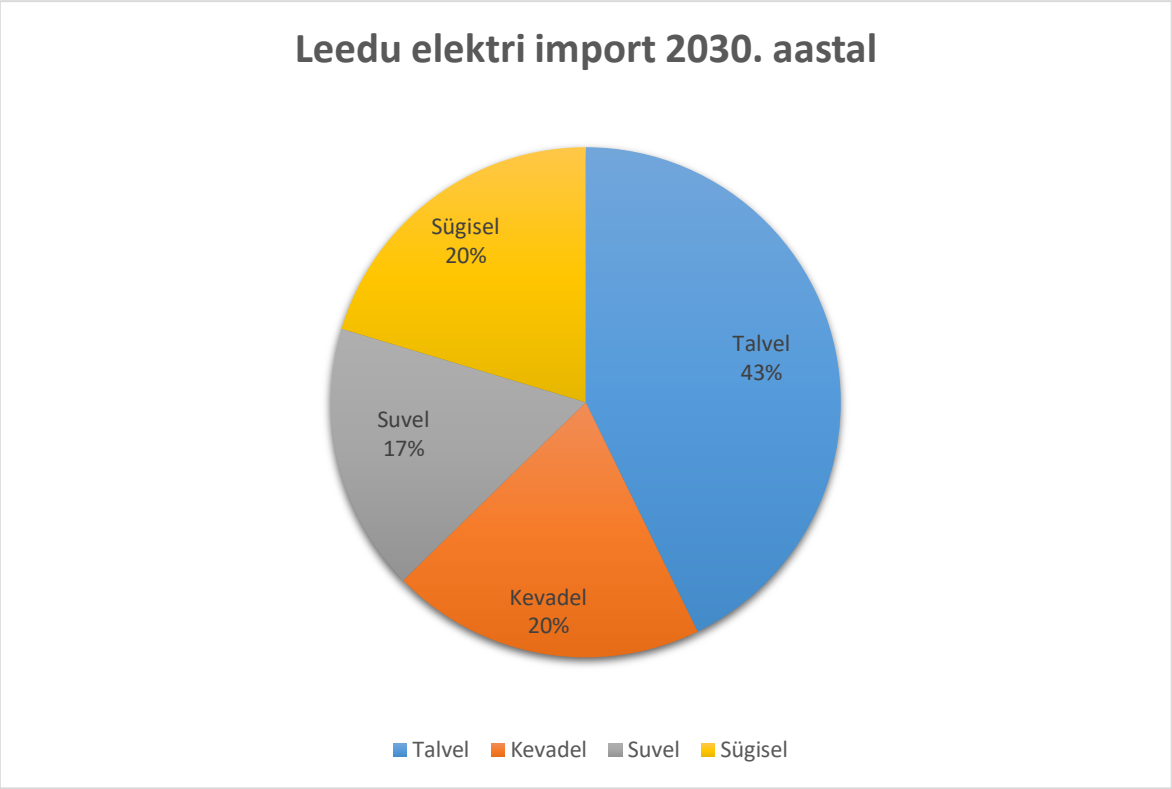


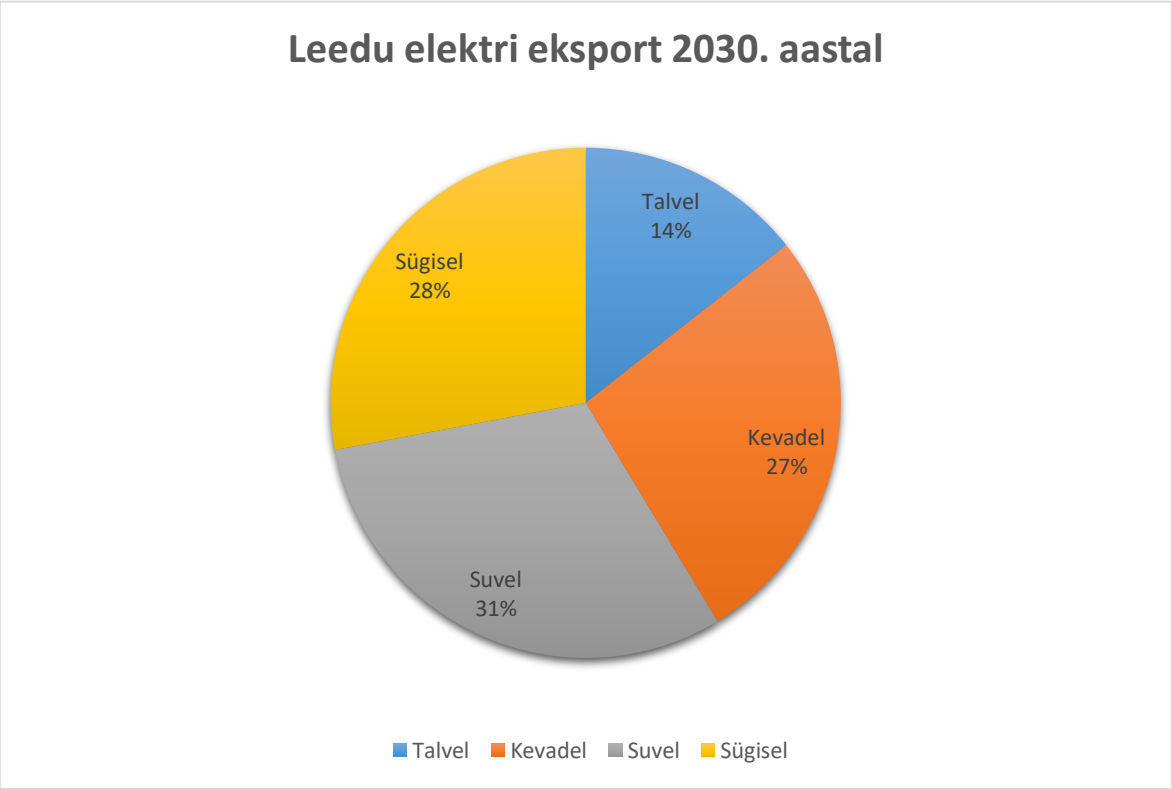

Eesti elektri import 2030. aastal
Talvel
35%
Kevadel
23%
Suvel
10%
Sügisel
32%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel


Eesti elektri eksport 2030. aastal
Talvel
12%
Kevadel
28%
Suvel
47%
Sügisel
13%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

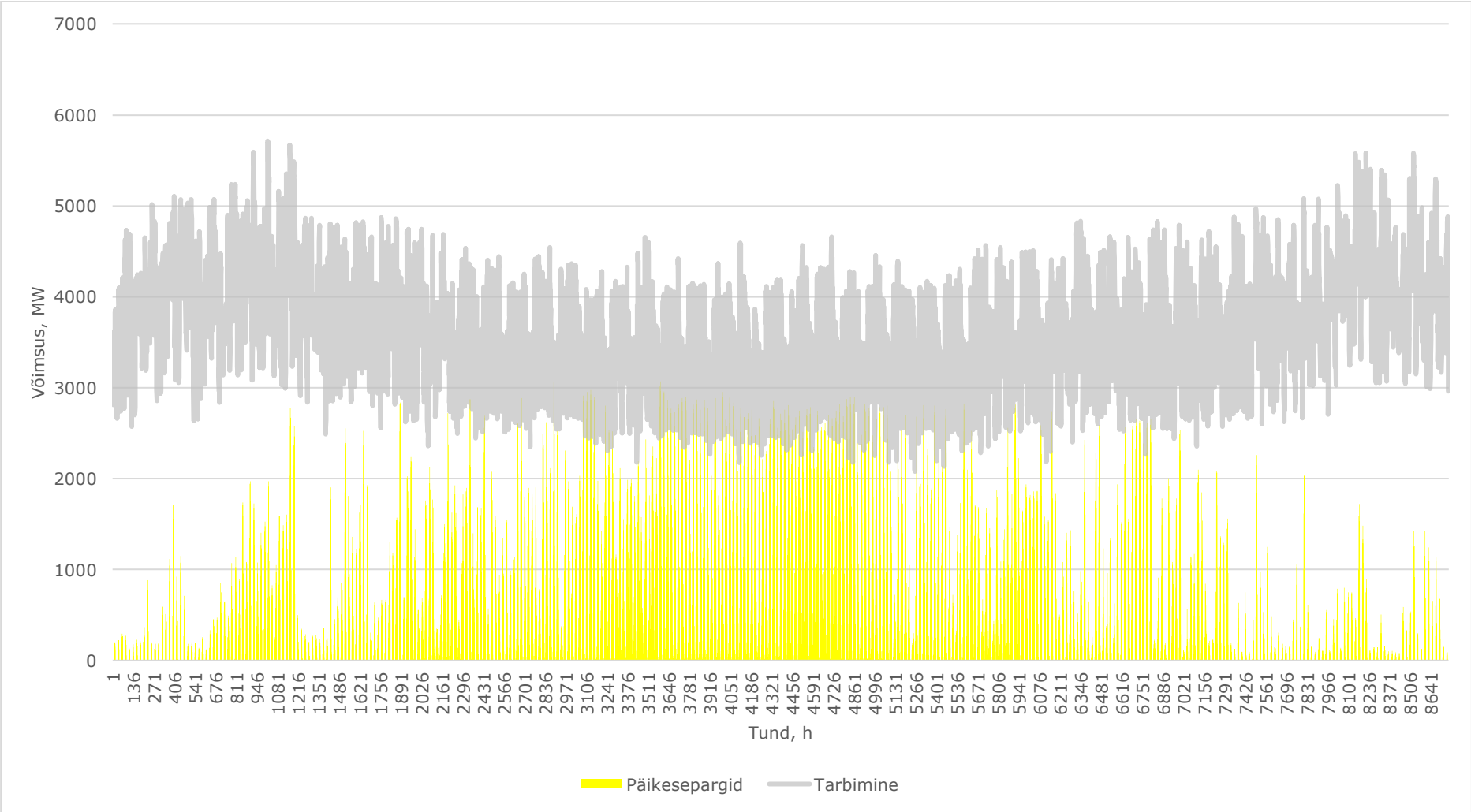

Läti elektri import 2030. aastal
Talvel
35%
Kevadel
12%
Suvel
14%
Sügisel
39%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

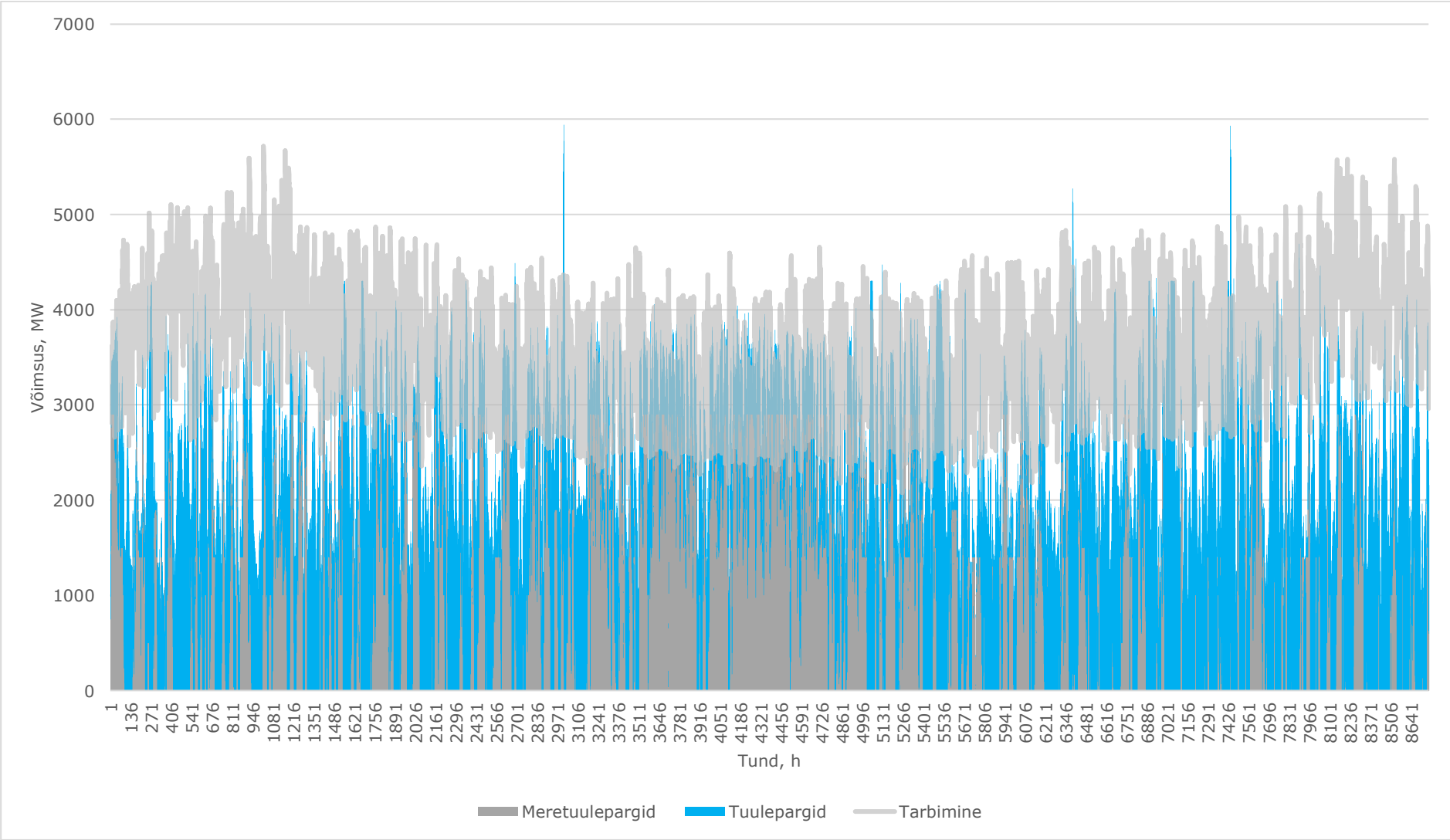

Läti elektri eksport 2030. aastal
Talvel
15%
Kevadel
52%
Suvel
19%
Sügisel
14%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel


Leedu elektri import 2030. aastal
Sügisel
20%
Talvel
43%
Suvel
17%
Kevadel
20%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel


Leedu elektri eksport 2030. aastal
Talvel
14%
Sügisel
28%
Kevadel
27%
Suvel
31%
Talvel
Kevadel
Suvel
Sügisel

LISA 9. Balti riikide päikese- ja tuuleparkide elektritoodang 2030. aastal




7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Võimsus, MW
1
136
271
406
541
676
811
946
1081
1216
1351
1486
1621
1756
1891
2026
2161
2296
2431
2566
2701
2836
2971
3106
3241
3376
3511
3646
3781
3916
4051
4186
4321
4456
4591
4726
4861
4996
5131
5266
5401
5536
5671
5806
5941
6076
6211
6346
6481
6616
6751
6886
7021
7156
7291
7426
7561
7696
7831
7966
8101
8236
8371
8506
8641
Tund, h
Meretuulepargid
Tuulepargid
Tarbimine