



Valter Riihimäki

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu vapaa-ajanasuntoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

1.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Valter Riihimäki
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu vapaa-ajanasuntoon
Sivumäärä: 39 sivua + 2 liitettä
Aika: 1.4.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Lehtori Kai Virta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajanasuntoon. Kohteena oli yksityiskäytössä oleva 1980-luvulla rakennettu hirsimökki. Järjestelmä suunniteltiin henkilökohtaisesti asiakkaalle tarpeiden mukaan. Kohteen pääsääntöinen käyttö kohdistuu touko-syyskuulle, joten järjestelmä mitoitettiin näiden käyttökuukausien mukaisesti.

Energian tarpeen määrittämiseen laskettiin mukaan sähkölaitteet, joilla korvataan nykyiset kaasukäyttöiset kodin elektroniikkalaitteet sekä asiakkaan käyttämät kodin pienelektroniikkalaitteet. Järjestelmän komponentit valittiin kustannustehokkaasti kohteen tarpeiden mukaisesti.

Työssä vertailtiin myös, onko taloudellisesti kannattavaa hankkia kohteeseen verkkosähköliittymä, ja vertailtiin sähköliittymän toteutuksen kokonaiskustannuksia aurinkosähköjärjestelmän kustannuksiin.

Lopputuloksena asiakkaalle jäi yksityiskohtainen suunnitelma aurinkosähköjärjestelmän toteuttamisesta ja sen aiheuttamista kustannuksista.

Avainsanat: aurinkosähkö, energia, kustannustehokas

Abstract

Author: Valter Riihimäki
Title: Designing a Photovoltaic System for a Leisure Home
Number of Pages: 39 pages + 2 appendices
Date: 1 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Supervisors: Senior Lecturer Kai Virta

The aim of this thesis work was to design a photovoltaic system for a leisure home. The target was a log cabin, which was built in the late 1980s. The system was designed to match the needs of the end user. This cottage is in use mainly in the summer, from May to September. Therefore, the off-grid photovoltaic system was sized according to the usage during these months.

Energy consumption calculations included electrical devices, which were set to replace current gas-powered equivalent devices. Also included in these calculations were other small electronic devices the customer wanted to be able to use daily. Components used in the photovoltaic system were chosen cost-effectively according to the needs of the customer.

In addition, cost of the photovoltaic system was compared to the total costs of connecting the leisure home to an electricity grid. It was considered whether connecting to a power grid was more cost efficient than a photovoltaic system.

As a result, the customer received a detailed plan about the implementation of the photovoltaic system and the total cost of the plan.

Keywords: photovoltaic, energy, off-grid

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Aurinkopaneelien toimintaperiaate	2
2.2	Aurinkosäteily Suomessa	4
3	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	7
3.1	Kohteen tiedot	7
3.2	Energiantarpeen määrittäminen	8
3.3	Aurinkosähköjärjestelmän koko	11
4	Komponenttien valinnat ja sijoitus	16
4.1	Aurinkopaneelit ja kiinnikkeet	17
4.1.1	Aurinkopaneelit	17
4.1.2	Kiinnikkeet	20
4.2	Akusto	21
4.3	Vaihtosuuntaaja ja lataussäädin	22
4.3.1	Vaihtosuuntaaja	22
4.3.2	Lataussäädin	23
4.4	Kaapelit ja sulakkeet	24
4.5	Etämonitorointi	27
4.6	Komponenttien sijoitus	28
4.6.1	Tasopiirustus	28
4.6.2	Kytöntäkaavio	29
5	Kustannuslaskelmat	32
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	36
	Liite 1: NM160PP Nordmax specification	
	Liite 2: Victron Energy MPPT Calculator report	

Lyhenteet

- PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System. Työkalu auringon säteilyn sekä aurinkopaneelien potentiaalisen tuoton arviointiin.
- AC: Alternating current. Vaihtovirta. Virta, jonka suunta vaihtelee ajan funktiona.
- DC: Direct current. Tasavirta. Virta, jonka suunta ei muutu vaan kulkee johtimessa tiettyyn suuntaan.
- PERC: Passivated emitter and rear contact. Aurinkokennorakenne, jonka kennon takaosassa on ylimääräinen heijastava kerros.
- AGM: Absorbent glass mat. Suljettu lyijyakku, jossa positiivisen ja negatiivisen levyn välissä oleva elektrolyytti on imeytetty lasivillaan.
- PWM: Pulse-width modulation. Pulssinleveysmodulaatioon perustuva lataussäädin säätelee akuille syötettävää virtaa tietyn ajanjakson pituisissa pulsseissa.
- MPPT: Maximum Power Point Tracking. MPPT-lataussäädin vertaa paneelien tehoa akkujen jännitteeseen ja sen avulla määrittämällä optimaalisen latausvirran.
- VRM: Victron remote management. Victronin kehittämä sovellus, jonka avulla voi luoda etäyhteyden yhteensopivien laitteiden kanssa.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella kustannustehokas aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajan asuntoon, joka sijaitsee Etelä-Savossa. Tarkoituksena on suunnitella mahdollisimman tarkasti yksityiskäyttöön sopiva aurinkosähköjärjestelmä, joka mitoitetaan loppukäyttäjän tarpeen mukaan.

Opinnäytetyössä perehdytään aluksi aurinkoenergian teoriapuoleen, jonka jälkeen tutustutaan kohteen tietoihin sekä määritetään vapaa-ajan asunnon energiantarve käyttäjän toiveiden mukaan. Kohde on 1980-luvun loppupuoliskolla rakennettu noin 60 m²:n hirsimökki, joka on pääsääntöisesti käytössä toukuusta syyskuuhun. Tarkoituksena on suunnitella mökkiin sopivan kokoinen aurinkosähköjärjestelmä, jonka avulla pystyy käyttämään erilaisia kodin elektroniikkalaitteita pääsääntöisesti juuri keväästä syksyyn.

Opinnäytetyössä pohditaan myös aurinkosähköjärjestelmään kuuluvien erilaisten komponenttien kuten paneelien, akuston sekä vaihtosuuntaajan laitekohtaisia eroja ja pyritään valitsemaan juuri tähän järjestelmään oikeanlaiset ja kustannustehokkaat komponentit. Lisäksi suunnitellaan järjestelmän etämonitoroinnin kannalta oleelliset lisäosat ja laitteistot.

Opinnäytetyössä tutkitaan myös sähköverkkoon liittymisen kustannuksia ja vertaillaan sähköurakoitsijoilta saatuja hinta-arvioita aurinkosähköjärjestelmän asennuksen kokonaiskustannuksiin.

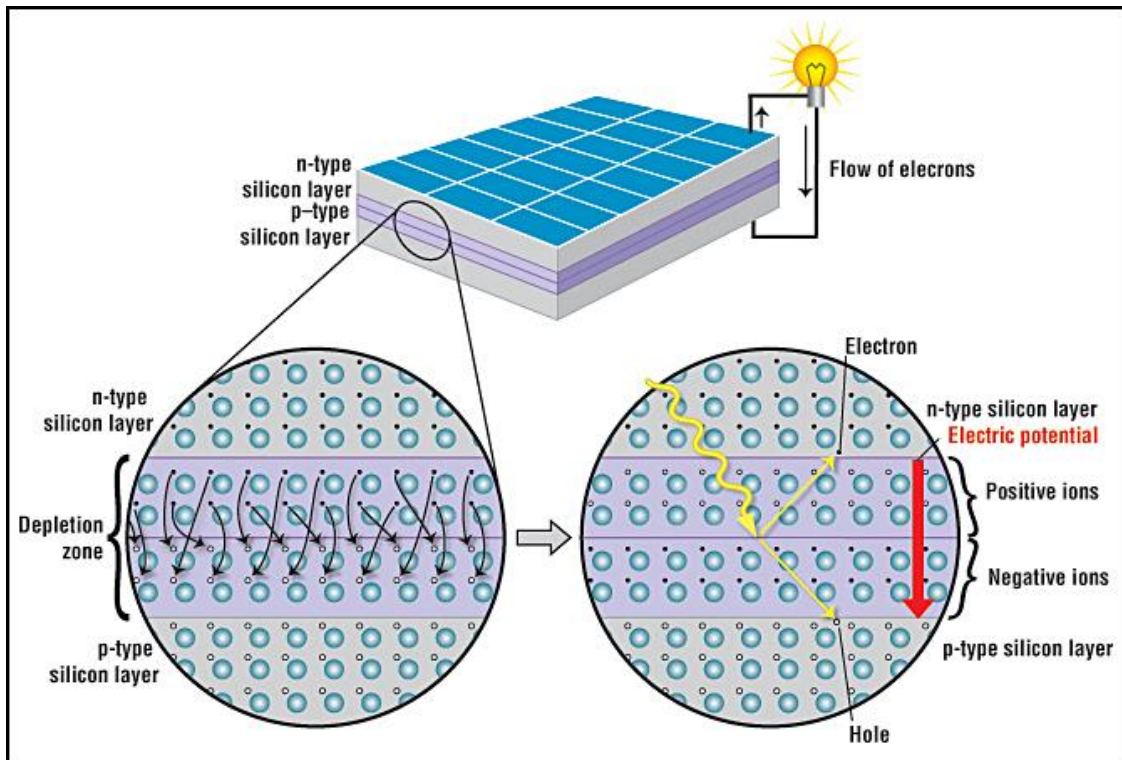
2 Aurinkoenergia

Auringon tuottamaa säteilyä on hyödynnetty jo niinkin aikaisin kuin 600–700 vuotta ennen ajanlaskun alkua. Kyseisenä ajanjaksona auringonsäteiden hyödyntäminen rajoittui tulien sytyttämiseen suurennuslasien avulla. Nykyään auringonsäteilyä hyödynnetään muuntamalla auringosta saatua säteilyenergiaa joko lämpöenergiaksi tai sähköenergiaksi aurinkopaneelien tai aurinkokeräimen avulla. Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö on puhdasta ja lähes CO₂-vapaata sähköä, jota on tarjolla käytännössä loputtomasti eli se on uusiutuvaa energiaa. [1; 2.]

Nykyaikaiset aurinkopaneelit hyödyntävät sähkön tuottamiseen aurinkokennoteknologiaa. Tämän teknologian kehittivät Daryl Chapin, Calvin Fuller sekä Gerald Pearson vuonna 1954. He kehittivät ensimmäisen piistä valmistetun aurinkokennon, jonka hyötysuhde tosin oli vasta noin neljän prosentin luokkaa, toisin kuin tämänhetkiset aurinkopaneelit, jotka saavat hyödynnettyä noin 21 prosenttia auringon tuottamasta säteilystä. [1; 2.]

2.1 Aurinkopaneelien toimintaperiaate

Aurinkosähköllä tarkoitetaan yleisesti auringon tuottaman säteilyenergian muuttamista sähköksi aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelien toimintaperiaate perustuu valosähköiseen ilmiöön. Auringosta lähtöisin olevat fotonit irrottavat elektroneita puolijohdemateriaalista aurinkokennon sisällä. Yleisimmin aurinkopaneeleissa puolijohdemateriaalina toimii pii. Auringonsäteiden osuessa aurinkokennoon negatiivisesti varautuneet elektronit irtoavat atomeistaan, jolloin kyseiset elektronit vapautuvat puolijohdemateriaaliin. Vapautuneiden elektronien liike puolestaan tuottaa aurinkokennoon sähkövirtaa. [3.]



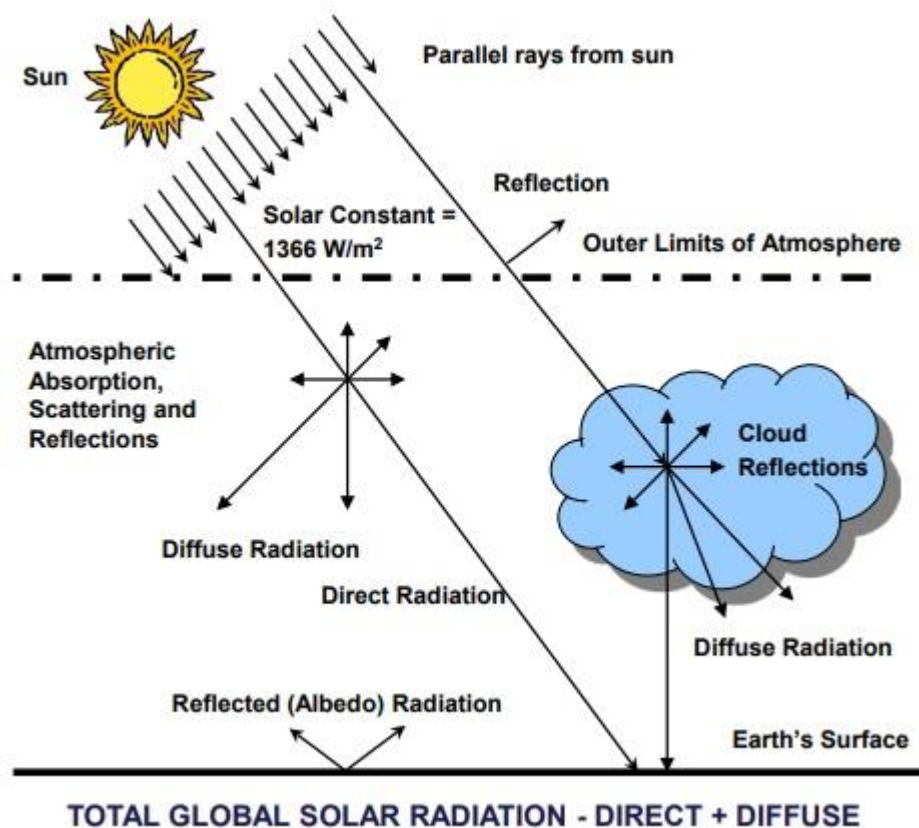
Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate. [4]

Aurinkokenno pitää sisällään kahta erityyppistä puolijohdetta, p-tyyppin sekä n-tyyppin puolijohdetta. Kummatkin sekä n-tyyppin että p-tyyppin puolijohdeet sisältävät piitä. P-tyyppin puolijohdeeseen on saostettu alkuainetta, yleisimmin booria tai galliumia, koska näillä alkuaineilla on vähemmän elektroneja kuin piillä. Saostuksesta aiheutuu p-tyyppin puolijohdeelle elektronivajaus. [4; 5.]

N-tyyppin puolijohdeessa puolestaan saostetaan alkuainetta, jolla on enemmän elektroneja kuin piillä kuten arseenia. Rinnakkain olevien n- ja p-tyyppin puolijohdeiden välillä syntyy sähkövirtaa, kun n-tyyppin ylimääräiset elektronit siirtyvät p-tyyppin puolijohdeeseen aiheuttaen n-tyyppin puolijohdeeseen positiivisen varauksen ja p-tyyppin puolijohdeeseen negatiivisen varauksen. Ulkoisen virtapiirin kautta elektronit siirtyvät p-tyyppin puolelta taas takaisin n-tyyppin puolelle. Vapaasti virtaavat elektronit luovat virtapiiriin tasasähkövirtaa, jota pystytään hyödyntämään sellaisenaan tai se voidaan muuttaa tarvittaessa vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla vaihtosähköksi. [4; 5.]

2.2 Aurinkosäteily Suomessa

Auringonsäteily muodostuu auringosta suoraan tulevasta säteilystä, hajasäteilystä sekä heijastuneesta säteilystä. Hajasäteilyllä tarkoitetaan auringosta tulevaa säteilyä, joka on heijastunut haluttuun kohteeseen epäsuorasti esimerkiksi pilvien tai ilmakehän läpi. Heijastuneella säteilyllä tarkoitetaan taas auringosta tullutta säteilyä, joka on heijastunut kohteeseen esimerkiksi veden pinnasta tai lumen pinnasta. Suomessa merkittävä osa auringon säteilystä on juuri hajasäteilyä, arviolta noin 40–50 prosenttia auringon kokonaissäteilystä. [6.]



Kuva 2. Auringon kokonaissäteily [7].

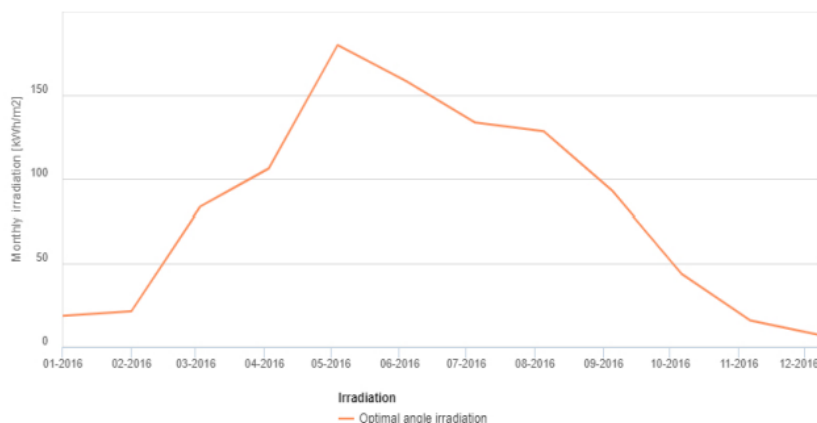
Auringon säteilyä mitataan wattitunteina neliometriä kohden. Tämä tarkoittaa keskimääräistä auringon säteilyn voimakkuuden määrää mitatussa paikassa, kun aurinko paistaa mitattuun kohteeseen pilvettömältä taivaalta keskipäivällä.

Maan ilmakehän ulkopuolella auringon säteilyn voimakkuus neliometriä kohden on vakio, joka on noin 1366 wattia neliometriä kohden. Maan pinnalla keskimääräinen säteilyn voimakkuus on noin tuhannen watin luokkaa neliometriä kohden. Teoriassa, mikäli aurinkopaneelien hyötysuhde olisi 100 prosenttia, voisi potentiaalisesti saada neliömetrin kokoiselle alueelle tunnin ajan jaksolla kerättyä auringon säteilyn avulla noin 1000 wattia energiaa, jolla pystyttäisiin jo esimerkiksi käyttämään jääkaappia koko päivän ajan. [8.]

Etelä-Suomessa auringon vuosittainen kokonaissäteily noin 980 kilowattituntia neliometriä kohden. Keski-Suomessa kyseinen arvo on hiukan pienempi eli noin 890 kilowattituntia neliometriä kohden. Kyseinen lukema on yllättävän hyvä, jos ajatellaan, että Suomessa pimeät ja auringottomat talvet laskevat vuosittaista säteilyn määrää hurjasti. Suomen pimeitä talvia kompensoi valoisat ja pitkät kesäpäivät, jolloin auringosta saatua säteilyä voidaan hyödyntää parhaimmillaan ympäri vuorokauden. [6.]

Alla olevassa kuvassa 3 on esitetty PVGIS-5 työkalua käyttäen kuukausittainen auringonsäteilyn määrä vuonna 2016 kohteen sijainnissa xx astetta, xx minuuttia ja xx,x sekuntia pohjoista leveyttä ja xx astetta, xx minuuttia ja xx sekuntia itäistä pituutta aurinkopaneelien ollessa sijoitettuna noin 45 asteen kulmaan etelään suunnattuna.

Monthly solar irradiation estimates



Kuva 3. Auringonsäteilyn määrä kohteessa vuonna 2016 [9].

Lukuarvoja PVGIS-5 laskelmasta tarkastelemalla huomataan, että valtaosa kohteelle tulevasta auringonsäteilystä sijoittuu maaliskuun ja syyskuun välille. Kohteessa vietetään pääsääntöisesti aikaa juuri näiden kuukausien aikana, joten mitoitetaan aurinkosähköjärjestelmä näiden kuukausien keskimääräisen auringonsäteilyn perusteella. Alla olevassa taulukossa 1 on eroteltu kuukausittaiset lukuarvot PVGIS-5:stä saadusta datasta. Lukuarvot ovat kaikki kilowattitunteja neliometriä kohden.

Taulukko 1. Auringonsäteily määrä kohteessa kuukausittain [9].

Global irradiation optimum angle

Month	2016
January	18.68
February	21.49
March	83.34
April	106.18
May	180.01
June	158.36
July	133.6
August	128.45
September	92.66
October	43.92
November	15.96
December	7.27

PVGIS-5-työkalun laskelmien perusteella voidaan todeta aurinkopaneeleilla optimaaliset asennuskulmat sekä suuntaukset. Paneelit ovat järjestelmän tehokkuuden kannalta kaikkein järkevintä sijoittaa suuntaamaan etelään, jolloin maksimoidaan auringon säteilyenergiasta saatu hyöty. Aurinkopaneelien suuntaus on siinä mielessä järkevää kustannustehokkuuden kannalta, että pystytään mitoittamaan järjestelmän koko juuri sopivaksi käyttäjän tarpeisiin minimoiden paneelien määrä. Järjestelmän aurinkopaneelit pyritään myös asentamaan 45° kulmaan.

3 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen tarkoituksena on määrittää aurinkopaneelien sekä akuston optimaalinen määrä aurinkopaneelijärjestelmälle. Akuston koko ja paneelien määrä saadaan määritettyä kohteen potentiaalisen energiantuoton, energiantarpeen perusteella. Akustoa määrittäessä tulee myös huomioida, miten pitkään järjestelmän halutaan pysyvän omavaraisena ennen kuin akustoa on ladattava uudelleen. Toisin sanottuna kuinka pitkään akuista voidaan ottaa käyttöön virtaa ennen kuin ne tyhjenevät tiettyyn pisteeseen pilvisinä ajanjaksoina, jolloin aurinkopaneelit eivät tuota akkuihin virtaa.

Järjestelmä suunnitellaan 24 voltin järjestelmäksi, koska verrattuna 12 voltin järjestelmään 24 voltin järjestelmässä voidaan käyttää ohuempia ja kustannuksiltaan edullisempia johtimia. Optimoimalla tarvittavien johtimien paksuus minimoidaan jännitehäviöt. Vaihtosuuntaajan avulla muunnetaan aurinkopaneeleilta tullut tasavirta vaihtovirraksi, jotta kohteessa pystytään käyttämään erilaisia 230 voltin kodin elektroniikkalaitteita.

3.1 Kohteen tiedot

Kohde on 1980-luvulla rakennettu hirsimökki, joka sijaitsee Etelä-Savossa Hirvensalmen välittömässä läheisyydessä. Vapaa-ajan asunto on kooltaan noin 60 m². Tällä hetkellä kohde ei ole paikalliseen sähköverkkoon kytkettynä. Siihen toki olisi mahdollisuus, sillä sähköverkko kulkee aivan mökin läheisyydessä. Kohteen mökki on pääsääntöisesti kesäkäytössä toukokuun lopusta aina syyskuun loppuun asti. Aurinkosähköjärjestelmä tullaan mitoittamaan niin, että tilaaja pystyy käyttämään haluamiaan sähkölaitteita kyseisellä aikavälillä tarpeidensa mukaisesti.

Tällä hetkellä mökissä on kaasulla toimiva jääkaappi sekä liesi. Jääkaappi on tilaajan mukaan saatava korvattua uudemmalla sähköllä toimivalla verkkovirtaan kytkettävällä mallilla. Kaasukäyttöistä liettä ei ole järkevä lähteä korvaamaan sähköliedellä sen suuren virrankulutuksen takia. Tämänhetkinen valaistus

on tehty paristojen avulla toimivilla seinään tarranauhalla kiinnitettävillä LED-valaisimilla. Nämä valaisimet tulee korvata tasavirralla toimivilla 24 voltin valaisimilla, mieluiten LED-valaisimilla niiden vähäisen kulutuksen vuoksi.

3.2 Energiantarpeen määrittäminen

Kohteen energiantarpeen määrittäminen aloitetaan tekemällä lista kaikista halutuista kodin elektroniikkalaitteista, joita kohteessa halutaan käyttää. Energiantarpeen määrittämisen tarkoitus on selvittää kohteen päivittäinen energiankulutus.

Sähköä kuluttavat laitteet ja komponentit ovat kyseisessä kohteessa jääkaappi, mikroaaltouuni, televisio, valaistus, kahvinkeitin, etämonitorointi, tietokoneen ja puhelimen laturi sekä vaihtosuuntaaja. Edellä mainitut laitteet ovat kaikki kohteessa päivittäisessä käytössä.

Kohteen jääkaapiksi valitaan pieni 85 cm korkea energiatehokas jääkaappi, jonka vuosikulutus on 114 kWh. Voimme laskea tästä jääkaapin tehoksi noin 40 W olettaen, että jääkaappi käy vuorokaudessa noin 7–8 tunnin ajan päivässä käyttämällä seuraavaa laskukaavaa.

$$P_w = 1000 \cdot E_{kWh} / t_{hr} \quad (1)$$

Kaavassa 1 P_w on laitteen teho, E_{kWh} on vuosittainen energiankulutus kilowattitunteina ja t_{hr} on vuosittainen laitteen toiminta-aika. Lisätään laskukaavaan seuraavat lukuarvot: E_{kWh} on 114 kWh, t_{hr} on arvioitu olevan 2920 tuntia. Laskemalla arvioitu 8 tuntia käyttöaikaa vuorokaudessa kertaa 365 päivää saadaan yhteensä 2920 tuntia vuosittaiseksi käyttöajaksi. Näin ollen laitteen tehoksi saadaan noin 40 wattia.

Mikroaaltouuniksi kohteeseen sopii parhaiten pieni 700 watin mikroaaltouuni. Oletettavasti mikroaaltouunia käytetään vuorokauden aikana 0–40 minuuttia. Arvioidaan mikroaaltouunin käytön olevan noin keskimäärin 30 minuuttia vuorokaudessa, mikä riittää hyvin ruoan lämmittämiseen.

Valaistukseen valitaan kahdeksan kappaletta ripustettavia neljän watin LED-valaisimia, joita käytetään päivittäin noin neljän tunnin ajan. Kesäisin valaistusta käytetään oletettavasti vähemmän kuin syksyllä. Kohteessa käytetään televisiota noin kolme tuntia päivässä ja kahvinkeitintä muutaman kerran vuorokaudessa. Tietokoneen akku ladataan täyteen kahdesti päivässä.

Aurinkosähköjärjestelmän akusto pitää mitoittaa kohteeseen niin, että nämä kyseiset kodin elektroniikkatuotteet kykenevät toimimaan neljän päivän ajan ilman minkäänlaista auringonpaistetta.

Taulukossa 2 on eritelty edellä mainittujen sähkölaitteiden määrä, teho ja päivittäiset käyttötunnit, joiden perusteella on laskettu vuorokausikulutus. Vuorokausikulutuksen perusteella mitoitetaan aurinkosähköjärjestelmä ja sen tarvitsemat komponentit. Vuorokausikulutuksen arvioinnissa on myös huomioitu vaihtosuuntaajan virrankulutus lepotilassa.

Taulukko 2. Kohteen energiantarve vuorokaudessa.

Sähkölaitte	Määrä (kpl)	Teho (W)	Käyttötunnit/päivässä	Kulutus (Wh/vrk)
Jääkaappi (AC)	1	40	8	320
Mikroaaltouuni (AC)	1	700	0,5	350
Televisio (AC)	1	60	3	180
Led-valaisimet (DC)	8	4	4	128
Kahvinkeitin (AC)	1	1000	0,3	300
Tietokoneen lataus (AC)	1	24	2	48
Puhelimen lataus (AC)	1	6	3	18
Vaihtosuuntaaja (DC)	1	10	24	240
Etämonitorointi (DC)	1	5	24	120
Yhteensä		1849		1704,00

Yhteensä aurinkosähköjärjestelmän ottama maksimi teho on noin 1,85 kilowatin luokkaa kaikkien laitteiden ollessa päällä yhtäaikaaisesti. Vuorokautinen kulutus puolestaan on noin 1,7 kilowattitunnin suuruinen.

Lasketaan sähkölaitteiden virrankulutukset taulukon 2 mukaisista laitteiden käyttötehon arvoista. Oletetaan, että sähkölaitteita voidaan käyttää kohteessa samanaikaisesti. Käytetään virran voimakkuuden laskemiseen seuraavaa laskukaavaa.

$$I = P / U \quad (2)$$

Kaavassa P on kyseisen laitteen sähköinen teho watteina, U on sähkölaitteen käyttämä jännite voltteina ja I on virran voimakkuus ampeereina. Kodin elektroniikkalaitteet kytketään vaihtosuuntaajan kautta, joka muuntaa aurinkopaneelista saadun tasavirran 230 voltin vaihtovirraksi. LED-valaisimet ja etämonitorointi kytketään suoraan lataussäätimeltä saatavaan 24 volttiin. Alla olevassa taulukossa 3 on eritelty käytettävien sähkölaitteiden virrankulutukset sekä laskettu laitteiden yhteenlaskettu virrankulutus, mikäli laitteita käytetään samanaikaisesti. Taulukossa 3 on eritelty kummankin sekä vaihtovirtapuolen että tasavirtapuolen potentiaaliset maksimivirrat.

Taulukko 3. Sähkölaitteiden virrankulutus kohteessa.

Laite	Teho (W)	Virta (A)
Jääkaappi	40	0,17
Mikroaaltouuni	700	3,04
Televisio	60	0,26
Kahvinkeitin	1000	4,35
Tietokoneen lataus	24	0,10
Puhelimen lataus	6	0,03
Maksimi virta (A) 230V		7,95

LED-valaistus	32	1,33
Etämonitorointi	5	0,21
Vaihtosuuntaaja	2500	104,17
Maksimi virta (A) 24V		105,71

Kokonaisvirta laitteiden ollessa samanaikaisesti toiminnassa AC-puolella on noin 8 ampeerin luokkaa. DC-puolella maksimivirta on noin 105 ampeeria. Näiden tietojen avulla voidaan laskea myöhemmin tarvittavien virtajohtojen poikkipinta-ala sekä sulakkeiden suuruudet.

3.3 Aurinkosähköjärjestelmän koko

Luvussa 3.2 lasketun energiankulutuksen perusteella voidaan lähteä pohtimaan kyseisen aurinkosähköjärjestelmän kokoa. Järjestelmä mitoitetaan hieman suuremmaksi kuin laskettu 1,7 kilowattitunnin vuorokausikulutus. Järjestelmä mitoitetaan suuremmaksi siitä syystä, että kohteessa voitaisiin käyttää mahdollisesti muitakin sähkölaitteita tulevaisuudessa sekä mahdollistaa nykyisten laitteiden käytön lisäämisen.

Selvitetään kohteen käyttökuukausien auringonpaisteen määrä kuukausittain. Tämä arvio on hyvä luoda, sillä sen avulla voidaan määrittää tarkemmin juuri oikea määrä aurinkopaneeleita sekä akkuja mitä tämän kokoinen järjestelmä tarvitsee, mikä puolestaan tekee järjestelmästä entistä kustannustehokkaamman.

Ilmatieteenlaitoksen sivuilta saadun kuukausittaisen auringonpaisteen määrän perusteella on tehty taulukkoon 4 arviot siitä, paljonko auringonpaistetta päi-

vässä saadaan kyseisellä alueella. Auringonpaisteen määrä on mitattu Jyväskylän lentoasemalla vuosien 1991–2020 välillä, kohde sijaitsee suunnilleen samalla leveyspiirillä mitattujen arvojen kanssa, joten voidaan olettaa kohteen saavan vastaavan määrän auringonpaistetta päivässä. Auringonpaiste kuukausittain on keskiarvo kyseisellä aikavälillä toteutuneesta auringonpaisteesta.

Taulukko 4. Auringonpaiste kuukausittain ja vuorokausittain [10].

Kuukausi	Keskimääräinen auringonpaiste (h/kk)	Auringonpaiste (h/pv)
Tammikuu	25	0,81
Helmikuu	63	2,25
Maaliskuu	136	4,39
Huhtikuu	179	5,97
Toukokuu	252	8,13
Kesäkuu	244	8,13
Heinäkuu	261	8,42
Elokuu	208	6,71
Syyskuu	123	4,10
Lokakuu	59	1,90
Marraskuu	20	0,67
Joulukuu	10	0,32

Taulukon 4 arvojen mukaan voidaan laskea kohteessa oleskelun kannalta oleellisten kuukausien aikana toteutuneet keskimääräiset auringonpaistetunnit. Aikavälillä toukokuusta syyskuuhun aurinko paistaa päivässä keskimäärin noin 7 tuntia. Keskimääräisestä päivittäisestä auringonpaisteesta voidaan vähentää vielä noin 30 prosenttia, johtuen aamu- ja ilta-auringosta tulevan säteilyn kulumasta. Tulokseksi saadaan keskimäärin 5 tuntia päivässä tuottoisaa auringonpaistetta.

Arvioidun päivittäisen auringonpaisteen perusteella voidaan laskea tarvittava aurinkopaneelien määrä. Vuorokausi kulutus kohteessa on noin 1,7 kilowattituntia vuorokaudessa taulukon 2 mukaisesti. Jännitehäviöistä johtuen lisätään tulokseen 10–20 prosenttia kuvan 3 kaavan mukaisesti.

Kuva 3. Tarvittavien aurinkopaneelien määrien arviointi [11].

$$(Daily\ kWh \div average\ sun\ hours) \times 1.15\ efficiency\ factor = DC\ solar\ system\ size$$

Aurinkopaneelijärjestelmän koko saadaan jakamalla päivittäinen kohteen energiantarve keskimääräisellä päivittäisellä auringonpaisteella ja kertomalla tulos jännitehäviöistä johtuvalla kertoimella. Lisäämällä lukuarvot saadaan tulokseksi 400 wattia. Saatu lukuarvo on näin ollen aurinkopaneelijärjestelmän minimikoko. Järjestelmä mitoitetaan hieman suuremmaksi, joten pyöristetään saatu lukuarvo 500 wattiin.

Aurinkopaneelit voidaan kytkeä joko sarjaankytkennällä tai rinnankytkennällä. Paneelien rinnankytkennän etuna on se, että muiden paneelien tuotto ei laske yhden paneelin ollessa esimerkiksi osittain varjossa. Suuremmalla jännitteellä toimiva järjestelmä myös alentaa johtimissa kulkevaa virtaa, joka puolestaan vähentää jännitehäviöitä ja lisää järjestelmän tehokkuutta. [11; 19.]

Akuston koko määritetään arvioidun vuorokausikulutuksen perusteella ottaen huomioon vuorokaudet, jolloin latausta ei saada aikaan lainkaan. Aurinkosähköjärjestelmän halutaan pysyvän toiminnassa autonomisesti ilman latausta neljän päivän ajan täyteen ladatuilla akuilla. Akuston koko määritetään vuorokausikulutuksen sekä autonomisen ajanjakson mukaan taulukon 5 mukaisesti.

Aurinkosähköjärjestelmä suunnitellaan toimivaksi 24 voltin jännitteellä, joten tämä on oltava myös akkujen jännite. Vuorokausikulutus on kohteessa noin 1700 wattituntia taulukon 2 arvon mukaisesti. Vuorokausikulutuksen wattitunnit pitää muuttaa ampeeritunneiksi vuorokaudessa jakamalla kyseinen arvo 24 voltilla akkujen jännitteen mukaisesti. Ampeeritunnit vuorokaudessa täytyy kertoa niin monella päivällä kuin halutaan aurinkosähköjärjestelmän olevan autonominen eli tässä tapauksessa neljällä päivällä.

Tärkeää on myös määrittää, kuinka monta prosenttia maksimikapasiteetista akkujen annetaan purkaantua ennen uudelleenlataamista. Yleisesti aurinkosähköjärjestelmissä mitoitetaan akusto niin, että maksimissaan 50 prosenttia akkujen kapasiteetista annetaan purkaantua. Perinteisissä lyijyakuissa yleisesti käytetty purkautumissyvyys on 50 prosenttia akun kapasiteetista. Tämä tarkoittaa, että 50 prosenttia akun kapasiteetista pitää riittää sähkölaitteiden toimintaan halulla aikavälillä. Mitä enemmän akkujen antaa purkaantua ennen lataamista, sitä enemmän akut kärsivät siitä. Tämä laskee niiden käyttöikä huomattavasti, joten järkevintä on antaa akkujen purkaantua maksimissaan 50 prosenttiin. Mikäli akkujen annettaisiin purkaantua yli 50 prosenttia, lyhenisi perinteisten lyijyakkujen käyttöikä huomattavasti. Akkutyypit, jotka on suunniteltu niin sanotusti syväpurkautumaan, kykenevät purkaantumaan yli 80 prosenttia kokonaiskapasiteetista. [12; 20.]

Degrees Fahrenheit	Degrees Celcius	Multiplier
80°F	26.0°C	1.00
70°F	21.2°C	1.04
60°F	15.6°C	1.11
50°F	10.0°C	1.19
40°F	4.4°C	1.30
30°F	-1.1°C	1.40
20°F	-6.7°C	1.59

Kuva 4. Akuston määrittämisen lämpötilakerroin. [12]

Kuvasta 4 saadaan akuston lämpötilakerroimeksi 1.19. Akuston kokonaiskapasiteetti kerrotaan tällä lukuarvolla taulukon 5 mukaisesti. Kokonaiskapasiteetti kerrotaan lämpötilakerroimella, koska kylmät olosuhteet vaikuttavat akkujen toimintaan negatiivisesti. Kylmässä olevat akut menettävät huomattavan määrän maksimikapasiteetistaan. Akuston ollessa esimerkiksi -18°C pakkasessa saadaan virtaa enää 40–50 prosenttia kokonaisvirrasta. Akusta ei tulla ottamaan virtaa talvisin, joten voidaan olettaa akkujen toimiessa alimmaksi lämpötilaksi noin 10 °C. Akut tulee tästä huolimatta sijoittaa paikkaan, mikä kestää Suomen talviset olosuhteet. [13.]

Akkujen kokonaiskapasiteetiksi saadaan laskettua noin 680 ampeerituntia taulukon 5 mukaisesti. Ampeeritunnit voidaan muuttaa wattitunneiksi kertomalla saadut arvot järjestelmän jännitteellä eli 24 voltilla, tulokseksi saadaan 16 320 wattituntia.

Taulukko 5. Akuston kokonaiskapasiteetin määrittäminen.

Vuorokausi kulutus (Wh/pv)	Akkujen jännite (V)	Ampeerituntia/pv
1705	24	71,04
Ampeerituntia/pv	Autonomiset päivät	Ampeerituntia (Ah)
71,04	4	284,17
Ampeerituntia (Ah)	Akun purkaussyvyys	Ampeerituntia (Ah)
284,17	1/(50/100)	568,33
Ampeerituntia (Ah)	Lämpötilakerroin	Kokonaiskapasiteetti (Ah)
568,33	1,19	676,32
Yhteensä (Ah / Wh)	680 Ah	16 320 Wh

Akuiksi pitää valita vähintään 640 ampeeritunnin verran kapasiteettia. Järjestelmän akusto suunnitellaan toimimaan yksittäisillä 12 voltin akuilla. Akut kytketään rinnan sekä sarjaan, jotta saadaan nostettua jännite haluttuun 24 volttiin. Akkujen sijoituksessa otetaan huomioon akkujen viemä tila, paino sekä erilaiset sääolosuhteet.

Vaihtosuuntaajan eli invertterin koko määritetään yleensä järjestelmän maksimaalisen hetkellisen tehon mukaan. Käytännössä, mikäli kaikki sähkölaitteet ovat samanaikaisesti päällä aurinkosähköjärjestelmä tarvitsee vaihtosuuntaajalta 1850 wattia tehoa kohteen energiantarpeen määrittämisen mukaisesti (ks. taulukko 2).

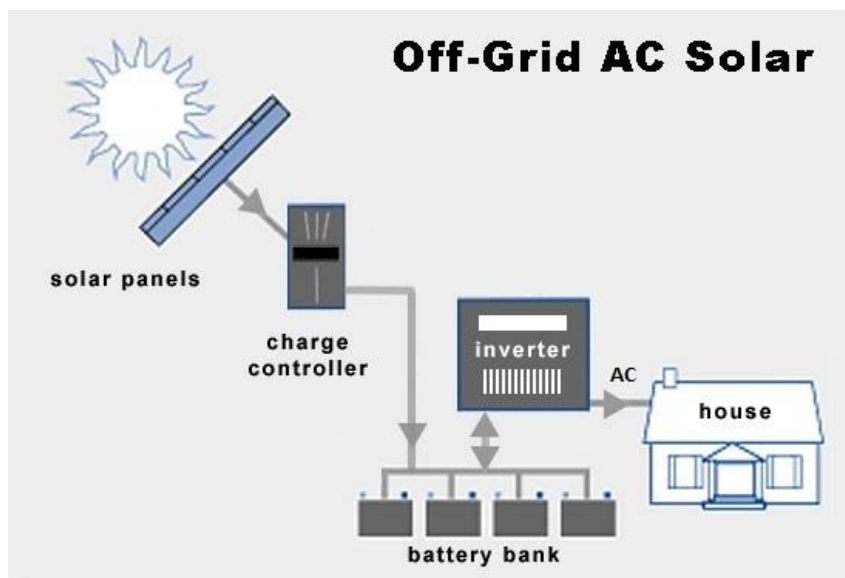
Mikäli vaihtosuuntaajan hyötysuhde olisi 100 prosenttia riittäisi järjestelmään vaihtosuuntaaja, joka pystyy tuottamaan 1850 watin tehon. Todellisuudessa

vaihtosuuntaajien hyötysuhteet pyörivät noin 80 prosentin luokassa, joten todellisen vaihtosuuntaajalta tarvittavan tehon saa jakamalla järjestelmän käyttämän maksimaalisen tehon arvolla 0,8. Tulokseksi saadaan 2300 wattia, joten järjestelmään tarvitaan vaihtosuuntaaja, joka pystyy tuottamaan vähintään tämän verran tehoa jatkuvasti. [14.]

4 Komponenttien valinnat ja sijoitus

Aurinkosähköjärjestelmä suunnitellaan käytettäväksi kunnallisen sähköverkon ulkopuolella. Asiakas kuitenkin haluaa käyttää yleissähköä kohteessa eli 230 voltin jännitteellä toimivia sähkölaitteita. Näin ollen järjestelmä tarvitsee vaihtosuuntaajan, jonka tarkoitus on muuntaa aurinkopaneelien tuottama tasavirta vaihtovirraksi.

Järjestelmä tarvitsee tietenkin aurinkopaneelit sekä paneelien ja akuston väliin kytkettävän lataussäätimen. Lataussäätimen tarkoitus on estää akuston yllilaantuminen säätämällä paneeleilta tulevaa jännitettä ja virtaa. Lataussäädin myös estää virran kulkeutumisen akuista takaisin aurinkopaneeleille. [15.]



Kuva 6. Aurinkosähköjärjestelmän perustoimintaperiaate (muokattu) [16].

Kuvassa 6 on esitetty periaatekuvan verkkoon kytkemättömän aurinkosähköjärjestelmän komponenteista ja niiden toiminnasta. Aurinkopaneeleilta tuleva tasavirta kulkee lataussäätimen kautta akkuihin ja sitä kautta vaihtosuuntaajaan, jossa virta muunnetaan haluttuun muotoon eli 230 voltin vaihtovirraksi. Lopuksi virta kulkeutuu pistorasioiden kautta laitteiden käytettäväksi.

4.1 Aurinkopaneelit ja kiinnikkeet

4.1.1 Aurinkopaneelit

Luvussa 3.3 määritettiin energiantarpeen mukaan aurinkopaneelien kokonaistehoksi 500 wattia, jonka perusteella määritetään tarvittavien aurinkopaneelien määrä sekä teho.

Aurinkopaneeleita valittaessa on vaihtoehtoina yleensä joko monikiteinen paneeli tai yksikiteinen paneeli. Lisäksi näistä paneelityypeistä voi valita vielä esimerkiksi PERC- tai half-cut-teknologiaa käyttävän aurinkopaneelin. [17.]

Monikiteisten aurinkopaneelien aurinkokennot valmistetaan monista erilaisista piikiteistä, jotka sulatetaan ja kaadetaan neliönmuotoiseen muottiin. Tämä valmistustapa tekee monikiteisiä aurinkopaneeleista halvempia tuottaa, mutta samalla myös vähentää paneelien tehokkuutta verrattuna esimerkiksi samankokoiseen yksikiteiseen aurinkopaneeliin. [17.]

Yksikiteisen aurinkopaneelin aurinkokenno on valmistettu nimensä mukaan yhdestä piikiteestä. Yksikiteisen aurinkopaneelin valmistuksessa piikiteet leikataan piikiekoiksi. Leikkaamisen seurauksena noin alle 50 prosenttia käytetystä piistä menee hukkaan. Valmistusprosessista johtuen yksikiteiset aurinkopaneelit ovat yleensä hieman kalliimpia kuin monikiteiset paneelit. [17.]

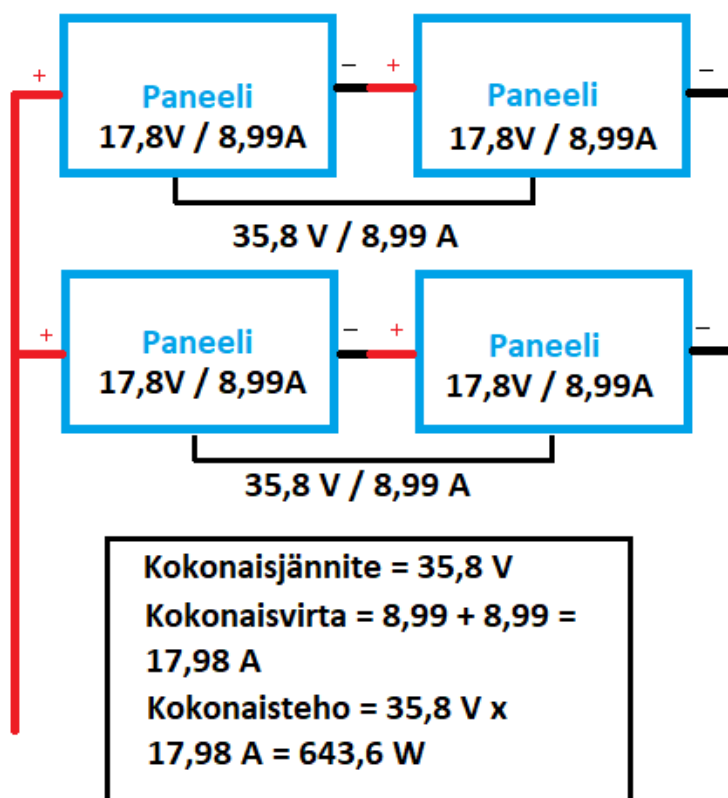
PERC-paneeleissa aurinkopaneelien takaosaan on lisätty niin sanottu passiivoiva kerros. Tämä kerros heijastaa paneelin läpäisevät auringonsäteet takaisin aurinkokennoon, mikä puolestaan lisää aurinkokennon saamaa säteilyä. PERC-paneeli kykenee siis hyödyntämään enemmän auringosta tullutta säteilyä kuin

esimerkiksi perinteinen yksikiteinen aurinkopaneeli. Tästä syystä PERC-paneelilla on kaikista paneelityypeistä korkein hyötysuhde, joka on noin 5 prosenttia parempi kuin yksikiteisillä paneeleilla ilman passivoivaa kerrosta. Yksikiteisten paneelien hyötysuhde on keskimääräisesti 20 prosenttia ja monikiteisten paneelien hyötysuhde noin 15–17 prosenttia. [17; 18.]

Half-cut-teknologialla toimivissa aurinkopaneeleissa aurinkokennot ovat puolitettuja, mikä tarkoittaa, että half-cut-paneelissa on tuplasti aurinkokennoja verrattuna perinteiseen moni- tai yksikidepaneeliin. Half-cut-teknologia lisää paneelin tehokkuutta, koska puolitettyjen aurinkokennojen virta myös puolittuu. Tämä tarkoittaa, että virran resistiiviset häviöt pienenevät, joka puolestaan lisää paneelin tehokkuutta. [21.]

Pienikokoisessa aurinkosähköjärjestelmässä ei käytännössä ole merkitystä 5–10 prosentin paneelien hyötysuhde-erolla. Järjestelmän paneelit valitaan hankintakustannusten näkökulmasta. Aurinkosähkö-verkkosivustolla on tarjouksessa Nordmax-merkinen monikidepaneeli PERC-teknologialla. Nämä paneelit ovat teholtaan 160 wattia. Aurinkopaneelit kytketään kahden paneelin ketjuun sarjaankytkennällä ja kaksi paneeliketjua toistensa kanssa yhteen rinnankytkennällä. Maksimaalinen paneelien teho lasketaan tuotteen teknisistä tiedoista löytyvien maksimaalisen tehollisen jännitteen sekä maksimaalisen tehollisen virran avulla. Aurinkopaneelien maksimaalinen tehollinen jännite V_{\max} on 17.8 voltia ja maksimaalinen tehollinen virta I_{\max} on 8,99 ampeeria. [liite 1].

Paneelit kytketään kaksi sarjaan ja kaksi rinnan kuvan 7 mukaisesti. Sarjaan kytkettyjen paneelien jännitteet lasketaan yhteen, ja virta pysyy piirissä samana. Rinnankytketyissä paneeleissa puolestaan jännite pysyy samana, ja paneeliketjujen virrat lasketaan yhteen.



Kuva 7. Paneelien teoreettiset maksimiarvot sarjaan- ja rinnankytkennällä.

Paneelien teoreettiseksi kokonaistehoksi saadaan siis noin 650 wattia, mikä on suunniteltuun aurinkosähköjärjestelmään sopiva, koska tarkoituksena on hieman ylimitoittaa järjestelmä.



Kuva 8. Nordmax-aurinkopaneeli. [22]

4.1.2 Kiinnikkeet

Aurinkopaneelit kiinnitetään alumiinikiskoon ja kisko kiinnitetään huopakattokiinnikkeillä huopakaton alla olevaan ponttilautaan. Paneelit asennetaan poikisuunnassa kahteen riviin katon harjalle suunnattuna etelään. Kahden paneelin pituus on 2960 mm liitteen 1 mukaisesti. Asennuksessa tulee ottaa huomioon paneelien väliin tuleva pieni asennusväli, joten tarvitaan hieman yli kolme metriä alumiinista asennuskiskoa. Kiskoja tarvitaan kaksi kappaletta aurinkopaneelia kohden eli yhteensä järjestelmään tarvitaan neljä kappaletta kolmen metrin pituisia alumiiniprofiilikiskoja. Kiskot kiinnitetään huopakattoon huopakattokiinnikkeillä. Asennusväli kattokiinnikkeillä on valmistajan mukaan maksimissaan 1,6 metriä, joten yhteen kiskoon riittää kolme kappaletta kyseisiä kiinnikkeitä. Alumiinikiskoihin tarvitaan yhteensä kahdeksan kappaletta kiinnikkeitä. Paneelit puolestaan kiinnitetään alumiinikiskoihin käyttäen saman valmistajan pääty- ja välikiinnikkeitä. Aurinkopaneelin paksuus on 35 mm, joten tarvitaan 35 mm aurinkopaneelin kiinnikkeet. Paneeleille riittää kahdeksan kappaletta päätykiinnikkeitä ja neljä kappaletta välikiinnikkeitä, jotka sijoitetaan paneelien väliin paneeliketjussa. [23.]

4.2 Akusto

Aurinkopaneelijärjestelmän akustoa mietittäessä on järkeviä akkuvaihtoehtoja käytännössä kolme kappaletta. Vaihtoehtoina ovat vapaa-ajan avoimet lyijyakut, venttiilisäädellyt akut sekä litiumioniakut. [25.]

Avoimien lyijyakkujen etuina muihin akkutyyppeihin verrattuna on esimerkiksi kustannukset. Avoimet lyijyakut ovat huomattavasti halvempia kuin edellä mainitut muut akkutyypit. Haittapuolina näissä akuissa on niiden lyhyt käyttöikä, myrkyllisen vetykaasun tuottaminen sekä niiden huoltotarve. Avoimien lyijyakkujen sijoituksessa on tärkeää huomioida, että ne sijoitetaan hyvin ilmastoituun tilaan esimerkiksi ulkotiloihin katoksen alle. [26.]

Venttiilisäädellyt akut soveltuvat parhaiten aurinkosähköjärjestelmässä käytettäväksi. Näihin akkutyyppeihin lukeutuvat esimerkiksi AGM-akut. AGM-akut ovat myös lyijyakkuja, mutta toisin kuin avoimet lyijyakut nämä akut ovat suljettuja, jolloin myrkyllinen rikkihappo ei pääse vapautumaan ilmaan. Tämän takia AGM-akut voidaan sijoittaa huoletta vaikka sisätiloihin. AGM-akut itsepurkautuvat myös vähemmän kuin avoimet lyijyakut ja niiden latauksenvastaanottokyky on parempi. AGM-akuissa on myös pidempi käyttöikä verrattuna avoimiin lyijyakkuihin, jonka lisäksi ne ovat myös huoltovapaita ja kestävät hyvin pakkasta. [25; 26; 27.]

Litiumioniakut ovat venttiilisäädelyjen akkujen tavoin myös huoltovapaita mutta vielä pidempi-ikäisiä. Litiumakut ovat painoltaan vain noin kolmasosan lyijyakkujen painosta, mikä helpottaa huomattavasti niiden kuljettamista sekä sijoittelua. Litiumakut myös kestävät syväpurkaantumista todella hyvin. Käytännössä ne voidaan purkaa melkein tyhjiksi ilman, että akut vahingoittuvat. Litiumakut ovat tällä hetkellä vielä suhteellisen kalliita verrattuna muihin akkutyyppeihin. [28.]

Kokonaiskustannusten minimoiseksi valitaan järjestelmään avoimet lyijyakut. Akkujen kapasiteetti on hyvä hieman ylivoimainen, jolloin ei tarvitse syväpurkaa akkuja lähelle 50 prosenttia akkujen kokonaiskapasiteetista. Tämä takaa akus-

tolle pidemmän käyttöiän. Akuston kokonaiskapasiteetin suuruuden takia valitaan järjestelmään kustannustehokkaat vapaa-ajan akut. Minimikapasiteetti akustolle on noin 640 ampeerituntia taulukon 5 mukaisesti. Järjestelmään valitaan kahdeksan kappaletta 12 voltin, 185 ampeeritunnin avointa lyijyakkua, jolloin saadaan kokonaiskapasiteetiksi 740 ampeerituntia. Järjestelmän akusto kytketään neljän akun sarjaankytkennällä ja nämä puolestaan rinnankytkennällä toisen neljän akunsarjaan, jolloin saadaan akustolle haluttu 24 voltin jännite.



Kuva 9. Szejder-vapaa-ajan akku. [29]

4.3 Vaihtosuuntaaja ja lataussäädin

4.3.1 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajaa hankkiessa tulee huomioida tärkeimpinä asioina, minkä muotoista siniaalto se tuottaa, yhteensopivuus akuston kanssa sekä vaihtosuuntaajan tuottama teho. Siniaaltovaihtosuuntaajia on olemassa kahdenlaisia: puhdas siniaalto vaihtosuuntaaja ja modifioitu siniaalto vaihtosuuntaaja. Kummatkin vaihtosuuntaajatyypit soveltuvat normaalien kodin elektroniikkalaitteiden käyttöön yhtä hyvin. Puhdasta siniaalto tuottavat vaihtosuuntaajat ovat hieman kalliimpia ja niillä on hieman parempi hyötysuhde kuin modifioidulla siniaalto tuottavilla vaihtosuuntaajilla. [30.]

Luvussa 3 määritettiin vaihtosuuntaajan vähimmäistehoksi 2300 wattia, joten valitaan järjestelmään 2500 wattinen vaihtosuuntaaja, johon kytketään kodin elektroniikkalaitteet. Vaihtosuuntaaja tullaan sijoittamaan mökin sisätilaan. Vaihtosuuntaajan 2x230 AC ulostuloista saadaan jatkojohdoilla johdettua sähköliitäntä halutuille laitteille. Kohteeseen valitaan kuvan 10 mukainen 2500-wattinen modifoitu siniaaltovaihtosuuntaaja.



Kuva 10. Modifoitu siniaaltovaihtosuuntaaja [34].

4.3.2 Lataussäädin

Lataussäädin säätelee paneeleilta tulevan jännitteen sekä virran optimaaliseksi akuille. Lataussäätimiä on olemassa kahta eri tyyppiä: MPPT-lataussäädin sekä PWM-lataussäädin. PWM-säätimen toiminta perustuu nimensä mukaisesti siihen, että se säätelee akuille syötettävää virtaa tietyn ajanjakson pituisissa pulseissa. PWM-säädin toimii paneelien ja akkujen välissä eräänlaisena kytkimenä, joka sulkeutuu ja avautuu säädellen akkuihin tulevaa virtaa. MPPT-säädin puolestaan kykenee tuottamaan akuille halutun määrän virtaa vertaamalla paneelientehoa akkujen jännitteeseen ja sen avulla määrittämällä optimaalisen latausvirran. Näin ollen MPPT-säätimet ovat keskimäärin 30 prosenttia tehokkaampia kuin PWM-säätimet. [32.]

Lataussäätimen valintaan vaikuttaa paneelien kokonaisteho sekä paneeleilta tuleva virta. Paneeleilta tulevaksi virran teoreettiseksi maksimiarvoksi laskettiin 18

ampeeria kuvan 7 mukaisesti. Teoreettisen maksimiarvon perusteella valitaan lataussäädin, jonka täytyy olla kykeneväinen vastaanottamaan paneeleilta maksimissaan tulevan 18 ampeerin virran. Sopiva lataussäädin tähän järjestelmään on esimerkiksi Victronin SmartSolar 100/20A MPPT -lataussäädin.

Lataussäätimen yhteensopivuus järjestelmän kanssa voidaan tarkistaa Victronin-verkkosivuilta löytyvästä laskurista (ks. liite 2).



Kuva 11. Victron MPPT -säädin. [33]

4.4 Kaapelit ja sulakkeet

Tasasähköpuolelle aurinkopaneeleilta lataussäätimelle tarvittavan johtimen poikkipinta-ala A voidaan johtaa Ohmin laista sekä Pouilletin laista seuraavien kaavojen mukaisesti.

$$R = U / I \quad (3)$$

$$R = \rho * l / A \quad (4)$$

Kaavassa U on jännite, jossa on laskettu maksimissaan kolmen prosentin jännitehäviö, R on resistanssi ohmeina ja I on virta ampeereina. Johdinmateriaalina

järjestelmän kaapeleissa käytetään kuparia. Näin ollen ρ eli johdinmateriaalin resistiivisyys on kuparin resistiivisyys eli $1.68E-8$ ohmia metriä kohden. Johtimen pituus metreinä on l . Kaavojen 3 ja 4 avulla voidaan laskea tarvittavien johtimien poikkipinta-ala.

Paneelit sijoitetaan katolle ja lataussäädin mökin sisäpuolelle takaseinään. Näiden välinen matka on suurin piirtein kahdeksan metriä. Sijoittamalla lukuarvot kaavoihin 3 ja 4 saadaan johtimen minimi poikkipinta-alaksi $4,5 \text{ mm}^2$. Kaapelin paksuudeksi valitaan aina yhtä suurempi koko jännitehäviöiden minimoimiseksi, joten käytetään 6 mm^2 paksuista PVC-muovieristeistä kuparikaapelia. Muovieristeinen kaapeli kestää Suomen talvipakkaset ja kesähelteet. Kaapelia olisi hyvä hankkia ainakin 30 metriä, jolloin jää riittävä asennusvara.

Aurinkopaneelien ja lataussäätimen välille asennetaan automaattisulake johtimessa kulkevan virran mukaan. Sulakkeen kokoluokka voidaan laskea paneelien maksimaalisen teoreettisen virran avulla kertomalla virran ampeerit $1,25$:llä. Saadaan tulokseksi 23 ampeeria, joten valitaan sulakkeeksi seuraava suurempi koko. Sulakkeeksi käy näin ollen 25 ampeerin automaattisulake, joka virran muuttuessa liian suureksi katkaise virran suojellen komponentteja virtapiikeiltä. Lataussäätimeltä akkuihin kaapeloinnissa voidaan käyttää samaa 6 mm^2 kokoista eristettyä kuparikaapelia. Matka lataussäätimeltä akuille on noin kolme metriä. Lataussäätimen ja akuston väliin on myös hyvä asentaa sulake. Sulakkeeksi käy samanlainen 25 ampeerin automaattisulake, kuten on käytetty paneeleilta säätimelle kytkennässä. [43.]

Akkujen kytkentäkaapelit sekä akkujen ja vaihtosuuntaajan välille tarvittavien johtimien poikkipinta-ala saadaan kaavojen 3 ja 4 mukaisesti. Akkujen nimelliskäyttöjännite on 24 voltia ja hyväksyttävä maksimijännitehäviö kaksi prosenttia. Akkujen ja vaihtosuuntaajan välimatka yhteen suunta on noin 1.5 metriä. Virtaa johtimien läpi kulkee kaikkien laitteiden ollessa käynnissä maksimissaan 105 ampeeria taulukon 2 mukaisesti. Tarvittavien kaapeleiden minimipoikkipinta-alaksi saadaan näin ollen 22 mm^2 , joten valitaan johtimeksi 35 mm^2 paksu kuparijohdin.

Akkujen sekä vaihtosuuntaajan välille asennetaan vikatilanteita varten sopivan kokoinen sulake mahdollisimman lähelle akun plusnapaa. Sulakkeen koko voidaan laskea vaihtosuuntaajan nimellistehon sekä akkujen nimellisjännitteen avulla. Vaihtosuuntaajan teho on 2500 wattia ja akut toimivat 24 voltin jännitteellä. Lasketaan 2500 wattia jaettuna 24 voltilla ja kerrotaan saatu tulos 1,5:llä. Komponenttien välille tarvittavan sulakkeen kooksi saadaan näin ollen 200 ampeeria. [30.]

Akkujen jännitetason monitorointia varten tarvitaan shuntti, jonka tarkoitus on mitata sen läpi kulkevaa jännitettä. Järjestelmään valitaan Victronin shuntti, jonka avulla voidaan tarkastella akuista lähtevää virtaa Bluetoothin avulla esimerkiksi puhelimen ruudulta. [41.]

Valaistukseen tarvittavien johtimien koko voidaan määrittää valaistuksen teoreettisen maksimivirran mukaisesti. Valaistus käyttää maksimissaan 1,3 ampeeria virtaa taulukon 3 mukaisesti. Kaavojen 3 ja 4 avulla voidaan laskea johtimien poikkipinta-ala, kun LED-valaistuksen toteutukseen tarvitaan noin 40 metriä muovieristeistä kuparikaapelia. Johtimiksi valitaan näin ollen MMJ 2x1.5 mm eristettyä johdinta, joka asennetaan pinta-asennuksena jokaiselle valaisimelle.

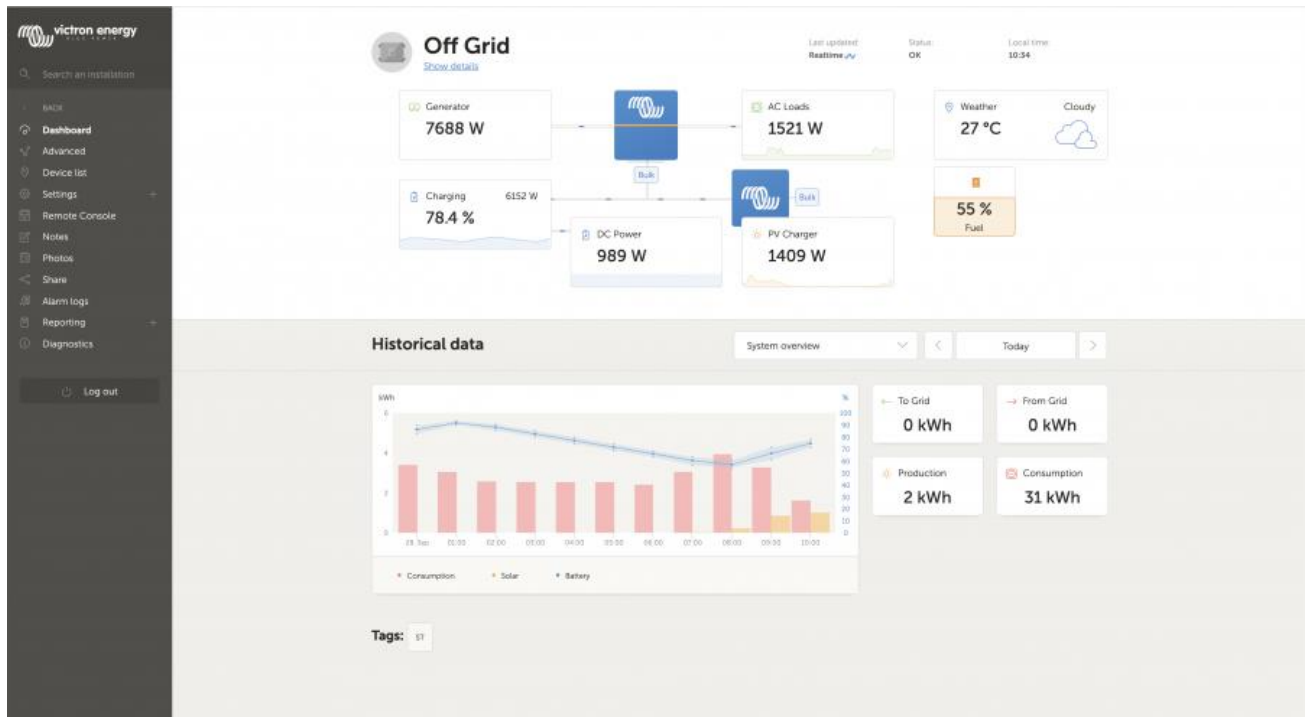
Järjestelmä on myös hyvä maadoittaa mahdollisia vikatilanteita varten. Paneelit, akut, lataussäädin sekä vaihtosuuntaaja maadoitetaan mökin taakse upotettavaan 16 mm² paksuiseen maahan kaivettuun kupariseen maadoituselektroniin. [42.]

Laitteistojen ja kaapelien asennukset tasajännitepuolelle voi suorittaa tavallinen sähkökäyttäjä, mikäli hän on perehtynyt tarvittaviin töihin sekä turvallisuusvaatimukseen. Tasajännitepuolella asennuksia ja korjauksia saa tehdä alle 120 voltin järjestelmiin ilman sähköalan koulutusta. Vaihtojännitepuolella raja menee jo 50 voltin kohdalla. Kyseiseen mökkiin tulevan aurinkosähköjärjestelmän voi itse asentaa ilman sähköalan koulutusta, koska vaihtojännitepuolelle ei tarvitse tehdä minkäänlaisia muita asennuksia kuin jatkojohdon liittäminen. [34; 35.]

4.5 Etämonitorointi

Aurinkopaneelien tuottoa sekä akuston jännitetasoa pystytään monitoroimaan mökillä esimerkiksi puhelimen avulla, joka on yhdistetty Bluetoothilla Victronin lataussäätimeen sekä Victronin shunttiin. Puhelimen näytölle saadaan reaaliaikaista dataa järjestelmän tuotosta. Lataussäätimeltä ja shuntilta saatu data olisi on tarkoitus saada käyttöön etämonitoroinnin avulla. Etämonitorointi helpottaa esimerkiksi vikaantuneiden akkujen tai muiden komponenttien havainnoimista ennen kuin käyttäjä saapuu paikanpäälle. Haastavaksi tämän tekee internetyhteyden puuttuminen kohteessa. Kustannustehokas tapa toteuttaa etävalvonta on esimerkiksi Raspberry Pi:n avulla, joka on liitetty 4G-verkkoon SIM-kortilla. Tällä hetkellä 3G-verkon käyttäminen tässä tapauksessa olisi kustannustehokkaampaa, mutta tulevaisuutta ajatellen täytyy hankkia 4G-verkkoon soveltuva laite, sillä esimerkiksi Telian mukaan Telian 3G-verkot poistuvat käytöstä vuoteen 2023 mennessä. Raspberry Pi kytketään 5 voltin DC/DC -jännitemuuntajalla lataussäätimen 24 voltin lähtöön. [36.]

Raspberry Pi kytketään myös lataussäätimeen sekä shunttiin VE.Direct-USB-liitännällä varustetulla kaapelilla. Raspberry Pi:lle välittyy järjestelmän reaaliaikaiset tiedot shuntilta sekä lataussäätimeltä. Victronin internetsivuilta on ladattavissa ilmainen avoimen lähdekoodin käyttöjärjestelmä Venus OS, joka voidaan asentaa Raspberry Pi -tietokoneeseen. Tämän käyttöjärjestelmän avulla Raspberry Pi välittää 4G SIM-kortin avulla dataa pilveen Victronin VRM-portaaliin. Paneelien latausta sekä akkujen jännitettä pystyy näin ollen tarkastelemaan suoraan VRM-portaalista mistä vain kirjautumalla. Alla olevassa kuvassa 12 on esimerkki VRM-portaalin visuaalisesta näkymästä, josta näkyy aurinkosähköjärjestelmän tuotto- sekä kulutustiedot. [37.]



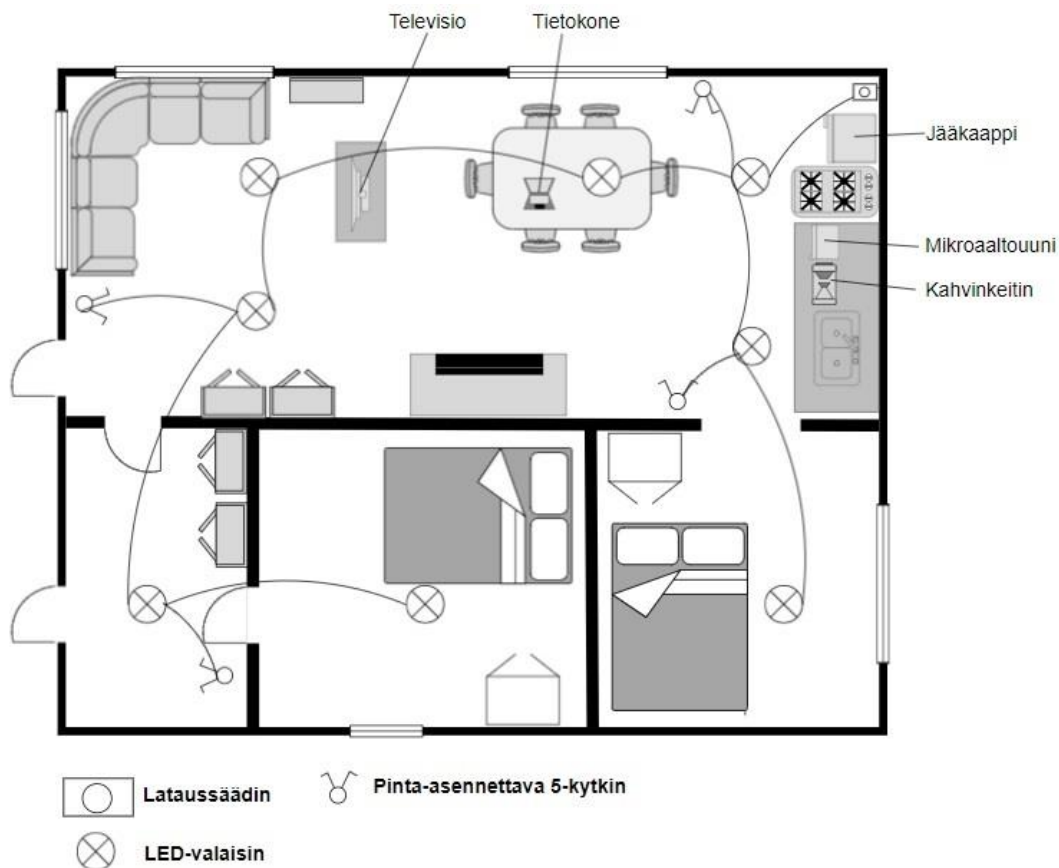
Kuva 12. VRM-portaalin visualisaatio [38].

4.6 Komponenttien sijoitus

4.6.1 Tasopiirustus

Kohteen valaistus toteutetaan 24 voltin jännitteellä toimivilla LED-valaisimilla, jotka sijoitetaan kuvan 13 mukaisesti asuntoon. Johdotukset tehdään pinta-asennuksena 2x1.5 mm² eristetyllä kuparijohtimella suoraan lataussäätimen 24 voltin lähtöliitännästä. Valaisimia ohjataan neljällä eri kytkimellä, jotka ovat sijoitettu keittiöön, olohuoneeseen sekä eteiseen. Kuvassa 13 on esitetty kohteen tasopiirustus, josta ilmenee valaisimien sekä kytkimien sijoitus.

Tasopiirustuksessa ei ole huomioitu vaihtosuuntaajaa eikä myöskään siitä lähteviä jatkojohtoja. Lataussäätimen alapuolelle sijoitetaan vaihtosuuntaaja, josta saadaan vietyä vaihtovirtaa keittiön kodinkoneille sekä olohuoneeseen televisiolle. Akusto sijoitetaan vaihtosuuntaajan alapuolelle mökin alle, johon niille rakennetaan kehikko kevytsoraharkoista sekä paksusta vanerista.



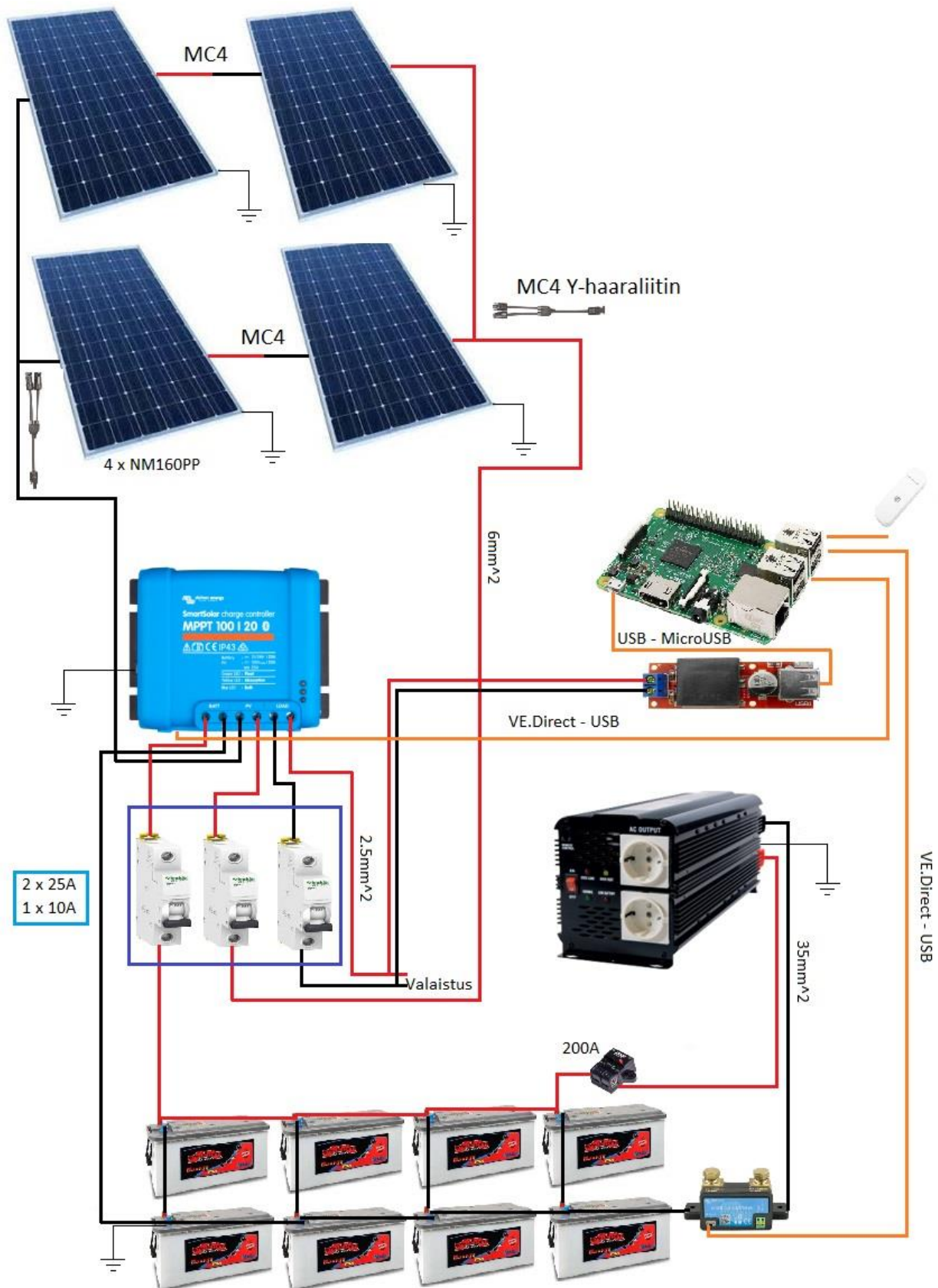
Kuva 13. Kohteen tasopiirustus.

4.6.2 Kytcentäkaavio

Kytcentäkaaviossa on havainnollistettu komponenttien kytkennät (ks. kuva 14). Aurinkopaneelit kytketään kuvan 14 mukaisesti kahteen paneeliketjuun. Paneeliketjussa aurinkopaneelit kytketään sarjaan MC4-liittimillä ja paneeliketjut puolestaan kytketään toisiinsa rinnankytkennällä MC4-liittimillä. Paneelit maadoitetaan kytkemällä niiden rungot kiinni toisiinsa, josta ohjataan yhdellä johtimella maadoitus maassa sijaitsevaan maadoituselektrodiin. Paneeleilta lähtevät virtajohtimet puolestaan kytketään automaattisulakkeen kautta lataussäätimeen.

Lataussäätimeltä kytketään johtimet akkuihin, valaistukseen sekä Raspberry Pi:hin automaattisulakkeiden kautta. Raspberry Pi:tä varten 24 voltin jännite täytyy muuntaa 5 voltin jännitteeksi erillisellä jännitemuuntajalla, josta Raspberry Pi:lle syötetään virta USB - MicroUSB -kaapelin avulla.

Akustoon lataussäätimeltä tulevat johtimet kytketään plus- sekä miinusnapaan M8 rengasliittimillä kuvan 14 mukaisesti. Akut kytketään toisiinsa rinnankytkentäkaapeleilla kuvan 14 osoittamalla tavalla. Akuista lähtevät johtimet puolestaan kulkevat automaattisulakkeen sekä Victronin shuntin läpi vaihtosuuntaajaan. Akusto sekä vaihtosuuntaaja tulee myös maadoittaa keltavihreällä kuparijohtimella maadoituselektrodiin.



Kuva 14. Komponenttien kytkentäkaavio.

5 Kustannuslaskelmat

Järjestelmän kokonaiskustannukset pitävät sisällään kaikki järjestelmän toiminnan kannalta oleelliset komponentit ja kaapelit. Kodin elektroniikkalaitteita ei ole otettu huomioon taulukossa 5, josta ilmenevät järjestelmän kokonaiskustannukset.

Taulukko 5. Järjestelmän kokonaiskustannukset.

Komponentti	Tuotekoodi	Määrä	Kpl/€	Yhteensä	Lisätietoja
Aurinkopaneeli	NM160PP	4	125	500	Nordmax 160w monikide PERC
Alumiiniprofiili kisko	36600	4	54,9	219,6	EASY RAIL Asennuskisko 3,1 m
Huopakatto kiinnike	36119	12	7	84	ORIMA Easy Rail kattokiinnike sarja
Paneelien päätykiinnike	CIR149	1	27,9	27,9	Orima Easy Rail 8kpl 35mm
Paneelien välikiinnike	CIR150	1	32,9	32,9	Orima Easy Rail 10kpl 35mm
MC4 2-1 Y-haaraliitin	SMC4-2Y	1	8,9	8,9	Brightsolar MC4 2Y-haaroin
MC4-liitinpari	SMC4	5	2,9	14,5	Brightsolar MC4 liitinpari
PV1-F 6mm	CAG067	30	1,5	45	HF H1Z2Z2-K 1x6 Musta/Punainen
Maadoitusjohdin	ACL912	25	2,45	61,25	CU16 kuparijohdin 25 m
MK 6 mm ² kuparijohdin	402868	20	1,35	27	MK 6 KV asennusjohto
MK 35 mm ² kuparijohdin	410762	5	9,11	45,55	Asennusjohto. Eca - MK 35 KEVI
Moduulikotelo	AJK002	1	24,9	24,9	Pinta moduulikotelo
Automaattisulake 25A	A9N61513	2	5,9	11,8	C60H DC Johdonsuojakatkaisija 1P C 25A
Lataussäädin	MPPT 100/20-48V	1	159	159	VICTRON SMARTSOLAR MPPT 100/20
Akut	SZNAJD-96850	8	239	1912	Sznajder 185Ah vapaa-ajan akku
35mm ² akkukaapeli	VUK35PUN/VUK35	5	8,5	42,5	Akkukaapeli musta/punainen
M8 rengasliitin	4-690919	12	4,9	58,8	4Connect 35mm ² M8 punainen ja musta
Akunkenkä M8 pultilla	GAG28352B	16	6,2	99,2	Akunkenkä +10MM kaapeliliitin
Automaattisulake 200A	4-600128	1	29,9	29,9	Four Connect Automaattisulake 200A
Suntti	SHU050150050	1	130	130	Victron Smartsunt 500A/50MV
Vaihtosuuntaaja	1702-8555	1	449	449	Intelligent 24V 230V 2500W
Raspberry Pi	RPI-3MODBPLUS	1	56,9	56,9	Raspberry Pi 3 Model B+
Automaattisulake 5A	A9N61505	1	5,9	5,9	C60H DC Johdonsuojakatkaisija 1P C 5A
Jännitteen muunnin	AK01800	1	10	10	DC-DC 7-24V to 5V of 3A
VE.Direct - USB kaapeli	ASS030530000	2	32,9	65,8	VE.Direct - USB -liitäntä 1,8m
MMJ 2x1.5mm	406412	40	0,99	39,6	Draka MMJ 2x1,5 N
LED-valaistus	SR-357-75	8	7,2	57,6	LED-lamppu Star Trading Illumination
Valaisinkytkimet	2000205	4	20,9	83,6	Artic 5-kytkin pinta IP44 valkoinen
Yhteensä				4303,1	€

Kokonaiskustannuksiksi tarvittaville komponenteille saadaan noin 4300 euroa. Komponenttien hinnat ovat kerätty monien erilaisten verkkokauppojen internet-sivuilta.

Mikäli asiakas ei ole tyytyväinen järjestelmän kokonaiskustannuksiin on mahdollista myös sähköistää mökki liittämällä se sähköverkkoon. Sähköverkkoon liittymisen kustannukset määrittyvät kohteen sekä sähköverkon välimatkan perusteella, pääsulake koon mukaan sekä aluekaavan mukaan. Kyseisen kohde sijaitsee alle 100 metrin päästä pienjänniteverkosta haja-asutusalueella. Sähköverkkoon liittymisen hinta määräytyy aina kyseisen alueen verkkoyhtiön mukaan. Tässä tapauksessa verkkoyhtiönä toimii Järvi-Suomen Energia, jonka verkkosivulla voidaan määrittää liittymiskustannukset verkkopalveluhinnaston mukaan.

Kuvassa 15 on verkkosivuilta saatu liittymismaksutaulukko. Kohteen pääsulake kooksi sopii 3 x 25A, joten vyöhykkeellä 2 liittymishinnaksi verkolle tulisi 6250 euroa 24 % arvonlisäveron kanssa. Kustannuksissa on huomioitu ainoastaan sähköliittymän avausmaksu. [39.]

Kuva 15. Sähköyhtiön verkkopalveluhinnasto. [39]

LIITTYMÄHINNASTO 1.12.2020

LIITTYMISMAKSUT (alv 0 %)

Pääsulake	Vyöhyke 1	Vyöhyke 2
3 x 25 A	2 930 €	5 120 €
3 x 35 A	3 790 €	6 130 €
3 x 50 A	5 110 €	7 810 €
3 x 63 A	6 200 €	9 470 €
3 x 80 A	7 520 €	10 950 €
3 x 100 A	9 200 €	12 640 €
3 x 125 A	11 500 €	14 990 €
3 x 160 A	14 720 €	17 450 €
3 x 200 A	18 400 €	21 400 €
Yli 3 x 200 A	92 €/A	107 €/A

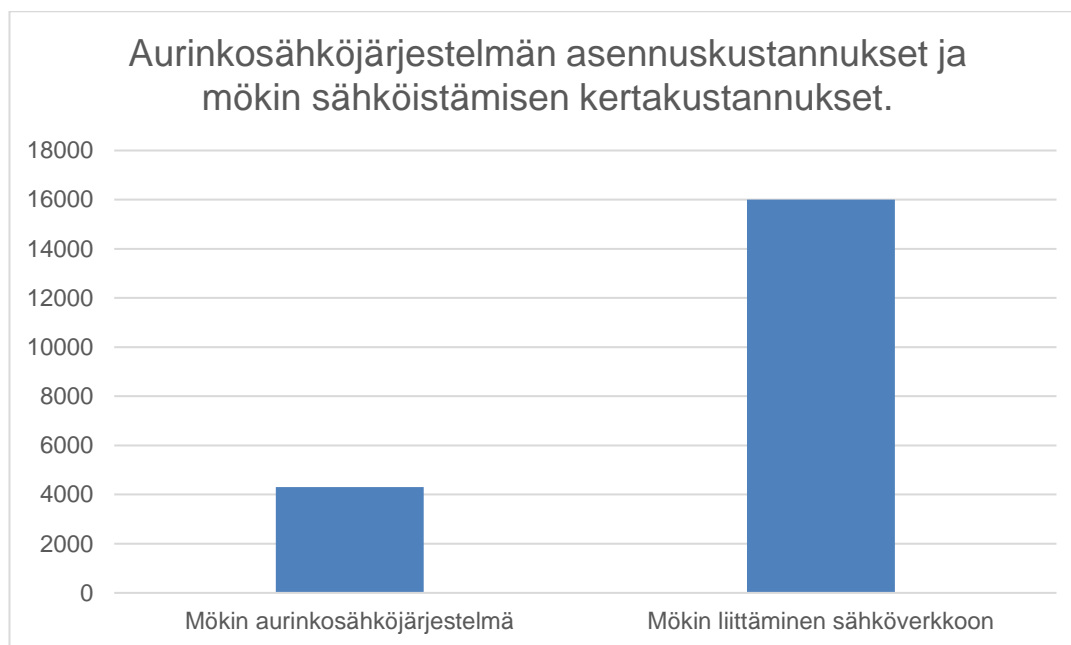
Kokonaiskustannuksiin mökin sähköistämiseksi tulee myös laskea asiakkaalle koituvat kustannukset sähköurakoinnista. Kohteeseen täytyy asentaa pääkes-

kus, kaapelointi, pistorasiat sekä valaistus. Kyseiset sähkötyöt täytyy tehdä yritys, joilla on sähköasennusoikeudet. Järjestelmälle on myös tehtävä asianmukainen käyttöönottotarkistus. Sähköurakoinnin hinta-arvio kohteen sähköistykseen on noin 12 000 euroa, mikä sisältää valaistuksen asennuksen, pistorasiat, pääkeskuksen johdotukset sekä mittariston asennukset. [34; 40.]

Kokonaiskustannuksiksi mökin sähköistykselle tulee noin 16 000 euroa kotitalousvähennyksineen. Tämä määrä on huomattavasti suurempi kuin omavaraisesta aurinkojärjestelmästä aiheutuneet kustannukset. Asiakkaan kannalta on taloudellisesti kannattavampaa sijoittaa aurinkovoimaan kyseisen kohteen kannalta.

Taulukossa 16 on esitetty graafisesti aurinkosähköjärjestelmän asennuskustannukset sekä sähköverkkoon liittymisen kustannukset.

Taulukko 16. Aurinkosähköjärjestelmän asennuskustannukset ja mökin sähköistämisen kertakustannukset.



6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tarkoitus oli suunnitella vapaa-ajan asuntoon aurinkoenergialla toimiva sähköjärjestelmä asiakkaan toiveiden mukaisesti mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Järjestelmän suunnittelu alkoi kohteen energiantarpeen määrittämisellä. Siinä arvioitiin käytettävien sähkölaitteiden kulutusta päivittäisellä tasolla. Arvioinnin avulla järjestelmä pystyttiin mitoittamaan kohteen käyttäjää varten optimaaliseksi.

Järjestelmän mitoituksen jälkeen valittiin siihen sopivat komponentit. Yksityiskäyttöön tarkoitetun aurinkosähköjärjestelmän komponenttien päävalinta kriteereinä olivat kustannustehokkuus, käyttövarmuus ja ekologisuus. Tehdyillä valinnoilla pystyttiin täyttämään asiakkaan toiveiden mukaiset kriteerit.

Kustannuslaskelmissa huomattiin, että asiakkaan kannalta järkevin ratkaisu mökin sähköistykseen on aurinkovoima. Sähköverkkoon liittymisestä sekä sähköurakoinnista aiheutuneet kustannukset ovat huomattavasti suurempia kuin omavarainen aurinkosähköjärjestelmä. Tästä syystä ei ole taloudellisesti kannattavaa liittää kohdetta paikalliseen sähköverkkoon.

Lopputuloksena asiakkaalle pystyttiin luomaan yksityiskohtainen suunnitelma kustannustehokkaasta mökin sähköistysjärjestelmästä. Suunnitelman avulla asiakas pystyy aloittamaan aurinkosähköjärjestelmän toteuttamisen kohteessa.

Lähteet

- 1 Mitä on aurinkoenergia. Verkkoaineisto. Ermen. <https://www.ermen.fi/mita-on-aurinkoenergia/>. Luettu 1.3.2022.
- 2 The history and invention of solar panel technology. Verkkoaineisto. Energysage. <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>. Luettu 2.3.2022.
- 3 Aurinkovoima. Verkkoaineisto. Vattenfall. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>. Luettu 3.3.2022.
- 4 How a solar cell works. Verkkoaineisto. ACS. <https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html>. Luettu 3.3.2022.
- 5 Aurinkosähköteknologiat. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat Luettu 3.3.2022.
- 6 Aurinkosäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa/. Luettu 10.3.2022.
- 7 Solar radiation. Verkkoaineisto. ECG Solar. <http://ecgllp.com/files/3514/0200/1304/2-Solar-Radiation.pdf>. Luettu 10.3.2022.
- 8 Energy Balance. Verkkoaineisto. NASA Earth Observatory. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page2.php>. Luettu 12.3.2022.
- 9 PVGIS. Verkkoaineisto. European Commission. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. Luettu 12.3.2022.
- 10 Auringonpaiste- ja säteilytilastot. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/1991-2020-auringonpaiste-ja-sateilytilastot>. Luettu 12.3.2022.
- 11 How to Size a Solar System: Step-by-Step. Verkkoaineisto. Unbound Solar. <https://unboundsolar.com/blog/how-to-size-solar-system>. Luettu 12.3.2022.

- 12 Sizing the battery bank for your off-grid solar power system . Verkkoaineisto. Rimstar. https://rimstar.org/renewnrg/sizing_select_batteries_for_off_grid_solar_system.htm. Luettu 15.3.2022.
- 13 Teoriaa ja faktaa akuista. Verkkoaineisto. Polarheater. <https://www.polarheater.fi/page/6/teoriaa-ja-faktaa-akuista>. Luettu 16.3.2022.
- 14 How to Calculate Inverter Power Rating and Inverter Battery Backup Time. Verkkoaineisto. Electrical Engineering Toolbox. <https://www.electricalengineeringtoolbox.com/2017/07/how-to-calculate-inverter-power-rating.html>. Luettu 16.3.2022.
- 15 Lataussäätimet. Verkkoaineisto. Aurinkopaneelikauppa. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Lataussaeatimet>. Luettu 16.3.2022.
- 16 Off-grid PV. Verkkoaineisto. Electricity Forum. https://www.electricityforum.com/uploads/articles/OffGridAC_1497886720.gif. Luettu 16.3.2022.
- 17 Comprehensive Guide to Solar Panel Types. Verkkoaineisto. Aurora Solar. <https://www.aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide>. Luettu 17.3.2022.
- 18 Aurinkopaneeli FAQ. Verkkoaineisto. Finnwind. <https://finnwind.fi/aurinkopaneeli-usein-kysytyt/>. Luettu 18.3.2022.
- 19 Alpo Kekkonen. Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen. OAMK. http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/esitys_asenn.pdf. Luettu 18.3.2022.
- 20 How to extend deep cycle battery life. Verkkoaineisto. MK Battery. <https://www.mkbattery.com/blog/how-extend-deep-cycle-battery-life>. Luettu 18.3.2022.
- 21 What is a half-cell solar panel. Verkkoaineisto. Solar Power World. <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/10/what-is-a-half-cell-solar-panel/>. Luettu 19.3.2022.
- 22 Nordmax 160W PERC. Verkkoaineisto. Aurinkosähkö. <https://www.aurinkosahko.net/product/258/160w-perc-monikide>. Luettu 20.3.2022.
- 23 Harjakatoille delta. Verkkoaineisto. Orima. <https://orima.fi/orima-solar/harjakatoille-delta/>. Luettu 20.3.2022.
- 24 Akkutyyppin valinta. Verkkoaineisto. Sunwind. <https://www.sunwind.fi/pages/news/read/?id=182&Akkutyyppin-valinta>. Luettu 20.3.2022.

- 25 Akkujen valinta. Verkkoaineisto. Sunwind. <https://www.sunwind.fi/pages/tips/read/?id=134>. Luettu 20.3.2022.
- 26 AGM-Akku vai geeliakku - Mitä eroa on erilaisilla lyijyakuilla. Verkkoaineisto. Yent <https://www.yeint.fi/uutiset/akkujen-erot>. Luettu 21.3.2022.
- 27 Yleistä aurinkosähköstä. Verkkoaineisto. Aurinkosähkö. <https://www.aurinkosahko.net/page/7/aurinkosahkojarjestelma-12v> . Luettu 21.3.2022.
- 28 Akut ja akkukaapelit. Verkkoaineisto. Sunwind. <https://www.sunwind.fi/product/category/?cap=3>. Luettu 21.3.2022.
- 29 Sznajder 185Ah vaapa-ajan akku. Verkkoaineisto. Motonet. <https://www.motonet.fi/fi/tuote/900185/Sznajder-185Ah-vapaa-ajan-akku-P51xL22xK2022cm>. Luettu 21.3.2022.
- 30 Tietoa inverttereistä. Verkkoaineisto. Valtekno. <https://www.valtekno.fi/kauppa/2019/02/28/tietoa-inverttereista/> . Luettu 22.3.2022.
- 31 1702-8555 käyttöohje. Verkkoaineisto. Finqu. <https://files.finqu.com/merchant/25042/1702-8555-kyttohje.pdf>. Luettu 24.3.2022.
- 32 What is the difference between PWM and MPPT charge controllers. Verkkoaineisto. Lighting Equipment Sales. <https://lightingequipmentsales.com/what-is-the-difference-between-pwm-and-mppt-charge-controllers.html>. Luettu 26.3.2022.
- 33 Victron MPPT 100/20. Verkkoaineisto. Marinea. <https://www.marinea.fi/victron-smartsolar-mppt-10020-lataussaadin-blutoothilla>. Luettu 25.3.2022.
- 34 Lupa-asiat. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat. Luettu 25.3.2022.
- 35 Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Verkkoaineisto. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>. Luettu 26.3.2022.
- 36 3G-verkko on siirtymässä historiaan. Verkkoaineisto. Telia. <https://www.telia.fi/3g>. Luettu 27.3.2022.
- 37 Open source. Verkkoaineisto. Victron Energy. https://www.victron-energy.com/live/open_source:start. Luettu 27.3.2022.

- 38 VRM Portal - Dashboard. Verkkoaineisto. Victron energy. https://www.victronenergy.com/live/detail/vrm_portal:screenshot_2020-09-28_at_11.34.33.png?id=vrn_portal%3Adashboard. Luettu 27.3.2022.
- 39 Uusi sähköliittymä. Verkkoaineisto. Järvi-Suomen energia. <https://www.jseoy.fi/palvelut-ja-hinnat/uusi-sahkoliittyma/>. Luettu 29.3.2022.
- 40 Mökin sähköurakointi hinta-arvio. Puhelinkeskustelu. Sähköurakointi yritys. 29.3.2022.
- 41 Victron smartshunt. Verkkoaineisto. Marinea. <https://www.marinea.fi/victron-smartshunt-500a50mv>. Luettu 25.3.2022.
- 42 Aurinkosähköjärjestelmän asennusohje. Verkkoaineisto. Electro tori. <https://www.electrotori.net/page/3/aurinkosahkojarjestelman-asennusohje>. Luettu 25.3.2022.
- 43 Sizing fuses for photovoltaic systems per the national electrical code. Verkkoaineisto. Mersen. https://ep-us.mersen.com/sites/mercen_us/files/2018-11/TT-PVFN5-Sizing-Fuses-of-Photovoltaic-Systems-per-NEC-Tech-Topic.pdf. Luettu 25.3.2022.

NM160PP datalehti

■ NM160PP



Temperature Coefficients

NOCT	45 +/-2°C
Voltage temperature coefficient(Voc)	-0.36%/°C
Current temperature coefficient(Isc)	+0.033%/°C
Power temperature coefficient(Pmpp)	-0.44%/°C
Minimum power tolerance	+/- 3%

NOCT:Nominal Operating cell Temperature

Mechanical Data

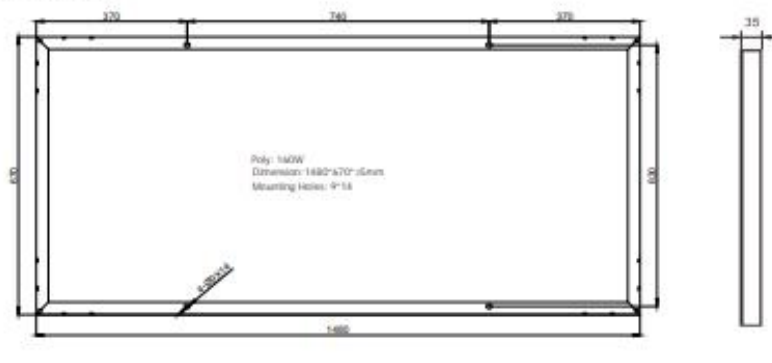
Solar Cell	36(4*9) PERC Polycrystalline 156.75*156.75mm
Front Glass	3.2mm tempered
Frame	Anodized aluminium



Electrical Data

Module type	NM160PP
Nominal peak power(Wp)	160W
Nominal voltage(Vmp)	17.8V
Nominal current(Imp)	8.99A
Open-circuit voltage(Voc)	22.5V
Short-circuit current(Isc)	9.99A
Cell efficiency	18.6%
Operating temperature	-40°C to +85°C
Maximum system voltage	1000VDC
Weight	11.2kg
Dimension	1480*670*35mm

STC:1000W/m²,25°C



OEM Finland Oy

PL 9, 20101 TURKU, Puh: 0207 499 499


Fax: 0207 499 456, info@oem.fi, www.oem.fi

Victron MPPT Calculator report



MPPT Calculator report

1 result



SmartSolar MPPT 100/20
Article number: SCC110020060R
Connector: Terminals

- Bluetooth

Max. input voltage:	100 V
Max. PV voltage @ min. temperature:	50.7 V
Min. input voltage @ MPP:	25 V
Min. PV voltage @ max. temperature:	27.4 V
Max. output current:	20 A
Max. current @ MPP min. temp.:	20 A
Max. current @ MPP max. temp.:	20 A

Solar configuration

String 1	
Module	Custom
Series	2
Parallel	2
Min temperature [°C]	-10
Max temperature [°C]	70
Battery float voltage [V]	54
System voltage [V]	24
Power [Wp]	160
Voc [V]	22.5
Isc [A]	9.99
Vmpp [V]	17.8
Impp [A]	8.99
V temp. coeff. [%/°C]	-0.36
I temp. coeff. [%/°C]	0.033

For additional information you can go to:
<https://mppt.victronenergy.com/#dJE7Y3VzdG9lLDIsMiw1NCwtMTAsNzAsMjQsOC45OSwwLjAzMyw5Ljk5LDE2MCwxNy44LC0wLjM2LDIyLjUsOCw2>