

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**ELEKTRIAUTO LAADIMISE MODELLEERIMINE
ENERGYPRO TARKVARAGA**

**MODELLING ELECTRIC VEHICLE CHARGING IN
ENERGYPRO SOFTWARE**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Kaspar Roosileht

Üliõpilaskood: 179454

Juhendaja: Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2021

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.

"....." 202.....

Autor:

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Kaspar Roosileht

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Elektriauto laadimise modelleerimine energyPRO tarkvaraga,

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.

18.05.2021

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

<i>Autor:</i> Kaspar Roosileht	<i>Lõputöö liik:</i> Bakalaureusetöö
<i>Töö pealkiri:</i> Elektriauto laadimise modelleerimine energyPRO tarkvaraga	
<i>Kuupäev:</i> 18.05.2021	57 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Lõputöö raames uuriti eramaja elektritarbimist ja päikesepaneelidega elektrienergia tootmist. Taastuvatest energiaallikatest elektrienergia tootmine on juhtimatu- seega planeeriti juurde koos päikesepaneelidega töötama salvestuslahendus. Eesmärgiks oli koostada õppeaine Haja- ja taastuvenergeetika tarbeks energyPRO salvestuslahenduse harjutusülesanne, mis sisaldab päikesepaneelide elektritoodangu ja elektriauto laadimise modelleerimist, elektriauto näitel salvestuslahenduse uurimist, täiendava akulahenduse vajaduse hindamist ja tasuvusanalüüsi koostamist konkreetse eramu näitel.</p> <p>Tulemustest selgus, et päikesepaneelide elektritoodang ja elektriauto laadimine ei kattu argipäeviti tulenevalt auto sõidugraafikust. Nädalavahetusel laetakse elektriautot päeval peamiselt päikeseenergiast. Talvel kasutatakse enamasti võrgust ostetud elektrienergiat. Elektriauto kasutamine salvestina eramaja elektrisüsteemis suurendab tunduvalt elektrivõrku müüdud elektrienergia kogust. Täiendav akulahendus koos elektriauto salvestina kasutamisega muudab süsteemi paindlikumaks, sest elektrit saab võrku müüa kõrgema elektrituruhinnaga ja suuremas koguses. Lisa salvestuslahenduse ja elektriauto aku koostöös tarbitakse rohkem ära ka koha peal toodetud elektrienergiat.</p> <p>Tasuvusanalüüs koostati 25 aastase perioodi tulude ja kulude hindamiseks. Uuriti kulutõhusaimat eramajja sobivat salvestuslahendust elektriautoga ja koos täiendava salvestuslahendusega ning elektriautoga ilma lisa salvestuslahendusega. Majanduslikult kasumlik ei olnud kumbki lahendus. Lisa salvestuslahendusega süsteem oli tunduvalt kallim ja tootis kokkuvõttes suurema kahjumi.</p>	
<i>Märksõnad:</i> elektriauto laadimine, energyPRO, taastuvenergeetika, päikesepaneelid, aku, salvesti, bakalaureusetöö	

ABSTRACT

<i>Author:</i> Kaspar Roosileht	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Modelling electric vehicle charging in energyPRO software	
<i>Date:</i> 18.05.2021	57 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Senior Lecturer Reeli Kuhi-Thalfeldt	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>Private house electricity consumption and possibility to cover the demand with renewable electricity generation was studied in this thesis. Renewable electricity production is fluctuating and dependent on weather conditions, for that reason storage was planned to work with solar panels. Main purpose was to compose energyPRO exercise for Distributed and renewable energy systems subject, which includes time differences study of solar panels electricity production and electric vehicle charging, study of electric vehicle usability as a storage, assessment of extra battery needs and cost-benefit analysis for a private house.</p> <p>On workdays electricity production of solar panels and electric vehicle charging will not take place at the same time due to electric vehicle driving schedule. During weekends charging electric car with solar energy during daytime is possible. Use of electric vehicle as a storage with solar panels increases sold electricity quantities to the grid. Additional extra battery makes system more flexible, because electricity can be sold at higher electricity price periods in larger quantities. In case of having an additional battery to car battery allows, that more produced electricity is used locally.</p> <p>25-year period cost-benefit analysis was developed to evaluate expenses and earnings. Private household costs were assessed with extra battery storage, an electric vehicle and electric vehicle without extra battery. Economically both projects were unprofitable. A model with extra battery was more expensive and caused greater loss.</p>	
<i>Keywords:</i> electric vehicle charging, renewable energy, solar panels, battery, storage, bachelor thesis	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Elektriauto laadimise modelleerimine energyPRO tarkvaraga
Lõputöö teema inglise keeles:	Modelling electric vehicle charging in energyPRO software
Üliõpilane:	Kaspar Roosileht, 179454
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Reeli Kuhi-Thalfeldt
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	01.07.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Katusele paigaldatud päikesepaneelidest ja elektriautodest on saamas eramajade tavapärane osa. Liigutakse selles suunas, et neid tehnoloogiaid on kodudes aina enam. Päikeseelektrijaamade puhul on tegemist juhitamatu elektritootjaga, kelle toodang sõltub päikesekiirgusest ja teistest ilmastikutingimustest ning millede peamine toodang on suveperioodil, kui elektri tarbimine talvisest oluliselt madalam. Aina kasvav päikeseelektri toodang muudab aina keerukamaks igal ajahetkel tasakaalu hoidmise tarbimise ja tootmise vahel. Üheks võimaluseks tasakaalu hoidmiseks on paindlikkusteenuste pakkumine läbi erinevate salvestuslahenduste, mida saaks osutada ka elektriautode omanikud.

Kuna elektriauto laadimiseks kuluv elektrienergia moodustab suure osa pere elektritarbimisest, siis on oluline analüüsida, mis ajal elektriautot laadida ning kuivõrd palju selleks on võimalik kasutada paneelide poolt toodetud elektrienergiat ja mil määral on võimalik laadimine soodsama elektri hinnaga ajal.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on koostada õppeaine Haja- ja taastuvenergeetika tarbeks salvestuslahenduste harjutusülesanne ning anda selle teostamiseks vajalik teoreetiline taust. Seejärel teha harjutus läbi ühe konkreetse eramu näitel ning leida kõige efektiivsem lahendus elektriauto ja päikesepaneelide koostöök, uurida elektriauto kasutamist salvestina.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Mil moel on energyPRO sobilik elektriautode laadimise modelleerimiseks?

Kuidas sobitada kõige paremini päikesepaneelide elektrienergia tootmine ja elektriauto laadimine?

Milline on soodsaim viis elektriauto laadimiseks?

Mil määral on võimalik elektriauto akuga pakkuda paindlikkusteenust?

4. Lähteandmed

EnergyPRO mudeli sisenditeks on eramaja tarbimisandmed, päikesekiirguse ja välistemperatuuri mõõteandmed, elektrituru hinnad, seadmete parameetrid.

5. Uurimismeetodid

Peamiseks eesmärgiks on modelleerimine energyPRO tarkvaraga. Püstitatud ülesande lahendamisel kasutatakse kirjanduse analüüsi, katsetamist ja modelleerimist. Andmete analüüsiks kasutatakse energyPRO tarkvara ja Excelit.

6. Graafiline osa

Peamine graafiline osa tehakse Excelis ja energyPRO tarkvara abil. Graafiline osa läheb töö põhiosasse.

Tähtsamad joonised:

Elektrienergia tunnipõhine tarbimine

Päikesepaneelide elektrienergia tunnipõhine toodang

Elektrienergia tunnipõhine börsihind

Elektriauto elektrienergia tarbimine

Võrdlev graafik elektriauto ja päikesepaneelide koostöö kohta

7. Töö struktuur

Lõputöö ülesanne

Eessõna

Sissejuhatus

Põhiosa

- Modelleerimistarkvara energyPRO
- Eramaja tarbimise ja päikesepaneelide elektrienergia toodangu modelleerimine
- Elektriauto laadimisprofiili modelleerimine
- Võrdlev analüüs
- Tulemused ja tasuvus erinevate katsetuste näitel

Kokkuvõte

Kasutatud kirjandus

Lisa

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Kasutatakse teadusartikleid, erinevaid uuringuid, aruandeid, eelnevalt koostatud lõputöid ja energyPRO kasutusjuhendit.

Kasutatav kirjandus:

<https://www.envir.ee/et/EL-eesmargid>

<https://pod-point.com/guides/driver/charging-electric-car-at-home>

<https://www.chargepoint.com/resources/how-choose-home-ev-charger/>

9. Lõputöö konsultandid

Vajadusel konsultantide nimed ja töö osad, mille juures abi saadakse.

10. Töö etapid ja ajakava

Tegevus	Algus	Lõpp
EnergyPRO mudeli tööpõhimõtte uurimine elektriauto laadimise modelleerimiseks	14.10.2020	14.12.2020
Lähteandmete kogumine	25.10.2020	11.01.2021
Teoreetilise osa kirjutamine	11.01.2021	01.02.2021
Arvutuste/modelleerimise teostamine	25.01.2021	15.02.2021
Uuringu tulemuste kirjeldamine	15.02.2021	08.03.2021
Järelduste kirjutamine	08.03.2021	12.03.2021
Kokkuvõtte koostamine	12.03.2021	18.03.2021
Töö esimene versioon valmis		25.03.2021
Juhendajale läbilugemiseks saatmine		21.03.2021
Paranduste sisseviimine	28.03.2021	30.04.2021
Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine		30.04.2021
Töö lõplik versioon valmis		09.05.2021

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	11
SISSEJUHATUS	12
1. LAHENDUST VAJAVAD VÄLJAKUTSED	14
1.1 Töö eesmärk	15
2. OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS	17
2.1 Eramu paiknemine ilmakaarte suhtes	17
2.2 Elektritarbimise ülevaade.....	18
2.2.1 Elektriauto tarbimise modelleerimine	19
2.3 Elektriauto tutvustus	20
2.4 Hinnang ressurssidele	21
2.4.1 Päikesekiirgus	22
2.4.2 Välistemperatuur.....	23
2.5 Sõitmise kulu arvestus	24
2.6 Elektriauto aku	24
2.7 Kasutatud tootmis- ja salvestuslahendused.....	25
3. ENERGYPRO TARKVARA TUTVUSTUS	27
3.1 Mudeli sisendandmed	28
4. ENERGYPRO MUDELI TULEMUSED	31
4.1 Lisa akulahenduse vajaduse hindamine	32
4.2 Päikesepaneelide toodangu sobitumine elektriauto laadimisega	37
4.3 Elektriautoga paindlikkusteenuse pakkumine.....	38
5. TASUVUSANALÜÜS	40
5.1 Tasuvuse hindamine koos akulahendusega	41
5.2 Tasuvuse hindamine ilma akulahendusega.....	42
KOKKUVÕTE	44
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	46
LISAD	48
Lisa 1 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed koos akulahendusega	49
Lisa 2 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed koos akulahendusega.....	50
Lisa 3 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed ilma akulahendusega.....	51
Lisa 4 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed ilma akulahendusega	52
Lisa 5 Tasuvusanalüüs koos lisa akulahendusega	53
Lisa 6 Tasuvusanalüüs ilma lisa akulahendusega.....	54
Lisa 7 Haja- ja taastuvenergeetika salvestuslahenduse harjutusülesanne	55

EESSÕNA

Antud teema valik on seotud minu huvi ja tööga elektriautodega seotud valdkonnas, mille raames olen lähedalt kokku puutunud mitme erineva mudeli detailsemate omaduste ja elektriskeemidega. Teema on aktuaalne kogu maailmas, kus aina enam üritatakse liikuda süsinikneutraalsuse poole. Kasutusele võetakse aina enam elektriautosid ja taastuvaid energialahendusi elektri tootmiseks. Need kaks kasvutrendis suunda tuleb ühendada ja leida igale väiketarbijale sobilik lahendus tarbimise katmiseks ja elektriauto laadimise katmiseks ise toodetud elektrienergiast. Mõttele andis kindlust juurde Haja- ja taastuvenergeetika aine raames selgeks õpitud modelleerimistarkvara energyPRO, kus sai uuritud seoseid tarbimisharjumuste ja taastuvenergeetika tootmisüksuste vahel.

Otsustasin detailselt uurida eramaja tarbimist, mille katmiseks uurisin sobivate võimsustega tootmislahendusi. Erinevaid lahendusi modelleerides tegin selgeks, mis tootmislahendused sobivad konkreetse eramaja projekti kõige paremini ja koostasin tasuvusanalüüsi sobivate võimsustega toodete hinnapakumiste alusel.

Soovin tänada oma juhendajat Reeli Kuhi-Thalfeldti positiivse ja sisuka koostöö eest. Lisaks tänan vanemlektorit panustatud aja ja jagatud teadmiste eest.

SISSEJUHATUS

Suured majandused seavad ambitsioonikaid kliimaeesmärke ja panustavad märkimisväärseid ressursse rohepöörde kiirendamiseks. Kliimaneutraalsuse poole pürgides jagatakse elektriauto ostutoetusi, elektrifitseeritakse rasketehnikat ja toetatakse taastuvate energiatootjate kasutuselevõttu. [1] Puhtama keskkonna poole liigutakse riikide ja suurfirmade juhtimisel. Näiteks Tesla ja Apple panustavad tohutuid summasid, et tootmishoonete elektritarbimine üle viia täielikult taastuvatele energiatootjatele ja hoida keskkond puhtamana. [2] [3] Rohepöörde käekäiku kiirendaks iga inimese panustamine. Kaasa saaks aidata taastuvate energiaallikatest energia tootmisega ja elektriautoga sõitmisega.

Elektri tootmine taastuvatest energiaallikatest on saamas aina populaarsemaks. Järjest rohkem kasutatakse taastuenergia tootmislahendusi nii kodudes kui ka erinevates ettevõtetes. Inimesed sõltuvad vähem üleriigilisest elektrivõrgust- tootes ise elektrit väiksemate üksuste tarbeks taastuvatest energiaallikatest. Peamiselt toodetakse väiketarbija puhul elektrienergiat eramaja või ärihoone katusel päikesepaneelidega. Mõningatel juhtudel paigaldatakse ärimaale või koduhoovidesse ka väiketuuliku. Päikesepaneelide ja elektrituulikutega elektri tootmine on juhtimatu. Taastuenergia toodang sõltub palju ilmast ja võib kõikuda aasta lõikes ulatuslikult. Näiteks sügisel vihmase ilmaga päikesepaneelide elektritoodang on minimaalne. Stabiilse toodangu tagamiseks kasutatakse erinevaid salvestuslahendusi. Üheks võimalikuks salvestuslahenduseks on elektriauto, mida saab kasutada väljasõitudeks ja kodus laadijas olles salvestina tagamaks eramule elektrienergia.

Lõputöö raames koostatakse elektritarbimise ja potentsiaalse toodangu uuring ning tasuvusanalüüs Tartus Ülenurme vallas asuvale eramule kasutades energyPRO tarkvara. EnergyPRO on mõeldud elektri- ja soojuslahenduste modelleerimiseks ja analüüsimiseks. Uuringu raames modelleeritakse energyPRO tarkvaraga taastuenergeetika tootmislahendused, eramaja tarbimine ja elektriauto laadimisest tulenev täiendav elektrienergia tarbimine. Projekt on koostatud detailse ülevaate andmiseks väiketootjale panustamiseks lihtsa ja küllaltki soodsa lahendusega transpordi- ja energiatootmis valdkonna saastmete vähendamiseks. Eesmärk on selgitada välja energyPRO modelleerimistarkvara sobilikkus elektriautode laadimise modelleerimiseks. Uuritakse välja tarkvara eelised ja puudused. Lisaks tehakse selgeks, millal elektriautot laadida ja hinnatakse salvestuslahenduse mõistlikkust nii elektriautodega kui ka elektriauto ja täiendava akulahendusega. Uuritakse elektriauto laadimise katmist taastuvatest energiatootjatest ja salvestuslahendusest. Lisaks tehakse selgeks, kuidas

sobitub konkreetse eramaja tarbimisse elektriauto laadimine ja mil määral on võimalik elektriautoga pakkuda paindlikkusteenust. Viimasena koostatakse õppeaine Haja- ja taastuveneergetika tarbeks salvestuslahenduste harjutusülesanne ning antakse teoreetiline taust selle edukaks lahendamiseks. Harjutusülesandes uuritakse elektriauto salvestuslahenduse võimekust, lisa salvestuslahenduse vajadust ja koostatakse tasuvusanalüüs konkreetsele eramajale vastavalt selle elektritarbimisele.

1. LAHENDUST VAJAVAD VÄLJAKUTSED

Elektritarbimine on ajalooliselt liikunud aina kasvutrendis, sest rahvastik kasvab, tehnoloogia areneb ja seda tekib järjest juurde. [4] Seetõttu tekib juurde ka lahendust vajavaid väljakutseid. Töö raames uuritakse ja selgitakse elektriauto laadimise eripärasid ning leitakse probleemidele lahendus.

Elektriautode arv kasvab, sest aina enam ressursse panustatakse rohelisemale keskkonnale ja sinna liigutatakse väga suuri rahasid. USA president Joe Biden on koostanud 2,25 triljoni suuruse stiimulpaketi keskkonna säästmiseks 2030. aastaks. Stiimulpakett sisaldab elektriautode toetust, laadimistaristute arendamist, suuremate masinate elektrifitseerimist, näiteks koolibussid, elektrivõrgu tugevdamist ja taastuvenergeetika lahenduste suuremat kasutuselevõttu. [1] Elektriautode arvukuse kasvu toetavad riigid üle maailma. Ulatuslik elektriautode kasutuselevõtt võib muuta Eesti elektri koormuskestuskõverat, mis näitab päeval tunduvalt suuremat tarbimist kui öösel. [5] Seoses suurenenud tarbimisega tuleb uurida, millal laadida võimalikult efektiivselt elektriautosid. Näiteks Eesti koormuskestuskõvera ühtlustamiseks ööpäeva jooksul tasuks elektriautosid laadida öösiti ja kasutada neid salvestitena, et saada väiksemaks koormustippude jaoks vajalik elektritoodang päevasel ajal. Öösel on enamasti inimesed kodus ja mugav laadimiskoht öösel soodsama elektrihinnaga laadimiseks võiks olla kodulaadija.

Antud projektis uuritakse elektriauto laadimisprofiili sobivust eramaja tarbimise ja elektriauto akuga paindlikkusteenuse võimaldamist. Aina kasvav elektriautode kasutuselevõtt vajab mitmekülgseid laadimisvõimalusi ja suurendab elektritarbimist. Uuringut toetavad Euroopa Liidu pikaajalised kliimaeesmärgid. Euroopa liidu eesmärgiks on vähese CO₂-heittega majandus aastaks 2050. Sellesse peavad panustama kõik liikmesriigid ja numbriline eesmärk on vähendada süsinikuheitmeid 80-95% võrreldes 1990. aastaga. Süsinikheitmete vähendamiseks nii suurel määral peavad sellesse panustama kõik majandussektorid: energia, transport, hoonestus, tööstus, põllumajandus. [6] Elektriauto laadimisprofiili sobitamine eramaja tarbimise ning taastuvate energiaallikate projekteerimine aitavad vähendada energia- ja transpordi sektori CO₂ heitmeid.

Kõige kuluefektiivsem ja mugavam on laadida elektriautot kodulaadijas. Avalikes kohtades kasutatavad kiirlaadijad on kallimad võrreldes kodus laadimisega, neid on veel vähe ja tekib tüütu ajakulu laadimise ajaks. Näiteks 50 kW kiirlaadijaga laadimiseks 10-80% kulub 69 minutit. [7] [8]Kodus elektriautot laadides tuleb paigaldada kodulaadija,

mis on piisavalt võimas valitud elektriauto laadimiseks mõistliku ajaga. Näiteks võimsusega 11 kW laadija laeks keskmise tänapäevase elektriauto (aku maht 77 kWh) 0-100% 8 tunniga. [8] Laadijat valides on oluline arvestada eramaja tarbimist ja peakaitsme suurust. Lõputöö raames leitakse parim viis tarbimise osaliseks katmiseks taastuvatest energiaallikatest ja tehakse eramaja projekti tasuvusanalüüs kasutades energyPRO tarkvara. Lisaks uuritakse elektriauto salvestusvõimekust Tartumaa eramu näitel.

Tuleb leida parim lahendus elektriauto laadimise katmiseks. Öösel on elektritarbimine madalam kui päeval- seega on öösel elektri hind odavam. Käesolevas töös analüüsitakse ühe eramaja näitel, kas oleks mõistlik laadida elektriautot võrgust tarbitavast elektrienergiast ning uuritakse tunnipõhiselt, millal oleks laadimine kõige mõistlikum. Analüüsitakse elektriauto laadimise katmist taastuvatest energiaallikatest nagu päike ning taastuvate energiaallikate kombineerimist võrgust ostetava elektrienergiaga. Taastuvad energiatootjad on juhtimatud, seetõttu lisatakse võrku salvestuslahendus paindlikkuse tagamiseks.

1.1 Töö eesmärk

Töö eesmärk on koostada õppeaine Haja- ja taastuveneergeetika tarbeks salvestuslahenduste harjutusülesanne, kus kasutatakse võimalikult palju taastuvate energiaallikate elektritoodangut. Visualiseeritakse energyPRO tarkvaraga modelleerides täielik ülevaade salvestuslahenduse kasust nii rahaliselt kui ka elektriliselt. Elektrilise kasu all võrreldakse koha peal toodetud ja tarbitud elektrienergia muutumist kasutades salvestuslahendust ja ilma salvestita. Näiteks põlevkivist toodetud elekter suurendab CO₂ heitmeid õhus, aga päikeseenergia on looduslik ning ei saasta keskkonda. Harjutusülesande teostamiseks antakse vajalik teoreetiline taust ja tehakse ülesanne läbi konkreetse eramaja näitel ning leitakse kõige efektiivsem lahendus elektriauto, aku ja päikesepaneelide koostööks. Kui elektriautot laadida öösel ja päeval kasutada seda sõitudeks ja salvestina, siis saab koormustippude koormused väiksemaks salvestina töötamise ajal. Koormusgraafiku ühtlustamine aitaks tootmise hoida ühtlasemana ja saaste, kulud madalamal. Leitakse kõige kiiremini ära tasuv lahendus antud eramaja tarbimist ja parameetreid arvestades.

Elektriautode arvukus on kasvutrendis ja seda kiirendavad ambitsioonikad süsinikheitmete vähendamise plaanid kogu maailmas. Elektriautot on kõige mugavam

ja odavam laadida kodus. Kodus laadides ei teki ebamugavat lisa ajakulu laadimisele. Elektriauto öö jooksul täis laadimiseks kasutatakse kodulaadijat, mille võimsus tuleb valida lähtudes eramaja tarbimisest ja peakaitsmest. EnergyPRO tarkvaraga modelleerides leitakse parim lahendus elektriauto laadimiseks ja kasutamiseks salvestina. Hinnatakse elektriauto laadimist öösel elektrivõrgust elektrienergiat ostes, päikesepaneelide elektritoodangust laadides ja mõlema kombinatsiooni. Töö eesmärk on koostada õppeaine Haja- ja taastuvenergeetika tarbeks salvestuslahenduste harjutusülesanne, kus kasutatakse võimalikult palju taastuvate energiaallikate elektritoodangut. EnergyPRO tarkvaraga modelleerides tehakse täielik ülevaade salvestuslahenduse headest omadustest ja kitsaskohtadest. Lisaks leitakse parim viis elektriauto, akulahenduse, päikesepaneelide koostööks ja koostatakse tasuvusanalüüs.

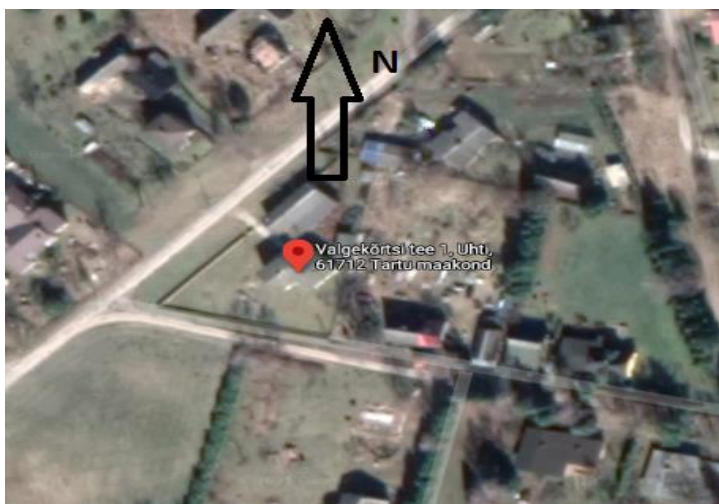
2. OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS

Olemasoleva olukorra kirjeldus annab ülevaate eramaja lähteandmetest ja planeeritavatest tehnoloogiast. Peatükis kajastatakse detaile paigaldamisest, kirjeldatakse tarbimisharjumusi, kasutatud tehnoloogiat ja uuritakse ilmastikutingimusi.

Eramaja asub Tartumaal Ülenurme vallas aadressil Valgekõrtsi tee 1. Hoonekompleks on ehitatud aastal 1967 ja soojustatud 2010. aastal. Eramu on kahekorruseline, suurus on 230 m² ja kõrvalhoone suurus on 104 m². Katuse pindala eramu lõunapoolsel küljel on 46 m², millest 40 m² katavad ära päikesepaneelid. Maja kütmiseks kasutatakse maakütet.

2.1 Eramu paiknemine ilmakaarte suhtes

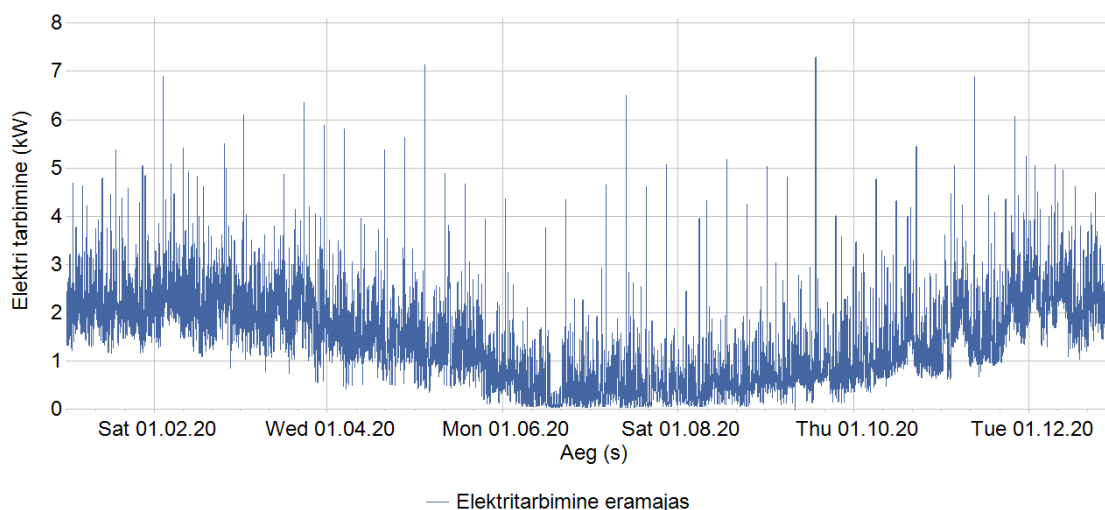
Katusepind on suunatud kagusse, kõrvalekalle lõunast 45°. Katuse kaldenurk nii elumajal kui ka abihoonel on 20°. Päikesepaneelide ideaalsed andmed maksimaalse toodangu jaoks oleksid suund lõunasse ja katuse kalle 40°. [9] Joonisel 2.1 on näha eramaja Valgekõrtsi tee 1 ja selle paiknemine põhja suuna suhtes. Must nool näitab põhja suunda.



Joonis 2.1 Eramu asukoht ilmakaarte suhtes [10]

2.2 Elekritarbimise ülevaade

Eramaja elanikeks on neljaliikmeline perekond. 2020. aastal oli aastane tarbimine 12 604 kWh. [5] Suurim tarbimine oli detsembris 1786 kWh ja kõige vähem elektrienergiat kasutati juunis 349 kWh. Joonisel 2.2 on välja toodud eramaja 2020. aasta tarbimise tunniandmed. Talveperioodil on elekritarbimine suurem ja suveperioodil tehakse elekritarbimise madalpunkt.



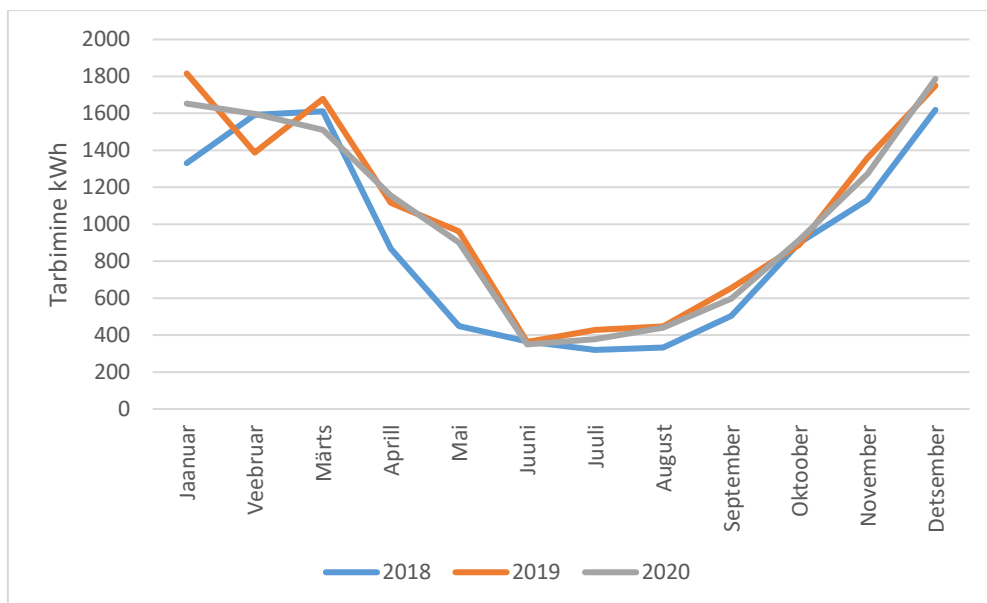
Joonis 2.2 2020. aasta elekritarbimise aastane graafik ilma elektriauto laadimiseta

Aastate lõikes on elekritarbimine küllaltki ühtlane. Tabelis 2.1 on välja toodud eramaja tarbimine kolmel viimasel aastal. 2018. aastal on tarbimine keskmiselt 13% väiksem kui 2019. ja 2020. aastal. Kahel viimasel aastal on elekritarbimine küllaltki ühtlane. Elekritarbimine võib erineda aastast aastasse temperatuuri ja erinevate remonttööde pärast.

Tabel 2.1 2020. aasta eramaja elekritarbimine [5]

Aasta	2018	2019	2020
Tarbimine (kWh)	11 019	12 847	12 604

Joonisel 2.3 on välja toodud viimase kolme aasta tarbimise kuu andmed aadressil Valgekõrtsi tee 1, Ülenurme, Tartumaa. Tarbimisandmetest on näha, et suvekuudel on tarbimine kolm korda väiksem kui talvekuudel. Augustis hakkab tarbimiskõver ülesse poole liikuma ja talvekuudel saavutatakse tarbimismaksimum, mis küündib üle 1500 kWh ühes kuus. Mätsis hakkab tarbimine vähenema ja saavutab madalpunkti suvekuudel, kus on elekritarbimine alla 400 kWh ühes kuus.



Joonis 2.3 Elekritarbimine kolmel viimasel aastal kuude kaupa

2.2.1 Elektriauto tarbimise modelleerimine

Elektriauto kasutamisega ainult sõitudeks tõuseb elekritarbimine 2020. aasta tarbimisega võrreldes 67%. Elektriauto kasutamisel sõitudeks ja salvestina tõuseb elekritarbimine võrreldes 2020. aasta andmetega 2,27 korda. Elektriauto akut kulub nii sõitmiseks kui ka igapäevase tarbimise katmiseks aegadel, kui auto on kodus. Auto on sõidus esmaspäevast reedeni kell 9:00-17:00, kui käiakse tööl. Lisaks on modelleeritud sõidud elektriautoga tunnipõhiselt, kui käiakse trennis, poes ja nädalavahetuse ti keskmiselt 4 h päevas vaba aja väljasõitudele. Ülejäänud aja on auto ühendatud laadijaga võimaldades vastavalt vajadusele ja aku tasemele elektriautot laadida või akut kasutada salvestina.

Elektriauto tarbib 2020. aasta jooksul 16 000 kWh elektrienergiat, millest 5417 kWh kulub sõitudele ja 10 583 kWh salvestina töötamisele. Arvestatud on lahendust ilma lisa akulahendusega. Pannes süsteemi juurde lisa akulahenduse, siis on tühjaks laadimine 1500 kWh võrra väiksem. Võrgus olles läheb elektriautol laadimiseks ja salvestina töötamiseks aasta jooksul kadudeks 444 kWh.

2.3 Elektriauto tutvustus

Sõitudeks valiti 2021 aasta Kia EV6 elektrimootoriga auto, mille aku mahtuvus on 77 kWh. [11] Kia EV6, mis on joonisel 2.4 võimaldab sõidukit kasutada salvestina tarbimise katmiseks. [8] Eesti oludes sõites nii linnas kui ka maanteel kasutades kliimaseadet suvel ja soojendust talvel on reaalne läbisõit 340 km. Elektriauto valiti sobiva hinnaklassi ja aku mahtuvuse järgi. Tähtsaks peeti üle Eesti sõita elektriautoga ilma laadimiseta ühest otsast teise. Lisaks on antud autol kõrgem kliirens võrreldes sõiduautoga, mis tuleb kasuks linnast väljas elades. [12]



Joonis 2.4 Kia EV6 elektriauto [11]

Antud autot on võimalik laadida erinevate võimsustega aeglase laadijatega kuni 22 kW näiteks kodus ja kiirlaadijatega avalikes laadimispunktides. Laadimiskaabli otsik on type 2 tüüpi, mis on näha joonisel 2.5. Euroopas enimlevinud. [11] Elektri lõpphind konkreetses eramajas koos aktsiisi ja võrgutasudega öösiti on keskmiselt 0,11 €/kWh. [13] Kodulaadijas võimsusega 7,4 kW öösel ja hilisõhtul laadides elektriauto 0% kuni 100% maksab 9,56 €.



Joonis 2.5 Type 2 laadimisotsik kuni 22 kW laadimiseks [11]

Kiirlaadimise aeg on arvestatud 10% kuni 80% aku mahtuvuse laadimiseks, sest antud vahemik on aku pikaajaliseks kestmiseks kõige sobivam. Kia EV6 maksimaalne laadimisvõimsus type 2 kiirlaadimis otsik, mis on näha joonisel 2.6, on lubatud 232 kW. 150 kW CCS kiirlaadijas piiratakse antud autole laadimisvõimsus 125 kW peale. 150 kW CCS laadija täisvõimsus ei ole lubatud konkreetsele autole. Tallinnas Laagris on Enefit

Volt kiirlaadijad, kus 161 kW kiirlaadija maksab 0,35 €/kWh ja 50 kW kiirlaadija maksab 0,24 €/kWh. [14] Antud auto laadimine 10% kuni 80% 161 kW laadijas maksab 18,9 € ja 50 kW kiirlaadijas 13 €.



Joonis 2.6 Type 2 kiirlaadimis otsik kuni 232 kW laadimiseks [11]

Järgnevas tabelis (Tabel 2.2) on arvatud elektriauto laadimise hinnad.

Tabel 2.2 Elektriauto laadimise maksumus [11]

Laadija	Kodulaadijas 7,4 kW laadimine 0-100%	Enefit Volt 50 kW kiirlaadijas 10-80%	Enefit Volt 161 kW kiirlaadijas 10-80%
Hind	9,56 €	13,0 €	18,9 €
Aeg	7 h 45 minutit	1 h 4 minutit	26 minutit
Hind 100 km läbimiseks	2,69 €	3,66 €	5,32 €

Kiirlaadijas on kasutatud Enefit Volt 1 kWh hinda, mis 150 kW laadija puhul on 0,35 €/kWh ja 50 kW kiirlaadijal 0,24 €/kWh. [14] Kiirlaadijaga maksumus on arvestatud 10-80% aku laadimiseks. Kodulaadijas võimsusega 7,4 kW on arvestatud elektri hinda 0,11 €/kWh. [13]. 100 km hind on arvestatud Kia EV6 sõiduulatuse 355 km järgi, mis on arvestatud külma ilmaga sõites nii linnas kui ka maanteel kasutades soojust.

2.4 Hinnang ressurssidele

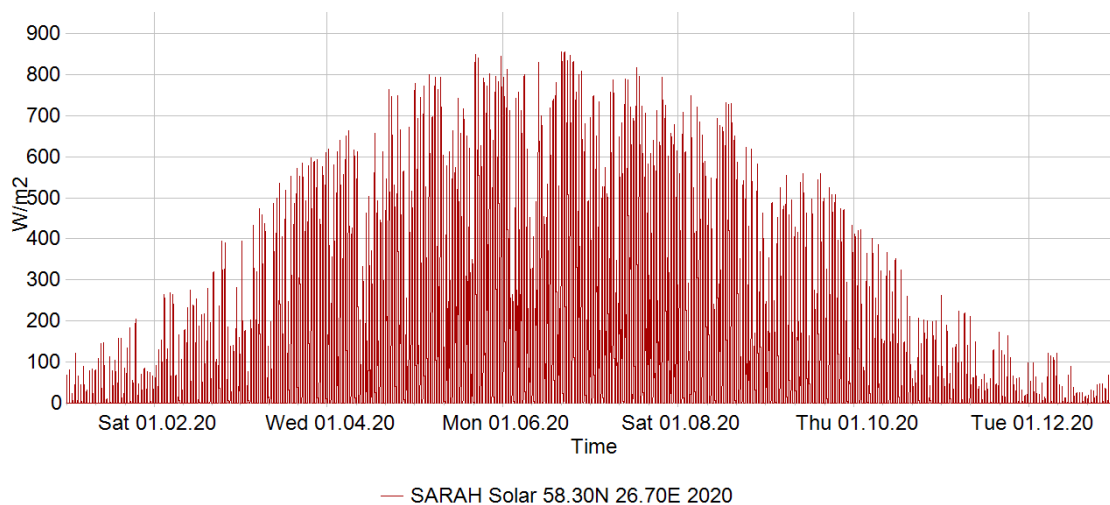
EnergyPRO modelleerimiseks kasutatakse 2020. aasta ressursside andmeid, mis on mõõdetud Tartumaalt, võimalikult lähedalt eramajale saadaval olevatest mõõtejaamadest. Lisaks kasutatakse elektri tootmiseseadmete parameetreid.

Modelleerimise mudelite sisendandmeteks kasutatakse järgmisi andmeid:

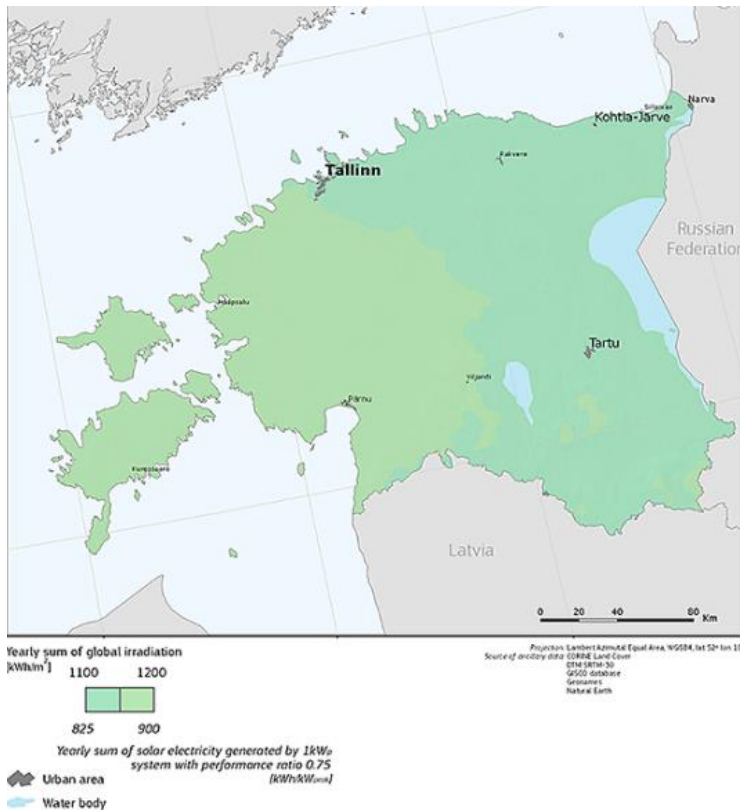
- Ülenurme, Tartumaa mõõtejaama päikesekiirguse andmeid
- Annelinn, Tartu temperatuurandmed tundide lõikes
- Uhti, Tartumaa eramaja tarbimise tundide lõikes [5]
- Tootmiseseadmete tehnilised parameetrid

2.4.1 Päikesekiirus

Päikesekiirguse 2020. aasta andmed on pärit Tartumaalt Ülenurme mõõtejaamast. EnergyPRO tarkvara abil saab ligi antud mõõtejaama tunniandmete ja sealt on eksporditud 2020. aastat kirjeldav päikesekiirguse joonis 2.7. Päikesekiirus hakkab jaanuarist alates kasvama ja saavutab maksimumväärtuse suvekuudel, kus päikesekiirus on päeval 750-800 W/m². [15] Eesti mõistes on tegu keskmise asukohaga päikesepaneelide jaoks. Rannikul ja Lääne-Eestis on keskmiselt rohkem päikesekiirgust nagu on näha joonisel 2.8.



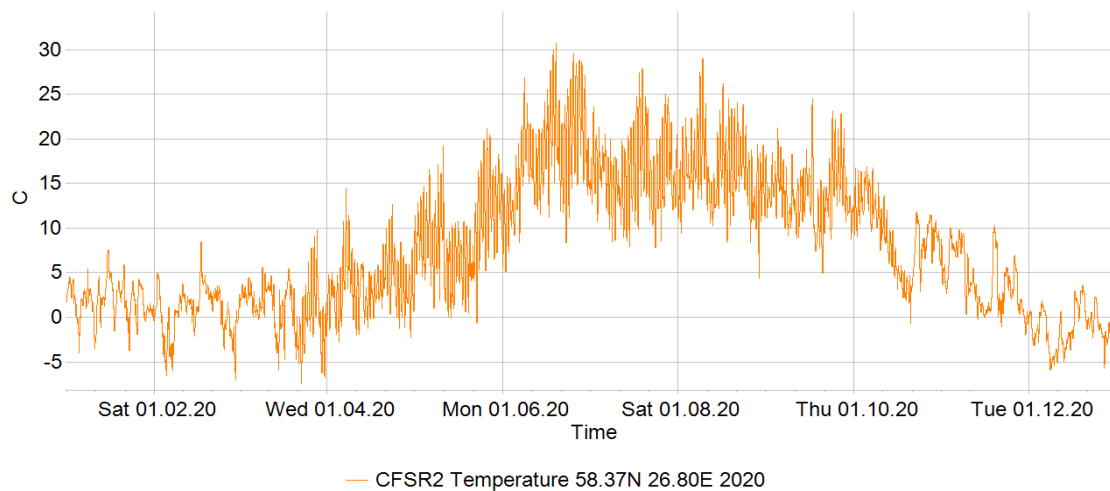
Joonis 2.7 2020. aasta Tartumaa Ülenurme päikesekiirguse tunniandmed



Joonis 2.8 Eesti keskmine päikesekiirus piirkonniti [15]

2.4.2 Välistemperatuur

Välistemperatuuri 2020. aasta tunniandmed joonis 2.9 on saadud Tartu Annelinna mõõtejaamast, mis on lähim mõõtejaam Ülenurme eramule. Eramu asub sisemaal, temperatuur on rannikualadega võrreldes suvel kõrgem ja talvel madalam. Suvekuudel on temperatuur enamasti 15-25° C ja talvekuudel 5-(-5)° C.



Joonis 2.9 2020. aasta Tartu Annelinna temperatuuri tunniandmed

2.5 Sõitmise kulu arvestus

Pere sõitmisvajadusi on arvestatud tunnipõhiselt lähtudes vajadustest ja soovidest. Tööpäevadel sõidetakse kl 9:00 marsruudil kodu-töö ja lõuna ajal kl 12:00 ning koju tagasi kl 17:00 kokku 30 km ja lisaks ühe nädala jooksul trenni, poodi, lasteaeda kindlatel kellaaegadel 120 km. Veel arvestatakse kaks korda kuus suuremateks väljasõitudeks nädalavahetusel 600 km. Elektriauto tarbib keskmiselt 270 Wh ühe kilomeetri kohta. Elektriauto ei ole saadaval koduvõrgus tööpäeviti 9:00-17:00, kus auto on sõidus või seisab töö juures ning ülejäänud modelleeritud sõitude ajal.

Ühes kuus sõidetakse elektriautoga: $(5 \cdot 30 + 120) \cdot 4 + 600 = 1680$ km

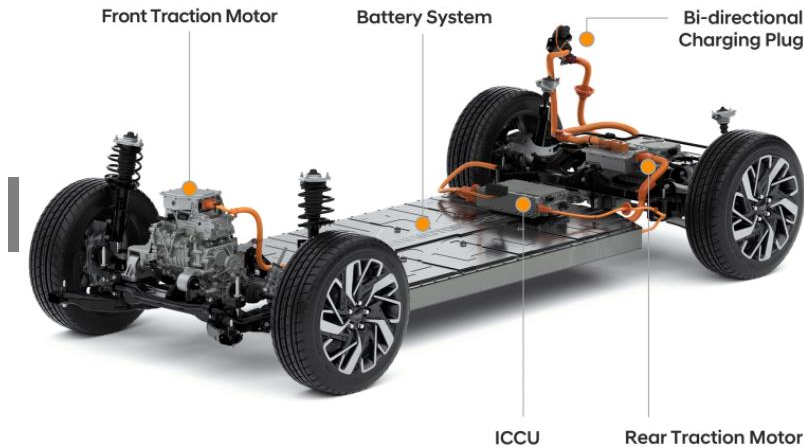
Tööpäevade arv 5 korrutatakse 30 km, mis on vahemaa tööle-koju-tööle. Juurde lisatakse 120 km, mis on ühe nädala jooksul sõidetud kilomeetrid trenni, poodi, lasteaeda. Nii saadakse ühe nädala sõidetud kilomeetrid. Saadud tulemus korrutatakse neljaga, sest ühes kuus on neli nädalat ja liidetakse ühe kuu jooksul tehtavad suuremad väljasõidud 600 km.

Elektriauto aku kulu ühes kuus: $238 \text{ Wh/km} - 1680 \text{ km} \times 0,238 \text{ kWh} = 399,8 \text{ kWh}$

Ühe kilomeetri kulu elektriautoga Kia EV6 sõites on 238 Wh. Ühe kuu jooksul sõidetakse kokku 1680 km. Ühe kuu jooksul kulub elektriauto sõitmisele 399,8 kWh. Lisaks tuleb arvestada elektriauto laadimisel tekkivate kadudega, mis moodustavad kuni 10%.

2.6 Elektriauto aku

Elektriauto kõige kallim komponent on aku ja seda juhib aku juhtimise kontrolleri. Aku juhtimise kontrolleri jälgib ning juhib energiavoogu akust sisse ja välja. Aku laetuse tase näitab juhile, kui kaugemale saab sõita. Aku mahtuvus ajaga väheneb vastavalt aku kasutusele ja keskkonnale. Liitium-ioon aku peab kõige kauem vastu, kui seda hoida vahemikus 20-80%. Saja protsendini laadimine ja liiga tühjaks aku laskmine vähendab pikas perspektiivis elektrolüüsi ja aku mahtuvust. Elektriautoga sõites tuleb Eesti oludes arvestada temperatuuri suure kõikumisega. Talvel külmakraadidega on sõiduulatus väiksem kui suvel. [11]



Joonis 2.10 Kia elektriauto platvorm [16]

Joonisel 2.10 on näha Kia elektriauto platvorm. Keskel kõige suurem ja kallim komponent on li-ionaku, mis on kaetud nii alt kui ülevalt kaitsmaks vigastuste eest. Aku kaitsekihi peal on laadimise juhtimissüsteem ja all aku moodulite juhtimise kontroller, aku moodulid, kõrgepinge pistik, mis ühendab kokku aku, mootori ja laadimisotsiku. Taga- ja esisilla peal asuvad mootorid ja taga parema ratta kohal kahe-suunaline laadimisotsik.

2.7 Kasutatud tootmis- ja salvestuslahendused

Projektis kasutatakse salvestina elektriautot ja geelakusid DGY12-160EV, mis on mõeldud taastuenergeetika salvestamiseks. [17]

DGY12-160EV GEL



Mahtuvus C ₂₀	191Ah
Pinge	12V
Pikkus	530mm
Laius	209mm
Kõrgus	234mm
Kaal	54,0kg

Telli aku

Joonis 2.11 Lisa akulahendusena kasutatav geelaku [17]

Geelaku andmed

Mahtuvus: 191 Ah

Pinge: 12 V

Mahtuvus: $191 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} / 1000 = 2,292 \text{ kWh}$

Mõõtmed: 530x209x234 mm

Kaal: 54 kg

Päikesepaneelid [18]

Tootja: Jinkosolar

Võimsus: 400 W

Monokristalliline päikesepaneel

Mooduli efektiivsus: 19,88%

Inverter Solaredge SE8K [19]

Väljundvõimsus: 8 kW vahelduvpinge

Sisendvõimsus: 10 800 kW alalispinge

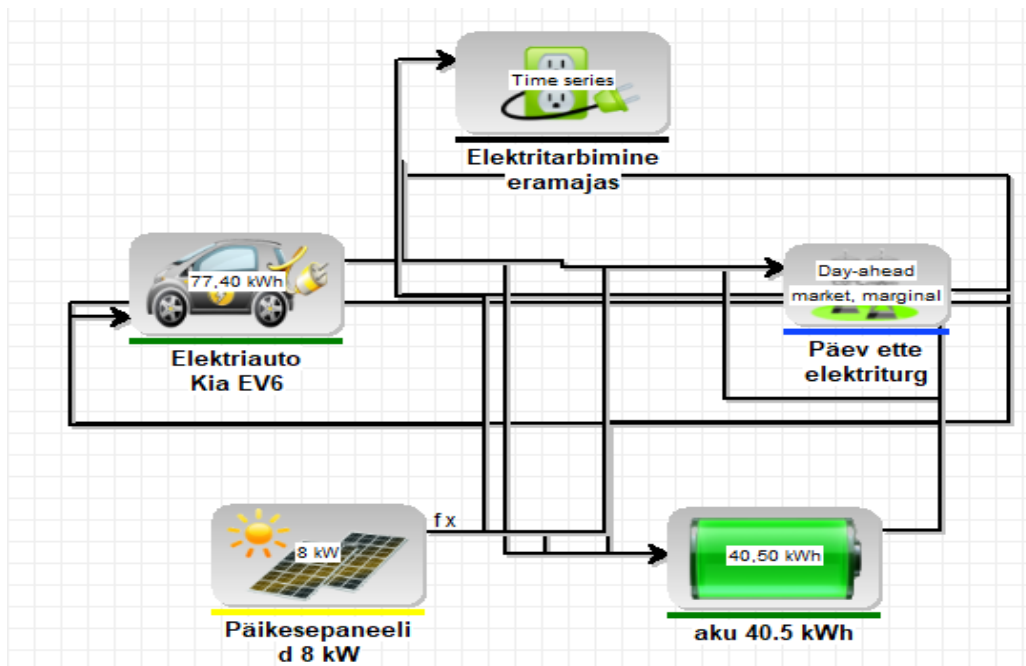
Lõputöö raames uuritakse eramaja elektritarbimist ja päikesepaneelide elektritoodangut. Katuse pind konkreetsel eramul on 46 m², mis on suunatud kagusse, kõrvalekalle lõunast on 45°. Katuse kaldenurk nii elumajal kui ka abihoonel on 20°. 2020. aastal oli aastane elektritarbimine 12 604 kWh. Elektriauto kasutamiseiga salvestina ja sõitudeks tõuseb elektritarbimine 2020. aasta elektritarbimisega võrreldes 2,27 korda. Elektriauto akut kulutatakse nii sõitmiseks kui ka igapäevase tarbimise katmiseks aegadel, kui elektriauto on kodus. Sõitudeks valiti 2021 aasta Kia EV6 elektrimootoriga auto, mille aku mahtuvus on 77 kWh. Elektriauto valiti sobiva sõiduulatus, mõlemapoolse energia liikumise võimekuse ja kõrgema kliirensi järgi. Päikesekiirguse 2020. aasta andmed on pärit Tartumaalt Ülenurme mõõtejaamast. Otseste päikesekiirguse tunniandmed on lisatud päikesepaneelide sisendparameetrik. Päikesekiirgus hakkab jaanuarist alates kasvama ja saavutab maksimumväärtuse suvekuudel, kus päikesekiirgus on päeval 750-800 W/m². Välistemperatuuri 2020. aasta tunniandmed on saadud Tartu Annelinna mõõtejaamast, mis on lähim mõõtejaam Ülenurme eramule. Pere sõitmisvajadusi on arvestatud tunnipõhiselt lähtudes vajadustest ja soovidest. Sõitude keskmine kulu on arvestatud 238 Wh/km, mis on Kia EV6 tarbimine sõites linnas ja maanteel kasutades soojendust. Elektriauto sõitude aku kulu ühes kuus on 399,8 kWh. Ühe kuu jooksul sõidetakse kokku 1680 km.

3. ENERGYPRO TARKVARA TUTVUSTUS

EnergyPRO tarkvara tutvustav peatükk kirjeldab tarkvara erinevaid funktsioone ja hindab sobilikkust elektriauto laadimise uurimiseks. Lisaks tehakse ülevaade modelleeritud alusmudelist ja kirjeldatakse vajalikke sisendandmeid, mida mudelis kasutatakse.

EnergyPRO tarkvara on mõeldud erinevate elektri-, soojuslahenduste uurimiseks ja analüüsiks. Selle abil saab koostada planeeritavaid projekte, arvutada tasuvusanalüüsi ja näha detailseid tulemusi kasvõi päeva kaupa. Programmi abil saab planeerida kõikvõimalikke taastuenergia lahendusi- näiteks elektrituulikust ja vesinikust elektrienergia tootmine, koostootmisjaama modelleerimine või hoopis üksikule saarele energialahenduse loomine, kus ei ole üldse elektrivõrku. Tarkvara võimaldab kombineerida erinevaid elektri- ja soojuslahendusi, arvutab sisendandmete alusel välja tunnipõhise tootmise, tarbimise ning visualiseerib tulemused detailsete joonistena. Graafikutelt saab hinnata vaja minevat elektri tootmiseseadme võimsust elektritarbimise alusel. Tulemusi saab võrrelda erinevatel aastatel, erinevas asukohas ja erinevate elektrienergia tootmiseseadmetega. Lisaks koostab tarkvara valitud perioodi koondandmed ühtse aruandena näiteks ühe aasta jooksul või kuu põhiselt antud perioodil. EnergyPRO tarkvaraga saab teostada majanduslikke arvutusi tasuvuse hindamiseks kindla perioodi jooksul ja koostada rahavoogude aruanne.

Lõputöö raames koostatud energyPRO mudelisse on modelleeritud elektritarbimine, elektriauto, elektriturg, aku ja päikesepaneelid. Kõik need süsteemid on omavahel ühendatud ja töötavad ühtse süsteemina. Päikesepaneelide elektritoodang läheb vastavalt vajadusele elektritarbimise katmiseks, akude laadimiseks, elektriauto laadimiseks või müüakse elektrivõrku. Vastavalt olukorrale toidetakse elektritarbimist päikesepaneelidest, akudest, elektriautost või elektrivõrgust. Aku ja elektriauto töötavad mõlemad salvestina, mis suudavad elektrienergiat koguda ning seda kasutada sobival ajal eramaja elektritarbimise katmiseks. Elektriauto võib võrgus olla ka tarbija, olukorras, kus ta laeb. Elektriturg on skeemis mõlemasuunaliseks elektrienergia liikumiseks, sinna saab müüa toodetud ja akudes salvestatud elektrienergiat ning sealt saab importida elektrit elektritarbimise katmiseks. Elektriauto on ühendatud süsteemi kindlatel aegadel ja on saadaval vaid kodusoleku ajal.



Joonis 3.1 EnergyPRO mudeli skeem

3.1 Mudeli sisendandmed

Joonisel 3.1 olevatele võrgu osadele on lisatud konkreetse projekti jaoks reaalsed sisendandmed. Tunnipõhiselt on lisatud 2020. aasta Ülenurme ilmajaama päikesekiirgus, Annelinna temperatuur, elektriauto sõidu kulu, elektritarbimine ja elektri turuhind. Need sisendandmed on lisatud ühe tunni täpsusega ja muutuvad igal tunnil vastavalt ilmastikutingimustele, reaalsele sõidu kulule, elektritarbimisele või elektri nõudlusele kindlal ajal. Muutumatud 2020. aasta sisendandmed on: inflatsioon, tulud, kulud, konkreetse päikesepaneeli võimsus, võimsuse vähenemine, kaldenurk, suund lõuna suhtes, aku ja elektriauto mahtuvus, laadimise, tühjakslaadimise võimsused.

Tabel 3.1 Muutumatud sisendandmed

Inflatsioon	2% aastas
Päikesepaneeli võimsus	400 W
Päikesepaneeli võimsuse vähenemine	-0,6% aastas
Päikesepaneeli kaldenurk	20°
Päikesepaneeli suund lõunast eemale	45°
Aku mahtuvus	40,5 kWh
Aku laadimisvõimsus	5 kW
Aku tühjakslaadimise võimsus	4,47 kW
Kaod elektriauto aku ja lisa akudel	5%
Elektriauto mahtuvus	77 kWh
Elektriauto laadimisvõimsus	7,4 kW
Elektriauto tühjakslaadimise võimsus	3,6 kW

Elektritarbimine on modelleeritud tunnipõhiselt 2020. aasta Elektrilevi tarbimisajaloo andmete alusel, mis on kättesaadavad ja uuritavad igale elektrilepingu omanikule. [5] Elektriturg on valitud päev ette elektriturg, mis tähendab, et elektri hind fikseeritakse eelmisel päeval kell 15:00. Elektriturule on lisatud 2020. aasta tunnipõhised elektri hinnad, mis on saadaval Nordpool kodulehel. [7] Elektriturult saab iga hetk osta puudujääva elektrienergia tarbimise katmiseks ja sinna saab müüa päikesepaneelide toodetud elektrienergiat.

Elektriauto on valitud sobiva sõiduulatuse ja mõlemasuunalise energialiikumise võimekuse järgi. Sobilik kodulaadija võimsus on valitud 7,4 kW, mis on sobilik antud eramaja tarbimisse, sest perioodil 1. aprill- 30. september katab 8 kW päikesepaneelide toodang kuu lõikes tarbimise. 7,4 kW kodulaadija laeb maksimumvõimsuse juures elektriauto 0-100% ajaga 12 h 30 minutit. [11] See on sobiv aeg õhtust hommikuni täiesti tühja auto täis laadimiseks järgneva päeva pikema väljasõidu jaoks. Kia EV6 tühjakslaadimise võimsus on kuni 3,6 kW. [8] Auto ei ole saadaval sõidu ajal, mis on modelleeritud tunnipõhiselt vastavalt reaalsele autokasutusele. Lisaks ei ole auto saadaval laadimiseks ega salvestina argipäevadel 9:00-17:00, kui auto seisab töö juures. 8 kW päikesepark on modelleeritud 400 W päikesepaneelidest. 8 kW päikesepark on valitud elektriauto laadija ja eramaja suve poolaasta tarbimise järgi. Päikesekiirguse langemise kaldenurk on 20° ja suunaga läände ehk 45° kõrvalekalle lõunast. Ideaaltingimused maksimaalse elektritoodangu tagamiseks oleksid 40° kaldenurk ja suunaga otse lõunasse. 20 paneeli paigaldatakse elumaja katusele ja nende alla jääb 40 m² katuse pinda. Päikesepaneelide toodangut mõjutavad temperatuur, päikesekiirgus ja paneelide võimsuse vähenemine aastate jooksul. Tasuvuse

arvutamisel on arvestatud päikesepaneelide võimsuse vähenemist, mis on 0,6% ühes aastas.

Aku komplekt on kokku mahtuvusega 40,5 kWh ja on mõeldud päikeseenergia salvestamiseks. Aku mahtuvus on valitud proovimise teel tagamaks päikesepaneelide toodangu salvestamise soovitud mahus ja salvestatud elektrienergia piisava mahu enamuse tarbimise katmiseks. Aku laadimise võimsus on 5 kW, millega saab akut ennast täis laadida. Laadimine toimub koha peal tarbimisest üle jäävast päikeseenergiast. Aku tühjakslaadimise võimsus on samuti 5 kW, mille abil saab katta eramaja tarbimist.

EnergyPRO modelleerimistarkvara sobib elektriauto laadimisprofiili uurimiseks, sest saab määrata elektriauto sõidu kulu, laadimis ja tühjakslaadimis võimsused ja tunnipõhiselt panna kirja ajad, mil auto ei viibi kodus. Lisaks saab valida, millal auto on saadaval salvestina auto aku taseme järgi. Antud projektis on valitud kõrge aku tase, siis tühjakslaadimine maksimum ehk 3,6 kW ja madal aku tase, siis tühjakslaadimine toimub minimaalsel võimsusel. EnergyPRO ei võimalda modelleerida elektriauto laadimise juhtimissüsteemi, mille abil saaks ainult elektriauto laadida vastavalt elektri hinnale ja/või vastavalt eramaja tarbimisele, tootmisele. Seda funktsiooni saab lisada realses elus kodulaadija rakenduse abil. Antud projektis opereeritakse kogu süsteemi soodsaima hinna põhiselt. Elektriauto laetakse vastavalt vajadusele nädala sees perioodil hilisõhtust kuni varase hommikuni ja nädalavahetusel vastavalt auto kodus olekule ja aku tasemele.

EnergyPRO tarkvara on mõeldud taastuvenergia lahenduste ning erinevate soojuslahenduse uurimiseks ja tasuvuse hindamiseks. Antud projekti puhul modelleeritakse eramaja tarbimine, salvestuslahendus elektriauto ja akudega, päikesepaneelid ja elektrivõrk. Seadmed on valitud tarbijate vajadustest ja tarbimisprofiilist lähtudes. Arvutustulemusi mõjutavad mudelisse modelleeritud päikesekiirgus, temperatuur, elektri hind, päikesepaneelide võimsuse vähenemine. EnergyPRO tarkvara sobib elektriauto laadimisprofiili uurimiseks, sest lubab sisestada kõikvõimalikke vajalikke elektriauto parameetreid ja suudab neid arvutustes realistlikult arvestada. EnergyPRO ei võimalda modelleerida elektriauto laadimise juhtimissüsteemi.

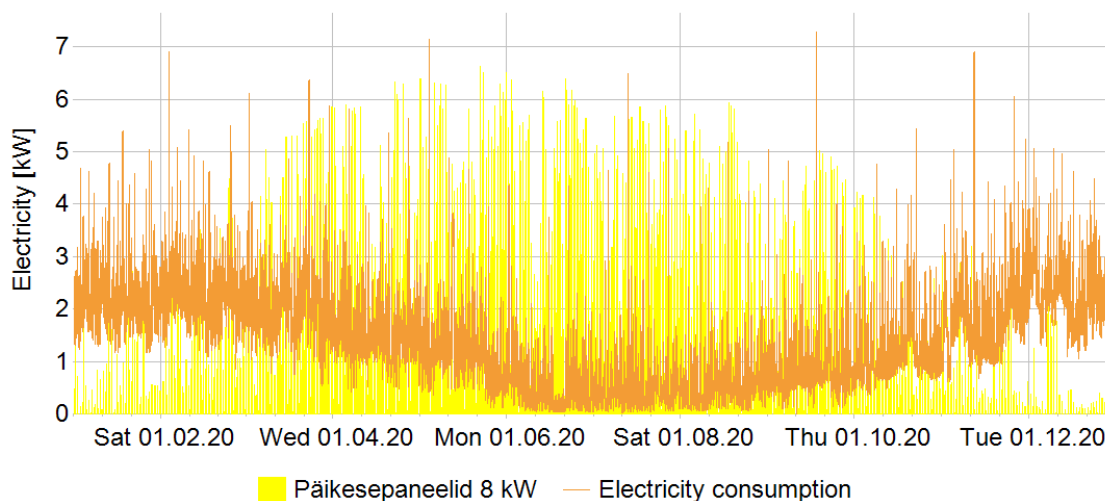
4. ENERGYPRO MUDELI TULEMUSED

EnergyPRO mudeli tulemusi kajastav peatükk sisaldab uuritavate lahenduste analüüsi. Visualiseeritakse graafikud detailse ülevaate andmiseks antud töö põhilistest uurimisküsimustest ja koostatakse võrdleva analüüsi tabelid saadud tulemustele.

Alustuseks modelleeritakse eratarbija andmete alusel Tartumaal asuva maja näitel tarbimine ja sobiva võimsusega tootmislahendus. Joonisel 4.1 on välja toodud päikesepaneelide toodang ja eramu elektritarbimine aasta lõikes. Oktoobrist kuni märtsini ületab tarbimine 2020. aasta andmetel tootmist, aga aprillist kuni oktoobri alguseni ületab tootmine suures osas tarbimist. 8 kW päikeseпарк toodab aastas 7870,3 kWh elektrienergiat. Kõige rohkem toodetakse elektrit mais 1285 kWh ja kõige vähem detsembris 53 kWh. Eramaja elektritarbimine 2020. aasta jooksul on 12 604 kWh. Kõige suurem elektritarbimine on detsembris 1750 kWh ja kõige väiksem juunis 349,7 kWh. Tarbimine on suveperioodil madalam kui talveperioodil, aga tootmine on suurem just suveperioodil. Näiteks juuni kuus toodavad päikesepaneelid 1183 kWh elektrienergiat, aga konkreetse eramaja tarbimine juunis on vaid 350 kWh. Lisas 1 on välja toodud kuude lõikes detailsed kogu 2020. aasta elektritootmise ja elektritarbimise andmed. Suvisel ajal müüakse enamuse päikesepaneelide toodetud elektrienergiat võrku. Päikesepaneelid toodavad suure osa elektrienergiast päevasel ajal, kui tarbimine on tavaliselt väiksem, sest inimesed on tööl, elektriauto ei ole kodus laadimiseks ja kütte või ventilatsiooniseade töötab madalama võimsusega.

Tabel 4.1 Elektritoodangu ja tarbimise võrdlev tabel

	Elektritoodang	Elektritarbimine
2020. aasta	7870 kWh	12 604 kWh
Mai	1285 kWh	903 kWh
Detsember	53 kWh	1750 kWh

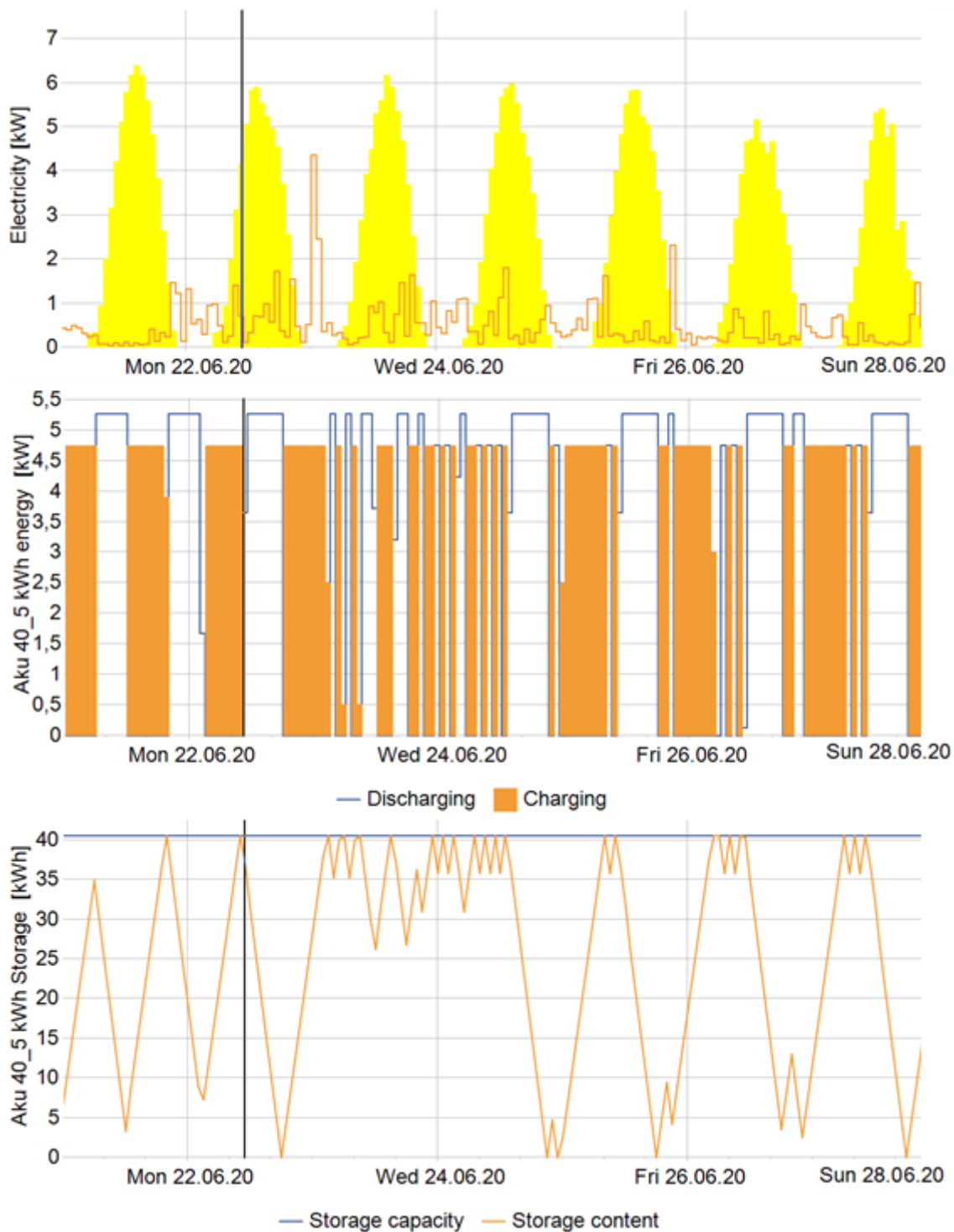


Joonis 4.1 Elektritootmine ja tarbimine 2020. aastal

4.1 Täiendava akulahenduse vajaduse hindamine

Lisas 2 on välja toodud kogu toodangu, tarbimise ja salvestuslahenduse andmed koos lisa akulahendusega. Süsteemis on 40,5 kWh aku, mida kasutatakse ainult salvestina ja sellest kasutatakse 2020. aasta jooksul 18 604 kWh elektrienergiat eramaja tarbimise katmiseks. Eksporditakse 20 180 kWh ja imporditakse 34 468 kWh elektrienergiat. Lisa salvestuslahendusega suurenevad nii eksporditud kui ka imporditud elektrienergia, sest akude laadimiseks läheb vaja rohkem elektrienergiat. Mudelis paika pandud strateegia alusel juhitakse süsteemi hinnapõhiselt. See tähendab, et võrgust ostetakse odavamalt elektrienergiat ja salvestatakse akudesse. Akudest tarbitakse elektrienergiat kõrgema elektrihinna ajal. Elektriauto salvestina kasutamiseks koos lisa akulahendusega kulub 9070 kWh elektrit.

Alljärgneval joonisel 4.2 on valitud üks suve täisnädal, kus on välja toodud elektritarbimine ja tootmine, lisa akulahenduse laadimine ja kasutamine salvestina ning aku tase. Must vertikaalne joon on paigutatud joonistel esmaspäevale kell 11:00. Päikesepaneelide elektritootmine on sel hetkel 4 kW ja tarbimine 0,7 kW. Päikesepaneelide elektritoodang juuni kuu ühe kindla nädala jooksul on kõige suurem kell 14:00. 22.06.2020 esmaspäeval kell 11:00, kui päikesepaneelid on saavutamas oma maksimaalset elektritoodangut tunnipõhiselt, lõpetab lisa akulahendus akude laadimise ja hakkab salvestina tarbimist katma või elektrit võrku müüma. Sel samal kellaajal on aku jõudnud ennast täiesti täis laadida ja aku tase hakkab järjest vähenema.



Joonis 4.2 2020. aasta ühe nädala elektritarbimine ja tootmine, täiendava aku laadimine ja tühjaksladimine, aku tase

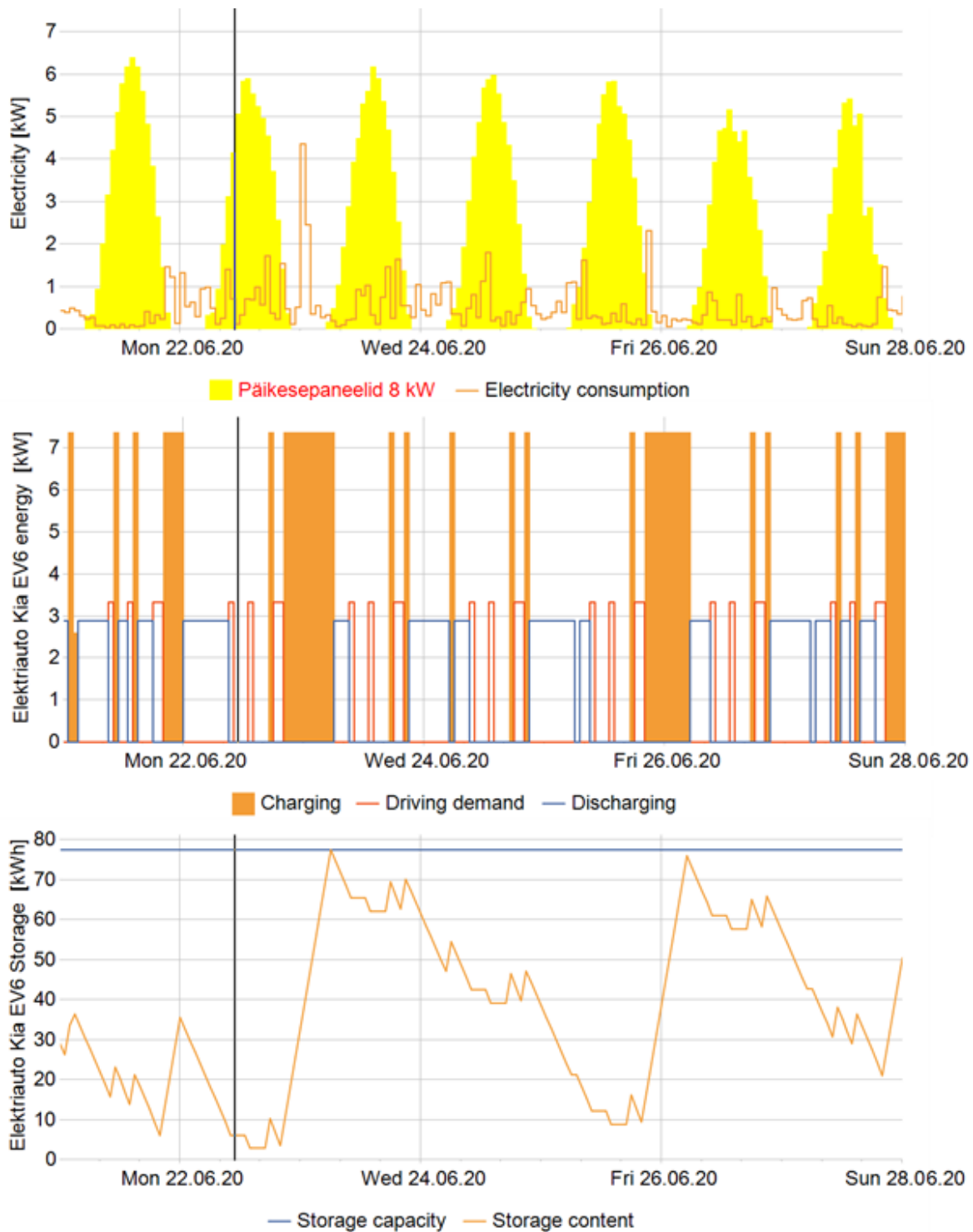
Graafikult on märgata, et pea iga öö ja varahommikul laetakse lisa akulahendust 5-7 tundi. Mitmel päeval on näha päikesepaneelide maksimaalse elektritoodangu ajal lisa akulahenduse tühjaksladimist ehk kasutatakse salvestatud reserve akudest elektritarbimise katmiseks või elektrienergia müügiks. Antud tulemusi võib põhjendada energyPRO mudeli hinnapõhise juhtimisega. Konkreetset nädalal laetakse öösel ja

varastel hommikutundidel lisa akulahendus täis ja päeval kõrgema elektritarbimise ajal, kõrgema elektri hinna ajal müüakse võrku elektritoodangut otse päikesepaneelidest ja lisaks elektrienergiat akudest. Vastavalt aku tasemele laetakse lisa akulahendust veel ka hommikusest ja õhtusest päikeseenergiast ligikaudu 2 tundi.

Lisas (Lisa 3) on välja toodud kogu 2020. aasta tarbimise ja tootmise koondandmed kuude lõikes ilma lisa salvestuslahendusega. Lisas (Lisa 4) on välja toodud kogu toodangu, tarbimise ja salvestuslahenduse andmed. Elektrivõrku müüdi 8856 kWh elektrienergiat ja võrgust osteti 20 982 kWh. Vajadus ekspordiks ja impordiks tekkis tootmise ja tarbimise eri aegadest. Selle ühtlustamiseks modelleeriti juurde elektriauto ja lisa akulahendus, mis muudavad süsteemi paindlikumaks. Lisaks kaaluti ja hinnati süsteemi toimimist ilma lisa akulahendusega ja koostati tasuvusanalüüs mõlema lahenduse kohta. Elektriauto salvestina kasutamiseks kulus 8423 kWh elektrit.

Alljärgneval joonisel 4.2 on valitud üks suve täisnädal, kus on välja toodud elektritootmine ja tarbimine, elektriauto laadimine, sõidu kulu ja kasutus salvestina ning elektriauto aku tase. Must vertikaalne joon on paigutatud joonistel esmaspäevale kell 11:00. Esmaspäeval 22.06 kell 11 on näha kõrge päikesepaneelide elektritoodang 4 kW, madal elektrienergia tarbimine 0,7 kW, elektriauto viibib kodust eemal ja selle aku tase on 10%. Näha ei ole nii ühtlast mustrit nagu oli lisa salvestuslahendusega mudeli tulemuste põhjal. Peamiselt tuleb lähtuda aku tasemest, et vajalikud sõidud saaksid sõidetud. Ei saa olla hinnapõhise juhtimisega nii paindlik nagu koos lisa salvestuslahendusega mudeliga. Elektriauto on argipäevadel 9:00-17:00 kodust eemal ja ei ole saadaval laadimiseks ega salvestina.

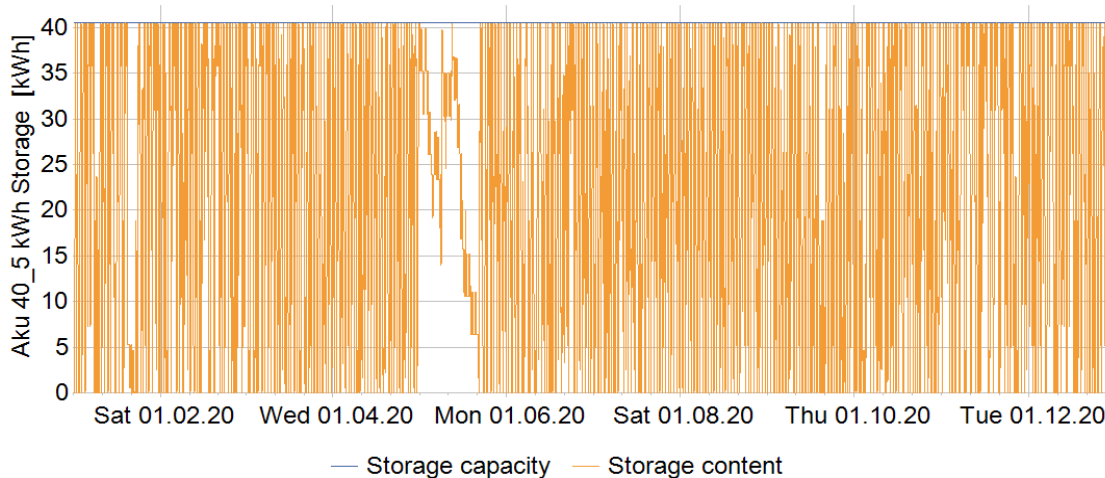
Koos lisa akulahendusega suurenes eksport 11 324 kWh võrra, sest süsteem töötab paindlikumalt. Eksporditakse elektrit vastavalt turuhinnale. Kõrgema hinnaga perioodidel kasutatakse akudes olevat elektrienergiat tarbimise katmiseks. Elektriautoga sõitmise katmiseks kulus mõlemal mudelil 5417 kWh, sest sõideti täpselt sama palju. Elektriauto aku salvestina kasutamiseks kulus koos lisa akulahendusega 647 kWh rohkem elektrienergiat. Elektriauto akut kasutatakse salvestina rohkem koos lisa akulahendusega, sest süsteem on paindlikum ja suudab kahe salvestuslahendusega kombineerides rohkem päikeseenergiat salvestada. Mõlemad akud annavad olulise panuse juhtimatu elektrienergiatootja toodangu salvestamiseks, mida saab kasutada sobival ajal eramaja tarbimise katmiseks või võrku müümiseks.



Joonis 4.3 2020. aasta ühe nädala elektritarbimine ja tootmine, elektriauto aku laadimine ja tühjakslaadimine, elektriauto aku tase

Lisaks olevat akulahendust kasutatakse salvestina aktiivsemalt kui elektriautot, sest see on kogu aja saadaval ja seda eelistatakse salvestina enne elektriautot. Akut kasutatakse aastaringselt üsna ühtlaselt. Ära tasuks märkida detsember, kus aku on täitsa tühi mitu päeva. See on põhjustatud suurest tarbimisest ja vähesest päikesest. Detsembris paar päeva kasutatakse ära elektriauto akut, aga suur osa elektrist tuleb

nendel päevadel osta turult. Mai kuus on näha kõrget aku taset, mis on põhjustatud suurest päikesepaneelide toodangust. Aku laetakse täis ja seda kasutatakse vähe, sest tarbimine on madal.



Joonis 4.4 Täiendava akulahenduse 40,5 kWh kasutus 2020. aastal

Tabel 4.2 Koos lisa akulahendusega ja ilma lisa akulahendusega mudelite tulemuste võrdlus

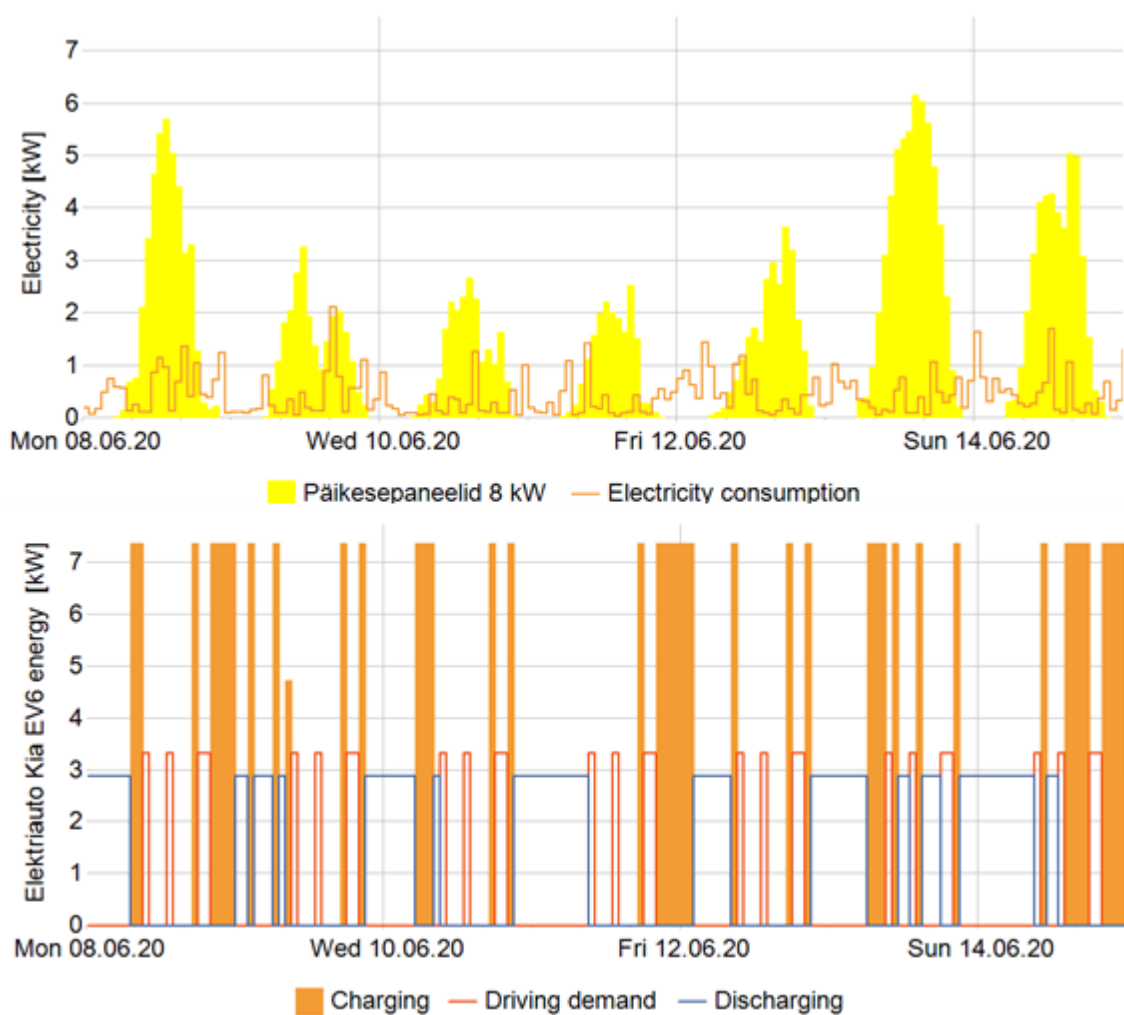
Mudel	Koos lisa akulahendusega	Ilma lisa akulahendusega
Eksporditud elekter	20 180 kWh	8 856 kWh
Imporditud elekter	34 468 kWh	20 982 kWh
Elektriauto sõidu kulu	5417 kWh	5417 kWh
Elektriauto kasutamine salvestina	9070 kWh	8423 kWh
Aku 40,5 kWh laadimine	20 613 kWh	0 kWh
Aku 40,5 kWh kasutamine salvestina	18 604 kWh	0 kWh

Elektriliselt analüüsid on lisa akulahendus vajalik, sest suudetakse olla hinnapõhiselt väga paindlik. Lisaks selgus, et elektritarbimine ja -tootmine toimuvad enamasti erinevatel aegadel. Seda suudaks ühtlustada salvestuslahendus, mille abil saab toodetud elektrienergiat tarbida sobival ajal. Elektrienergia tootmist aitab tarbimisega ühtlustada veel elektrivõrk. Päeval üle jääv päikeseenergia müüakse võrku ja tarbimise suurenedes öhtustel tundidel ostetakse elektrit sisse. Järgnevalt tuleb majanduslikult hinnata akulahenduse maksumust ja hinnapõhise optimeerimise kasu, et saada täielik ülevaade lisa akulahenduse mõistlikkusest.

4.2 Päikesepaneelide toodangu sobitumine elektriauto laadimisega

Päikesepaneelid toodavad suure osa elektrienergiat päevasel ajal märtsist kuni oktoobri lõpuni. Päevasel ajal, kui päikesepaneelid toodavad elektrit on elektriauto enamasti sõidus ning ei ole saadaval laadimiseks. Lisaks on kevadel, suvel elektritarbimine väiksem võrreldes talveperioodiga. Päikesepaneelid toodavad kodutarbija jaoks elektrienergiat kui tarbimine on väikene.

Joonisel 4.2 on näha elektritootmise ja -tarbimise tasakaal ühe täisnädala jooksul juuni kuus ja elektriauto sama perioodi kasutamine.



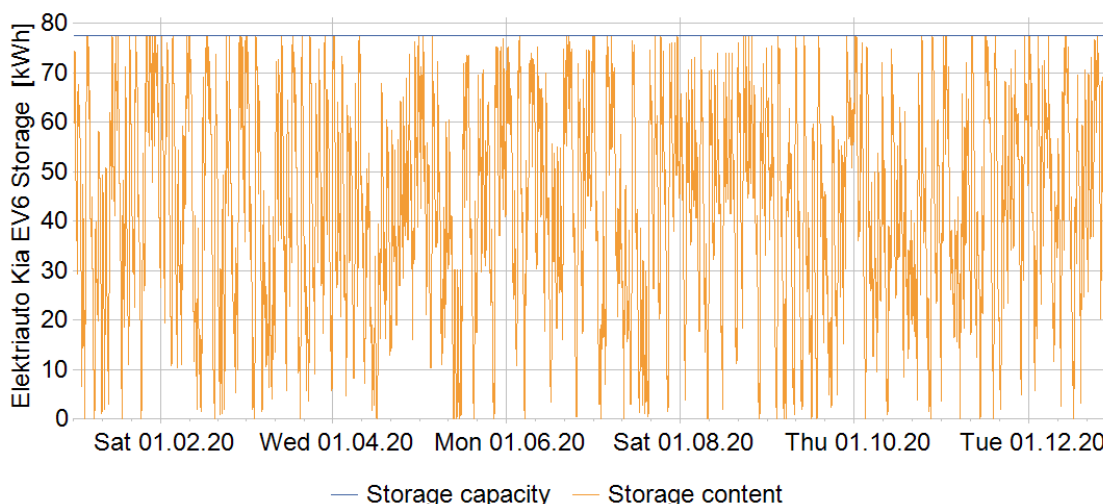
Joonis 4.5 Juunikuu ühe täisnädala tarbimise ja tootmise tunniandmed, elektriauto laadimine sõidu kulu ja kasutamine salvestina

Argipäevadel on näha, et elektritootmine ja elektriauto laadimine ei lange kokku. Konkreetse nädala andmete alusel on näha, et elektriautot laetakse tööpäevadel

lühikese perioodi jooksul hommikul enne tööle minekut. Päikeseenergia elektritoodang jääb hommikul enne kell 9:00 alla 1 kW. Öhtusel ajal laetakse elektriautot kell 17:00-18:00, siis on päikesepaneelide elektritoodang 3 kW. Nädala sees laetakse elektriautot mingil määral päikeseenergiast, aga põhiline laadimine toimub elektrivõrgust hilisõhtul või öösel. Päevasel ajal ulatub päikesepaneelide elektritoodang 6 kW juurde, aga elektriauto ei ole argipäeviti saadaval laadimiseks. Nädalavahetusel on elektri tootmine ja elektriauto tarbimine paremini ajastatud. Elektriautot laetakse päevasel ajal peamiselt päikeseenergiast laupäeval ja pühapäeval. Elektriauto laadimiseks kasutatakse ära mõlema päeva elektritootmise tippe.

4.3 Elektriautoga paindlikkusteenuse pakkumine

Modelleeritakse süsteem, kus on elektriturg, elektritarbimine, tootmislahendus ja elektriauto. Esimene variant modelleeritakse elektriauto tarbijana ja teine lahendus modelleeritakse elektriauto tarbijana ning salvestina. Elektriautoga salvestuslahendust pakkudes laetakse akut tühjaks 10 583 kWh aasta jooksul. Võrreldes sõitudeks kuluva elektrienergiaga 5417 kWh aasta jooksul kasutatakse salvestuse tarbeks ligi 2 korda rohkem elektrienergiat. Elektriauto aitab kodusoleku ajal salvestada päikeseenergiat, mida saab kasutada tarbimise katmiseks ja sõitudeks. Võrku müüdav elektrienergia on ilma elektriauto salvestuslahendusega 4396 kWh ja koos paindlikkusteenusega 11 292 kWh. Elektriautoga salvestuslahendust pakkudes eksporditakse 2,5 korda rohkem elektrit. Joonisel 4.5 on näha 2020. aastal elektriauto aku laetustase, mis võtab arvesse sõitmise kulu, tühjaklaadimise kulu ja laadimise. Akut kasutatakse eramaja mikrovõrgu ja sõitude jaoks aktiivselt.



Joonis 4.6 Elektriauto aku laetustase 2020. aastal

Elektriautoga paindlikkusteenuse pakkumisega suudetakse eksportida 6896 kWh võrra rohkem elektrienergiat. Opereerides vastavalt elektri hinnale annab paindlikkusteenus kiirema tasuvusaja ja teenitakse ekspordiga suuremat tasu müües elektrit võrku kõrge hinnaga tundidel. Lisaks kasutatakse maksimaalselt ära päikesepaneelide toodang eramaja tarbimises ja alles jäänud elekter müüakse võrku.

Tabel 4.3 Elektriauto tarbijana ning tarbija ja salvestina võrdlev tabel

	Elektriauto tarbijana	Elektriauto tarbijana ja salvestina
Sõidu kulu	5417 kWh	5417 kWh
Kulu salvestina	0 kWh	8423 kWh
Eksport võrku	4396 kWh	11 292 kWh

Süsteemis, kus on elektritarbimine, päikesepaneelide elektritootmine, salvestuslahendus lisa akulahendusega ja elektriautoga suurenevad tunduvalt eksporditud ning imporditud elektrienergia. Lisaks kasutatakse rohkem elektriautot salvestina kui mudelis on salvestina elektriauto ja lisa akulahendus. Mudeli hinnapõhine juhtimine töötab efektiivsemalt, sest lisa akulahendus on kogu aeg saadaval salvestina. Samas elektriauto on saadaval vaid kindlatel aegadel. Täiendav akulahendus on kasulik, sest müüakse rohkem ning kallima hinnaga elektrit võrku ja koha peal tarbitakse ära rohkem päikesepaneelide toodetud elektrienergiat. Päikesepaneelid toodavad enim elektrienergiat suve poolaastal ja päevasel ajal, tarbimine on sel ajal just kõige madalam. Elektriauto ei ole laadimiseks saadaval argipäeviti 9:00-17:00. Päikesepaneelide toodang ja elektriauto laadimise ajad ei ühti tööpäevadel. Suvisel perioodil laetakse elektriautot vähesel määral päikeseenergiast varahommikul ja peale tööpäeva lõppu, kui päikesepaneelid veel toodavad elektrienergiat, aga väikesel võimsusel. Nädalavahetusesti ühtivad päikesepaneelide elektritootmine ja elektriauto laadimine rohkem. Elektriauto salvestuslahenduse hindamisel võrreldi kahte energyPRO mudelit, kus on elektriturg, elektritarbimine ja tootmine ning elektriauto. Ühes oli elektriauto tarbijana ja teises tarbija ning salvestina. Elektriauto kasutamisel salvestina suureneb eksport elektrivõrku 2,5 korda. Salvesti laadimise kulu on 8423 kWh. Elektriauto kasutamisel salvestina opereeritakse suuremal määral hinnapõhiselt, mis toob suurema tasu võrku müüdud elektri eest.

5. TASUVUSANALÜÜS

Tasuvusanalüüsis hinnatakse 25 aastase perioodi jooksul tekkivaid tulusid ja kulusid, mis kaasnevad eramaja mikrovõrgu projektiga. Leitakse majanduslikult kõige optimaalsem lahendus konkreetsele eramule, koostatakse tabelid investeeringu maksumusest ja tasuvusanalüüsi tulemustest.

Mikrovõrku kuuluvad elektritootmine päikesepaneelidega, eramaja tarbimine, elektriturg ning salvestuslahendus elektriauto ja akulahenduse abil. Võrreldakse eratarbijat mikrovõrgu tasuvust nii akulahendusega kui ka ilma lisa akulahendusega.

Lähteparameetriteks arvestatakse inflatsiooni 2% aasta baasil ja päikesepaneelide võimsuse vähenemist 0,6% aastas. [18] Algne investeering rahastatakse Swedbanki laenuga, mille intressimäär on 4,9% aastas. [20]. Inverteri ja akude eluiga on tootja andmetel 12 aastat. [17] [19] Selle aja möödudes ostetakse uus inverter ja akud omafinantseeringuga. Tulude alla lähevad elektri müük võrku, mis sõltub eksporditava elektrist ja vastava aja elektri hinnast, millal eksport toimub. Lisaks arvestatakse tuludesse vähem makstud võrguteenus, elektriaktsiis, ostumarginaal ja elektrienergia.

Võrguteenus on maks, mis hooldab, arendab ja hoiab üleval elektriliine, et elekter jõuaks tarbijani. Võrguteenuse hind on modelleeritud tunnipõhiselt vastavalt eramaja elektripaketile Võrk 2. Võrgutasu hind on päeval 0,074 €/kWh ja öösel 0,043 €/kWh. [21] Elektriaktsiis on riiklik maks, millest rahastatakse keskkonnahoidu. Elektriaktsiis on konstantse väärtusega 0,001 €/kWh ja sõltub elektritarbimisest. [22] Ostumarginaal on 0,0018 €/kWh, sõltub tarbitavast elektrienergiast ja elektripaketist. [23] Vähem ostetud elektrienergia on päikesepaneelidega toodetud elektrienergia, mis tarbitakse kohe ära. Nende parameetrite kokkuhoid tekib päikesepaneelide toodangust oleneva elektri vähem sisse ostmisest võrgust.

Kulude alla lähevad püsikulud päikesepaneelide hooldamiseks ja müügmarginaal, mis tuleb maksta teenustasuna elektrivõrku müüdava elektri eest. Müügmarginaal sõltub eksporditavast elektrist. Selle hind väiketootjale on 0,0018 €/kWh. [23] Päikesepaneelide hoolduse alla lähevad jooksvad kulud rikete, probleemide ja vigastuste kõrvaldamiseks. Lisaks vajadusel päikesepaneelide puhastamine.

5.1 Tasuvuse hindamine koos akulahendusega

Kogu algne investeering läheb kokku maksma 15 553 eurot, mis koosneb 8 kW päikesepaneelidest 3060 € [18], inverterist 1490 € [19], 40,5 kWh akulahendusest 8483 € [17] ja paigaldusest 2500 €. Hinnad on leitud tootjate kodulehekülgedelt ja valitud vastavalt sobivatele parameetritele.

Tabel 5.1 Kasutatav tehnoloogia ja alginvesteeringu hinnad

Toode	Kogus tk	Hind €	Kokku €
Päikesepaneel 400 W	20	153	3060
Inverter	1	1490	1490
Aku 2,29 kWh	18	471,3	8483
Paigaldus, ühendus	1	1600	1600
Kinnitused	40	22,5	900

Akulahendusega projekti hind on kõrge ja Eesti kliimas end 25 aasta jooksul pangalaenu kasutades ära ei tasu. 2021. aasta näitel on aasta tulud 545 eurot, püsikulud 110 eurot ja pangalaenu kulu 1079 eurot. Aasta baasil tekib iga aasta 644 eurot kahjumit, mis aastast aastasse aina suureneb, sest päikesepaneelide võimsus langeb iga aasta 0,6%. Lisas 5 on välja toodud detailsed tasuvusanalüüsi andmed 25 aasta kohta. Lisaks tuleb 2032. aastal osta uus inverter ja uued akud, mis omakorda suurendab kahjumit. 2032. aastal tuleb teha investeering maksumusega 9903 eurot. 25 aasta möödudes tuleb välja vahetada uuesti akud, inverter ja päikesepaneelid, selleks ajaks on projekt tootnud kahjumit 26 615 eurot.

Tabel 5.2 Tasuvusanalüüsi tulemused

Alginvesteering	15 553 €
2021. aasta tulud	553 €
2021. aasta kulud + laenumakse	1189 €
25 aasta kahjum	26 615 €

Paremaks tasuvuseks tuleks kaaluda tootmislahendusi, mis tasakaalustaks toodangu ühtlasemaks. Näiteks elektrituuliku toodang tasakaalustab päikesepaneelide toodangut. Elektrituulik toodab elektrit rohkem talveperioodil ja on võimeline elektrit tootma nii päeval ajal kui ka öösel. Konkreetse eramaja tarbimine on liiga väike ja akulahendused väikese elueaga ning kõrge hinnaga. Tartumaa eramu puhul ei tasu end

ära 8 kW päikesepaneelide lahendus koostöös elektriauto ja akulahendusega. Kasulikum oleks osta elekter võrgust. Veel läheb 5% laenu kasutamisel intressikuludeks 25 aasta jooksul 11 422 eurot. [24]

5.2 Tasuvuse hindamine ilma akulahendusega

Kogu algne investeering läheb kokku maksma 9 550 eurot, mis koosneb 8 kW päikesepaneelidest 4310 € [18], inverterist 1490 € [19] ja paigaldusest 2500 €. Hinnad on leitud tootjate kodulehekülgedelt ja valitud vastavalt sobivatele parameetritele.

Tabel 5.3 Kasutatav tehnoloogia ja alginvesteeringu hinnad

Toode	Kogus tk	Hind €	Kokku €
Päikesepaneel 400 W	20	153	3060
Inverter	1	1490	1490
Paigaldus, ühendamine	1	1600	1600
Kinnitused	40	22,5	900

Päikesepaneelide paigaldamine Eesti kliimas end 25 aasta jooksul pangalaenu kasutades ära ei tasu. 2021. aasta näitel on aasta tulud 373 eurot, püsikulud 108 eurot ja pangalaenu kulu 490 eurot. Aasta baasil tekib iga aasta 225 eurot kahjumit, mis aastast aastasse aina suureneb, sest päikesepaneelide võimsus langeb iga aasta 0,6%. Lisaks tuleb 2032. aastal osta uus inverter ja uued akud, mis omakorda suurendab kahjumit. 2032. aastal tuleb teha investeering maksumusega 1420 eurot. 25 aasta möödudes tuleb välja vahetada uuesti akud, inverter ja päikesepaneelid, selleks ajaks on projekt tootnud kahjumit 7551 eurot.

8 kW päikesepaneelide paigaldamine tarbimise katmiseks ja elektriauto laadimiseks Tartumaa eramu näitel kasumlik ei ole. Plaanitav projekt toodab iga aasta kahjumit. Probleemiks on päikesepaneelide tootmise ja tarbimise vähene kattumine ning päikesepaneelide olematu elektritoodang talvisel ajal. Lisaks kasutatakse elektriautot salvestina, mis muudab süsteemi paindlikumaks. Päikesepaneelide toodetud elektrienergiat saab elektriautoga salvestada nädalavahetusel päikeselise ilmaga, sest argipäeviti on elektriauto sõidus päevasel ajal kui päikesepaneelid elektrienergiat toodavad. Veel läheb 5% laenu kasutamisel intressikuludeks 25 aasta jooksul 5545 eurot. [24]

Tabel 5.2 Tasuvusanalüüsi tulemused

Alginvesteering	15 553 €
2021. aasta tulud	553 €
2021. aasta kulud + laenumakse	1189 €
25 aasta kahjum	26 615 €

Tasuvusanalüüs koostatakse 25 aastase perioodi tulude ja kulude hindamiseks. Uuritakse projektide majanduslikke näitajaid, kus on salvestina elektriauto koos lisa akulahendusega ja ilma. Kulude alla arvestatakse müügi marginaal ja hooldusega seotud kulud. Tulude alla arvestatakse ostmata jäetud elektrienergia ja sellega kaasnevad kulud. Lisaks perioodilistele kuludele ja tuludele arvestatakse mõlema lahenduse alginvesteeringuga, mis kajastab vajamineva lahenduse soetamist ja paigaldust. Kumbki lahendus ei ole majanduslikult tasuv, sest kasutatakse 5% aastase intressimääraga laenu, päikesepaneelide elektritoodang on aasta baasil väga ebaühtlane ja akulahenduse hind kallis, eluiga lühike.

KOKKUVÕTE

Erinevad riigid ja äriettevõtted on välja töötanud ambitsioonikaid eesmärke süsinikehitmete vähendamiseks. Euroopa Liidu eesmärgiks on 2050. aastaks vähendada CO₂ heitmeid 80-95%. [6] Elektriautode arvukus on rohepöörde käigus riikide toetuste abiga järjest kasvamas ja seoses sellega tuleb selgeks teha, kuidas elektriauto laadimist kõige efektiivsemalt sobitada eramaja elektritarbimisega.

Lõputöö raames uuriti eramaja elektritarbimist koos elektriauto laadimisega ja selle katmist taastuvatest energiaallikatest. Kuna päikesest elektrienergia tootmine on sõltuv ilmastikutingimustest ja seda peetakse juhtimatuks, siis analüüsiti ka salvestuslahenduse lisamist hoone juurde, mis muudab süsteemi paindlikumaks. Töö eesmärgiks oli koostada õppeaine Haja- ja taastuenergeetika tarbeks salvestuslahenduse harjutusülesanne, mis sisaldab uuringut elektriauto salvestuslahenduse võimekusest, täiendava akulahenduse vajaduse hindamisest ja tasuvusanalüüsi koostamisest konkreetse eramu näitel. Modelleerimine ja simulatsioon viidi läbi energPRO tarkvaraga, mis on mõeldud taastuenergeetika lahenduste elektritoodangu ja tasuvuse hindamiseks. Antud tarkvaraga modelleerides anti ülevaade salvestuslahenduse plussidest ja miinustest.

Töö analüüsi osas modelleeriti eramaja elektritarbimine, salvestuslahendus elektriauto ja akudega, päikesepaneelid ja ühendus elektrituruga. Mudeli jaoks on vajalikud erinevad sisendandmed, mis on valitud vastavalt konkreetse eramaja tarbimisele. Päikesepaneelide võimsuseks valiti lõunapoolse katuse pinna ja eramaja tarbimise alusel 8 kW. Elektritarbimise moodustavad elektriauto ja eramaja tarbimine, mis on modelleeritud tunnipõhiselt 2020. aasta tarbimisajaloo alusel. Lisaks on süsteemis elektrivõrk, kuhu on modelleeritud 2020. aasta elektrihinnad. Autori hinnangul on energyPRO tarkvara sobilik elektriauto laadimisprofiili uurimiseks, sest lubab sisestada vajalikke elektriauto aku parameetreid ja selle kasutust ning suudab neid eeldusi arvutustes realistlikult arvestada.

Kasutades salvestina nii elektriautot kui ka lisa akulahendust suureneb eksporditud ja imporditud elektrienergia ning süsteemi juhtimine toimub efektiivsemalt võrreldes mudeliga, kus on salvestina kasutatud ainult elektriautot. Elektriauto üksi salvestuslahendusena on elektriliselt kehvem lahendus, sest auto ei ole koguaeg saadaval koduvõrgus. Täiendav akulahendus on parem ka seetõttu, kuna sellisel juhul toimub tootmine ja tarbimine hinnapõhise juhtimisega ja kohapeal tarbitakse ära rohkem päikesepaneelide toodetud elektrienergiat.

Päikesepaneelid toodavad enim elektrienergiat suvisel poolaastal ja päevasel ajal. Samas elektri tarbimine on sel ajal kõige madalam. Päikesepaneelide elektritoodang ja elektriauto laadimise ajad ei ühti tööpäevadel, sest elektriauto on koduvõrgust eemal kella 9:00-17:00-ni. Suvisel perioodil laetakse elektriautot vähesel määral päikeseenergiast varahommikul ja peale tööpäeva lõppu, kui päikesepaneelid veel toodavad elektrienergiat, aga väikesel võimsusel. Nädalavahetusel ühtivad elektritootmine ja elektriauto laadimine rohkem. Seega päikesepaneelide poolt toodetud elektrienergia abil laetakse elektriautot peamiselt nädalavahetusel. Talveperioodil on aga päikesepaneelide toodang sedavõrd väike ja lühiajaline, et selle roll elektriauto laadimisel on vaevumärgatav.

Elektriauto salvestulahenduse hindamisel võrreldi kahte energyPRO mudelit, kus on elektriturg, elektritarbimine ja -tootmine ning elektriauto. Ühes oli elektriauto tarbijana ja teises tarbija ning salvestina. Elektriauto kasutamisel salvestina suureneb eksport elektrivõrku 2,5 korda võrreldes mudeliga, kus kasutatakse elektriautot ainult tarbijana. Elektriauto kasutamisel salvestina opereeritakse suuremal määral hinnapõhiselt, mis toob suurema tasu võrku müüdü eest.

Tasuvusanalüüs koostati 25 aastase perioodi tulude ja kulude hindamiseks. Uuriti majanduslikke näitajaid koos lisa akulahendusega ja ilma. Kulude alla arvestati müüginimarginaal ja hooldusega seotud kulud. Tulude alla arvestati ostmata jäetud võrguteenuse tasud. Lisaks perioodilistele kuludele ja tuludele arvestati mõlema lahenduse alginvesteeringuga, mis kajastab vajamineva lahenduse soetamist ja paigaldust. Koos lisa akulahendusega on alginvesteering kokku 15 553 eurot ja ilma akulahenduseta on alginvesteering 7050 eurot. 25 aasta pärast on koos lisa akulahendusega paigaldatud süsteemi kahjum 26 615 eurot ja ilma lisa akulahenduseta 7551 eurot. Seega ei ole kumbki lahendus majanduslikult tasuv, sest kasutatakse kulukat 5% aastase intressimääraga laenu, päikesepaneelide elektritoodang on aasta baasil väga ebaühtlane ja akulahenduse hind kallis ning eluiga lühike.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „The key things to know about Biden`s EV infrastructure plan,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.greenbiz.com/article/key-things-know-about-bidens-ev-infrastructure-plan>. [Kasutatud 4 aprill 2021].
- [2] „Tesla`s gigafactory will be net-zero energy user,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://energywatch-inc.com/teslas-gigafactory-will-be-net-zero-energy-user/>. [Kasutatud 5 aprill 2021].
- [3] „Apple has announced a target of becoming carbon neutral,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bbc.com/news/technology-53485560>. [Kasutatud 5 aprill 2021].
- [4] „Elektritarbimise prognoos,” [Võrgumaterjal]. Available: https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Eesti%20pikaajaline%20elektritarbimise%20prognoos_210x297%2B5mm.pdf. [Kasutatud 10 aprill 2021].
- [5] „Elektrilevi tarbimisajalugu,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/eteenindus/tarbimisajalugu>. [Kasutatud 13 jaanuar 2021].
- [6] E. L. p. kliimaeesmärgid. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.envir.ee/et/EL-eesmargid#2050_eesmargid. [Kasutatud 14 märts 2021].
- [7] „NordPool price,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://dashboard.elering.ee/et/nps/price?interval=minute&period=months&start=2021-02-28T22:00:00.000Z&end=2021-03-31T20:59:59.999Z>. [Kasutatud 22 veebruar 2021].
- [8] „Kia-EV6 vehicle to load,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kia.com/eu/about-kia/ev6-world-premiere/>.
- [9] „Päikesepaneelide tootlikkuse arvutamine,” [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.xn--pikesekte-v2a4y.ee/artiklid/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine/>. [Kasutatud 27 aprill 2021].
- [10] „[3]Map,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.google.ee/maps/place/Valgek%C3%B5rtsi+tee+1,+Uhti,+61712+Tartu+maakond/@58.3339307,26.6583695,12.33z/data=!4m5!3m4!1s0x46eb3a4872f8c24b:0xb96d5790412bb70f!8m2!3d58.2883437!4d26.7181668?hl=et>.
- [11] „ev-database/Kia-EV6,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://ev-database.org/car/1481/Kia-EV6-Long-Range-2WD>. [Kasutatud 2 aprill 2021].
- [12] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.carwow.co.uk/kia/news/5140/2022-kia-ev6-electric-car-confirmed-prices-specs-and-release-date>. [Kasutatud 3 Aprill 2021].
- [13] „Kas energia on odav või kallis?,” Statistikaamet, [Võrgumaterjal]. Available: www.stat.ee. [Kasutatud 20 veebruar 2021].
- [14] „Enefit,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://enefitvoltage.com/elektriauto-avalik-laadimine>. [Kasutatud 01 märts 2021].
- [15] „Päikesekiirguse kaart,” [Võrgumaterjal]. Available: https://old.taltech.ee/public/p/projektid/BuildEst/Taastuvenergiaseadmed_Argo_Rosin.pdf. [Kasutatud 27 veebruar 2021].
- [16] K. e. p. specs. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.motorauthority.com/news/1131510_2022-kia-ev6-price-specs-review-photos-info. [Kasutatud 9 aprill 2021].
- [17] „Geelaku,” [Võrgumaterjal]. Available: http://akukeskus.ee/index.php?option=com_content&view=article&id=13&Itemid=115. [Kasutatud 4 aprill 2021].

- [18] „Päikesepaneelid,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://suministrosdelsol.com/en/paneles-solares-especiales/827-jinko-400w-cheetah-hc-144m-solar-panel.html>. [Kasutatud 29 jaanuar 2021].
- [19] „Inverter,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.europe-solarstore.com/solaredge-se8k.html>. [Kasutatud 8 aprill 2021].
- [20] „Swedbank finance,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.swedbank.ee/business/finance/capital/sustainability?language=EST>. [Kasutatud 25 aprill 2021].
- [21] „Elektrilevi võrguteenuste hinnakiri,” [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/elektrilevi_hinnakiri_vorguteenuse_hinnad_alates_1_jaanuarist_2020_EST.pdf. [Kasutatud 28 aprill 2021].
- [22] „Elektriaktsiis,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/et/uudised/avaleht/-/news2/2020/04/28/aktsiisilanguse-moju-kui-palju-vaheneb-elektriarve>. [Kasutatud 6 aprill 2021].
- [23] „Müüginarginaal päikeseenergiat võrku tagasi müües,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/blogi/kodu/-/news2/2020/07/13/kuidas-kodus-toodetud-paikeseenergiat-vorku-tagasi-muua>. [Kasutatud 26 aprill 2021].
- [24] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.calculator.net/loan-calculator.html?loanamount=7551&loanterm=25&loantermmonth=0&interestrate=5&compound=annually&payback=month&x=84&y=23#amortized-result>. [Kasutatud 26 aprill 2021].
- [25] „EMD,” [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 5 jaanuar 2021].

LISAD

Lisa 1 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed koos akulahendusega

Lisa 2 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed koos akulahendusega

Lisa 3 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed ilma akulahendusega

Lisa 4 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed ilma akulahendusega

Lisa 5 Tasuvusanalüüs koos lisa akulahendusega

Lisa 6 Tasuvusanalüüs ilma lisa akulahendusega

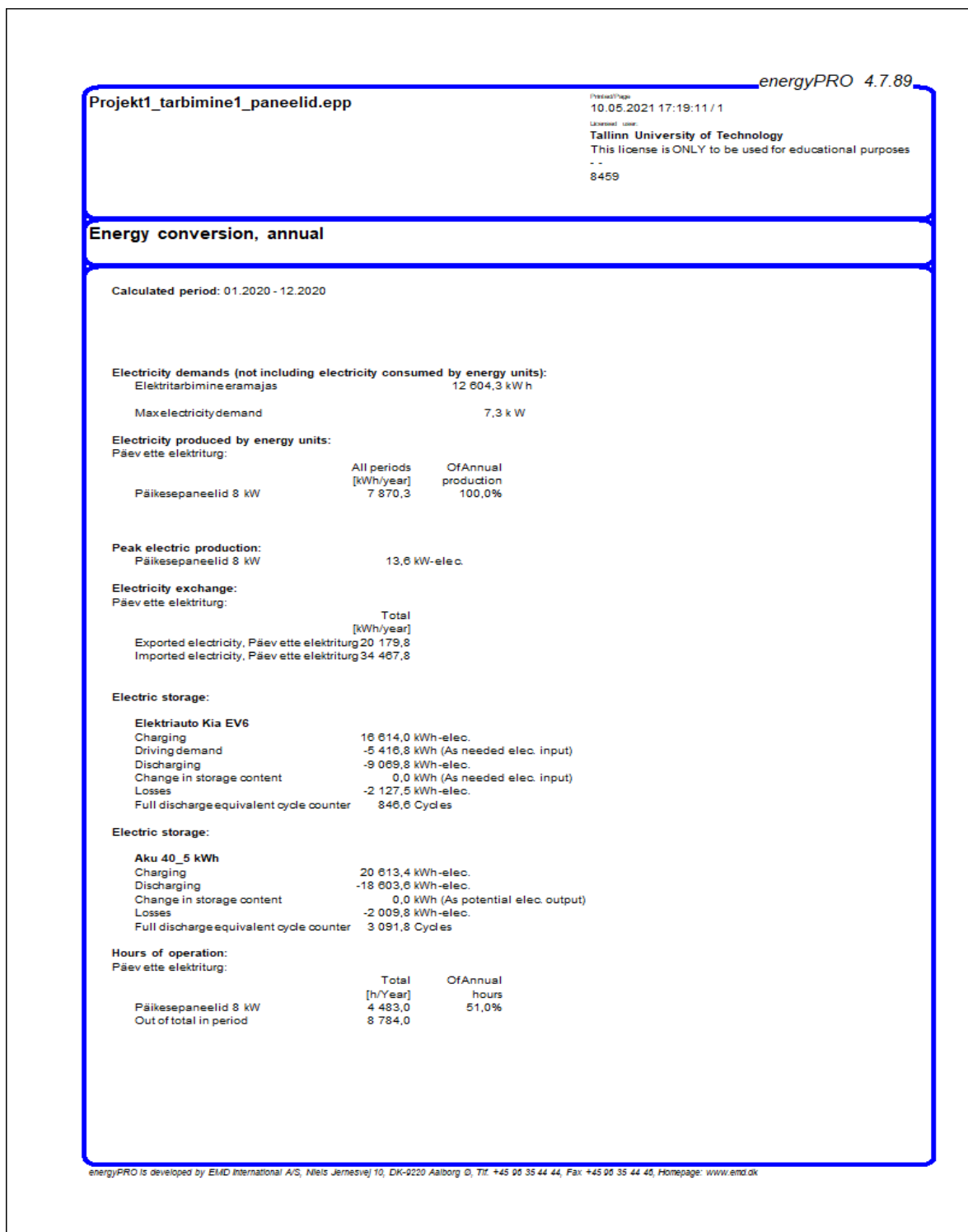
Lisa 7 Haja- ja taastuvenergeetika salvestuslahenduse harjutusülesanne

Lisa 1 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed koos akulahendusega

energyPRO4.7.89													
Projekt1_tarbimine1_paneelid.epp													
<small>Printed/Save 10.05.2021 17:20:24 / 1 Licensee name Tallinn University of Technology This license is ONLY to be used for educational purposes ... 8459</small>													
Energyconversion,monthly													
Calculated period: 01.2020-12.2020													
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Electricity demand [kWh]	12 604,3	1 054,0	1 598,8	1 512,5	1 154,4	903,3	349,7	378,8	438,3	599,0	913,8	1 355,4	1 750,2
Electricity produced by energy units [kWh]	7 870,3	93,8	281,3	804,4	909,2	1 285,0	1 182,9	1 150,4	944,9	693,6	344,1	127,9	52,8
Exported electricity, Päev ette elektritrig [kWh]	20 179,8	1 117,1	1 194,5	1 787,0	1 874,3	1 608,8	2 066,6	2 273,5	2 340,9	1 936,6	1 681,1	1 156,5	1 163,1
Peak [kW]	13,246	6,375	7,585	11,135	11,083	12,930	13,246	13,066	12,164	11,329	8,522	7,161	6,283
Imported electricity, Päev ette elektritrig [kWh]	34 467,8	3 418,4	3 289,7	3 219,7	2 936,2	2 013,4	2 046,1	2 307,7	2 679,3	2 593,0	3 078,7	3 191,8	3 693,8
Peak [kW]	19,569	18,594	18,634	19,569	18,853	15,720	15,425	18,214	18,254	16,255	16,302	19,280	18,174
Energy unit: Päikesepaneelid 8 kW													
Elec. prod. [kWh]	7 870,3	93,8	281,3	804,4	909,2	1 285,0	1 182,9	1 150,4	944,9	693,6	344,1	127,9	52,8
Turn ons	366	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Operating hours	4 483	222	269	369	430	517	526	528	475	382	317	231	217
Full load operating hours	984	12	35	101	114	161	148	144	118	87	43	16	7
Utilization factor [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Total efficiency [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Elektriauto Kia EV6 [kWh]													
Charging	16 614,0	1 310,3	1 323,8	1 369,5	1 414,1	1 483,2	1 391,7	1 420,8	1 445,6	1 349,5	1 409,5	1 345,9	1 370,2
Discharging	-9 069,8	-735,6	-707,2	-787,0	-782,7	-785,0	-765,8	-786,2	-806,8	-729,1	-793,1	-714,9	-716,2
Change in storage content	4 387,6	325,8	365,1	342,2	382,7	400,2	361,4	364,7	364,0	348,5	375,3	393,7	393,7
Losses	-3 156,7	-900,5	-881,7	-944,7	-1 034,0	-1 078,3	-987,2	-999,4	-1 002,9	-984,3	-964,9	-1 006,3	-1 047,6
Full discharge equivalent cycle counter	846,6	10,6	20,7	31,7	42,7	53,9	64,9	76,2	87,8	98,3	109,7	119,9	130,2

energyPRO is developed by EMD International AS, Nøis Jernveej 10, DK-2020 Åsborg Ø, Tlf: +45 99 35 44 44, Fax: +45 99 35 44 40, Homepage: www.emd.dk

Lisa 2 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed koos akulahendusega

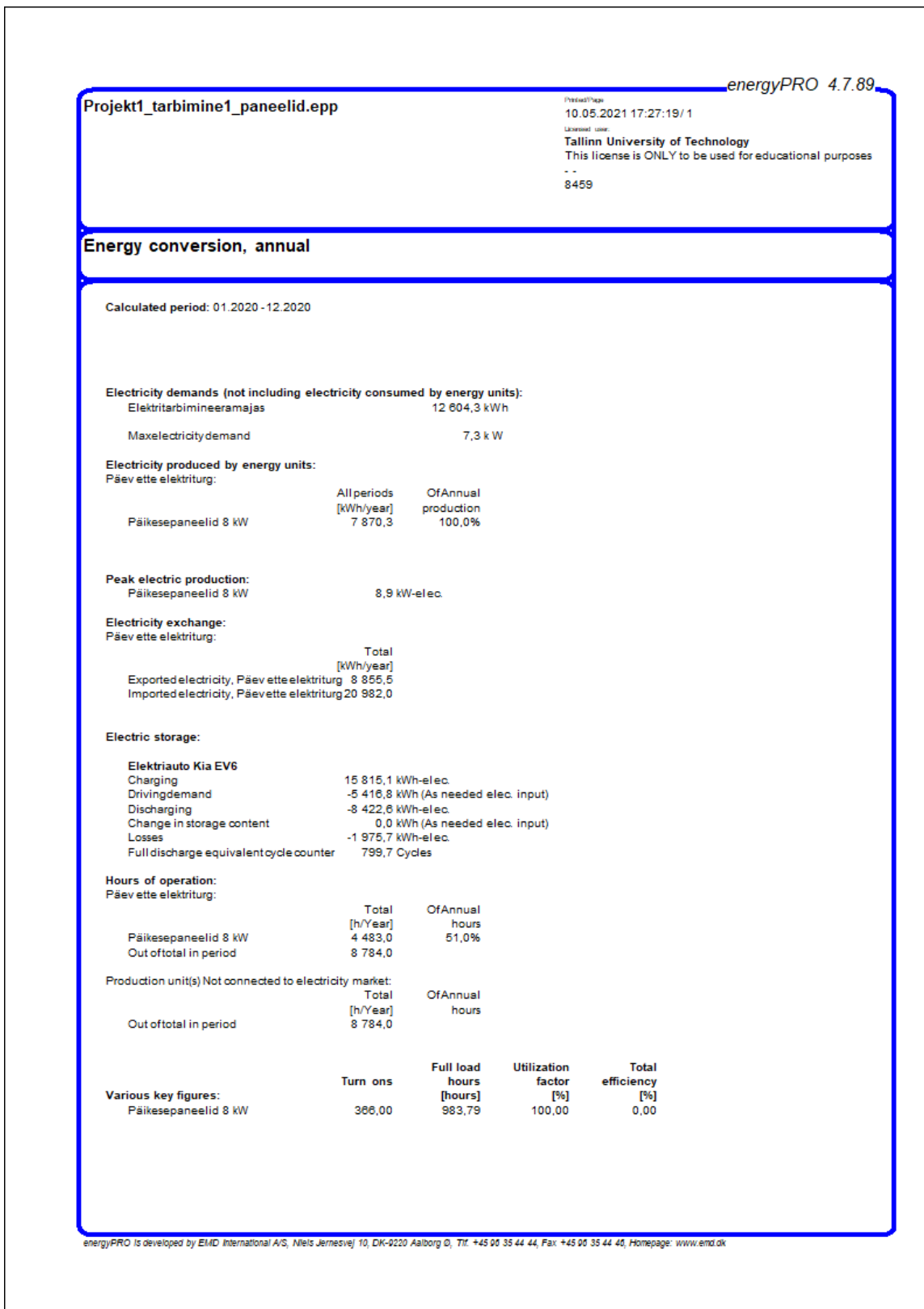


Lisa 3 Elektritarbimise ja tootmise 2020 andmed ilma akulahendusest

energyPRO4.7.89													
Projekt1_tarbimine1_paneelid.epp													
Printed/Save 10.05.2021 17:28:13/1													
Licensee: user													
Tallinn University of Technology													
This license is ONLY to be used for educational purposes													
..													
8469													
Energyconversion,monthly													
Calculated period: 01.2020 - 12.2020													
	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Electricity demand [kWh]	12 604,3	1 654,0	1 596,8	1 512,5	1 154,4	903,3	349,7	376,8	438,3	599,0	913,8	1 355,4	1 750,2
Electricity produced by energy units [kWh]	7 870,3	93,8	281,3	804,4	909,2	1 285,0	1 182,9	1 150,4	944,9	693,6	344,1	127,9	52,8
Exported electricity, Päev ette elektriturg [kWh]	8 855,5	149,8	156,2	589,2	753,0	1 283,1	1 537,4	1 519,4	974,2	965,0	598,6	231,1	98,6
Peak [kW]	8,738	1,432	2,585	7,473	7,629	8,262	8,738	8,066	7,258	6,597	4,063	2,161	1,417
Imported electricity, Päev ette elektriturg [kWh]	20 982,0	2 311,0	2 059,7	1 889,4	1 652,4	1 625,5	1 325,8	1 404,8	992,9	1 526,5	1 793,1	2 089,7	2 431,2
Peak [kW]	15,123	13,594	15,123	12,360	13,853	13,105	12,565	13,388	12,217	11,789	13,341	14,280	12,721
Energy unit: Päikesepaneelid 8 kW													
Elec. prod. [kWh]	7 870,3	93,8	281,3	804,4	909,2	1 285,0	1 182,9	1 150,4	944,9	693,6	344,1	127,9	52,8
Turn ons	366	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Operating hours	4 483	222	269	369	430	517	526	528	475	382	317	231	217
Full load operating hours	984	12	35	101	114	161	148	144	118	87	43	16	7
Utilization factor [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Total efficiency [%]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Elektriauto Kia EV6 [kWh]													
Charging	15 815,1	1 314,6	1 259,1	1 355,5	1 388,8	1 420,8	1 376,0	1 432,4	910,2	1 414,4	1 399,2	1 256,9	1 287,3
Discharging	-8 422,6	-713,6	-871,0	-763,3	-734,7	-796,7	-754,4	-773,5	-384,8	-758,3	-774,4	-845,8	-652,2
Change in storage content	4 387,6	351,3	348,8	334,7	390,2	354,2	360,2	368,8	352,4	387,3	358,9	372,3	390,5
Losses	-3 004,9	-952,3	-936,8	-926,9	-1 044,3	-978,3	-961,9	-1 045,7	-877,8	-1 043,4	-983,6	-983,4	-1 025,6
Full discharge equivalent cycle counter	799,7	10,2	19,9	30,8	41,4	52,8	63,6	74,8	80,3	91,2	102,3	111,5	120,9

energyPRO is developed by EMD International AS, Nils Jernsvej 10, DK-2220 Aalborg Ø, Tlf: +45 99 35 44 44, Fax: +45 99 35 44 40, Homepage: www.emd.dk

Lisa 4 Elektritarbimise ja tootmise 2020 kuude andmed ilma akulahendusest



Lisa 5 Tasuvusanalüüs koos lisa akulahendusega

(All amounts in EUR)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Revenues																									
Elektri müük võrku	353	320	345	324	348	336	341	302	332	341	328	324	321	329	319	336	320	334	291	325	315	332	311	319	317
Võrguleenus	-10	14	-14	2	-13	-8	-12	15	-13	-16	-11	-11	-6	-22	-16	-24	-17	-27	3	-30	-16	-34	-22	-26	-32
Aktšis	5	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
Elektrienergia	198	200	197	202	195	198	197	202	197	194	196	197	201	192	197	190	193	193	198	192	190	187	194	191	189
Ostumarginaal	8	7	8	7	8	8	8	7	8	9	8	8	8	9	8	9	8	9	8	9	8	9	9	9	9
Total Revenues	553	545	541	540	544	540	539	530	529	532	526	523	528	512	513	515	510	514	503	502	502	501	496	498	489
Operating Expenditures																									
Püsikulu päikesepaneelid	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Müügin marginaal	11	10	11	10	11	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	10
Total Operating Expenditures	111	110	111	110	111	110	110	109	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	109	110	109	110	109	110	110
Net Cash from Operation	442	435	430	430	433	429	428	421	419	421	416	413	419	402	404	405	400	404	394	392	393	390	387	389	379
Investments																									
Investeering	13 053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inverter 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Paigaldus päikesepaneelid	2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uued akud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8 483	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Investments	15 553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9 903	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash From Long Term Financing																									
Pangalaen	15 533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cash From Long Term ...	15 533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Debt service																									
Pangalaen	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079
Total Debt service	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079	1 079
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-657	-644	-649	-649	-646	-649	-650	-657	-660	-657	-663	-665	-10 663	-677	-675	-673	-679	-675	-684	-687	-686	-688	-692	-690	-700
Cash Account	-657	-1 300	-1 949	-2 898	-3 244	-3 893	-4 544	-5 201	-5 861	-6 518	-7 181	-7 846	-10 409	-19 086	-19 761	-20 435	-21 113	-21 788	-22 472	-23 159	-23 845	-24 533	-25 225	-25 916	-26 615

Lisa 6 Tasuvusanalüüs ilma lisa akulahendusest

(All amounts in EUR)

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044
Revenues																									
Elektri müük võrku	210	202	201	208	209	202	200	191	200	201	197	193	189	189	190	193	186	183	178	177	186	182	177	175	170
Võrguteenus	29	28	25	21	20	24	25	28	19	18	18	20	21	14	15	14	17	18	17	13	12	11	13	15	10
Aktiaid	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Elektrienergia	141	137	140	137	135	136	138	135	138	134	133	135	135	135	134	131	133	136	131	132	131	131	131	134	131
Ostumarginaal	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total Revenues	387	373	372	373	371	369	369	359	364	361	356	356	352	345	347	345	343	344	333	330	337	331	329	330	318
Operating Expenditures																									
Päikeseenergia	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Müüjimaginaal	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Total Operating Expenditures	108	108	108	108	108	108	108	107	108	108	108	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Net Cash from Operation	279	266	264	265	263	261	261	251	256	253	248	248	245	237	239	238	236	237	226	223	230	224	222	224	211
Investments																									
Investeering	4 550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inventar 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Päikeseenergia	2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Investments	7 050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash From Long Term Financing																									
Pangalaen	7 050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Cash From Long Term ...	7 050	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Debt service																									
Pangalaen	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490
Total Debt service	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490
Total Interest on Cash Account	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cash Surplus	-211	-224	-225	-225	-227	-228	-228	-238	-233	-237	-241	-241	-1 994	-252	-250	-252	-253	-252	-264	-266	-260	-266	-267	-266	-278
Cash Account	-211	-435	-660	-885	-1 112	-1 340	-1 568	-1 807	-2 040	-2 277	-2 516	-2 759	-4 424	-4 676	-4 926	-5 176	-5 432	-5 684	-5 946	-6 214	-6 474	-6 739	-7 006	-7 272	-7 551

Lisa 7 Haja- ja taastuvenergeetika salvestuslahenduse harjutusülesanne

Töö eesmärk

Praktikumi eesmärgiks on elektriauto laadimisprofiili ja salvestuslahenduse modelleerimine energyPRO tarkvara abil.

Töö teoreetiline taust

Antud laboratoorse töö eesmärk on simuleerida energyPRO tarkvara abil eramaja tarbimine ja tootmine taastuvatest energiaallikatest. Lisaks kasutatakse elektriautot, mis tuleb lisada mudelisse nii salvesti kui ka tarbijana.

Töö käik:

1. Elektritarbimise modelleerimine
2. Elektritootmise modelleerimine tuulik
3. Elektritootmise modelleerimine päikesepaneelid
4. Elektrituru lisamine
5. Elektriauto lisamine

Elektritarbimise ja tootmise modelleerimine

Üldised sisendandmed:

Project calculation module: Design

Planning period (External conditions): 01.01.2020-01.01.2021

External conditions: välistemperatuuri, päikesekiirguse, tuulekiiruse mõõteandmed Tallinna kohta (Online data), Time Series -> add new time series -> excel_driving_demand

Elektri tarbimine:

Electricity demand: As timeseries – excel fail

Elektrituuliku modelleerimine:

Sisendandmed leida:

Andmeleht: <https://media.voog.com/0000/0040/7794/files/TUGE10%20datasheet.pdf>

Päikesepaneelide modelleerimine:

Sisendandmed leida:

Andmeleht: https://comerciosolar.es/fichas/21039_ficha_tecnica.pdf

Day ahead market modelleerimine:

elektriturg (Electricity markets -> New Day ahead market)

time series lisa elektrituru hinnad, exceli saab moodlest

Elektrituuliku modelleerimise kontrollküsimused:

Mitu kWh elektrit elektrituulik nüüd aastas toodab?

Millises kuus on toodang suurim?

Millises kuus on toodang väikseim?

Mil määral sõltub aastane elektrienergia toodang sellest, mis aasta tuulekiiruse andmeid kasutada (katseta vähemalt kolme erineva aastaga)?

Päikesepaneeli modelleerimise kontrollküsimused:

Mitu kWh elektrit päikesepaneelid aastas toodavad?

Millises kuus on toodang väikseim?

Mil määral sõltub aastane elektrienergia toodang selles, milline on paneeli kaldenurk?

Mil määral sõltub aastane elektrienergia toodang selles, milline on paneeli kõrvalekalle lõunasuunast?

Mil määral mõjutab tulemust see, millise mõõtejaama andmeid kasutati (katseta vähemalt kolme erineva asukohaga)?

Kuidas hindad päikesepaneelide ja tuuliku koostööd?

Elektriauto lisamine nii tarbijana kui ka salvestina

Elektriauto modelleerimine:

Storages -> add electrical storage -> add E-cars

Capacity: valida ise meeldiv elektriauto, põhjendad valikut, leiad aku mahtuvuse

Näide: Tesla model X, Kia EV6

Charging power: Otsida sobiva võimsusega kodulaadija

Discharging power: 3,6 kW

Efficiency: 90%

Charging Restrictions -> Depending on driving deman

Elektriauto modelleerimise kontrollküsimused:

Kuidas mõjutab salvestuslahendus võrgust ostetava elektrienergia hulka?

Kuidas sobiks ajastada elektriauto laadimist elektritarbimisse?

Kui palju elektrienergiat ostetakse elektrivõrgust?

Kui palju elektrienergiat müüakse elektrivõrku?

Selgita võrgu toimimist, kui võrgus on päikesepaneelid, elektrituulik ja elektriauto. Mis muutub, kui jätta ära üks kolmest lahendusest?