

Anssi Leinonen

SIIRRETTÄVÄ AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄ OPETUSKÄYTTÖÖN

Opinnäytetyö
Sähkötekniikka

2019



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Anssi Leinonen	Insinööri (AMK)	Kesäkuu 2019
Opinnäytetyön nimi		34 sivua 2 liitesivua
Siirrettävä aurinkopaneelijärjestelmä opetuskäyttöön		
Toimeksiantaja		
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu Oy		
Ohjaaja		
Jorma Pekkanen		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli tehdä siirrettävä aurinkopaneelijärjestelmä opetuskäyttöön Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin toimipisteen sähkö -ja automaatiolinjalle. Työn tavoitteena oli toteuttaa käsin ulos siirrettävä aurinkopaneelijärjestelmä, jolla voidaan tutkia varjostumien vaikutusta rinnan -ja sarjakytkennässä sekä seurata valosähköistä energiantuottoa.</p> <p>Työn ideoi laboratorioinsinööri Konsta Viljakainen alkuperäisen opinnäytetyön peruunnuttua. Alkuperäinen opinnäytetyö oli tehdä 12 aurinkopaneelin järjestelmä Xamkin A-rakennuksen katolle. Aurinkopaneelijärjestelmään otettiin kaksi aurinkopaneelia alkuperäisestä kokoonpanosta, joiden ympärille muu laitteisto rakennettiin. Laitteistoon asennettiin alas vedettävä varjostinkangas, jolla paneeleja voidaan varjostaa. Vaihtokytkimellä saadaan kytettyä paneelit lataussäätimelle rinnan tai sarjaan. Varjostumien vaikutusta rinnan -ja sarjakytkennässä voidaan seurata lataussäätimeltä saaduilla tiedoilla eri sähkösuureista. Järjestelmään kuuluu myös pyranometri, joka mittaa auringon säteilyvoimakkuutta. Tietoa paneelien energiantuotosta ja auringon säteilyvoimakkuudesta voidaan kerätä talteen ja tutkia tietyllä aikavälillä.</p> <p>Opinnäytetyön ongelmia olivat laitteiston ohjelmointi toimimaan halutulla tavalla ja kerätyn tiedon siirtämisen varmuus myöhemmin luettavaksi. Työn tavoitteisiin päästiin mutta valmis tehtäväpohja laitteistosta opiskelijoille jäi toteutumatta</p>		
Asiasanat		
aurinkopaneelit, opetuskäyttö, varjot, siirrettävyys, auringonsäteily		

Author (authors)	Degree	Time
Anssi Leinonen	Bachelor of Engineering	June 2019
Thesis title		34 pages 2 pages of appendices
Commissioned by South-Eastern Finland University of Applied Sciences		
Supervisor Jorma Pekkanen		
<p data-bbox="164 723 300 757">Abstract</p> <p data-bbox="164 797 1461 981">The subject of this bachelor thesis was to make a movable solar panel system for educational use in South-Eastern Finland University of Applied Science's Mikkeli branch's electrical and automation programme. The objective of the thesis was to execute a manually movable solar panel system which can be used to study the effects of shading in parallel and series connection and to observe photoelectric energy production.</p> <p data-bbox="164 1021 1461 1420">Laboratory engineer Konsta Viljakainen came up with the idea to this thesis after the original bachelor's thesis was cancelled. The original bachelor's thesis was to make a twelve solar panel system on the A-building's roof in Xamk. To make this solar panels system, two solar panels were taken from the original assembly and the rest of the equipment was built around them. A pull-down shading screen, which can be used to shade the panels, was installed to the equipment. A throw-over switch was installed to connect the panels in parallel or series connection into the charge controller. The effects of shades in parallel and series connection can be monitored from the data in different electrical variables gotten from the charge controller. The system also contains a pyranometer which measures the radiation intensity of the sun. The data from the energy production of the panels and the sun's solar intensity can be collected and stored and examined in a specific time interval.</p> <p data-bbox="164 1460 1461 1599">The challenges of the bachelor's thesis were the programming of the equipment in order to function in a wanted way and the reliability in transferring the data to be read later. The goals of the thesis were achieved but a ready educational material from the equipment to a student use was not carried out.</p>		
<p data-bbox="164 1715 320 1749">Keywords</p> <p data-bbox="164 1789 1086 1823">solar panels, educational use, shades, movability, solar radiation</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	AURINKO JA SIITÄ SAATAVAT ENERGIANLÄHTEET	2
2.1	Auringon säteilyenergia	2
2.2	Aurinkoenergia Suomessa.....	2
2.3	Auringon säteilyn mittaaminen.....	3
2.3.1	Säteilyn mittaaminen tässä työssä	4
2.3.2	Säteilyvoimakkuusmittauksien lukeminen	6
3	AURINKOENERGIA.....	7
3.1	Aurinkosähkökenno	7
3.2	Aurinkosähköpaneeli	7
3.2.1	Aurinkopaneelit tässä työssä.....	8
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ	9
4.1	Lataussäädin	9
4.1.1	PWM-säädin.....	9
4.1.2	MPPT-säädin.....	10
4.1.3	MPPT-säätimen rakenne.....	11
4.1.4	BlueSolar MPPT 100/50	11
4.2	Invertterit.....	12
4.2.1	Modifioitu siniaaltoinvertteri	12
4.2.2	Aito siniaaltoinvertteri	13
4.2.3	Multiplus-invertteri	13
4.2.4	Invertterin vaihtosähköpuoli.....	15
4.3	Akku.....	17
4.3.1	Akun erotuskytkin	17
4.3.2	Akkumonitori ja shuntti	18
4.4	Aurinkopaneelien rinnan -ja sarjakytkennän vaihto.....	18
4.5	Järjestelmänvalvontapaneeli	19

4.5.1	VRM-portaali	20
4.6	Järjestelmän kehikko	22
5	JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI	24
5.1	Asetusten määrittäminen DIP-kytkimillä	24
5.2	Asetusten määrittäminen tietokoneella konfiguroiden.....	25
6	MITTAUKSET JA TULOKSET	28
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	30
	LÄHTEET.....	32
	KUVALUETTELO	33
	LIITELUETTELO.....	35

1 JOHDANTO

Aurinkoenergialla tuotettu sähkö on kasvattanut voimakkaasti osuuttaan muiden uusiutuvien energiamuotojen ohella. Aurinkopaneelien tekniikka on kehittynyt samalla energiatehokkaammaksi ja paneelien hinta laskenut. Niinpä aurinkosähkötekniikan opettaminen myös käytännön tasolla on tänä päivänä järkevää oppilaitoksissa.

Alkuperäinen opinnäytetyö oli tehdä jo Xamkin Mikkelin toimipisteeseen hankittu 12 paneelin aurinkopaneelijärjestelmä ja siihen liittyviä testauksia ja dokumentaatiota. Työ kuitenkin peruuntui lupa-asioiden takia eli sille ei saatu lupaa kytkeä verkkoon ja järjestelmä olisi tarvinnut verkkosähköä toimiakseen. Uuden opinnäytetyön ideoivat sähkölinjan opettaja Jorma Pekkanen ja laboratorioinsinööri Konsta Viljakainen. Uusi opinnäytetyö oli tehdä siirrettävä aurinkopaneelijärjestelmä opetuskäyttöön. Sillä voitaisiin tutkia miten aurinkopaneelien varjostumat vaikuttavat paneelien tehontuottoon sarja -ja rinnankytkennässä. Lisäksi voitaisiin tutkia aurinkosähköntuottoa auringon säteilyvoimakkuuteen verraten. Tämä onnistuu järjestelmään lisätyn pyranometrillä avulla. Pyranometri oli jäänyt koulun varastoon jonkun aiemman projektin ylijäämäosana.

Opinnäytetyön käytännön tekemisessä, kuten kehikon kasaamisessa, oli apuna Konsta Viljakainen, joka myös piirsi kehikon CAD-piirustukset. Työssä hyödynnettiin kustannus -ja käytännönsyistä useita koululla valmiina olleita osia ja laitteita. Alkuperäisestä opinnäytetyöstä otettiin kaksi aurinkopaneelia ja virtakaapeleita uuteen työhön. Aurinkosähköjärjestelmän sähkö -ja ohjauslaitteiksi valittiin Victron Energyn tuotteita niiden hyvien laajennus -ja ohjelmointimahdollisuuksien takia.

2 AURINKO JA SIITÄ SAATAVAT ENERGIANLÄHTEET

Lähes kaikki maapallolla käytettävä energia on lähtöisin auringosta. Auringosta saadaan suoraan säteilyenergiaa. Sen lisäksi tuuli, vesi -ja aaltoenergia ovat auringon tuottamia. Välillisesti myös kasvien bioenergia ja miljoonien vuosien kuluessa kasvien ja eläinten jäänteistä fossiiliseksi polttoaineiksi muodostuneet kivihiili, öljy ja maakaasu ovat saaneet energiansa auringosta. (Perälä & Perälä 2017, 7.)

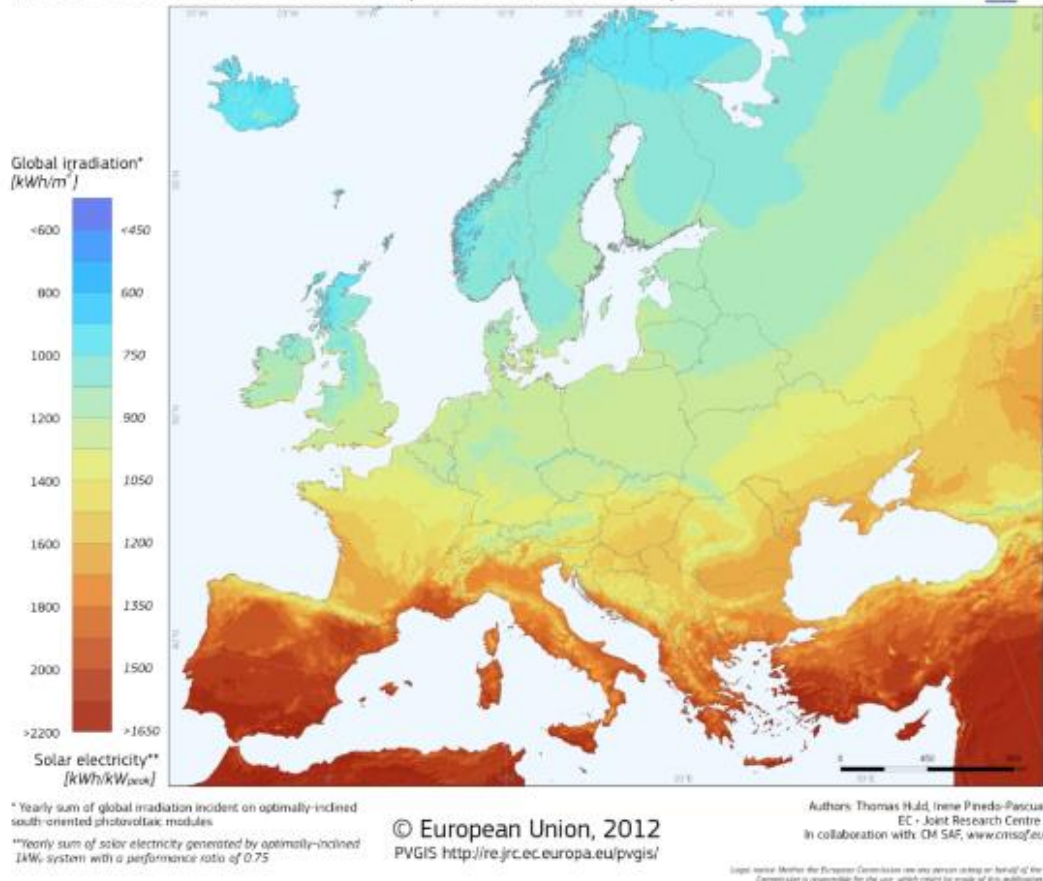
2.1 Auringon säteilyenergia

Maapallon etäisyydellä auringosta kertyy auringon säteilytehoa 1360 wattia jokaista neliometriä kohti. Keskimääräinen säteilyteho on kuitenkin pienempi, 342 wattia neliometriä kohti, koska vain osa maapallosta on aina aurinkoon suuntautuneena ja aurinko ei paista joka paikkaan kohtisuoraan taivaalta. Kaikki auringon säteilyteho ei pääse maan pinnalle asti vaan osa heijastuu takaisin avaruuteen ja osa absorboituu ilmakehässä. Parhaimmillaan säteilytehoa saapuu maan pinnalle asti noin 1000 wattia neliometriä kohti, jos taivas on kirkas ja aurinko paistaa kohtisuoraan yläpuolelta.

2.2 Aurinkoenergia Suomessa

Suomi on aurinkoenergian tuotantopotentiaalissa Keski-Euroopan maiden tasolla. Suomen pimeitä vuodenaikoja kompensoi valoisat kesäkuukaudet, jolloin aurinko paistaa parhaimmillaan lähes ympäri vuorokauden. Suomen kylmä talvi myös parantaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta, jolloin säteilystä saadaan enemmän sähköenergiaa tuotettua; aurinkokennot toimivat sitä tehokkaammin mitä kylmemmässä ne ovat. (Kosonen 2019) Suomen ilmasto-olosuhteet aiheuttavat vain noin 20% pienemmän vuosittaisen auringon lämpösäteilyn tuoton Pohjois-Italiassa. Alla olevasta kuvasta voidaan todeta, että auringon vuosittaiset säteilytasot ovat samaa luokkaa Suomessa kuin Saksassa. (Hakkarainen, Tsupari, Hakkarainen, Ikäheimo 2015, 6)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuva 1. Vuosittainen auringon säteily Euroopassa.

2.3 Auringon säteilyn mittaaminen

Auringon säteilyvoimakkuuden mittaamiseen voidaan käyttää pyranometria tai pyrhelimetria. Säteilyvoimakkuus on säteilyteho pinta-alayksikköä kohti ja sen yksikkö on W/m².

Pyrhelimetri on laite, joka mittaa auringon suoraa säteilyä. Se koostuu vain vähän auringon kiekkoa suuremmalla näkökentällä varustetusta optiikasta, joka ohjaa valon anturille. Optiikka suunnataan tarkasti kohti aurinkoa käyttäen apuna etsimen muodostamaa varjokuviota.

Pyranometrillä mitataan globaalisäteilyä eli auringon suoran ja diffuusin säteilyn summaa. Anturin näkökenttä on koko ylempi puoliavaruus. Anturi on termi- ja sen lämpeneminen on verrannollinen auringon säteilyn voimakkuuteen. Anturi on yleensä platinavastus tai lämpöpari. Ympäristön lämpötilan vaikutus kompensoidaan vertaamalla auringon lämmittämän pinnan ja referenssikohteen lämpötiloja. (Rinne, J., Haapanala, S. 2009, 88.)

2.3.1 Säteilyn mittaaminen tässä työssä

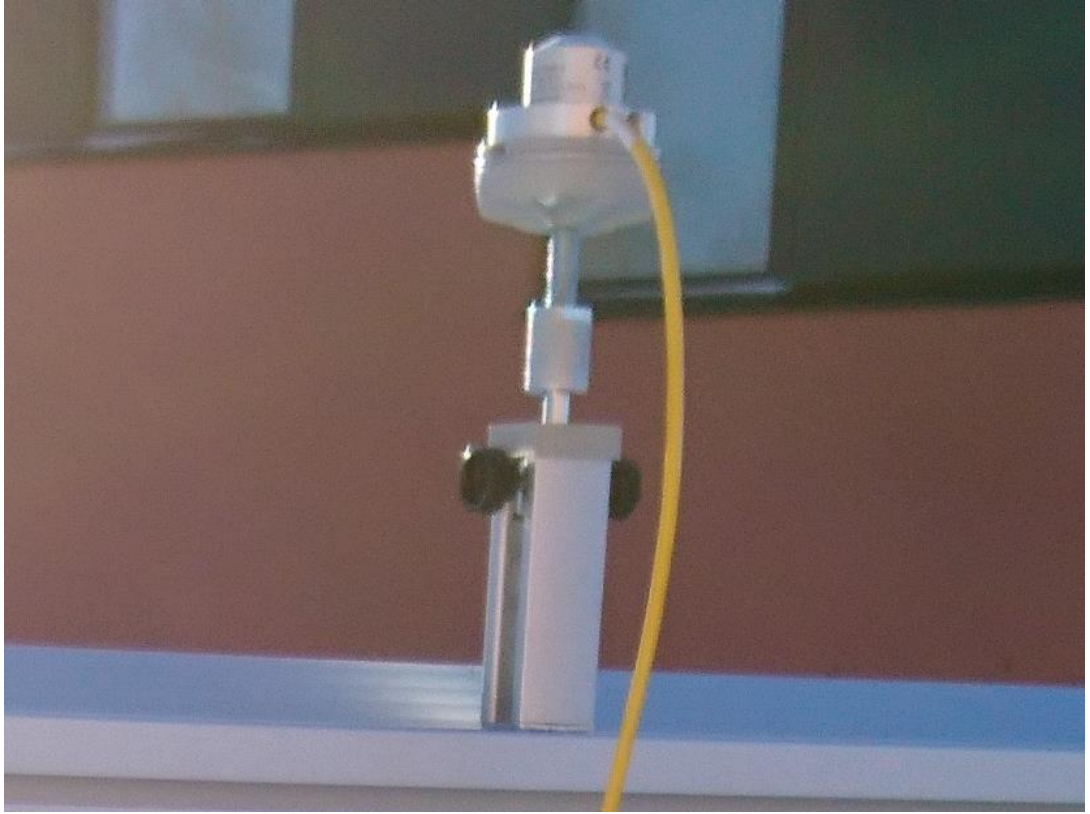
Tässä työssä säteilyvoimakkuuden mittaamiseen käytettiin Kipp & Zonen Sp Lite2-pyranometria. Se oli koululla valmiina olemassa, joten sitä päätettiin hyödyntää työssä. Sp Lite2 pyranometri pystyy mittaamaan säteilyvoimakkuutta säteilyn spektrin 400-1100 nanometrinen alueella. Pyranometri tarvitsee erillisen lukijalaitteen, jonka mittausvirtapiiriin se liitetään vastuksena. Lukijalaite saa säteilytehon tiedon mikrovoltteina (μV), jonka se A/D-muunnoksella muuntaa luettavaksi säteilyvoimakkuudeksi (W/m^2). Alla olevassa kuvassa näkyy pyranometrinen tekniset tiedot.

Specifications

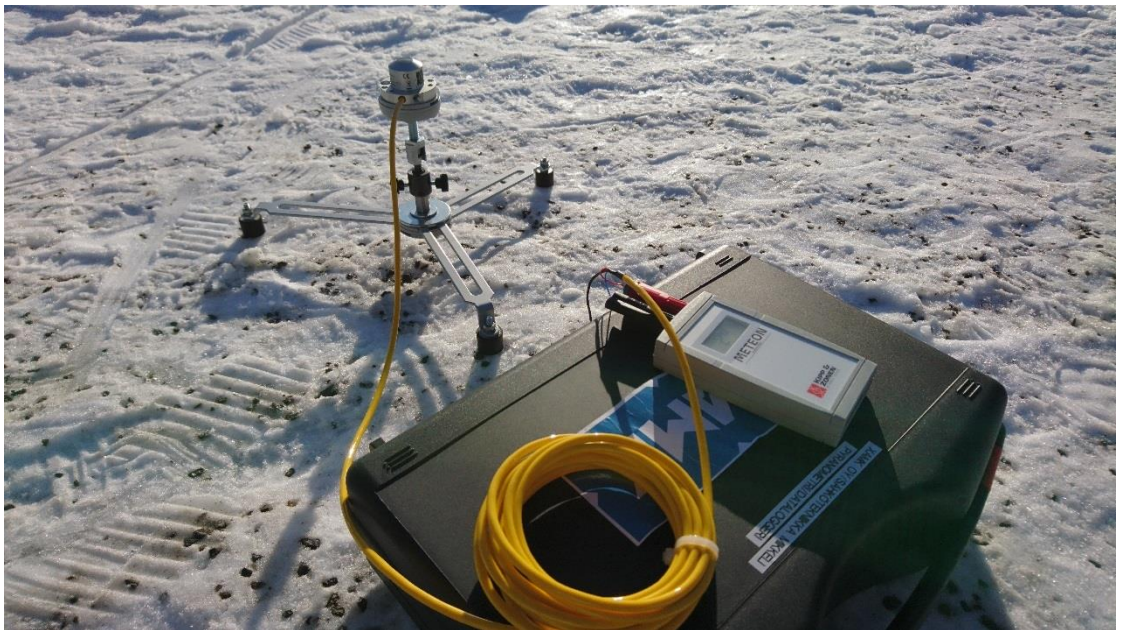
Spectral range (overall)	400 to 1100 nm
Sensitivity	60 to 100 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Response time SP Lite2 (95%)	< 500 ns
Directional response (up to 80° with 1000 W/m^2 beam)	< 10 W/m^2
Temperature response	< -0.15 %
Operational temperature range	-40 °C to +80 °C
Maximum solar irradiance	2000 W/m^2
Field of view	180 °
Classification to ISO 9060:2018	Fast Response Class C

Kuva 2. Sp Lite2-pyranometrinen spesifikaatiot.

Pyranometrissa on erittäin tarkka pyöreä vesivaaka, jolla se saadaan osoittamaan kohtisuoraan taivaalle. Tässä työssä pyranometri kiinnittyy laitteiston alumiinikehikkoon vanhasta videotykin jalasta muokatulla kiinnikkeellä, jossa on pyranometrinen ja kiinnikkeen välissä lukittava pallolaakeri. (kuva 3) Pallolaakerin avulla saadaan pyranometrinen vaaka suunnattua ja lukittua vaakatasoon. Lisänä videotykin jalasta saatiin osat, joista tehtiin kokoontaittuva kolmijalka pyranometrille. Sitä voidaan hyödyntää muusta laitteistosta erillisissä auringon säteilyvoimakkuusmittauksissa, esimerkiksi kolmannen tahon pyynnöstä. (Kuva 4.)



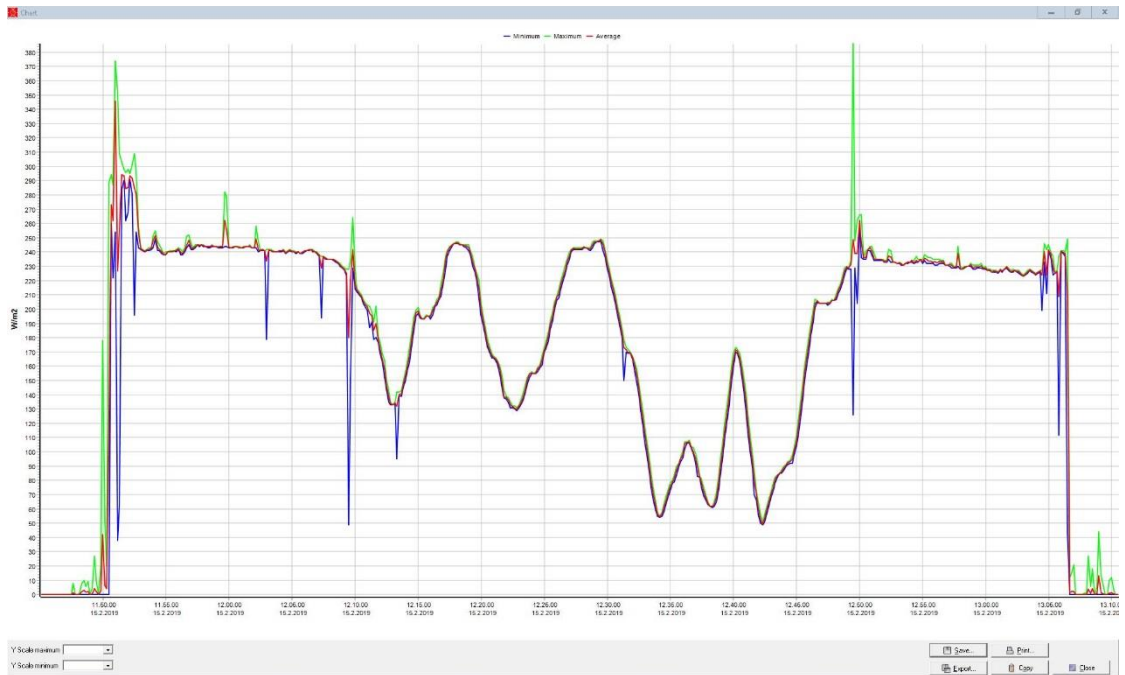
Kuva 3. Pyranometri ja sen kiinnitys kehikoon.



Kuva 4. erillinen kolmijalka pyranometrille.

2.3.2 Säteilyvoimakkuusmittauksien lukeminen

Työssä pyranometri toimii vastuksena, johon lukijalaite liitetään. Lukijalaitteena toimii Kipp & Zonen METEON-dataloggeri. Dataloggeri liitetään tietokoneeseen valmistajan USB-rajapinnalla, jonka jälkeen päästään asentamaan dataloggerin ohjelma. Ohjelman avulla asetetaan oikea pyranometrin herkkyys mikrovoltteina, säteilyvoimakkuuden ajallinen mittausväli ja kellonaika, milloin mittaus alkaa. Mittauksen jälkeen mittausdata saadaan ohjelmalla purettua luettavaksi numerotaulukkona tai graafisena taulukkona. (Kuva 5.)



Kuva 5. pyranometrin mittaus luettuna METEON-ohjelmalla.

3 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergia tarkoittaa auringon säteilemän valo -ja lämpöenergian hyödyntämistä aurinkolämpö -ja aurinkosähköjärjestelmissä. Aurinkolämpösovelluksissa auringon lämpösäteilyn energiaa hyödynnetään aurinkokerääjissä, jotka toimivat lämmönvaihtimina nestekiertoisissa lämmönjakelujärjestelmissä. Aurinkosähköjärjestelmä taas muuttaa auringon säteilyenergian sähköenergiaksi. Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa toimintaperiaatteiden mukaan aurinkolämpövoimaloiksi ja aurinkosähköpaneelitoiksi. (SFS 607 2015, 5.)

3.1 Aurinkosähkökenno

Aurinkosähkökenno eli puhekielessä aurinkokenno muuttaa auringon säteilyn sähköksi. Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka vapauttavat elektroneja aurinkokennomateriaalissa. Fotonien energia siirtyy kennossa vapaina liikkuville positiivisille ja negatiivisille varauksenkuljettajille. Aurinkokenno koostuu positiivisesti ja negatiivisesti varautuneista puolijohdemateriaaleista. Varauzero synnyttää kennon sisälle sähkökentän, joka vie fotonien vapauttamat positiiviset ja negatiiviset varauksenkuljettajat eri suuntiin kennossa. Varauksenkuljettajat kulkeutuvat ulkoiseen piiriin, jonne saadaan tasasähköä fotonien energiasta. (Aarnio, P 2011.)

Aurinkokennoja valmistetaan yksikiteisestä ja monikiteisestä piistä sekä amorfisesta kalvomaisesta piistä. Yksikiteisissä kennoissa kennot ovat yhtä piikidettä. Yksikiteisissä on aurinkokennoista paras hyötysuhde. Monikiteiset aurinkokennot koostuvat useista pienistä kiteistä. Ne ovat yksikiteisiä edullisempia mutta niissä on huonompi hyötysuhde. Amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat ohuita kalvomaisia kennoja. Ne ovat kennoista halvimpia mutta hyötysuhteeltaan ja käyttöiltään huonoimpia. (Perälä & Perälä 2017, 43.)

3.2 Aurinkosähköpaneeli

Aurinkosähköpaneeli eli puhekielessä aurinkopaneeli koostuu erillisistä aurinkokennoista, jotka on kytketty sarjaan ja koottu riveihin alustalevylle. Ohitusdiodeja käytetään paneeleissa estämään aurinkosähköpaneelia joutumasta estosuuntaan johtavaksi ja sen seurauksena kuumen alueen muodostumista

paneeliin. Aurinkopaneelit ovat ympäristöltä suojattuja ja vedenpitäviä. Aurinkopaneelit liitetään yleensä aurinkosähköjärjestelmään MC4-tyyppisellä standardiliittimellä.

3.2.1 Aurinkopaneelit tässä työssä

Tässä työssä aurinkopaneeleina käytettiin kahta JA Solarin JAP6-60-270/4BB-monikidepaneelia. Aurinkopaneeli koostuu 60 monikiteisestä kennoista, jotka ovat järjestetty kuuteen kymmenen kennon riviin. Paneelin liitännäkotelossa on kolme ohitusdiodia, joten yksi diodi ohjaa 20 kennoa. Paneelien osittain varjostuessa ohitusdiodit voivat sulkea 1/3 tai 2/3 kennoista pois, jolloin loput aurinkokennot voivat jatkaa sähköntuottoa. Paneelien liitännäkotelo on luokiteltu IP67-suojaukseen. Paneelin tekniset tiedot STC standarditestin mukaan ovat:

- Maksimiteho $P_{max}=270 \text{ W}_P$
- Jännite maksimiteholla $V_{mp}=31,23\text{V}$
- Virta maksimiteholla $I_{mp}=8,65\text{A}$
- Oikosulkuvirta $I_{sc}=9,15\text{A}$
- Tyhjäkäyntijännite $V_{oc}=38,27\text{V}$

Aurinkopaneelien kallistuskulma tässä työssä on 55 astetta. Kulma määräytyi sen mukaan, miten laitteisto saatiin mahtumaan opetustilojen ovista ja siirrettyä ulos käyttöön. Aurinkopaneelien optimaalinen kallistuskulma Suomessa on 35-45 astetta riippuen maapallon leveysasteista.

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkosähköjärjestelmän toiminnallinen määritelmä on, että aurinkosähköpaneelistoja käytetään sovellusten tehonsyöttöön. Aurinkosähköpaneeliston ja sovellusvirtapiirien kokoonpanoja on kolmea eri tyyppiä:

- Paneelisto on kytketty tasasähkökuormaan.
- Paneelisto on kytketty vaihtosähköjärjestelmään tehomuuntimen kautta, joka sisältää vähintään yksinkertaisen erotuksen.
- Paneelisto on kytketty vaihtosähköjärjestelmään tehomuuntimen kautta, joka ei sisällä yksinkertaista erotusta (SFS 607 2015, 19).

Tässä työssä paneelisto on kytketty vaihtosähköjärjestelmään tehomuuntimen eli invertterin kautta ja sisältää yksinkertaisen erotuksen.

4.1 Lataussäädin

Aurinkosähköjärjestelmän lataussäädin lataa akkua oikealla tavalla paneelista tulevalla tasasähköllä. Lataussäädin alentaa aurinkopaneeleilta tulevan jännitteen sopivaksi akun lataamiseen ja ohjaa lataamista samanaikaisesti seuraten akun varauksen tilaa. Akun tullessa täyteen se lopettaa lataamisen ja estää ylilatauksen. Säädin seuraa myös sähkönkulutusta ja katkaisee virransyötön akulta ennen kuin akun jännite laskee liian matalaksi.

4.1.1 PWM-säädin

Yksinkertaiset lataussäätimet toimivat pulssinleveysmodulaatioperiaatteella, englanniksi PWM=Pulse Width Modulation. PWM-säädin kytkee ja katkoo tiheästi paneelin virtaa ja muuttaa kytkentä -ja katkaisuaikojen suhdetta niin, että paneelien jännite alenee sopivaksi akun lataamiseen. Sopiva latausjännite riippuu akun lämpötilasta ja varaustilasta. PWM-säädin seuraa paneelien ja akun jännitteitä ja säätää pulssisuhdetta niin, että akku saa joka hetki sopivan latausjännitteen.

4.1.2 MPPT-säädin

MPPT-toiminto eli maksimitehopisteen jäljitys tarkoittaa aurinkopaneelien kuormittamista jokaisella hetkellä suurimmalla teholla, jonka paneelit pystyvät tuottamaan (englanniksi MPPT=Maximum Power Point Tracking). MPPT-la-
taussäädin tavoittaa aina aurinkopaneelien hetkellisen maksimitehon ja virittää paneelin ja akun toimimaan niin, että paneeli toimii aina MPP-pisteessään ja tuottaa sähköä maksimitehollaan. Paneelien maksimitehon piste eli MPP (Maximum Power Point) on paneelien tuottokäyrän piste, missä paneelien antama teho on suurimmillaan.

MPPT-säätimet voidaan jaotella sen mukaan, miten ne löytävät paneelien maksimitehopisteen:

- Kokeile ja vertaa-menetelmässä säädin muuttaa jatkuvasti paneeleista otettavaa jännitettä suuremmaksi tai pienemmäksi. Jokaisen muutoksen jälkeen se tarkistaa kasvoiko vai pienenikö paneeleista saatu teho. Jos teho kasvoi, säädin ottaa vielä lisää jännitettä mutta jos teho väheni niin se taas pienentää paneeleista otettavaa jännitettä.
- Sisäisen differentiaalisen resistanssin menetelmässä säädin muuttaa paneelista ottamaansa virtaa pienen määrän ΔI ja mittaa kuinka suurella määrällä ΔU jännite muuttuu. Näiden arvojen suhde $\Delta U/\Delta I$ on paneelin sisäinen differentiaalinen resistanssi. Maksimitehopiste MPP löydetään vertaamalla tätä differentiaalista resistanssia paneelien jännitteen ja virran suhteeseen U/I eli staattiseen resistanssiin; maksimitehopisteen kohdalla paneelien staattinen resistanssi U/I on yhtä suuri kuin sen differentiaalinen resistanssi $\Delta U/\Delta I$. Säädin toimii MPP-pisteessä niin kauan kun olosuhteet muuttuvat, sen jälkeen se toistaa prosessin uudestaan.
- Virtapyyhkäisymenetelmässä säädin mittaa paneelin virta-jännitekäyrän muuttamalla nopeasti virtaa koko alueen yli ja mittaamalla samat jännitteet eri virta-arvoilla. Näistä arvoista se laskee maksimitehopisteen ja alkaa kuormittaa paneelia tässä pisteessä.
- Vakiojännitemenetelmässä oletetaan, että paneelien maksimitehojännite U_{mp} on aina sama prosenttiosuus avoimen piirin jännitteestä U_{oc} . Vakiojännitemenetelmässä virta katkaistaan hetkeksi ja mitataan samalla paneelin tyhjäkäyntijännite U_{oc} . Paneelia kuormitetaan sen jälkeen vakiojännitteellä. Mittaus toistetaan aina tilanteen muuttuessa. (Perälä & Perälä 2017, 70-74.)

4.1.3 MPPT-säätimen rakenne

MPPT-säädin koostuu kolmesta eri toiminnosta:

- MPPT-toiminto kuormittaa paneeleja niin, että ne tuottavat sähköä maksimiteholla.
- Säätimen hakkurijännitemuunnin alentaa paneelien tuottaman jännitteen sopivaksi akun lataamiseen ja kasvattaa latausvirtaa. Hakkuripiiri muuttaa tasasähkön jännitearvon katkomalla jännitteen pulsseiksi ja kokoamalla uudelleen niin, että jännitteen arvo muuttuu.
- Akun latauspiiri lataa akkua oikealla tavalla ja estää sitä purkautumasta liian tyhjäksi.

4.1.4 BlueSolar MPPT 100/50

Tässä työssä lataussäätimenä käytettiin Victron Energyn BlueSolar MPPT 100/50-säädintä. Se on osa opinnäytetyössä käytettyä Victron Energyn EasySolar 12/1600/70-yhdistelmälaitetta, johon kuuluu lataussäädin, invertteri-laturi ja vaihtovirran jakelu. Lataussäädin käyttää sisäisen differentiaalisen resistanssin menetelmää maksimitehopisteen seuraamiseen. Sen latausvirta on enimmillään 50A ja aurinkopaneelien avoimen piirin jännite $U_{oc}=100V$. Lataussäätimessä on kolmet MC4-tyypin liittimet, joihin on mahdollista yhdistää kolme paneeliketjua. Tässä työssä paneeleita oli kaksi, joista toisen plus kytkettiin toisen MC4-liitinparin plussaan ja toisen miinus toisen MC4-parin miinukseen. Jäljelle jääneet plus -ja miinusjohtimet aurinkopaneeleilta kytkettiin vaihtokytkimeen, jonka lähtökärjet on kytketty lataussäätimen jäljelle jääneisiin plus -ja miinusliittimiin. Aurinkopaneelien johdotuksiin käytettiin Prysmian Groupin TECSUN hienosäikeistä yksijohdinkumikaapelia, joka on tarkoitettu aurinkosähköjärjestelmien asennukseen. Johtimen sisähalkaisija on 4mm^2 ja maksimi virranjohtokyky 55A.



Kuva 6. MPPT 100/50-säädin.

4.2 Invertterit

Aurinkosähköpaneelisto tuottaa vain tasasähköä, joka voidaan invertterillä muuttaa vaihtosähköksi. Invertteri muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi katkomalla akkujännitettä ja vaihtamalla sen suuntaa ja kasvattamalla jännitettä moninkertaiseksi. Sähköverkkoon liitetyissä aurinkojärjestelmissä tarvitaan aina verkkoinvertteri muuttamaan aurinkopaneelien tasajännite sähköverkkoon sopivaksi 230 voltin vaihtojännitteeksi. (Perälä & Perälä 2017, 75.)

4.2.1 Modifioitu siniaaltoinvertteri

Modifioitu siniaalto tehdään katkomalla tasajännite sähköverkon vaihtojännitteen puoliaaltoihin sopiviksi positiivisiksi ja negatiivisiksi jännitepulsseiksi. Modifioidun siniaallon taajuus on sama 50Hz kuin sähköverkon siniaallossa mutta käyrämuoto poikkeaa huomattavasti siitä. Siksi modifioitu sinijännite voi aiheuttaa häiriöitä herkemmissä sähkölaitteissa.

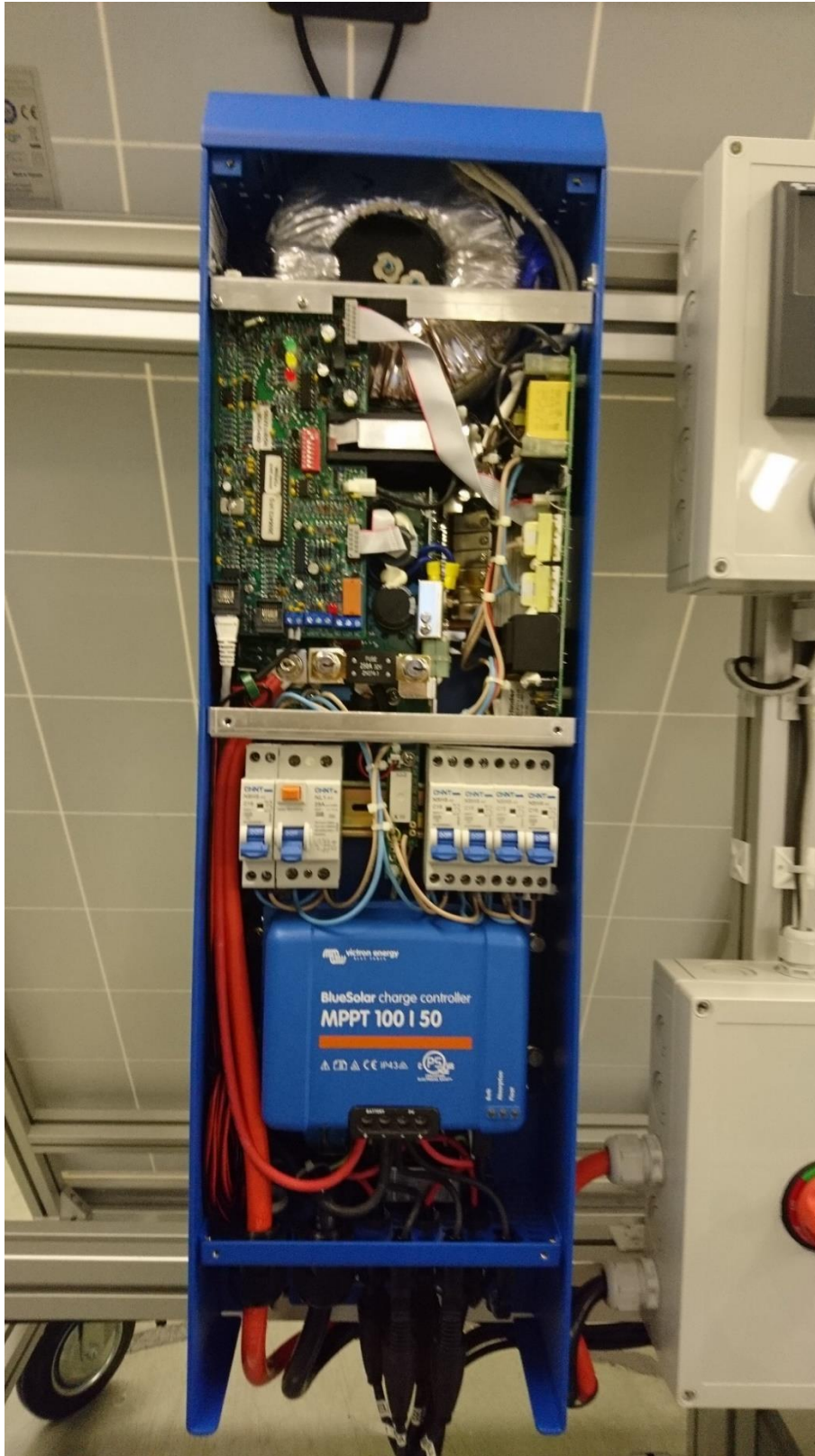
4.2.2 Aito siniaaltoinvertteri

Aito siniaaltoinvertteri tuottaa jännitepulsseja samalla periaatteella kuin modifioitu siniaaltoinvertterikin mutta virtaa kytketään ja katkotaan useita kertoja yhden vaihtojännitteen puoliaallon aikana. Nousevan puoliaallon kohdalla jännitepulsit pitenevät, puoliaallon huipun aikana ne kestävät pisimpään ja puoliaallon laskiessa ne lyhenevät jälleen. Sama toistuu puoliaallon positiivisella ja negatiivisella puolella. Aito siniaalto vastaa hyvin jakeluverkon siniaaltoista vaihtojännitettä.

4.2.3 Multiplus-invertteri

Tässä työssä invertterinä käytettiin Victron Energyn MultiPlus Compact 12/1600/70-invertteriä, joka on aito siniaaltoinvertteri. MultiPlus-invertteri kuuluu EasySolar-yhdistelmälaitteeseen, jossa myös MPPT-säädin on. EasySolar-yhdistelmälaitetta voidaan käyttää verkkoon kytkettynä tai saarekekäytössä, jolloin sähköjärjestelmä toimii pelkästään akulta ja aurinkopaneeleilta saadulla sähköllä. Saarekekäyttö kytkeytyy verkkosähkön syötön katkessa alle 20 millisekunnissa.

MPPT-säädin ja invertteri on rinnakkaisjohdotettu järjestelmän akulle. Yhdistelmälaitteen akkulaturi määrää ladataanko akkua aurinkoenergialla vai vaihtovirralla. Yhdistelmälaite on IP20-luokituksen mukaan suojattu, joten järjestelmä tulee viedä ulos ja käyttää vain sateettomissa sääoloissa.

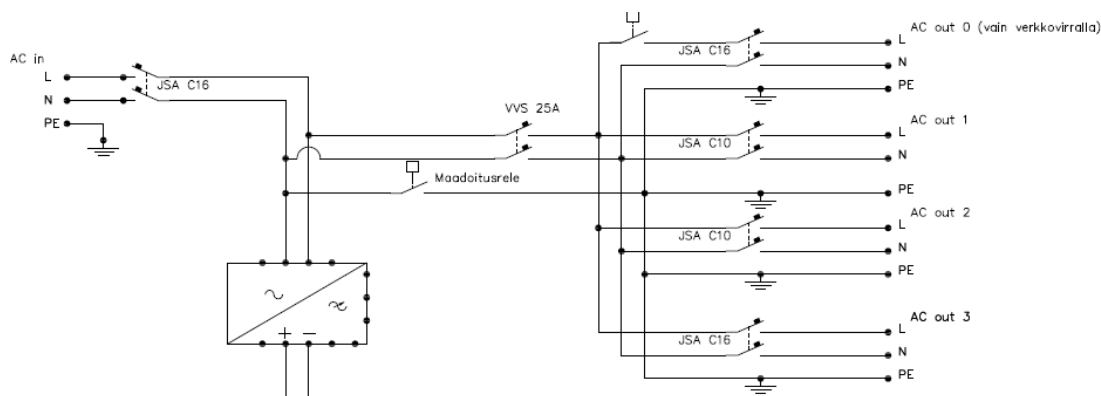


Kuva 7. EasySolar-yhdistelmälaite.

4.2.4 Invertterin vaihtosähköpuoli

Tämän työn aurinkosähköjärjestelmä on suunniteltu ja sitä on tarkoitus käyttää opetuskäytössä sähköverkosta irrallisena saarekekäyttönä. MultiPlus-invertteri kykenee toimimaan ilman verkkovirtaa pelkällä tasasähkösyötöllä. Työssä invertteriin kytkettiin kuitenkin verkkovirtalatausmahdollisuus, jotta laitetta on mahdollista käyttää ilman aurinkosähköllä lataamista.

Invertterissä on yksi yksivaiheinen vaihtovirtatulo, joka on suojattu 16A C-käyrän johdonsuoja-automaatilla. Invertteri on varustettu maadoitusreleellä, joka kytkee nollajohtimen lähdön runkoon, jos ulkopuolinen vaihtovirransyöttö ei ole kytketty. Jos ulkopuolinen vaihtovirransyöttö on kytketty, maadoitusrele avautuu ennen kuin tulon turvarele sulkeutuu. Kiinteissä asennuksissa jatkuva maadoitus voidaan varmistaa vaihtovirtatulon maadoitusjohtimella. Tämän työn tapauksessa laitteistoa käytetään myös ulkopuolisella vaihtovirtatulolla joten kotelo on maadoitettu samaan potentiaaliin järjestelmän kehikon ja aurinkopaneelien kanssa. (EasySolar-manuaali 2017, 11.)



Kuva 8. Invertterin vaihtosähkökaavio.

Tässä työssä invertterin liittämiseksi verkkovirtalataukseen invertterin vaihtosähkötuloon kytkettiin 5X2,5S-kumikaapelista nolla, maadoitusjohdin ja yksi vaihe ja kumikaapelin toisesta päästä samat johtimet 32 ampeerin voimapistotulppaan. Voimapistotulpan käyttämiseen päädyttiin, jotta nollajohdin olisi varmuudella oikein päin kytketty invertterin tulopuolella ja maadoitusrele toimisi oikealla tavalla vaihtovirransyötön katketessa. Sähkölínjan opetustiloissa oli lisäksi 32 ampeerin voimapistorasioita käytettäväksi kyseiseen ratkaisuun.

Invertterin vaihtosähkön lähtöpuolella on neljä yksivaihelähtöä, joista yksi (AC out 0) toimii vain verkkovirran ollessa kytkettynä. Kaikki vaihtovirtalähdöt on suojattu vikavirroilta 25 ampeerin vikavirtasuojalla. Saarekekäytössä toimivaan 16A lähtöön (AC out 3) kytkettiin järjestelmän vaihtosähkön ulostulo (AC out). Johdotuksena käytettiin 3x2,5S-kumikaapelia. Ulostulo on yksiosainen suojamaadoitettu pistorasia asennettuna muovikoteloon. Vaihtosähkön ulostulon avulla akkua saadaan tyhjennettyä sen täytyessä aurinkosähköllä tuotetusta energiasta. Muovikotelon päälle haaroitettiin pistorasialta erilliset nolla, vaihe -ja maadoitusjohtimet banaanikoskettimiin mahdollisia opetuskäytön mittausta varten.



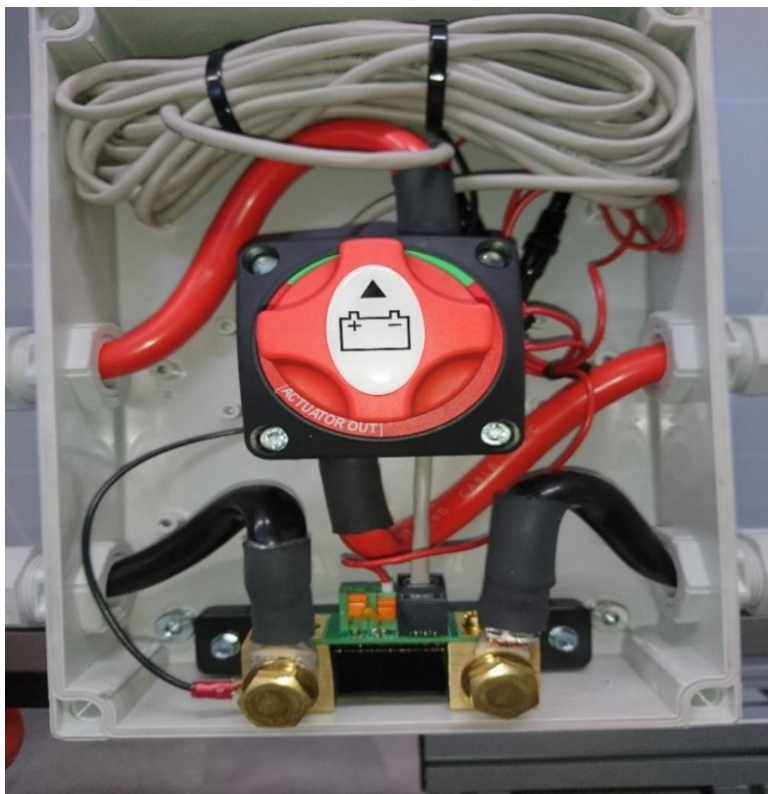
Kuva 9. Vaihtosähkön ulostulo.

4.3 Akku

Tässä työssä päädyttiin käyttämään Yuasan FXH90-12IFR-akku. Se on huoltovapaa 12 voltin ja kapasiteetiltaan 90 Ah VRLA-tyyppinen lyijyakku. VRLA on lyhennys sanoista Valve Regulated Lead Acid Battery. VRLA-tyyppisessä suljetussa huoltovapaassa akussa kennot ovat suljettuja eivätkä kaasut pääse purkautumaan ulos niistä. Suljetun akun lataaminen on varauksen täytyessä lopetettava ennen kuin kaasua alkaa kehittyä kennoihin, jottei akku vaurioidu. Akun maksimilatausjännite ja varaustaso määritellään akkumonitorin ja Victron Energyn V.E.Config-ohjelman kautta.

4.3.1 Akun erotuskytkin

Järjestelmän tasavirtasyöttö erotetaan akun ja invertterin/lataussäätimen välillä kiertokytkimellä. Akun erottaminen lataussäätimestä katkaisee myös aurinkopaneelien sähkönsyötön järjestelmään. Erotuskytkin asennettiin samaan sähkökojekoteloon akkumonitorin shuntin kanssa, kotelon takaseinässä on akkumonitorin ja järjestelmänvalvontapaneelin sulakkeet. Erotuskytkimenä käytettiin Motonetin 200A/24V veneilykäyttöön tarkoitettua päävirtakytkintä kustannussyistä. Sen hetkellinen (5s) oikosulkuvirran $I_k=1000A$ kesto on riittävä käytetyn akun maksimi purkausvirtaan $I_{d.c.}=540A$ nähden.



Kuva 10. Akun erotuskytkin.

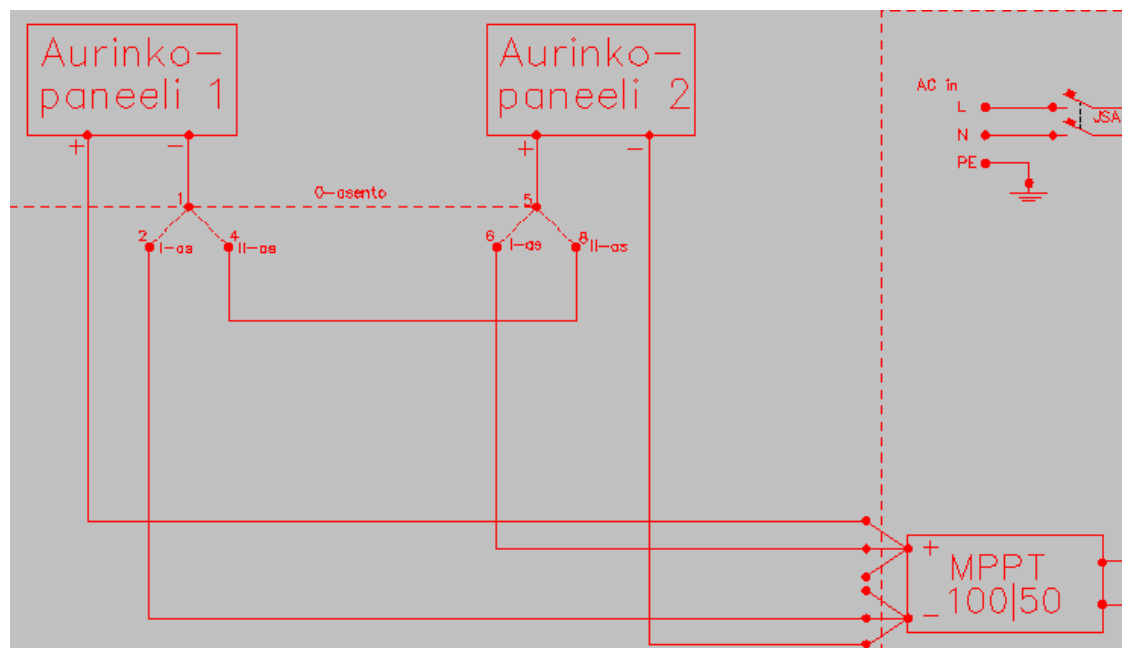
4.3.2 Akkumonitori ja shuntti

Työssä akun varaustilan, purkautumisen, ylläpidon ja muiden tapahtumien valvomiseen käytetään akkumonitoria yhdessä siihen kuuluvan shuntin kanssa. Akkumonitorin pääasiallinen tarkoitus on akun latauksen seuraaminen ja ilmaiseminen sekä odottamattoman täydellisen purkautumisen estäminen. Akkumonitori on mallia Victron Energy:n BMV-712 Smart.

Akkumonitori mittaa jatkuvasti virtausta akkuun tai siitä pois virtashuntin avulla. Tämän virtauksen integrointi ajassa antaa lisätyn tai poistetun Ah-nettomäärän.

4.4 Aurinkopaneelien rinnan -ja sarjakytkennän vaihto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia varjostumien vaikutusta aurinkopaneelien rinnan -ja sarjakytkennässä. Paneelien kytkentä lataussäätimelle vaihdetaan Hagerin SFT240 vaihtokytkimellä. Vaihtokytkimen jatkuva mitoitettu virta on 40A. Vaihtokytkimen 0-asentoon keskelle kytkemällä saadaan aurinkopaneelit erotettua kokonaan järjestelmästä eli toimimaan erotuskytkimenä. 1-asentoon kytkemällä paneelit ovat rinnankytkettyinä lataussäätimelle ja 2-asentoon kytkemällä sarjakytkettyinä.



Kuva 11. Aurinkopaneelien kytkennän vaihtokytkin.

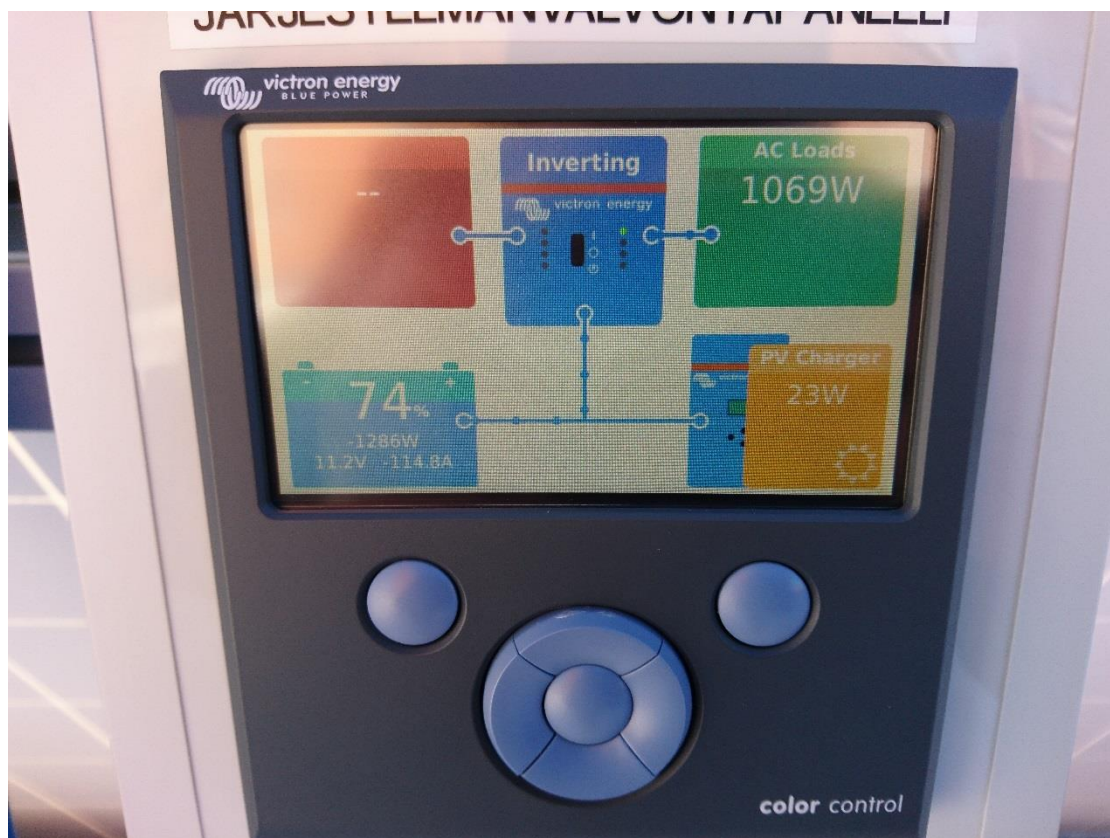


Kuva 12. Aurinkopaneelien rinnan - ja sarjakytkenän vaihtokytkin/erotuskytkin.

4.5 Järjestelmänvalvontapaneeli

Aurinkopaneelijärjestelmään liitettiin Victron Energyn valmistama Color Control GX-järjestelmänvalvontapaneeli. Valvontapaneelin avulla voi lukea reaaliaikaisia tietoja siihen liitetystä laitteista ja hallita niiden asetuksia. Color Controliin voidaan liittää esimerkiksi Victron Energyn ja Froniuksen inverttereitä, MPPT-säätimiä, akkumonitoria ja akkulatureita.

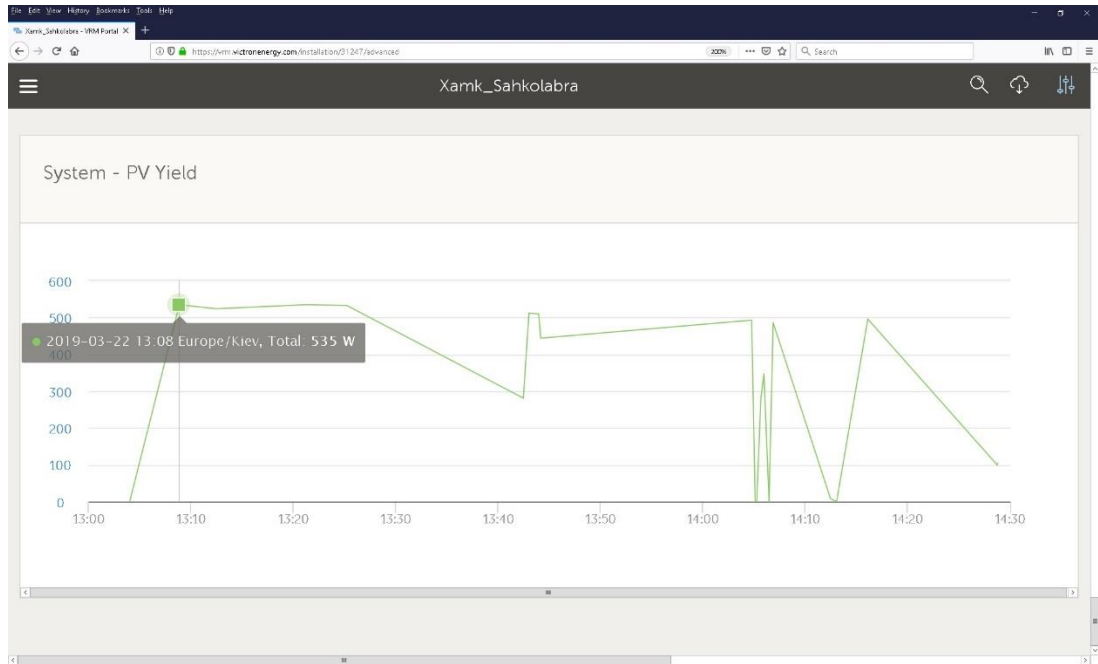
Tässä työssä järjestelmänvalvontapaneeliin on Victronin laiteväylän (VE.bus) kautta kytketty järjestelmän invertteri. MPPT-säädin on kytketty käyttäen Victronin VE.direct-laiteyhteyttä ja laitekaapelia. VE.direct-yhteydellä on kytketty myös akkumonitori. Järjestelmänvalvontapaneeliin asennettiin langaton internetiyhteys käyttäen laitteen USB-porttia ja USB-liitännällistä reititintä. Internetiyhteyden avulla valvontapaneeli säilöi automaattisesti järjestelmän laitteilta kerätyn datan Victronin VRM-portaaliin, jonka kautta valvontapaneelia voidaan ohjata Remote Console-toiminnon kautta.



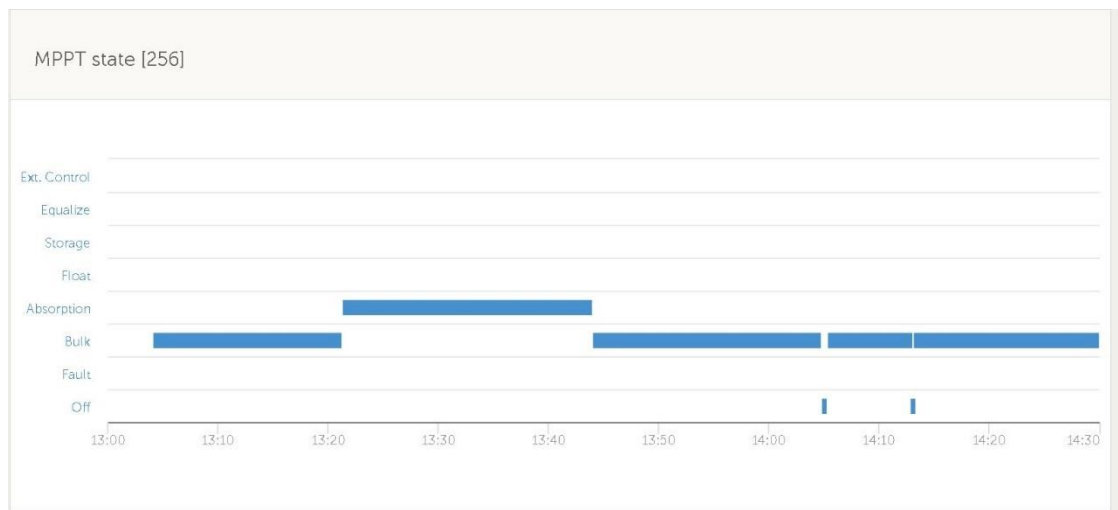
Kuva 13. Järjestelmänvalvontapaneeli.

4.5.1 VRM-portaali

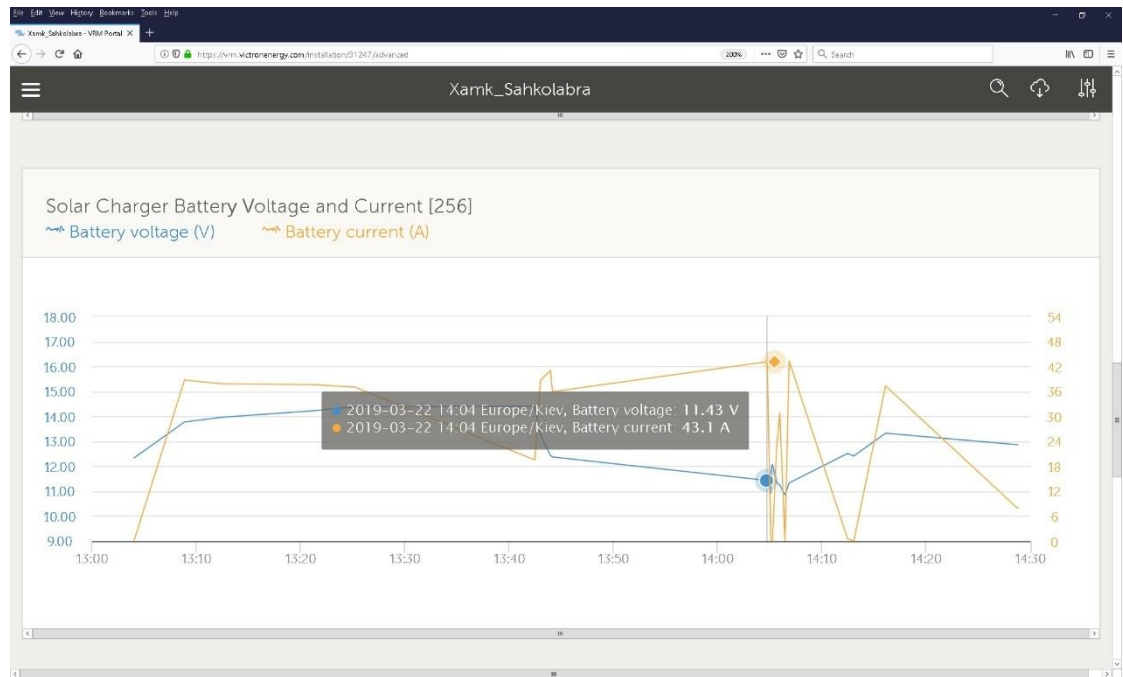
Kun järjestelmänvalvontapaneeli on kytkettynä internetiin, sitä voidaan ohjata Victron Remote Management (VRM)-portaalin kautta. VRM-portaaliin kirjaututaan tietokoneella tai älylaitteella sisään ja valvontapaneelin asetuksista valitaan ”Remote Console” päälle. Tämän jälkeen valvontapaneelia ja järjestelmän laitteita voidaan ohjata älylaitteen kautta. Internetiin yhdistettynä paneeli lähettää myös kerätyn tiedon VRM-portaalin, josta sitä voidaan lukea takautuvasti ja kerätä esimerkiksi aurinkosähkön tuotto kuukauden ajalta. Alla olevissa kuvissa esimerkkejä mitä tietoja voidaan VRM-portaalin kautta lukea ja kerätä.



Kuva 14. Aurinkosähkön tuotto.



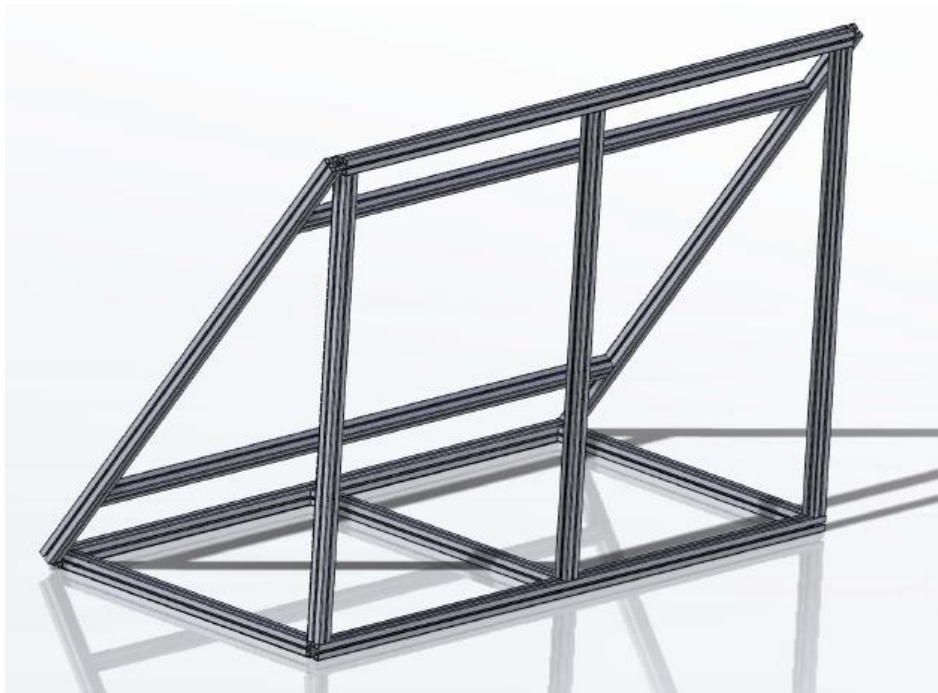
Kuva 15. MPPT-säätimen tila.



Kuva 16. aurinkoenergialla laturin akkuun lataama jännite ja virta.

4.6 Järjestelmän kehikko

Työn tavoitteena oli tehdä siirrettävä aurinkopaneelijärjestelmä, joten sille piti rakentaa kehikko, jota pystytään liikuttamaan eri paikkoihin. Järjestelmän kehikon ideoi ja piirsi SolidWorks CAD-ohjelmalla laboratorioinsinööri Konsta Viljakainen.



Kuva 17. SolidWorksilla piirretty kehikon runko.

Alumiinikehikko tehtiin koululla olleista NORCAN-alumiiniprofiileista. Profiileista ja suunnitellun kehyksen sivuista otettiin mitat ja ne syötettiin tietokoneella optimointiohjelmaan, joka antoi tuloksena valmiit mitat, kuinka profiilit katkaistaan:

Pituus ▲	Materiaali	Määrä	Etiketti	Jätteet	Graafinen: 1D				
6000	bar	1		0	1650	1650	910	888,5	888,5
6000	bar	1		265	1300	1300	1300	910	910
3900	bar	1		430	1732	1732			
6000	bar	1		805	1732	1727	1727		

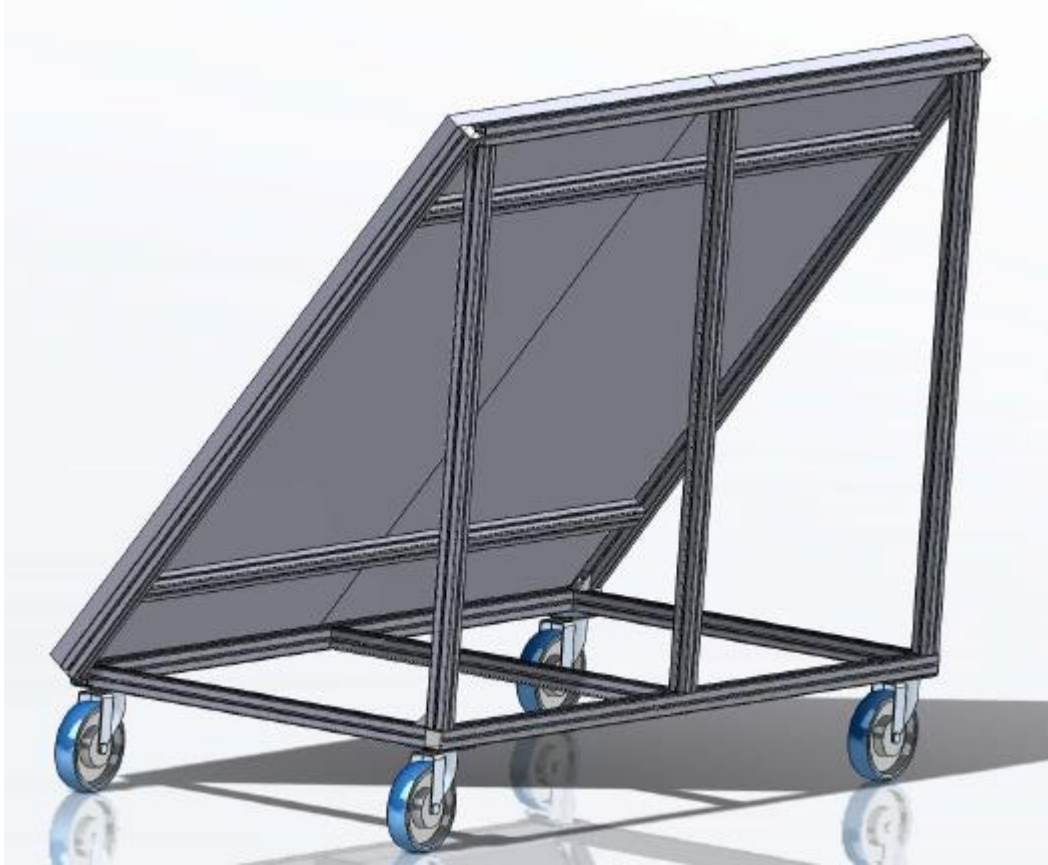
Kuva 18. Tietokoneella optimoidut mitat katkaisuun.

NORCAN-alumiiniprofiilit liitettiin toisiinsa M8-ruuvien -ja muttereiden avulla. Kulmissa käytettiin profiileihin sopivia vahvikekulmakiinnikkeitä. Kaikki aurinkosähköjärjestelmän laitteet ja paneelit kiinnitettiin kehykseen.



Kuva 19. Alumiinikehikon kiinnitystarvikkeita.

Koska järjestelmästä piti saada siirrettävä, kehykseen asennettiin Isojoen Konehallista hankitut 300mm läpimitaltaan olevat umpikumipyörät. Kahden vastakulman pyörät ovat lukittavaa mallia, jotta järjestelmä saadaan pysymään paikallaan kaltevalla alustalla.



Kuva 20. SolidWorksilla piirretty kehikko pyörät ja paneelit kiinnitettynä.

Kehikkoon asennettiin paneelien yläpuolelle koululla ollut vanha piirtoheitin-kangas, jonka avulla voidaan aurinkopaneeleja varjostaa keinotekoisesti mit-tauksia varten.

5 JÄRJESTELMÄN OHJELMOINTI

Akkumonitorilla asetetaan akkua, sen purkamista ja lataamista ja muita sitä koskevia asetuksia sen sisäisen asetusvalikon kautta. Color Control-paneelilla voidaan asettaa järjestelmän eri laitteisiin haluttuja asetuksia. Kuitenkin järjes-telmän tärkeimmät asetukset saadaan asetettua tai muutettua tietokoneella konfigurointiohjelman avulla. Joitain invertterin asetuksia voidaan muuttaa siinä olevien DIP-kytkinten kautta.

5.1 Asetusten määrittäminen DIP-kytkimillä

Asetusten määrittämiseksi DIP-kytkimillä ensin invertterin etukansi avattiin, jonka jälkeen laite käynnistettiin ilman kuormaa ja vaihtovirtajännitettä. Seu-raavaksi DIP-katkaisijat asetettiin halutulla tavalla ja tallennettiin siirtämällä DIP-kytkin 8 ensin asentoon ON ja sitten OFF.

DIP-kytkimillä määritellään muun muassa ohjataanko invertteriä sen omasta etupaneelista, ulkoisen ohjauskytkimen kautta vai valvontapaneelista ja minkä tyyppistä akkua ladataan. Alla tämän järjestelmän DIP-kytkinten asennot.

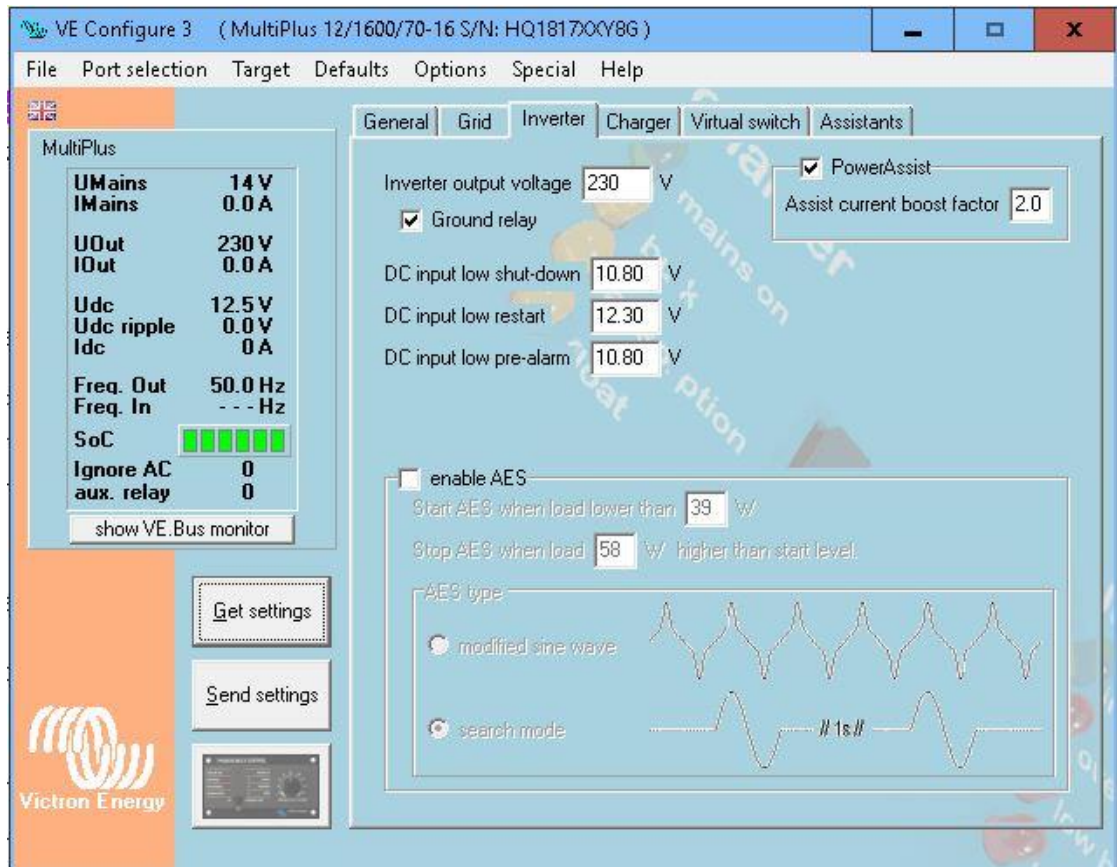


Kuva 21. Invertterin asetukset DIP-kytkimillä määriteltynä.

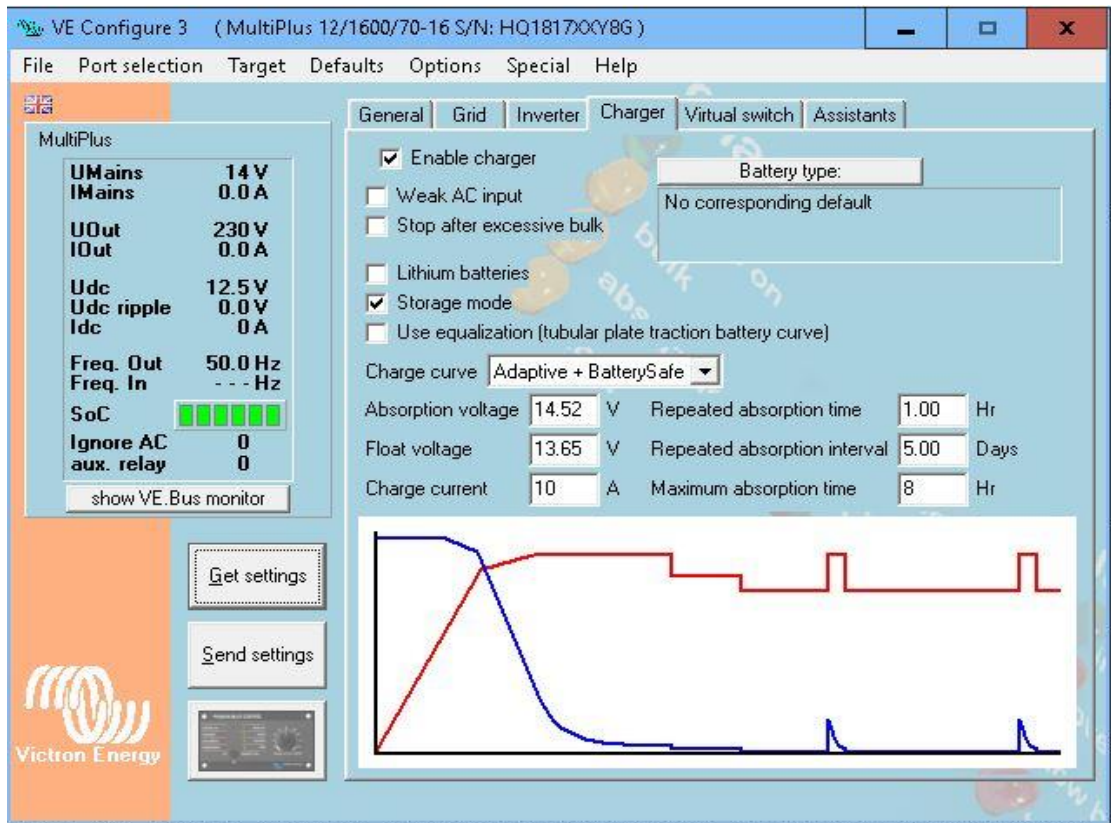
5.2 Asetusten määrittäminen tietokoneella konfiguroiden

Invertterin yhdistämiseksi tietokoneeseen laitteistoon oli hankittu Victron Energyn MK3-USB-liitäntä. Invertteriltä tuleva CAT6-kaapeli yhdistettiin RJ48-liittimellä sen UTP-liitäntään ja siitä lähtevä USB-kaapeli tietokoneeseen. Asetusten muuttamiseen tietokoneella tarvittiin VE.Config-ohjelmisto, joka ladattiin Victron Energyn internetsivuilta. Kun invertteri oli liitetty tietokoneeseen ja ohjelmisto käynnistetty, invertteri kytkettiin päälle ilman kuormitusta. Ennen asetuksiin pääsemistä piti valita/hakea oikea tietokoneen COM-portti, mihin laite oli kytketty.

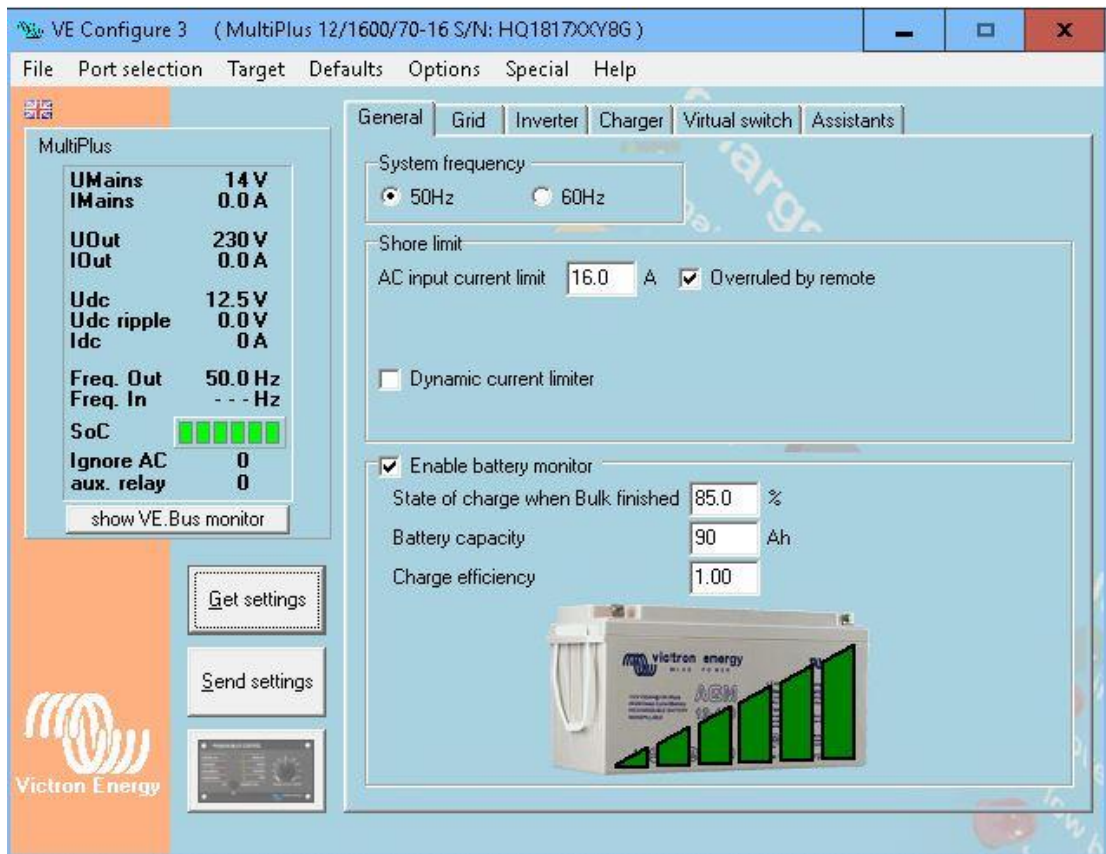
VE.Config-ohjelmalla muutettiin asetukset sopiviksi. Sillä pystytään määrittämään muun muassa mikä on sähköverkon taajuus, onko järjestelmä yksi -vai kolmivaiheinen, akun kapasiteetti ja absorbtio -ja ylläpitolatausjännite. Alla olevissa kuvissa ovat järjestelmän lopulliset asetukset:



Kuva 22. Invertterin VE.Config-asetukset.



Kuva 23. Akkulaturin VE.Config-asetukset.



Kuva 24. Järjestelmän yleiset VE.Config-asetukset.

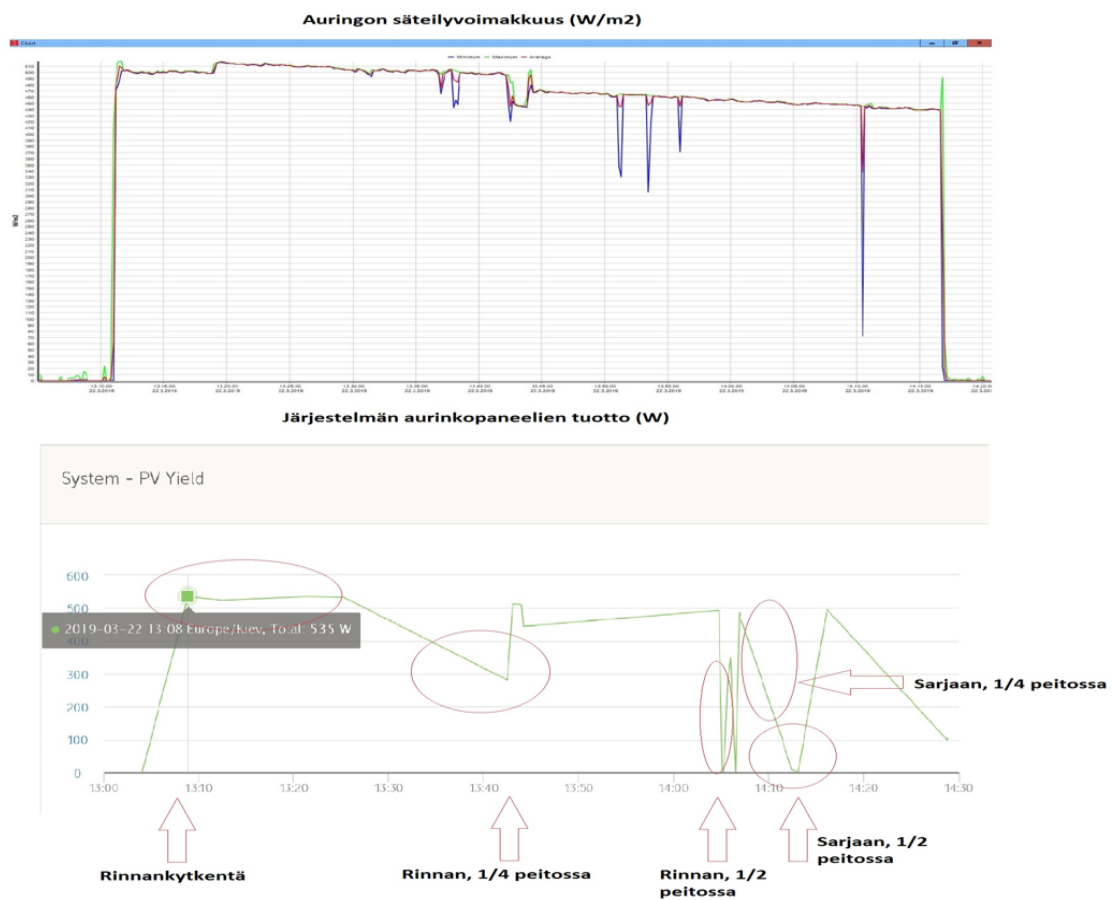
6 MITTAUKSET JA TULOKSET

Opinnäytetyön opetustarkoituksena oli tutkia varjostumien vaikutusta aurinkopaneelien tehontuottoon sarja -ja rinnankytkennässä. Käytännössä se tehdään seuraavilla ohjeilla:

- Valitaan aurinkoinen, aurinkosähköä tuottava päivä mittauksille.
- Tarkastetaan järjestelmänvalvontapaneelista, että akun varaus ei ole täysi ja se voi ottaa paneelien tuottamaa energiaa vastaan.
- METEON-dataloggeri yhdistetään tietokoneeseen, käynnistetään sen ohjelma, asetetaan mittauksen aikaväli ja viritetään mittauksen alkamis-aika.
- Viedään aurinkopaneelijärjestelmä ulos, aurinkopaneelit suunnataan aurinkoon päin.
- Ruuvataan pyranometri sen pidikkeeseen kiinni, katsotaan vaakasuoruus vesivaa'asta.
- Liitetään pyranometrin liittimet METEON-dataloggeriin.
- Käynnistetään aurinkosähköjärjestelmä, ensin akun erotuskytkin "ON"-asentoon, sitten invertteri joko "ON" -tai "CHARGER"-asentoon.
- Mennään järjestelmänvalvontapaneelin valikoihin, katsotaan että se on yhdistettynä internetiin ja sen jälkeen VRM-portaaliin.
- Vedetään piirtoheittimen kangas aurinkopaneelien peitoksi ja sen jälkeen kytketään paneelit vaihtokytkimellä joko rinnan tai sarjaan.
- Piirtoheittimen kankaalla voidaan peittää haluttu alue, esimerkiksi neljännes paneeleista tai puolet. Kangasta kannattaa pitää vähintään minuutin ajan tiettyssä asennossa mittausdatan selvän luettavuuden takia. Varjostusajat voi merkitä erikseen paperille muistiin.
- Vaihdettaessa aurinkopaneelien kytkentää peitetään ne taas kankaalla ennen vaihtamista uuteen kytkentään.
- Mittauksen jälkeen vaihtokytkin käännetään "OFF"-asentoon, invertteri sammutetaan ja akun erotuskytkin käännetään "OFF"-asentoon. METEON kytketään irti pyranometrasta ja pyranometri irroitetaan kehosta.
- Tietokoneella kirjaudutaan Victron Energyn VRM-portaaliin, klikataan "Advanced" valikosta, valitaan haluttu mittauspäivä ja kellonaika ja yläkulman "Widget"-valikosta halutut sähkösuureet. Suureet näkyvät nyt ajan funktiona alapuolisissa graafeissa.

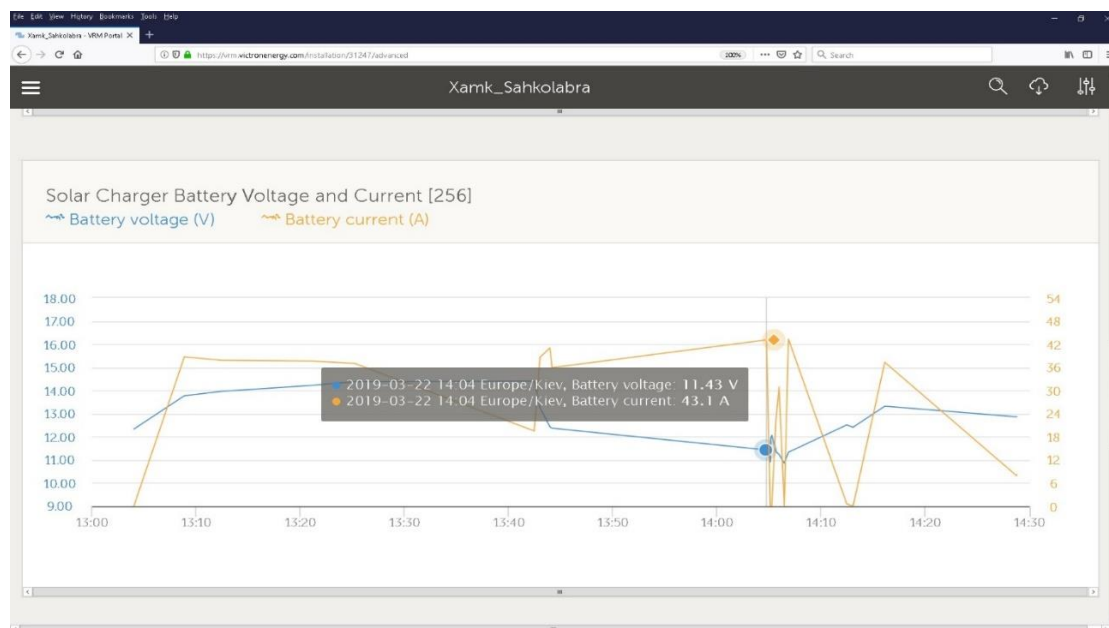
- Kytetään METEON-dataloggeri, avataan METEON-ohjelma, klikataan kohtaa "Read the data from the datalogger", jolloin edellisen mittauksen tiedot tulevat graafina näkyviin. Graafin voi tarvittaessa tallentaa kuvatiedostona tietokoneelle.
- Verrataan tietyllä ajankohdalla saatua auringonsäteilyvoimakkuuden dataa aurinkopaneelien tehontuottoon ja katsotaan, olivatko paneelit rinnan -vai sarjakytkettyinä ja varjostettuina. Voidaan tutkia myös järjestelmän latausvirran -ja jännitteen muuttumista kytkentöjen mukaan.

Alla olevassa kuvassa yhden päivän täysi mittaus selitettynä, säteilyvoimakkuuden ja aurinkosähkön tuoton graafit ovat samalla kellonajan funktiolla:



Kuva 25. Säteilyvoimakkuuden ja aurinkopaneelien tuoton graafit.

Seuraavassa kuvassa nähdään aurinkosähkön akun latausvirta ja latausjännite samalla mittausajankohdalla:



Kuva 26. Aurinkosähkön akun latausjännite ja -virta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin muuten hyvin, paitsi valmis laboratoriotehtäväpohja jäi tekemättä opetuskäyttöön. Tehtäväpohjaan olisi kuulunut ohjeet ja mittauksen tulokset sekä pohdintaa aurinkopaneelijärjestelmän toiminnasta. Syy tehtäväpohjan tekemättä jäämiseen oli ajan rajallisuus, en olisi ehtinyt tehdä sitä opinnäytetyön tavoiteaikaan.

Isoimmat haasteet työssä olivat invertterin ohjelmoiminen toimimaan halutulla tavalla ja aurinkopaneelien sarja- ja rinnankytkennän vaihtamisen toteuttaminen käytännössä. Invertterin ohjelmoimiseen hain apua jälleenmyyjältä puhelimitse. Ongelma ehti kuitenkin ratketa sähkölinjan opettaja Teemu Mannisen auttaessa löytämään oikeat parametrit VE.Config-ohjelmasta. Aurinkopaneelien kytkentään piirrettiin kytkentäkaavioita Konsta Viljakaisen kanssa ja löydettiin niistä paras vaihtoehto kytkennälle, jossa aurinkopaneelit saatiin kytkettyä rinnan tai sarjaan yhdellä vaihtokytkimellä.

Itse opinnäytetyön tuloksista voisin todeta, että varjostumien vaikutusta tehontuottoon eri kytkennöillä voidaan tutkia hyvin ja luotettavasti. Järjestelmän avulla pystytään hyvin myös näkemään eri kytkentöjen vaikutusta aurinkosähkölaturin virta -ja jännitekäyrissä. Oma näkemykseni on, että järjestelmällä ja VRM-ohjelmalla voitaisiin tehdä enemmän aurinkosähkön tutkimista kuin tässä työssä on käsitelty.

Aurinkosähköjärjestelmän rajoitteita opetuskäyttöön ovat invertterin IP20-suojausluokitus, sääoloista riippuvainen käyttö ja ettei opetusta voida tehdä yhdessä tilassa. Invertterin IP20-suojausluokitus tarkoittaa, että järjestelmään ei voida käyttää osittain sateisella säällä, jolloin aurinkosähköä olisi mahdollista saada osalla ajasta. Järjestelmää pystytään käyttämään opetuksessa yleensäkin vain sellaisella säällä, jolloin auringosta saadaan tuottoa. Opetuskäytössä rajoitteen asettaa järjestelmän toimintaperiaate eli se pitää viedä opetustiloista ulos ja ulkoa takaisin sisälle viimeistään työpäivän päätteeksi. Eli siirrettävyys aiheuttaa omat logistiset ja ajalliset rajoitteensa.

Haluaisin kiittää avusta ja ideoinnista opinnäytetyössä opettajia Jorma Pekasta ja Teemu Mannista sekä laboratorioinsinööri Konsta Viljakaista. Lisäksi haluan kiittää alkuperäisen opinnäytetyön antamisesta ja opinnäytetyön yleiseen prosessiin pääsemisestä edesmennyttä Arto Kohvakkaa. Lisäkiitokset Xamkin kiinteistöhoitajalle Juha Paunoselle ja kiinteistöinsinööri Joni Tilaeukselle

LÄHTEET

Perälä, R., Perälä, O. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

SESKO ry. SFS-käsikirja 607, Aurinkosähköjärjestelmät. 1. painos 2015-05. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Kosonen, A. 27.2.2019. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. LUT-Yliopisto. Uutiset. Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa

Hakkarainen, T., Tsupari, E., Hakkarainen, E., Ikäheimo, J. 2015. The role and opportunities for solar energy in Finland and Europe. Kuopio. Teknologian tutkimiskeskus VTT Oy. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T217.pdf> [viitattu 29.5.2019]

Rinne, J., Haapanala, S. 2009. Meteorologinen mittalaitetekniikka. Helsinki. Helsingin yliopisto. Saatavissa: <https://docplayer.fi/30700428-Meteorologinen-mittalaitetekniikka.html> [viitattu 30.5.2019]

Aarnio, P. 2011. Miten aurinkokenno toimii. Helsinki university of technologies. Saatavissa: <http://fy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-toiminta.html> [viitattu 30.5.2019]

EasySolar 12/1600/70-16 230V MPPT 100/50. Manuaali. 2017. Victron Energy B.V. Almere, Alankomaat.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kuvakaappaus VTT:n julkaisusta. Hakkarainen, T., Tsupari, E., Hakkarainen, E., Ikäheimo, J., 2015. The role and opportunities for solar energy in Finland and Europe. Kuopio. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2015/T217.pdf> [viitattu 30.5.2019].

Kuva 2. Kuvakaappaus Kipp & Zonen www-sivuilta. Kipp & Zonen B.V. 2019. Delft, Alankomaat. Saatavissa: <https://www.kippzonen.com/Product/9/SP-Lite2-Pyranometer> [viitattu 30.5.2019].

Kuva 3. Pyranometri ja sen kiinnitys kehikkoon.

Kuva 4. Erillinen kolmijalka pyranometrille.

Kuva 5. Pyranometrin mittaus luettuna METEON-ohjelmalla.

Kuva 6. MPPT 100/50-säädin. Kuvakaappaus Victron Energyn sivuilta. Saatavissa: https://www.victronenergy.fi/upload/cache/1467368088_upload_documents_775_500-BlueSolar-charge-controller-100-50_top.png [viitattu 31.5.2019].

Kuva 7. EasySolar-yhdistelmälaite.

Kuva 8. Invertterin vaihtosähkökaavio.

Kuva 9. Vaihtosähkön ulostulo.

Kuva 10. Akun erotuskytkin.

Kuva 11. Aurinkopaneelien kytkennän vaihtokytkin.

Kuva 12. Aurinkopaneelien rinnan -ja sarjakytkennän vaihtokytkin/erotuskytkin.

Kuva 13. Järjestelmänvalvontapaneeli.

Kuva 14. Aurinkosähkön tuotto.

Kuva 15. MPPT-säätimen tila.

Kuva 16. SolidWorksilla piirretty kehikon runko.

Kuva 17. Tietokoneella optimoidut mitat katkaisuun.

Kuva 18. Alumiinikehikon kiinnitystarvikkeita.

Kuva 19. SolidWorksilla piirretty kehikko pyörät ja paneelit kiinnitettynä.

Kuva 20. Aurinkoenergialla laturin akkuun lataama jännite ja virta.

Kuva 21. Invertterin asetukset DIP-kytkimillä määriteltynä.

Kuva 22. Invertterin VE.Config-asetukset.

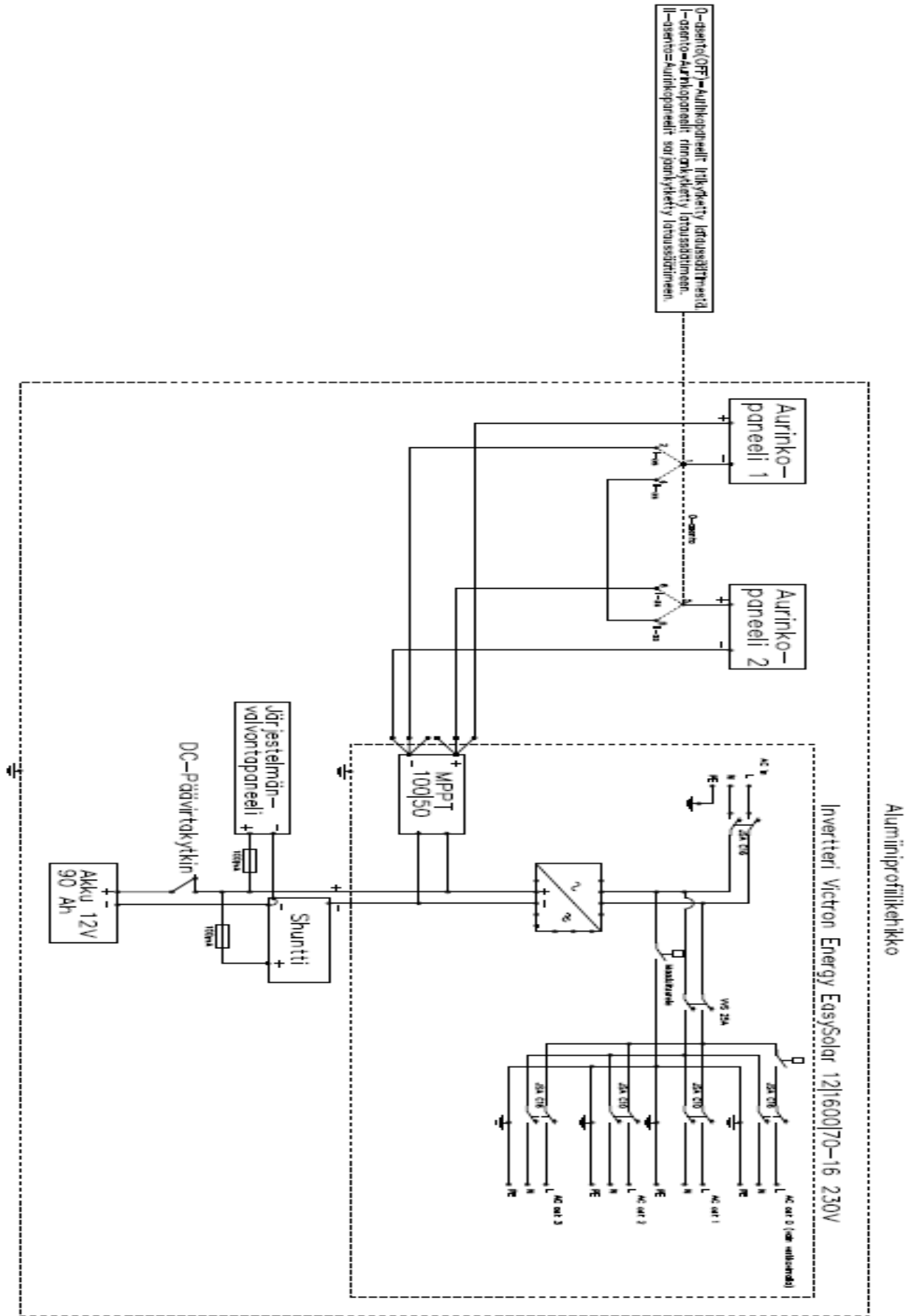
Kuva 23. Akkulaturin VE.Config-asetukset.

Kuva 24. Järjestelmän yleiset VE.Config-asetukset.

Kuva 25. Säteilyvoimakkuuden ja aurinkopaneelien tuoton graafit.

Kuva 26. Aurinkosähkön akun latausjännite- ja virta.

Aurinkosähköjärjestelmän pääpiirikaavio



Valokuva aurinkosähköjärjestelmästä

