



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

TEISALDATAV PÄIKESEELEKTRIJAAM

TRANSPORTABLE SOLAR POWER STATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jaan Särg

Üliõpilaskood: 163070AAHM

Juhendaja: Elmo Pettai

Tallinn, 2018.a.

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.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jaan Särg	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> TEISALDATAV PÄIKESEELEKTRIJAAM	
<i>Kuupäev:</i> 25.05.2018	64 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool <i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond <i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> dotsent Elmo Pettai <i>Töö konsultant (konsultandid):</i> –	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Lõputöö ajendiks on hajatootmisseadmete kasutamise võimalikkuse uurimine alternatiivina traditsioonilisele elektrivõrgule. Töö eesmärgiks on koostada päikeseelektrijaama teisaldatav tehniline lahendus, mida saaks hõlpsasti ühendada saartalitudes toimiva kodumajapidamise mikroelektrivõrku.</p> <p>Töö on jaotatud viieks peatükiks, millest esimene annab ülevaate päikeseenergia ressursi iseärasustest ja selle kasutamise ajaloost. Peatüki teises pooles kirjeldatakse päikesepaneelide tootlikkust mõjutavaid tegureid.</p> <p>Teine peatükk annab ülevaate erinevatest päikesejaamadest, nende eelistest ja puudustest.</p> <p>Kolmandas peatükis käsitletakse mikroelektrivõrkude elektrivarustuskindluse tagamise põhimõtteid ning elektrikvaliteedi küsimusi.</p> <p>Töö neljandas peatükis kaardistatakse maapiirkonna kodumajapidamise energiavajadused ning tuuakse välja teisaldatava päikesejaama tehnilised erisused sõltuvalt asukohast.</p> <p>Viimases peatükis koostatakse teisaldatavast jaamast tehnilised joonised lähtuvalt töö käigus tekkinud tehnilistele nõuetele ja hinnatakse jaama koostamise perspektiivikust.</p>	
<i>Märksõnad:</i> päikeseenergia, päikesepaneel, taastuvenergeetika, hajatootmine, saartalitus, mikrovrk, aku, inverter	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jaan Särg	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> TRANSPORTABLE SOLAR POWER STATION	
<i>Date:</i> 25.05.2018	64 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Associate Professor Elmo Pettai <i>Consultant(s):</i> –	
<i>Abstract:</i> The purpose for writing this Master's thesis is to research the possibility of using a distributed generation equipment as an alternative to the traditional electricity grid. The aim of the thesis is to design a transportable solar power plant that can be easily connected to the household which is operating in an island mode. The thesis is divided into five chapters. The first one is giving an overview of the peculiarities of the solar energy resource and the history of its use. The second half of the chapter describes the factors affecting the productivity of solar panels. The second chapter provides an overview of the different solar plants, their advantages and disadvantages. The third chapter concerns the principles of ensuring the security and quality of electricity supply of microgrid. The fourth chapter of the work outlines the electricity needs of rural households and outlines the technical specifications for the portable solar station, depending on the location. In the last chapter, technical drawings are being created of the transportable power station based on the technical requirements generated during the process of the thesis. The prospects of developing the power station are being assessed.	
<i>Keywords:</i> solar energy, solar panel, renewable energy, distributed generation, island operation, microgrid, battery, inverter	

1 Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	6
Eessõna	8
Sissejuhatus.....	9
1. Päikeseenergia	10
1.1. Päikeseenergia kasutamise ajaloost	10
1.2. Päikeseenergia geograafiline jaotumine.....	11
1.3. PV-paneelid.....	14
1.4. PV-paneelide tootlikkust mõjutavad tegurid.....	14
1.4.1. PV-paneelide kaldenurk ja asimuut.....	14
1.4.2. Varjud ja mustus	17
1.4.3. Temperatuur.....	18
2 Ülevaade erinevatest tehnilistest lahendustest.....	20
2.1. Statsionaarsed hübriidpäikesejaamad	20
2.1.1. Hübriidsüsteem Lõuna-Eestis.....	21
2.2. Võrguühenduseta päikesejaamad.....	22
2.2.1. Elektrilevi off-grid projektid.....	23
2.2.2. Elektrilevi hajajaam.....	24
2.3. Mobiilsed päikesejaamad.....	24
3 Elektrivarustuskindluse ja -kvaliteedi tagamine mikroelektrivõrkudes	26
3.1. Võrguvaba lahenduse dimensioneerimisest.....	26
3.1.1. Akupanga suuruse määramine.....	27
3.1.2. PV-paneelide võimsuse määramine.....	27
3.1.3. Laadimisparameetrid.....	29
3.2. Elektrikvaliteet mikrovõrgus.....	30
3.2.1. Inverterite pingekvaliteet.....	31
4 Teisaldatava päikeselektrijaama tehnilised nõuded.....	32
4.1. Maapiirkonna kodumajapidamise energiavajaduste kaardistamine.....	32
4.2. Liitumisnõuded mikrovõrgu sidumisel kohaliku jaotusvõrguga.....	33
4.3. Teisaldatava päikeselektrijaama nõuded sõltuvalt geograafilisest asukohast	34
4.3.1. Lisatoite allika olemasolu	35
4.3.2. Temperatuur.....	35
4.3.3. Paneelide kaldenurk.....	35
5 Teisaldatava päikeselektrijaama projekteerimine	36
5.1. Konstruktsioon.....	36
5.2. Päikesepaneelid.....	43
5.3. Seadme korpus.....	44
5.3.1. Akud.....	45
5.3.2. Laadimiskontroller.....	46
5.3.3. Inverter.....	47
5.3.4. Juhtimissüsteem.....	47
5.4. Plokkskeem.....	49
5.5. Projekti kokkuvõte.....	50
Kokkuvõte.....	53
Lisa 1.....	61
Lisa 2.....	62
Lisa 3.....	63
Lisa 4.....	64

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Teisaldatav päikeseelektrijaam
Üliõpilane:	Jaan Särg, 163070AAHM
Eriala:	Hajaenergeetika
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Elmo Pettai
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	
Lõputöö esitamise tähtaeg:	25.05.2018

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus:

Inimeste mobiilsuse kasvades pole elektrijaotusvõrgul alati majanduslikult mõistlik rajada püsivat elektriühendust maapiirkonna kõikidesse elukohtadesse. Kui piirkonnas jääb elanikke vähemaks, siis muutub elektrijaotusvõrgu ettevõtte jaoks küsitavaks ka juba olemasolevate liinide rekonstrueerimise rentaablus. Probleemi üheks lahenduseks on taastuvenergia kohalik tootmine ja kasutamine ning selle teostamiseks vajalike saartalituses töötavate teisaldatavate elektritootmiseseadmete ja kohalike tarbijate mikroelektrivõrkude varustuskindluse arendamine.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida teisaldatava päikeseelektrijaama loomise perspektiivikust ning koostada päikeseelektrijaama selline tehniline lahendus, millist saaks hõlpsasti ühendada saartalituses toimiva kodumajapidamise mikroelektrivõrku.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Ülevaade päikeseenergia tootmisest ja kasutusest Põhjamaade maapiirkondades.
2. Ülevaade jaotusvõrguga seotud, kuid sellest vajadusel isoleeritavate mikroelektrivõrkude ülevaade, nende tehnilised lahendused ja edasised arengusuunad.

3. Elektrivarustuskindluse tagamine mikroelektrivõrkudes. Erinevad võimalused ja tehnilised lahendused erinevatele kasutajagruppidele (sh. kodumajapidamistele). Vajadusel uute tehniliste ideede esitamine (leiutamine).
4. Teisaldatavale päikeseelektrijaamale esitatavate tehniliste nõuete koostamine:
 - (a) Maapiirkonna kodumajapidamise (potentsiaalse kliendi) energiavajaduste kaardistamine;
 - (b) liitumisenõuete täpsustamine mikrovõrgu sidumisel kohaliku elektrijaotusvõrguga;
 - (c) Tehniliste ja majanduslike nõuete erinevuste esiletoomine teisaldatava päikeseelektrijaama kasutamisel Euroopa põhja- ja lõunapiirkonna maades (koostada võrdlev tabel).
5. Püstitatud (esialgsetele) tehnilistele ja majanduslikele nõuetele vastava päikeseelektrijaama projekteerimine (tehnilise eskiislahenduse loomine ja tehnilise dokumentatsiooni koostamine).
6. Kokkuvõtte päikeseelektrijaama arendustööst ja selle tootmisvõimaluste analüüs.

Lähteandmed:

Lähteandmetena kasutatada infot ja teadmisi, mis on saadud töötamisel firmas Elektrilevi. Samuti konsulteerida potentsiaalsete klientidega (määratleda turusegment) ja oma ala spetsialistidega.

Eessõna

Käesoleva magistritöö teema valik tuli seoses töötamisega Elektrilevi OÜ Võrgu tehnoloogia osakonnas. Elektrilevis töötamise käigus olen tegelenud võrguühenduseta elektrisüsteemide pilootobjektide piloteerimise ning korrashoiuga. Tulenevalt tööülesannetest süvenes huvi autonoomsete elektrivarustuslahenduste ning nende tehnilise ülesehituse osas. Uurimistöö teema piiritlemisel ning probleemide püstitusega aitas lõputöö juhendaja.

Käesoleva töö koostamisel kasutatud info pärineb erinevatest publikatsioonidest, teadusartiklite andmebaasidest, praktilistest mõõtmistest ja Elektrilevi OÜ andmelaost.

Soovin tänada oma kolleege Elektrilevist, lõputöö juhendajat, õppejõude, kursusekaaslaseid, Andres Jõgedat, Ott Antsmaad, Roland Murakat, Sten Aani, Rein Pinni, Rauno Raudseppa, Antsu ja Kerstit, tänu kellele käesolev töö valmis.

Jaan Särg

Mäe 2, Elva, Tartumaa

jaan.sarg@gmail.com

+372 5810 5033

Sissejuhatus

Taastuvate energiaallikate kasutamine elektrienergia tootmiseks suureneb iga aastaga. Traditsiooniline elektrivõrk, kus energia toodetakse suurtes elektrijaamades, on muutumas keeruliseks võrgustikuks, kus energiavood liiguvad mitmes suunas. Hajatootmine, kus toodetud elektrienergia tarbitakse ära kohapeal, võimaldab vähendada elektrivõrgus tekkivaid ülekandekadusid ning vähendada liinide koormatust. Pikkade elektriliinide ülevalpidamine ning uuendamine on elektrijaotusvõrgu ettevõttele suur kulu. Kui maapiirkondades elanike arv väheneb, muutub ettevõtte jaoks küsitavaks olemasolevate liinide rekonstrueerimise rentaablus.

Samal ajal leidub inimesi, kes sooviksid endale rajada suvila või elamu looduskaunisse kohta, kuid elektriühenduse loomine osutub majanduslikult ebamõistlikult kalliks.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida teisaldatava päikeseelektrijaama perspektiivikust ning koostada päikeseelektrijaama selline tehniline lahendus, mida saaks hõlpsasti ühendada saartalitluses toimiva kodumajapidamise mikroelektrivõrku.

Töö esimeses peatükis antakse ülevaade päikeseenergiast ja selle kasutamise ajaloost. Analüüsitakse päikeseressursi jaotumist Euroopas ning tutvustatakse erinevaid päikesepaneele. Peatüki lõpus antakse ülevaade päikesepaneelide tootlikkust mõjutavatest teguritest.

Töö teine peatükk on suunatud erinevatele tehnilistele lahendustele, mis käesoleva teemaga haakuvad. Nendeks on statsionaarsed hübriidpäikesejaamad, võrguühenduseta (*off-grid*) päikesejaamad ning mobiilsed päikesejaamad.

Kolmandas peatükis keskendutakse mikroelektrivõrkude elektrivarustuskindluse ning elektrikvaliteedi tagamise küsimustele. Peatükis kirjeldatakse mikrovõrgu suuruse planeerimise aluseid – sealhulgas aku ning paneelide dimensioneerimist vastavalt elektrienergia tarbimisele.

Töö neljandas peatükis antakse ülevaade maapiirkonna kodumajapidamise elektrienergia vajadusest, samuti tuuakse välja nõuded mikrovõrgu sidumisel kohaliku jaotusvõrguga. Peatüki lõpus on välja toodud tabel teisaldatava päikesejaama tehniliste erisuste kohta sõltuvalt geograafilisest asukohast.

Viiendas ehk viimases peatükis on eelnevate peatükkide põhjal kogutud andmete põhjal koostatud AutoCAD tarkvaraga tehniline projekt, mis koosneb raamistiku projekteerimisest ning vajalike seadmete valikust. Samuti on tehtud projektist kokkuvõtte.

1. Päikeseenergia

1.1. Päikeseenergia kasutamise ajaloost

Päikesenergia sihipärasest kasutamisest leidub ajaloos andmeid 7. sajandist e.m.a. Algselt kasutati päikesekiirgust suurendusklaasi abil tule süütamisel. Hiljem, 3. sajandil e.m.a, kasutasid kreeklased ja roomlased peegleid päikesekiirte koondamiseks, et süüdata tõrvikuid [1]. Tänapäeva mõistes pani päikeseenergia kasutamisele aluse prantsuse teadlane Edmond Becquerel, kes avastas 1839. aastal fotogalvaanilise efekti, mille tulemusena suurenes tema elektrolüütilise seadme tootlikkus langeva valguse suurenedes. Seade koosnes kahest metallelektroodist, mis olid paigutatud elektrit juhtivasse lahusesse. Esimese fotogalvaanilise elemendi valmistas 1883.a. New York'i leiutaja Charles Fritts, kes kandis seleenile õhukese kihi kulda. Sellise elemendi kasutegur jäi 1-2% vahele. Räni kasutuselevõtt 1953 a. suurendas fotoelementide kasuteguri 6%-ni ja 1956 a. alustas Western Electric ränitehnoloogial põhinevate päikesepaneelide jaemüügiga. Kalli hinna tõttu ei osutunud päikesepaneelid alguses kuigi populaarseks. Aastal 1958 võeti päikeseenergia kasutusele kosmoses, kui orbiidile lennutati fotoelektriliste elementidega varustatud satelliit Vanguard 1 (Joonis 1.1), mis tiirleb seal siiani ja on hetkel vanim inimese poolt orbiidile lennutatud satelliit. [2] [3]

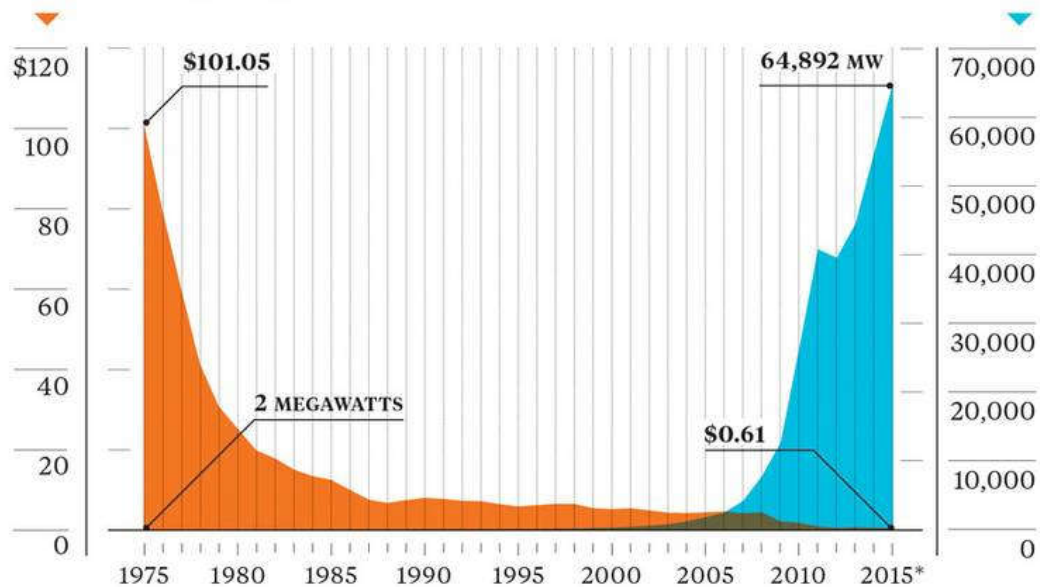


Joonis 1.1 Satelliit Vanguard 1 [4]

Tehnoloogia arenedes on päikesepaneelide hind olnud pidevas languses, mille tulemusena on viimasel kümnendil päikesepaneelide installeeritud võimsus hoogsalt kasvanud. Kui aastal 1975 maksis 1W ligikaudu 100 \$, siis nüüdseks on hind langenud üle saja korra (Joonis 1.2). [5]

Päikesepaneeli hind 1W kohta

Installeeritud PV- koguvõimsus maailmas



Joonis 1.2 Päikesepaneelide hinna muutus ja installeeritud võimsus [6]

Aastal 2015 toimus ÜRO Pariisi kliimakonverents, kus lepiti ülemaailmselt kokku kliimamuutuste kontrolli all hoidmises. Euroopa Liit on seadnud aastaks 2030 järgnevad eesmärgid [7]:

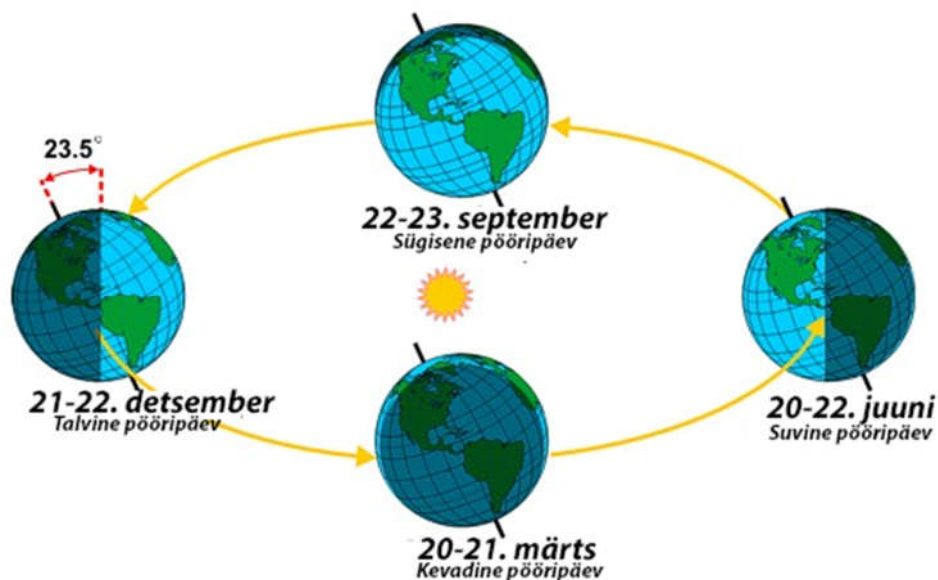
- kasvuhoonegaaside heitkoguse vähendamine vähemalt 40%, 1990. aastaga võrreldes
- taastuvatest energiaallikatest saadav energia vähemalt 27% kogu energiast
- energiatõhususe suurendamine vähemalt 27%

Tulenevalt üha rangematest keskkonnanõuetest ning tehnoloogia arengut silmas pidades, võib arvata, et joonisel 1.2 väljatoodud trendid jätkuvad.

1.2. Päikeseenergia geograafiline jaotumine

Päikeseenergia on jaotunud üle maailma ebaühtlaselt. Suurim erinevus toimub päikesekiirguse suhtes ööpäeva lõikes öö ja päeva vaheldumisega. Samuti sõltub päikesekiirguse intensiivsus aastaegade vaheldumisest, mis on tingitud Maa kaldenurgast päikese suhtes. Maa elliptilise kuju tõttu langeb päikesekiirgus maapinnale erineva nurga all varieerudes 0° horisondi piirilt

kuni 90° otse peakohalt. Kui päikesekiired langevad maale vertikaalselt, langeb Maale maksimaalne kogus energiat. Mida suurema kalde all päikesekiired Maale langevad, seda pikem on nende teekond läbi atmosfääri ning seetõttu on ka hajumine suurem [8]. Joonisel 1.3 on välja toodud, kuidas mõjutab Maa kaldenurk aastaegade vaheldumist. Näiteks suvise pööripäeva ajal on näha, et põhjapoolus asetseb päikese poole suunatult, mille tulemusena on põhjapoolusel polaarpäev. Samal ajal on lõunapoolusel polaaröö. Talvise pööripäeva ajal on põhjapoolus suunatud päikesest eemale, mistõttu on sel ajal seal polaaröö ja samuti on päevad põhjapoolkeral lühemad. [9]

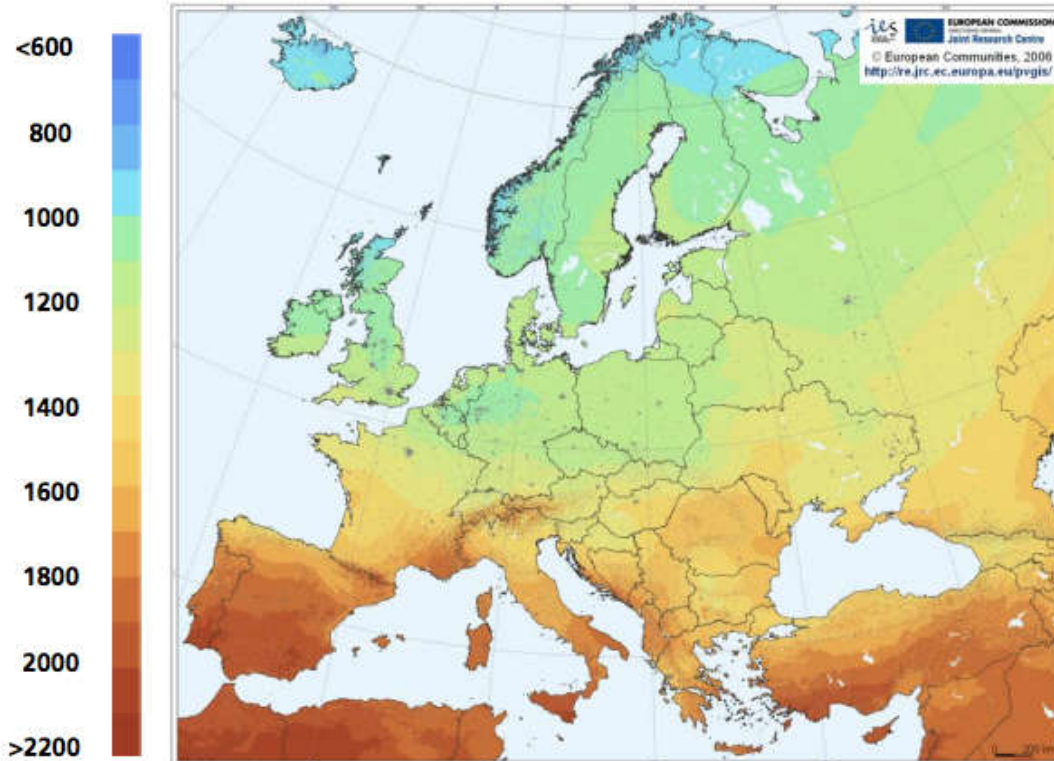


Joonis 1.3 Pööripäevad ja aastaegade vaheldumine [8]

Reegel on, et poolustel on saadaolev päikeseenergia kogus väiksem kui ekvaatoril. Seda ilmestab päikesekiirguse jaotumise kaart, mis on välja toodud joonisel 1.4. Põhja-Euroopa ja Lõuna-Euroopa päikesekiirgus erineb üle kahe korra. Kui aastane päikesekiirguse hulk Lõuna-Euroopas küündib üle $2\,000\text{ kWh/m}^2$, siis Skandinaavia poolsaare põhjaosas jääb saadav energiahulk alla $1\,000\text{ kWh/m}^2$. Aastaegade suure kontrasti tõttu on Põhjamaades koondunud suurem osa saadavast päikeseenergiast suvisele perioodile, mistõttu on talvel vaja kasutada muid võimalikke energiaallikaid. Lühiajaliselt on võimalik puudujääva energia kompenseerimiseks kasutada energiasalvesteid, et tagada elektrivarustus öötundideks või ka pilviste ilmade korral.

Päikesekiirus

kWh/m²/a



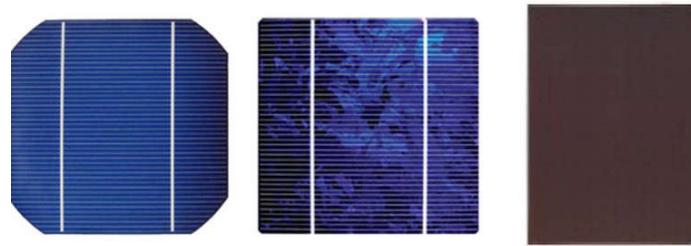
Joonis 1.4 Päikesekiirguse jaotumine Euroopas [9]

Käesolev töö keskendub enamjaolt Põhja-Euroopale, kus päikesekiirguse intensiivsus on madalam. Joonisel 1.4 on näha, et päikeseenergia olud on Põhjamaades küllaltki sarnased. Seetõttu on piisav, kui kiirgusandmete jaoks võtta näiteks vaid Soome, kus päikesekiirus on jaotunud energiaühiku alusel võõnditeks. Eesti ja Lõuna-Soome on kiirgushulgalt küllaltki sarnased, kus aastas langeb ühele ruutmeetrile üle 1 100 kWh. Kesk-Soomes jääb kiirgushulk 1 000 kWh juurde ning Põhja-Soomes alla 1 000 kWh/m² kohta. [10]

Päikesepaneelide elektritootlikkuse seisukohalt on oluline teada, et suurim efektiivsus saavutatakse siis, kui paneelile langeb pindalaühiku kohta võimalikult palju päikesekiirgust. Seetõttu on suurima kasumlikkuse saavutamiseks paneelid vaja paigaldada optimaalse nurga alla päikese suhtes. PV- paneelide paigaldamisest tingitud tootlikkuse muutusi on kirjeldatud peatükis 1.4. [10]

1.3. PV-paneelid

Päikesepaneele valmistatakse erinevate tehnoloogiatega ning sellest tulenevalt on ka nende omadused erinevad. On olemas kristallilisel tehnoloogial põhinevad ning amorfse kilega paneelid (Joonis 1.5). Käesolevas töös neist viimast ei käsitleta, kuna nende efektiivsus on madal, jäädes 7-12% vahele [11]. See tähendab, et sama võimsusühiku saamiseks on tarvis suuremat kogust paneele, mis muudab teisaldatava süsteemi mõõtmed suuremaks. [12]

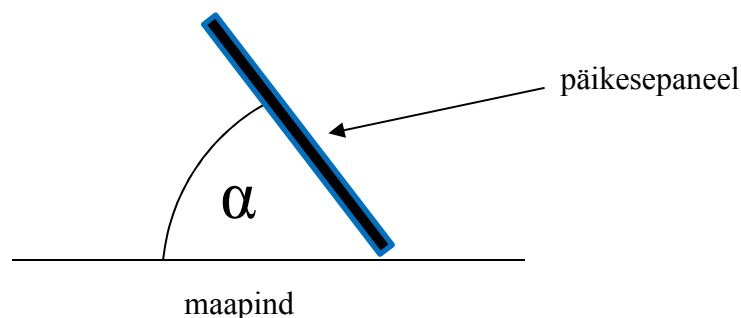


Joonis 1.5 Vasakult monokristalliline, polükristalliline ja amorfse kilega paneel [13]

1.4. PV-paneelide tootlikkust mõjutavad tegurid

1.4.1. PV-paneelide kaldenurk ja asimuut

PV-paneelide paigaldamisel on oluline teada, missugune kaldenurk ja paigutus ilmakaare suhtes on optimaalseim. Eesti laiuskraadil on optimaalseks paneelide paigaldusnurk maapinna suhtes 40° lõunasse suunatult, mis annab aasta lõikes suurima koguse elektrienergiat. Joonisel 1.6 on kujutatud kaldenurka α -ga.

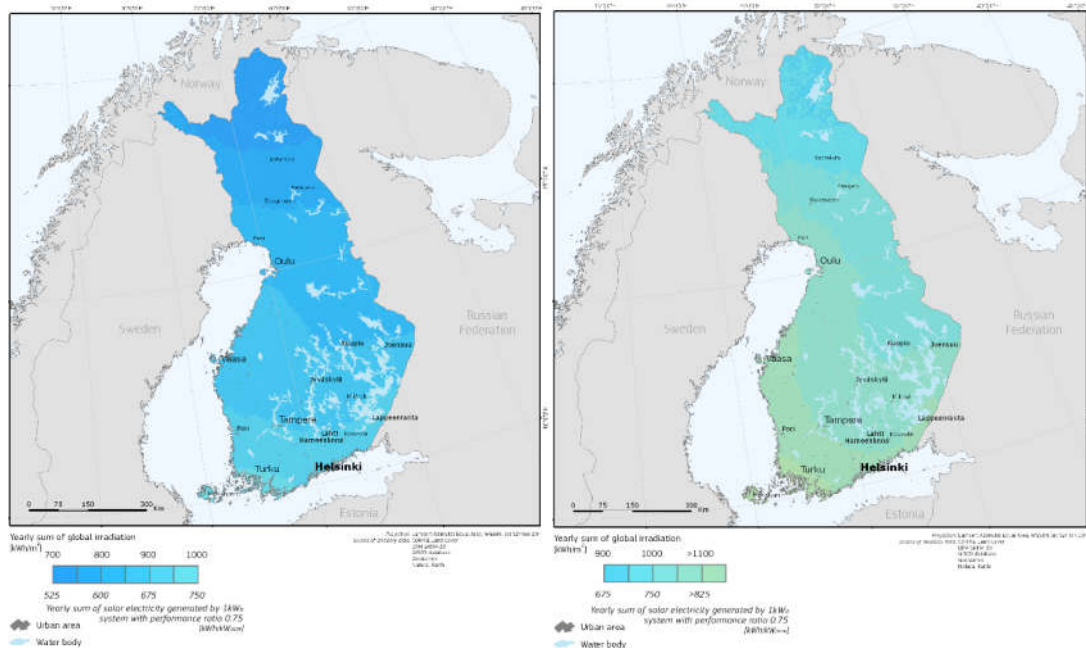


Joonis 1.6 päikesepaneeli kaldenurk, tähistus- α

Süsteemi efektiivsuse suurendamiseks on mõistlik kaldenurka muuta, sõltuvalt hooajast. Suvekuudel on soovituslik paigutus $30-40^\circ$, talvekuudel (november-veebruar) on kasulik

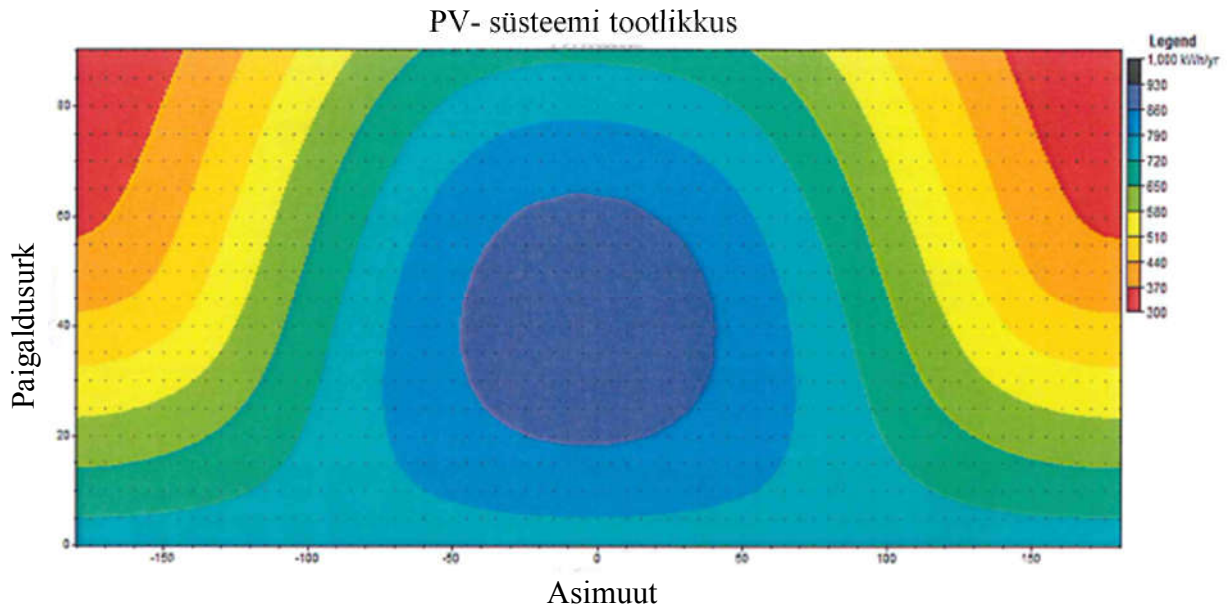
paneelid paigutada 90° nurga alla, kuna see vähendab nende kattumist lumega ning ühtlasi on paneelid paigaldatud päikese suhtes rohkem risti, mis tagab suurema tootlikkuse. [14]

Joonisel 1.7 on välja toodud võrdluseks näide Soome kohta, kus päikesest saadav aastane summaarne energia on sõltuvuses kaldenurgast. Vasakpoolsel joonisel on tegemist horisontaalpinnale langeva kiirgusega ning parempoolsel joonisel on arvestatud 45° nurga all oleva paigutusega.



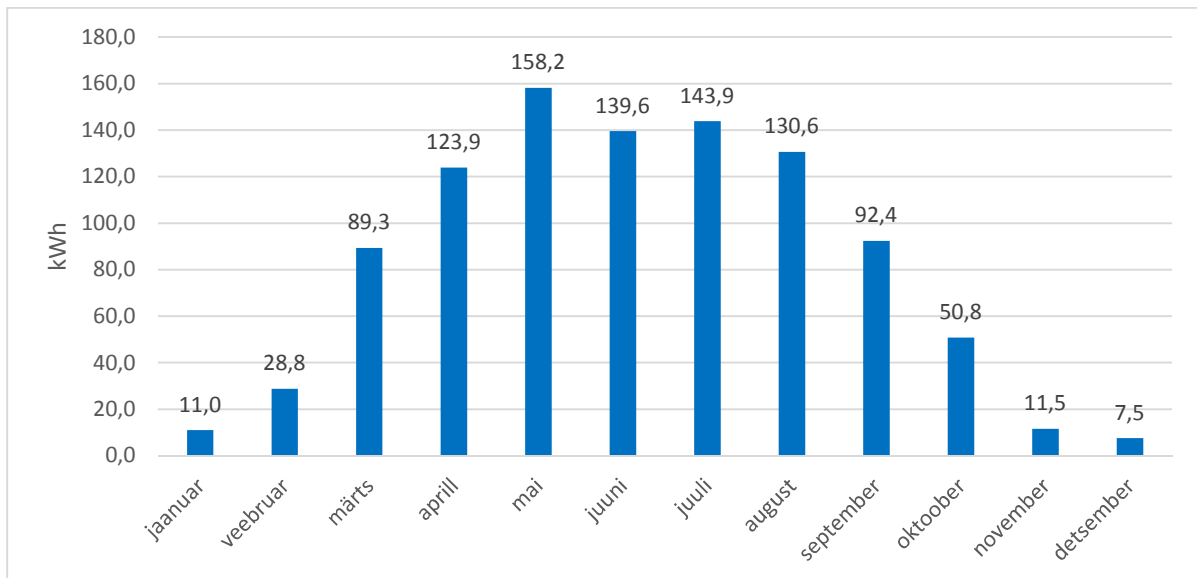
Joonis 1.7 Aastane summaarne kiirgus ning potentsiaalne elektritoodang horisontaalpinnal (vasakpoolne joonis) ning optimaalse kaldenurgaga (45°) pinnal Soomes (parempoolne joonis) [10]

Parema ülevaate 1kW võimsusega PV-süsteemi tootlikkuse Eesti tingimustes erineva kaldenurga ning asimuudi korral annab alljärgnev joonis (Joonis 1.8). Tumesinisega tähistatud ala on optimaalseima paigutusega. Kusjuures aastane tootlikkus võib olla samaväärne ka 20-60 kraadise paigutuse korral. Ühel juhul toodab paneel rohkem suvisel ajal, muul juhul rohkem kevad-sügisel perioodil. Paigaldades PV-süsteemi 90° nurga all põhja suunda, väheneb süsteemi tootlikkus üle 3 korra võrreldes optimaalseima paigutusega.



Joonis 1.8 Ühe kilovatise PV-süsteemi tootlikkus erineva kaldenurga ja asimuudi korral [15]

Järgneval joonisel (Joonis 1.9) on välja toodud päikesepaneelide süsteemi keskmine tootlikkus aastalõikes 40° kaldenurga korral. Kokku toodab 1 kW paneele reaalses oludes 987,5 kWh aastas. Andmed on saadud Taastuvenergia OÜ teostatud tööde mitme aasta mõõteandmete põhjal. Tabel mitme aasta päevakeskmise tootlikkuse kohta on lisas. [16]



Joonis 1.9 Ühe kilovatise süsteemi keskmine tootlikkus 40° kaldenurga korral

1.4.2. Varjud ja mustus

Varjud võivad vähendada PV- süsteemi tootlikkust märkimisväärselt, kui mingi objekt jääb otseselt päikese ja paneeli vahelisele mõttelisele joonele ette. Erinevatel aastaegadel on päikese maksimaalne kõrgus paneelide suhtes varieeruv, mistõttu näiteks talvel tekkivad varjud on pikemad kui suvel, kuna päike liigub madalamalt. Varjudega on vaja arvestada, kui paigaldatakse mitu rida paneele või kui paneelide läheduses takistused, mis võivad piirata päikesejaama tootlikkust.

Varju pikkust on võimalik arvutada järgneva valemiga (1):

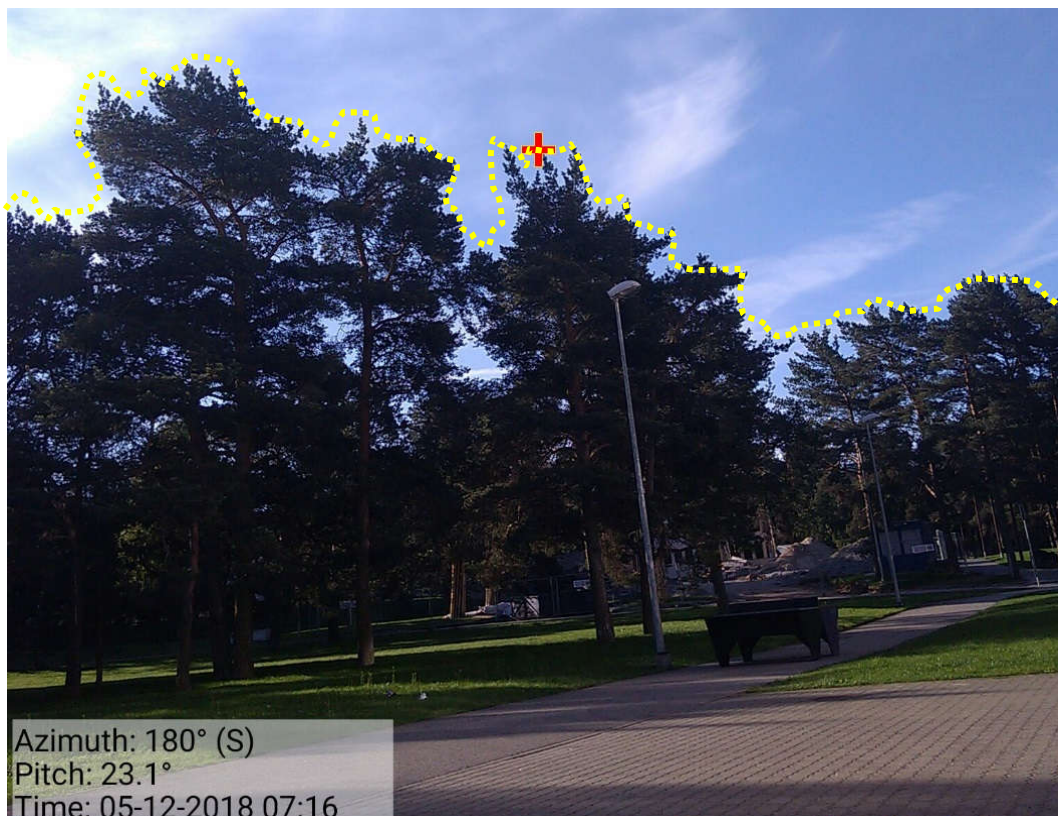
$$l_{vari} = l_{obj} \frac{\sin(90^\circ - \alpha_{pkh})}{\sin(\alpha_{pkh})} \quad (1)$$

kus l_{vari} on varju pikkus meetrites, l_{obj} on varjava objekti kõrgus maapinnast meetrites ja α_{pkh} on päikese kõrgus horisondist kraadides. [15]

Selle valemiga on lihtne välja arvutada paneelide sobivat asukohta, kui on tegemist üksiku objekti või mitme paneeli reaga. Juhul, kui objekte on rohkem või läheduses on mets, on keeruline kindlaks teha, kui palju tunde aastas objektid paneele varjutavad.

Kattes kinni või varjates PV- paneeli pinda 2% võib väheneda tootmisvõimsus kuni 70% [15]. Seetõttu on äärmiselt oluline just statsionaarse päikesejaama projekteerimisel majanduslikel kaalutlustel vaja varjudega arvestada. Samuti tuleb teada, et paneelidele koguneb aegamisi mustust, mida tuleks paneelidelt eemaldada. Mustusest tingitud tootlikkuse vähenemine võib olla kuni 5% [17].

Töö autori arvates on mõistlikum kasutada mudeleid, mis arvutavad välja päikese kõrguse igal ajahetkel aastas, seejärel teostada soovitavas asukohas üks mõõtmine, mis hõlmab endas objektide kontuuri määramist vastavalt ilmakaarele ja kõrgusnurgale. Näitena on välja toodud mobiilirakendusega teostatud mõõtmine (Joonis 1.10) kus punase ristiga on tähistatud lõuna suunas mõõdetud puu kõrgus. Samuti tuleks mõõta ka ülejäänud punktid, mis on tähistatud kollasega ja kanda need tabelisse.



Joonis 1.10 Asimuudi ning kõrgusnurga määramine (AngleCam mobiilirakendus)

Kui need andmed on teada, siis saab teada koheselt ka tundide arvu aastas, mil varjud paneelidele langevad.

1.4.3. Temperatuur

Nii nagu kõik pooljuhtidel põhinevad seadmed, on ka PV-elementid tundlikud temperatuurimuutustele. Mida jahedam on PV-paneeli temperatuur, seda väiksem on pooljuhi takistus ning seda kõrgem on pinge. Soojema ilma korral jällegi paneelide tootlikkus langeb [18].

Päikesepaneelide kohta käivad nimiaandmed on sätestatud päikesekiirguse 1000 W/m^2 25°C temperatuuri juures laboratoorsetel tingimustel. Seda nimetatakse ka STC (Standard Test Conditions). Kuna reaalne ilm on laboritingimustest erinev, siis on väljatöötatud ka teistsugune mõõtmismeetod, mis annab PV-paneeli tootlikkuse sõltuvalt temperatuurist. Seda kutsutakse NOCT (Nominal Operating Cell Voltage), mille tingimusteks on päikesekiirgus 800 W/m^2 , temperatuur 20°C ja tuulekiirus 1m/s , kusjuures paneelid on paigaldatud selliselt, et paneeli tagumine külj oleks paremat jahutust silmas pidades tuulele avatud. [19]

PV- paneelide temperatuurikoefitsient sõltub paneelide tehnoloogiast ning tüüpilised PV- paneelide koefitsiendid on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 1).

Tabel 1. Tüüpilised temperatuurikoefitsiendid enimlevinud PV-paneelidele [15]

PV-paneeli tüüp	Muutus %/°C
Moni-Si	-0,32...-0,51
Poly- Si	-0,32...-0,51
a-Si	-0,18...-0,23

Suurim paneelide tootlikkus saavutatakse jaheda temperatuuri korral just varakevadel või hilissügisel, kui päikese intensiivsus on kõrgem. Eesti kliimas toodavad päikesepaneelid rohkem elektrienergiat just rannikualadel ja saartel, kuna esiteks on nendel aladel tuulisem, mis tagab parema jahutuse. Teiseks põhjuseks pilvkatte vähesem esinemine kui sisemaal. Just madalama temperatuuri mõjul on Eestis PV-paneelide tootlikkus võrreldav Saksamaa paljude piirkondadega. Saksamaa on ühtlasi Euroopa suurim päikeseenergia tootja. Sõltuvalt paneelide paigaldusviisist sõltub ka nende jahutus. Mida paremini õhk paneeli ümber liigub, seda väiksem on mõjutegur. Sõltuvus paigaldusviisist on kirjeldatud tabelis (Tabel 2). [15] [18]

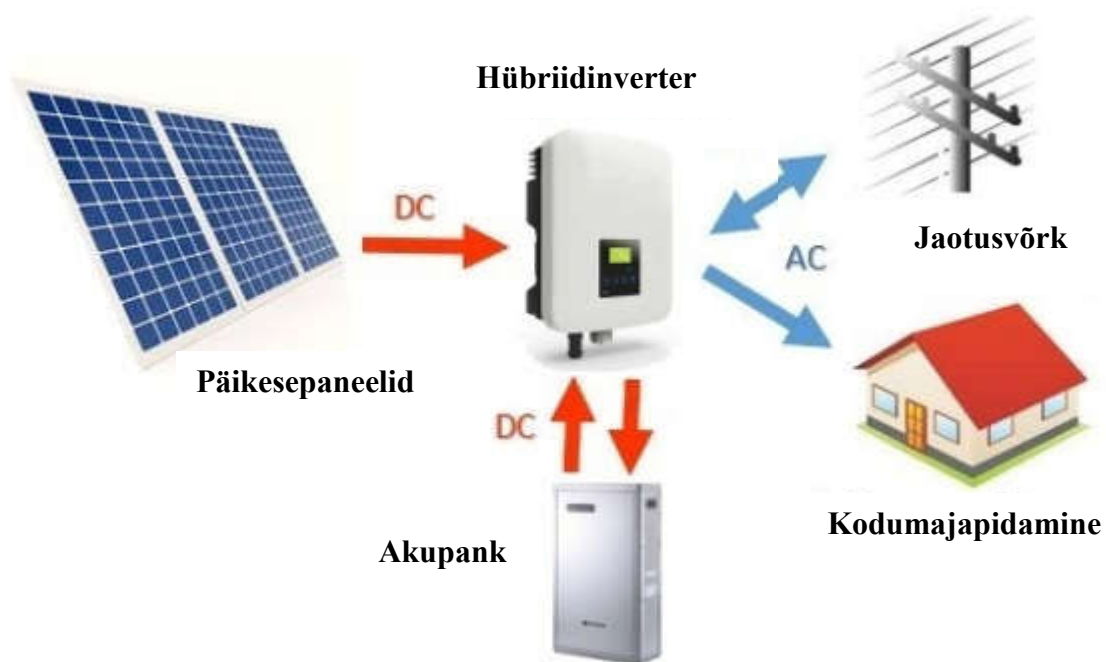
Tabel 2 Moodulite paigaldusviisi iseloomustavad mõjuteguri väärtused [15]

Paigaldusviis	Mõjutegur c, °C
Suurte vahedega paigaldus	22
Katusele, suurte vahedega	28
Katusele integreeritud, hea taganttuulutusega	29
Katusele integreeritud, halva taganttuulutusega	32
Fassaadintegreeritud, hea taganttuulutusega	35
Fassaadintegreeritud, halva taganttuulutusega	39
Katusele integreeritud, ilma taganttuulutusega	43
Fassaadintegreeritud, ilma taganttuulutusega	55

2 Ülevaade erinevatest tehnilistest lahendustest

2.1 Statsionaarsed hübriidpäikesejaamad

Hübriidpäikesejaamad (Joonis 2.1) toodavad elektrit samamoodi nagu tavalised võrguga ühendatud päikeseelektrijaamad, kuid peamine erinevus seisneb selles, et süsteemi on lisatud ka akupank. See võimaldab päikesest toodetud elektrienergiat salvestada ning seeläbi hiljem kasutada, näiteks öhtusel tipptarbimise ajal, kui elektrihind on kõrgem. [20]



Joonis 2.1 Hübriidpäikesejaama skeem [17]

Võrreldes hübriidlahendust võrguühenduseta süsteemiga, millest tuleb juttu järgnevas alapeatükis, on hübriidlahenduse hind väiksem, kuna akupank ei pea tagama varustust pikaks ajaks vaid peamine eesmärk on katta mõne tunnise elektritarbimise vajadus. Selline akupanga lahendus sobib just kodutarbijaile, kelle tiputarbimine jääb öhtusesse aega, kuna päevast päikeseenergiat pole võimalik ära kasutada. Samuti pole majanduslikult otstarbekas elektrit tagasi võrku müüa, kuna sealt ostetav energia on kallim, kui müüdav. [20]

Päikeseenergia kõrge populaarsuse tõttu on mitmed riigid võtnud suuna vähendada toetusi päikeseenergia tootjatele, kuna on oht, et madala tarbimisperioodiga aegadel toodavad paneelid enam, kui ära tarbitakse. See muudab võrgu ebastabiilsemaks ning samuti pole riiklikul tasandil

mõistlik toetada elektritootmist, millele ei leidu kasutajaid. Näiteks võib tuua Hispaania, kus on kehtestatud karmid regulatsioonid päikeseelektrijaamadele. Võrku ühendatud päikeseelektrijaamast tarbimata elektrienergia tuleb võrku anda tasuta, millele toetusi ei maksta. Samuti muudavad seadused akupanga kasutamise majanduslikult ebapraktiliseks, kuna elektriarved koosnevad suuremalt osalt elektriliitumisest, mis tähendab, et lisades süsteemi aku, tuleb võrguettevõttele endiselt suur summa välja käia. [21] [22]

Eestis pole hübriid-päikesejaamalahendused tänasel päeval kuigi levinud. Elektrilevi OÜ andmete põhjal on jaotusvõrguga sobivaid invertereid heaks kiidetud vaid neli, mis on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 3).

Tabel 3 Elektrilevi poolt aktsepteeritud hübriidinverterid [23]

Tootja	Mudel	Nimiaktiiv- võimsus [kW]	Maksimaalne näivvõimsus [kVA]
Fronius International GmbH	Symo Hybrid 3.0-3-S	3	3
	Symo Hybrid 4.0-3-S	4	4
	Symo Hybrid 5.0-3-S	5	5
LG Electronics Inc.	ESS Residential (ED05K000E00)	5	5

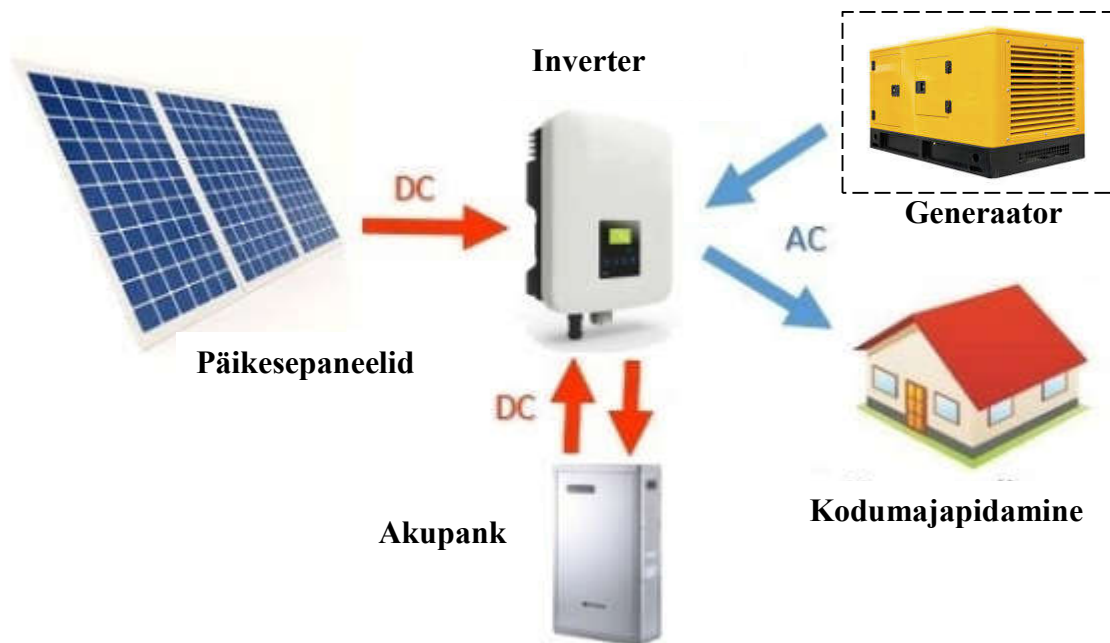
2.1.1 Hübriidsüsteem Lõuna-Eestis

Töö kirjutamise käigus õnnestus ühendust saada inimesega, kes on endale hübriidlahendusel põhineva päikeseelektrijaama rajanud. A. Jõgeda on oma Lõuna-Eestis asuvale majale lasknud Päikeseratas OÜ poolt paigaldada hübriidlahenduse, mis koosneb LG inverterist, akupangast, järgivajamiga päikesepaneelide süsteemist ning monitooringust. Järgivajamiga süsteem koosneb 22-st LG NeON paneelist, millest igaüks on 325 vatise võimsusega. Praegune kolme-faasiline inverter on 5 kW väljundvõimsusega ning akupanga mahtuvus on 6,4kWh. Järgivajamiga süsteem ehk tracker uuendati eelneva lahenduse vastu välja, kus paneelid olid paigaldatud katusele lõunasuunda, kuid kõrvalolevate objektide tõttu jäid need mingi osa ajast varju. Ühe päeva andmete põhjal andis päikest jälgiv süsteem märkimisväärse tootlikkuse tõusu, suurenedes 30-lt 50 kWh-ni. Rohkemate päevade kohta andmeid ei ole, kuna süsteem on verivärsk. Selle projekti tasuvuse kohta lausus süsteemi omanik, et tasuvusajast sellise lahenduse puhul rääkida ei ole mõtet. Samas mainis, et püsikulud elektriarvete näol on siiski vähenenud 250-lt 100 euronni kuus. See on suuresti saavutatud tänu sellele, et õhtusel ajal saab

maja omale vajaliku elektrienergia akudest, millest jagub poole ööni. Süsteemi kitsaskohaks olevat see, et elektrivõrgu rikke korral lülitub süsteem välja, hoolimata sellest, et akud võivad täis olla. Selleks puhuks on üles seatud teinegi sarnase nimivõimsusega süsteem, mis töötab võrgust sõltumatult eraldi akude pealt, et tagada elektritoide vajalikele seadmetele. Talvekuudel on päikesepaneelid süsteemi omaniku sõnul rohkem iluasjadeks, kuna tootlikkus Eesti tingimustes on novembrist veebruarini peaaegu olematu.

2.2 Võrguühenduseta päikesejaamad

Võrguühenduseta ehk *off-grid* süsteemid (Joonis 2.2) on elektrivõrgust täiesti sõltumatud, sest neil puudub ühendus üldise elektrivõrguga. Elektrienergia toodetakse kohapeal ning inverteri abil tagatakse nõuetekohane elekter. Kuna päikesest elektri tootmine väga kõikumine, nagu esimeses peatükis on kirjeldatud, siis vajab selline süsteem samuti energiasalvestit, milleks tavaliselt on akupank. *Off-grid* süsteemi akupank peab olema tunduvalt suurem, kui hübriidlahendusel, kuna tootmine ja tarbimine on tavaliselt ajaliselt nihkes. [14]



Joonis 2.2 Off-grid päikesejaama skeem [20] [24]

Lisaks energiasalvestile on enamasti süsteemis veel sise põlemismootoriga generaator, et vältida elektrikatkestusi. Kuna energiatootjate (päikesepaneelide) võimsuse ning akupanga mahtuvuse suurendamine on kulukas, siis ongi varuvariantiks generaator, mida kasutatakse varutoiteks või

suurema võimsusega seadmete käitamiseks. Eesti tingimustes on talvisel ajal generaatori olemasolu hädavajalik. [14]

Eesti maastikul ilmselt kõige kogenuma *off-grid* jaamade ehitaja Rein Pinni hinnangul on Eestis hetkel ligikaudu 100 *off-grid* elektrivarustuslahendust.

2.2.1 Elektrilevi *off-grid* projektid

Aastal 2016 alustas Elektrilevi kolme aasta pikkust projekti, et välja selgitada võrguvaba lahenduse töökindlus ja tasuvus võrreldes võrgu rekonstrueerimisega. Selleks püstitati 3 *off-grid* päikesejaama erinevatesse Eesti paikadesse, kus elektriliin on osaliselt amortiseerunud ning vajaks lähimate aastate jooksul vahetust. Samuti asub suurem osa neist elektriliinidest metsa sees, mistõttu esineb klientidel jaotusvõrgu toitel olles tihti elektrikatkestusi ja pingeprobleeme. Järgneval joonisel (Joonis 2.3) on välja toodud neist kaks objekti.



Joonis 2.3 Vasakult Elektrilevi *off-grid* Kõrve objekt (Autori foto), Nihujärve objekt [23]

Süsteemid on ehitatud selliselt, et kõik seadmed, väljaarvatud päikesepaneelid, on paigaldatud merekonteinerisse, et tagada nende kaitstud välitingimuste eest. Samuti on konteinerisse paigaldatud generaator, mis on teistest seadmetest vaheseinaga eraldatud.

Kuna sellised süsteemid on kokku pandud objektil kohapeal ilma eelneva testimiseta, siis tulenevalt sellest on kannatanud süsteemi töökindlus. Näiteks võib tuua kütusmahuti lekke, mis avastati esmakordsel paagi täitmisel. Veel on esinenud ebatäpsusi kütusetaseme mõõtmises, mis on viinud ühel korral enneaegse kütuselõppemiseni. Tulenevalt sellistest probleemidest on võetud suund edaspidi pakkuda tööstuslikku lahendust, mis on eelnevalt tehases katsetatud. Aastal 2018 tuli Elektrilevi välja uudse *off-grid* lahendusega, mille kohta on kirjutatud järgnevas jaotises.

2.2.2 Elektrilevi hajajaam

Elektrilevi *Off-Grid* on kompaktne võrguvaba elektrivarustuslahendus. Selle toote olemuse väljatoomiseks loodi uus sõna – hajajaam. Selline nimevalik on tingitud sellest, et enamasti vajatakse taolist lahendust hajapiirkondades, kus jaotusvõrguga liitumine osutub ebaotstarbekaks. Joonisel 2.4 on näide hajajaamast, kus sees paiknevad kõik vajalikud seadmed, sealhulgas akupank. [23]



Joonis 2.4 Elektrilevi hajajaam [23]

Sellise lahenduse eeliseks on küllaltki kiire paigaldamisvõimalus ja samuti töökindlus, kuna seadmed on komplekteeritud ja testitud. Transportimise lihtsustamiseks on seadmel küljes tõsteaas ning avad kahveltõstukile. Päikesepaneelid paigaldatakse hajajaama puhul üldjuhul eraldi maaraamile, et tagada optimaalne tootlikkus, kuna majade ehitusel pole üldjuhul arvestatud päikesepaneelide jaoks optimaalsete kaldenurkadega.

2.3 Mobiilsed päikesejaamad

Mobiilsete päikesejaamade lahendusi leidub internetiavarustes mitmeid. Neid on nii ühe-, kahe- kui kolmeteljelisi. Allpool oleval joonisel (Joonis 2.5) on välja toodud kaks erineva tootja lahendust. Neid on lihtne teisaldada, kuna neil on olemas valmidus järelkärana kasutamiseks, mis tähendab, et sisuliselt võib selle jaamaga sõita ka kõige kaugemasse paika, kus vaid piisavalt päikesevalgust. Suuremate lahenduste puhul on vaja siiski võimekamat autot, kuna need haagised võivad osutada küllaltki raskeks.



Joonis 2.5 Mobiilsed päikesejaamad [25] [26]

Tabelis 4 on välja toodud parempoolsel joonisel (Joonis 2.5) kujutatud haagise tehnilised parameetrid. Selliste ratastel mobiilsete lahenduste puhul piirab süsteemi võimsust paneelide arv, mis on võimalik haagisele paigutada. Mida rohkem paneele paigutada, seda kallimaks süsteem osutub, kuna tehniliselt on vaja lahendada mitmed probleemid. Sealhulgas on vaja tagada konstruktsiooni tugevus, mis muudab süsteemi kallimaks. Nagu järgnevast tabelist näha, siis hind sellisel mobiilsel lahendusel on 49 900 \$. [26]

Tabel 4 Greentow mobiilse päikesejaama tehnilised parameetrid [26]

Parameeter	Väärtus
Mudeli nimetus	GT916 Trailer
Võimsus	1 620 W
Aku mahtuvus	12 384 Wh (258 Ah)
Inverteri võimsus	6 000 W
Hind	49 900 \$
Kaal	1 500 kg
Mõõtmed	2,8x1,8x 1,8 m
Garantii	20 a. paneelidele
Ühendused	AC/DC väljundid

Nagu ülaltoodud tabelist (Tabel 4) näha, siis sellise 1,6 kW nimivõimsusega süsteem kaalub 1 500 kg, mistõttu on sellise haagise vedamiseks tarvis võimekamat autot ja vastava kategooria juhilube.

3 Elektrivarustuskindluse ja -kvaliteedi tagamine mikroelektrivõrkudes

3.1 Võrguvaba lahenduse dimensioneerimisest

Off-grid süsteemi planeerimisel tuleb eelnevalt selgeks teha eesmärgid, mida süsteem peab täitma. Erinevalt tavalisest jaotusvõrgust, kus energia toodetakse suurtes elektrijaamades, tarbimiskohast kaugel, toimub *off-grid* jaamades elektrienergiatootmine kohapeal, tarbimiskohale võimalikult lähedal. Seetõttu on vaja enne jaama rajamist mõelda, kas selline lahendus täidab eesmärgi. Kõige olulisem faktor on tarbimine, millega tuleb arvestada. Kui võrguühendus on olemas, on tarbimisandmed kättesaadavad, kuid kui võrguühendust pole, tuleb kindlaks teha, missuguseid seadmeid ja kui palju kasutatakse. Suurt võimsust nõudvad elektritarbijad (elektripliit, elektriboiler, kohvimasin, röster, jne.) tuleks võimalusel asendada, kuna süsteemi ehitamine läheks kordades kallimaks. Suvisel perioodil on võimalus kasutada suurema süsteemi korral ka suuremaid seadmeid, kuna toimub elektrienergia ületootmine. [14]

Enne süsteemi suuruse dimensioneerimist tuleb seega kindlaks teha, kas elektrit tarvitatakse aastaringselt, suviti, nädalavahetuseti või harvemini. Mida täpsemini on see teada, seda täpsemalt on võimalik ka süsteemi suurust paika panna.

Allpool on näitena välja toodud tabel (Tabel 5), millesse on kirja pandud näitlikult mõned arvud. Eraldi võiks veel tabelisse välja tuua seadmed, mis on baastarbijad, ehk siis seadmed, mis vajavad töötamiseks energiat enamus osa ööpäevast. Näiteks külmik, ruuter ja ventilatsioon. Teisi seadmeid on võimalik kasutada vaheldumisi, see tähendab, et samal ajal kui veekeedu kannu kasutatakse, ei saa näiteks röstrit või muud suure tarbimisega seadet kasutada.

Tabel 5 Elektriseadmete kasutuse hindamine

Seade	Võimsus (W)	Seadmete arv	Kasutustundide arv päevas	Ööpäevane energiatarve (Wh)
Pump	300	1	0,3	90
Külmik	80	1	10	800
Elektripliit	2000	1	1	2000
Kokku	2380			2890

3.1.1 Akupanga suuruse määramine

Kui on teada kõikide seadmete ööpäevane energiatarve, saab teada süsteemi ööpäevase energiavajaduse, kui arvestada, et inverteri ning akude kasutegurid on suurusjärgus 95%. Selleks tuleb ööpäevane energiavajadus valemi 2 põhjal korrutada 1,1-ga. [14]

$$E_p = \sum E \cdot 1,1 \quad (2)$$

kus E_p on ööpäevane energiavajadus, $\sum E$ on seadmete energiatarve.

Off-grid lahenduse puhul peaks süsteem töötama ilma täiendavat energiat tagama elektrivarustuse 2 – 3 päevaks. Arvutustel on soovituslikuks reservpäevade arvuks 3, kuna ajapikku akude mahutavus väheneb. Pliiakude puhul võib akude pikaealisuse huvides kasutada kuni 50% akupanga mahutavusest. Liitiumakusid võib rohkem tühjendada, kuid kuna nende maksumus on kõrgem, siis neid käesoleva töö raames ei kasutata. Järgnevas valemis (3) on välja toodud soovitatav aku mahtuvus. [14]

$$E_c = \frac{3 \cdot E_p}{0,5} \quad (3)$$

kus E_c on soovitatav aku mahtuvus.

Akude mahutavust iseloomustab tavaliselt suurus Ah, mis saadakse, kui eelneva arvutuskäigu tulemus jagatakse aku pingega (Valem 4).

$$C(Ah) = \frac{C(Wh)}{U(V)} \quad (4)$$

kus C on mahtuvus, $U(V)$ on pinge.

3.1.2 PV-paneelide võimsuse määramine

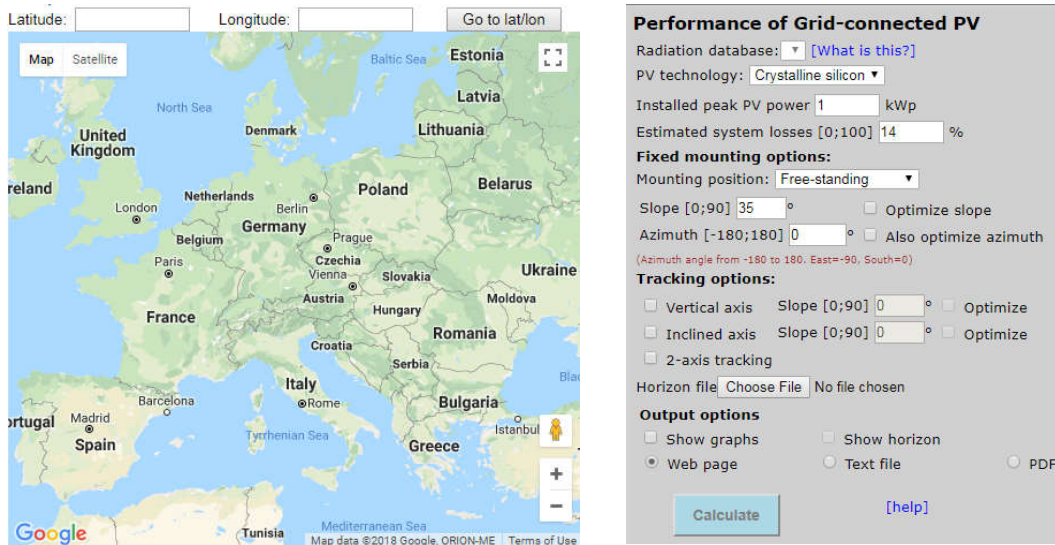
Paneelide võimsuse määramisel tuleb arvesse võtta, missuguse tarbijaga on tegemist. Kui tegemist on aastaringselt igapäevaseks kasutamiseks mõeldud elamuga, tuleks kasutada koefitsienti 0,5 ning korrutada see päevase energiavajadusega. Suviseks kasutamiseks mõeldud hoonele piisab tegurist 0,3. [14]

$$P_{PV} = E_p \cdot k \quad (5)$$

kus P_{PV} on päikesepaneelide võimsus, k on koefitsient.

Saadud tulemusi on võimalik kontrollida, kui kasutada internetis leiduvad tarkvararakendusi. Üheks selliseks on näiteks PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), mille abil

on võimalik prognoosida päikesepaneelidest saadavat energiat. Järgneval joonisel (Joonis 3.1) on välja toodud näide PVGIS rakendusest, kus on võimalik valida kaardilt asukoht ning seejärel prognoosida süsteemi tootlikkust aastalõikes.



Joonis 3.1 PVGIS kaardirakendus

Oletades, et ööpäevane tarbimine on 1 000 Wh, saab läbi arvutuste teada, et paneelide vajalik installeeritud võimsus aastaringse tarbija puhul on 500 W. Proovides tulemust kaardirakenduses, genereerib rakendus tabeli, kus on välja toodud tootlikkus erinevates ajavahemikes. Antud hetkel on oluline võrrelda päeva keskmist tootlikkust, mis on tabelis (Tabel 6) tähistusega E_d .

Tabel 6 Süsteemi tootlikkuse andmed PVGIS andmetel [10]

Paneelide paigaldusnurk=40°, asimuut=0°				
Kuu	E_d (kWh)	E_m (kWh)	H_d (kWh/m ²)	H_m (kWh/m ²)
jaanuar	0,4	11,2	0,8	25,4
veebruar	0,7	19,5	1,6	45,3
märts	1,6	49,2	3,9	119,0
aprill	2,1	62,7	5,3	159,0
mai	2,3	72,3	6,2	192,0
juuni	2,2	66,7	6,0	181,0
juuli	2,1	63,9	5,7	177,0
august	1,9	58,3	5,1	157,0
september	1,3	40,1	3,5	104,0
oktoober	0,8	24,2	1,9	59,8
november	0,4	10,5	0,8	25,0
detsember	0,2	7,0	0,5	16,2
Aasta keskmine (kWh)	1,3	40,5	3,5	105
Kokku aastas (kWh)	486		1260	

Eelnevas tabelis (Tabel 6) toodud suuruste tähistused on kirjeldatud järgnevalt:

E_d - keskmine tootlikkus päevas süsteemi kohta

E_m - keskmine tootlikkus kuus süsteemi kohta

H_d – keskmine päevane päikesekiirgus ruutmeetri kohta vastavalt süsteemile

H_m - keskmine kuine päikesekiirgus ruutmeetri kohta vastavalt süsteemile

Tabelist on näha, et süsteemi tootlikkus on piisav märtsist septembrini, kus päevane toodetud energia ületab 1 kWh. Talvekuudel on aga suur puudujääk.

3.1.3 Laadimisparameetrid

Akusid saab laadida vaid teatud voolutugevusega, mis soovituslikult on 1/10 aku mahutavusest ampertundides (Valem 6).

$$P_{\max(W)} = \frac{E_c(Wh)}{10} \quad (6)$$

kus $P_{\max(W)}$ on soovituslik maksimaalne PV-paneelide võimsus, kus laadimisvool ei ületa soovitatavat akude laadimisvoolu. [14]

Suurema võimsuse korral ületab laadimisvool suurima lubatud laadimisvoolu akupargi kohta (Valem 7).

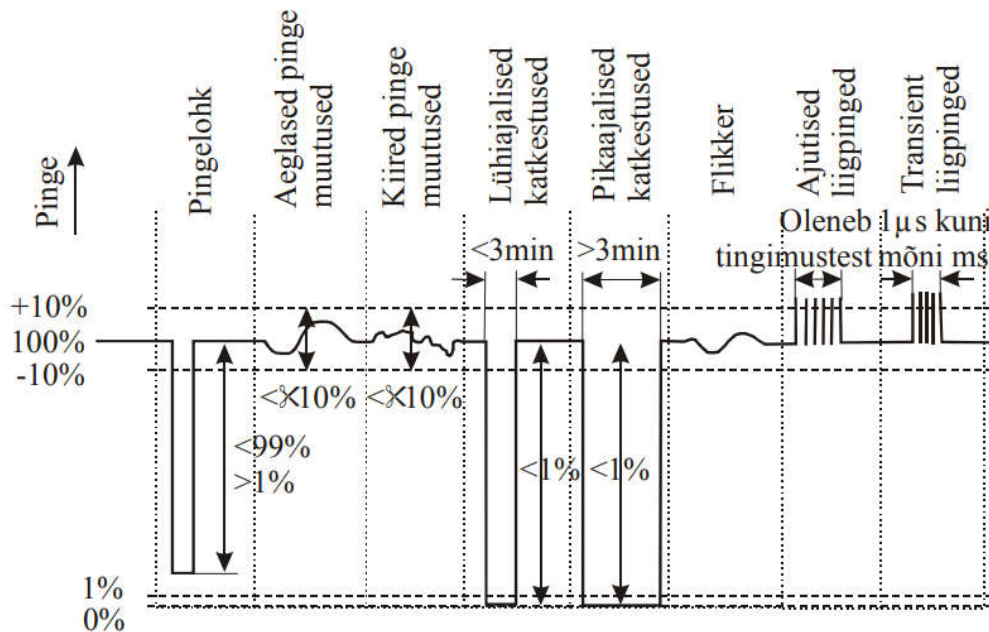
$$I_{\max} = \frac{C_{20}(Ah)}{10} \quad (7)$$

kus I_{\max} on suurim lubatud laadimisvool, $C_{20}(Ah)$ on aku mahutavusparameeter.

Akupinge valitakse vastavalt süsteemi võimsusele, mida suurem süsteem, seda suurema pingega on akupank. Väiksemad mõnesajavatised süsteemid võivad olla 12V, suuremad (1-3 kW) süsteemid 24V ja veel suuremad 48V. [14] Kuna enamused elektriseadmeid töötavad vahelduvvoolul, siis peaks süsteemi olema lisatud ka inverter, mis muundab alalispinge vahelduvaks. Inverteri võimuse valikul tuleks lähtuda kasutatavate seadmete võimsusest. Väiksema süsteemi korral võiks inverteri võimsus olla ligilähedane seadmete maksimaalse võimsusega, kuna on suurem tõenäosus, et neid seadmeid kasutatakse samal ajal. Suurema süsteemi korral ei tohiks jääda inverteri võimsus väiksemaks, kui on süsteemi suurim tarbija. Kindlam on valida inverter vastavalt kõikide seadmete võimsuse summaga ja selle korrutamisel koefitsiendiga, mis jääb vahemikku 30-70%.

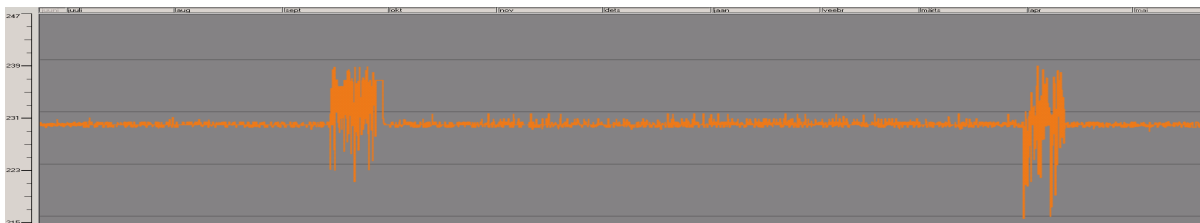
3.2 Elektrikvaliteet mikrovõrgus

Elektrikvaliteedi all mõistetakse tavaliselt elektrivarustuskindlust ning talitusparameetrite vastavust nimisuurustele. Sõltuvalt tarbijast võivad kvaliteedinõuded erineda. Jaotusvõrgu puhul on kehtestatud nõuded, missugustele parameetritele peab elektrikvaliteet vastama. Olulisemate elektrikvaliteedinäitajate kohta on järgnev joonis (Joonis 3.2). [27]



Joonis 3.2 Elektri kvaliteedinäitajate ülevaade [27]

Mikrovõrgu puhul toimub tootmine kohapealseks kasutuseks ning seetõttu pole rangeid nõudeid kehtestatud, missuguse kvaliteediga peaks elekter olema. Olulised on siiski teatud suurused, mille vahemikus elektriseadmed on ette nähtud töötama. Lähtuvalt olukorrast, võib mikrovõrgu elektrikvaliteet olla ka parem, kui seda on jaotusvõrgu elekter [28]. Näitena võib tuua Elektrilevi *off-grid* pilootobjekti, kus pingetase pika liini otsas on kõikumine (Joonis 3.3), kuid olles ühendatud akudele, on pingetase ühtlasem. Kahes kohas on joonisel näha suuri kõikumisi, kus klient on olnud jaotusvõrgu toitel.



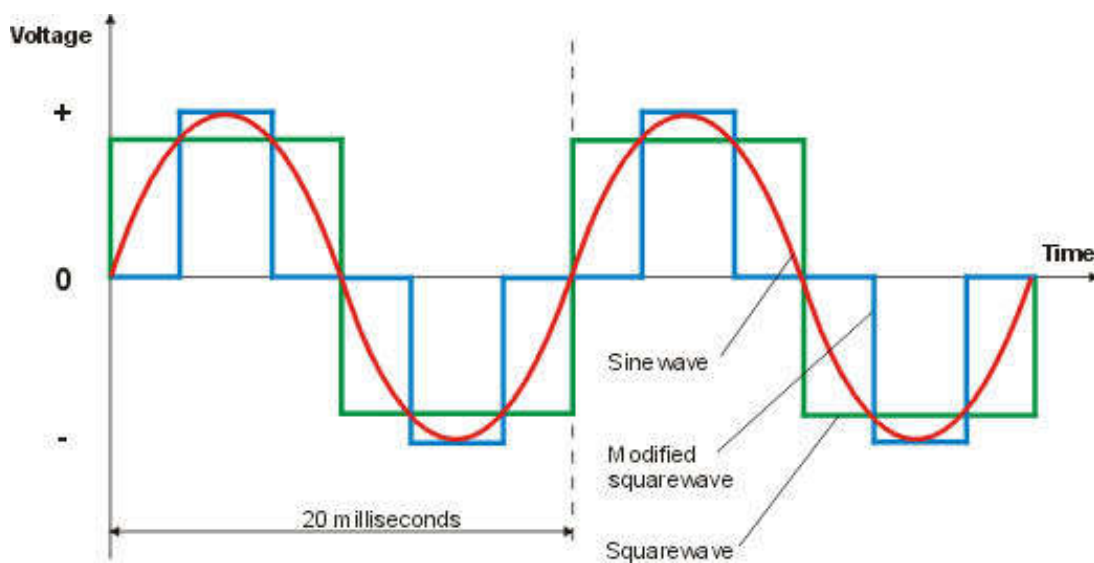
Joonis 3.3 Elektrilevi *off-grid* pilootobjekti pingetase [23]

Samuti on metsa sees paikneva pika liini otsas paikneval liitumispunktil vähendatud elektrikatkestuste arvu.

Kohapeal toodetav elektrienergiakvaliteet sõltub inverterist, elektriseadmetest ning ka generaatorist, mis tagab elektri päikesevaesel perioodil. Invertereid on kirjeldatud järgnevas punktis.

3.2.1 Inverterite pingekvaliteet

Erinevad inverterid muundavad elektrit erinevalt. Alloleval joonisel (Joonis 3.4) on näha kolme erinevat graafiku kuju, millest punasega on tähistatud puhas siinus (TSW- true sine wave) ja sinisega modifitseeritud siinus (MSW- modified sine wave).



Joonis 3.4 Inverterite väljundpingekuju sõltuvus inverteri tüübist [29]

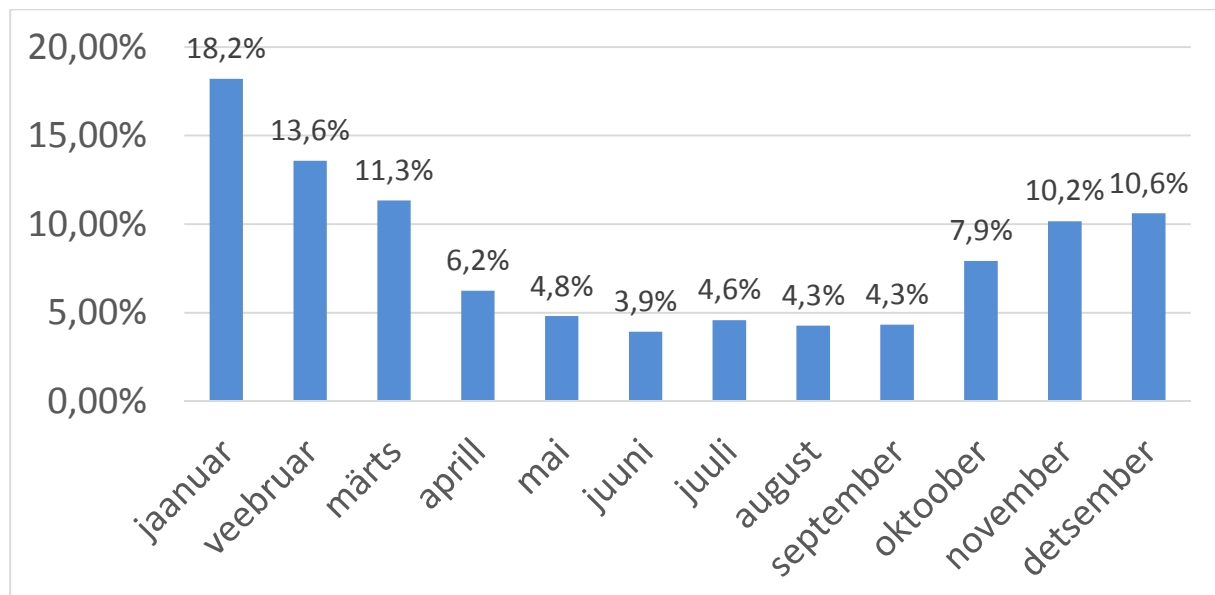
MSW inverterid on ökonoomsemad ja odavamad, kui TSW inverterid, kuid samas ei sobi nad kasutamiseks tänapäeva tundlikutele elektroonikaseadmetele.

4 Teisaldatava päikeseelektrijaama tehnilised nõuded

4.1 Maapiirkonna kodumajapidamise energiavajaduste kaardistamine

Elektrilevi OÜ andmetel on hajapiirkonnas asuvaid liitumispunkte (LP) 81 821. Statistikaameti 2011 aasta andmetel oli maapiirkonna majapidamise energiatarbimine aasta kohta 4 553 kWh, mis on kõrgem, kui linnapiirkonnas, kus see oli vastavalt 3 060 kWh [30]. Värskemate andmete põhjal on hajapiirkonna elektrienergia tarbimine vähenenud 4 000 kWh-ni aastas. Kui võtta aluseks viimane number, siis kuu keskmiseks tarbimiseks teeb see 333 kWh kuus ja päevaseks keskmiseks tarbimiseks 11 kWh. Üldjuhul on tarbimisprofiil aastalõikes erinev, mis tähendab, et suvekuudel tarbitakse elektrienergiat vähem, kui talvekuudel. Võttes näiteks ühe elamu tarbimisprofiili (Joonis 4.1), mille aastane energiatarve on 2 200 kWh aastas, selgub, et suvekuudel tarbitava elektrienergia osakaal on tunduvalt väiksem kui talvel.

Kirjeldatavas majapidamises kasutatakse talvekuudel elektrikütet, mistõttu on tingitud ka suur erinevus. Juhul, kui maja küttesüsteem on lahendatud näiteks puidu- või pelletiküttele, on täiesti reaalne, et aastalõikes suuri erinevusi tarbimises ei esine.



Joonis 4.1 Tarbitava elektrienergia jaotumine aastalõikes ühe elamu näitel

Hajapiirkonna liitumispunkte, kus aastane tarbimine jääb alla keskmise (4 000 kWh), on ligi 60 000, millest omakorda 10 000 majapidamises pole üldse elektrit tarvitatud. Seega saab

vaatluse alla võtta ligi 50 000 majapidamist, mille aastane keskmine elektrienergia tarbimine on suurusjärgus 1300 kWh. Jaotades kliendid peakaitsete põhjal, saab teada väiksema tarbimisprofiiliga LP-d. Peakaitsemeega 16A ja vähem ning alla 4 000 kWh aastas tarbivaid majapidamisi on kokku ligikaudu 17 000, mille keskmine elektrienergiatarbimine on 1 000 kWh, kusjuures samas suurusjärgus kasutavad elektrit ka 4 000 tarbijat, kelle peakaitse on väiksem kui 10A. Kuna ajad on muutunud ning ka tarbimine, siis peakaitsete põhjal ole mõistlik järeldusi teha, vaid tuleb vaadelda siiski tarbimisandmeid. Hajapiirkonnas asuvaid liitumispunkte, mille aastane energiatarve jääb alla 1 000 kWh, on ligikaudu 26 000. Nendest ligikaudu 150 majapidamist asuvad viimasest elektriliini hargnemisest kaugemal kui 1 kilomeeter. [23]

Põhjuseid, miks maapiirkonnas on hakatud vähem elektrit kasutama võib olla mitmeid. Üheks põhjuseks võib olla see, et toimub üleüldine linnastumine, mistõttu on elektritarbijaid vähemaks jäänud. Teiseks põhjuseks võib olla see, et inimesed on hakanud teadlikumalt tarbima. Kolmandaks teguriks võib olla see, et kaasaegsed majapidamiseseadmed on tunduvalt energiasäästlikumad. Lisaks on elektrivõrku tekkinud „prosumerid“, kes ühel hetkel võivad energiat tarbida, teisel müüa, kuna neil on olemas oma elektrienergia tootmiseseade.

4.2 Liitumisenõuded mikrovõrgu sidumisel kohaliku jaotusvõrguga

Mikrovõrgu sidumisel kohaliku jaotusvõrguga kehtivad samad nõuded nagu väiketootjatelegi. Elektriijaamade ühendamine elektrivõrguga on reguleeritud Eesti Vabariigi Valitsuse poolt kehtestatud määrusega „Võrgueeskiri“ [31]. Määrus seab regulatsioonid seadmete võrguga ühendamisel, samuti paika pandud nõuded releekaitsetele.

Sõltuvalt mikrovõrgu võimsusest, on ka jaotusvõrguga liitumisprotsessi keerukus erineva tasemega. Mikrotootjale, võimsusega kuni 15 kW, on liitumisprotsess kergem, kui suurema võimsusega tootjatel. Mikrotootjatel võtab liitumisprotsess tavaliselt aega kuni kaks kuud, mille võib jagada neljaks etapiks:

1. Liitumistaotluse esitamine ja pakkumise saamine
2. Liitumislepingu sõlmimine
3. Elektritootmiseseadme kasutusele võtmine
4. Võrgulepingu sõlmimine

Käesolev töö käsitleb teisaldatavat jaama, mis tähendab, et selle jaama sidumine kindla asukohaga ei ole mõistlik. Liitumisprotsessi on võimalik tegemata jätta, kui päikesejaam ei

tööta paralleelselt võrguga, vaid on eraldiseisev üksus. Selle lahenduseks on võimalik paigaldada liitumispunkti ning elektripaigaldise vahele automaatne lüliti, mis on võimeline kiireid lülitusi teostama, nii et elektroonikaseadmete tööd see ei segaks. Järgneval joonisel (Joonis 4.2) on näide Latronics firma poolt toodetud lülitist, mis on võimeline lülitusi teostama 0,02 sekundi jooksul.



Joonis 4.2 Automaatne 3-suunaline lüliti [32]

Lültil on võimalik seadistada prioriteetsed sisendid, mille kaudu tarbijad elektrienergia saavad. Näiteks saab valida inverteri, jaotusvõrgu ja ka generaatori vahel. Generaatori sisendil on pingeniivo kontroll, mis tagab selle, et generaatori toitele lülitamine toimub alles siis, kui see on üles soojenenud. Lüliti on võimeline taluma 25A ja selle hind on 225 €.

4.3 Teisaldatava päikeseelektrijaama nõuded sõltuvalt geograafilisest asukohast

Järgnevalt on välja toodud tabel (Tabel 7), kus on võrreldud erinevusi Põhja- ja Lõuna- Euroopa tingimustesse sobivatest lahendustest.

Tabel 7 Teisaldatava jaama nõuded sõltuvalt asukohast

	Põhja-Euroopa	Lõuna-Euroopa
Energiaallikas	Suviseks kasutamiseks paneelid ja aku, talvel vaja generaatorit lisaks	Paneelid ja aku
Seadme korpus	Soojustusega	Jahutusega
Paneelide optimaalne kaldenurk	40°	30°

4.3.1 Lisatoite allika olemasolu

Geograafiliselt erinevatel asukohtadel on ka erinev kliima, mis nõuab teisaldatavale päikesejaamale erinevat tehnilist lahendust. Kui päikeserikkamas piirkonnas piisab süsteemile vaid päikesepaneelidest, et tagada püsiv elektrivarustus, siis päikesevaesemas piirkonnas nagu seda on Põhjamaad ja Eesti, on vaja lisa toiteallikat, milleks tavaliselt on sise põlemismootoriga generaator.

4.3.2 Temperatuur

Samuti on vaja tagada akudele piisavalt jahe temperatuur, et nende eluiga oleks võimalikult pikk. Intensiivsema päikese kiirgusega maades tuleks paigutada akud jahedasse või tagada neile ülejääva energia arvelt jahutus. Eestis ning Põhjamaades on olukord vastupidine ning siin on vaja talvise akude mahutavuse vähendamise vastu neile tagada piisav töötemperatuur, mis tähendab nende paigutamist soojustatud ruumi.

4.3.3 Paneelide kaldenurk

Suurima efektiivsuse saamiseks on vaja PV-paneelid paigutada vastavalt optimaalsele nurgale päikese liikumise suhtes. Eesti tingimustes loetakse optimaalseimaks nurgaks 40° samal ajal Lõuna-Euroopas on nurk 30° ümber.

5 Teisaldatava päikeseelektrijaama projekteerimine

5.1 Konstruktsioon

Eelnevate peatükkide põhjal saab teha järeldused, missugune peaks üks teisaldatav jaam olema. Kuna tegemist on teisaldatava jaamaga, siis konstruktsioonilt peab jaam olema selliselt valmistatud, et seda oleks kerge teisaldada. Samas on alati oluline ka majanduslik pool, mis tähendab, et liikluskõlbliku haagise ehitamine, kus peal on kõik vajalik olemas ja mis oleks liiklusregistris arvel, läheks ebamõistlikult kalliks. Seetõttu tuleb konstruktsiooni puhul lähtuda sellest, et see oleks ehituselt küllaltki lihtne, aga samas rahuldab tingimusi, et see oleks transporditav, odav ja vastupidav. Transpordi kohalt tuleb vaadata, missuguste mõõtmetega objekte on üldse võimalik vedada. Mõeldes rahvusvahelisele turule, peaks selline jaam mahtuma hõlpsalt merekonteinerisse (Joonis 5.1).



Joonis 5.1 Merekonteiner [33]

Merekonteinerite standardmõõdud on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 8).

Tabel 8 Merekonteinerite standardmõõdud meetrites [34]

Parameetrid	10' konteiner		20' konteiner	
	Välimine mõõt	Sisemine mõõt	Välimine mõõt	Sisemine mõõt
Pikkus	3,05	2,80	6,05	5,90
Laius	2,44	2,33	2,44	2,33
Kõrgus	2,59	2,28	2,59	2,28

Merekonteineritega transportimine on mõistlik siis, kui päikesejaam on vaja toimetada üle mere. Mööda maismaad pole sellisel kujul transportimine kuigi mõistlik, seega tuleb välja valida ka mõistlik lahendus, kuidas mööda maad jaama ühest kohast teise vedada. Seejärel saab paika panna konstruktsiooni mõõdud, millest päikesejaam ei tohi suurem olla. Tavalised autoveotreilerid on 2 meetrit laiad, seega käesoleva töö raames tuleb võtta aluseks just see suurus, kuna treilerid on laialdaselt saada ning nende olemasolu pole otseselt vajalik, mistõttu on võimalik projekti tunduvalt lihtsustada. Näidiseks on järgnev joonis (Joonis 5.2), kus treileri on 4,5 m pikk ning 2 meetrit lai. Kandevõime sellisel haagisel on 2090 kg ning pealesõiduteed on 2 meetrit pikad. Lisaks on haagisel vints, mille abil on võimalik sellele raskeid asju laadida, sealhulgas päikesejaama.



Joonis 5.2 Auto järelhaagis [35]

Nüüd, kus on teada olulised mõõtmed, saab hakata tegelema konstruktsiooni lahendusega. Töös kasutatakse AutoCAD 2017 tarkvara, mille abil valmib jaamast 3D joonis. Raamistiku sobivate materjalide valimiseks kohtuti mitmete päikesepaneelide süsteeme paigaldavate firmadega. Sealhulgas külastati messi- Eesti ehitab 2018, kus oli kohal ka Naps Solar Estonia OÜ. Kuna töö autor on eelnevalt kokku puutunud eelpool mainitud firma poolt püstitatud päikesejaama lahendustega, siis tuli mõtte uurida alusraamistiku kohta täpsemat informatsiooni. Kohapeal neil küll näidiseid raamistiku kohta polnud, kuid see-eest juhatati ühte lähedal asuvasse päikesejaama, mis on nende poolt paigaldatud.

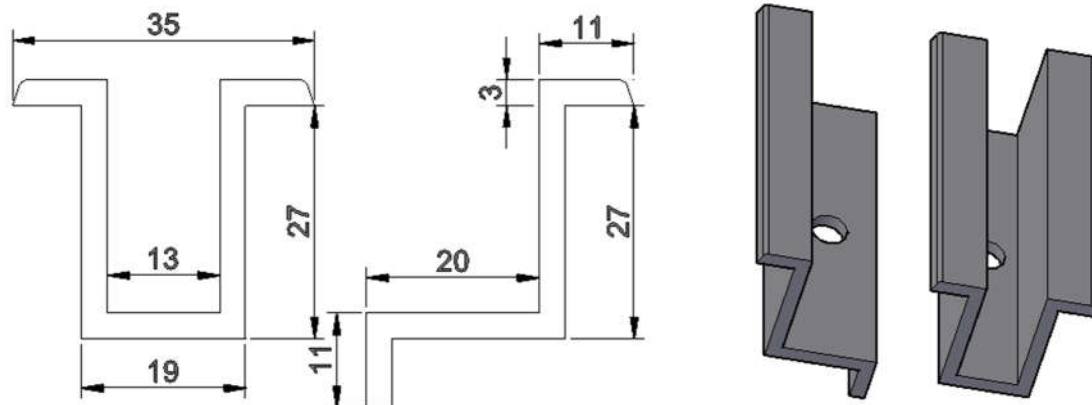
Harku vallas asuv võrguga ühendatud päikesejaam koosneb 63-st päikesepaneelist. Päikesejaama omaniku sõnul lasi ta alguses paigaldada 2 rida paneele, kuid hiljem lasi veel kolmandagi rea juurde panna. Tehtud töö ja kvaliteedi koha pealt oli tal vaid kiidusõnu öelda. Mis võib olla ehk oleks saanud paremini olla on see, et alumine rida paneele võiks paikneda veidi kõrgemal kuna talvel jääb lumerohkel ajal lumi alumisi paneele varjama. Samas ei ole ka see probleemiks, kuna talus on olemas traktor, mille abil saab kerge vaevaga lume eest ära lükata. Kõnealusel päikesejaamast on ka fotomaterjal (Joonis 5.3).



Joonis 5.3 Harku vallas paiknev päikesejaam (autori foto)

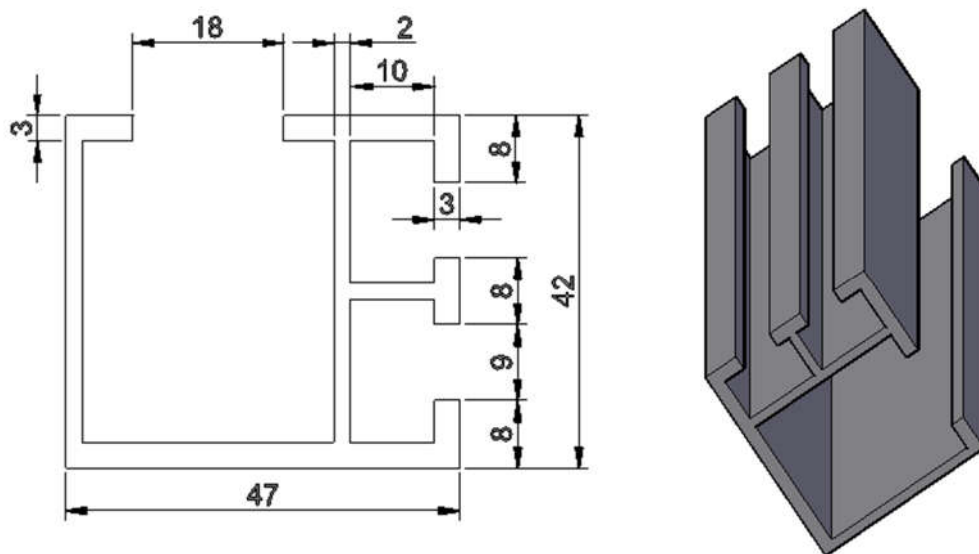
Päikesejaama konstruktsioon on suuremas osas valmistatud alumiiniumist, mis tagab raamistikule pika eluea ning ka väljanägemine püsib aastaid esteetilisena. Joonisel 5.3 on näha, kuidas on konstruktsioon lahendatud. Vundamendiks on betoonpostid, mis on maa sisse valatud. Konstruktsioonelemendid mõõdistati kohapeal, et kasutada neid ka teisaldatava lahenduse puhul. Selline otsus kasutada olemasoleva lahenduse konstruktsiooni elemente tuli seoses sellega, et tagada raamistiku vastupidavus, aga samas ka tagab optimeeritud lahenduse nii kaalu kui hinna poolest. Järgnevalt on mõned detailid, mida on plaanis konstruktsiooni joonestamisel kasutusele võtta. Joonisel 5.4 on kujutatud päikesepaneeli kinnitamiseks mõeldud klambreid, mis kinnituvad ühe poldiga. U-kujuline klamber on ette nähtud, kui see kinnitab kahte paneeli korraga. Äärmise paneeli kinnitamiseks on ette nähtud kõrvaolev klamber. Klambrite tüübid võivad sõltuvalt tootjast ning paneelidest erineda, seega on antud

kontekstis tegemist näidislahendusega, aga reaalse seadme puhul on võimalik tarvitada ka muid klambreid, mis tagavad paneelide korrektse kinnituse.



Joonis 5.4 Päikesepaneelide kinnitusklambrid

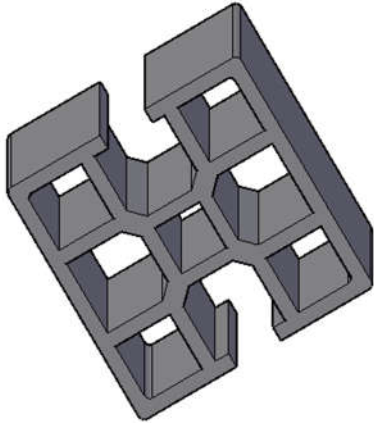
Järgneval joonisel (Joonis 5.5) on kujutatud eelmainitud objektilt mõõdistatud alumiiniumprofili, millele paneelid on kinnitatud.



Joonis 5.5 Päikesepaneelide kinnitusprofili joonis ja 3D mudel

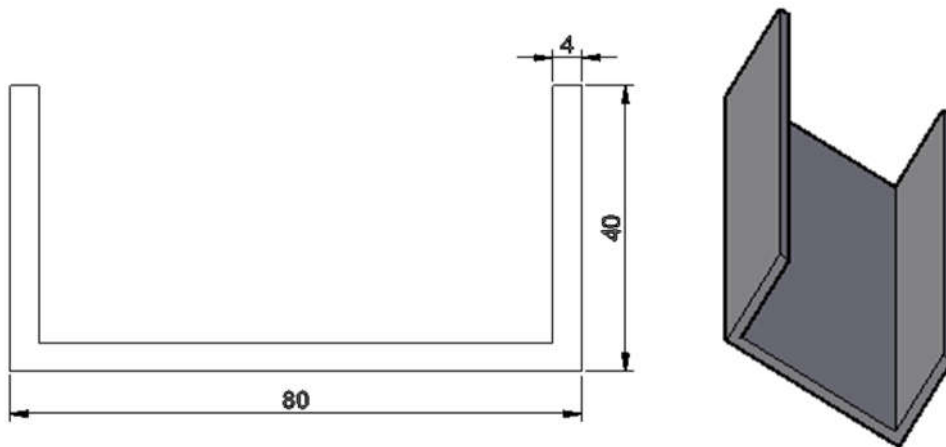
Sellise profiili leidmine osutus keeruliseks, mistõttu tuli paneelide kinnitamiseks leida alternatiiv. Selle jaoks sai ühendust võetud firmaga Alas- Kuul AS ning nende kodulehel oleva Minitec'i kataloogi põhjal välja valitud mõõtmetelt sarnane alumiiniumprofiil. Tabel ja joonised on lisatud töö lisana (Lisa 1). Nende andmete põhjal joonestati profiil sarnaselt

eelnevate näidete põhjal AutoCAD tarkavara kasutades arvutisse (Joonis 5.6) Sellise profiili kaal ühe meetri kohta on 1,925 kg ning hind 17,1€, millele lisandub käibemaks.



Joonis 5.6 45 X 45 2GG Al-kinnitusprofiil päikesepaneelidele [36]

Kandekonstruktsiooni mõõtmete kohta on järgnev joonis (Joonis 5.7). U-profiili on võimalik saada firmast Metal Express OÜ, mille kaudu saadi ka informatsioon hindade ja kaalu kohta [37].



Joonis 5.7 Konstruktsiooni U-profiil element ja 3D mudel

Tavaliselt on maaraamile paigaldatud päikesepaneelid maa külge kinnitatud kas betooni abil või siis on kasutatud erinevat tüüpi vaiasid. Kuna käesoleva töö käigus valmiv lahendus peaks olema teisaldatav, siis ei ole ette nähtud ka kapitaalset kinnitusmeetodit. Selleks otstarbeks tuleb antud lahenduse vundament rauast, mis jaotab raskuskeskme alla ning lisaks on

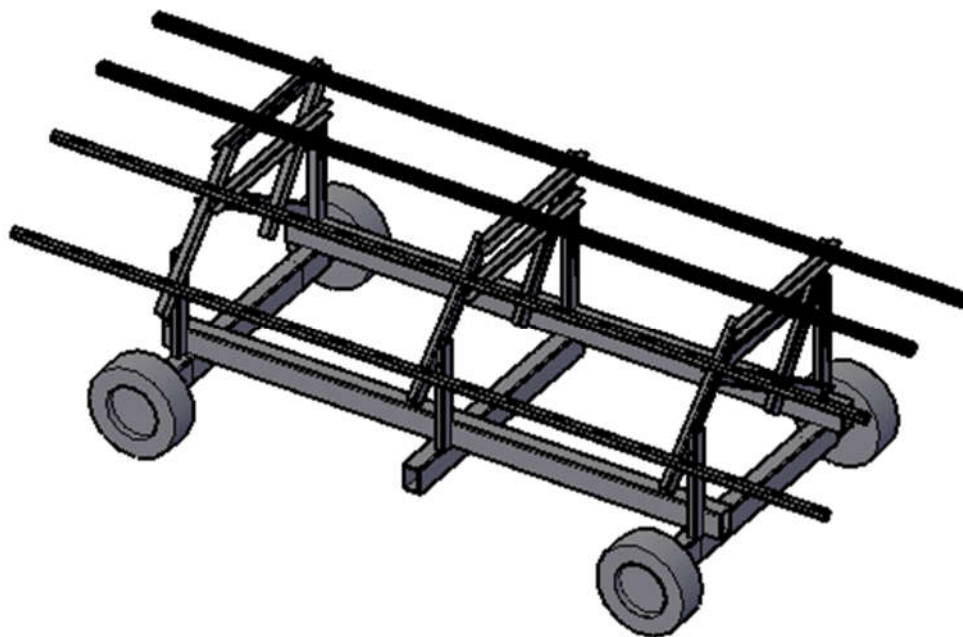
planeeritud raamile ka ülejäänud seadmed, mis hakkavad seda süsteemi paigal hoidma. Igaks juhuks on võimalus lisada ka maa sisse keeratavad vaiad.

Raamistiku koostamisel tuleb arvestada ka päikesepaneelide ning nende mõõtmetega. Järgneval joonisel (Joonis 5.8) välja toodud üks lahendus raamistiku lahendus sõltuvalt paneelidest. Kuna kõrgus selle süsteemi puhul jääb liiga kõrgeks isegi juhul, kui paneelid on kokku pakitud, siis selline raamistiku lahendus selle töö raames kasutust ei leia. Merekonteinerisse see jaam poleks mahutatav.



Joonis 5.8 Päikesepaneelide vertikaalne paigutus

Seetõttu on vaja paneelid paigaldada horisontaalselt, mis tähendab ka teistsuguse lahendusega raamistikku. Lähtuvalt merekonteineri ning autohaagise mõõtmetest võib seade olla sellise kõrgusega, mis mahub merekonteinerisse ning pikkuse ja laiusega, mis mahub haagise peale. Nendest andmetest lähtuvalt on joonestatud järgnev raamistiku lahendus (Joonis 5.9), millele mahub 6 standardmõõtudega päikesepaneeli.



Joonis 5.9 Alusraamistik transportasendis

Transportasendis on teisaldatav päikesejaam koos ratastega 1,5 meetrit kõrge. Raamistiku maksumus on ligikaudu 1 500 eurot, millele lisandub kokkupanemise tasu. Käesoleva töö raames seda hinda ei arvestata. Konstruktsioonile vajalikud materjalid on välja toodud järgnevas tabelis (Tabel 9).

Tabel 9 Raamistiku hinnad ja kaal

Nimetus	5.6 45 X 45 2GG	40 x 80 x 40 x 4 U profiil	Nelikanttoru 150 x 100 x 6 S355J2H	Nelikanttoru 40 x 80 x4	Kokku
Kaal kg/m	1,9	1,6	21,7	6,71	
Hind	17,1	7,5	37,8	11,4	
Hind KM-ga	20,5	9,0	45,3	13,7	
Kogus (m)	20,5	16,0	16,0	5,0	
Kaal kokku	39,4	26,3	347,2	33,6	446,5
Hind kokku	420,6	144,0	724,8	68,4	1357,8

5.2 Päikesepaneelid

Paneelide valikul on oluline, et paneelide efektiivsus oleks võimalikult kõrge, kuna standardmõõtmetega paneele saab paigutada raamile vaid 6 tükki. Sellest lähtuvalt valitakse paneelid välja kolme tootja hulgast (LG, Panasonic, Sunpower). Päikesepaneelide tootjatest ja nende efektiivsusest on välja toodud tabel, mis on leitav lisast 2 [38]. Samuti on paneelide valikul oluline arvestada paneelide mõõtmetega, et need oleks standardsuurusega. Väikestes piirides on võimalik suuruse valikul ka varieeruda, kuna alusraam on selliselt lahendatud. Paneelide kaldenurgaks on 45°, mis on Eesti oludes optimaalne. Prototüübile valitakse 310 W nimivõimsusega LG paneelid (Joonis 5.10). Kogu võimsuseks on päikesepaneelidel seega 1 860 vatti. Ühe sellise paneeli maksumus on 297 €, seega komplekti hind on 1 782 €.



Joonis 5.10 LG päikesepaneel [39]

PV-paneele on võimalik ühendada erinevalt. Tavalise elektrivõrku integreeritud päikesejaama puhul on lubatud ühendada järjestikku paneele nõnda palju, et pinge jääks alla 1 000 volti. Paneelide juhtmed ühendatakse inverteri külge ning see muundab paneelidelt tuleva alalisvoolu vahelduvvooluks ja sünkroniseerib elektrivõrguga. *Off-grid* lahenduse puhul on olukord veidi teine, kuna süsteem sisaldab ka akusid. Seetõttu tuleb paneelide ühendamisel lähtuda

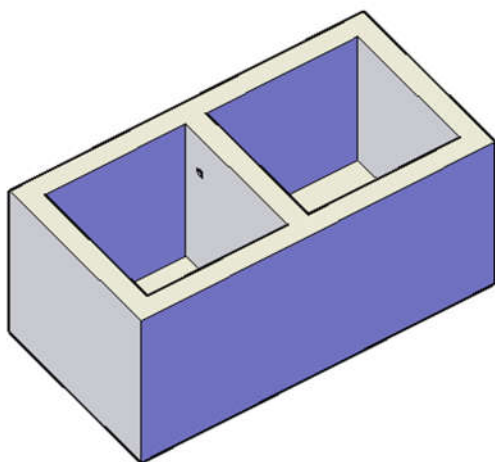
laadimiskontrolleri tehnilistest parameetritest. Kontroller, mida antud töös kasutatakse, võimaldab enda külge ilma lisaseadmeteta ühendada 2 ahelat paneele, mille kummagi pinge peab ahelas jääma alla 150V. Avatud ahela korral on ühe paneeli pingeks 40,4V, seega kolme jadamisi ühendatud paneeli korral on see 121,2V. Arvestades temperatuurikoefitsienti, tõuseb pinge madalate temperatuuride korral veelgi ja võib külma päikesepaistelise päeva puhul küündida ligi 150V-ni. Inverter ning muud seadmed on paigaldatud ilmastikukindla kesta sisse, et tagada võimalikult suur töökindlus.

5.3 Seadme korpus

Eesti ja Põhjamaade tingimustes on oluline, et kest vähendaks suuri temperatuurikõikumisi ning samuti peaks see kaitsma sademete ning pisinäriliste eest. Sellistele tingimustele vastavad ideaalselt kihtpaneelid (kõnekeeles sandwichpaneelid), mis on kaetud kahelt poolt plekiga ning plekkide vahel on soojustus. Kihtpaneelide kasutamise eelisteks on [40]:

- Kiire ja lihtne montaaž
- Kõrge soojusisolatsioonivõime
- Madalad ehituskulud
- Esteetiliselt hea väljanägemine

Kõrguseks on neil paneelidel standardina 1 meeter ning pikkus võib varieeruda alates 2 meetrist kuni 13,5 meetrini. Seadme korpus (Joonis 5.11) on jaotatud kaheks osaks, millest üks pool on mõeldud akudele ja teisel poolel on ülejäänud vajalikud seadmed. Allolev joonis on illustratiivne, mis annab vaid aimu autori mõtetest.



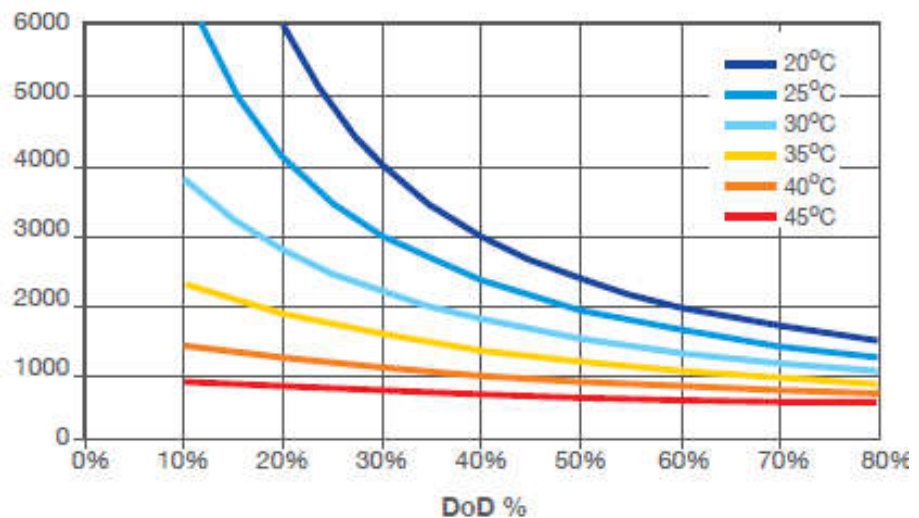
Joonis 5.11 Seadme korpus

Kestal peaks kergelt eemalduma lühemad küljed ning samuti katus, et oleks võimalik kergelt hooldustoiminguid teostada. Samuti on tarvilik piisav ventilatsioon, mis ideaalis võiks olla automaatselt reguleeritav temperatuuri andurite abil. Akupoolsel osal võiks põhjas akude all olla avatav osa, et see suveperioodiks lahti teha. Sedasi ei kuumene akud üle ja nende kasulik eluiga pikeneb.

Seadme korpuse hinnanguliseks maksumuseks on arvestatud 500 € ning kaal on ligikaudu 200 kg, kui soojustusmaterjaliks on kivivill. [41]

5.3.1 Akud

Akude valikul tuleb lähtuda mitmetest parameetritest. Teatavasti on liitiumakud kergemad, aga see-eest kallimad. Kuna päikesejaam võib mingitel hetkedel olla maa külge kinnitamata, siis akude kohalt on parem, kui need on rasked, mis aitab kaasa päikesejaama paigalpüsimisele. Käesolevas töös kasutatakse Sunlight 2V pliiakusid (Joonis 5.12), mis on hooldusvabad ja mille eluiga on kuni 15 aastat või 2 000 tsüklit 60% tühjenemise juures.

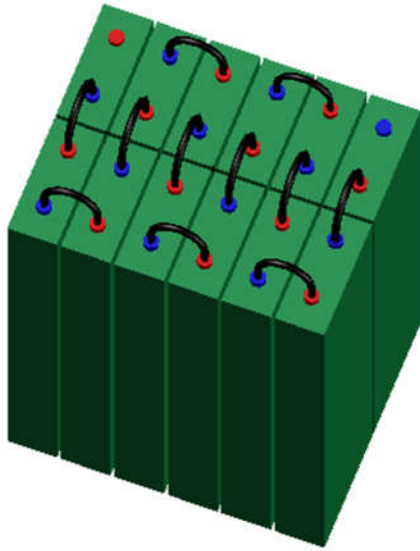


Joonis 5.12 Aku Sunlight RES 3 SOPZV 425 [42]

Joonisel 5.12 on näha, kuidas sõltub aku eluiga temperatuurist, laadimistsüklite arvust ja tühjenemissügavusest (*DoD*- *depth of discharge*).

Esialgu on süsteem arvestatud töötama 24V pinge juures, seega süsteem koosneb 12-st akust ning need annavad mahtuvuseks kokku 10,2 kWh. Kõik akud on ühendatud süsteemi jadamisi

(Joonis 5.13). Akude ruum on piisavalt suur, et saaks vajadusel süsteemi laiendada samasuure akupanga abil.



Joonis 5.13 Akupank 24V

5.3.2 Laadimiskontroller

Akupanga laadimiseks on tarvilik laadimiskontrollerit MPPT 150/60 (Joonis 5.14), mis muudab PV-paneelidest tuleva pinget akudele sobivaks. PV-paneelide ühendamine kontrolleri külge on lihtne, kuna kontrollerial on olemas MC4 pistikud, mis on ka paneelidel.

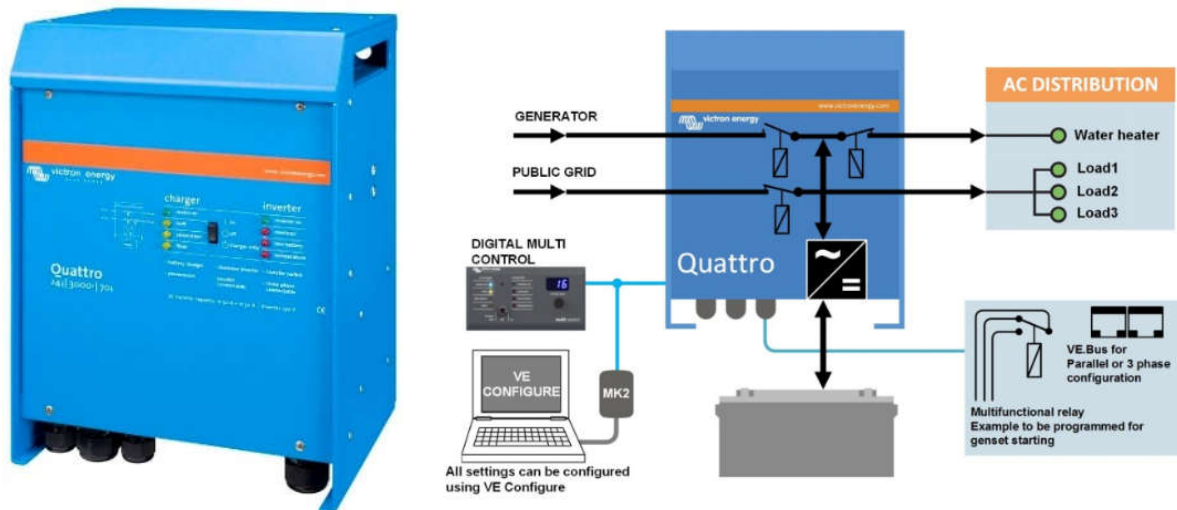


Joonis 5.14 Victron Energy laadimiskontroller [43]

Laadimiskontroller on universaalne, mida saab kasutada erinevate pingetasemete juures. Pinged, mille vahel on võimalik kontrolleri seadistada on 12/24/36/48V. Lähtuvalt tootja kodulehelt saadud info põhjal on kontrolleri maksumuseks 500 €.

5.3.3 Inverter

Inverteri valikul on lähtunud sellest, et see oleks puhassiinusinverter ning saaks töötada erinevates konfiguratsioonides. Sellest tulenevalt on välja valitud inverter, mis sobib oma olemuselt ka võrku ühendamiseks. Olgugi, et Elektrilevi poolt aktsepteeritud inverterite hulgas seda ei ole. Joonisel 5.15 on näha inverterist illustratsiooni ning ühendusvõimalusi.

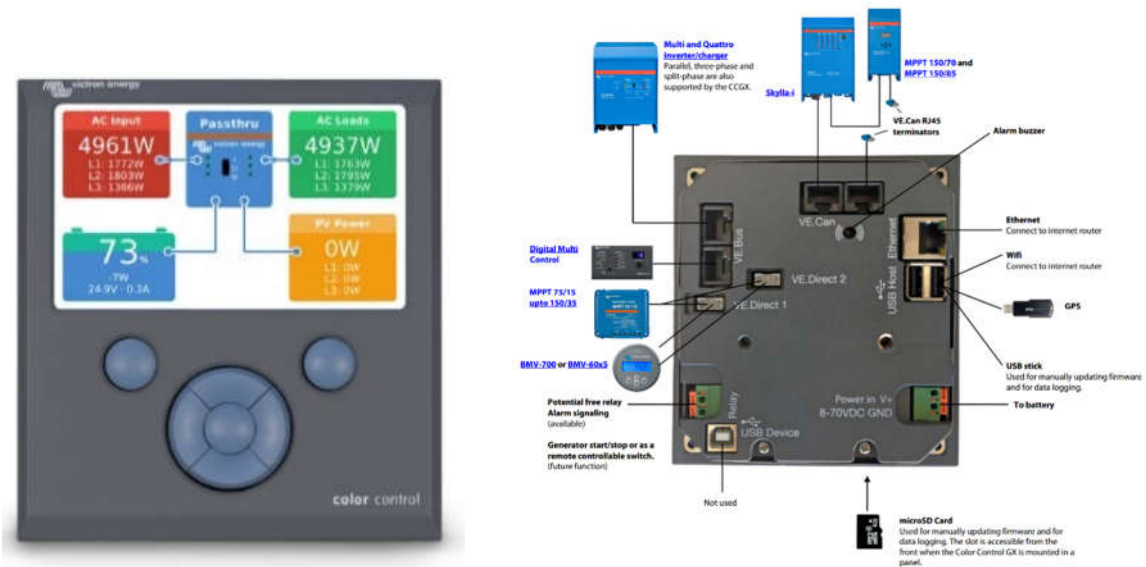


Joonis 5.15 Victron Energy inverter Quattro 3kVA 24V [44] [45]

Konkreetsel inverteril on võimalik ühendada külge 2 vahelduvvoolu tootmisüksust, milleks üheks võib olla generaator ja teiseks näiteks elektrivõrk.

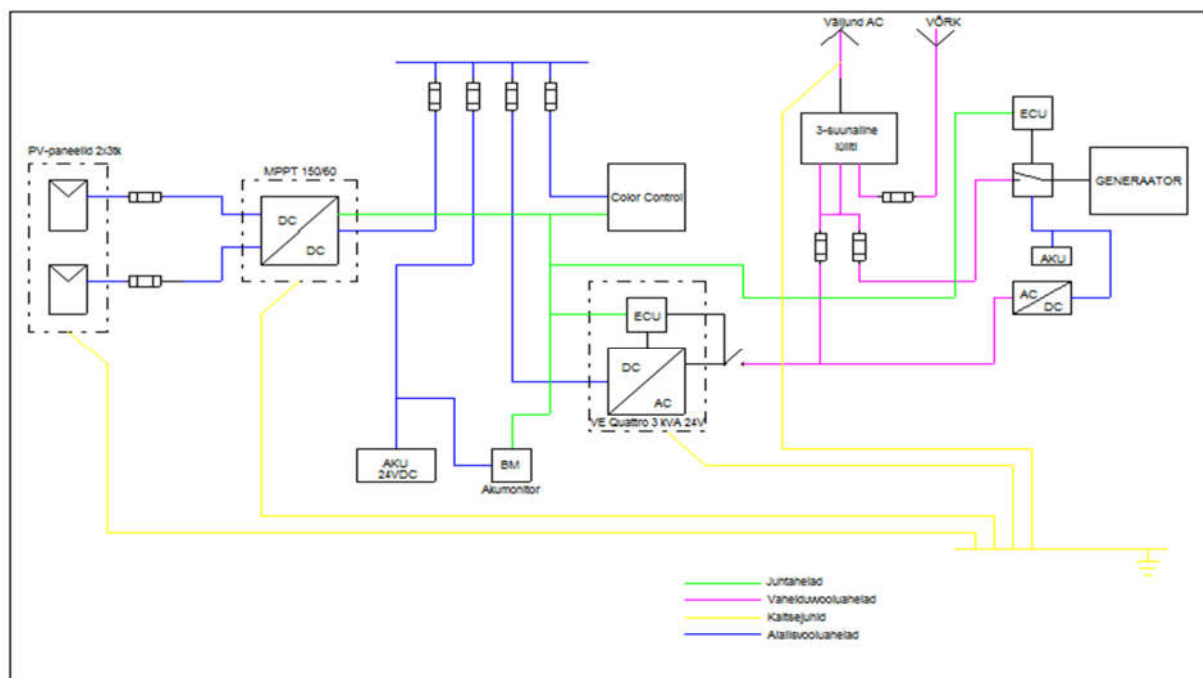
5.3.4 Juhtimissüsteem

Kogu süsteemi on võimalik juhtida, kasutades Vicroni Energy Color Control kasutajaliidest (Joonis 5.16). See on ühendatud süsteemi kõikide osadega kas kaablite või *Bluetoothi* abil. Samuti on võimalik selle abil muuta erinevaid süsteemi parameetreid alustades aku laadimisvoolu määramisest kuni generaatori käivitamise seadistamiseni. Ekraan on kasutajasõbralik ning selleks, et süsteemis ringi orienteeruda, piisab julgust pealehakkamisest. Joonisel 5.16 on veel näha kontaktid, kuhu vajalikud seadmed külge ühendatakse.



Joonis 5.16 Victron Energy Color Control juhtimissüsteem [44]

Järgneval joonisel (Joonis 5.17) on välja toodud elektriskeem, kus on näidatud ühendused erinevate seadmete vahel. Sinisega on tähistatud alalisvooluahelad, roosaga vahelduvvooluahelad, rohelisega juhtahelad ja kollasega kaitsejuhid. ECU (Electronic control unit) seadmed on joonisele kujutatud, kuna neil seadmetel on vaja ühilduda Color Control seadmega. Töös välja valitud seadmetel on need juba sisse integreeritud. Seade on võimalik ühendada majapidamise elektripaigaldisega tavalise 2,5 mm² kaabliga, millel on kolm soont.



Joonis 5.17 Pääkesejaama elektriskeem

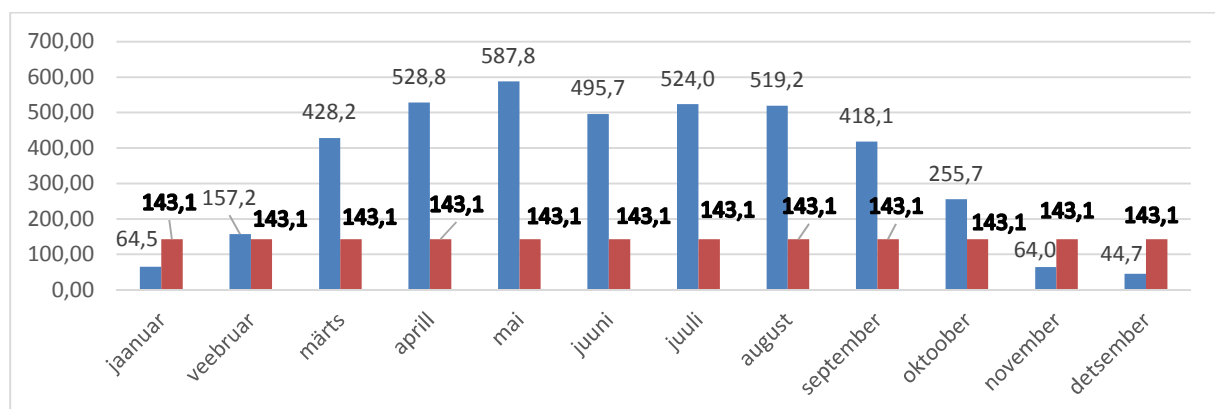
5.5 Projekti kokkuvõte

Olemasolevate andmete põhjal saab teha kokkuvõtte teisaldatavast lahendusest. Lähtuvalt akupanga ning päikesepaneelide võimsuse suuruselt on võimaline selline jaam katma ära suvise tarbimisprofiiliga elamu, mille päevane elektrienergiatarve jääb alla 5 kWh (Tabel 10). Tulenevalt varasemas peatükis tehtud uuringu põhjal peaks selline teisaldatav jaam suuteline tagama suvise energiavajaduse liitumispunktidele, mille aastane elektritarbimine on alla 1 000 kWh- neid oli kokku ligikaudu 17 000.

Tabel 10 Päikesejaama tootlikkuse andmed PVGIS põhjal [10]

Paneelide paigaldusnurk=45°, asimuut=0°				
Kuu	E _d (kWh)	E _m (kWh)	H _d (kWh/m ²)	H _m (kWh/m ²)
jaanuar	1,3	40,5	0,8	25,4
veebruar	2,3	65,5	1,5	42,0
märts	5,0	156,0	3,4	104,0
aprill	6,8	204,0	4,8	144,0
mai	7,4	230,0	5,5	170,0
juuni	7,0	210,0	5,3	158,0
juuli	6,7	207,0	5,2	160,0
august	6,0	186,0	4,5	140,0
september	4,4	133,0	3,2	96,1
oktoober	2,6	79,2	1,8	54,5
november	1,1	32,4	0,7	21,4
detsember	0,7	22,3	0,5	14,3
Aasta keskmine	4,3	130,0	3,1	94,2
Kokku aastas	1560		1130	

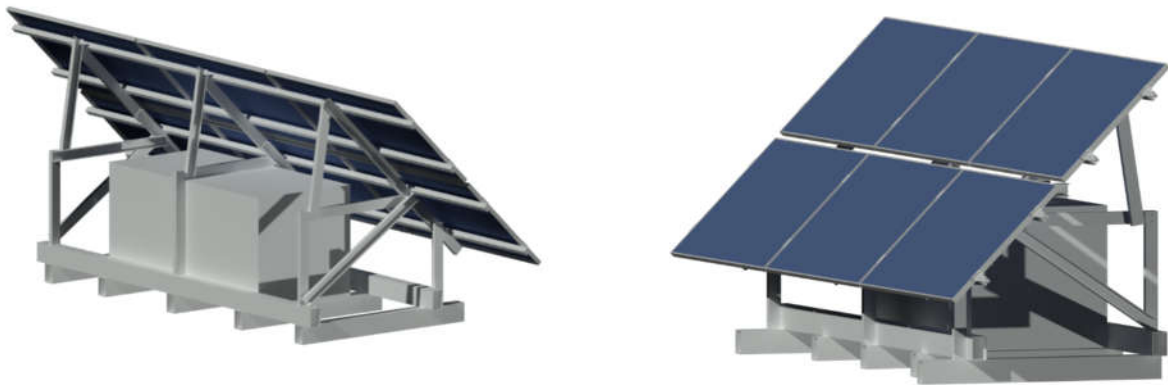
Joonisel 5.18 on graafikule kõrvuti pandud jaama prognoositav tootlikkus reaalsete jaamade tootlikkuse põhjal 40 ° kaldega ning tarbimiskõver 1 000 kWh tarbimise korral.



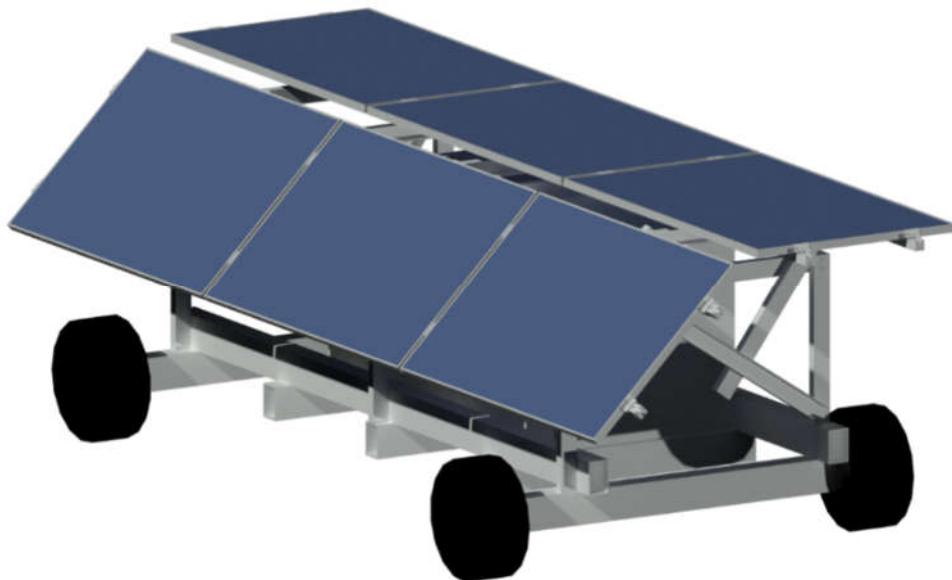
Joonis 5.18 Jaama prognoositav tootmisgraafik sinisega, tarbimisgraafik punasega

Selline lahendus sobib eelkõige majapidamistele, kus aastane elektritarbimine jääb alla 1 000 kWh. Selliste tarbimisvajadustega majapidamiste puhul on võimalik aastasest elektrienergiast toota päikesepaneelidega üle poole. Samuti sobib lahendus inimestele, kellel on olemas suvila, kuid kus elektrivõrk puudub ning sellega liitumine läheks kallimaks, kui teisaldatava jaama hind. Veel on lahendus sobilik inimestele, kes soovivad elektrivõrgust saadavast energiast vähem sõltuda. Pikkade liinide lõpus paiknevad talud leiaksid samuti sellele lahendusele kasutust, kuna elektrikvaliteet paraneks ning väheneb võimalus elektrikatkestusteks.

Järgnevatel joonistel (Joonis 5.20, Joonis 5.21) on visualiseeritud teisaldatava päikesejaama erinevaid olekuid.



Joonis 5.20 Teisaldatav päikesejaam tööasendis



Joonis 5.21 Teisaldatav päikesejaam transportasendis

Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks oli uurida teisaldatava päikeseelektrijaama loomise perspektiivikust ning koostada selline tehniline lahendus, mis oleks hõlpsasti saartaliitluses toimiva kodumajapidamise mikroelektrivõrku ühendatav.

Eesmärgini jõudmiseks uuriti töö esimeses peatükis päikeseenergia kasutamise ajalugu, ressursse ja seda mõjutavaid tegureid. Esimene fotogalvaaniline element valmistati 1883. aastal, mille kasutegur oli madal. Ráni kasutuselevõtt 1953. aastal suurendas fotoelementide kasuteguri 6%-ni ja pärast seda on toimunud päikeseenergeetikas pidev areng. Päikesepaneelide hinnad on energiaühiku kohta läbi ajaloo muutunud järjest odavamaks ning tänu sellele on viimasel kümnendil rajatud massiliselt päikesejaamu.

Päikeseressurss jaotub maale ebaühtlaselt, mis on tingitud maa pöörlemisest, tiirlemisest ümber päikese ning kaldenurgast, mistõttu tekivad aastaajad. Euroopa piires võib keskmine päikesekiirguse hulk aastas erineda üle kahe korra, kui võrrelda Lõuna-Euroopat, kus päikesekiirgust on üle 2 000 kWh/m² ja Skandinaavia põhjaosa kus see jääb alla 1 000 kWh/m². Sõltuvalt laiuskraadist, tuleb paneelid paigaldada optimaalse tootlikkuse tagamiseks vastava nurga alla, mis Eestis tingimustes on umbes 40°. PV-paneelide tootlikkust vähendavad ka paneelidele kogunev mustus, neile langevad varjud ning kõrge temperatuur. Seetõttu on vaja paneelid paigaldada hea õhutusega kohta, kus läheduses pole kõrgeid objekte, mis võiks päikest varjata.

Töö teises peatükis vaadeldi erinevate päikesejaamade tehnilisi lahendusi. Statsionaarsed hübriidpäikesejaamad võimaldavad päikeseenergiat salvestada ja seda tiputarbimise ajal kasutada, kui võrgust ostetav elektri hind on kõrgem. Sellised jaamad pole Eestis kuigi levinud ning töö kirjutamise käigus õnnestus vaid ühe sellise jaama omanikuga ühendust saada, kes ütles, et tasuvusest sellise süsteemi puhul pole mõtet rääkida. See-eest on võimalik vähendada sõltuvust ostetavast elektrienergiast.

Võrguühenduseta päikesejaamad on võrgust täiesti sõltumatud ning võrreldes hübriidlahendusega, peab akupank olema *off-grid* süsteemil suurem, et tagada elektrivarustus pikemaks ajaks. Jaotusvõrgu ettevõtte Elektrilevi OÜ piloteerib käesoleval hetkel kolme võrguvaba lahendust, millest kaks on ette nähtud aastaringseks kasutamiseks. Tulenevalt pilootjaamadest saadud kogemuste põhjal on ettevõtte teinud järeldused ja hakanud pakkuma hajapiirkonda sobivat tehases komplekteeritud lahendust.

Mobiilseid päikesejaamu, mida on võimalik haagisena autole külge haakida, maksavad palju, kuna nende jaamade konstruktsioon peab taluma igasugustel teedel sõitmist. Lisaks suurendab maksumust asjaolu, et nad peavad vastama liiklusnõuetele.

Kolmandas peatükis analüüsiti mikroelektrivõrkude elektrivarustuskindluse ning -kvaliteedi tagamist. Selgus, et mikrovõrgu planeerimisel on kõige olulisem selgeks teha eesmärgid, mida süsteem peab täitma. Suurimaks kitsaskohaks on ette planeerida elektriseadmete poolt tarbitav elektrienergia kogus. Mida täpsemalt on tarbimine teada, seda täpsemalt on võimalik süsteemi suurus planeerida.

Elektrikvaliteet mikrovõrgus võib olla kvaliteetsem, kui jaotusvõrgu elektrikvaliteet nagu käesoleva töö käigus selgus. See sõltub inverterist ja selle tüübist. Elektroonikaseadmetele parimaks inverteriks on puhas siinus inverter.

Neljandas peatükis kaardistati maapiirkonnas asuvate kodumajapidamiste energiavajadused, täpsustati mikrovõrgu liitumiskohtade kohaliku jaotusvõrguga sidumisel ning veel uuriti päikesejaama ehituskohade sõltuvalt geograafilisest asukohast. Selgus, et maapiirkonnas asuvad majapidamised tarbivad keskmiselt rohkem elektrienergiat, kui tihedama asustusega piirkonnad. Samuti sõltub elektrienergia tarbimine kütelahendussüsteemist, mis elektrikütte puhul suurendab talvist elektrienergiatarbimist. Tarbimisandmete põhjal on liinide viimaste harude lõpus, mis on pikemad kui üks kilomeeter ligikaudu 150 tarbimispunkti, mille energiavajadus jääb alla 1 000 kWh aastas.

Liitumiskohtade mikrovõrgu sidumisel kohaliku jaotusvõrguga on sarnased tavalisele mikrotootja liitumisprotsessile. Protsess võtab aega tavaliselt kuni kaks kuud. Jaotusvõrgu ettevõttega ei pea liituma, kui suudetakse jaam võrgust eraldi tööle panna. Selleks on käesolevas töös välja pakutud lahendus automaatse lüliti abil, mis suudab toiteallikat kiirelt ümber lülitada, vastavalt seadistatud prioriteetidele.

Teisaldatava päikeseelektrijaama nõuded sõltuvalt asukohast erinevad peamiselt päikesekiirgushulga tõttu. Põhja-Euroopas on jaamale vaja aastaringseks kasutamiseks külge ühendada generaator, sõltumata tarbimisest. Lõuna-Euroopas on võimalik vaid paneelide ja akuga läbi ajada. Temperatuuri muutuste tõttu on vajalik Põhjamaades seadme soojustamine, et aku oleks suuremas ulatuses kasutatav. Lõuna-Euroopas on tarvilik tagada akudele hea jahutus, mistõttu võib olla vajalik sellisest jaamast ülejääv energia suunata akude jahutamiseks. Paneelide kaldenurk on vajab samuti optimaalse tootlikkuse saamiseks vastavat paigutust päikese liikumise suhtes.

Töö viimases peatükis projekteeriti AutoCAD tarkvara kasutades kõiki eelnevaid peatükke silmas pidades teisaldatav päikeseelektrijaam, mis on sobivate mõõtmetega, teisaldamiseks seda nii merekonteinerite abil, kui mööda maismaad auto treileri peal. Selleks külastati mitmeid Eesti paiku ning kohtuti erinevate ettevõtete ja inimestega. Töö tulemusena valmisid joonised konstruktsioonidetailide kohta, elektriskeem ja samuti jaama visuaalne pool. Koguti andmeid erinevate detailide hinna ja kaalu kohta ning kokkuvõttes tehti järeldused sellise jaama perspektiivikusest.

Kokkuvõttes oleks sellise jaama ehituse teostamine huvitav ettevõtmine, millel oleks olemas ka praktiline väärtus nagu töö ülesandes püstitatud sai.

Kirjandus

- [1] L. Richardson. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [2] A. Baker. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.solarpowerauthority.com/a-history-of-solar-cells/>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [3] M. Jeppesen. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://reneweconomy.com.au/solar-power-in-space-60th-anniversary-of-vanguard-1-41568/>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [4] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://odisha.live/2017/10/09/worlds-oldest-working-satellite-space-vanguard-1/>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [5] M. G. Richard. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.treehugger.com/renewable-energy/striking-chart-showing-solar-power-will-take-over-world.html>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [6] „Earth Policy Institute,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.earth-policy.org/>. [Kasutatud 7 mai 2018].
- [7] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.kliimamuutused.ee/kliimamuutustekkk/kliimamuutus-ja-poliitika/pariisi-kliimalepe>. [Kasutatud 8 mai 2018].
- [8] A. K. Viivi Russak, „Riigi Ilmateenistus,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.ilmateenistus.ee/wp-content/uploads/2013/01/eesti_kiirguskliima_teatmik.pdf. [Kasutatud 9 mai 2018].
- [9] „National Weather Service,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.weather.gov/cle/seasons>. [Kasutatud 8 mai 2018].
- [10] „Photovoltaic Geographical Information System,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://re.jrc.ec.europa.eu>. [Kasutatud 8 mai 2018].
- [11] M. A. Maehlum. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>. [Kasutatud 9 mai 2018].

- [12] „Päikeseküte,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.xn--pikesekte-v2a4y.ee/artiklid/paikesepaneel-paikesekollektor/>. [Kasutatud 9 mai 2018].
- [13] „Suntronic Solar,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.suntronicsolar.com/difference-between-monocrystalline-polycrystalline-and-amorphous-thin-film-solar-cell/>. [Kasutatud 9 mai 2018].
- [14] R. Pinn, „Off-grid elektrisüsteemid,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://rp3.ee/off-grid-teooria/paikesepaneelid/>. [Kasutatud 11 mai 2018].
- [15] A. Rosin. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.ttu.ee/public/p/projektid/BuildEst/Taastuenergiaseadmed_Argo_Rosin.pdf. [Kasutatud 11 mai 2018].
- [16] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.taastuenergia.ee>. [Kasutatud 2018 mai 24].
- [17] I. J. o. C. Applications, „The Factors Affecting the Performance of Solar Cell,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://research.ijcaonline.org/icquest2015/number1>. [Kasutatud 12 mai 2018].
- [18] „Energiapartner OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://energiapartner.ee/paikeseenergia/paikesepaneelid/>. [Kasutatud 12 mai 2018].
- [19] Y. C. J. R. B. Mesude Bayrakci, „Energy Procedia,“ *Elsevier*, kd. 57, pp. 745-754, 2014.
- [20] M. Newkirk. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/8/14/what-is-hybrid-solar>. [Kasutatud 13 mai 2018].
- [21] M. McGowan. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.theguardian.com/australia-news/2018/mar/07/feed-in-tariffs-could-be-cut-back-from-high-take-up-of-solar-power>. [Kasutatud 13 mai 2018].
- [22] J. Deign. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/spanish-self-consumption-law-allows-batteries-at-a-cost#gs.DNJQzjc>. [Kasutatud 13 mai 2018].

- [23] „Elektrilevi OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.elektrilevi.ee> [Kasutatud 12 mai 2018].
- [24] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.yourprojectloan.com/blog/generators/why-you-need-a-home-generator-this-summer/>. [Kasutatud 13 mai 2018].
- [25] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.oksolar.com/lion/Item/000777077/trailer-mounted-power-for-medical-refrigeration>. [Kasutatud 13 mai 2018].
- [26] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.homepower.com/solar-trailers>. [Kasutatud 13 mai 2018].
- [27] R. Teemets. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV3340/EIVar_7._Elektri_kvaliteet.Konspekt2014kevad.pdf. [Kasutatud 23 mai 2018].
- [28] M. S. Krzysztof Górecki, „The Power Quality in Low-Power Solar Off-Grid System,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6842757>. [Kasutatud 23 mai 2018].
- [29] „Electrical Engineering,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://electronics.stackexchange.com/questions/104393/to-what-extent-are-pure-sine-wave-power-supplies-marketing-spin>. [Kasutatud 25 mai 2018].
- [30] L. K. Rita Raudjärv, „Energiatarbimine kodumajapidamistes,“ Eesti Statistikaamet, 2011.
- [31] „Riigi Teataja,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://captken.wordpress.com/2011/04/24/technology-6/>. [Kasutatud 23 mai 2018].
- [32] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.rpc.com.au/catalog/latronics-3-way-automatic-transfer-switch-p-2756.html>. [Kasutatud 23 mai 2018].
- [33] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.blackline.ee/products__trashed/avatavakuljega-konteiner-uus-6m-20ft-os/. [Kasutatud 14 mai 2018].

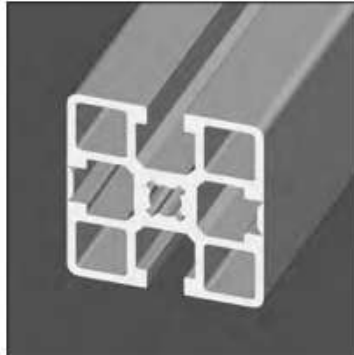
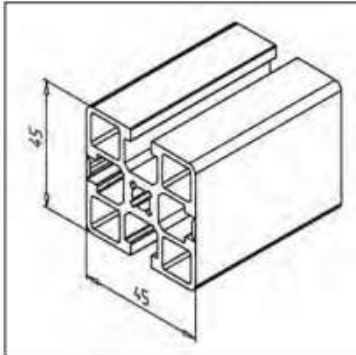
- [34] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.australiatrade.com.au/Shipping/ContainerSizeSales/index.htm>. [Kasutatud 14 mai 2018].
- [35] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.auto24.ee/kasutatud/auto.php?id=2510489&cache_missing=1. [Kasutatud 14 mai 2018].
- [36] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.alas-kuul.ee/media/wysiwyg/CMS/Minitec_Profilsystem_Web_en.pdf. [Kasutatud 16 mai 2018].
- [37] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://metalexpress.ee/wp-content/uploads/2016/11/Kataloog.pdf>. [Kasutatud 16 mai 2018].
- [38] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>. [Kasutatud 20 mai 2018].
- [39] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.europe-solarstore.com/lg/lg310n1c-g4-neon2.html>. [Kasutatud 20 mai 2018].
- [40] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.toode.ee/tootekataloog/sandwichpaneelid/>. [Kasutatud 20 mai 2018].
- [41] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.isoreal.ee/userfiles/file/Balex%20ET-kaart%202013.pdf>. [Kasutatud 20 mai 2018].
- [42] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: https://www.greenenergyparts.com/sales/batteries/battery-sunlight-2v-sopzv.html?__store=romanian&__from_store=spain. [Kasutatud 20 mai 2018].
- [43] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.commodoreaustralia.com.au/product/bluesolar-mppt-15060-mc4-122448v-60a-2/>. [Kasutatud 21 mai 2018].
- [44] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.outbackmarine.com.au/quattro-24-3000-70-50-50-230v-inverter-charger-vic>. [Kasutatud 21 mai 2018].

- [45] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.victronenergy.com/>. [Kasutatud 21 mai 2018].
- [46] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.draw.io/>. [Kasutatud 24 mai 2018].
- [47] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.kohlersdmo.com/EN/Products/PPW/Portable-power-generators/Diesel/DIESEL-6000-E-SILENCE-AVR>. [Kasutatud 23 mai 2018].
- [48] [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://odisha.live/2017/10/09/worlds-oldest-working-satellite-space-vanguard-1/>. [Kasutatud 7 mai 2018].

Lisa 1

PROFILE 45 X 45 2GG

part no. 20.1099/0



TECHN. DATA / ITEMS SUPPLIED

- lx =	13,069 cm ²
- ly =	14,045 cm ²
- wx =	5,808 cm ³
- wy =	6,242 cm ³
- Weight	1,925 kg/m
- Length	6 m
- Packing unit	36 m

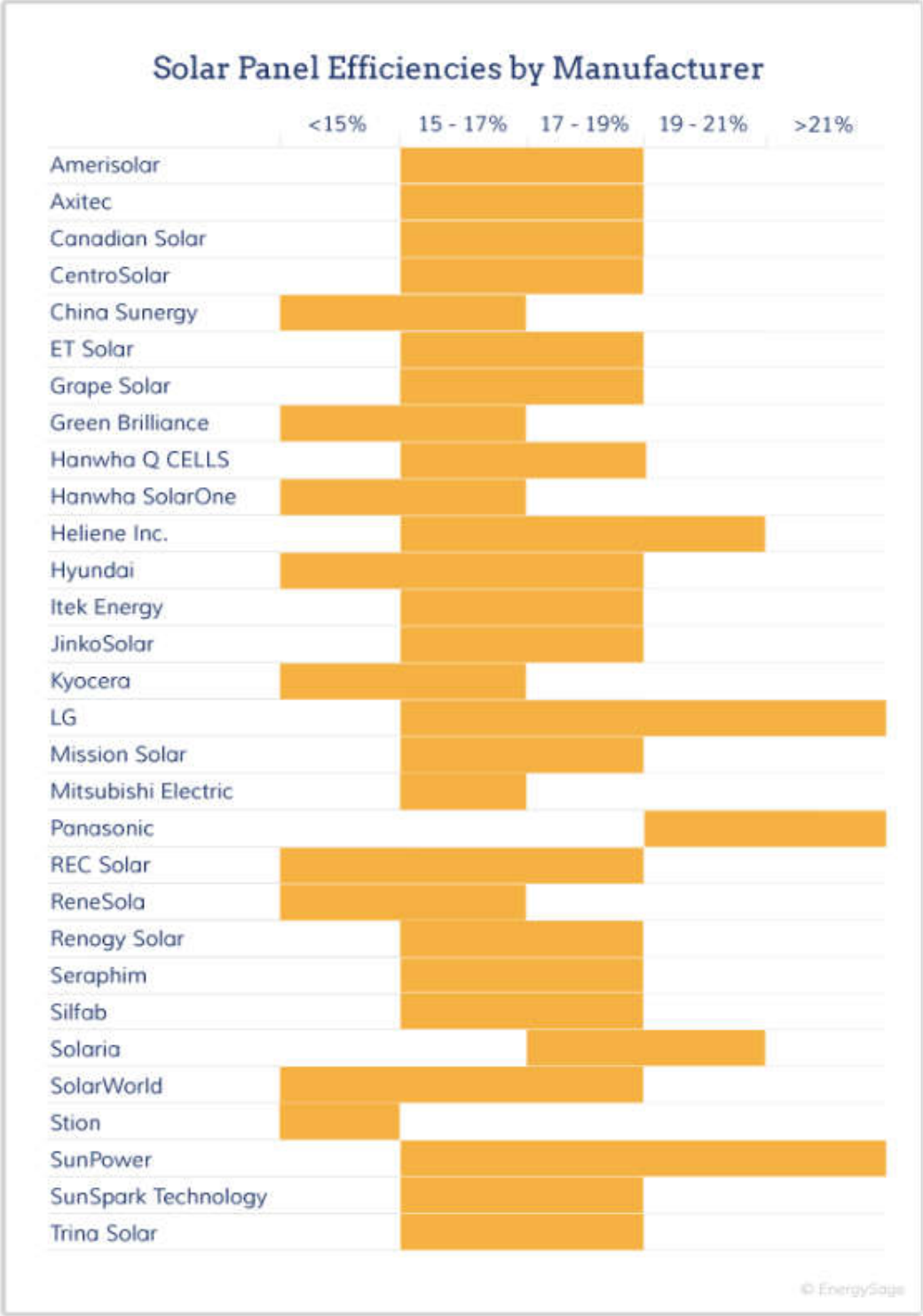
APPLICATIONS

- General constructions, particularly for use in the food industry, in medical engineering and for the filling of beverages, where strict hygienic standards are set
- Grooves can be closed with the aluminium cover profile L, **part no. 20.1021/0**, when opened too far
- Silicon sealings for profile connections on request

ASSEMBLY

- For tightening power-lock fastener, the groove cover must be opened with tear-off lever, **part no. 26.0815/0** at the profile end
- Cover with end cap G **part no. 22.1056/1**
- Angle 25 / 45

Lisa 2



Lisa 3



Model Number	LG310N1C-G4
STC Rating	310.0 Watts
PTC Rating	282.7
Open Circuit Voltage (Voc)	40.4 Volts
Short Circuit Current (Isc)	9.96 Amps
Frame Color	Black
Origin	Korea
Power Tolerance	-0 / +3%
Module Efficiency	18.9%
Area	17.8 ft ²
Weight	37 lbs.
Length	64.57 in.
Width	39.37 in.
Height	1.57 in.

Lisa 4 1 kW paneelide keskmine tootlikkus 2014-2017

	jaanuar	veebruar	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember
1	0,18	0,10	2,07	1,47	5,02	5,13	3,03	4,22	3,46	2,11	0,35	0,48
2	0,42	0,25	1,38	4,47	5,54	3,78	5,43	4,61	2,19	3,21	0,40	0,49
3	0,04	0,50	1,05	1,53	6,41	4,96	4,77	6,14	3,14	3,41	1,10	0,05
4	0,04	0,26	1,42	5,22	5,96	6,81	5,52	4,29	4,72	1,34	0,23	0,29
5	0,03	0,73	2,52	3,03	4,47	4,56	6,38	5,23	3,98	2,77	0,84	0,10
6	0,17	0,55	2,09	3,78	5,44	5,26	5,85	3,70	4,20	3,15	0,15	0,07
7	0,05	0,26	1,27	2,57	5,88	6,53	4,03	5,25	2,40	2,38	0,88	0,17
8	0,11	0,73	1,61	5,58	4,99	3,64	4,80	4,71	3,72	0,72	0,15	0,45
9	0,18	1,48	2,93	4,46	5,39	5,58	5,69	5,21	3,16	0,54	0,12	0,39
10	0,23	1,25	1,84	5,83	4,36	5,00	5,15	5,27	3,12	1,51	0,51	0,22
11	0,10	1,16	2,31	5,13	4,74	4,65	4,30	4,91	3,73	2,32	0,12	0,65
12	0,06	0,31	4,87	3,91	5,61	3,77	3,84	4,56	4,04	0,99	0,20	0,15
13	0,20	0,77	3,49	3,16	4,16	4,99	3,84	4,32	4,40	0,65	0,54	0,46
14	0,17	1,26	3,58	4,46	5,28	4,54	5,19	4,97	3,91	1,25	0,35	0,31
15	0,36	2,00	2,95	4,33	4,40	6,07	4,66	4,88	3,06	1,75	0,37	0,13
16	0,18	2,78	4,06	5,88	6,05	5,42	5,51	3,40	2,91	2,31	1,06	0,22
17	0,16	2,41	4,08	3,95	4,67	5,62	3,58	4,56	2,92	2,39	0,32	0,13
18	0,25	2,22	3,27	4,29	3,90	2,29	5,43	3,50	2,91	2,17	0,38	0,10
19	0,38	0,27	3,96	4,38	6,33	4,22	5,05	4,39	2,07	2,59	0,91	0,08
20	0,23	0,30	3,21	5,42	5,81	4,22	4,48	4,77	2,90	2,88	0,49	0,05
21	0,59	0,82	2,57	6,00	4,87	6,25	5,28	4,47	3,09	1,78	0,25	0,16
22	0,56	0,43	3,35	4,92	6,70	4,44	4,62	3,20	1,92	1,72	0,20	0,31
23	0,11	0,61	3,50	5,80	5,33	5,04	4,65	3,78	2,26	2,00	0,23	0,06
24	0,46	1,02	4,46	4,64	5,97	3,34	5,92	4,37	3,26	2,65	0,12	0,38
25	0,48	3,16	1,72	4,79	6,60	4,63	5,25	2,84	3,32	1,11	0,18	0,23
26	0,16	0,64	3,19	2,97	5,53	2,85	5,18	2,77	3,08	1,01	0,09	0,66
27	0,75	0,93	4,20	4,56	4,36	4,55	5,35	4,12	4,23	0,33	0,11	0,62
28	0,61	0,90	4,75	4,40	5,56	6,19	4,25	3,05	1,29	1,25	0,09	0,93
29	0,64		4,91	2,37	4,06	4,72	3,97	3,92	3,35	1,57	0,47	0,49
30	1,20		3,45	5,46	5,20	2,90	4,33	3,50	2,50	1,24	0,49	0,30
31	0,30		2,62		4,04		3,60	3,99		2,29		0,39
	0,3	1,0	3,0	4,3	5,2	4,7	4,8	4,3	3,2	1,9	0,4	0,3