



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AURINKOENERGIA PIENKOHTEISSA

TEKIJÄ/T: Joonas Piironen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Joona Piironen	
Työn nimi Aurinkoenergia pienkohteissa	
Päiväys	2.7.2019
Sivumäärä/Liitteet	37
Ohjaaja(t) Tutkimusinsinööri Antti Achrenius ja Lehtori Tanja Pentinsaari	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmän hyödyllisyyttä, kun se on kytkettynä kohteeseen, joka on myös kytkettynä sähköverkkoon. Hyödyllisyyden selvittämiseksi aurinkosähköjärjestelmästä kerättiin dataa noin kahden kuukauden ajalta sekä tehtiin keinotekoisia varjoja paneeleille, jotta voitaisiin selvittää niiden vaikutusta energian tuotantoon. Datasta käy ilmi järjestelmän sähköntuotanto ja sääolosuhteet. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa.</p> <p>Työ alkoi perehtymällä itse aurinkosähköjärjestelmään, sekä aurinkosähkön teoriaan ja standardeihin. Tämän jälkeen aloitettiin kokeiden suunnittelu. Suunnitteluvaiheessa selvitettiin, mitä kokeiden suorittamiseen vaadittiin. Tämän jälkeen hankittiin kaikki vaadittavat laitteet, komponentit, sekä turvavarusteet, jotta kokeet voitaisiin suorittaa turvallisesti ja määräysten mukaisesti.</p> <p>Kokeiden valmisteluun kuului varjostuskokeiden osalta keinotekoisien varjon luominen paneeleille ja kuormakokeen osalta kuorman ja kuormanohjauksikön liittäminen aurinkosähköjärjestelmään. Valmistelujen jälkeen suoritettiin kokeet. Kokeiden jälkeen niistä saatava data hankittiin aurinkosähköjärjestelmän inverttereistä sekä säädata Ilmatieteenlaitoksen havaintojen lataussivustolta.</p> <p>Varjostuskokeiden datasta käy ilmi, että tolppavarjostuskokeen varjolla ei ollut suurta vaikutusta energiantuotannossa. Kattovarjostuskokeen aikana energiantuotanto laski huomattavasti. Energiantuotanto oli kokeen ajan alle tarkastelujakson keskiarvon, jolloin voidaan olettaa, että suurempi varjo on vaikuttanut energiantuotantoon. Kuormakokeen datasta selviää aurinkoenergiantuotannon vaihtelevuus. Suurelta osin energiantuotanto laskee sademäärän noustessa, mutta poikkeuksiakin on. Lopuksi koedata ja säädata yhdistettiin ja lähetettiin Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon tutkittavaksi.</p>	
Avainsanat Energiantuotanto, aurinkosähkö, aurinkosähköjärjestelmä, sääolot	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Joonas Piironen			
Title of Thesis Solar Energy in Small Units			
Date	2 July 2019	Pages/Appendices	37
Supervisor(s) Research Engineer Antti Achrenius and Lecturer Tanja Pentinsaari			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Science			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to find out, how useful the solar energy system is when it is connected parallel with the power grid in a small unit. In order to find out how useful the system is, data was collected from the system for two months and artificial shadows over the solar panels were created in order to study how shadows would affect energy production. In the data the systems energy production and weather conditions could be seen. This thesis was carried out in cooperation with Savonia University of Applied Sciences and Lappeenranta University of Technology.</p> <p>The work was started by studying the solar energy system itself, as well as the theory and standards of solar energy. After this it was started to design the experiments. In the designing phase it was planned what would be needed for the experiments and in what order they would be done. After that, all the necessary equipment, components and safety gear were acquired, so that the experiments could be performed safely and in accordance with regulations.</p> <p>The preparation of the tests included the creation of artificial shadows for the panels. For the load test, it was required to connect the load and the load control unit to the solar system. After the preparations, it was time to perform the tests. After the tests were done, data from the inverters of the solar system was obtained. The weather data was obtained from the Finnish Meteorological Institute.</p> <p>The data of the shadow experiments showed that the shadow of the pillar shading experiment did not have much effect on energy production. During the roof shading experiment, energy production dropped significantly. Energy production was below the average during the test period, suggesting that a bigger shadow had an effect on energy production. The load test data showed the variability of solar energy production. For the most part, energy production dropped as rainfall rose, but there were exceptions. Finally, test data and weather data were combined and sent to Lappeenranta University of Technology for examination.</p>			
Keywords Solar energy system, shadow experiment, solar panels, weather conditions			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	7
1.2	Tausta-aineistot	8
2	TEOREETTINEN TAUSTA.....	9
2.1	Aurinko	9
2.2	Aurinkopaneeli.....	12
2.2.1	Lämpötila	13
2.2.2	Varjostus.....	13
2.2.3	Paneelien suuntaus	13
2.3	Akusto.....	14
3	AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄ YLEISESTI	15
3.1	Saarekejärjestelmä	15
3.2	Verkkoon liitetty järjestelmä	15
3.3	Järjestelmän käyttö taloyhtiöissä.....	15
4	TUTKIMUSKESKUKSEN AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄ	16
4.1	Tutkimuskeskuksen aurinkopaneelit	16
4.2	Tutkimuskeskuksen invertterit	17
4.3	Tutkimuskeskuksen akusto	19
4.4	Mittarointikeskus.....	20
4.5	Invertterien sovellukset	22
5	KOEVALMISTELUT	23
5.1	Kuorma	24
5.2	Ohjausyksikkö	25
5.3	Ohjausyksikön ohjelmointi	26
5.4	Varjostuskokeiden valmistelu	27
6	TOTEUTUS.....	28
6.1	Kuorman simulointikoe	28
6.2	Tolppasimulointikoe	28
6.3	Rakennussimulointikoe	29
7	TULOKSET	31

7.1	Varjosimulointikokeen tulokset.....	31
7.2	Kuormasimulointikokeen tulokset.....	31
7.3	Tulkinta.....	31
8	YHTEENVETO.....	35
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	36

1 JOHDANTO

Uusiutuva energia pienkohteissa -hanke (UEP) on Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) ja Savonia-ammattikorkeakoulun yhteistyössä toteutettu hanke. Hankkeen tavoitteena on kerätä tietoa ja kokemuksia uusiutuvan energiamuotojen käytöstä pienkohteissa. Hankkeen keskeisenä tavoitteena on edistää uusiutuvan energian käyttöönottoa pienkohteissa Pohjois-Savossa. Hankkeessa tarkastellaan kotitalouksia tulevaisuuden energiatuotannon ja –kulutuksen yksikköinä, jotka tyydyttävät oman energiatarpeensa ja toimivat osana valtakunnallista sähkönkäytönjoustoa, sekä tuottamalla sähköä että varastoimalla sitä. (UEP 2017.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa testimittaukset, joihin kuului kulutuksen simulointi ja varjostuksen simulointi. Testimittausten avulla pystytään selvittämään aurinkosähköjärjestelmän hyötyä, kun se liitetään jo olemassa olevaan energiajärjestelmään. Opinnäytetyön olennainen osa oli myös keinokuorman hankinta, joka kuluttaa aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa energiaa, sekä ohjausyksikkö, joka ohjaa keinokuorman kulutusta.

Testijaksojen jälkeen testeistä saatava raaka data kerätään yhdeksi paketiksi ja lähetetään Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon, sekä yhteistyökumppaneiden omaan käyttöön.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

Työssä käytetyt lyhenteet

UEP = Uusiutuva energia pienkohteissa- hanke

LUT = Lappeenrannan teknillinen yliopisto

STC = Standardi testi vaatimus

Modbus = Kommunikointi linkki

Teknilliset lyhenteet

kWh = Kilowattitunti

W = Watti

kW = Kilowatti

mm = Millimetri

kWh/m² = Kilowattituntia neliometriä kohden

W/m² = Wattia neliometriä kohden

kWh/m²/a = Kilowattituntia neliometriä kohden vuodessa

I = Kokonaissäteilyenergia

I_A = Suora säteily

I_D = Haja säteily

I_V = Vasta säteily

I_U = Takaisin heijastuva säteily

n = Hyötysuhde

P = Maksimi teho

G = Säteily teho

U = Jännite

I = Sähkövirta

G_s = Säteilyn voimakkuus

A = Pinta- ala

Ah = Ampeeritunti

Wh = Wattitunti

LiFePo₄ = Litium- rautafosfaatti

KG = Kilogramma

X_{Pilvi arvot} = Pilvisyys arvojen summa vuorokauden ajalta

Y_{Havaintojen määrä} = Pilvisyys havaintojen määrä

P_{kok} = Koko tarkastelujakson energiantuotanto

Y²_{Havaintojen määrä} = Tarkastelujakson pituus vuorokausina

1.2 Tausta-aineistot

Tämän opinnäytetyön tausta-aineistona on käytetty aiempia opinnäytetöitä Savonian energiatutkimuskeskukselta ja standardeja (SFS-EN 61215-2:2017/AC: 2018: en, SFS-EN 61730-2 :2018: en ja SFS-EN 62446-1:2016). Tausta-aineistona käytettiin myös Savonian sisäistä tietokantaa levyjaolla U ja aurinkoenergiajärjestelmän invertterien käyttöohjeita.

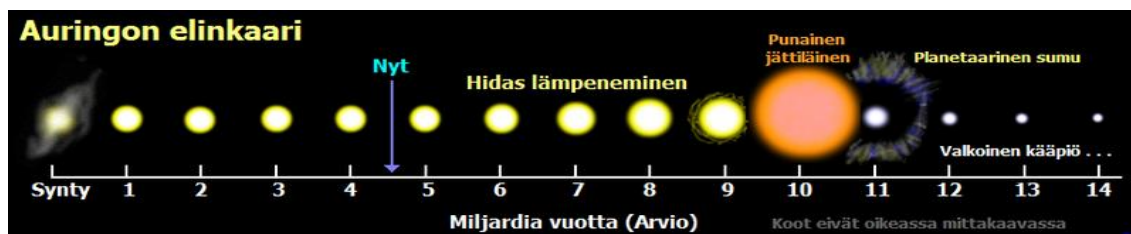
2 TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 Aurinko

Aurinko on tähti, joka muodostui 4,6 miljardia vuotta sitten tähtienvälisistä kaasuista. Aurinko käyttää polttoaineenaan vetyä, jota se muuttaa ytimessään heliumiksi. 10 miljardin vuoden ikäisenä aurinko on muuttanut kaiken ytimessä olevan vedyn heliumiksi, jolloin sen energiantuotanto laajenee ytimen ulkopuolelle, jossa vetyä on vielä jäljellä. Tämän seurauksena auringon koko kasvaa noin 40 % nykyisestään ja kirkkaus kaksinkertaistuu. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

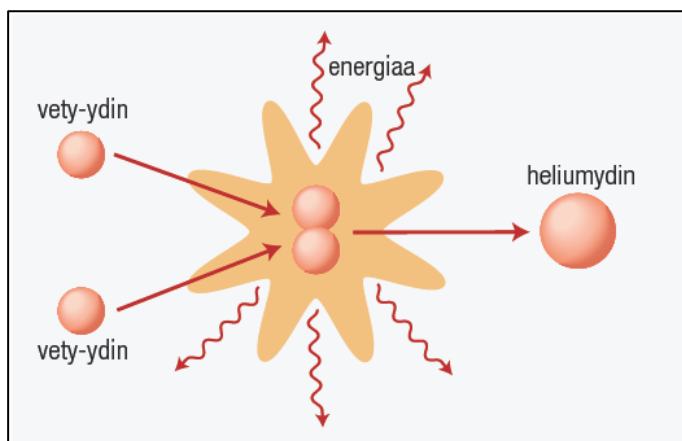
10,5 miljardin vuoden ikäisenä auringon koko on kolminkertaistunut ja maapallon lämpötila on nousut satoihin asteisiin. Tämän seurauksena kaikki elämä maapallolta on kadonnut ja kaikki meret ovat haihtuneet. 10,75 miljardin vuoden ikäisenä Aurinko muuttuu punaiseksi jättiläiseksi, jolloin sen koko on sata kertaa suurempi kuin nyt. Se on myös nielaissut sitä lähimpänä kiertävät planeetat, jotka ovat matkalla kohti auringon ydintä. Ytimessä planeetat hajoavat kaasuiksi. Ytimen tiivistyessä sen lämpötila kasvaa sataan miljoonaan asteeseen, jolloin ytimessä oleva helium yhtyy hiileksi. (Ilmatieteenlaitos 2019.)

Kun helium on kulutettu loppuun ytimestä ja sen ulkopuolelta olevista kerroksista, Auringon polttoaine on kulutettu loppuun ja sen ulko-osat alkavat hajota. Hajonneista ulko-osista muodostuu planeetaarista sumua. Auringosta jää jäljelle vain ydin, jota kutsutaan valkoiseksi kääpiöksi. Lopulta valkoinen kääpiö jäähtyy ja muuttuu mustaksi kääpiöksi. (Ilmatieteenlaitos 2019.)



KUVA 1. Aurinko elinkaari. (Tablizer 2006-08-26).

Aurinko tuottaa energiaa auringon ytimessä tapahtuvan fuusioreaktion avulla. Fuusioreaktiossa kaksi vetyatomia ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia yhtyvät helium atomiksi ytimeksi, jolloin vapautuu energiaa. Tämän reaktion ansiosta Aurinko kokonaisteho on $3,8 \cdot 10^{23}$ kW, josta $1,7 \cdot 10^{14}$ kW tulee maapallolle. Tämä energian määrä on noin 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden lämmityksen käyttämä teho. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, Suokivi 2008, 10.)



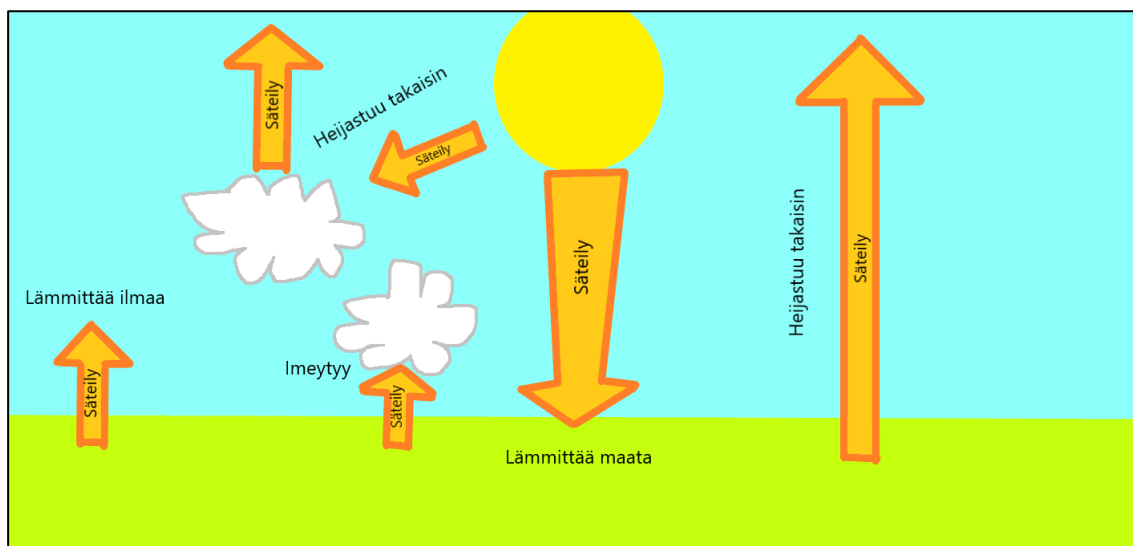
KUVA 2. Fuusioreaktio. (vindkraftforeningen 2017-12-15).

Ilmakehän yläosiin saapuu auringonsäteilyä keskimäärin 1368 W/m^2 . Tätä sanotaan aurinkovakioksi. Maan soikeudesta johtuen säteilyn määrä vaihtelee eri vuoden aikoina. Suurimmillaan säteily on tammikuussa n. 1410 W/m^2 ja pienimmillään kesäkuussa n. 1320 W/m^2 . Ilmakehän heijastuvasta ja absorboivasta vaikutuksesta maan pinnalle pääsee kirkkaana päivänä vain $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$ eli noin 60 % aurinkovakiosta. (Suntekno 2010.)

Suomessa auringonsäteily vaihtelee pohjoisen n. 900 kWh/m^2 ja etelän n. 1000 kWh/m^2 vuodessa. Näissä säteily laskelmissa ei ole otettu huomioon pilvisyyttä tai muita säteilyn heikkenemiseen vaikuttavia tekijöitä, joten nämä laskelmat on tulkittava suurimmiksi mahdollisiksi säteilymääriksi. (Suntekno 2010.)

Säteilyä on kolmenlaista; Ensimmäisenä suora säteily (I_A), missä auringon säteily tulee suoraan maan pinnalle. Toisena on hajasäteily (I_D), missä auringon säteily heijastuu ilmakehänmolekyyliden, pilvien ja maan kautta. Kolmantena on ilmakehän vastasäteilyä (I_V), jossa ilmakehän vesihöyry, hiili-dioksidi ja otsoni säteilevät lämmön takaisin maanpinnalle. Tätä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi (Erat ym. 2008, 12.) Kokonaissäteilyenergia (I) saadaan laskuttua kaavalla 1, jossa I_U on avaruuteen takaisin heijastuvaa pitkäaaltoista säteilyä.

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (1)$$



KUVA 3. Auringon säteilyn heijastuminen. (Piironen 2020)

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan aurinko-, vesi-, tuuli- ja bioenergiaa. Näiden lisäksi uusiutuviksi energioiksi lasketaan myös maalämpö sekä aaltojen ja vuorovesien liikkeistä saatavaa energiaa. (Motiva 2019.) Uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta on Suomessa 30–40 prosenttia (Tilastokeskus 2019; TEM.). Vuoteen 2030 tähtäävän kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian käyttöä niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvulla (TEM). Tämän lisäksi hiilen käytöstä energiantuotannossa luovutaan 2020-luvun aikana sekä öljyn tuonti puolitetaan verrattuna vuoteen 2005. Liikenteessä käytettävien uusiutuvien polttoaineiden määrä nostetaan 40 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. (Alm 2018.)

Suomessa käytettävistä uusiutuvista energianmuodoista tärkeimpiä ovat bioenergia, vesivoima, tuulivoima sekä maalämpö. Suomessa bioenergiaa saadaan metsäteollisuuden sivuvirroista sekä puupohjaisista polttoaineista. Myös maatalous ja teollisuus tuottavat biohajoavaa jätettä, jota voidaan käyttää bioenergiantuotantoon. Aurinkosähköntuotanto kasvaa myös suomessa. Yleisimmin aurinkosähköä käytetään täydentävänä järjestelmänä päälämmitysjärjestelmän rinnalla. (TEM.)

2.2 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelit ovat aurinkosähkökennoja. Kennot valmistetaan puolijohdemateriaaleista. Puolijohdemateriaali muuttuu sähköä johtavaksi, kun siihen osuu energiaa (Esim. Auringon säteilyä). Kennojen yleisin valmistusmateriaali on pii. Aurinkokennot koostuvat kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joita erottaa rajapinta. Rajapinnan toisella puolella on n-tyyppinen puolijohde ja p-tyyppinen puolijohde. Elektronit kasaantuvat toiselle puolelle ja jättävät aukkoja toiselle puolelle, jolloin valo synnyttää puolijohdemateriaalissa elektroniaukkopareja, jotka kennojen sisäisen sähkökentän vaikutuksesta voidaan erottaa toisistaan ja käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan. (Erat ym. 2008, 120–121.)

Aurinkopaneelin hyötysuhteella tarkoitetaan prosenttiosuutta auringon säteilystä, joka voidaan muuttaa sähköksi. Paneelien nimellisteho on määritetty laboratoriossa standardiolosuhteissa (Standard Test Condition, STC), joissa auringon säteily määrä on 1 000 W/m² ja kennojen lämpötila 25 Celsiusta (Motiva 2017). Suomessa aurinkopaneelin testauksessa käytetään standardia SFS-EN 61215 ja paneelin turvallisuuteen käytetään standardia SFS-EN IEC 61730.

Hyötysuhde saadaan laskettua jakamalla maksimiteho (P) säteilyteholla (G) ja kertomalla 100 %:

$$n = (P / G) * 100 \% \quad (2)$$

Maksimiteho (P) saadaan taas kertomalla kennovirta (I) ja kennojännite (U):

$$P = U * I \quad (3)$$

Säteilyteho (G) lasketaan kertomalla auringon säteilyvoimakkuus (G_s) ja aurinkopaneelin pinta-ala (A):

$$G = G_s * A \quad (4)$$

2.2.1 Lämpötila

Aurinkopaneelin energiantuotantoon vaikuttavat myös ulkoiset tekijät kuten lämpötila ja varjot. Paneelit tuottavat energiaa paremmin viileässä kuin kuumassa. San Diegon yliopiston teknillisen korkeakoulun tutkimusryhmä huomasi tutkimuksissaan, että aurinkopaneelien alla oleva katto on 2,8 celsius astetta viileämpi kuin katto ilman paneeleita. Tämän perusteella rakennuksen jäähdytykseen kuluu vähemmän energiaa. Tuuli on myös vaikuttava tekijä paneelien energian tuotannossa. Tuuli poistaa paneelien ja katon välille kerääntynyttä lämpöä, jolloin paneelien lämpötila laskee ja energian tuotanto nousee. (Semkina 2011.)

2.2.2 Varjostus

Varjostus heikentää aurinkokennon sähköntuottoa merkittävästi. Varjoja voivat aiheuttaa ilman epäpuhtaudet ja pilvet, fyysiset esteet kuten puut, katuvalot ja rakennukset, sekä kennojen päälle kertyvä lika ja lumi. Jos paneeleita on monessa rivissä, myös toiset paneelit voivat aiheuttaa varjostusta. Tämä voidaan huomioida suunnitteluvaiheessa, jolloin paneelirivit voidaan asentaa riittävän kauas toisistaan. Tällöin varjostusta ei pääse muodostumaan. (Ala-Myllymäki 2016, 47.)

Osittaisvarjostukset aiheuttavat yhteensopimattomuushäviöitä, joilla tarkoitetaan paneelin kennojen yhteenlasketun saatavilla olevan maksimitehon ja paneeleista todellisuudessa saatavan maksimitehon välistä erotusta (Ala-Myllymäki 2016, 48). Yksittäisten paneelien varjostusten negatiiviset vaikutukset voidaan estää ohitusdiodeilla. Ohitusdiodi suojaa varjostunutta kennoa ylikuumenemiselta ja mahdollistaa varjostamattomien rivien tehon tuoton. Kun paneelin päälle muodostuu varjo, sen polariteetti muuttuu. Polariteetin muuttuessa ohitusdiodi eristää paneelin muusta paneeliketjusta, jolloin varjostunut paneeli ei aiheuta teho häviötä lopulle paneeliketjulle. (Korte 2017, 14.)

2.2.3 Paneelien suuntaus

Paneelien kallistuskulmalla on myös suuri vaikutus paneelien sähköntuotannossa. Kulma määritellään auringon korkeudella horisontin suhteeseen. Suomessa edullisimmat kulmat vaihtelevat vuodenajasta ja sijainnista riippuen 30 ja 90 asteen välillä. Paneelien kulmaa ei myöskään kannata asentaa liian pieneksi, sillä lika ja lumi jäävät paneelin päälle helpommin, mitä loivemmassa kulmassa paneelit ovat. Kallistuskulmaa määritettäessä tulee ottaa huomioon myös paneelien toisilleen aiheuttamat varjot. Suomessa optimikulma on n. 40–45 asteen välillä, jos paneelit pidetään samassa kulmassa vuoden ympäri. Talvella paneelien kulma kannattaa säätää jyrkemmäksi optimikulmasta, koska aurinko paistaa matalalta, jolloin säteet osuvat suoraan paneeliin. Kesällä aurinko paistaa taas korkeammalta, jolloin paneelit kannattaa säätää loivemmaksi kuin optimikulma. (Isojunno 2014, 16–17.)

2.3 Akusto

Akku on laite, joka varastoi sähköenergiaa sähkökemiallisessa muodossa. Ladattaessa akku muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi ja purettaessa takaisin sähköenergiaksi (Savolainen 1959, 12). Akuston tehtävä aurinkosähköjärjestelmässä on varastoida paneelien tuottama energia, sekä tasata paneeleissa tapahtuvaa jännite vaihtelua (Erat yms. 2008, 128). Akuston varausominaisuus ilmaistaan ampeeritunneissa (Ah). Ampeeritunneilla tarkoitetaan sähkövarausta, jonka ampeerin sähkövirta kuljettaa tunnin aikana. Akuston varastoiman energian määrä (Kaava 5) ilmoitetaan wat-titunteina (Wh), jolla tarkoitetaan watin tehoa tunnin aikana. Energiämäärä (Wh) voidaan laskea kertomalla akuston jännitearvo (V) varausominaisuudella (Ah). Täytyy myös muistaa, että akustoa ei voida purkaa täysin tyhjäksi vaurioittamatta sitä, joten akuston koko kannattaa mitoittaa hieman tarvetta suuremmaksi. (Motiva 2018.)

$$Wh = V * Ah \tag{5}$$

3 AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄ YLEISESTI

3.1 Saarekejärjestelmä

Saarekejärjestelmällä voidaan tuottaa sähköä kohteissa, joissa ei ole muuten sähköä saatavilla kuten kesämökeillä. Aurinkopaneelit tuottavat sähkö valoisaan aikaan, joka varastoidaan akustolle, kunnes sitä tarvitaan esim. yölämmitykseen tai sähkölaitteiden käyttöön. Saarekejärjestelmä on tärkeää mittaamaan kohteen kulutuksen mukaisesti, sillä ylijäämäsihköön takaisinmyynti saarekejärjestelmistä on vasta alkuvaiheissa. (Arevasolar.)

3.2 Verkkoon liitetty järjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmää voidaan myös käyttää kohteissa, joihin on saatavilla sähköä verkosta, kuten omakotitaloissa. Tässä tapauksessa järjestelmä toimii sähköverkon rinnalla. Tavoitteena on käyttää ensisijaisesti aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa sähköä. Jos järjestelmän tuottama sähkö ei riitä, voidaan sähkö ottaa myös sähköverkosta. Tässä tapauksessa, jos järjestelmä tuottaa enemmän energiaa kuin kohteessa tarvitaan, voidaan ylimääräinen sähkö myydä sähköyhtiöille. (Arevasolar.)

Sähköautojen yleistyessä aurinkosähköllä voidaan myös ladata autoa itse. Sähköautoa voidaan ladata esimerkiksi tavallisesta kodin pistorasiasta, jolloin lataus kestää tyhjästä täyteen useita tunteja. Jos autolla ajetaan kaupungissa tai lähialueilla tämä ei ole ongelma, sillä autoa voidaan ladata yöllä tai muulloin kun auto ei ole käytössä. Halutessaan kotiin voi myös hankkia latauslaitteen, jolla sähköauton lataus hoituu nopeammin. (Suomela.)

3.3 Järjestelmän käyttö taloyhtiöissä

Taloyhtiöissä aurinkosähköjärjestelmällä voidaan tuottaa sähköä kiinteistöjen tarpeisiin kuten valaistukseen tai asukkaiden omaan käyttöön. Aurinkosähkön tuottajat taloyhtiöissä ovat kuitenkin harvassa. Aurinkosähkön hyödyntäminen vaatisi taloyhtiöiltä suuren sähkömittariremontin, koska nykyinen lainsäädäntö estää aurinkosähkön jakamisen asukkaiden kesken nykyisillä sähkömittareilla. (Virtanen 2018). Työ- ja elinkeinoministeriö valmistelee lainsäädännön päivitystä, jolla voidaan helpottaa aurinkosähkön tuotantoa ja kulutusta taloyhtiöissä. Päivitystä kutsutaan hyvityslaskentamalliksi. Tällä laskentamallilla taloyhtiön aurinkovoimaloiden omistajien sähkönkulutuslukumista vähennetään aurinkopaneelien tuotanto (Valli 2019.)

4 TUTKIMUSKESKUKSEN AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄ

4.1 Tutkimuskeskuksen aurinkopaneelit

Energiatutkimuskeskuksen katolla on 20 kappaletta TrinaSolarin 270 W:n aurinkopaneelia (Kuva 4). Aurinkopaneelit ovat monikidepaneeleja, joiden hetkellinen maksimienergiantuotto on 5400 kWh. Yksi paneeli koostuu 60 solusta ($6_{\text{solua}} * 10_{\text{solua}}$) ja painaa 18,6 kiloa. Aurinkopaneelin hyötysuhde on 16,5 % STC olosuhteissa, josta kerrotaan kappaleessa 2.2. (Trinasolar 2016.)

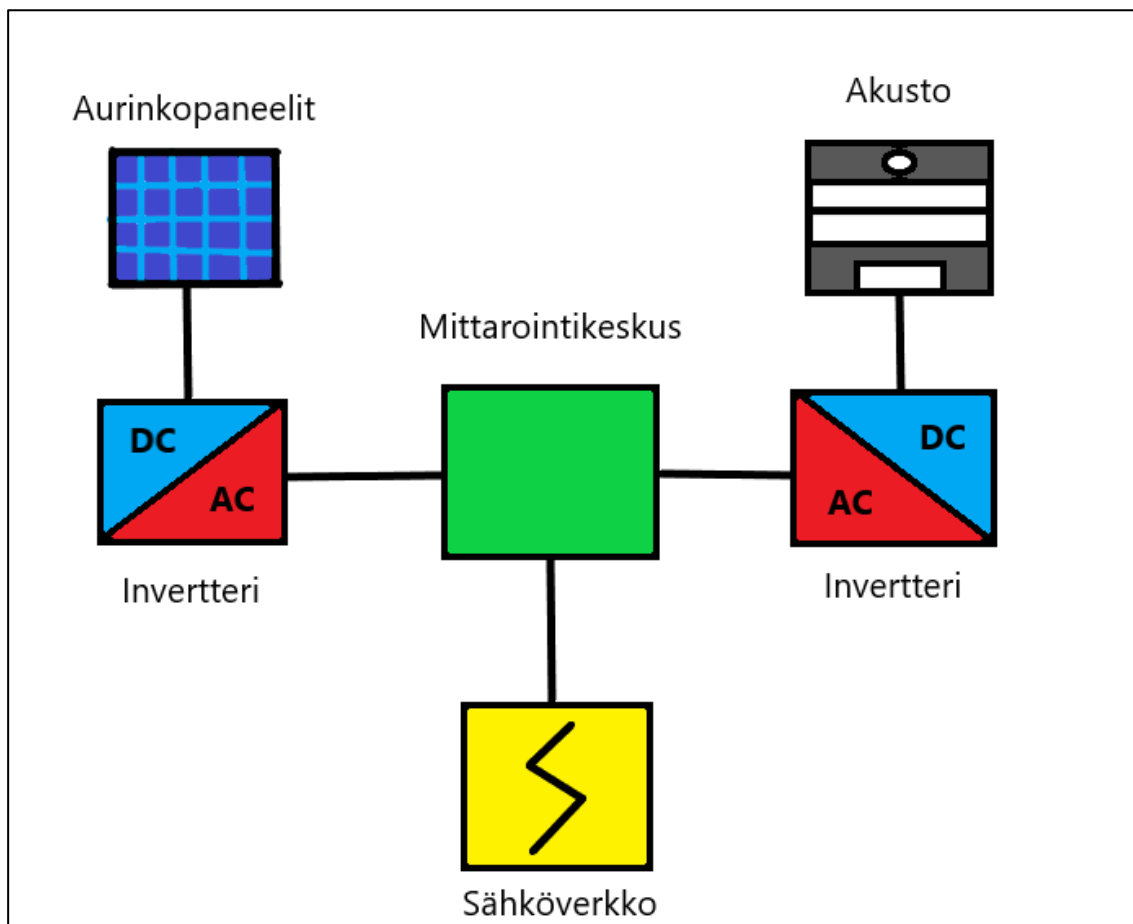
Paneelit on asennettu neljään riviin, joista kaksi ensimmäistä riviä ei ole säädettävissä. Kaksi viimeistä riviä on säädettävissä 10 asteesta jopa 90 asteen kulmaan. Säätonä toimii kierretanko, jota kierretään kolmesta kohtaa. (Mikander 2016, 16.)



KUVA 4. Aurinkopaneelit. (Piironen 2019)

4.2 Tutkimuskeskuksen invertterit

Energiatutkimuskeskuksen aurinkosähköjärjestelmässä on omat invertterit sekä paneeleille että akustolle. Molemmat invertterit ovat vaihto-, tasavirtainverttereitä, joiden tehtävänä on muuntaa paneelien tuottama tasavirta vaihtovirraksi. Akuston invertteri muuntaa puolestaan vaihtovirran tasavirraksi, kun se ladataan akustolle.

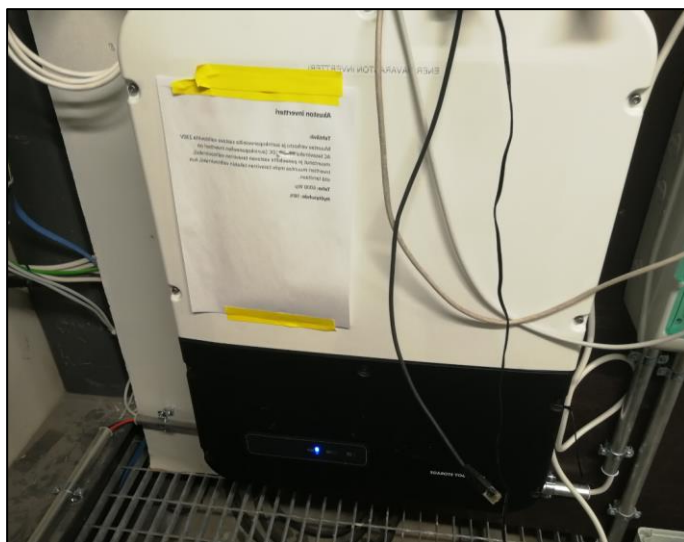


KUVA 5. Aurinkosähköjärjestelmän laatikkokuva. (Piironen 2019)

Aurinkopaneelien invertterinä (Kuva 6) toimii SMA:n Sunny Tripower invertteri, jonka hyötysuhde on parhaillaan 98 % ja teoreettinen maksimiteho on 5000 W. Akuston invertterinä (Kuva 7) toimii SMA:n Sunny Boy storage 6.0, jonka teoreettinen maksimiteho on 6000 W. Inverttereiden todellinen vuosituotto on noin 4800 kWh ja kokonaistuotanto 3 vuoden ajalta on noin 6800 kWh. (SMA PI; SMA AI.) Invertterien toimintaa voidaan myös seurata ja säätää etänä Sunny Portal sovelluksella, josta kerrotaan lisää luvussa 4.5.



KUVA 6. Paneelien invertteri. (Piironen 2019)



KUVA 7. Akuston invertteri. (Piironen 2019)

4.3 Tutkimuskeskuksen akusto

Akustona (Kuva 8) toimii amerikkalaisen Byd:in luoma B-Box H 6.4. Akusto koostuu viidestä litium-rautafosfaatti (LiFePo_4) akkumoduulista, jalkamoduulista ja päällysmoduulista, johon akustoon tulevat kaapelit kytketään. Akuston kapasiteettia voidaan haluttaessa laajentaa hankkimalla lisää akkumoduuleja. Yhden akkumoduulin kapasiteetti on 1,28 kWh ja se painaa 26 kg. (BYD.)

LiFePo_4 -akkuja käytetään yleisimmin autoissa sekä sähkötyökaluissa, koska ne kestävät lämpötilan vaihteluja ja niitä voidaan ladata ja purkaa useita kertoja. LiFePo_4 -akku on myös muita litiumakkuja turvallisempi ja sen akkukapasiteetti ei huonone yhtä nopeasti. (Batteryspace.)



KUVA 8. Akusto. (Piironen 2019).

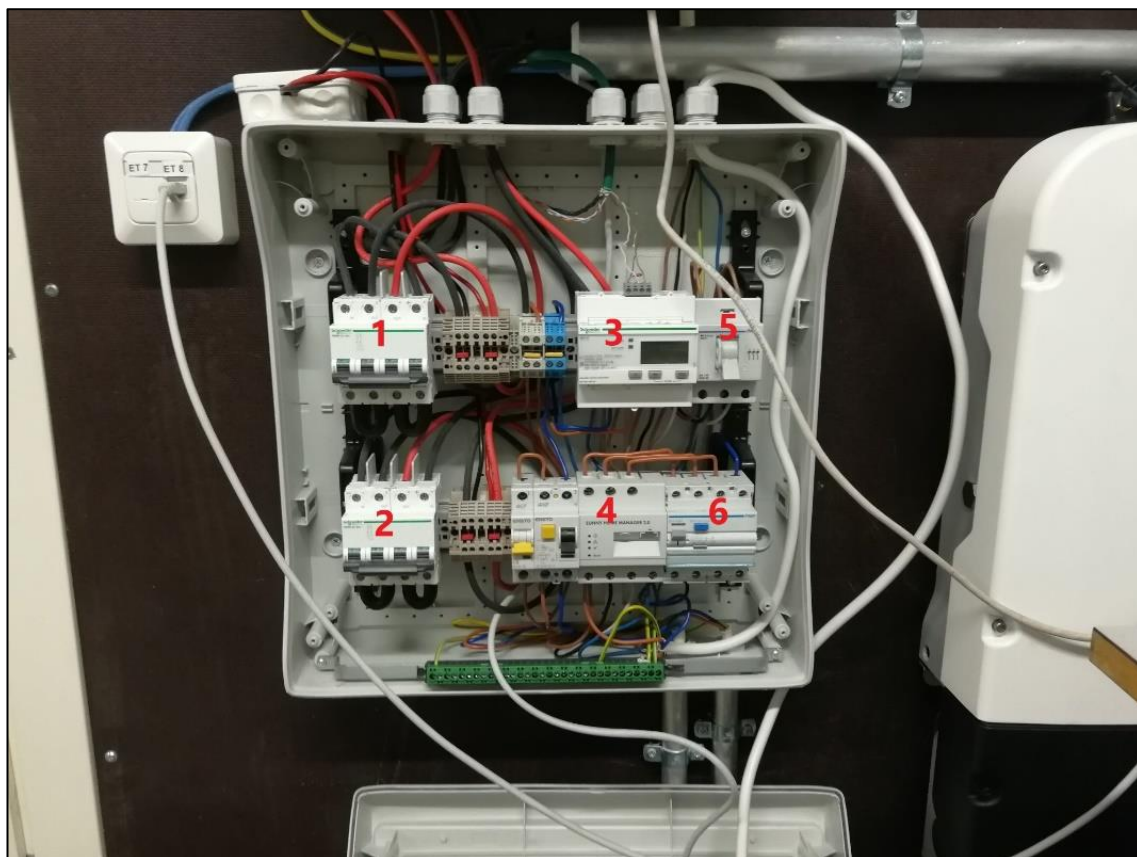
4.4 Mittarointikeskus

Mittarointikeskuksessa (Kuva 9 ja Kuva 10) paneeleilta tuleva virta siirtyy akustolle tai sähköverkkoon tarpeen mukaan. Keskuksessa sijaitsee myös paneelien ja akuston erottimet (1 ja 2), vikavirtasuojakytkin (6) sekä pääkytkin (5). Mittarointikeskuksessa sijaitsee myös Sunny Home Manager (4) ja Schneiderin energiamittari (3). Mittari on yhteydessä Modbus-kommunikointilinkillä tutkimuskeskuksen pääautomaatioon, jolloin mittaria voidaan lukea etänä.

Aurinkopaneelit on kytketty kolmivaiheisella kaapelilla mittarointikeskukseen ja sähköverkkoon. Tällöin paneelit pystyvät tuottamaan sähköä tasaisesti kaikille vaiheille. Akusto on kytketty yksivaiheisella kaapelilla mittarointikeskukseen, joten akustolta pystytään siirtämään sähköä vain yhdelle vaiheelle mittarointikeskuksella ja sähköverkkoon. Sähköverkon ja aurinkosähköjärjestelmän erottimina käytetään kolmea 16 A:n sulakkeita. Sulakkeilla aurinkosähköjärjestelmä voidaan eristää täysin sähköverkosta, jolloin järjestelmä toimii vain paneelien tuottamalla ja akuston varastoimalla energialla. Mittarointikeskuksen sähkökaaviot ovat työn kirjoitus hetkellä puhtaaksi piirrettävänä. Aurinkosähköjärjestelmän kytkennät kerrotaan aurinkosähköjärjestelmän laatikkokuvassa (kuva 5, s.17).



KUVA 9. Mittarointikeskus. (Piironen 2019)



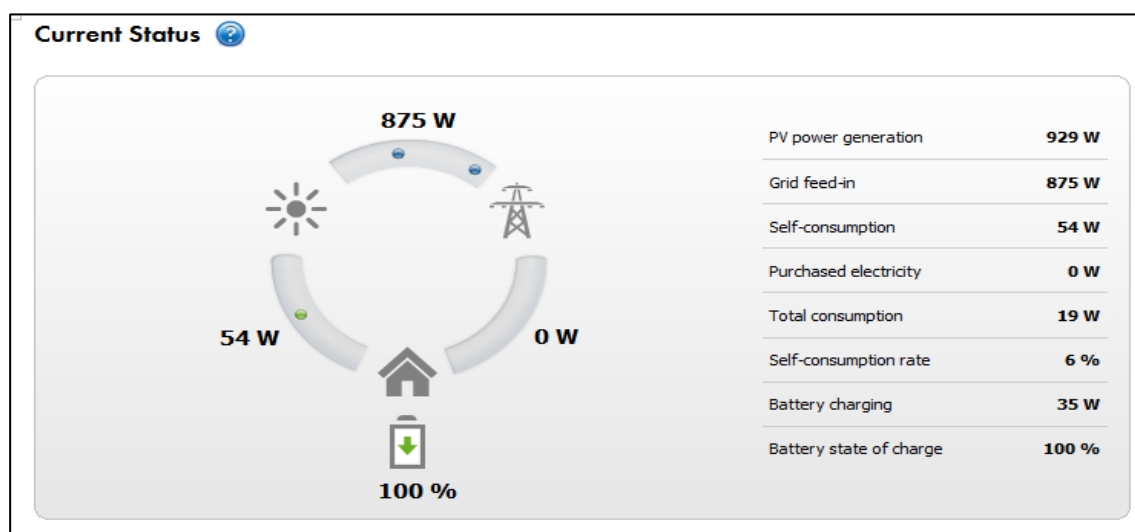
KUVA 10. Mittarointikeskus ilman etupaneelia ja komponentit numeroituina. (Piironen 2019)

4.5 Invertterien sovellukset

Sunny Portal on SMA:n tarjoama sovellus, jolla voidaan muuttaa invertterien asetuksia ja seurata aurinkosähköjärjestelmän tapahtumia reaaliaikaisesti. Sovelluksesta nähdään muun muassa järjestelmän energiantuotanto ja kulutus, akuston varaus, sää, hiilidioksidivähennykset sekä hälytykset. Sovelluksesta voidaan seurata reaaliaikaisesti, minne järjestelmän tuottama energia siirretään kuvan 12 mukaisesti. Sovelluksesta saadaan myös invertterien raakadata, josta selviää järjestelmän tuotanto halutulta aikaväliltä viiden minuutin tarkkuudella.



KUVA 11. Sunny Portal sovellus. (Piironen 2019)



KUVA 12. Aurinkosähköjärjestelmän energian syöttö. (Piironen 2019)

5 KOEVALMISTELUT

Kokeiden päätavoitteena oli kytkeä keinokuorma aurinkosähköjärjestelmään, jolla voitaisiin simuloida pienkohteen energiankulutusta. Tämän lisäksi haluttiin myös selvittää varjojen vaikutusta aurinkosähkön energiantuotannossa. Kokeiden suorittamiselle oli varattu kahdeksan viikkoa aikaa. Tässä ajassa täytyi perehtyä aurinkosähköjärjestelmään, suunnitella ja valmistella kokeet sekä suorittaa kokeet. Alkuperäiseen aikatauluun (kuva 13) jouduttiin tekemään muutoksia erilaisten viivästysten takia. Kaikki kokeet saatiin suoritettua määräaikaan mennessä.

	Projekti aikataulu							
	Viikko 1	Viikko 2	Viikko 3	Viikko 4	Viikko 5	Viikko 6	Viikko 7	Viikko 8
Perehdytys	■	■						
Suunnittelu		■	■	■				
Hankinnat		■	■	■				
Koevalmistelut			■	■			■	■
Kuorma testi				■	■	■	■	■
Tolppavarjostus testi							■	
Rakennusvarjostus testi								■

KUVA 13. Projektin alkuperäinen aikataulu. (Piironen 2019)

Kokeiden suunnittelu alkoi perehtymällä itse aurinkosähköjärjestelmään, sekä aurinkosähkön teoriaan ja aurinkosähköjärjestelmän vaatimuksiin. Perehtymisen jälkeen vuorossa oli itse kokeiden suunnittelu. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon kokeissa tarvittavat laitteet ja komponentit sekä päättää kokeiden ajankohdat ja suoritusjärjestys. Ensiksi suunniteltiin tarvittavien laitteiden ja komponenttien hankinnat. Laitteet ja komponentit kilpailutettiin eri myyjien kesken. Tällä tavoin haluttiin vähentää kokeista aiheutuvia kuluja. Kaikkia komponentteja ei tarvinnut ostaa, sillä osa saatiin lainaksi energiatutkimuskeskukselta ja koululta.

Seuraavaksi täytyi päättää kokeiden suoritusajankohdat. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kuormatesti olisi tehty ennen varjostustestejä, mutta koska kuormaa ei ollut saatavilla vielä suunnitteluna aikana, varjostustestit päätettiin suorittaa ensin. Varjostustestit täytyi tehdä ennen syksyä, jolloin päivän valo vähenee ja katolla työskentely olisi hankaloitunut liukkauden seurauksena. Kuormatesti tehtiin näiden jälkeen, koska testille haluttiin pidempi testijakso. Pidemmällä testijaksolla saatiin dataa aurinkosähköjärjestelmän energiantuotosta erilaisissa keliolosuhteissa. Kuorman ohjauksikon ansiosta kuorman ajaminen hoitui automaattisesti, jolloin sitä ei tarvinnut ohjata itse.

Kun tarvittavat komponentit oli hankittu sekä kokeiden ajankohdat oli päätetty, alkoi kokeiden toteutus. Ensimmäisenä toteutettiin varjostuskokeet. Varjostuskokeiden tavoitteena oli selvittää varjojen vaikutus paneelien energiantuotantoon luomalla keinotekoisesti varjo aurinkopaneelien päälle. Varjostuskokeita tehtiin kaksi, tolppavarjostus- sekä kattovarjostuskoe. Tolppavarjostuskokeessa aurinkopaneelien päälle asennettiin katutolpan varjon paksuinen kuormaliina, joka simuloi katutolpasta muodostuvaa varjoa. Kattovarjostuskokeessa osalle paneeleista asennettiin pressu päälle, joka simuloi edessä olevan rakennuksen tuottamaa varjoa.

Varjostuskokeiden jälkeen vuorossa oli kuormatesti. Kuormatestin tavoitteena oli simuloida pienkoh- teen, kuten omakotitalon tai taloyhtiön virrankulutusta. Kohteen virrankulutuksessa haluttiin simu- loida jatkuvaa virrankulutusta, kuten omakotitalon lämmitystä talvella, sekä vaihtelevaa virrankulu- tusta esim. erilaisten sähkölaitteiden käyttöä. Kuormaa ajoi ohjausyksikkö, joka kytki kuorman päälle pois haluttuina ajankohtina. Ajankohdat voitiin määritellä itse tietokoneella.

5.1 Kuorma

Projektin suunnittelu vaiheessa valittiin, millaista kuormaa käytetään ja kuinka sitä ohjataan. Aluksi päädyttiin ohjelmoitavaan keinokuormaan, joka olisi ollut ihanteellinen tarpeeseemme, mutta loppu- jen lopuksi ei ollut yhteen sopiva aurinkosähköjärjestelmäämme liian suurien jännitteiden vuoksi. Aikarajoitteiden puolesta uuden keinokuorman tilaaminen ei ollut mahdollista, sillä uuden toimituk- sessa olisi mennyt 6–8 viikkoa.

Kuormaksi valikoitui lopulta MCS Masterin 3,3 kW lämpöpuhallin (Kuva 14). Lämpöpuhaltimessa on lämmön- ja puhaltimen säätö, joilla voidaan asettaa puhallin puhaltamaan tietyllä lämmöllä ja voi- makuudella, mutta se ei ole ohjelmoitava, joten siihen täytyi luoda ohjausyksikkö, jolla voidaan pi- tää puhallin tiettyinä aikoina päällä ja pois.



KUVA 14. Lämpöpuhallin. (Piironen 2019)

5.2 Ohjausyksikkö

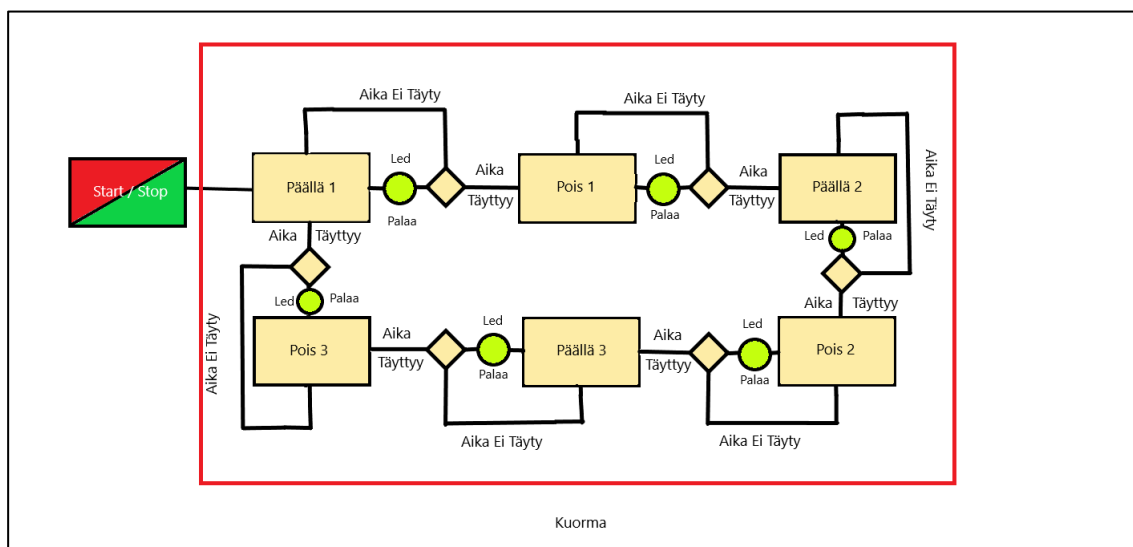
Ohjausyksikkö (Kuva 15) tehtiin itse. Yksikköön kuuluu yksi ABB:n 10 A johdonsuojakatkaisin sekä yksi Eatonin 16 A johdonsuojakatkaisin, National Instrumentin 24 VDC virtalähde, Hagerin 16 A 24 V välirele, sekä National Instrumentin compactRIO- 9012 alusta sisältäen NI 9472 logiikkakortin reaaliaikaisella ohjaimella. Logiikka ohjaa relettä auki ja kiinni, jolloin kuorma saa virtaa silloin kun sitä tarvitaan.



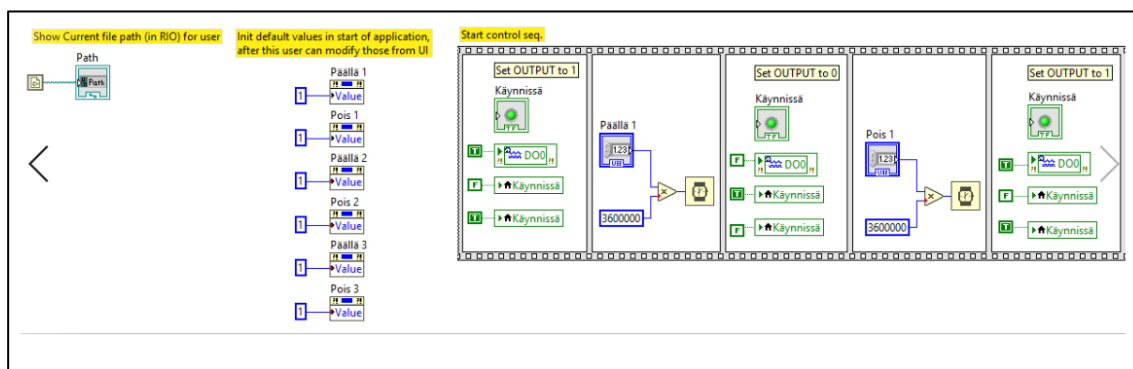
KUVA 15. Ohjausyksikkö. (Piironen 2019)

5.3 Ohjausyksikön ohjelmointi

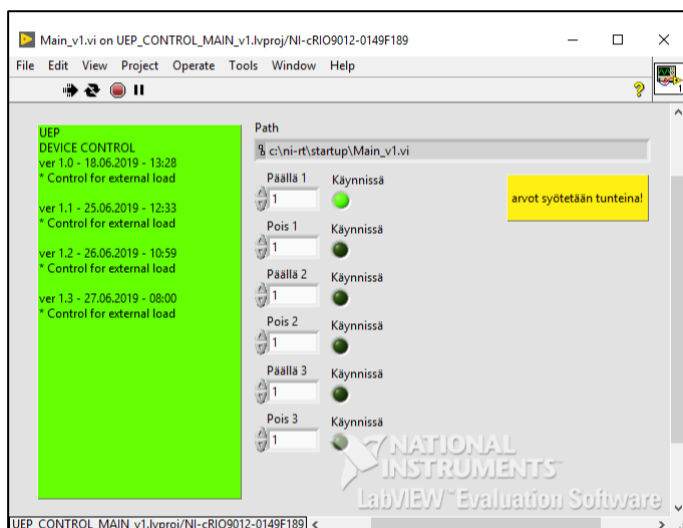
Ohjelmointi tehtiin LabVIEW 2019 ohjelmalla (Kuva 17). Ohjelman tarkoitus on aukaista ja sulkea välirelettä, jolloin kuorma saa virtaa. Ohjelma on käyttäjälle hyvin yksinkertainen. Ohjelmaan syötetään tunteina, kuinka kauan kuorma on päällä ja pois päältä. Ohjelmassa on tällä hetkellä kuusi vaihetta; kolme kun kuorma on päällä ja kolme kun kuorma on pois päältä. Etupaneelissa (Kuva 18) on myös laitettu led valot näyttämään, missä vaiheessa ohjelma on.



KUVA 16. Ohjelman lohkokaavio. (Piironen 2019)



KUVA 17. LabVIEW VI lohkokaavio. (Piironen 2019)



KUVA 18. LabVIEW- etupaneeli. (Piironen 2019)

5.4 Varjostuskokeiden valmistelu

Varjostuskokeita varten täytyi päästä aurinkopaneelien luokse, jotka sijaitsevat energiatutkimuskeskuksen katolla. Katolle johtaa energiatutkimuskeskuksen takana tikkaat. Alkuvaiheessa havaittiin, että kokeita varten tarvittavien työkalujen ja materiaalien kuljettaminen ylös tikkaita pitkin olisi todella hankalaa ja jopa vaarallista. Niinpä tutkittiin eri vaihtoehtoja katolle pääsyn helpottamiseksi.

Perehtymisen jälkeen jäljelle jäi kaksi vaihtoehtoa: työmaatelineet ja henkilönostin. Henkilönostimia on erilaisia, mutta hankkeen budjetin kannalta oleellista oli hankkia edullisin toimiva vaihtoehto, joka nostinten osalta oli saksilavanostin. Tämän jälkeen vertailtiin paikallisten vuokrausyritysten työmaatelineiden ja saksilavanostimen vuokraushintoja, sekä tuotteiden kuljetuksen hintaa. Vertailun jälkeen kilpailutimme tuotteet keskenään. Kilpailutuksen perusteella parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui saksilavanostin. Saksilavanostin oli halvempi vaihtoehto kuin työmaatelineet ja nostimelle oli myös muuta käyttöä kokeiden aikana. Nostimen käyttöön ei myöskään sisällynyt ylimääräisiä asennustöitä toisin kuin telineisiin.

Kattotyöskentelyä varten tarvittiin valtioneuvoston rakennustyön turvallisuusasetuksen (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Luku 6, 28 §) mukaiset suojarusteet. Näihin varusteisiin kuuluvat putoamisen estävän valjaat sekä turvaköysi. Ennen katolle menoa täytyi perehtyä henkilönostimeen edellä mainitun turvallisuusasetuksen mukaisesti. Luvussa 5 kohta 22 todetaan: ”rakennustyömaalla on oltava käytössä olevan henkilönostimen käyttöohjeet. Työntekijän on varmistettava, että työntekijä osaa käyttää turvallisesti henkilönostinta sen käyttöohjeiden mukaisesti. Eriytistä huomiota on kiinnitettävä tuennan varmistamiseen, hallinta- ja turvalaitteiden toimintaan sekä työliikkeiden mahdollisiin rajoituksiin” (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Luku 5, 22 §). Vaadittavan perehtymisen ja turvatarkastusten jälkeen kattotyöskentelyn sai aloittaa.

6 TOTEUTUS

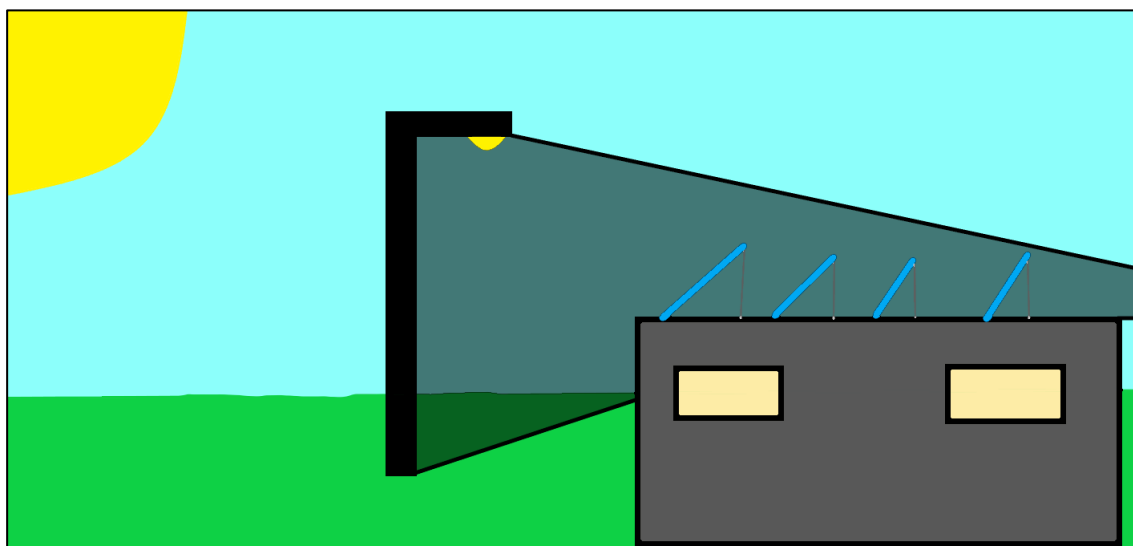
6.1 Kuorman simulointikoe

Kun kuormanohjausyksikkö oli saatu koottua ja sen ohjelma koodattua, ohjausyksikkö liitettiin aurinkoenergiajärjestelmän mittarointipisteessä sijaitsevaan Sunny Home Managerin ensimmäiseen vaiheeseen, sekä mittarointipisteen nolla- ja maadoituskiskoon. Mittarointipisteestä kuorman ohjausyksikkö saa virtaa kolmesta eri virtalähteestä: aurinkopaneeleilta, akustolta ja sähköverkosta.

Ohjausyksikköön asennettiin pistorasia, josta lämpöpuhallin saa virtaa jatkojohdon avulla. Puhaltimen kuumentamisen vuoksi puhallin on asennettu alumiinipukin päälle tulipaloriskin pienentämiseksi. Puhallin on kiristetty paikoilleen kuormaliinalla.

6.2 Tolppasimulointikoe

Tolppasimulointikokeessa (Kuva 20) simuloitiin katuvalontolpan tuottamaa varjoa aurinkopaneelin pinnalle. Varjon leveys oli 50 mm ja se luotiin sitomalla 50 mm leveä kuormaliina paneelien yläpuolelle. Kuormaliina oli paneelien yläpuolella ajalla 6.6.2019 – 10.6.2019. Tällä jaksolla oli pilvisiä päiviä, jolloin pilvien muodostamat varjot vaikuttivat myös tuloksiin, sekä pilvettämiä päiviä, jolloin ainoa vaikuttava tekijä oli liinan muodostava varjo.



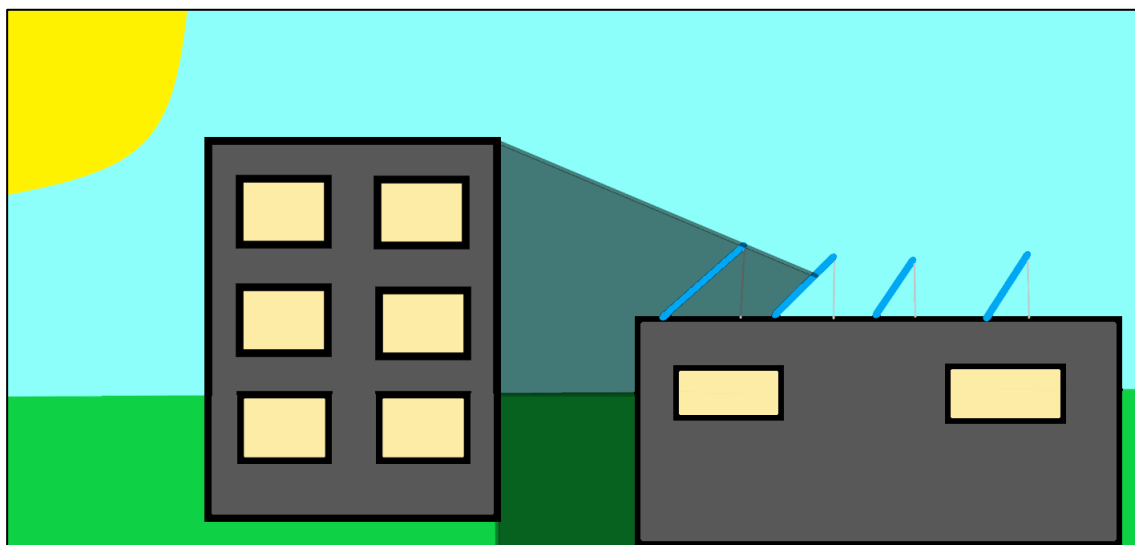
KUVA 19. Tolppasimulointikokeen havainnekuva. (Piironen 2019)



KUVA 20. Tolppasimulointikoe. (Piironen 2019)

6.3 Rakennussimulointikoe

Rakennussimulointikokeessa (Kuva 22) simuloitiin edessä olevan rakennuksen muodostamaa varjoa. Esimerkiksi tällainen varjo muodostuu, kun ilta aurinko laskee edessä olevan rakennuksen taakse muodostaen varjon paneelien päälle. Kokeessa osa paneeleita peitettiin pressulla, jolloin pressu simuloi rakennuksen muodostamaa varjoa. Koe toteutettiin ajalla 13.6.2019 – 18.6.2019, jolloin oli pilvisiä päiviä kuin myös pilvettämiä päiviä. Pressu on kiinnitetty paikoilleen nippusiteillä.



KUVA 21. Rakennussimulointikokeen havainnekuva. (Piironen 2019)



KUVA 22. Rakennussimulointikoe. (Piironen 2019)

7 TULOKSET

7.1 Varjosimulointikokeen tulokset

Varjostuskokeiden data hankittiin aurinkopaneelien invertteristä Sunny Explorer- sovelluksella, joka antaa reaaliaikaista tietoa paneelien sähköntuotannosta. Sovelluksen avulla saatiin varjostuskokeiden ajalta aurinkopaneelien tämän hetkisen energiantuotanto ja kokonaistuotanto. Sunny Explorer tallentaa tämän hetkisen tuotannon viiden minuutin välein. Sovellus muuntaa datan myös Microsoft Excel -muotoon ladatessaan, joten se on helppo muokata jatkossa haluttuun muotoon.

Varjostuskokeiden säädädata hankittiin puolestaan ilmatieteenlaitoksen havaintojen lataussivulta (Ilmatieteenlaitos sää), johon määriteltiin haluttu data. Haku itsessään on hyvin yksinkertainen. Ensiksi määritellään halutut suureet, jotka tässä tapauksessa ovat ilman lämpötila ja pilvien määrä. Seuraavaksi valitaan aikaväli, jolta havainnot kerätään. Lopuksi valitaan mittauspiste, joka tässä tapauksessa on Kosulanniemen mittausasema Varkaudessa, koska se on lähimpänä tutkimuskohteena olevia aurinkopaneeleita. Havainnot latautuvat Excel -tiedosto muotoon joko 10 minuutin tai tunnin välein.

Kun varjostuskokeiden datapaketit ovat Excel-muodossa, ne oli helppo yhdistää samaan tiedostoon. Ongelmana oli, että energiantuotannon tiedot olivat viiden minuutin välein ja sää havainnot olivat 10 minuutin välein. Lopullisiin datapaketteihin säädädata on kohdistettu inverttereistä hankitun datan kanssa.

7.2 Kuormasimulointikokeen tulokset

Kuormasimulointikokeen data hankittiin Sunny Explorer -sovelluksella inverttereistä. Datasta käy ilmi aurinkosähköjärjestelmän kokonaisenergiantuotanto viiden minuutin välein ja päivittäin. Kuormakokeen säädädata hankittiin myös varjostuskokeiden tavoin ilmatieteenlaitoksen havaintojen lataussivulta (Ilmatieteenlaitos sää). Data ladattiin Microsoft Excel -muotoon. Dataa on kerätty neljän kuukauden ajalta toukokuun alusta aina syyskuun alkuun saakka. Tällä tavoin saatiin vertailu kohtia ajalta ennen kuin kuorma liitettiin aurinkosähköjärjestelmään. Kuorma kytkettiin aurinkosähköjärjestelmään 25.6.2019 ja viimeiset säädöt ja korjaukset tehtiin ohjauksyksikköön 26.6.2019. Näin ollen kuormasimulointi kokeen tulokset ovat saatavilla ajalta 27.6.2019 – 2.9.2019 datapaketissa.

7.3 Tulkinta

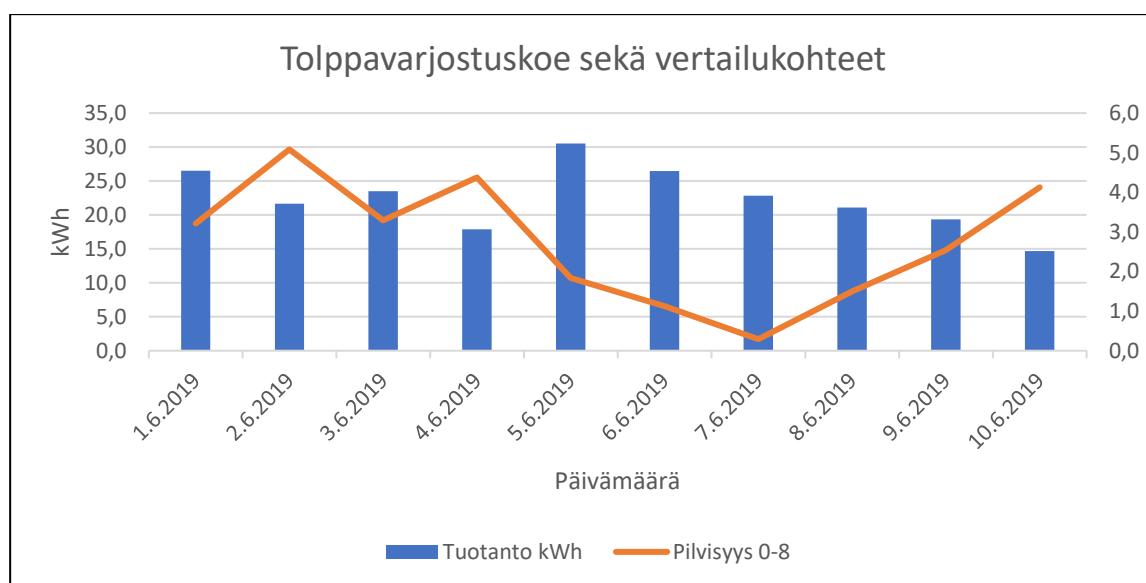
Alla olevista kuvaajista (kuvat 23 ja 24) esitetään kokeiden aikainen energiantuotanto ja pilvien määrä. Pilvien määrä esitetään asteikoilla 0–8, missä 0 on pilvetön ja 8 täysin pilvinen taivas. Taulukossa on ilmoitettu vuorokauden pilvisyyden keskiarvo (Kaava 6), mikä saadaan laskemalla vuorokauden pilvisyyden arvot tunnin välein yhteen ($X_{\text{Pilviarvot}}$) ja jakamalla niiden summan havaintojen määrällä ($Y_{\text{Havaintojen määrä}}$). Tarkastelujakson keskiarvo (Kaava 7) lasketaan yhteen laskemalla koko tarkastelujakson (1.5.2019 – 2.9.2019) energiantuotanto yhteen (P_{kok}) ja jakamalla se päivien määrällä

(Y^2 Havaintojen määrä). Arvoihin on myös laskettu mukaan yön aikaiset arvot, jolloin aurinkoenergian tuotanto on nolla.

$$(X_{\text{Pilviarvot}}) / Y_{\text{Havaintojen määrä}} \quad (6)$$

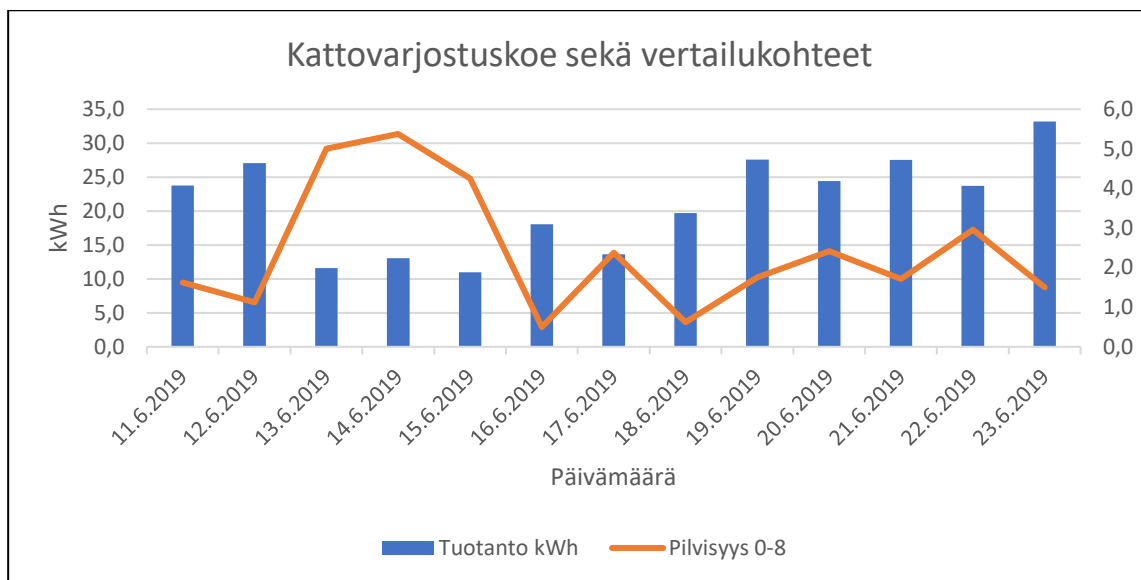
$$(P_{\text{kok}}) / Y^2_{\text{Havaintojen määrä}} \quad (7)$$

Energiantuotanto pysyi tolppavarjostuskokeen (Kuva 23) ajan (6.6 – 10.6.2019) 14 kWh – 26 kWh, mikä on koko tarkastelujakson keskiarvon (20,1 kWh) tuntumassa. Kuitenkaan kokeen aikana ei päästy yli 30 kWh tuotantoon, toisin kuin koetta edeltävänä päivänä. Pilvisyydellä ei kuvaajan mukaan ole suurta vaikutusta, huomioiden että 2.6.2019 on kuvaajan pilvisin päivä arvolla 5,1 ja 7.6.2019 on vähä pilvisin päivä arvolla 0,3 ja energiantuotannon ero on vain 1,1 kWh.



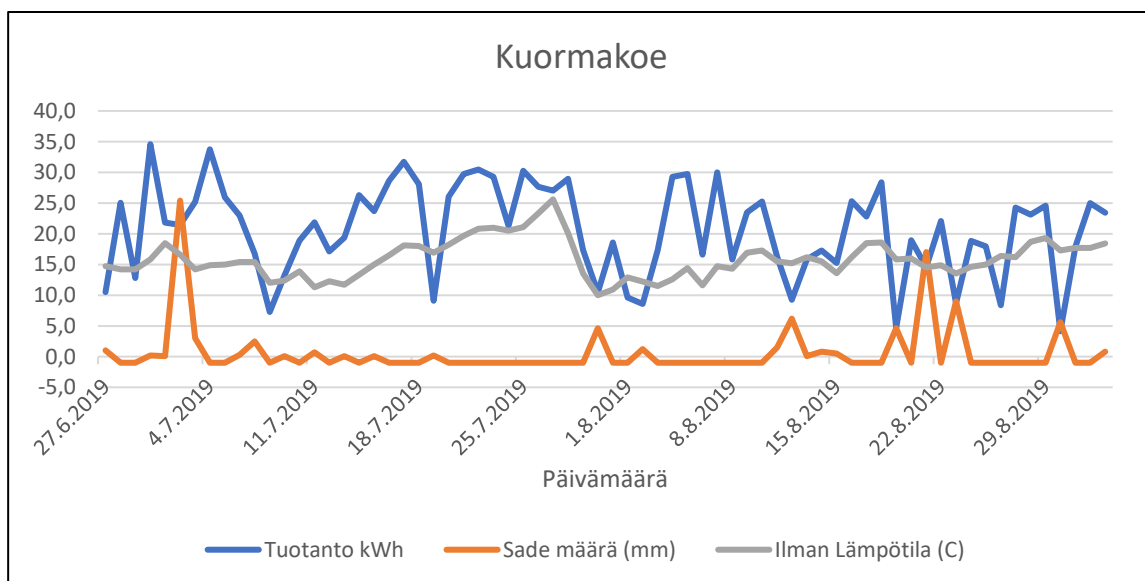
KUVA 23. Tolppavarjostuskokeen aikainen- sekä vertailu vuorokausien energiantuotannon- ja pilvien määrän keskiarvo. (Piironen 2019)

Kattovarjostuskokeen kuvaajasta (Kuva 24) ilmenee kokeen aikainen energiantuotanto ja pilvisuus (13.6 – 18.6.2019), sekä vertailun kohteena olleet koetta edeltävät vuorokaudet (11.6 – 12.6.2019) ja jälkeiset vuorokaudet (19.6 – 23.6.2019). Parhaimmillaan energian tuotanto oli kokeen aikana 19 kWh, mikä on alle koko tarkastelujakson keskiarvon (20,1 kWh) ja pienimmillään alle 11 kWh. Kokeen aikana oli kuvaajan pilvisimmät ja pienituottoisimmat päivät (13.6 – 15.6.2019). Vertaamalla näitä päiviä kuvaajan pilvettömimpään päivään (16.6.2019) huomataan, että tuotanto on tippunut 5–7 kWh. Näin voidaan olettaa pilvien vaikuttaneen energiantuotantoon. Koko kattovarjostuskokeen ajan energiantuotanto oli pienempi kuin koetta edeltävinä tai kokeen jälkeisinä vuorokausina. Tämän perusteella voidaan olettaa, että koetta varten luotu varjo on vaikuttanut aurinkopaneelien tuotantoon.



KUVA 24. Kattovarjostuskokeen aikainen- sekä vertailu vuorokausien energiantuotannon- ja pilvien määrän keskiarvo. (Piironen 2019)

Kuormakokeen datassa (Kuva 25) huomataan, kuinka vaihtelevaa aurinkoenergiatuotanto on. Kuvaajasta nähdään, miten energiantuotanto pienenee sademäärän kasvaessa. Datassa näkyy myös poikkeamia. Sademäärä 19.7.2019 oli 0,2 mm, mutta energiantuotanto oli alle 10 kWh. Energiantuotannon havaittiin kokeen ajan olleen ulkolämpötilaa suurempi. Poikkeuksia näkyy sademäärän noustessa ja 2.7.2019 energiantuotanto ja sademäärä ovat ulkolämpötilaa suurempia.



KUVA 25. Kuormakokeen aikainen energiantuotannon keskiarvo, sade määrä ja ilman keskilämpötila. (Piironen 2019)

Yhteenvedon kuvaajista todetaan, että aurinkosähköntuotanto on hyvin riippuvainen sääolosuhteista. Vaikuttavia tekijöitä on paljon, kuten pilvisuus, ulkolämpötila ja varjojen suuruus. Pienillä varjoilla ei ole juurikaan vaikutusta energiantuotantoon, kun taas suuremmilla varjoilla on merkittävä vaikutus energiantuotannossa. Sademäärien kasvaessa energiantuotanto laskee. Sateella on myös energiantuotantoa parantava vaikutus, sillä sade puhdistaa paneelien pinnalta pölyn ja roskat.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa aurinkoenergiajärjestelmään liittyviä testejä, joilla voitiin mitata järjestelmän hyödyllisyyttä, kun se on kytkettynä olemassa olevan sähköverkon rinnalle. Tämän lisäksi haluttiin myös saada tietoa varjojen vaikutuksesta aurinkoenergiajärjestelmän energiantuotantoon. Työn aikana vastaan tuli ongelmia, jotka hidastivat työn kulkua. Näiden seurauksina suunnitelmia jouduttiin uudelleen miettimään ja työvaiheita järjestelemään uudelleen, mutta näistäkin selvittiin. Lopputuloksena saatiin kattavat datapaketit aurinkoenergiajärjestelmän toiminnasta ja varjojen vaikutuksesta.

Tämän työn tuloksilla voidaan edesauttaa yhteistyökumppanien omia projekteja ja kertoa aurinkoenergian hyödyistä pienkohteissa. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa dataa tullaan hyödyntämään energiankulutuksenhallintasovelluksen ohjauksen mallinnukseen tulevaisuudessa. Kun aurinkoenergiantuotantoa tutkitaan lisää, niin parannusehdotuksina olisi enemmän ohjelmoitava ja kuluttava kuorma. Tällä tavoin kuormakokeesta saataisiin monipuolisempaa dataa, kun kuorman kulutuksessa olisi lisää säätövaraa.

Itselleni tämä oli ensimmäinen kokemus insinöörityön monipuolisuudesta ja vaativuudesta. Ennen työn aloitusta minulla ei ollut kokemusta kokeiden suunnittelusta, koodaamisesta tai raportoinnista. Työn aikana jouduin siis opettelemaan paljon uusia asioita. Työ oli haastava, mutta palkitseva ja siitä on varmasti hyötyä itselleni tulevaisuudessa.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- ALA- MYLLYMÄKI, Esko 2016. Aurinkodemo. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: https://www.merino.fi/wp-content/uploads/2016/09/aurinkodemo_loppuraportti.pdf
- ALM, Markku 2018. Toimialaraportit - Uusiutuva energia. [verkkajulkaisu]. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2018:42. [Viitattu 2020-02-06.] Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161181/TEMjul_42_2018_Uusiutuva_energia.pdf
- AREVASOLAR. Aurinkosähköjärjestelmä. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkosahkojarjestelma>
- BATTERYSPACE. LiFePo4/LiFeMnPo4 Batteries. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <http://www.batteryspace.com/LiFePO4/LiFeMnPO4-Batteries.aspx>
- BYD. B-Box HV Datasheet. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://www.europe-solars-tore.com/download/byd/BYD-Battery-Box-H6.4-H11.5-datasheet.pdf>
- ERAT, B., ERKKILÄ, V., NYMAN, C., PEIPPO, K., PELTOLA, S., SUOKIVI, H. 2008. Aurinko-opas – aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry, 10-12, 120-121.
- ILMATIETEENLAITOS SÄÄ. Ilmatieteenlaitoksen havaintojen lataus sivu. [Verkkosivu]. [Viitattu 2019-09-03.] Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- ILMATIETEENLAITOS 2019. Auringon rakenne ja elinkaari. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>
- ISOJUNNO, Veijo 2014. Aurinkojärjestelmän suunnittelu. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74844/Isojunno_Veijo.pdf?sequence=1
- KORTE, Iivo 2017. Aurinkoenergian opetuspaketti. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Energia-tekniikan koulutus. Opinnäytetyö. [Viitattu 2020-02-11.] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130377/Korte_Iivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MIKANDER, Petteri 2018. Aurinkoenergiajärjestelmä energiatutkimuskeskukselle. Savonia-ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2019-09-03.]
- MOTIVA 2017. Aurinkosähköjärjestelmän teho. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho
- MOTIVA 2019. Uusiutuva energia. [Viitattu 2020-02-06.] Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia
- PENTINSAARI, Tanja 2019. EUE-4663 Luento 1 Uusiutuvat energiajärjestelmien valinta, suunnittelu ja hankinta, Aurinko energia, UEJ Aurinkoenergia sähköpaneelit (PV). [Luento]. [Viitattu 2019-09-03.] Saatavissa: https://moodle.savonia.fi/pluginfile.php/565568/mod_resource/content/1/UEJ_aurinkoenergia_s%C3%A4hk%C3%B6paneelit%28PV%29.pdf
- SAVOLAINEN, Pentti O. 1959. Sähkökulkuneuvot - Tasavirta-, vaihtovirta- ja dieselsähköveturit, raitiovaunut, johdinautot ja akkumulaattorivaunut. Tammi, 12.
- SEMKINA, Soili 2011. Varsinainen sivuvaikutus: aurinkopaneelilla voi myös jäähdyttää. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/varsinainen-sivuvaikutus-aurinkopaneelilla-voi-myos-jaahdyttaa/a35dc64a-1b93-3737-8909-fd061078514d>
- SFS-EN 61215-2:2017/AC: 2018: en. Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures.
- SFS-EN 61730-2 :2018: en. Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing.
- SFS-EN 62446-1:2016. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 1: sähköverkkoon kytketyt järjestelmät.

- SMA AI. Sunny boy storage 3.7/ 5.0/ 6.0 datasheet. [Viitattu 2019-09-03.] Saatavissa: <https://files.sma.de/dl/31186/SBS37-60-DEN1751-V21web.pdf>
- SMA PI. Sunny tripower 3.0/ 4.0/ 5.0/ 6.0 datasheet. [Viitattu 2019-09-03.] Saatavissa: <https://files.sma.de/dl/31716/STP30-60-DEN1917-V14web.pdf>
- SUNTEKNO 2010. Aurinkoenergia ABC- opas. [Verkkójulkaisu]. [Viitattu 2019-09-03.] Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>
- SUOMELA. Näin lataat sähköauton kotona. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://www.suomela.fi/nain-varaudut-sahkoauton-kotilataukseen/>
- TABLIZER, 2008-08-26. Auringon elinkaari [digikuva] Saatavissa: https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Sun_Life.png?uselang=fi
- TEM. Uusiutuva energia Suomessa. [verkkójulkaisu]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://tem.fi/uusiutuva-energia>
- TILASTOKESKUS 2019. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/ehk/2019/03/ehk_2019_03_2019-12-20_tie_001_fi.html
- TRINASOLAR 2016. The allmax module powered by Trinapeak. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <http://static.trinasolar.com/sites/default/files/Datasheet-PD05.08D.pdf>
- TÄHTI AKATEMIA 2015. Auringon elinkaari. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://web.archive.org/web/20150402100131/http://www.sarkanniemi.fi/akatemiatahtiakatemia/aurinkokunta/aurelin.htm>
- UEP 2017. Uusiutuva energia pienkohteissa (UEP). Hankehakemus 2017-02-22. Hakemus numero: 303387. [Viitattu 2019-09-03.]
- VALLI 2019. Lakimuutos vauhdittaa aurinkosähköä taloyhtiöissä. [Viitattu 2020-03-02.] Saatavissa: <https://www.kiinteistolehti.fi/lakimuutos-vauhdittaa-aurinkosahkoa-taloyhtiöissa/>
- VALTIONEUVOSTON ASETUS RAKENNUSTYÖN TURVALLISUUDESTA. SDK 1565/2019. Finlex. Lain-säädäntö. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205#L6P28>
- VINDKRAFTFORENINGEN, 2019-12-15. Fuusioreaktio [digikuva] Saatavissa: <https://vindkraftforeningen.fi/ydinvoima/>
- VIRTANEN, Sofia 2018. Taloyhtiöt aurinkosähkön väliinpuotoajia Suomessa – osakkaat joutuvat ostamaan kallista verkkosähköä, vaikka oma voimala tuottaisi ylijäämäsähköä. [Viitattu 2019-11-18.] Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/taloyhtiöt-aurinkosahkon-valiinpuotoajia-suomessa-osakkaat-joutuvat-ostamaan-kallista-verkkosahkoa-vaikka-oma-voimala-tuottaisi-ylijaama-sahkoa/5e4f85c0-7ca8-3c7d-a24f-6d7408ecadad>