



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

NAISSAARE SÕLTUMATU ELEKTRITOOTMISLAHENDUS

Independent electricity generation solution for Naissaare island

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Rasmus Pae

Üliõpilaskood: 206511 EAAB

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2023

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.

“18” mai 2023

Autor: Rasmus Pae

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“18” mai 2023

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20..... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Rasmus Pae

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Naissaare sõltumatu elektritootmislahendus,

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.

_____ (kuupäev)

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 loomingu 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: Rasmus Pae

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Naissaare sõltumatu elektritootmislahendus

Kuupäev:
18.15.2023

73 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Töö eesmärgiks on luua Naissaarele sõltumatu elektritootmislahendus. Selle käigus hinnatakse olemasolevat ja prognoositakse perspektiivset elektri tarbimist ning koostatakse elektri tarbimise koormusgraafik. Leitakse optimaalsemaid tootmis- ja salvestusseadmed tagamaks Naissaare elektri tarbimist mandri võrgust sõltumata. Hinnatakse sõltumata lahenduse maksumust ja võrreldakse seda mandri võrgust sõltuva lahendusega.

Elektri tarbimist ja tootmist simuleeriti energyPRO tarkvara abil. Arvestades olemasolevaid ja perspektiivseid tarbijaid moodustus saarele kuus erinevat tarbimisgruppi. Tarbimisgruppide aastaseks elektri tarbimiseks hinnati 1,11 GWh, koormustipuks 198 kW ja koormusmiinimumiks 38 kW. Tarbimise katmiseks leiti optimaalne tootmis- ja salvestusseadmete kombinatsioon, mis sisaldas endast olemasolevale 120 kW päikesepargile täiendava 120 kW suurese pargi lisamist, 175 kW elektrituuliku, 450 kWh salvesti ja 225 kW generaatori paigaldust. Nimetatud lahenduse maksumuseks hinnati 562 155 €.

Sõltumatu lahenduse maksumust võrreldes sõltuva ehk merekaabli lahendusega selgus, et merekaabli paigaldamise maksumus ulatub miljonitesse ning lisaks on vaja sõlmida võrguleping võrguettevõtjaga. Sellest tulevalt hinnati sõltumatu lahenduse investeringut majanduslikult optimaalsemaks.

Märksõnad: energyPRO, Naissaar, elektri tarbimise prognoos, koormusgraafik, taastuenergia lahendus, bakalaureusetöö.

ABSTRACT

Author: Rasmus Pae

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Independent electricity generation solution for Naissaare island

Date: 18.15.2023

73 pages

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

Consultant(s):

Abstract:

The goal of this bachelor's thesis is to create an independent electricity production solution for Naissaar. During the process, the existing and perspective electricity consumption is assessed and an electricity consumption load profile is created. The most optimal production and storage devices are found to ensure Naissaar's electricity consumption, which is not dependent on the mainland grid. The cost of the independent solution is evaluated and compared to a solution dependent on the mainland grid.

Electricity consumption and production were simulated using the energyPRO software. Taking into account existing and prospective consumers, six different consumption groups were formed on the island. The annual electricity consumption for the consumption groups was estimated at 1,11 GWh, with a peak load of 198 kW and a minimum of 38 kW. To cover the consumption, an optimal combination of production and storage devices was found, which included adding an additional 120 kW solar park to the existing 120 kW solar park, installing a 175 kW wind turbine, a 450 kWh storage system, and a 225 kW generator. The cost of the mentioned solution was estimated to be 562 155 €.

Comparing the cost of an independent solution to a dependent solution involving subsea cable installation, it became apparent that the cost of installing the cable amounts to millions, in addition to the need for a network agreement with the grid operator. Consequently, the independent solution investment was assessed as economically more optimal.

Keywords: energyPRO, Naissaar island, electricity consumption forecast, load curve, renewable energy solution, bachelor thesis.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Naissaare sõltumatu elektritootmislahendus**
Lõputöö teema inglise keeles: **Independent electricity generation solution for Naissaare island**
Üliõpilane: **Rasmus Pae, 206511EAAB**
Eriala: **Elektroenergeetika**
Lõputöö liik: **Bakalaureusetöö**
Lõputöö juhendaja: **Reeli Kuhi-Thalfeldt**
Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)
2022/2023 2022/2023 Kevad
Lõputöö ülesande
kehtivusaeg:
Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2023**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Käesoleva lõputöö teema on välja pakutud Elektrilevi poolt.

Naissaarel puudub hetkel elektrivõrk ja majapidamistes toodetakse elektrit lokaalselt, peamiselt kasutades fossiilseid kütuseid. Saare püsielanike arv on kasvanud viimase viie aasta jooksul kahekordseks, 24 inimeseni. Suveperioodil lisandub üle 100 inimese ning turismihooaja jooksul külastab saart ligikaudu 25 000 turisti. Järgmise kümne aasta jooksul prognoositakse tarbijate mitmekordset kasvu, sh püsielanike lisandumist. Seetõttu pöördus MTÜ Naissaarlaste Kogukond riigi poole, et rajada Naissaarele terviklik elektrivõrk kas merekaabli kaudu mandrilt või lokaalse off-grid lahendusena.

2. Töö eesmärk

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on koostada Naissaare sõltumatu elektritootmis- ja salvestuslahendus. Selleks on vajalik kõigepealt hinnata saare elektri tarbimist, koostada koormusgraafik, valida selle katmiseks vajalike tootmis- ja salvestuslahenduste võimsused ning anda ligikaudne hinnang lahenduse maksumusele.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Milline on Naissaare prognoositav elektri tarbimine ja koormusgraafik?
2. Mis mahus ja kuhu oleks vajalik paigaldada saarel elektri tootmis – ja salvestusseadmeid, et katta saare elektri tarbimine igal ajahetkel?
3. Kui suur oleks sellise lahenduse maksumus ja kas see oleks soodsam merekaabli kaudu elektrivarustuse lahendusest?

4. Lähteandmed

Elektri tarbimise tunnipõhiseks hindamiseks on vaja andmeid hoonete tüübi, kütteleahenduse ja indikatiivsete tarbimisandmete kohta ning tüüpkoormusgraafikud. Elektri tootmise tunnipõhiseks modelleerimiseks on sisenditeks päikesekiirguse, välistemperatuuri ja tuulekiirguse tunnipõhised mõõteandmed. Samuti elektrituuliku, päikesepargi ja akupanga tehnilised andmed, investeringu maksumused, püsi- ja hoolduskulud.

5. Uurimismeetodid

Tarbimise andmete hindamiseks kogutakse infot olemasolevate hoonete elektri tarbimise kohta kasutades küsimustikku. Tulevase elektri tarbimise prognoosi koostamiseks kasutatakse ajalehe artiklite analüüsi ning intervjuusid. Elektri tarbimise, tootmise ja

salvestamise tunnipõhiseks modelleerimiseks ning kogukulude hindamiseks kasutatakse energyPRO tarkvara. Tulemuste hindamiseks kasutatakse võrdlevat analüüsi.

6. Graafiline osa

Peamisteks joonisteks on elektri tunnipõhine tarbimine, elektrituuliku ja päikesepaneelide tunnipõhine elektri toodang, salvesti kasutuse graafik. Ülevaade hoonete paiknemisest saarel. Lisaks mudeli sisendeid ja tööpõhimõtet kirjeldavad joonised ning tabelid modelleerimise tulemustega. Graafiline osa on töö põhiosas.

7. Töö struktuur

Sissejuhatus

1. Elektri tarbimise hindamise ja tootmise modelleerimise meetodika

1.1 Tarbimise hindamise meetodika

1.2 energyPRO tarkvara

2. Naissaare elektrivarustus

2.1 Olemasolev olukord

2.2 Hoonete tarbimise hinnang tarbimisgruppide järgi

2.3 Tarbimisandmete prognoos

2.4 Koormusgraafik

3. Taastuenergia lahendus

3.1 Päikeseelektrijaama suuruse ja asukoha valik

3.2 Tuuleelektrijaam suuruse ja asukoha valik

3.3 Salvesti suuruse ja asukoha valik

3.4 Generaatori suuruse ja asukoha valik

4. Tulemuste analüüs

4.1 Mudeli energiavood

4.2 Mudeli rahavood

4.3 Võrdlus võrguga ühendatud lahendusega

Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Allikateks on erinevad töö teemaga seotud raamatud, teadusartiklid ja muud dokumendid, mis aitavad kaasa lõputöö eesmärgile.

- 1) A.Rosin, S.Link, H.Hõimoja, I.Drovtar, Energiasalvestid ja salvestustehnoloogiad, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2015.
- 2) EnergyPRO kasutusjuhend
- 3) Naissaare Üldplaneering
- 4) Teadmised mikrovõrkudest <https://www.microgridknowledge.com/>
- 5) Väikesaarte elektritootmislahendustest varasemad lõputööd

9. Lõputöö konsultandid

Hetke seisuga puuduvad

10. Töö etapid ja ajakava

Lähteandmete kogumine (12.03.2023)

Kirjanduse läbitöötamine (19.03.2023)

Modelleerimise teostamine (26.03.2023)

Teoreetilise osa kirjutamine (10.04.2023)

Järelduste kirjutamine (10.04.2023)

Kokkuvõtte koostamine (10.04.2023)

Töö esimene versioon valmis/juhendajale läbilugemiseks saatmine (10.04.2023)

Paranduste sisseviimine (17.04.2023)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (08.05.2023)

Töö lõplik versioon valmis (18.05.2023)

Sisukord

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	12
1. SISSEJUHATUS	13
2. ELEKTRI TARBIMISE HINDAMISE JA TOOTMISE MODELLEERIMISE METOODIKA	15
2.1 Tarbimise hindamise meetodika	15
2.2 EnergyPRO tarkvara	17
3. NAISSAARE ELEKTRIVARUSTUS	20
3.1 Olemasolev olukord	20
3.1.1 RMK külastuskeskus	21
3.1.2 Omari küün	21
3.2 Hoonete tarbimise hinnang tarbimisgruppide järgi	21
3.2.1 Hinnang olemasolevate eramute elektri tarbimisele	22
3.2.2 Hinnang olemasolevate suvekodude elektri tarbimisele	25
3.2.3 Hinnang olemasolevate turismiasutuste elektri tarbimisele	28
3.2.4 Hinnang arendatavate eramute elektri tarbimisele	30
3.2.5 Hinnang arendatavate turismiasutuste elektri tarbimisele	31
3.2.6 Hinnang arendatava transpordi elektri tarbimisele	32
3.3 Hinnang Naissaare elektri tarbimisele	32
4. TAASTUVENERGIALAHENDUS	37
4.1 Päikeseelektrijaama ja asukoha valik	40
4.2 Tuuleelektrijaama ja asukoha valik	43
4.3 Salvesti ja asukoha valik	45
4.4 Generaatori ja asukoha valik	46
5. TULEMUSTE ANALÜÜS	48

5.1 Mudeli energiavood	48
5.2 Mudeli rahavood	54
5.3 Võrdlus võrguga ühendatud lahendusega	54
KOKKUVÕTE	56
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	58
LISAD	61

EESSÕNA

Käesoleva töö teema pakkus välja Enefit Connect. Töö teema on aktuaalne kuna Naissaare elanikud ja Meremuuseum on väga huvitatud saare elektrifitseerimisest ning on pöördunud seoses sellega ka võrguettevõtte Elektrilevi ametliku esindaja Enefit Connecti poole.

Kuna töötan nimetatud ettevõttes, siis anti mulle tööalaselt ülesanne koostada Naissaarele lähteülesanne mandri elektrivõrguga ühendatud lahendusele ning pakuti lõputöö raames uurida mandri elektrivõrgust sõltumatut lahendust. Tundsin, et mõlema variandiga tegelemine oleks hea võimalus saada ülevaade Naissaare praegusest ja prognoosivast elektri tarbimisest ning koostada tarbimist katvat elektritootmislahendust.

Täna enda juhendajat Reeli Kuhi-Thalfeldti asjaliku ning konkreetse abi ja tagasiside eest.

1. SISSEJUHATUS

Naissaar on suuruselt viies saar Eestis, kuid esimene selles järjekorras millel puudub püsiv ja ühine elektrienergia varustus. Saar asub Tallinna lahes ning on oma asukohaga väga potentsiaalne arendusala, kuid ilma püsiva elektriühendusega pole inimestel suuremat huvi saarele alaliselt või hooajaliselt elama asuda. Ühise elektrivõrgu ja reeglistiku puudumine on võimaldanud igal saare elanikul luua enda nägemise järgi individuaalse tarbimisvajadusi katva lokaalse elektritootmislahenduse, mis eranditult tähendab ka taastumatute energiaallikate kasutust. Individuaalsete lahenduste jätkuv loomine ei ole mõistlik, kuna mitmete üksiklahenduste lisamise korral saaks need asendada ühise lahendusega, mille ressurss ja investeering leiaks paremat kasutust. Igale saare tarbijale ei pruugi olla jõukohane luua endale taastuvatel energiaallikatel põhinevat elektritootmislahendust ning jätkuks fossiilkütustel töötavate generaatorite suur kasutus. See aga ei kattu keskkondlikult üleilmse suunitlusega tugineda rohkem taastuvatel energiaallikatel.

Saarte elektrifitseerimise võimalusteks on elektrienergiat toota kohapeal või luua püsiühendus lähima olemasoleva elektrivõrguga. Valiku langetamiseks on vaja hinnata näiteks elektritarbimist ja selle prognoosi, kaugust lähimast elektrivõrgust, erinevate tehnoloogiate hindasid ning ka erinevate toetuste võimaliku kaasatavust. Püsiühendus merekaablite näol võimaldaks suuremat elektritarbimist ja töökindlust, kuid määravaks võib saada kaabli paigalduse hind. Taastuvate energiaallikate, nagu näiteks päikesepaneelide ja elektrituulikute, paigaldamise hinnad on aga langustrendis ning on ka suurem võimalus saada erinevaid toetusi nende rajamiseks.

Maailmas ning ka Eestis on mitmeid erinevaid mandri elektrivõrgust sõltuvaid ja sõltumatuid elektrilahendusi. Näiteks Eesti suurimad saared Saaremaa ja Hiiumaa on ühendatud mandri võrguga läbi merekaablite, kuna saarte elektri tarbimine on suur ja kaugus mandrist piisavalt väike. Mandri võrgust kaugel asuvate saarte puhul ei pruugi merekaabli lahendus olla enam parim ning üks selline lahendus on teostatud Ruhnul, kus saare 2019 aastane elektritarbimine oli 450 MWh, millest 53% tuli taastuvenerialahendusest. Ruhnu lahendus sisaldas endast 150 kW päikeseparki, 50 kW tuulikut ning 222 kWh salvestit [1]. 2020 aastal on tehtud magistritöö Prangli saare taastuvenergia elektrisüsteemi kohta, kus parimaks lahenduseks valiti 618 kW päikesepark, neli 25 kW tuulikut ning 850 kWh salvesti, mis katab saare 648 MWh tarbimist selliselt, et generaatorid peavad töötama ainult 411 tundi aastas [2]. Iga elektrilahendus

on erinev, kuna erinevad elektrienergia tarbimine, tingimused ja võimalused selle loomiseks.

Naissaar on koduks mitmetele püsielanikele ja suvitajatele ning on perspektiivne arendusala, kuhu aga varasemalt pole teostatud elektri tootmise ega tarbimise kohta uurimisi. Selle tõttu tegeletakse nendega antud töös. Elektrienergia tarbimise hindamisel tegeletakse elektri tarbimise ja koormusgraafiku leidmisega arvestades nii olemasolevaid, kui ka perspektiivseid tarbijaid. Elektri tootmise hindamisel uuritakse peamiselt võimalust toota elektrienergiat kohapeal taastuvate energiaallikate abil, leitakse optimaalsed tootmiseseadmete võimsused ja elektrienergia salvesti mahutavus ning pakutakse nendele sobilikud asukohad. Lisaks antakse hinnang mandri elektrivõrguga sõltuvale ühendusele ning võrreldakse seda mandri võrgust sõltumatu ehk kohapeal toodetud elektrienergia lahendusega. Töö üheks väljundiks on ka mandri võrgust sõltumatu ja sõltuva lahenduse indikatiivsed maksumused, mis annavad Naissaare elektrifitseerimise arendajale aimu võimalikest edasistest uurimissuundadest.

2. ELEKTRI TARBIMISE HINDAMISE JA TOOTMISE MODELLEERIMISE METOODIKA

Selles peatükis antakse ülevaade tarbimise ja tootmise modelleerimise võimalustest Naissaarel ning selleks kasutatud meetoditest. Lisaks antakse ülevaade kasutatud tarkvarast ning selle simuleerimisvõimalustest.

2.1 Tarbimise hindamise meetoodika

Tarbimise hindamiseks ja prognoosimiseks on mitmeid meetodeid. Näiteks on võimalik ühe majapidamise potentsiaalne tipptarbimine leida lihtsalt elektriseadmete nimivõimsuste summeerimise teel, kuid on ebatõenäoline kõikide nende seadmete üheaegne kasutamine. Mitmed kirjanduses toodud ennustusmudelid tuginevad ajaloolistele tarbimisandmetele ning neid analüüsid saadakse ülevaade sellest, kuidas elektritarbimine on varasemalt muutunud ning selle kaudu prognoositakse tarbimise muutust tulevikus. Näiteks on võimalik varasemate elektri tarbimise aegridade olemasolu korral tarbimist prognoosida kasutades ARIMA autoregressiivset mudelit [3]. Samuti on võimalik prognoosida tarbimise aegrida varasemate aegridade olemasolul, kasutades programmeerimiskeelt Python ja selle teeki, kus võetakse arvesse kuupäeva ja kellaaega, elektri tarbimist, välistemperatuuri ja riigipühasid [4].

Naissaare tarbimise hindamise ja prognoosimise teeb keerukaks asjaolu, et puuduvad igasugused varasemad tarbimise aegread ning ka andmed saarel olevatest elektri tarvititest. Sellest tulenevalt lähtuti tarbimise hindamisel ja prognoosimisel võimalikest alternatiivsetest lähteandmetest, millest üks osa oli MTÜ Naissaarlaste Kogukonna ja Meremuuseumi poolt saadetud info olemasolevate tootmisüksuste ja nende võimsuste, perspektiivsete elamute, muuseumide ja teenuste kohta (vt Lisa 1). Veel oli võimalik kasutada infot olemasolevate hoonete tüüpide ja nende kasutamise kohta, arvestada välistemperatuuri ja tüüpkoormusgraafikutega ning kasutada erinevaid statistilisi andmeid Eesti majapidamiste elektri tarbimise kohta. Nimetatud lähteandmete abil oli võimalik hinnata saare olemasolevat tarbimist, prognoosida selle muutust ning koostada elektri tarbimise koormusgraafik.

Elektri tarbimise koormusgraafiku loomiseks on vaja ära kaardistada saarel asuvate ja planeeritavate hoonete tüübid, kuna erinevalt kasutust leidvate hoonete elektri tarbimine on erinev. Hetkel on saarel eramuid, suvilaid, külalistemaja, kontserdisaal, külustuskeskus, sadam, tuletorn, radarikompleks ning veel mõned hooned. Lisaks eramutele ja külalistemajale planeeritakse saarele ka muuseumi ja elektrirongi.

Arvestades kõikide olemasolevate ja perspektiivsete tarbijatega, välja arvatud Naissaarel asuva Politsei - ja Piirivalveameti radarikompleksiga, otsustati olemasolevad ja tulevased elektri tarbijad liigitada kuude tarbimisgruppi. Radarikompleksiga ei arvestatud selle tõttu, kuna see kompleks on juba täna end iseseisvalt elektriga varustav. Olemasolevad ja perspektiivsed tarbijad jaotati gruppidesse nende tarbimiseloomu ja seda mõjutavate tegurite järgi. Näiteks tarbijad, kes hooajaliselt pakuvad majutust või toitlustust on suuresti sõltuvad küllastajate arvust ning selle tõttu paiknevad nad ühes grupid. Hooned, mida kasutatakse vaid suviti, on püsielanike eramute tarbimisgrupist eraldi, kuna sealne elektrienergia tarbimine on perioodiline. Eristati veel olemasolevaid ja arendatavaid eramuid, kuna nende tarbitava elektrienergia kogus on suure tõenäosusega erinev ning eraldi tarbimisgrupi moodustas saarele planeeritav elektrirong. Meremuuseum planeerib saarele kahte aastaringelt avatud muuseumi, mis moodustasid viimase ehk kuuenda tarbimisgrupi.

Iga tarbimisgrupi tarbimise hindamiseks kasutati veidi erinevat meetodit. Viie grupi tarbimisgraafik moodustati simuleerimistarkvara energyPRO abil, kasutades selle võimalust luua erinevaid sõltuvusi välistemperatuurist. Tarbimisgraafikute loomisel kasutati sellele tarbimisgrupile omaseid tarbimisandmeid ning veel täiendavaid tegureid. Kuue tarbimisgrupi tarbimisgraafiku summeerimise teel saadi Naissaare elektrienergia tarbimist iseloomustav koormusgraafik ning nende loomist kirjeldatakse täpsemalt järgmises peatükis.

2.2 EnergyPRO tarkvara

EnergyPRO on Taani sihtasutus EMD poolt loodud energia valdkonnas juhtiv simuleerimise tarkvara, mille abil saab olemasolevaid ja uusi keerulisi energiaprojekte modelleerida ja analüüsida. Tarkvara võimaldab kasutada väga mitmeid erinevaid funktsioone energiasüsteemide projekteerimiseks ja simuleerimiseks läbi kasutajasõbraliku liidese. Antud töös kasutati eelkõige energyPRO võimekust modelleerida elektrienergia tarbimist, päikese - ja tuuleenergia tootmise stsenaariume, elektrienergia salvestusseadmete ja fossiilkütustel töötavate generaatorite tööd ning analüüsida tootmis - ja tarbimisvõimsuste bilanssi. Energiavooge on võimalik tarkvaras esitleda graafiliselt, mis annab väga hea ülevaate mudeli dünaamikast. Tarkvara võimaldab kasutajal läbi viia finantsanalüüse, mis annab kasutajale arusaadava ülevaate projekti tasuvuse ja eelarve kohta. EnergyPRO võimaldab kasutada erinevaid strateegiad, kus keskendutakse näiteks tootmiskulude minimaliseerimisele või elektrinõudluse katmisele. Viimast strateegiat kasutati ka antud töös, kuna elektrinõudluse katmine on saartalitluse olukorras kõige olulisem.[5]

Võimalikult täpsete simulatsiooni tulemuste saamiseks on tarkvaras võimalik kasutada mitmeid parameetreid. Tunnipõhiseid aegridasid tuulekiiruse, päikese kiirguse ja temperatuuri kohta võeti tarkvaras olevast ilmaennustusmudelist. Tarbimisandmeid on võimalik sisestada tarkvarasse tunnipõhistena, aastase tarbitud energia hulgana või määrates ära tarbimise nõudluse. Viimase kahe puhul on võimalik tarbimisandmete ja aegridade vahel tekitada protsentuaalne või astmeline seos. Antud töös kasutati erinevate tarbimisgruppide andmete prognoosimisel kõiki kolme meetodit. Lisaks on võimalik määrata erinevaid ajalisi piiranguid, tegureid ja etalonväärtuseid mis suurendavad simuleerimise võimalusi ja täpsust.

Name: Electricity demand

Development of Demand in Planning Period

Demand in Specified year

Demand: Fixed Calculated kWh

Demand depends on external conditions

Dependent Demand kW/°C Independent Demand kW

Restricted season for dependent demand (dd/mm)

Formula for dependency

Depends linear on ambient temperatures
 Is user defined

Reference temperature °C Symbol for ambient temperatures

kW/°C Degree kW/Degree

* +

Fixed profile of demand

Daily Weekly

Time	Ratio
1 00:00	0.0

Joonis 2.1 Tarbimise redigeerimisaken

Päikesepaneelide täpse töö simuleerimiseks saab tarkvaras sisestada allolevaid parameetreid:

- päikesepargi võimsus
- paneeli võimsus
- paneelide nurk maapinna suhtes
- paneelide nurk lõunakaare suhtes
- temperatuuri ja päikesekiirguse aegread
- tõhususe temperatuurikordaja, mis kirjeldab paneelide efektiivsuse langust temperatuuri tõustes
- nominaalne töötemperatuur
- ülekandekaod
- võimalus paigutada paneelid ridadesse, määrata ridade vahet ning ridade kõrgust

Tuulikute puhul on vajalike tehniliste parameetrite arv väiksem ning sisestada saab järgnevaid parameetreid:

- tuulekiiruse aegrida
- võimsuskõver, mis näitab tuuliku väljundvõimsust erinevate tuulekiiruste korral
- gondli kõrgus
- tuulekiiruse mõõtmise kõrgus

- Hellmanni eksponent, mis aitab ennustada tuule kiirust erinevatel kõrgustel sõltuvalt maapinna reljeefist

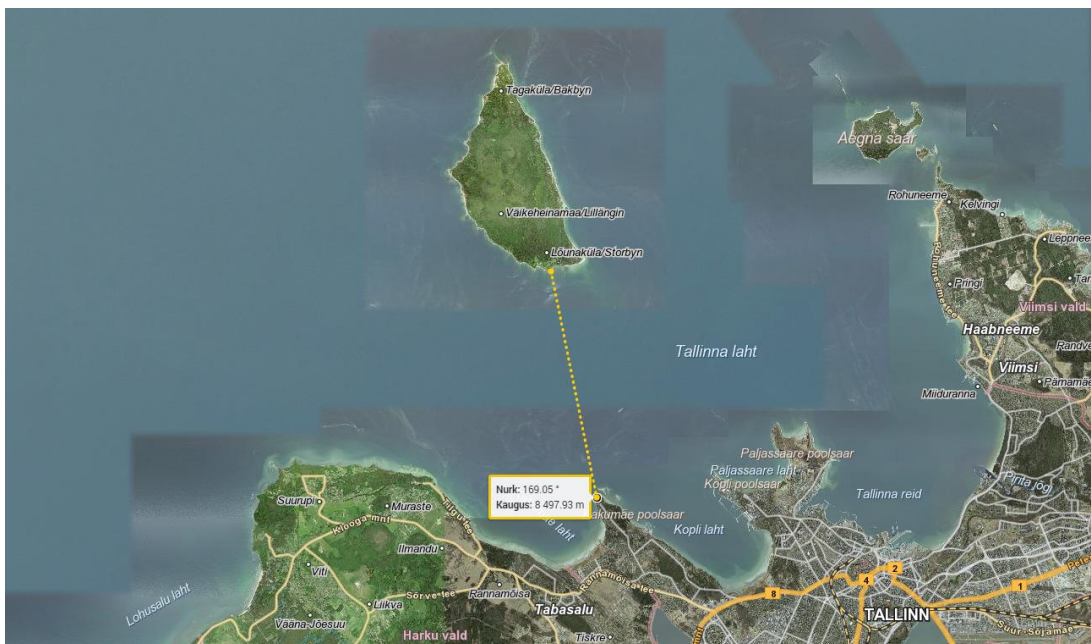
Tarkvaras on võimalik kasutada mitmeid elektri ja soojuse salvestusviise, kuid antud töös kasutati aku-patarei energiasalvestit, kus saab määrata mitmeid parameetreid:

- salvesti mahutavus
- kasutatavusmäär
- laadimise ja tühjenemise võimsus ja kasutegur

Kõiki tarbimise, tootmis – ja salvestusseadmete mainitud parameetreid kasutati mudelis sisendandmetena, et simulatsioon oleks võimalikult täpne. Sisenditena kasutati veel tuulekiiruse, välistemperatuuri ja päikesekiirguse aegridasid. Mudeli väljundiks on graafilisel kujul esitatav energiavooge kirjeldab graafik ning erinevad aruanded mudeli simuleerimistulemustest.

3. NAISSAARE ELEKTRIVARUSTUS

Enne teist maailmasõda elas saarel 250 tsiviilelanikku, kuid sõja käigus asustus hävis. Peale sõda asus saarele Nõukogude Liidu sõjavägi, kelle koosseis ulatus kuni 1 200 sõdurini. Peale taasiseseisvumist sõjavägi lahkus ning 2007 aasta seisuga elas saarel vaid 9 elanikku, kuid turistide arv ulatus ligemale 20 tuhandele [6]. Aja ja inimeste voogude muutusega muutub ka elektrivarustuse vajadus ning käesolevas peatükis antakse ülevaade saare elektrivarustuse hetkeolukorrast ning hinnatakse Naissaare aastast elektri tarbimist ja koormusgraafiku kuju.



Joonis 3.1 Naissaare asukoht ja kaugus mandrist (9 km)

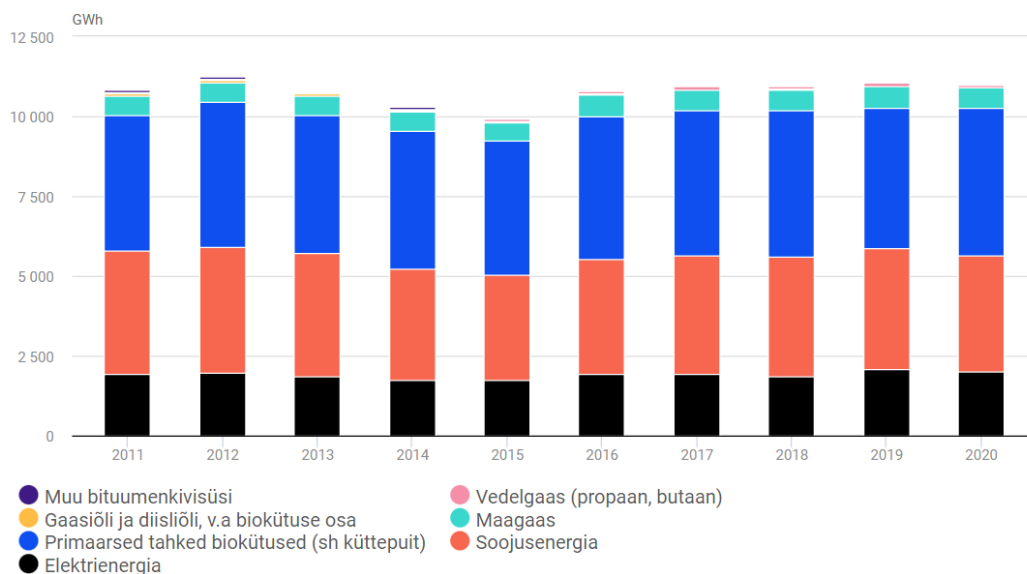
3.1 Olemasolev olukord

Kokku on saarel üle 20 majapidamise, kus elekter toodetakse peamiselt diiseldiiselmootoritega, kuid ka päikesepaneelide ja mõne üksiku väikese tuuliku abil. Majapidamised on saarel jagunenud seitsmeks suuremaks tarbimiskohaks kuhu on installeeritud erinevaid tootmisseadmed. Enamus tarbimiskohti asuvad ranniku lähedal lagealadel või nende lähedal. Saare suurimateks tarbijateks on Lõunakülas asuv külalistemaja ja sadama lähedal asuv RMK külastuskeskus (vt Lisa 1).

Naissaarel asuvad ja perspektiivsed majapidamised, hooned ja teenused jagunesid kuueks tarbimisgrupiks, ning igaühe tarbimisgraafiku loomisel on kasutatud erinevaid lähenemisviise, kuid tarbimise modelleerimist sõltuvalt välistemperatuurist hinnati kõige täpsemaks võimalikuks viisiks energyPRO tarkvaraga, sest suurim osa elektrist kulub majapidamiste ja hoonete kütteks.

3.2.1 Hinnang olemasolevate eramute elektri tarbimisele

Olemasolevate püsielanike eramute tarbimise kohta puudus igasugune info, teada oli vaid nende tootmisüksuste võimsused. Tootmisüksuste võimsuste järgi oli raske hinnata milline võiks olla nende aastane energia tarbimine. Tootmisüksuste ja üheaegsusteguriga oleks saanud hinnata vaid tiptarbimist. Selle tõttu otsustati selle tarbimisgrupi tarbimist hinnata Eesti keskmise majapidamise elektrienergia tarbimise järgi. 2012 aastal tehtud leibkondade energiatarbimise uuringu põhjal tarbis Eesti keskmine leibkond aastas 3465 kWh ning keskmine elektritarve maapiirkondades oli 4553 kWh [9]. Elektrienergia tarbimise vajadus majapidamistes võrreldes aastaga 2012 on suurenenud, aga samuti on suurenenud elektrienergiat tarbivate seadmete energiatõhusus. Seda kinnitab ka allolev graafik, kust saab näha, et 2020 aasta elektrienergia tarbimise maht on vägagi sarnane 2012 aasta omaga.



Joonis 3.2 Eesti energia tarbimine aastate lõikes [10]

Sellest tulenevalt arvestati, et ka Naissaare püsielaniku majapidamine võib keskmiselt 4553 kWh elektrienergiat aastas tarbida. Saarel elab 24 püsielaniku kuid ei ole teada

täpselt mitmesse majapidamisse nad jagunevad. Eesti 2021 aasta rahvaloendusest selgus, et keskmiselt elab 2,35 inimest majapidamises [11]. Selle põhjal jagunesid saare püsielanikud 12 majapidamisse ja nende summaarne aastane elektrienergia tarbimine oli 54636 kWh.

Järgnevas probleemiks oli aastasest energia hulgast luua püsielanikele koormusgraafik. Kuna ei nähtud erinevusi Naissaare püsielaniku ja Euroopa keskmise tarbija elementaarsetes tarbimisvajadustes, milleks on näiteks soe tuba, soe vesi ja valgus, siis kasutati Euroopa energia tarbimise statistikat, mille põhjal jaguneb energia tarbimine majapidamises järgnevalt:[12]

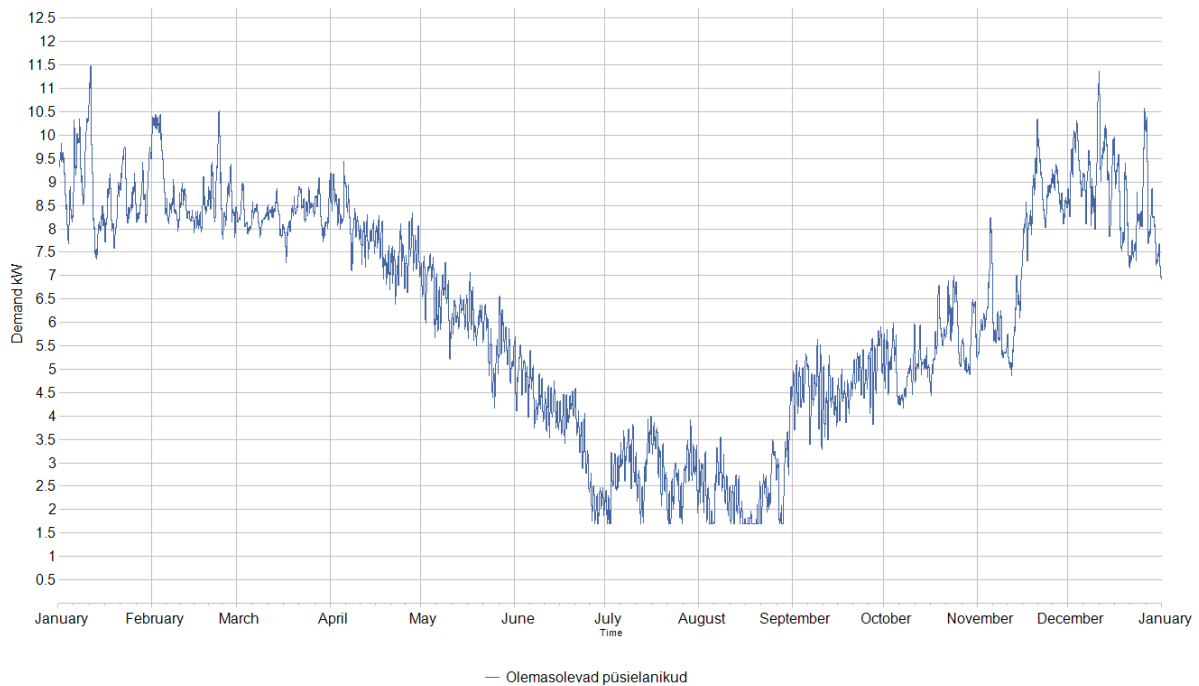
- 62,8 % majapidamise kütteks
- 15,1 % vee soojendamiseks
- 14,5 % valgustuseks
- 6,1 % söögi tegemiseks
- 0,4 % majapidamise jahutamiseks
- 1 % muud

Järgmiseks loodi energia tarbimise protsentuaalne sõltuvus välistemperatuurist, kus arvestati kolme aspekti:

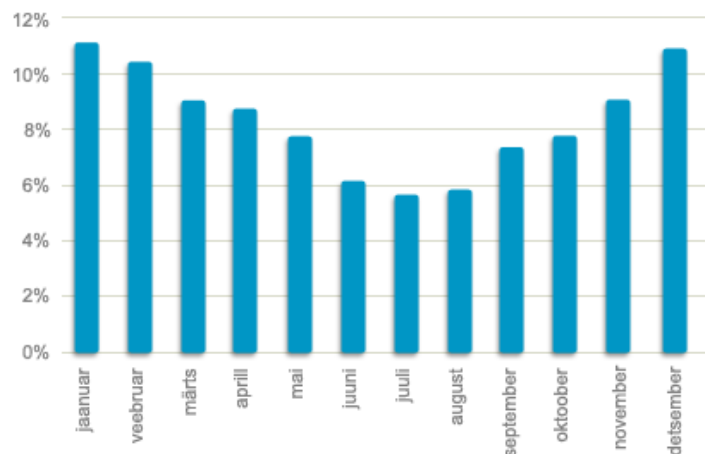
- 62,8 % energiast majapidamise kütteks, mis on otseselt seotud välistemperatuuriga
- Eesti asub sellises maailmajaos, kus välistemperatuuri langedes väheneb ka päevavalguse hulk. Arvestati, et majapidamistes kasutatakse ka valgel ajal valgust, mille tõttu määrati valgustuse sõltuvuseks 10 % välistemperatuurist
- Vee soojendamist ei pandud temperatuurist sõltuma, kuna välistemperatuur ei avalda suurt mõju vee temperatuurile pinnases ning sooja vee tarbimisharjumustele

Sedasi tehes saadi, et energia tarbimine on ligikaudu 72,8 % protsendilises sõltuvuses välistemperatuurist. Selleks, et luua temperatuurist sõltuv tarbimisgraafik, määrati tarkvaras olemasolevate eramute aastane energia tarbimine sõltuvusse välistemperatuurist selliselt, et kui välistemperatuur langeb alla toatemperatuuri, hakkab tarbimine suurenema. Toatemperatuuriks valiti 21 kraadi ning simuleerimistulemuseks saadi, et tarbimine suureneb 0,33 kW võrra ühe kraadi langemise korral ning miinimumtarbimiseks jäi ligikaudu 1,7 kW. Kui välistemperatuur muutus kõrgemaks kui 21 kraadi, siis tarbimist ei suurendatud kuna MTÜ Naissaarlaste kogukonna sõnul puuduvad

saare majapidamistes elektrienergiat tarbivad jahutusseadmeid. Alloleval joonisel on toodud olemasolevatele eramutele koostatud tarbimisgraafik.



Joonis 3.3 Olemasolevate eramutele koostatud elektrienergia tarbimisgraafik



Joonis 3.4 Elektrilevi tüüpkoormusgraafik hooajalise mõjuga eramutele [13]

Koostatud tarbimisgraafikut võrreldi Elektrilevi poolt kasutusel oleva tüüpkoormusgraafikuga. Elektrilevi tüüpkoormusgraafikud koos keskmise elektritarbimisega on aluseks Elektrilevi klientidele elektritarbimise prognoosimiseks, kui arvesti näit on puudulik või pole võimalik seda lugeda [13].

Võrreldes joonisel 3.3 toodud graafikut Elektrilevi tüüpkoormusgraafikuga joonisel 3.4, mis on mõeldud hooajalise mõjuga eramutele, mille elektritarbimine on aastas vahemikus 4000 kuni 10 000 kWh, saadi võrdlemisi sarnane tulemus. Erinevuseks on aga see, et Elektrilevi

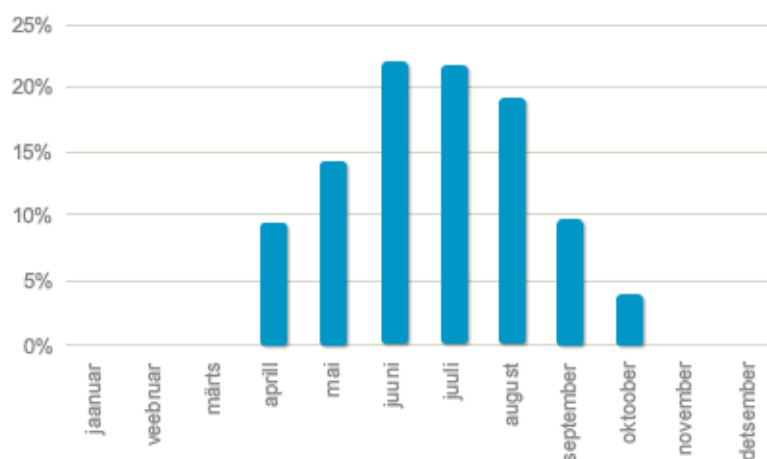
tüüpkoormusgraafikul ei lange suvised tarbimised sedavõrd, kui langevad antud töös koostatud tarbimisgraafikul. Selle võis põhjustada Elektrilevi klientide hoonetes suviti kasutust leidev konditsioneer, mis suurendab elektrienergia tarbimist.

3.2.2 Hinnang olemasolevate suvekodude elektri tarbimisele

Kuna suvekodude kasutamine on perioodiline ning enamasti elatakse nendes soojematel perioodidel, siis ei saa olemasolevate eramute peal rakendatud meetodit sellele grupile rakendada. Konkurentsiameti poolt on kooskõlastatud Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafikute tunnitegurid, mida kasutatakse tarbija tunnipõhise tarbimise leidmiseks. Nii kodutarbijatele kui ka suvilaühistutele kehtivad samad tunnitegurid, kuna suvilaühistute tarbimine on sarnane kodukliendi tarbimisega. [14]

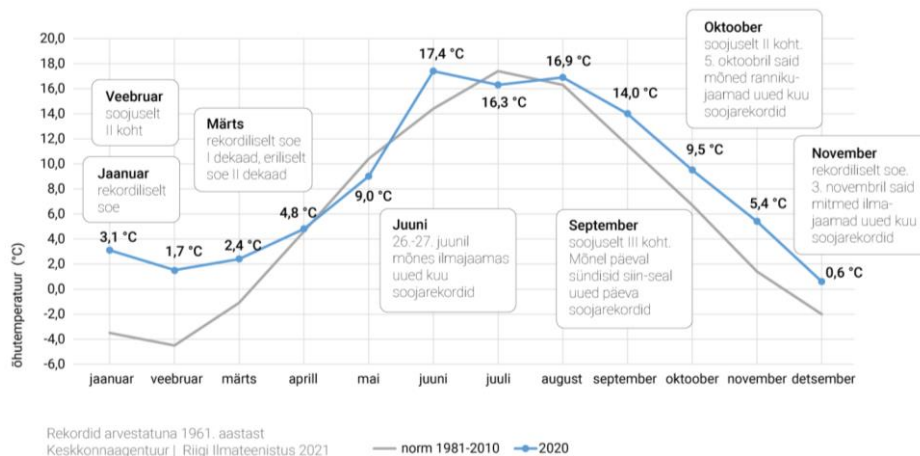
Tunnitegurid rakendatakse ühe kuu tarbimisele, seega kui kodumajapidamine ja suvila tarbivad ühes kuus sama palju elektrienergiat, siis nende koormusgraafik on sama. Sellest tulenevalt on suvilate tarbimise hindamisel lähtutud, et suvekuudel tarbitakse suvilas sama palju energiat kui püsielaniku majapidamises. Võrreldavaks kuuks võeti juuli kuu, kus tarbiti 12 kodumajapidamises 2739 kWh. Kokku on saarel ligikaudu 15 suvilat, seega oleks nende suvilate juuni kuu tarbimine $2739 \div 12 \cdot 15 = \sim 3424$ kWh.

Elektrilevi poolt väljastatud suvetarbimise graafik on mõeldud suvilatele ja sellistele tarbimiskohtadele kus tarbimine toimub peamiselt suvel. [13]



Joonis 3.5 Suvetarbimise graafik [13]

Alloleval joonisel on näha Eesti keskmine õhutemperatuur kuude kaupa aastal 2020.



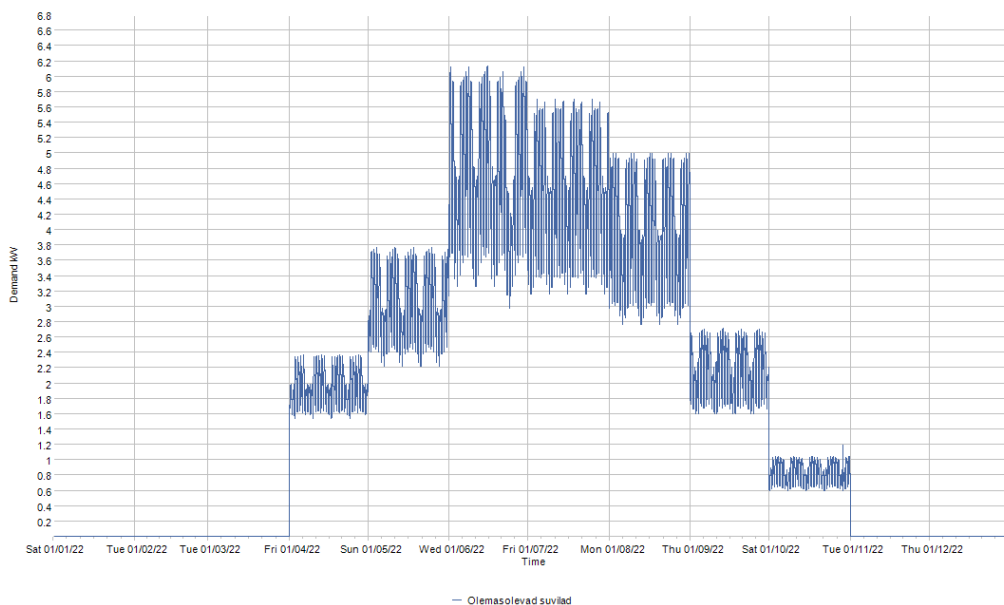
Joonis 3.6 Eesti keskmine õhutemperatuur kuude kaupa aastal 2020 [15]

Joonise 3.5 ja joonise 3.6 põhjal saadi kinnitust, et suvilate ja suviti kasutust leidvate hoonete tarbimine suureneb temperatuuri tõustes, mille põhjustajaks on inimeste voog suvilatesse ilmade soojenemisel. Ilmade jahenemisel kasutatakse suvilaid vähem, mille tõttu ka tarbimine väheneb. Tuginedes Eesti suurima võrguettevõtja poolt toodud illustreeriva suvetarbimise ja Keskkonnaagentuuri poolt väljastatud välistemperatuuri joonistele seati antud töös suvilate prognoositav tarbimine sõltuvusse välistemperatuuri tõusuga. Samuti kasutati ära suvilate tüüpkoormusgraafikul esitatud tarbimise protsentuaalset jagunemist kuude lõikes. Suvilate juuni kuu tarbimise järgi jagunesid tarbimised vastavalt joonisele 3.5 vahemikus aprillist oktoobrini ja on toodud allolevas tabelis:

Tabel 3.2 Suviekodude juunikuu tarbimise jaotus

	Ligikaudne osakaal, %	Tarbimine, kWh
Aprill	9	1400
Mai	14,5	2257
Juuni	22	3424
Juuli	21,5	3346
August	19	2957
September	10	1556
Oktoober	4	622
Kokku	100	15562

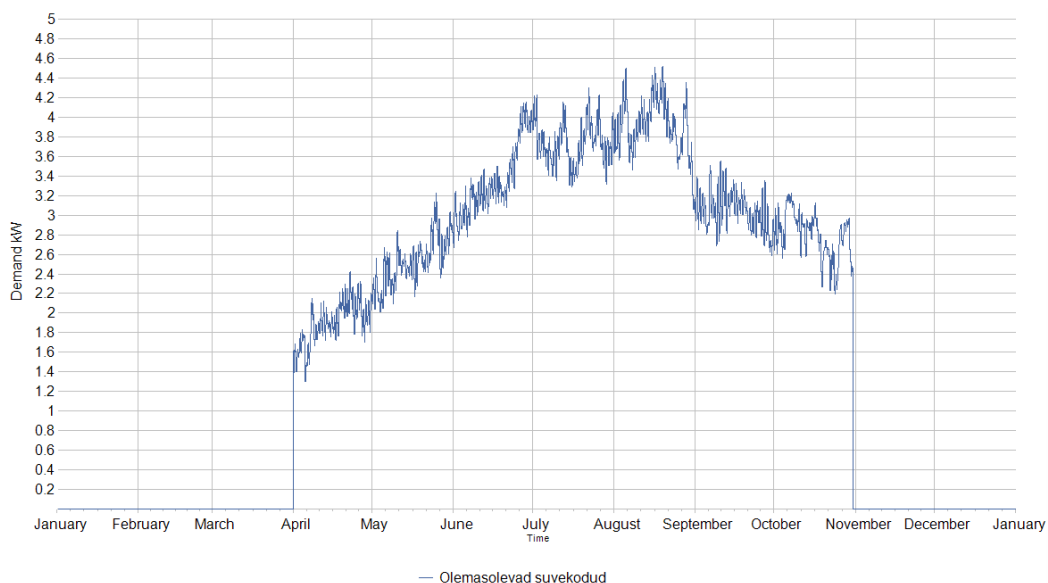
Suvilate tarbimine nende seitsme kuu peale kokku on 15562 kWh. Kui kasutada Elektrilevi tüüpkoormusgraafiku igakuised tunnitegureid ja nendele vastavat igakuist tarbimist, mis on toodud ülal olevas tabelis, siis tekiks allolev graafik:



Joonis 3.7 Olemasolevate suvekodude tarbimisgraafik kasutades Elektrilevi tunnitegureid

Selle graafiku puuduseks on aga hüppelised muutused, mis on põhjustatud sellest, et suvilate igakuised tarbimised on erinevad ning tunnitegurid ei ole mõeldud ühtlustamaks selliseid hüppelisi muutusi. Kuid sellest graafikust võib leida indikatiivseid suuruseid millised võiksid olla suvilate igakuised keskmised või tiputarbimised.

Ühtlasem ja sarnaseima tarbimise jaotusega tarbimisgraafik saadi energyPRO tarkvaras selliselt, kui pandi tarbimine 100 protsendiliselt sõltuvusse välistemperatuuri tõusust. Selline sõltuvus kirjeldab kõige rohkem seda, et ilmade soojenemisega liigub ühe rohkem inimesi suvilatesse. Kindlasti mängib rolli seal ka puhkuste langevus suvekuudele. Suvilatele loodi koormusgraafik vahemikul aprillist novembri alguseni.



Joonis 3.8 Olemasolevate suvekodude tarbimisgraafik

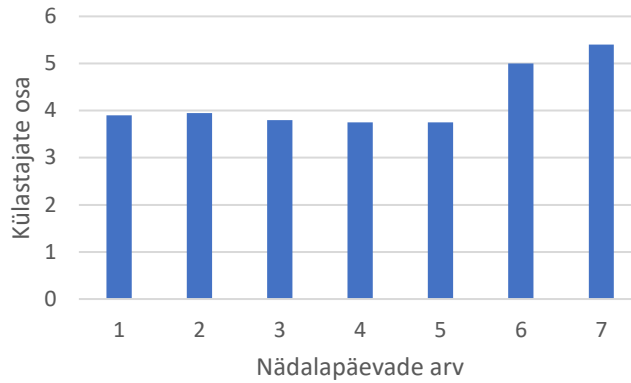
3.2.3 Hinnang olemasolevate turismiasutuste elektri tarbimisele

Naissaare avalike ja turismiasutuste tarbimise hindamisel ja prognoosimisel kasutati nende tootmiseadmete nimivõimsuseid. Allolevas tabelis on toodud peamised asutused ja nende teadaolevad lähteandmed vastavalt Lisa 1 toodud tabelile.

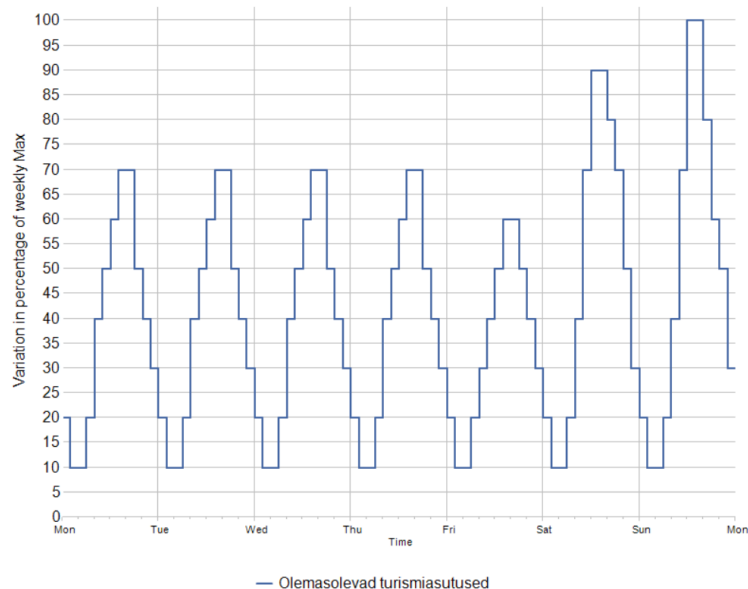
Tabel 3.3 Asutused ja nende info

Tarbija	Seadmete võimsus	Lahtiolekuajad
Naissaare külalistemaja koos kinoga	Päikesepaneelid 8 kW Generaator 60 kW	01.05-30.10
RMK külastuskeskus	Päikesepaneelid 10 kW Generaator 40 kW Tuulik 3 kW	01.07-31.08 kell 11.00- 18.00
Naissaare sadam	Päikesepaneelid 8 kW Generaator 18 kW	-
Omari küün	Päikesepaneelid 9 kW Generaator 9 kW	-

Naissaare külalistemaja ja RMK külastuskeskus on saare suurimad majutusasutused kus öömaja on üle 200 inimesele. Naissaare sadamas pakutakse lisaks sadamakohale ka elektritoidet paatidele, sauna ja pesemisvõimalusi. Omari küüni kasutatakse lisaks suvilale ka kontserdipaigana. Seega kõikide nende asutuste tarbimine sõltub suurelt külastajate arvust. Kõikidel asutustel on nii päikesepaneelid, kui ka generaatorid, aga generaatorite võimsused on tunduvalt suuremaid kui päikesepaneelide omad. Kuna tegemist on asutustega mis töötavad suviti, siis võib eeldada, et generaatorid on kasutusel suvise tarbimise ja tarbimistippude tagamiseks ning päikesepaneelid selleks, et vähendada generaatori töö mahtu. Ainukeseks erandiks võib olla Naissaare sadam, kus generaatorit võidakse kasutada ka talvel. Tarbimise hindamisel arvestati ainult generaatorite võimsustega kuna võib eeldada, et generaatorid on valitud selliselt, et igal hetkel oleks tarbimine kaetud. Kuna ei olnud võimalik saada ühendust külalistemaja ja külastuskeskusega, et täpsustata nende reaalseid tarbimise tippe, siis arvestati nende nelja tarbija puhul sellega, et tarbimise tipud võivad suure tõenäosusega kokku langeda, kuna saarele saabuvad turistid laevadega võrdlemisi samal ajal. Nelja asutuse generaatorite võimsuste summa on 128 kW, millest tulenevalt arvestati tarbimisgraafiku loomisel, et nelja tarbimiskoha üheaegne maksimaalne tarbimise tipp on ligikaudu 128 kW.



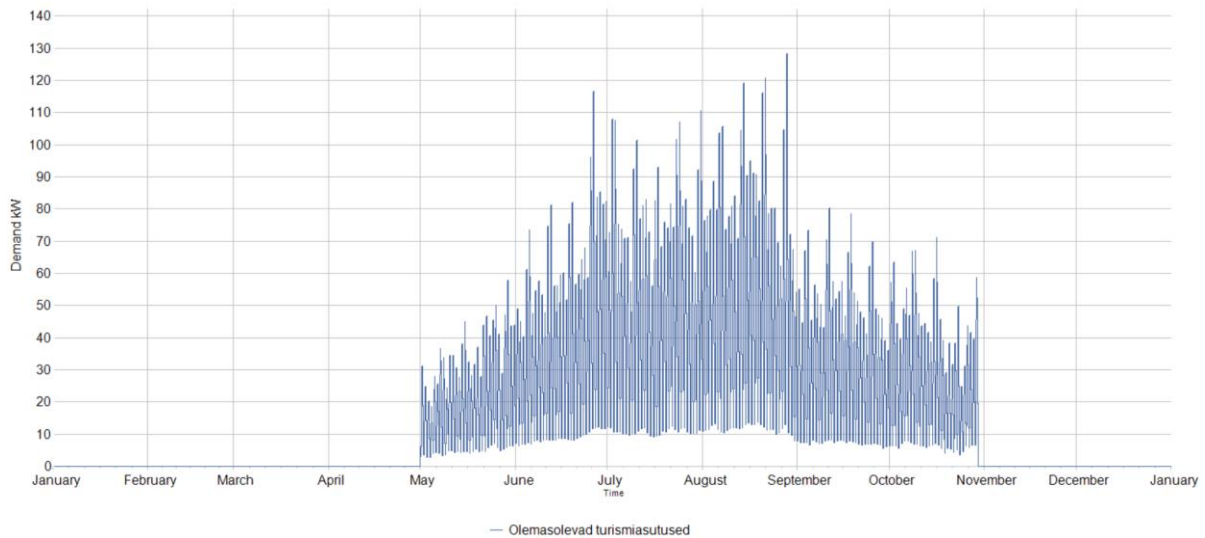
Joonis 3.9 Turistide voog nädalapäevade lõikes [16]



Joonis 3.10 Olemasolevate turismiasutuste tarbimise jaotus nädala lõikes

Joonise 3.9 põhjal hinnati turistide voogu saarele nädalapäevade lõikes ning samasugust jaotust kasutati ka selle grupi tarbimisgraafiku loomisel, et paremini kirjeldada tarbimise muutu (vt joonis 3.10). Iga päev jaotati veel omakorda 12 osaks ehk kaheks tunniks ning määrati nendele tunnipaaridele tegurid kirjeldamiseks tarbimise muutu päeva lõikes. Naissaarale saab erinevate kruisilaevadega, mis enamasti jõuavad saarele kell 11.00 ja väljuvad kell 18.00 [17]. Samadel aegadel on avatud ka RMK külastuskeskus. Nende andmete põhjal määrati tegurid selliselt, et suurim tarbimine ja tiputarbimine jääks antud vahemikku. Muudel aegadel on tarbimine väiksem, aga mitte null kuna külalistemajas on tarbimine ööpäevaringne. Selle tarbimisgrupi graafik pandi välistemperatuuri tõusust sõltuma selliselt, et oleks tagatud arvutuslik üheaegne tippvõimsus 128 kW ning piirati graafik perioodile 01.05-30.10, mis tulenes külalistemaja lahtioleku aegadest. Eeldati, et kui külalistemaja on suletud, siis pole ka piisavalt turiste. Tarbimise hindamise sõltuvust

välitemperatuurist kasutati sellepärast kuna eeldati, et turistide arv suureneb selle tõustes. Selliselt tehes saadi selle grupi aastaseks energiatarbimiseks 148 486 kWh.



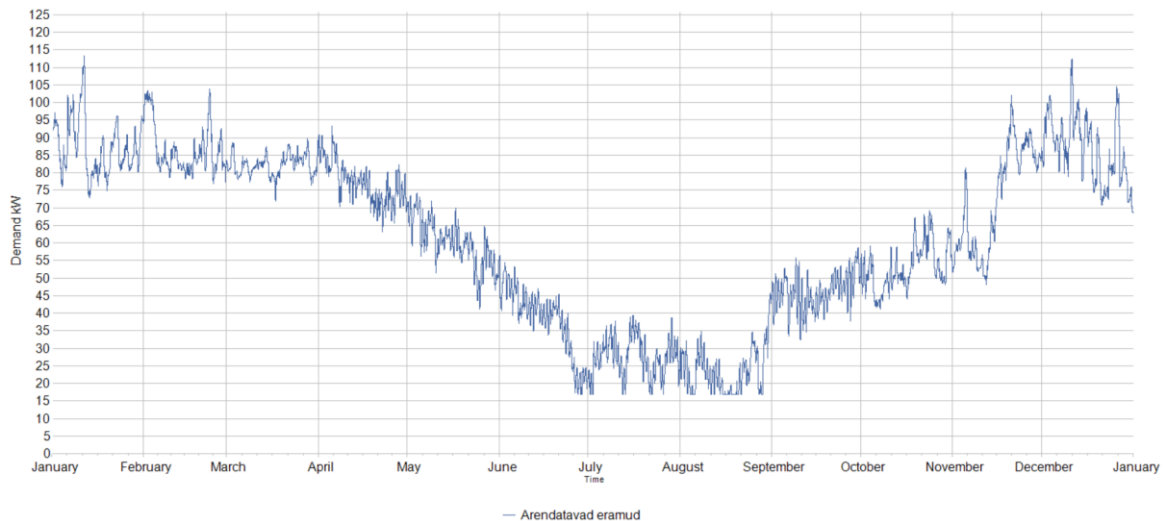
Joonis 3.11 Olemasolevate turismiasutuste tarbimisgraafik

3.2.4 Hinnang arendatavate eramute elektri tarbimisele

Antud tarbimisgrupi tarbimisandmete prognoosimisel ei eristatud suvilaid eramutest, kuna ei osatud prognoosida suvilate ja eramute võimaliku jaotust ning suure tõenäosusega on uued suvilad samuti aastaringelt köetavad, et ära hoida veetorude külmumist. Arendatavate eramute tarbimise prognoos põhineb uutele hoonetele kehtivatel energiatõhususe nõuetel, eluruumide pindalal ja hoonete arvul. 2020 aasta algusest on uutele ehitatavatele hoonetele miinimumnõudeks A-klass ehk liginullenergia hoone. Viimasest rahvaloendusest selgus, et elatakse vähemalt 150 m² eramutes [18]. A-energiaklassi korral võib ühe sellise eramu aastane energia tarbimine olla kuni 18 000 kWh [19]. MTÜ Naissaare kogukond näeb saarel ligikaudu 30 perspektiivset eramut. Nende andmete põhjal saadi teada arendatavate eramute tarbimisgrupi aastane tarbitav energia.

$$E = 18\,000 * 30 = 540\,000 \text{ kWh}$$

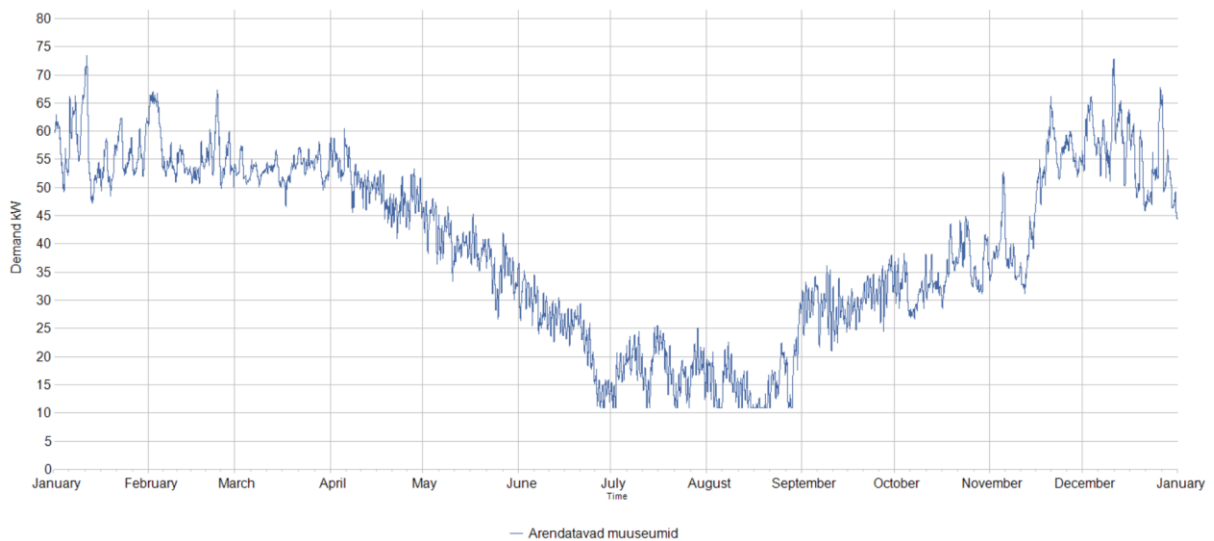
Selle tarbimisgrupi tarbimisgraafik loodi sama põhimõttega mis olemasolevate eramute tarbimisgraafik. See tähendab, et tarkvaras määrati aastane energia tarbimine 72,8 % sõltuvusse välitemperatuurist selliselt, et kui välitemperatuur langeb alla toatemperatuuri, siis hakkab tarbimine suurenema. Selliselt tehes saadi 30 eramu tarbimistipuks 112 kW ning tarbimise miinimumiks 17 kW.



Joonis 3.12 Arendatavate elamute tarbimisgraafik

3.2.5 Hinnang arendatavate turismiasutuste elektri tarbimisele

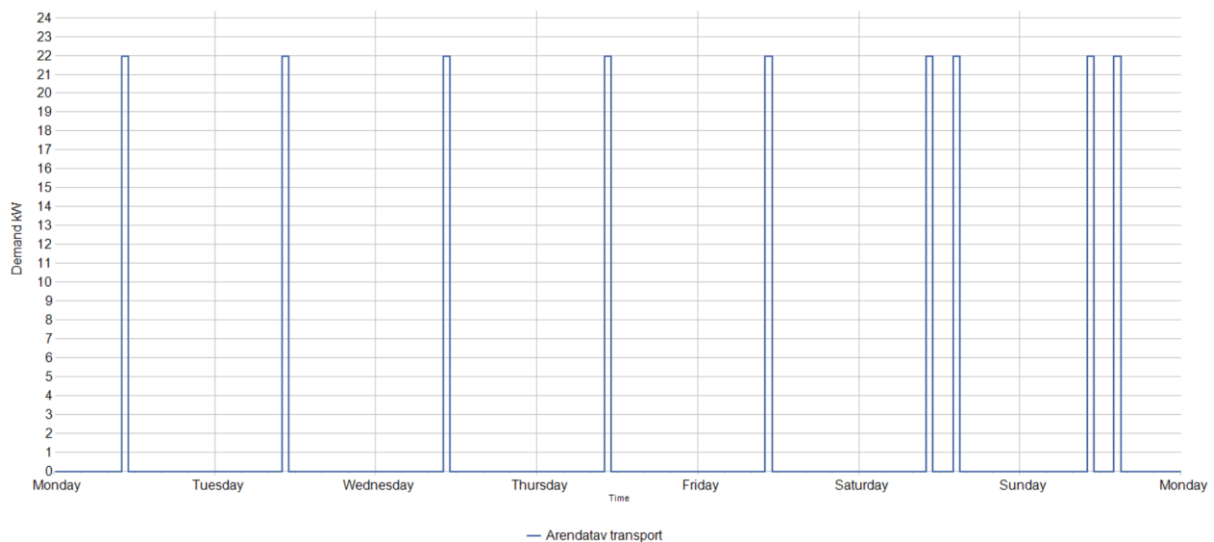
Selle tarbimisgrupi tarbimisgraafiku loomisel tugineti Meremuuseumi poolt esitatud infole ja Nargen Nord projektile. Nargen Nord projekti kohaselt soovitakse Naissaarel avada osa Peeter Suure rajatud merekindlusest ja Nõukogude aegsest ohvitseride kasiinost turistidele külastamiseks. Nende kahe hoone aastane energia tarbimine on vahemikus 250 – 350 MWh. Kuna tegemist on aastaringsest avatud ekspositsioonidega ja energia tarbimise statistika põhjal suurim osa kulub majapidamiste kütteks, siis kasutati ka selle tarbimisgrupi tarbimisgraafiku loomiseks olemasolevate eramute tarbimisgraafiku loomise põhimõtet. Aastase energia tarbimiseks arvestati 350 MWh ja saadi allolev tarbimise graafik. Tarbimise tipp on 74 kW ja miinimum 11 kW.



Joonis 3.13 Arendatavate turismiasutuste tarbimisgraafik

3.2.6 Hinnang arendatava transpordi elektri tarbimisele

Nargen Nord projekti üks osa on raudtee taastamine ja täiselektrilise rongi kasutusele võtt. MTÜ Naissaare kogukond on rongi laadimiseks ette näinud 3x32 A laadijad. Sellise peakaitsmega laadija on 0,4 kV pingel ligikaudse võimsusega 22 kW. Elektrirongi kasutust planeeriti saare suurima majutusasutuse Naissaare külalistemaja lahtiolekuaegade põhjal, mis on avatud perioodil 01.05 – 31.10. Rongi laadimist hinnati toimuvat üks kord argipäevas ning neli korda nädalavahetusel. Naissaarele kõige tihedamini ja enim inimesi vedav kruisilaev Monica alustab mandrilt sõitu argipäeviti kell 10 ja nädalavahetuseti kell 10 ning ka kell 14 [17]. Samadel kellaaegadel toimus ka rongi laadimine, et rong oleks võimeline saabuvaid külalisi teenindama. Iga nädal toimus 9 laadimist ning vaadeldaval perioodil kokku 237 laadimist. Eeldati, et rongi laadija laeb end tund aeda ning selliselt oleks rongi aastane tarbitav energia $237 \cdot 22 = 5\,214$ kWh. Laadimise ühe nädala jaotus on toodud alloleval joonisel.



Joonis 3.14 Arendatava transpordi ühe nädala tarbimisgraafik

Elektrirongi tarbimisgraafik toob järske muutusi saare koormusgraafikule, kuid on hea komponent kirjeldamaks ootamatuid muutuseid elektri tarbimises.

3.3 Hinnang Naissaare elektri tarbimisele

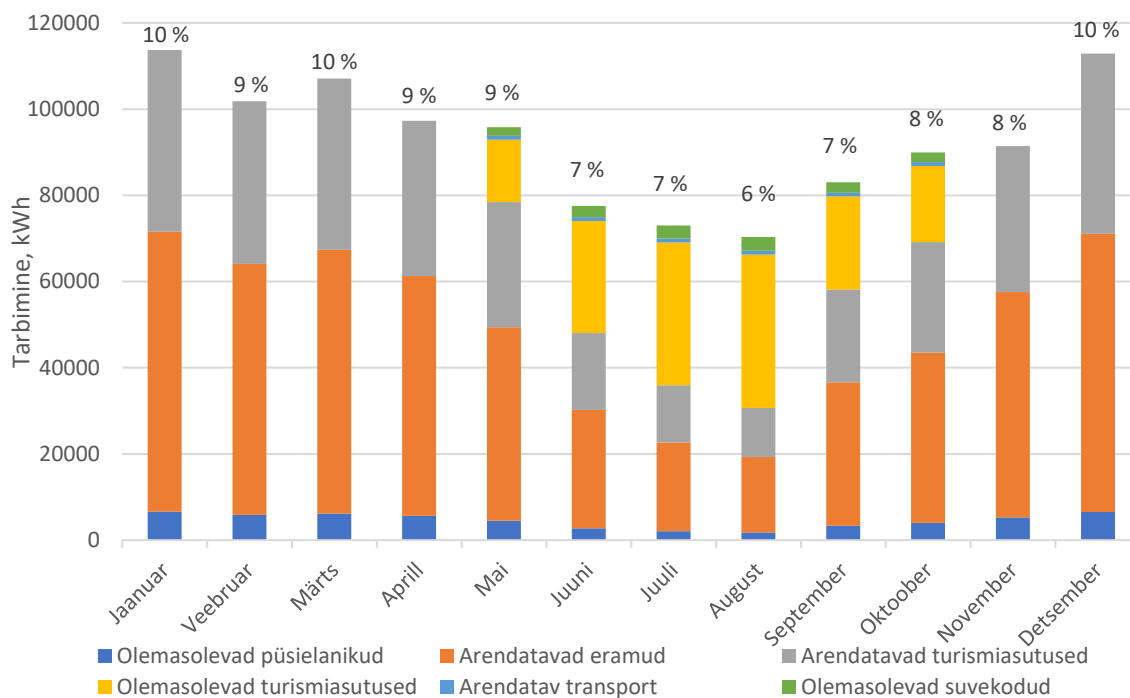
Naissaare elektri tarbimise moodustab eelpool modelleeritud kuue tarbisgrupi summa. Koormusgraafik on tugevalt sõltuv välistemperatuurist, mida kasutati kõikide, välja

arvatud arendatava transpordi tarbimisgraafikute loomisel. Lisaks kasutati täiendavaid tegureid olemasolevate turismiasutuste tarbimisgraafiku loomisel, et paremini välja tuua tarbimise jagunemist nädalapäevade lõikes. Arendatava transpordi puhul oli teada rongi laadija võimsus ning sellest tulenevalt tekkis suveperioodil hüppelisi muutuseid sisaldav tarbimisgraafik. Allolevas tabelis on toodud kõigi kuue tarbimisgrupi ühe aasta energia tarbimine.

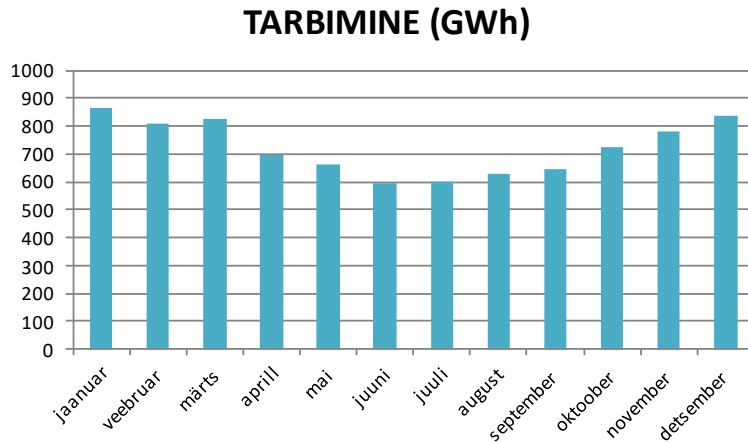
Tabel 3.4 Tarbimisgruppide ja summaarne aastane energia tarbimine

Tarbimisgrupp	Aastane energia tarbimine, kWh
Olemasolevad püselanikud	54 636
Olemasolevad suvekodud	15 562
Olemasolevad turismiasutused	148 486
Arendatavad eramud	540 000
Arendatavad turismiasutused	350 062
Arendatav transport	5 214
Summaarselt	1 113 898

Naissaare aastane elektrienergia tarbimine on ligikaudu 1,1 GWh, millest umbes poole põhjustavad arendatavad eramud, järgmine suurem tarbimisgrupp on arendatavad turismiasutused ja olemasolevad turismiasutused ning kõige vähem elektrienergiat tarbib arendatava transpordi grupp. Tarbimisgruppide elektrienergia jaotus kuude lõikes on toodud alloleval diagrammil, iga tulba juures on toodud protsent, mis kirjeldab kui suure osa moodustab selle kuu summaarne tarbimine aastasest elektrienergia tarbimisest.



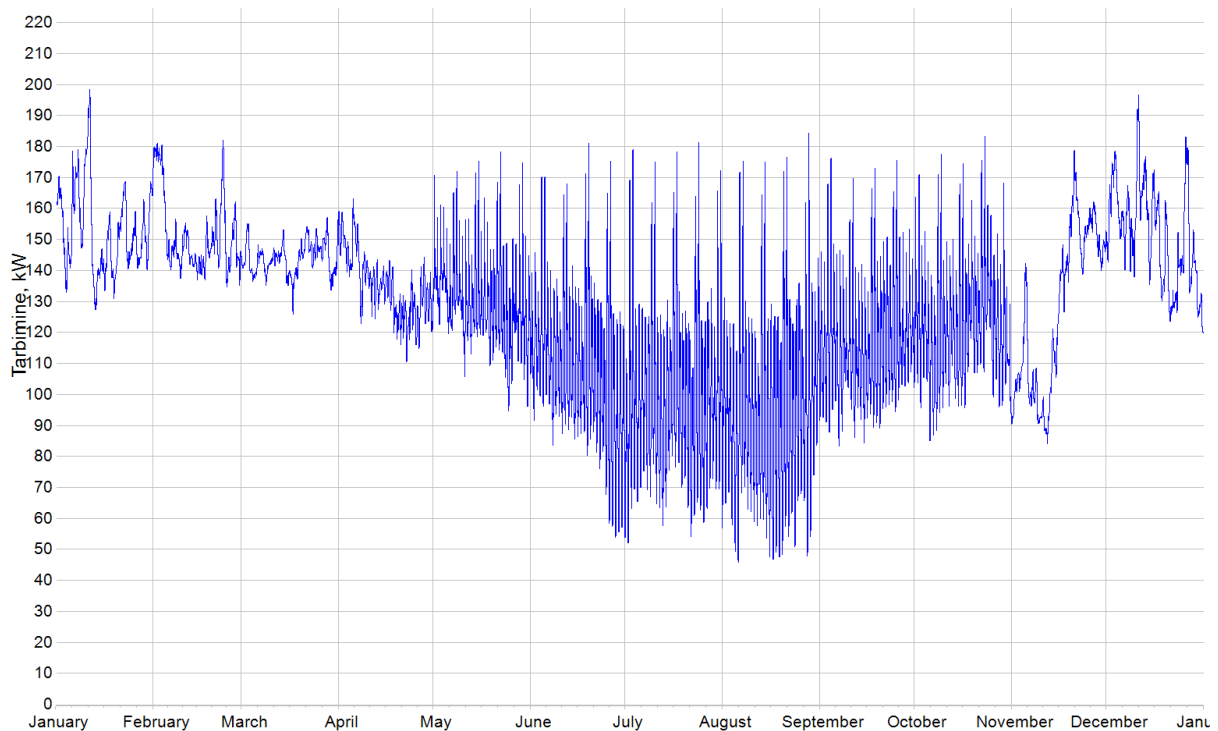
Joonis 3.15 Tarbimisgruppide tarbimise jaotuse prognoos kuude lõikes



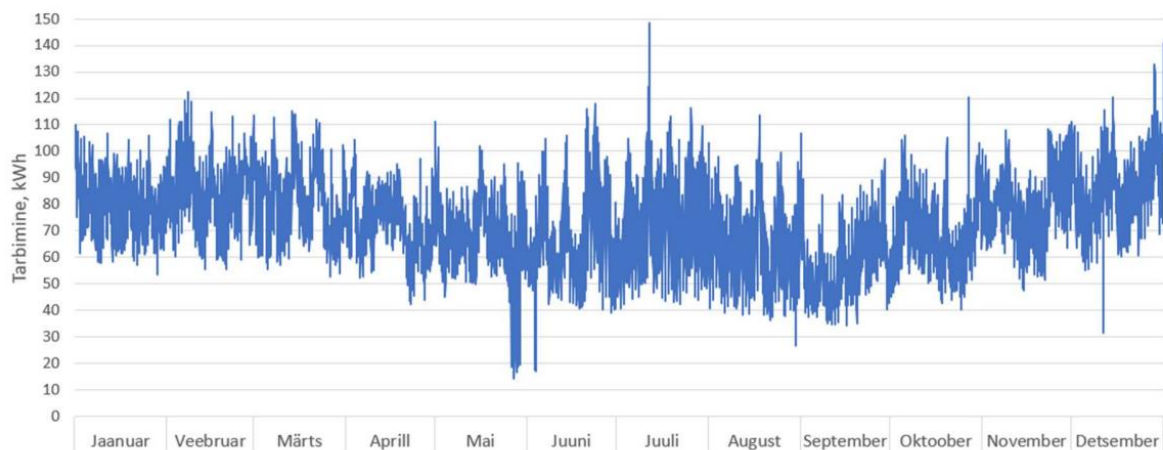
Joonis 3.16 Eleringi 2022 aasta tarbimise prognoos [20]

Tarbimise jaotuse prognoosi kuude lõikes võrreldi ka Eleringi poolt koostatud 2022 aasta tarbimise prognoosiga. Naissaare elektri tarbimine ei muutu päris samamoodi, kui terve Eesti elektri tarbimine, sest saarel pole näiteks suuri tööstusi või tehaseid. Küll on aga mõlemal prognoosil mitmeid ühiseid tarbimisgrupe, nagu näiteks eramud, suvilad, turismiasutused ja transport. Eleringi prognoosi graafikult saab välja lugeda, et tarbimist mõjutab välistemperatuur, mis oli ka peamine tegur antud töös tarbimisgraafikute loomisel. Sellest saadi kinnistust tarbimisgraafikute loomise põhimõtte õigsusele.

Mõlema prognoosi kuude omavaheline tarbimise jaotus on enamasti sama välja arvatud juuli ja augusti kuu, kus Eleringi poolt koostatud prognoosis on juuni ja juuli kuu tarbimine sama, kuid tõuseb augustis. Antud töös koostatud prognoosis on tarbimine alates juunist languses kuni augusti lõpuni, peale mida see taas tõusma hakkab. Eleringi prognoosi puhul on maksimaalse ja minimaalse tarbimisega kuu erinevus ligikaudu 1,4 korda, kuid Naissaare puhul on see 1,66 korda. Need erisused võis põhjustada Eleringi võimalus prognoosida tarbimist varasemate andmete põhjal, mis aga Naissaare puhul polnud võimalik.



Joonis 3.17 Naissaarele loodud 2022 aasta koormusgraafik



Joonis 3.18 Prangli saare aastane koormusgraafik [2]

Võrreldes Naissaare graafikut Prangli saare omaga, siis erinevusi on mitmeid. Prangli graafik on aasta lõikes ühtlasem ja tihedam. Prangli saare peamiseks tarbimisgruppideks on püsielanikud, suviti lisanduvad hooajalised elanikud ning turismiasutused. Sellest tulenevalt on tarbimise graafik küllaltki ühtlane. Külmematel perioodidel põhjustavad elektri tarbimist püsielanikud, keda 2019 aasta seisuga on 189 [2] ning soojematel perioodidel hooajalised elanikud ning turistid. Pranglil aga puuduvad aastaringi avatud suure tarbimisega muuseumid, mida Naissaarele on planeeritud kaks ning mis põhjustavad

Naissaare talvise tarbimise suuremat erinevust Prangli tarbimisest. Sellest tulenevalt on ka Naissaare tarbimistipp suurem.

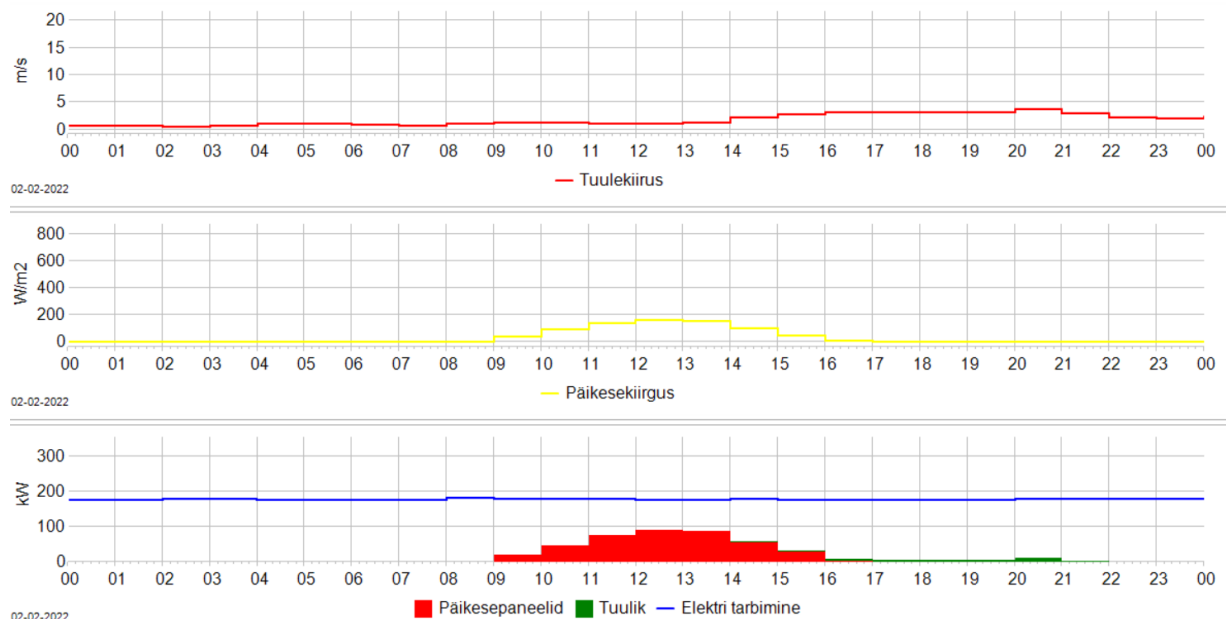
Mõlema saare graafikutelt saab näha, et talvest kuni esimeste suvekuude saabumiseni on tarbimise trend languses. Prangli saarel tõuseb suvekuudel tarbimine natukene rohkem, kui Naissaarel. Seda põhjustab jällegi Naissaarele planeeritavate muuseumide suur talvine tarbimine, mille puudumisel oleks Naissaare suvine tarbimise kasv sarnane Prangli omaga.

Kahe saare tarbimisgraafiku võrdlusest järeldati, et nende graafikute amplituud on küll erinev, kuid aastane elektrienergia tarbimise jaotus sarnane. Sellest saadi kindlust, et koostatud Naissaare graafik on sobilik iseloomustamiseks sealset elektrienergia võimalikku tarbimist.

4. TAASTUVENERGIALAHENDUS

Selles peatüki eesmärgiks on määrata saarele paigaldatavate elektri tootmis – ja salvestusseadmete maht ja asukoht, et katta saare elektri tarbimine igal ajahetkel. Saare kohalikku elektrivõrku antud töös ei käsitleta. Taastuvate energiaallikatena kasutatakse päikesepaneelide ja elektrituulikut ning taastumatul energiaallikal põhinevat generaatorit. Kasutatakse elektrienergia salvestit, et vähendada taastumatute energiaallikate osakaalu. Päikesepaneelide, tuuliku ja elektrienergia salvesti suuruste leidmine oli keeruline optimeerimisülesanne.

Eesti võttis eesmärgi aastaks 2030 toota kogu Eestis tarbitav elekter taastuvatest energiaallikatest, kuid seda eesmärki ei rakendatud Naissaare mandrist eraldatud sõltumatu elektrilahenduse loomisel, kuna tihti esines paari päevaseid perioode, mil päikesekiirgus ega tuulekiirus polnud piisavad päikesepaneelide ega tuuliku töötamiseks.



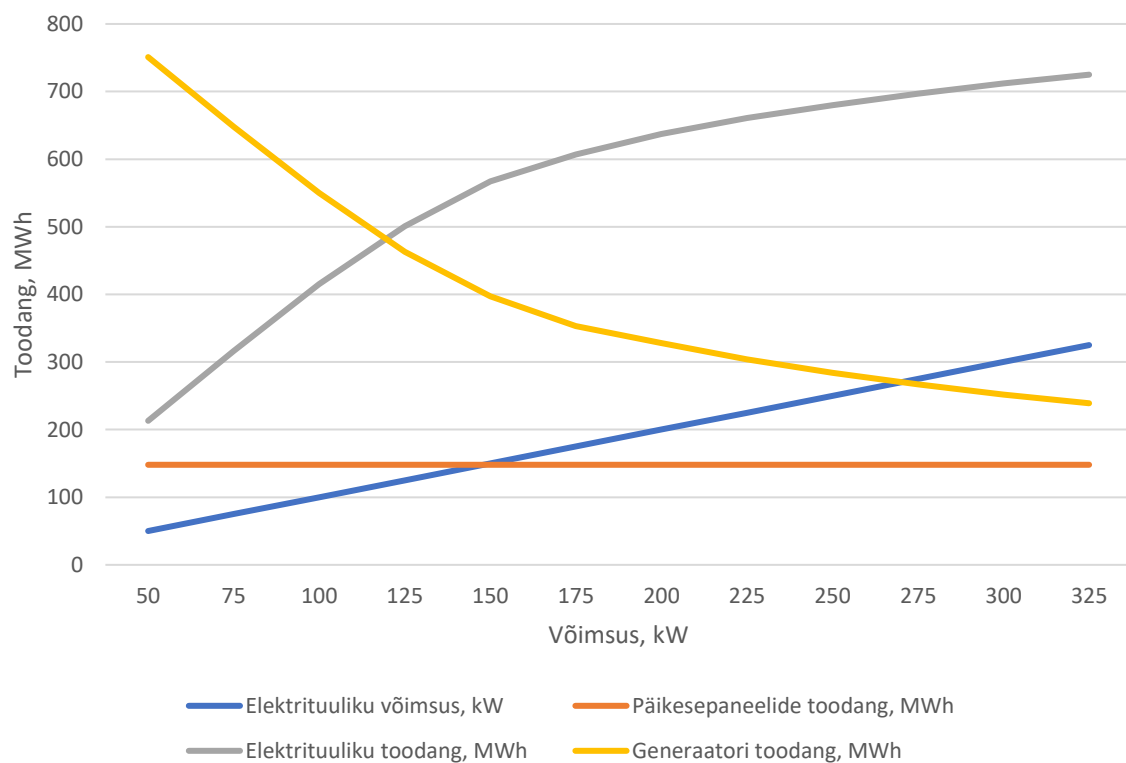
Joonis 4.1 Ööpäeva energiavood, madala päikesekiirguse ja tuulekiiruse korral

Näiteks oli kuupäeval 02.02.2022 ööpäeva keskmine päikesekiirgus 9,9 W/m² kohta ning keskmine tuule kiirus 1,62 m/s. 180 kW päikeseпарк tootis sel päeval 237 kWh, elektrituuliku 32 kWh, kuid ööpäeva summaarne tarbimine oli 4 248 kWh. Selleks, et tolle päeva tarbimist katta taastuvatest energiaallikatest pärit energiaga, oleks tarvis olnud kasutada vähemalt $4248 - 237 - 32 = 3\,979$ kWh salvestit. Sarnaseid päevi oli veelgi ning mitmel korral esines nimetatud olukord kahel või kolmel päeval järjest, mis suurendaks salvesti mahtu veelgi. Selle tõttu oleks tarvis kasutada väga üledimensioneeritud salvestit,

mille täieliku ressursi kasutamine oleks hõre ning majanduslikult ebaotstarbekas. Kui salvesti üledimensioneerimine pole otstarbekas ning taastuvatel energiaallikatel põhinevad tootmisüksused ei taga tarbimist, peab tööle hakkama generaator.

Eesmärk oli leida generaatori minimaalne osakaal elektrienergia tootmisel selliselt, et taastuvatel energiaallikatel põhinevad tootmiseseadmed ja salvestusseadmed oleksid optimaalsed. Selleks hakati tootmis – ja salvestusseadmed suurendama eesmärgiga leida üles seadmete selline võimsus, mille edasisel suurendamisel generaatori osakaalu langus vaibub. Leitud punkt oleks seadmete optimaalne suurus.

Esmalt hakati otsima elektrituuliku optimaalseimat võimsust. Kuna saarel on praeguseks ilma Politsei-ja Piirivalveameti radarit toitvate päikesepaneelideta paigaldatud ligikaudu 120 kW päikesepaneeli, siis arvestati tuuliku optimeerimisel ka nendega. Tuuliku võimsust hakati suurendama 25 kW sammuga ning lähtevõimsuseks valiti 50 kW ning saadi allolev graafik.

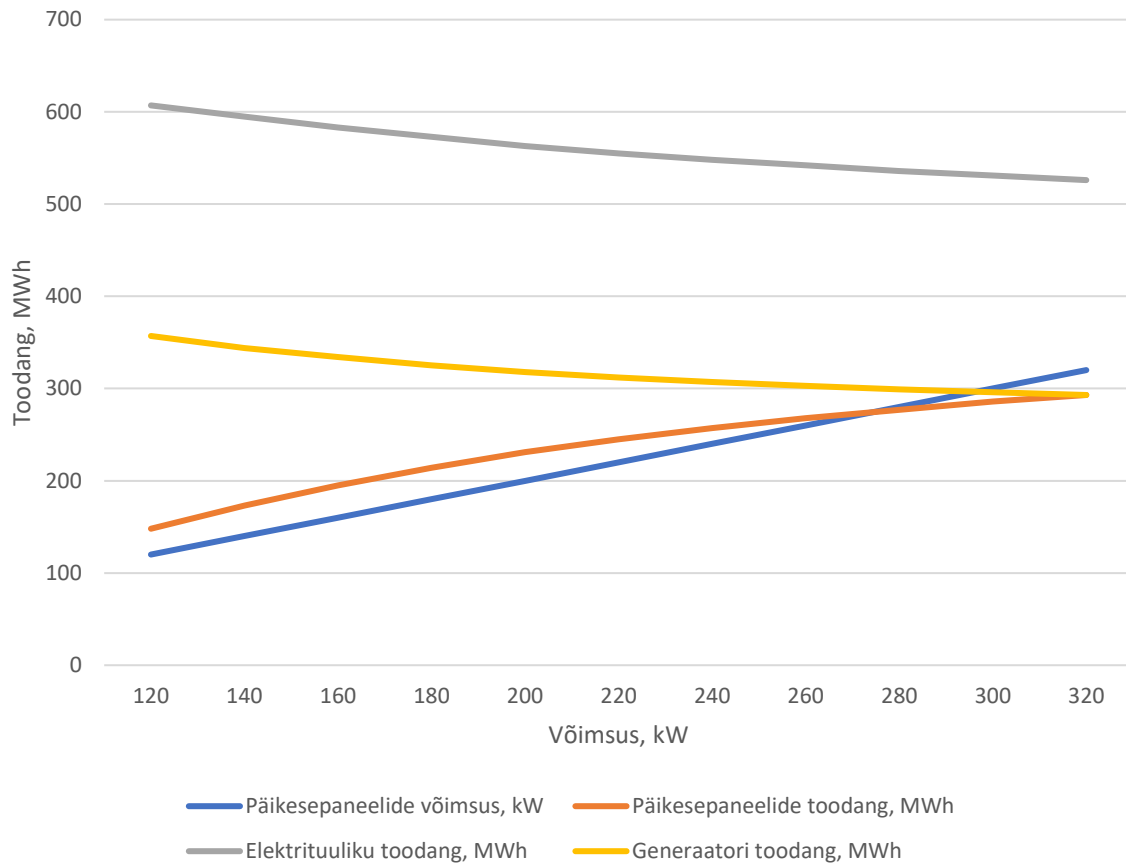


Joonis 4.2 Elektrituuliku optimeerimise tulemused

Kuna päikesepaneelide võimsus ei muutunud, siis on nad graafikul horisontaalse sirgena. Sinine sirge kirjeldab elektrituuliku võimsuse lineaarset tõusu, millele aga vastab eksponentsiaalne elektrituuliku toodangu tõus ja generaatori toodangu langus. Generaatori

toodangu langus vaibub elektrituuliku 175 kW võimsuse juures ning optimaalseimaks tuulikuks valitigi 175 kW tuulik.

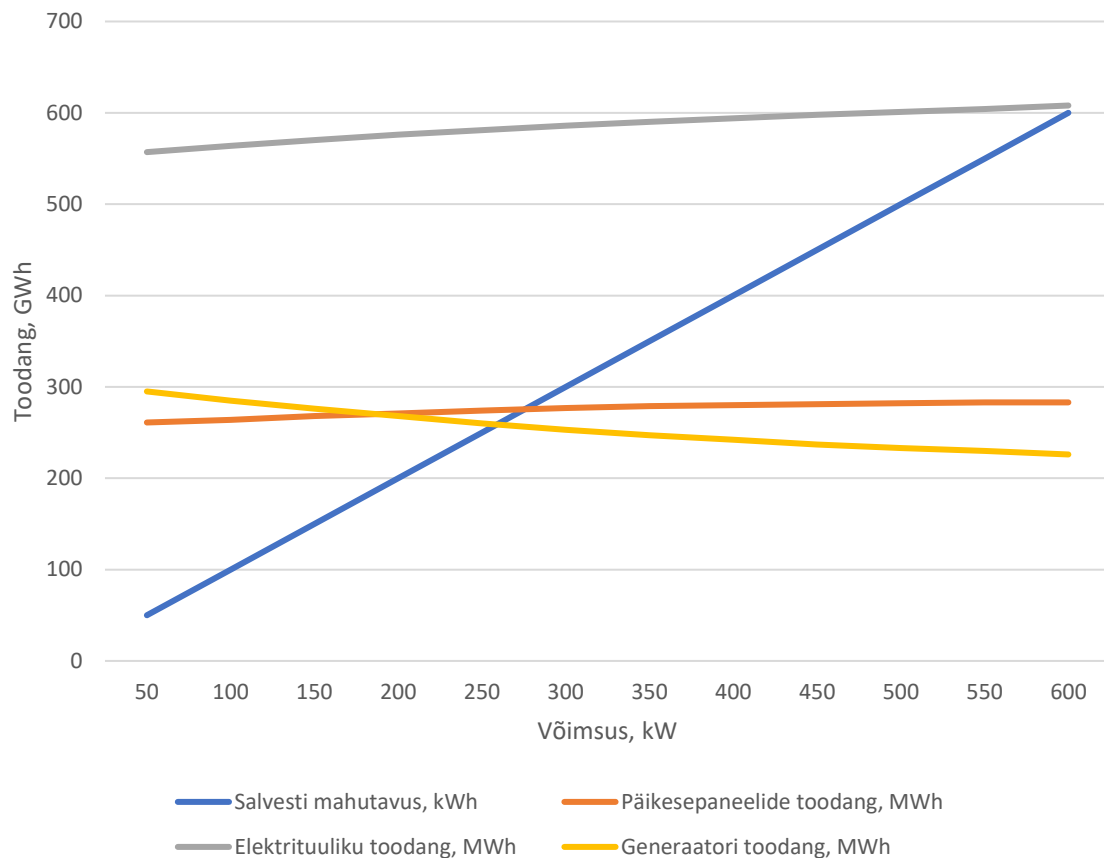
Järgmisena hakati sarnaselt suurendama päikesepaneelide võimsust 20 kW sammuga ning lähte võimsuseks oli saarele juba paigaldatud paneelide võimsus 120 kW.



Joonis 4.3 Päikesepaneelide optimeerimise tulemused

Päikesepaneelide võimsuse lineaarsel suurenemisel langesid nii generaatori, kui ka elektrituuliku osakaal. Elektrituuliku osakaal langeb selle tõttu, et energyPRO seab päikesepaneelide tööd prioriteetsemaks tuuliku omast. Sellest tulenev suurendati paneelide võimsust edasi, kuna taastuenergialahendusse tuleb ka elektrienergia salvesti, mis tuuliku toodangut taas suurendada võimaldab. Ka sellel korral jälgiti millal toimub generaatori osakaalu languse vaibumine ning see toimus kasutades 240 kW jagu päikesepaneelide.

Edasi hakati otsima viimase komponendi ehk elektrienergia salvesti suurust. Salvesti suurust ehk mahutavust hakati suurendama alustades 50 kWh sammuga 50 kWh.



Joonis 4.4 Salvesti optimeerimise tulemused

Salvesti mahutavuse lineaarsel suurendamisel tõusid nii elektrituuliku, kui ka päikesepaneelide toodang ning vähenes generaatori oma. Selle katse muutused olid kõige laugemad, mille tõttu võib ka jooniselt keeruline aru saada mis hetkel generaatori osakaalu langus vaibub, kuid selleks oli koht, kus kasutati 450 kWh elektrienergia salvestit.

Kokkuvõttes andis optimaalseima lahenduse kombinatsioon, kus kasutati 175 kW elektrituulikut, 240 kW päikeseparki ning 450 kWh salvestit.

4.1 Päikeseelektrijaama ja asukoha valik

Optimaalseimaks päikesepargi võimsuseks saadi 240 kW, millest 120 kW on juba saarele laiali jaotatud. Täiendava 120 kW lisamisel otsiti selliseid päikesepaneele, mille väljundvõimsus aja möödudes langeks võimalikult vähe. Üheks parimaks variandiks leiti

LG NeON 430 W paneelid, millele kehtib pikk tootjapoolne garantii, et 25 aasta pärast on paneeli väljundvõimsus 96,4 % esialgsest [21]. EnergyPRO tarkvaras toimub päikesepaneelide väljundvõimsuse arvutus järgmise valemiga:

$$P_{PV} = P_{Max} * \frac{I_S}{I_{STC}} * [1 - \gamma_s * (T_{cell} - T_{STC})] \quad (4.1)$$

Kus P_{PV} - võimsus ajahetkel, kW,

P_{Max} - installeeritud võimsus, kW,

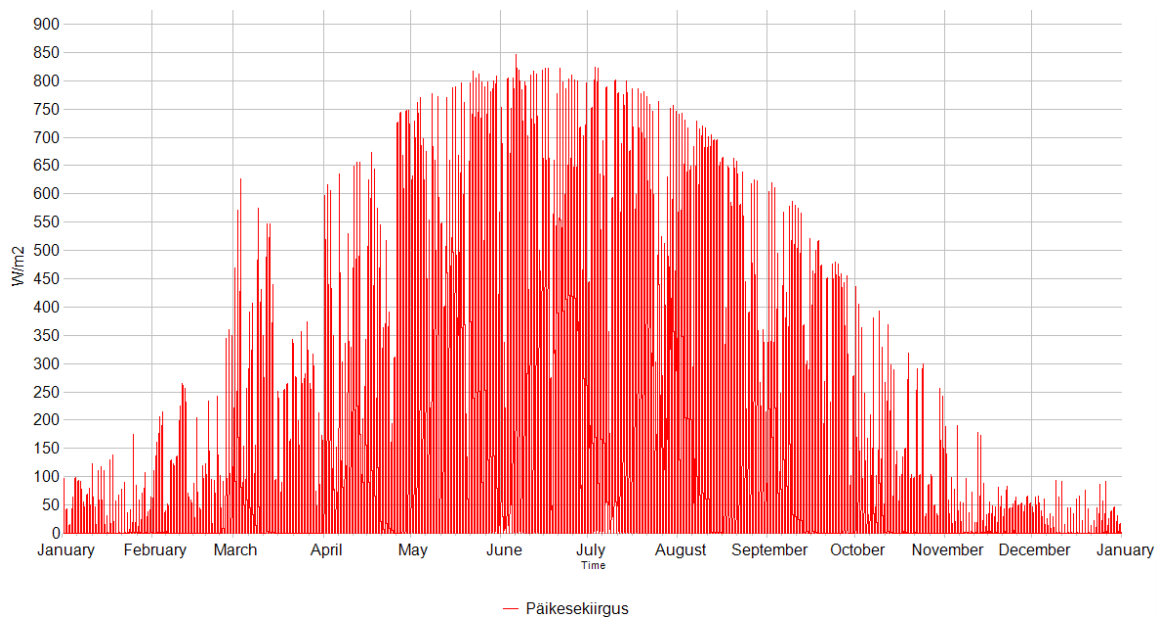
I_S - päikesekiirgus, W/m^2 ,

I_{STC} - päikesekiirgus normaaltingimustes, W/m^2 ,

γ_s - mooduli tõhususe temperatuurikordaja, $\%/^{\circ}C$,

T_{cell} - töötemperatuur, $^{\circ}C$,

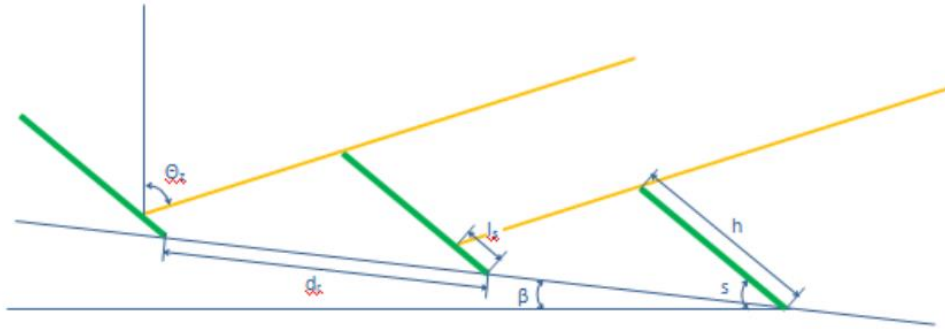
T_{STC} - töötemperatuur normaaltingimustes (25 $^{\circ}C$). [22]



Joonis 4.5 Naissaare 2022 aasta päikesekiirguse aegrida energyPRO tarkvarast

120 kW päikesepargi korral on valitud paneele vaja paigaldada 279 tükki. Paneeli tõhususe temperatuurikordaja on 0,33 $\%/^{\circ}C$ ja töötemperatuur 42 $^{\circ}C$. Nimetatud parameetreid kasutati tarkvaras arvutuste teostamiseks.

Lisanduvad päikesepaneelid paigaldatakse maa peale ning selleks, et paneelide väljundvõimsus oleks võimalikult suur, tuleb need paigaldada lagedale alale, kuhu aastaringiselt ei tekita ümbritsev keskkond varje. Kui paneelid paigaldatakse mitmesse ritta, siis tuleks ka ridade vahekaugus määrata selliselt, et read ei tekiks varje.



Joonis 4.6 Paneelidele tekkivat päikesevarju illustreeriv joonis [22]

EnergyPRO tarkvaras on võimalik maapaigaldusega päikesepaneelide korral määrata ridade arvu ja vahesid, nurka maapinna suhtes ja paneelide mõõtmeid. Otsustati paneelid paigaldada viite ritta, ridade vaheks 8 meetrit, et ka talvel ei tekiks paneelidele varje [23]. Maaraami nurgaks maapinna suhtes valiti 40 kraadi, ühe paneeli laius on 1,042 m ning kõrgus 2,130. Maaraamile paigaldatakse tavaliselt kaks paneeli kohakuti ja 40 kraadise kaldenurga korral oleks maaraami projektsioon maale ligikaudu 1,6 m. Koos 8 meetrise reavahega hõivaks üks rida ligikaudu 10 meetrit maad. Paneeli laius on 1,042 m ja paneelid paigaldatakse kaks tükki kohakuti ning kokku moodustatakse viis rida. Selliselt tehes oleks ühe rea pikkuseks on ligikaudu 28 m. Arvestades, et viimasele reale ei järgne enam päikesepaneele, siis päikesepargi poolt hõivatav maa-ala oleks $28 \cdot 42 = 1\,176\text{ m}^2$.



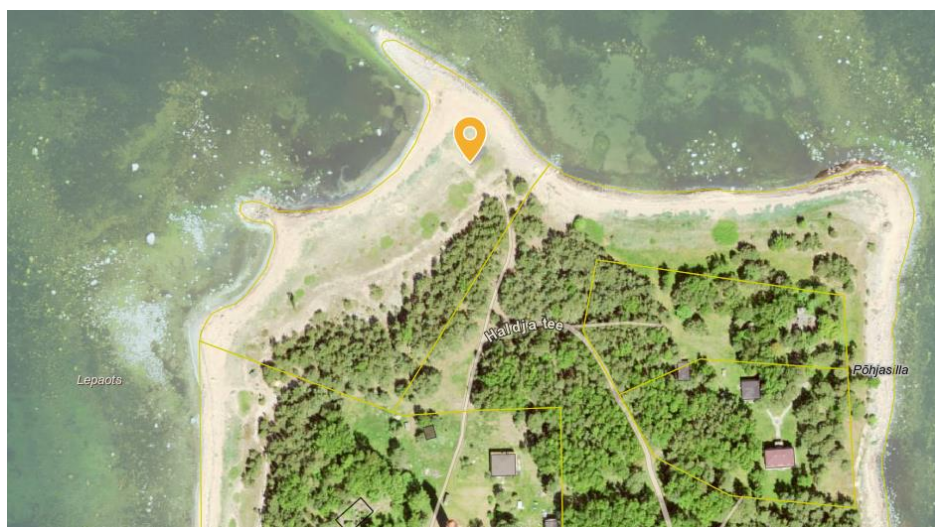
Joonis 4.7 Päikeseelektrijaama asukoht

Päikeseelektrijaama asukohaks valiti Lõunakülas Naissaare Külalistemaja lähedal asuv maatükk, mis ei ole jagatud elamukruntideks ning asub lagedal alal. Antud piirkonnas on ka enim olemasolevaid ja potentsiaalseid tarbijaid, mis tähendab seda, et saare

elektrivõrgu välja ehitamisel tuleks ümbruskonda ka suurema trafoga alajaam, mis oleks suuteline päikesepaneelide poolt võrku antavat võimsust taluma.

4.2 Tuuleelektrijaama ja asukoha valik

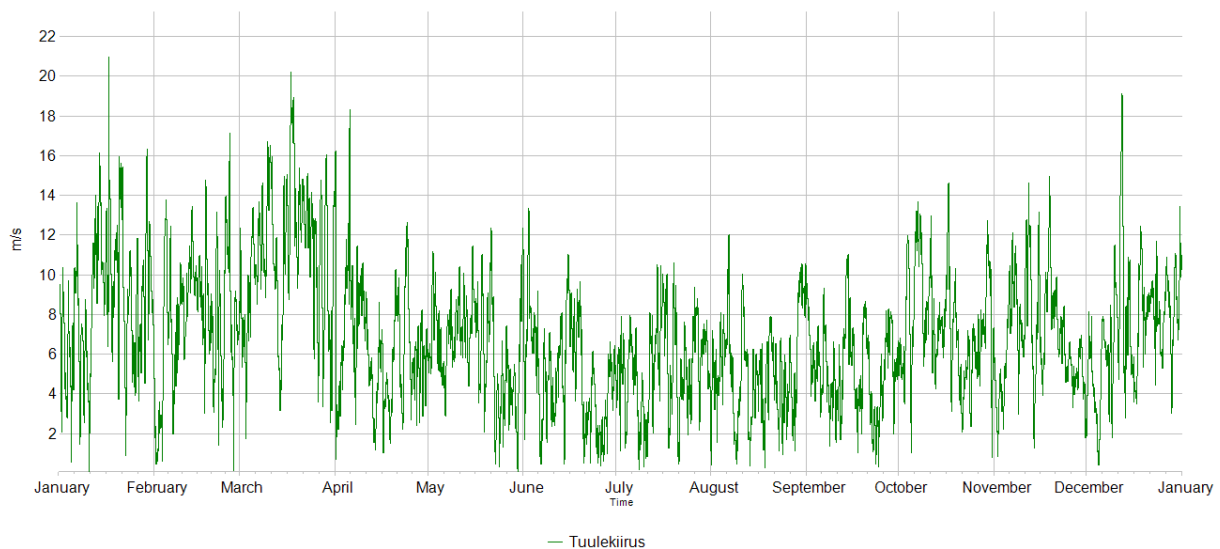
Saare kõrgeim koht Kunilamägi ulatub 27 meetri kõrguseni merepinnast, kuid asub kehtiva üldplaneeringu kohaselt sihtkaitsevööndis ning selle tõttu elektrituulikut sinna ei planeeritud. Järgmiseks sobilikuks kohaks osutus haja asustusega ja meretuultele avatud saare põhjapoolsem tipp.



Joonis 4.8 Elektrituuliku asukoht

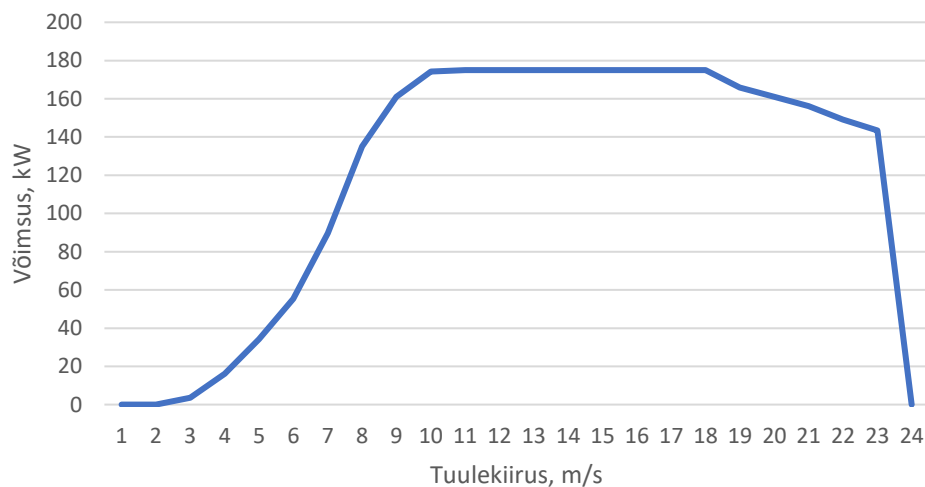
400 meetri kaugusel tuuliku asukohast asuks Nargen Nord projekti käigus restaureeritav 10A Patarei kompleksi toitev alajaam. Kompleksi aastaseks energia tarbimiseks hinnatakse ligikaudu 350 MWh. Kulude minimaliseerimise mõttes oleks otstarbekas ehitada ühine alajaam, mis suudaks perspektiivseid tarbimis - ja tootmisvõimsusi taluda.

Optimaalseimaks elektrituuliku võimsuseks osutus 175 kW. Keskmine nimetatud võimsusega elektrituulik saavutab oma nimivõimsuse siis, kui tuulekiirus on 10 m/s. Saare aasta keskmine tuulekiirus oli aga 7 m/s ning Naissaare 2022 aasta tuulekiiruse aegrida on toodud alloleval joonisel.



Joonis 4.9 Naissaare 2022 aasta tuulekiiruse aegrida energyPRO tarkvarast

Tuuliku väljundvõimsuse sõltuvust tuule kiirusest illustreerib igale tuulikule omastatud võimsuskõver. Seega otsiti sellise võimsuskõveraga tuulikut, võimalikult järsu tõusuga, mis tähendaks seda, et ka madalamatel tuulekiirustel oleks tuuliku väljundvõimsus suurem. Sobilikuks võimsuskõveraks osutus alloleval pildil toodud tuuliku võimsuskõver.



Joonis 4.10 Elekrituuliku võimsuskõver

Joonisel saab näha, et tuuliku võimsuskõver tõuseb eksponentsiaalselt ja on madalamatel tuulekiirustel võrdlemisi suure väljundvõimsusega. Saare keskmise tuulekiiruse 7 m/s juures on tuuliku väljundvõimsus 90 kW. Võimsuskõvera miinuseks on selle langus alates tuulekiirusest 18 m/s, mis tähendab, et ka tuuliku väljundvõimsus langeb. Kuid tuulekiirus saavutab harva kiiruse 18 m/s ja enam, mille tõttu on sellise võimsusgraafikuga tuulik sobilik. Antud tuuliku võimsuskõver on loodud Ventus Grupi 250 kW tuuliku põhjal [24].

Seega saarele konkreetset tuulikut valides tuleks jälgida, et tuuliku võimsusköver oleks võimalikult sarnane joonisel 4.10 toodule.

EnergyPRO tarkvaras toimub tuuliku väljundvõimsuse arvutus järgmise valemiga [22]:

$$P = PC \cdot WS_c \quad (4.2)$$

Kus P – võimsus ajahetkel, kW,

PC – tuulekiirusele vastav võimsus võimsusköveralt, kW,

WS_c - kalkuleeritud tuulekiirus, m/s.

Kalkuleeritud tuulekiirus avaldub järgmise valemiga [22]:

$$WS_c = WS_m \cdot \left(\frac{H_h}{H_m}\right)^a \quad (4.3)$$

Kus WS_c – kalkuleeritud tuulekiirus, m/s,

WS_m – mõõdetud tuulekiirus, m/s,

H_h - mõõtekõrgus, m,

H_m - rummu kõrgus, m,

a - Hellmanni eksponent.

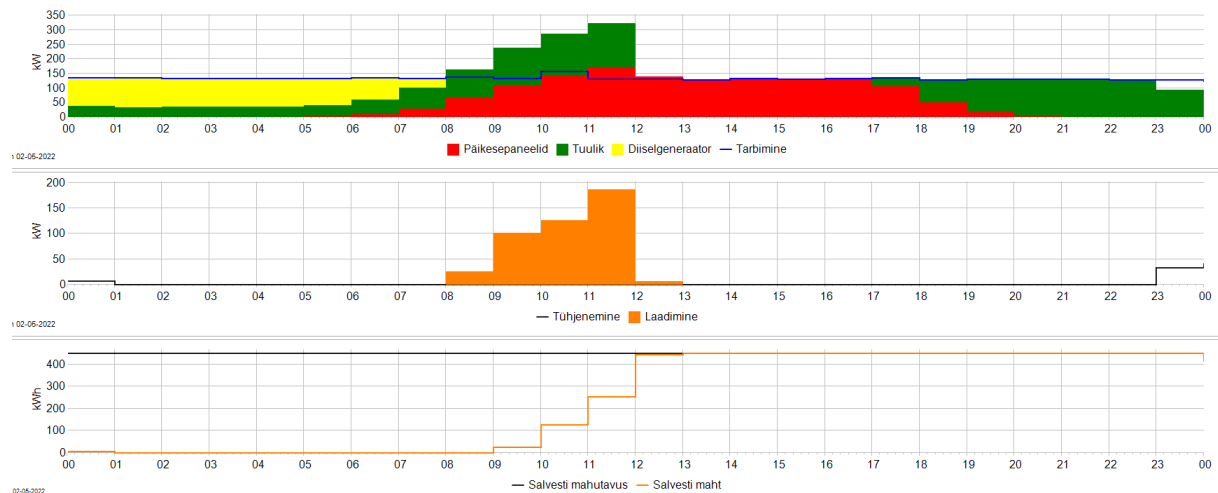
Valitud tuuliku väljundvõimsuse arvutusel osalesid järgmised tuuliku nimiandmed:

- Võimsus - 175 kW
- Tuuliku rummu kõrgus – 28 m
- Võimsusköver – joonisel 4.8
- Hellmanni eksponent – 0,18 (naturaalne õhk avatud ranniku kohal)

4.3 Salvesti ja asukoha valik

Elektrienergia salvestamiseks kasutati akumulaatoreid ehk akusid, kus läbi elektrokeemilise muundamise toimub elektri salvestamine. Akude alamrühmad on pliiakud, nikkel-kaadiumakud, väävel-naatriumakud ja liitium-ioonakud. Naissaare energialahenduses otsustati kasutada viimase alamrühma akusid, kuna neil on kommertskasutuses olevatest akudest suurim energiatihedus, kõrge elemendi nimipinge, mille tõttu suudab liitium-ioonaku element asendada kolme nikkel-kaadiumaku elementi ning neil on madal energiakadu ligikaudu 5% kuus.[25]

Optimaalseimaks salvesti mahutavuseks oli 450 kWh. Salvesti tühjenemisvõimsuse valikul jälgiti, et oleks tagatud saare maksimaalne tarbimise võimsus on 198 kW. Salvesti laadimisvõimsus valiti tootmisseadmete poolt toodetud, kuid tarbimata jäänud võimsuse kaudu. Suurim tarbimata jäänud võimsus oli 190 kW, kui tootmisseadmete summaarne väljundvõimsus 325 kW ning tarbimine 135 kW. Nimetatud olukord on toodud alloleval joonisel.



Joonis 4.11 Salvesti laadimisvõimsuse valikut kirjeldav graafik

Kokkuvõttes tuleb salvesti valikul lähtuda, et selle mahutavus oleks 450 kWh, laadimisvõimsus vähemalt 190 kW ja tühjenemisvõimsus vähemalt 200 kW.

Salvesti asukoha valikul lähtuti sellest, et see asuks suurima osakaaluga tootmisseadme ehk elektrituuliku juures. Sedasi saaks tarbimata jäänud elektrienergia salvestada tootmisüksuse juures ning saare elektrivõrku koormatakse vähem.

4.4 Generaatori ja asukoha valik

Generaatori valikul jälgiti, et see oleks võimeline saare tarbimist igal hetkel tagama. Generaator peab tagama saare tarbimise tippvõimsuse 198 kW, kuhu lisandub ka võimsuste ülekandmisel esinevad kaod. Sellest lähtuvalt tuleks valida vähemalt 200 kW generaator. Generaatori asukoha valikul lähtuti eesmärgist hoida ülekandekaod võimalikult väikesed. Selleks tuleb generaator paigutada saare tarbimise keskmesse ning parimaks asukohaks on Naissaare sadam. Lisaks vajab generaator töötamiseks kütust, mida on mugav sadamas asuvast tanklast tarnida. Generaatori sadamasse paigutamise miinuseks on selle müra töötamisel, mida kuulevad kõik saarele saabuvad inimesed. Üheks

võimalikuks generaatoriks on Caterpillari 275 KVA generaator, mille aktiivväljundvõimsus on 225 kW [26].



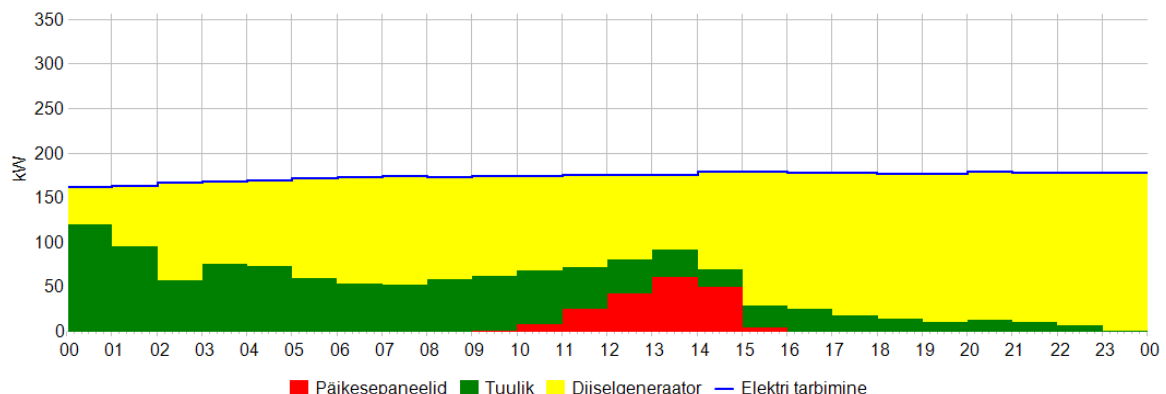
Joonis 4.12 Generaator [26]

5. TULEMUSTE ANALÜÜS

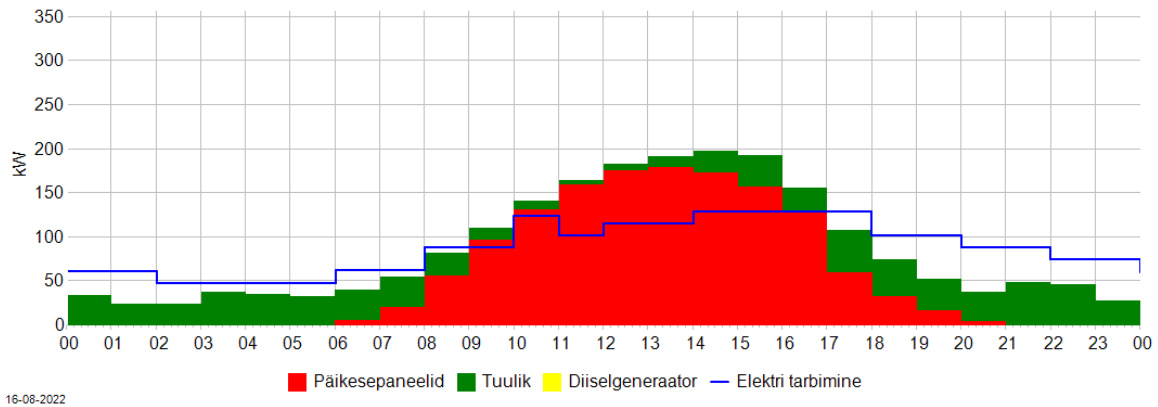
Selles peatükis analüüsitakse mudeli energia – ja rahavooge simulatsiooni graafiku ja arvutustulemuste põhjal. Lisaks esitatakse energiavooge sisaldavaid graafikuid, kus saab näha tootmisseedmete, salvesti ja tarbijate omavahelist käitumist. Antakse ülevaade mis oleks sõltumatu energialahenduse maksumuse suurusjärg ja kas see oleks soodsam merekaabli kaudu elektrivarustuse lahendusest.

5.1 Mudeli energiavood

Naissaare elektrienergia tarbimist moodustasid kuus tarbimisgruppi, millest räägiti täpsemalt teises põhiosas. Naissaare aastane tarbitud elektrienergia hulk oli 1,11 GWh, millest enim tarbiti jaanuaris (113 MWh) ning vähim augustis (70 MWh). Tarbimise tipp esines 10 jaanuaril, mil tarbiti 198 kW, ning tarbimise miinimum oli 16 august, mil tarbiti 48 kW.



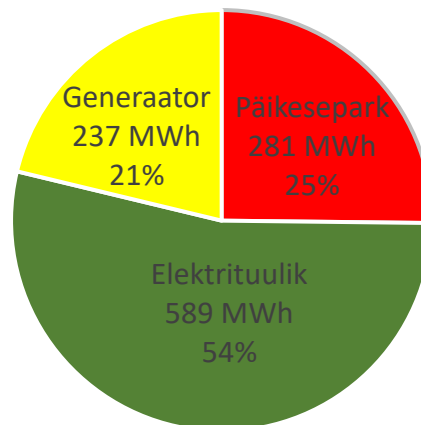
Joonis 5.1 Tarbimise tipp kuupäeval 10.01.2022



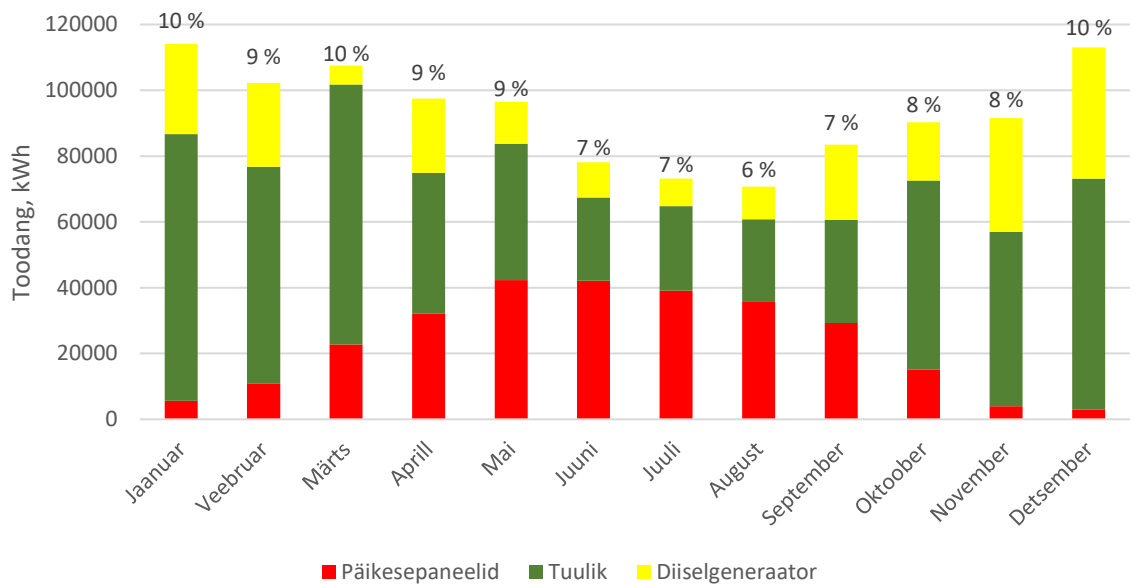
Joonis 5.2 Tarbimise miinimum kuupäeval 16.08.2022

Joonisel 5.2 kattis tarbimise puudujäägi salvestis olev elektrienergia, joonisel 5.1 aga generaator.

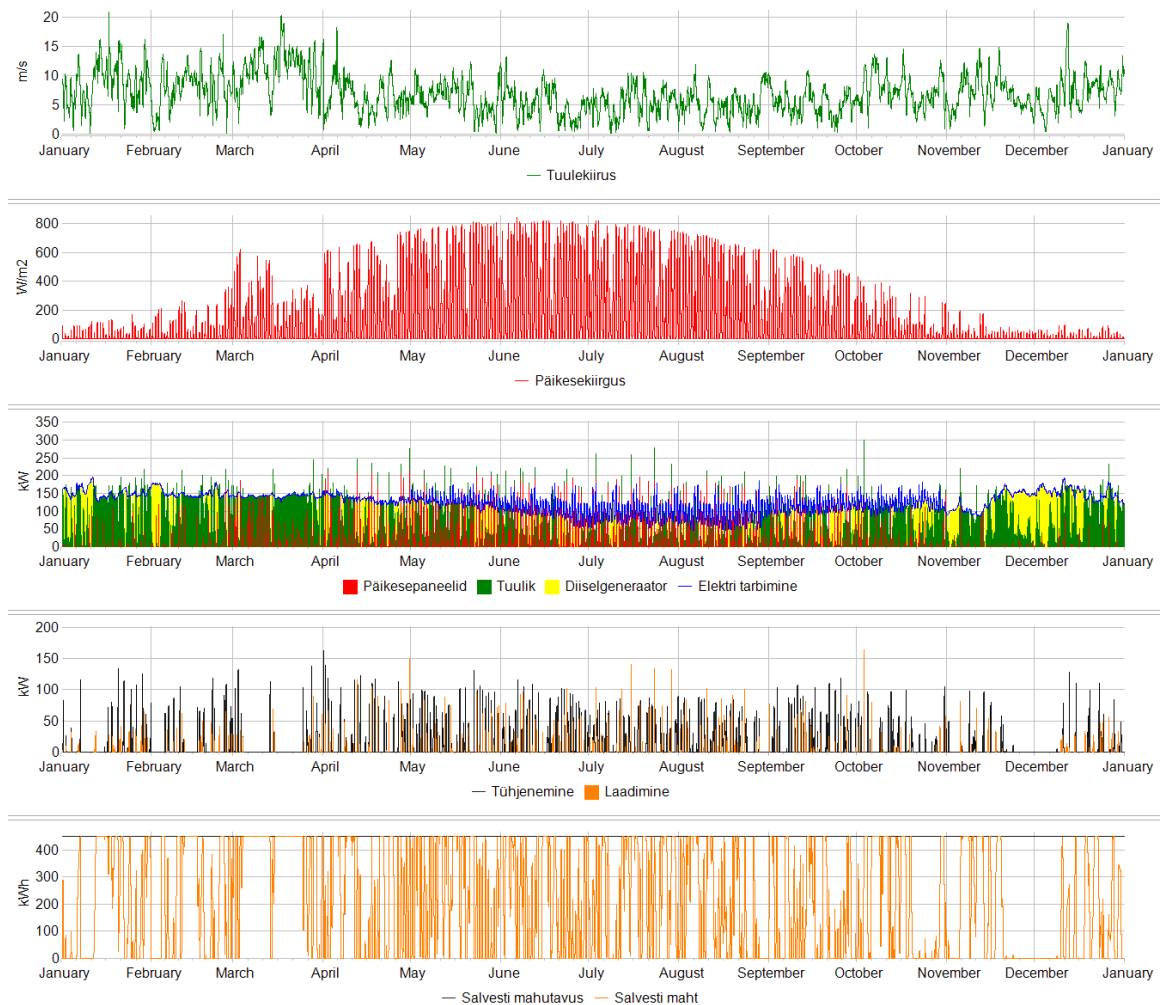
Tarbimise ja tootmise bilanssi hoidsid kolm tootmisseadet, milleks olid elektrituulik, päikesepaneelid ja generaator. Toodetud, kuid tarbimata jäänud elektrienergia salvestati salvestisse. Optimaalseimaks elektrituuliku võimsuseks oli 175 kW, päikesepargil 240 kW, generaatoril 225 kW ning salvestil 450 kWh. Enim tarbiti elektrituuliku poolt toodetud energiat, seejärel päikesepaneelide poolt ning viimaseks generaatori poolt toodetud energiat. Salvesti salvestas kokku 74 MWh energiat, mis ühtlasi tähendab ka, et vähendas generaatori osakaalu 74 MWh võrra. Joonisel 5.3 on toodud iga energiaallika aastane toodetud energiahulk ja selle osakaal protsentides.



Joonis 5.3 Tootmisseadmete osakaalu jaotus aasta lõikes

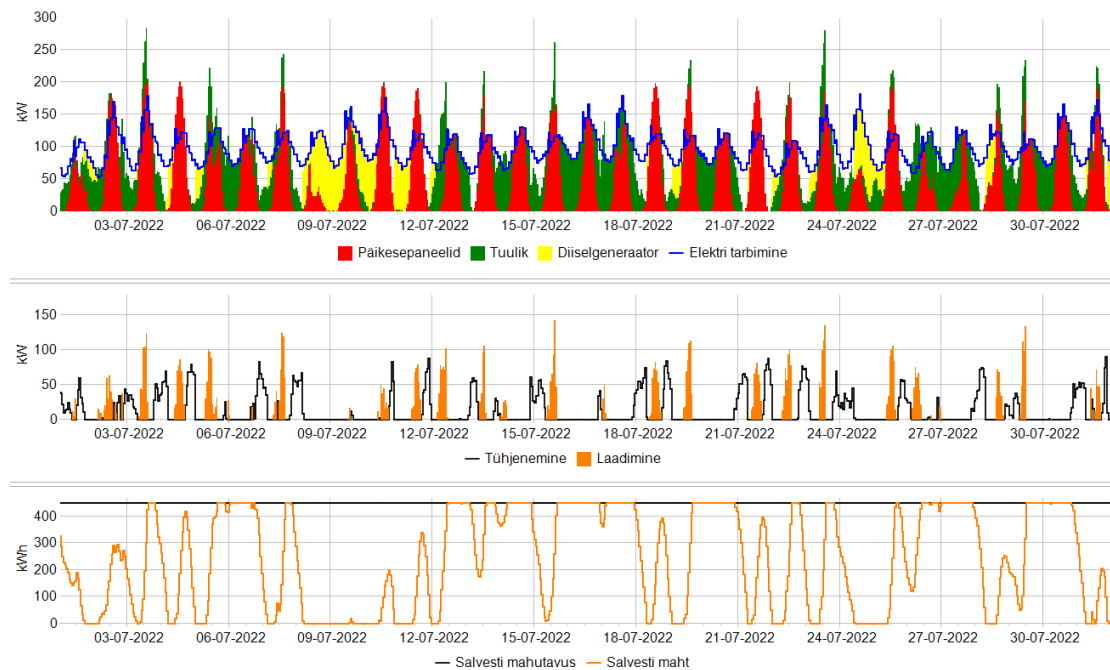


Joonis 5.5 Tootmiseladmete osakaalu jaotus kuude lõikes



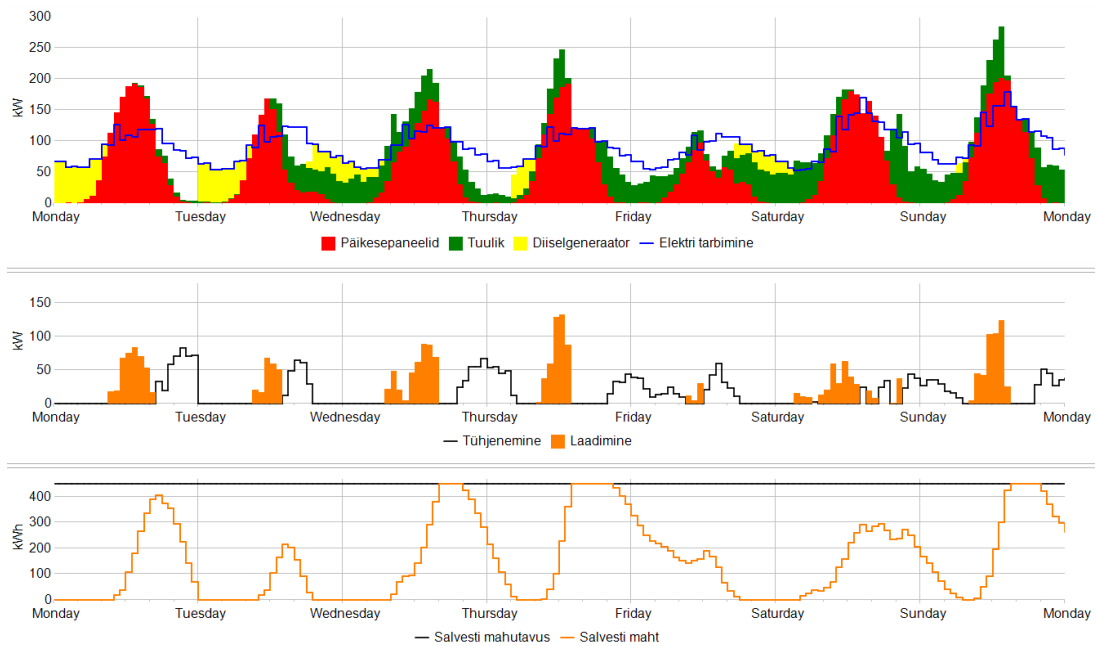
Joonis 5.6 Naissaare ühe aasta energiarõud

Naissaare ühe aasta energiavoogude joonisel 5.5 ja 5.6 saab näha, et tuulikud töötavad enim oktoobrist aprillini, kuna nendel kuudel on tuulekiirus suurem. Päikesepaneelid töötavad enim just aprillist oktoobrini kuna siis on rohkem päikesekiirgust, mille tõttu päikesepaneelide väljundvõimsus on ka suurem. Generaatorit kasutatakse enim detsembri kuus, kuna siis pole tuulekiirus ega päikesekiirgus piisav tagamaks tuuliku ja päikesepaneelide tööd. Salvestit kasutatakse enim aprillist oktoobrini, kuna selles vahemikus on kõige rohkem tootmiseadmeid korraga tööl. Salvesti kasutamine on eriti hõre märtsis ja detsembris, kuna nendel kuudel tarbiti kõik taastuvate energiaallikate poolt toodetu ning generaatori poolt toodetu just nii palju energiat kui seda ka tarbiti, seega ei jäänud üle midagi, mida salvestada.



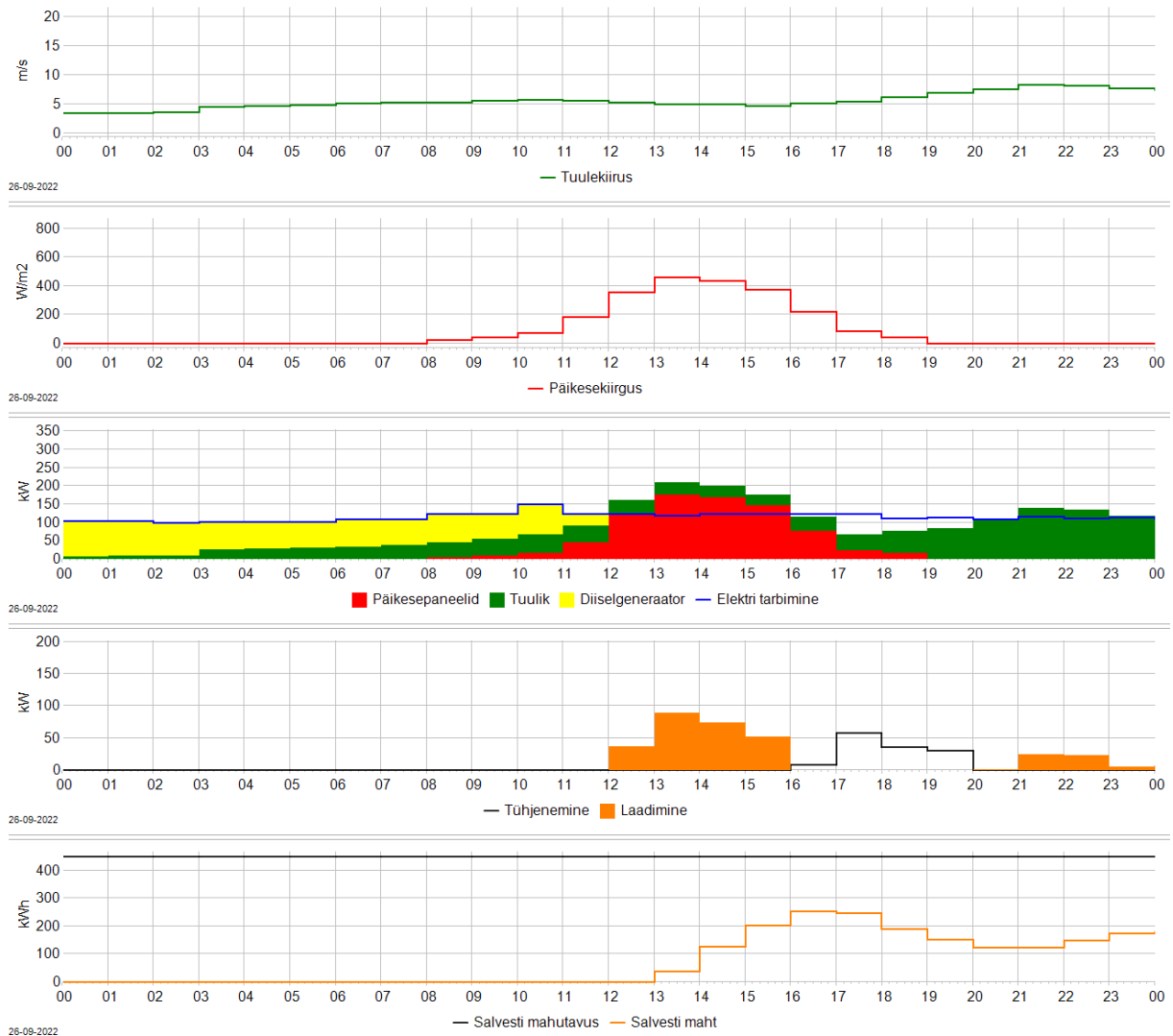
Joonis 5.7 Naissaare ühe kuu energiavood

Joonisel 5.7 on toodud Naissaare juuli kuu energiavood. Sellelt jooniselt saab näha kuidas päikesepaneelide töö on perioodiline, kuna seda on ka päikesekiirgus. Tuuliku töö sedavõrd perioodiline pole. Ka suvekuudel pidi töötama generaator kuna esines päevi, mil ilmastikuolude tõttu ei saanud elektrituulik ega päikesepaneelid töötada. Kui need töötasid, toimus ka tarbimata jäänud elektrienergia salvestamine ning mitmel korral jõutakse salvesti mahu küllastuseni.



Joonis 5.8 Naissaare ühe nädala energiavood

Naissaare ühe nädala energiavoogude jooniselt saab näha kuidas tarbimine muutub nädala lõikes. Kuna tegemist on suvise nädalaga ning saart külastavad turistid, siis selle tõttu elektri tarbimine nädalavahetusel tõuseb. Jooniselt saab näha, et päikesepaneelid töötavad peamiselt päeval, kuid tuulikud suudavad ka öiseid tarbimisi katta. Kuna ööpäevaringne tarbimine on suur, siis ka 450 kWh salvesti pole piisav, et tagada tarbimist ilma generaatori tööle hakkamiseta.



Joonis 5.9 Naissaare ühe päeva energiavood

Joonisel 5.9 on toodud ühe ööpäeva energiavood. Südaööst kuni kella kolmeni öösel on ainsaks energiaallikaks generaator, kuna salvesti on tühi ning tuulekiirus ja päikesekiirus madal. Tuule kiirus muutub öösel kella kolmest piisavaks tuuliku töötamiseks ning kasvab kuni kella 12, mille tõttu on generaatori osakaal pidevas languses. Alates kella 12 ilmastikuolud on piisavad tuuliku ja paneelide töötamiseks, mille tõttu generaator lõpetab töötamise ning hakatakse ka tarbimata jäänud elektrienergiat salvestama. Alates kella 16 päikesekiirus väheneb, mille tõttu langeb ka paneelide toodang ning energiat tarbitakse rohkem kui toodetakse. Energia bilanssi kompenseerib salvesti kuni kella 20. Edasi tõuseb tuule kiirus selliselt, et kogu tarbimine kaetakse tuuliku toodanguga ning ülejääki suunatakse taas salvestisse. Graafikult näeb ka tuuliku võimsuskõvera tulemust. Tunnil 20:00 on tuule kiirus 7,5 m/s ning tuuliku võimsus 100 kW, mis vastab ka joonisel 4.8 toodule.

5.2 Mudeli rahavood

Sõltumatu energialahenduse maksumust hinnati Rahvusvahelise Taastuenergiaagentuuri IRENA 2021 aastal ja ühtlasi viimase taastuenergia tootmiskulude aruande põhjal. Aruandes toodud tulemustest on näha, et kõige kallima ühikhinnaga seadmeks on elektrituulik, mille ühikhind on 1120 €/kW ning 175 kW tuuliku maksumuseks teeks see 196 000 €. Päikesepaneelide ühikmaksumus on 725 €/kW. Saarel olemasolevale 120 kW paigaldatakse juurde veel sama palju, mille tõttu oleks rajatava päikesepargi hind 87 000 €. Elektrienergia salvesti suuruseks valiti 450 kWh ning ühikmaksumus salvestil on 498 €/kWh, mis teeks valitud salvesti maksumuseks 224 100 €. Ühikmaksumuse poolest on salvesti odavam, kuid tema suuruse tõttu sõltumatu võrguühenduse kalleim element. [27] Valitud 225 kW generaatori maksumuseks on 55 055 €, mis teeb selle ühikmaksumuseks 245 €/kW [26]. Summaarselt oleks sõltumatu energialahenduse tootmis- ja salvestusüksuste maksumuseks 562 155 €.

Tabel 5.1 Mudelis kasutatud seadmete maksumused

	Paigaldamiskulu ühikhind	Ühik	Paigaldamiskulu, €
Päikesepaneelid	725 €/kW	120 kW	87 000
Maismaa tuulik	1120 €/kW	175 kW	196 000
Generaator	245 €/kW	225 kW	55 055
Salvesti	498 €/kWh	450 kWh	224 100
Kokku	-	-	562 155

5.3 Võrdlus võrguga ühendatud lahendusega

Naissaarele võrgust sõltumatu või sõltuva lahenduse maksumuse erinevus seisneb sellest, kust elekter tuleb. Vaatamata sellele, kas elekter toodetakse kohapeal taastuvate energiaallikate ja generaatori abil või edastatakse seda läbi mere, on vaja välja ehitada saarel elektrivõrk. Sellest tulenevalt ei hinnatud antud töös saare elektrivõrgu maksumust.

Merekaabli maksumuse hindamine on keeruline ja küllaltki individuaalne, kuna maksumus sõltub lisaks kaabli hinnale veel merepinna reljeefist ja seal paiknevatest objektidest, mis selguvad mereuuringute käigus. Naissaare ja mandri vahel asub Tallinna laht, mille sügavus on üle 90 meetri [28] ning samuti paikneb erinevaid objekte tallinna lahes, millest

üks on Estlink 1. Erinevate objektide paiknemine merepinnas komplitseerib merekaabli rajamist.

Aastal 2007 hinnati merealuse kaabli rajamise maksumuseks ca 12 milj krooni [6]. 2023 aastal Viimsi vallavanema sõnul oleks mandriga püsiühenduse maksumus suurusjärgus 3 kuni 4 miljonit eurot [29]. 2020 aastal paigaldati Suurde väina Muhu saare ja mandri vahele 11 km pikkune merekaabel, mille maksumuseks oli 9 mln €, mis teeb kilomeetri hinnaks ligikaudu 0,8 mln €/km [30]. Suurde väina paigaldatud kaabli kõrge kilomeetri maksumuse üks osa on seal kasutatav 110 kV pinge, mida Naissaare puhul ei kasutataks, kuid siiski see annab aimdust kõrge kilomeetri maksumuse kohta. Naissaare merekaabli konkreetset maksumust on keeruline hinnata, aga nende kolme allika põhjal saab aimdust, et Naissaare ja mandri vahele rajatava merekaabli maksumus ulatuks mitmetesse miljonitesse.

Väga kõrge hinnaga kilomeetri maksumuse korral tuleks valida võimalikult lühike kaabli trass ühendamiseks saare võrku mandri omaga. Tallinna lahe ümbruses on 6, 10, 20 kV pinge astmega võrkusid. Saarele on linnulennult lähim 9 km kaugusel asuv 20 kV võrk, kuid sellisel juhul ristuks rajatava merekaabli trass Estlink 1 trassiga ning selline trassi valik võib osutuda võimatuks. Merekaablit on võimalik ühendada mandri võrguga mitmest kohast ning igal variandil võib tekkida erinevaid takistusi, millega ei ole võimalik indikatiivse hinna andmisel arvestada. Näiteks tuleb mandri võrguga ühendamisel teha liitumine Elektrilevi jaotusvõrguga, mille hind on samuti suuresti sõltuv sellest, millises kohas liitumine toimub.

Võrreldes võrgust sõltumatut ja sõltuvat lahenduse esialgset investeeringut, siis töös hinnatud maksumuste põhjal oleks sõltumatu lahendus kordades odavam, kuid saartalitluses olev võrk on vähem töökindel. Lisaks sellele on sõltumatus lahenduses kasutatavad seadmed lühema tööeaga, kui merekaabel. Merekaabli tööiga võib aga lühendada Tallinna lahes olev ankruala ning on võimalus, et tekib sarnane olukord Prangli saart ühendava merekaabliga, kus see on laeva ankru poolt katki tehtud. Merekaabli puhul on tarbimise prognoosimine kriitilisema tähtsusega, kui sõltumatu lahenduse puhul. Seda seetõttu, et merekaabli läbilaskevõime ammendumise korral tuleb vedada uus kaabel, kuid sõltumatu energialahenduse ammendumise korral on võimalik olemasolevaid tootmisseadmeid täiendada võrdlemisi odavalt.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö raames pakuti välja Naissaare sõltumatu energiatootmise optimaalseim lahendus. Töö tulemusena koostati saarele prognoosiv elektrienergia tarbimise koormusgraafik, leiti tootmis – ja salvestusseadmed, mis suudaks elektrienergia tarbimist igal ajal katta ning anti hinnang lahenduse maksumusele ning võrreldi seda mandri elektrivõrguga ühendatud variandiga.

Esimeses põhiosas räägiti milliseid tarbimise modelleerimise ja prognoosimise meetodeid on olemas ning kuidas ja mil määral saaks neid ära kasutada Naissaare tarbimise prognoosimisel. Selgus, et Naissaare tarbimist tavapäraste meetodite abil prognoosida ei saa, kuna puudusid selleks vajalikud lähteandmed. Sellest tulenevalt hinnati ja prognoositi tarbimist saadaolevate lähteandmete abil, milleks olid esitatud andmed olemasolevate tootmisüksuste ja nende võimsuste, perspektiivsete elamute, muuseumide ja teenuste kohta. Kasutati veel infot olemasolevate hoonete tüüpide ja nende kasutamise kohta, arvestati välistemperatuuri ja tüüpkoormusgraafikutega ning kasutati erinevaid statistilisi andmeid Eesti majapidamiste elektri tarbimise kohta. Selles põhiosas anti ka ülevaade kasutatud energyPRO tarkvarast, mille abil toimus saadaolevaid lähteandmeid kasutades elektri tarbimise ja tootmise modelleerimine.

Teises põhiosas anti ülevaade milline on saare elektrivarustuse hetkeolukord, uuriti ja anti hinnang Naissaare prognoositavale elektri tarbimisele. Kokku formuleerus sarnaste tarbimiskäitumise põhjal kuus erinevat tarbimisgruppi, millele igaühele loodi tarbimisgraafik. Erinevate tarbimisgraafikute loomisel olid erinevad lähteandmed. Nende loomisel kasutati välistemperatuuri, tarbitavat elektrienergiat, koormusgraafikuid, seadmete nimivõimsusi ja erinevaid tegureid kirjeldamaks tarbimise jaotust. Suurima tarbimise osakaaluga grupiks osutus arendatavad eramud, mille aastaseks tarbimiseks hinnati 540 MWh, sellele järgnes arendatavad turismiasutused, mille tarbimine oli 350 MWh. Vähim tarbivaks grupiks osutus arendatavad transport, mille aastane tarbimine oli vaid 5,2 MWh. Kuue koormusgraafiku summeerimise teel saadi Naissaare ühine elektri tarbimise koormusgraafik. Koormusgraafikut võrreldi Prangli koormusgraafikuga ning selgus, et kahel graafikul on mitmeid ühiseid jooni ning jõuti järeldusele, et koostatud graafik sobib iseloomustamiseks Naissaare tarbimist. Naissaare aastaseks elektrienergia tarbimiseks osutus 1,11 GWh. Enim tarbiti elektrienergiat jaanuaris, kus see ulatus 113

MWh ning sel kuul oli ka Naissaare tarbimise tipp, milleks oli 198 kW. Vähim tarbiti augustis, kus tarbimine oli 70 MWh ning augustis oli ka saare tarbimise miinimum 48 kW.

Kolmandas põhiosas otsiti tootmis-ja salvestusseadmete optimaalseimad mahud ning pakuti nendele seadmete sobilikud asukohad. Selleks, et optimaalseimate seadmete võimsustega katta saare elektri tarbimine, on vaja kasutada 240 kW päikesepaneele, millest 120 kW on tänaseks juba saarele paigaldatud. Elektrituuliku optimaalseimaks võimsuseks osutus 175 kW ja elektrienergia salvesti puhul 450 kWh. Salvesti laadimisvõimsus peab olema vähemalt 190 kW, et kõik toodetud elektrienergia oleks võimalik salvestada ning tühjenemisvõimsus vähemalt 198 kW, et oleks võimalus katta tarbimistippu. Generaator peab suutma tagada kõik tarbimistipud, millest suurim oli 198 kW. Arvestades tarbimistippu ja esinevaid ülekandekadusid, valiti mudelisse 225 kW võimsusega generaator.

Viimases põhiosas analüüsiti mudeli energia – ja rahavooge ning võrreldi mandri võrgust sõltumatut ja sõltuvat lahendust. Kasutades eelpool mainitud tootmis-ja salvestusüksuseid, siis aastasest toodetud elektrienergiast toodeti 589 MWh ehk 54 % elektrituuliku abil. Päikesepaneelidega toodeti 281 MWh ehk 24 % ja generaatoriga 237 MWh ehk 21 % kogu toodetud elektrienergiast. Elektrienergia salvesti salvestas 74 MWh elektrienergiat aastas. Selles põhiosas esitati mitmeid jooniseid kirjeldamiseks Naissaare aastase, kuu, nädala ja päeva energiavooge ning analüüsiti neid paralleelselt ilmastikuoludega antud ajavahemikus. Viimaseks anti hinnang sõltumatu energialahenduse maksumuseks ning võrreldi seda merekaabliga ühenduse rajamise variandiga. Sõltumatu energialahenduse maksumuseks hinnati 562 155 €, mis on kordades odavam merekaabli rajamisest. Sellest tulenevalt osutus majanduslikult optimaalsemaks toota elekter kohapeal ja olla mandri võrgust sõltumatu.

Antud tööd on võimalik edasi arendada tehes rohkem uuringuid merekaabli rajamisele Tallinna lahte ning võtta hinnapakkumisi töös nimetatud energialahendustele, et täpsemini hinnata erinevate variantide maksumusi.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Eesti Energia, „Üle poole Ruhnu saarel kasutatavast elektrist tuli möödunud aastal taastuenergiast,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://rohe.geenius.ee/blogi/eesti-energia-blogi/ule-poole-ruhnu-saarel-kasutatavast-elektrist-tuli-moodunud-aastal-taastuenergiast/>. [Kasutatud 04.04.2023].
- [2] A.Bašev, „TAASTUENERGIAL JA DIGITALISEERIMISLAHENDUSEL PÕHINEVA PRANGLI SAARE ELEKTRISÜSTEEMI ANALÜÜS Magistritöö,“ TalTech, Tallinn, 2020.
- [3] Y.LI, D.HAN, ja Z.YAN, „Long-term system load forecasting based on data-driven linear clustering method,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40565-017-0288-x>. [Kasutatud 04.04.2023].
- [4] J.E.Ortiz, „Forecasting electricity demand with Python,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.cienciadedatos.net/documentos/py29-forecasting-electricity-power-demand-python.html>. [Kasutatud 04.04.2023].
- [5] EMD International, „energyPRO,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.emd-international.com/energypro/>. [Kasutatud 11.04.2023].
- [6] MTÜ Suport, „Naissaare arengukava aastateks 2008-2015,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: Naissaare-arengukava-aastateks-2008-2015.pdf. [Kasutatud 11.04.2023].
- [7] MTÜ Naissaarlaste Kogukond, „Naissaarlaste tahavad lokaalsete lahenduste asemel ühist elektrivõrku,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://naissaar.ee/uudised/naissaarlaste-tahavad-lokaalsete-lahenduste-ase-mel-uhist-elektrivorku>. [Kasutatud 11.04.2023].
- [8] M.Pinn, R.Pinn, M.Pinn, Elekter päikesest ja tuulest, Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast, 2012
- [9] Eesti statistika, „Leibkondade energiatarbimise uuring,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://energiatalgud.ee/sites/default/files/images_sala/9/93/Leibkondade_energia_tarbimine_2012.pdf. [Kasutatud 11.04.2023].
- [10] Energiatalgud, „Energiatarbimine kodumajapidamistes,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://energiatalgud.ee/Energiatarbimine_kodumajapidamistes. [Kasutatud 11.04.2023].
- [11] Statistikaamet, „Leibkonnad ja perekonnad,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://rahvaloendus.ee/et/tulemused/leibkonnad-ja-perekonnad>. [Kasutatud 11.04.2023].

- [12] Eurostat, „Energy consumption in households,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households#Energy_products_used_in_the_residential_sector. [Kasutatud 29.04.2023].
- [13] Elektrilevi OÜ, „Tüüptarbimisgraafikud,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.elektrilevi.ee/abiinfo/tarbimine-ja-tarbimisandmed?tabgroup_1=consumption-graphs. [Kasutatud 29.04.2023].
- [14] Konkurentsiamet, „Elektrilevi OÜ tüüpkoormusgraafikute kooskõlastamine,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.konkurentsiamet.ee/sites/default/files/2022_01_26_otsus_elektrilevi_tkg_2022.pdf. [Kasutatud 29.04.2023].
- [15] Keskkonnaagentuur, „Eriliselt soe 2020. aasta,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.lennuilm.ee/wp-content/uploads/2021/01/2020kuukeskmise_temperatuur.jpg. [Kasutatud 29.04.2023].
- [16] F.Girardin, F.Dal Fiore, J.Blat, C.Ratti, „Understanding of Tourist Dynamics from Explicitly Disclosed Location Information,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/228787929_Understanding_of_tourist_dynamics_from_explicitly_disclosed_location_information. [Kasutatud 29.04.2023].
- [17] Monica, „Sõidugraafik Naissaarele ja ekskursioonid,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://monica.ee/soidugraafik-naissaarele/?keyword=naissaar&matchtype=b&creative=565081300483&device=c&campaignid=12715067940&adgroupid=122086743033&gclid=Cj0KCQjwIPWgBhD HARIsAH2xdNfj2s\)h_WITD4Do1OEwZ2Xww_on2S5sBQLYvVsZu85N2H9-CNKVrKQaAkYWEALw_wcB](https://monica.ee/soidugraafik-naissaarele/?keyword=naissaar&matchtype=b&creative=565081300483&device=c&campaignid=12715067940&adgroupid=122086743033&gclid=Cj0KCQjwIPWgBhD HARIsAH2xdNfj2s)h_WITD4Do1OEwZ2Xww_on2S5sBQLYvVsZu85N2H9-CNKVrKQaAkYWEALw_wcB). [Kasutatud 29.04.2023].
- [18] Statistikaamet, „Eluruumid ja eluruumidega hooned,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://rahvaloendus.ee/et/tulemused/eluruumid-ja-eluruumidega-hooned>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [19] Riigiteataja, „Kaalutud energiaerikasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.riigiteataja.ee/aktiis/1070/7202/0013/Lisa_3.pdf. [Kasutatud 29.04.2023].
- [20] Elering AS, „Elektri tarbimine ja tootmine,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elering.ee/elektri-tarbimine-ja-tootmine>. [Kasutatud 29.04.2023].

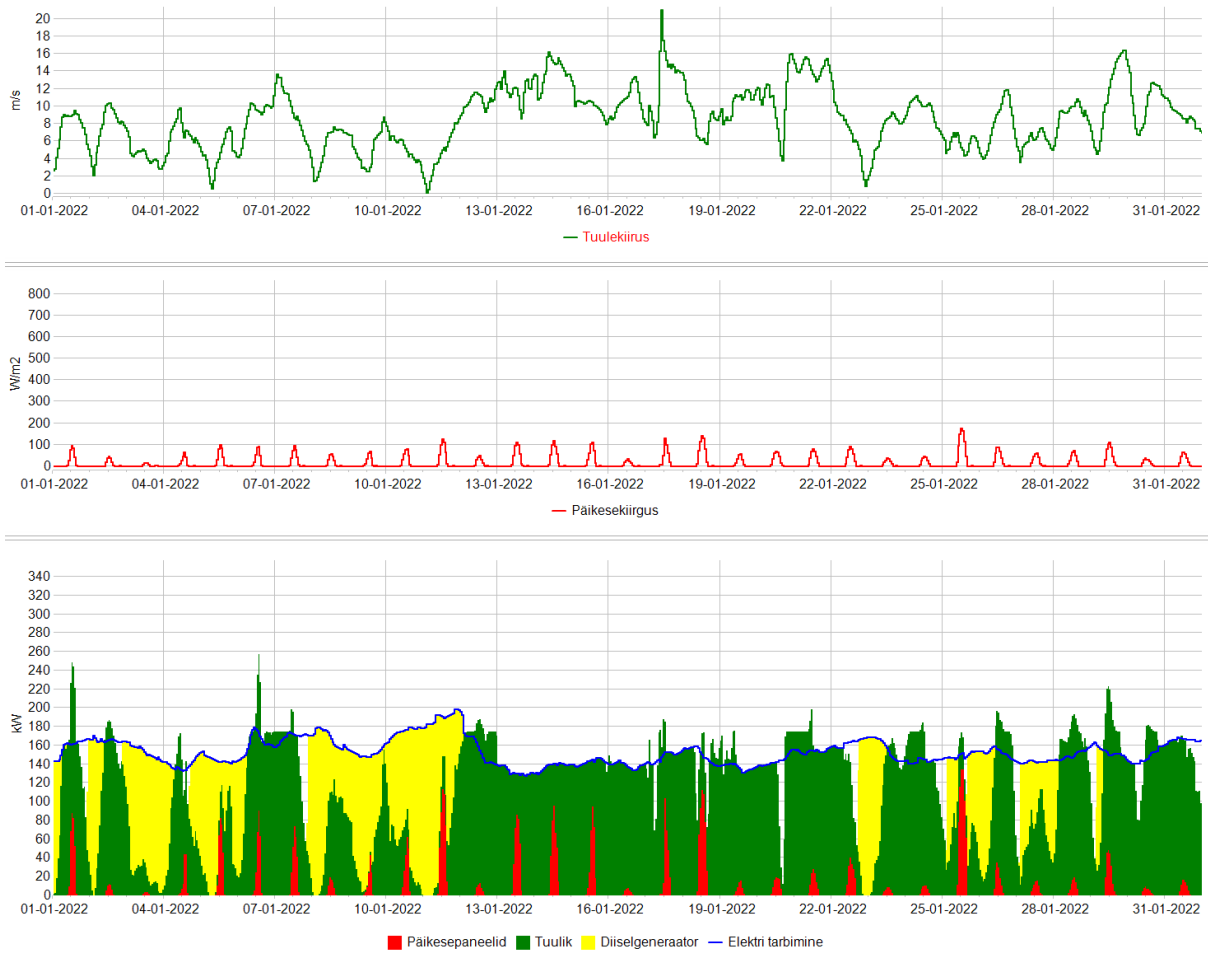
- [21] LG, „LG NeON H BiFacial,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.europe-solarstore.com/download/lg/LG_NeON_2_Bicacial_430-435-440W_N2T-E6_Datasheet.pdf. [Kasutatud 29.04.2023].
- [22] EMD International, „energyPRO manual,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.emd-international.com/energyPRO/Tutorials%20and%20How%20To%20Guides/energyPROHlpEng-4.5%20Nov.%2017.pdf>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [23] K.E.Laasmaa, „MAAPAIGALDUSEGA PÄIKESEELEKTRIIAAMA RAJAMISE JUHEND Bakalaureusetöö,” TalTech, Tallinn, 2021.
- [24] Wind Turbine Models, „b.ventus 250 kW,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/2061-b.ventus-250-kw>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [25] A. Rosin, S. Link, H. Hõimoja ja I. Drovtar, Energisalvestid ja -salvestustehnoloogiad, Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda, 2015.
- [26] DPX Power, „Caterpillar DE275E0 - C9,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dpxpower.nl/dpxnew/bouw/diesel-generatoren/caterpillar-de275e0-c9-275-kva-generator-dpx-18020/96d0ce17-1ee4-43ca-8ace-6e7998eaae24.html>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [27] IRENA, „RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8. [Kasutatud 29.04.2023].
- [28] Eesti Entsüklopeedia, „Tallinna laht,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://entsyklopeedia.ee/artikkel/tallinna_laht3. [Kasutatud 29.04.2023].
- [29] A.Krjukov, „Viimsi vald tahab Naissaarele püsivat elektriühendust,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.err.ee/1608863024/viimsi-vald-tahab-naissaarele-pusivat-elektrihendust>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [30] Elering AS, „Elering parandab uue merekaabliga saarte varustuskindlust,” [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elering.ee/elering-parandab-uee-merekaabliga-saarte-varustuskindlust>. [Kasutatud 29.04.2023].

LISAD

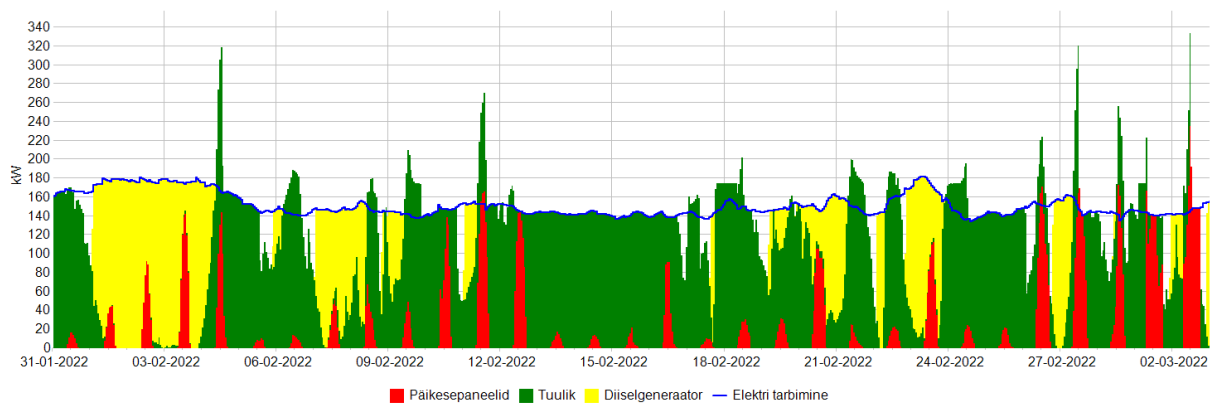
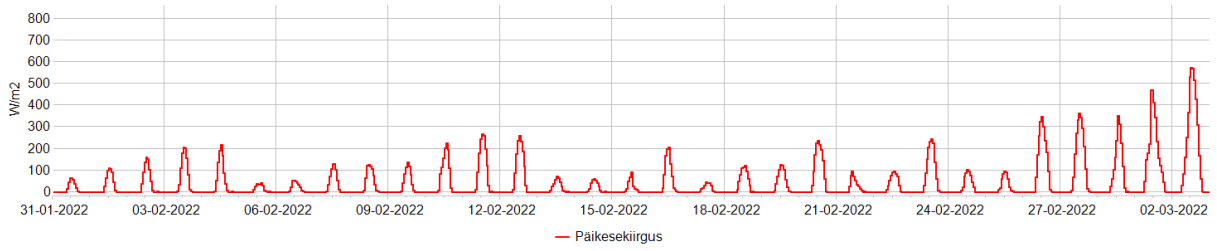
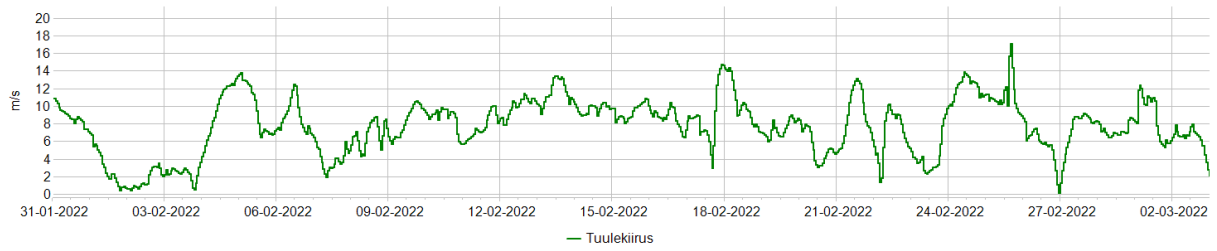
Lisa 1 MTÜ Naissaarlaste kogukonna lähteandmed

	Installeeritud võimsused			Perspektiivsed võimsused			Perspektiivne tarbimine	Märkused
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	Tarbimine/PK (A)	
Tarbijad	PV	T	G	PV	T	G		
Kordoni Päikesepaneel	5							
Politsei ja Piirivalve	150	30	2x66	150	30			Praegu generaator 2x66 kw, RKAS viis läbi hanke, kus hangiti: päike 150 kw, tuulik 30 kw
Transpordiamet Naissaare tuletorn	1							
Haldja tee 24 (elamu)	5	1.5	8					
Piirimetsa (elamud, majutus)	5							
Perspektiivne rongi laadimispunkt 1 Tagaküla							32	
Perspektiivne rongi laadimispunkt 2 Lõunaküla (sadam)							32	
Perspektiivne rongi depoo Lõunaküla							32	
Patarei 10a (Meremuuseumi tulevane ekspositsioon)							300MWh/ aastas	Prognoositav tarbimine saab olema ca 200-300 MWh aastas
Virbikalda (elamuarendus)				25		25		5 krunti, igapäev vajadus ca 5 kw päike, 5 kw generaator
Haldja tee 8 (elamu)	3		2.5					
Metsavana tee 4 (elamu)	4		10					
Metsavana tee 1 (elamu)	3		4					
Ohvitseride kasiino (Meremuuseumi perspektiivne külaskeskkus)							50MWh/aastas	Prognoositav tarbimine ca 50 MWh aastas
Haldja tee 3 (perspektiivne elamu)							16	
Haldja tee (Perspektiivne elamu)							16	
Pilgu (elamu)	10	1.5	11					
Liiva (elamu)	3		4					
Merilaidi (elamu)	3.5		5					
Naissaare sadam	8		18					
RMK keskus	10	3	40					
Liliani (elamu)	4.5		12					
Tammiku (elamu)	12		16					
Perspektiivne arendus							160	ca 5-10 kinnistut
Perspektiivne arendus							80	ca 4-5 kinnistut
Männiku tee 67 (elamu)	5		7					
Omari Küün (kontserdisaal)	9		9					
Naissaare Maarja kirik							20	elektrivarustus puudub
Lõunasadam (arendatav)							32	
Arendatav külalistemaja							20	
Perspektiivne elamuarendus							160	ca 5-10 kinnistut
Männiku tee 33 (elamu)	5	1.5	11					
Naissaare Guesthouse	8		2x30					
Kinomaja	3							
Perspektiivne elamuarendus							80	5 kinnistut
Ühisvõrk (küla elamute varustamiseks)	3		2.6					
Männiku tee 2 (elamu)	3		7					

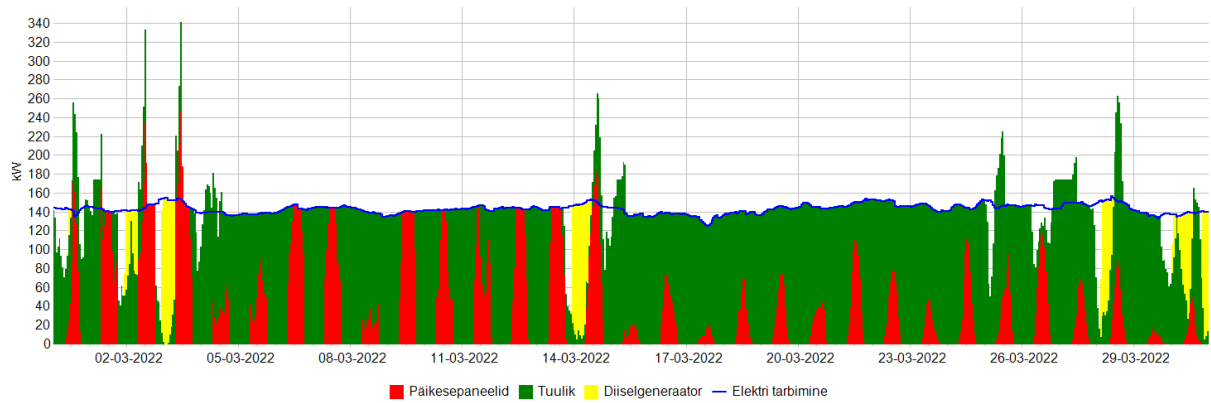
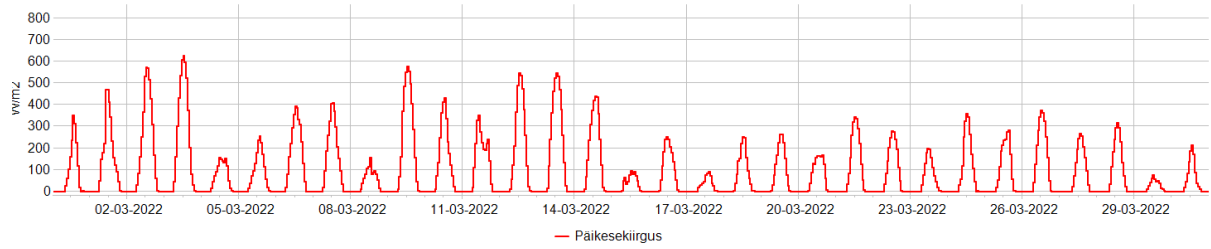
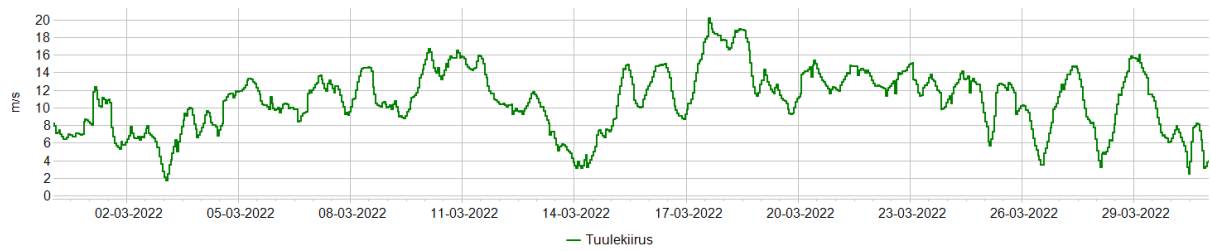
Lisa 2 Jaanuari kuu simulatsiooni energia tootmise vood



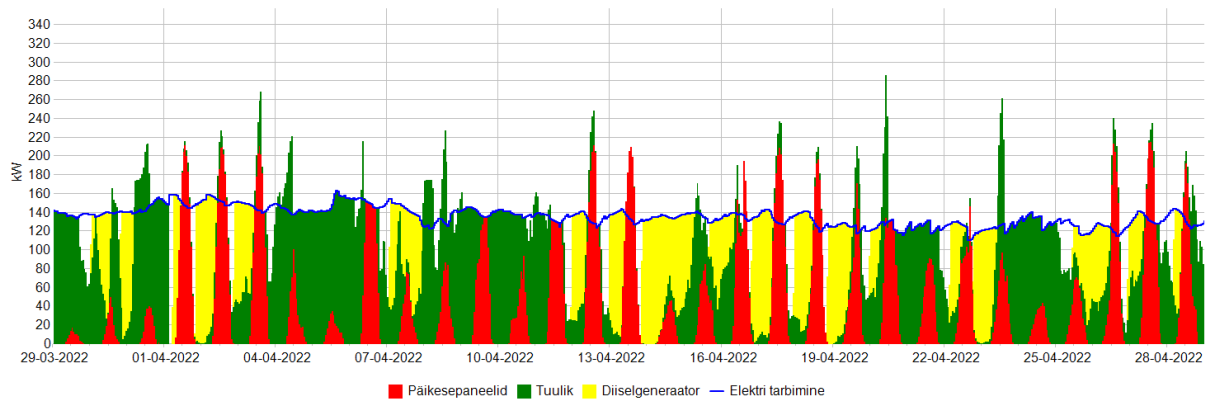
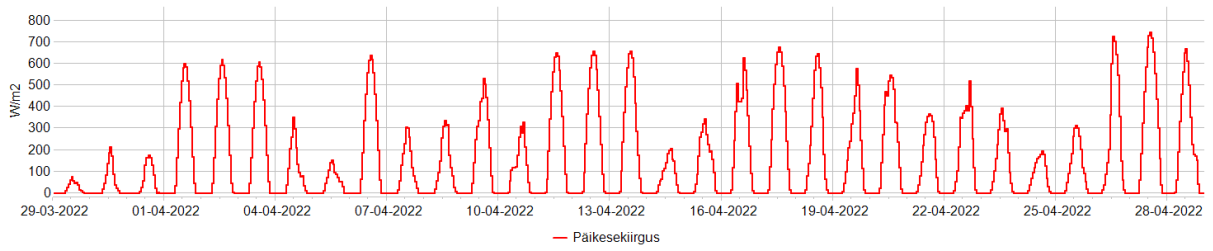
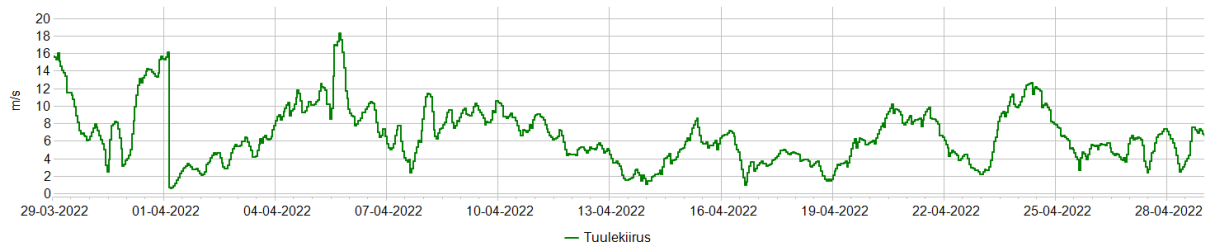
Lisa 3 Veebruari kuu simulatsiooni energia tootmise vood



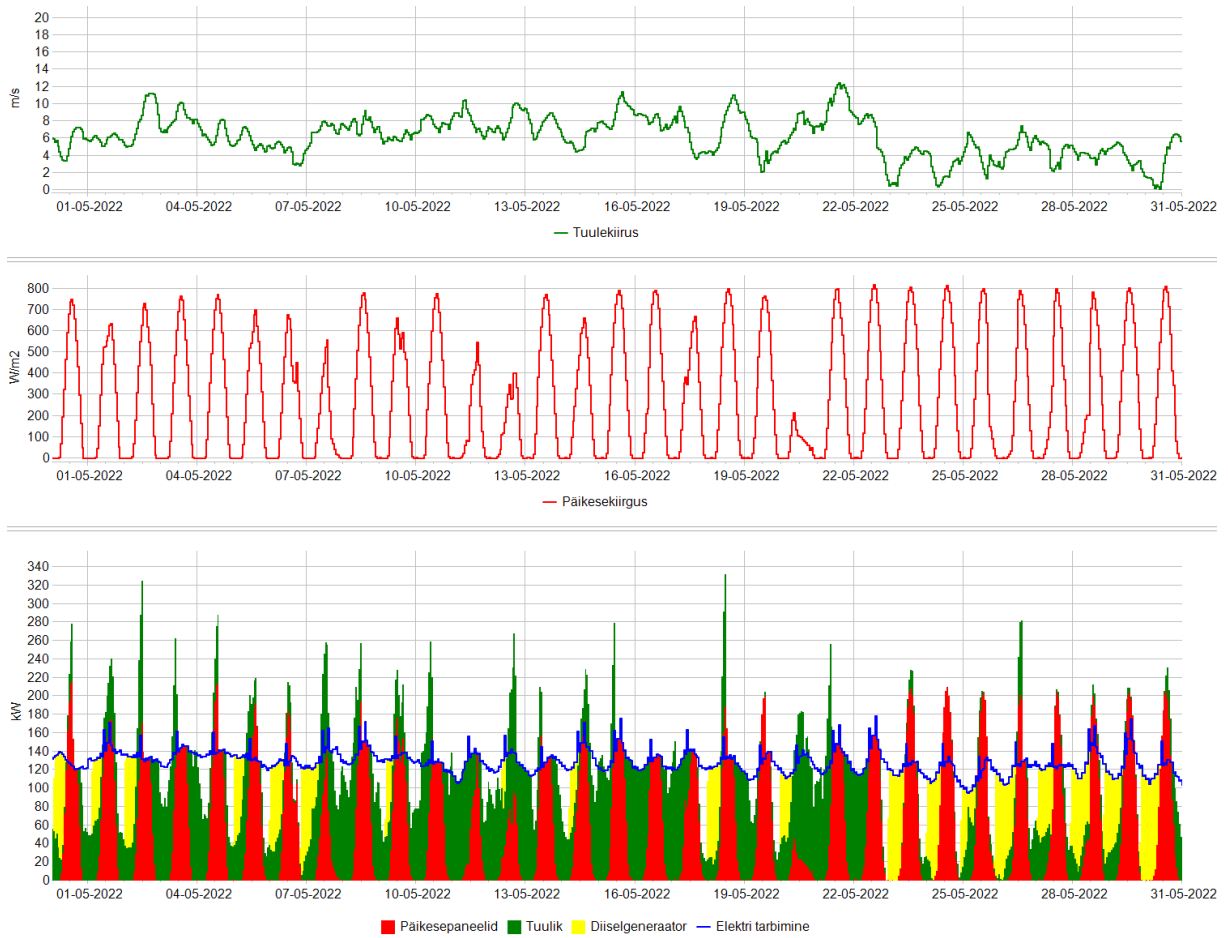
Lisa 4 Märtsi kuu simulatsiooni energia tootmise vood



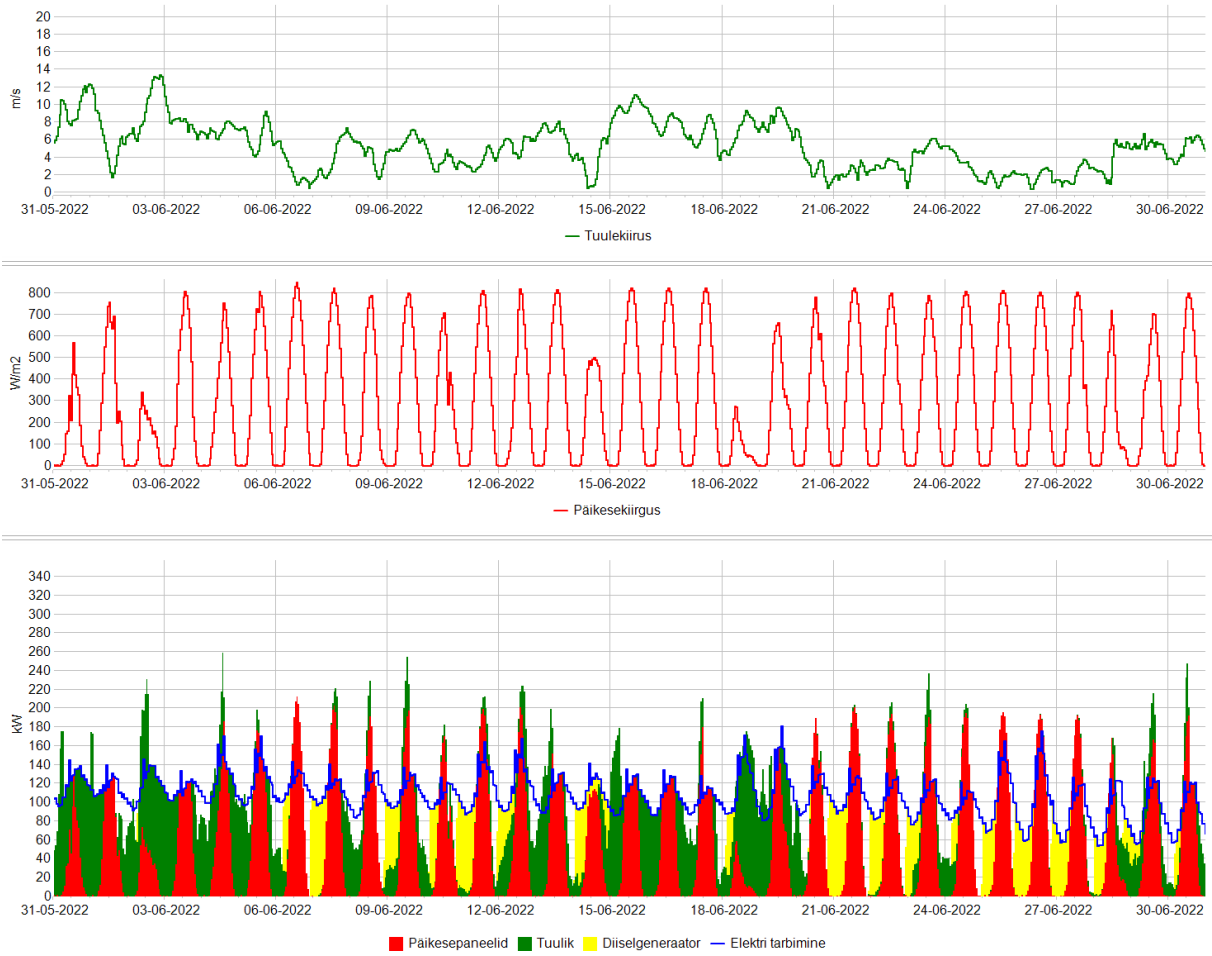
Lisa 5 Aprilli kuu simulatsiooni energia tootmise vood



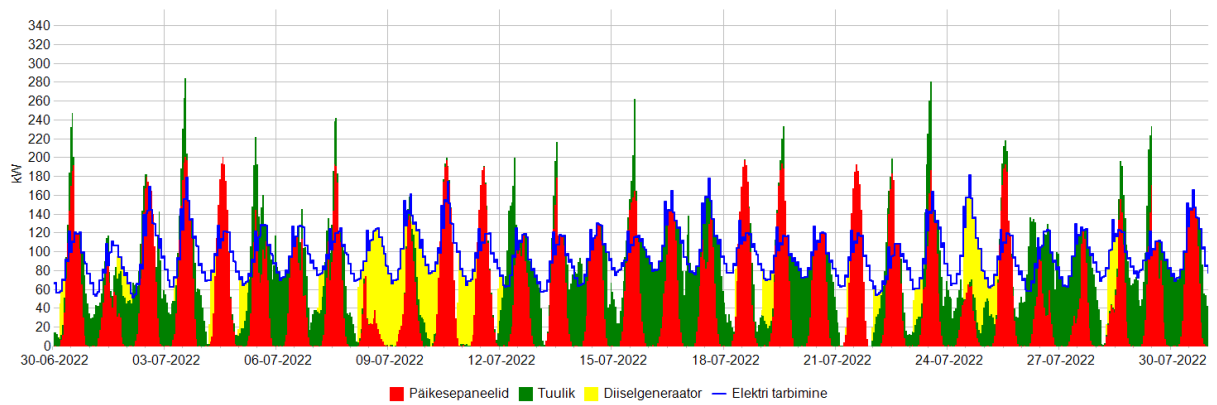
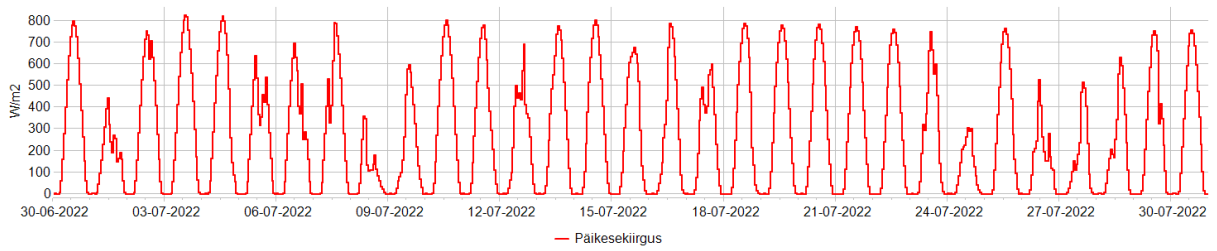
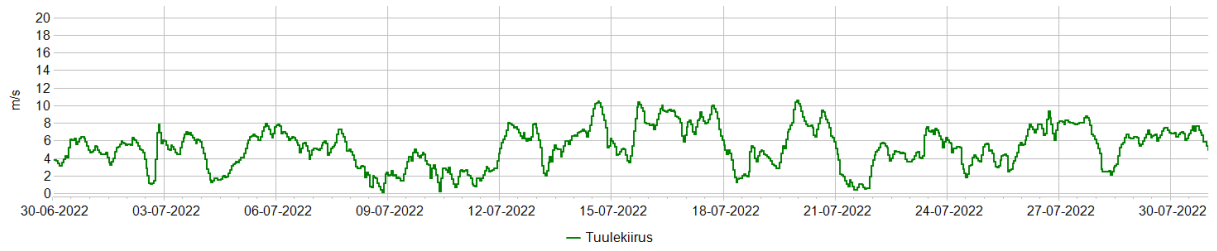
Lisa 6 Mai kuu simulatsiooni energia tootmise vood



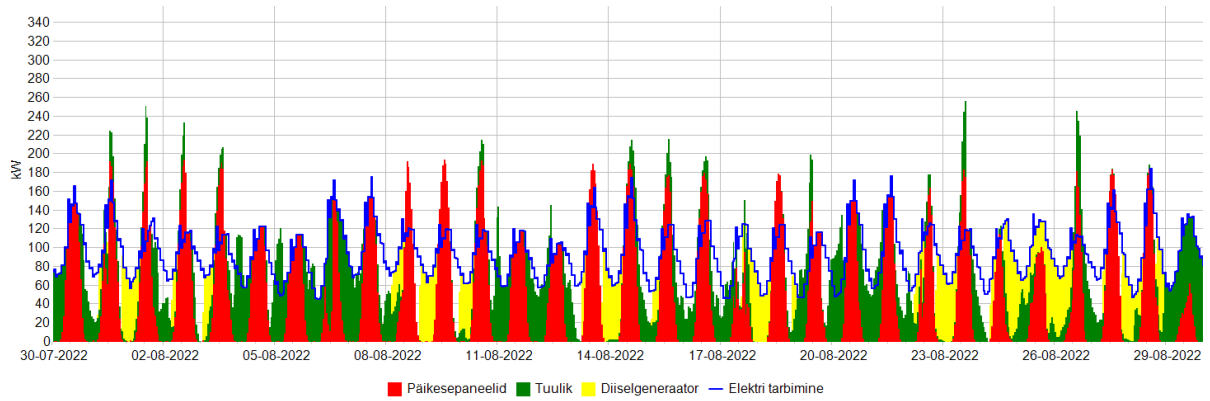
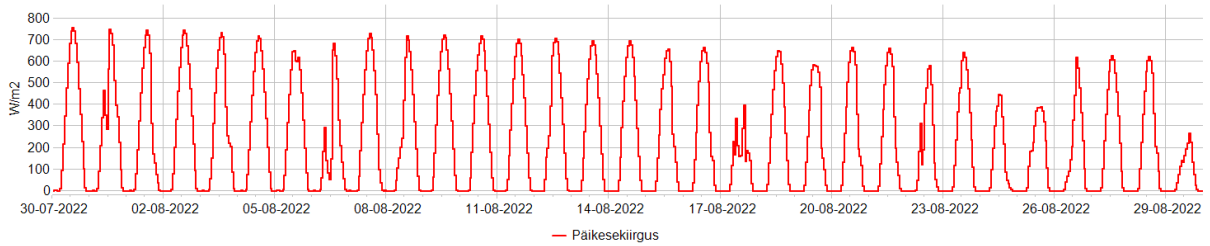
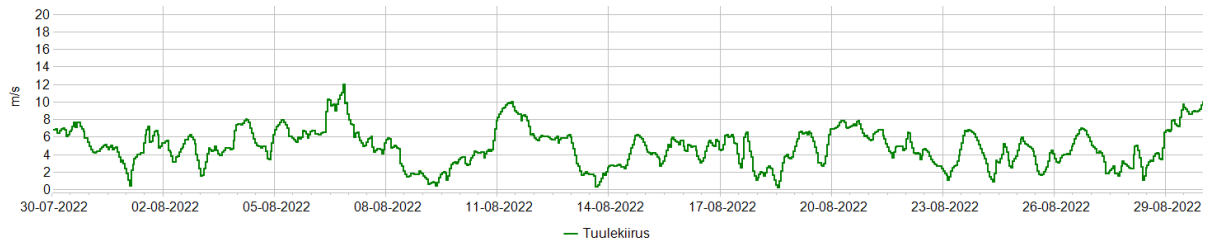
Lisa 7 Juuni kuu simulatsiooni energia tootmise vood



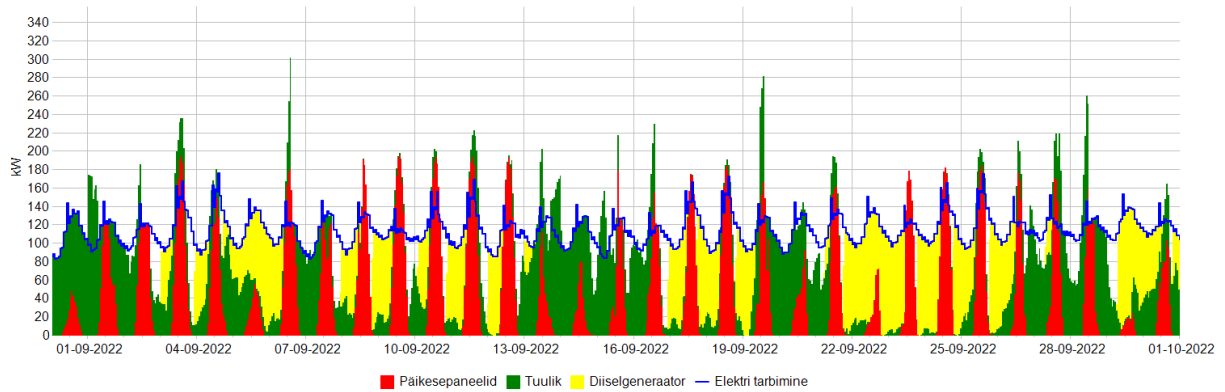
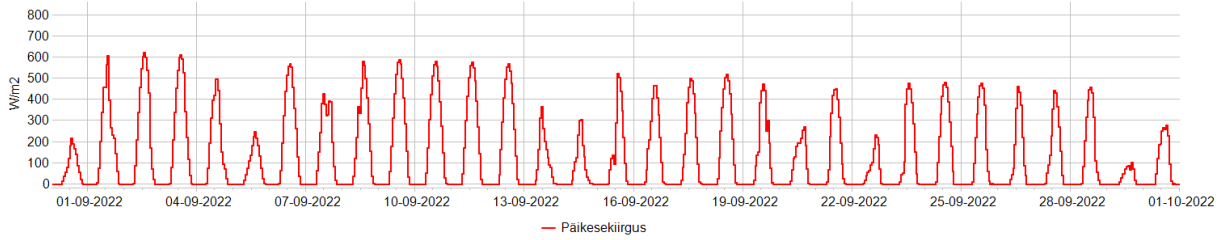
Lisa 8 Juuli kuu simulatsiooni energia tootmise vood



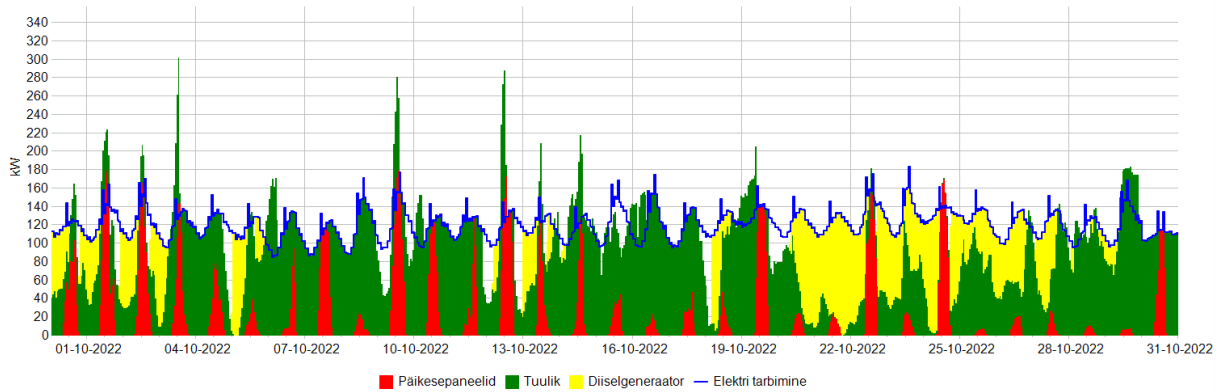
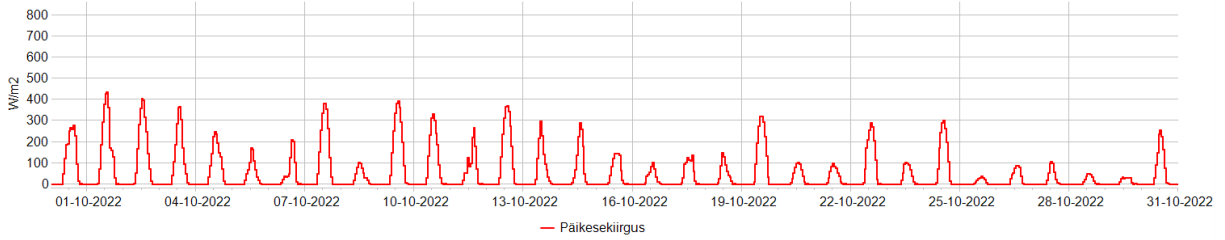
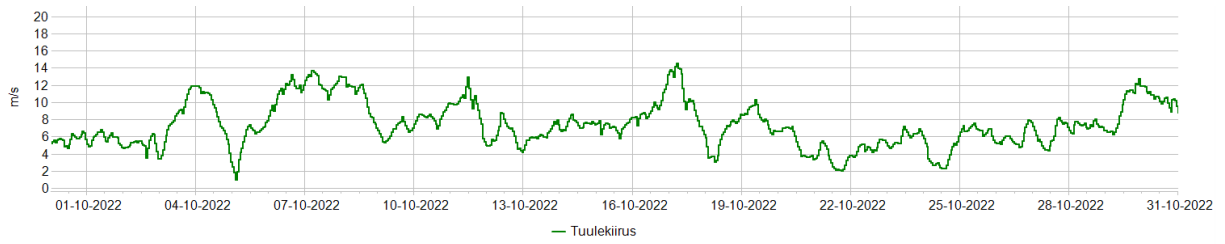
Lisa 9 Augusti kuu simulatsiooni energia tootmise vood



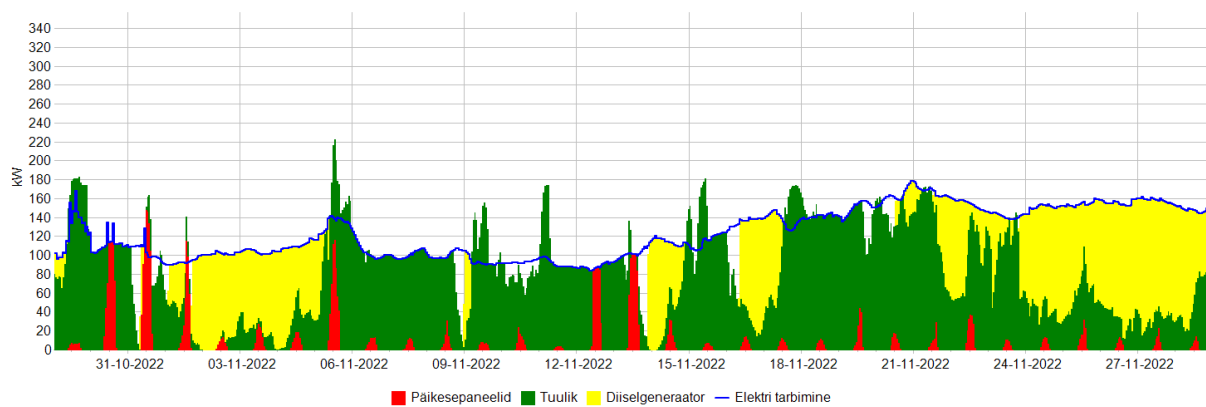
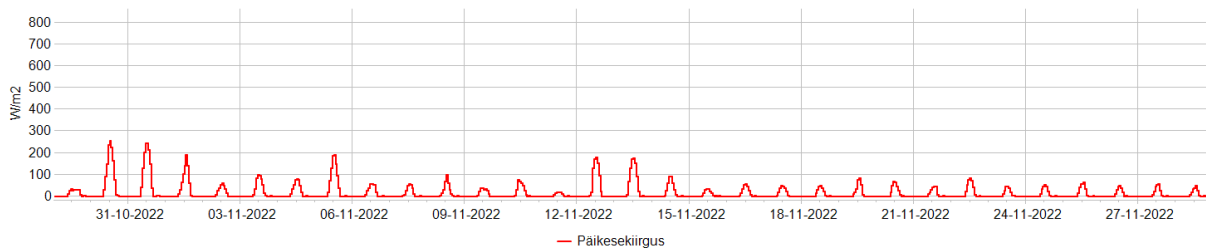
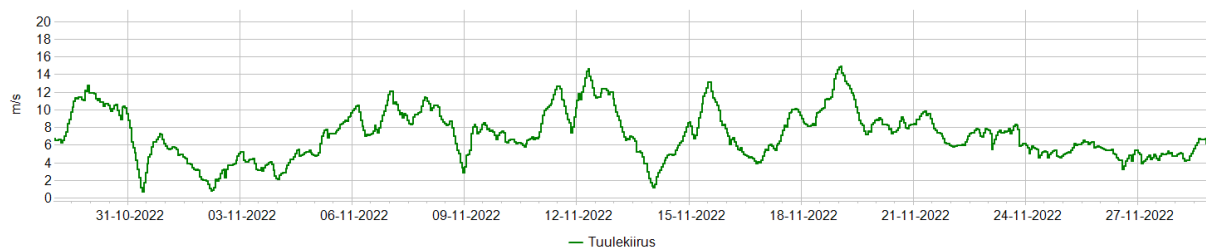
Lisa 10 Septembri kuu simulatsiooni energia tootmise vood



Lisa 11 Oktoobri kuu simulatsiooni energia tootmise vood



Lisa 12 Novemberi kuu simulatsiooni energia tootmise vood



Lisa 13 Detsembri kuu simulatsiooni energia tootmise vood

