



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KUORMANOHJAUS AURIN- KOSÄHKÖJÄRJESTELMISSÄ

TEKIJÄ: Markus Toivanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Markus Toivanen			
Työn nimi Kuormanohjaus aurinkosähköjärjestelmissä			
Päiväys	14.04.2020	Sivumäärä/Liitteet	33/2
Ohjaajat			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Paikallis-Sähkö Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa tilaajalle tuntemusta valituista kuormanohjausjärjestelmistä sekä selvittää, mitä vaatisi itse rakennettava kuormanohjain. Työssä selvitettävänä oli myös portaattomasti säätyvien kuormanohjaimien hyöty verrattuna on/off kuormanohjaimiin. Aurinkovoimaloista saadun ylijäämäenergian myynnistä saatava korvaus on pieni verrattuna verkosta ostetun energian hintaan. Kuormanohjaimet perustuvat ylijäämäenergian hyödyntämiseen ja verkosta ostamisen tarpeen vähentämiseen. Kuormanohjaimien toimintaa tutkittiin asennettuna aurinkovoimaloiden yhteyteen. Tilaajana toimi Paikallis-Sähkö Oy.</p> <p>Työssä käytiin läpi aurinkoenergian perusteet. Auringosta saatavaa säteilyä ja siitä saatavaa energiaa tutkittiin Kuopion leveyspiirillä. Toinen osa-alue työssä oli sähkömarkkinoiden läpikäynti. Työssä tutkintaan valitut kuormanohjaimet olivat GreenEnergy Finland Oy:n GEF Control, Froniuksen Ohmpilot ja Solar controlsin WattRouter MX. Kunkin järjestelmän perustoiminta, käytettävyys ja monipuolisuus käytiin työssä läpi. Taloudellisesta näkökulmasta toteutettiin laskelmat käyttämällä sijaintina Kuopiota ja esimerkkitalona omakotitaloa. Laskelmat pohjautuivat valitun omakotitalon kulutushistorian ja aurinkoenergiatarkurien antamien tuloksien vertailuun ja muokkaukseen kuormanohjaimien toimintaperiaatteiden mukaisesti. Laskelmissa toteutettiin samalla portaattoman ja on/off-ohjauksen vertailu.</p> <p>Työn lopputuloksena tilaaja sai perusteellisen paketin, joka sisältää hyödyllistä informaatiota heidän alallaan. Kuormanohjausjärjestelmät on selitetty tarkasti. Niiden tekniset ja ekonomiset hyödyt ovat näkyvillä tarkoissa taulukoissa. Myytäessä kuormanohjausjärjestelmiä tämän opinnäytetyön taulukot ovat kätevä tapa selittää kuormanohjauksen toimintaperiaatteita. Itse rakennettavan kuormanohjaimen periaatteet ja perustarpeet on selvitetty.</p>			
Avainsanat aurinkoenergia, aurinkosähkö, kuormanohjaus, energiatehokkuus, kustannustehokkuus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Markus Toivanen			
Title of Thesis Load Management in Photovoltaic Systems			
Date	14 April 2020	Pages/Appendices	33/2
Supervisors			
Client Organization /Partner Paikallis-Sähkö Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to give the commissioner organization knowledge about the chosen load management systems and to find out what a self-built load management system would require. Another aim was to sort out the benefits of stepless load management systems against on/off load managements. Selling the surplus energy gained from solar power plants gives a small benefit when compared against the price of the energy purchased from the grid. Load management systems are based on taking advantage of the surplus energy and lowering the need of purchasing energy from the grid. The function of load management systems was examined when installed with photovoltaic systems. This thesis was commissioned by Paikallis-Sähkö Oy.</p> <p>The basics of solar energy were studied. The radiation received from the sun and the energy gathered from it were researched in the latitude of Kuopio. In addition, electricity market in general was studied. The load management systems chosen for the examination were GEF Control from GreenEnergy Finland Oy, Ohmpilot from Fronius and WattRouter MX from Solar controls. The basic function, the usability and the diversity of each system was evaluated in the thesis.</p> <p>As a result of this thesis the commissioner organization received a thorough package containing useful information in their line of work. Load management systems are accurately explained. Their technical and economical benefits can be seen in accurate charts. When selling load management systems, the charts received from this thesis are a handy way of explaining the principles of load management. Principles and basic needs of a self built load management system were studied.</p>			
<p>Keywords solar energy, photovoltaic, load management, energy efficiency, cost-effectivity</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
1.1	Lyhenteet ja määritelmät.....	5
1.2	Yhteistyökumppanit ja tekijänoikeuksien haltijat tai muut tahot	5
2	AURINKOENERGIA.....	6
2.1	Hyödynnettävissä oleva energia	6
2.1.1	Kuopion leveyspiirin aurinkoenergia.....	8
3	AURINKOSÄHKÖ.....	9
3.1	Aurinkopaneelit.....	9
3.2	Aurinkopaneeleista saatava energia ja invertterit	10
3.3	Paneelien sijoitus, suuntaus ja varjostukset	10
3.3.1	Suuntaus ja kallistus Kuopion leveyspiirillä	11
4	SÄHKÖMARKKINAT.....	13
4.1	Kulutuksesta aiheutuvat kustannukset.....	13
4.2	Pientuotannon myynti	13
5	KUORMANOHJAUS.....	14
5.1	Kuormanohjaus yleisesti	14
5.2	Fronius Ohmpilot	15
5.3	SolarControls WattRouter MX.....	17
5.4	GEF Control	19
5.5	Kuormanohjaustavat	20
5.6	Vertailu kuormanohjaimien välillä.....	20
6	ITSE RAKENNETTAVA KUORMANOHJAIN.....	22
7	LASKENNAN TAUSTA JA TULOKSET	24
7.1	Kuormanohjaimen tuottama hyöty kiinteistössä	25
8	TYÖN YHTEENVETO	27
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	29
	LIITE 1: KUORMANOHJAJUKSIEN VAIKUTUS KULUTUSKÄYRÄÄN JA KUSTANNUKSIIN	31
	LIITE 2: KUORMANOHJAUSTYYLIEN VUOSISTATISTIIKKA	34

1 JOHDANTO

Aurinkoenergian hyödyntäminen omakotitaloissa yleistyy koko ajan enemmän. Etelä-Suomessa saadaan auringon säteilyä vuositasona sama määrä, kuin Keski-Euroopassa, joten aurinkoenergian talteen ottamiseen olosuhteet sopeutuvat hyvin. Säteilyn saatavuus keskittyy kuitenkin Suomen kesäaikaan. Suuri osa tuotetusta energiasta tuotetaan kesällä esimerkiksi työpäivän aikana, jolloin kulutus omakotitaloissa ei ole suurta. Tästä syntyvä ylijäämäenergia virtaa verkkoon ja se myydään verkkoyhtiöille. Kun sähköä käytetään auringon laskettua, joudutaan myyty energia ostamaan takaisin verkkoyhtiöltä ja siitä joudutaan lisäksi maksamaan sähkönsiirtomaksu.

Kuormanohjauksella pyritään ohjaamaan kiinteistöstä muutoin pois virtaava energia johonkin kiinteistön laitteeseen, jotta kuluttaja saisi sen omaan hyötykäyttöön ja välttyisi kasvavilta sähkönsiirtomaksuilta. Hyviä käyttökohteita energian taltiointiin ovat esimerkiksi lämminvesivaraajat ja ilmalämpöpumput.

Opinnäytetyössä vertaillaan kuormanohjausjärjestelmiä kolmelta eri valmistajalta, perehdytään siihen mitä oman kuormanohjausjärjestelmän rakentaminen valmiilla komponenteilla vaatisi ja tutkitaan portaattomasti säätyvien kuormanohjainten hyötyä verrattuna täysin päälle tai pois päältä kytkettyihin kuormanohjaimiin. Työn tilaajana toimii Paikallis-sähkö Oy.

1.1 Lyhenteet ja määritelmät

LVV = Lämminvesivaraaja.

TW = Terawatti, biljoona tehon yksikköä.

kWh = Kilowattitunti, energian määrä tunnissa.

kWp = Kilowattipiikki, käytetään aurinkopaneelijärjestelmissä kuvaamaan suurinta mahdollista paneeleista saatavaa tehoa.

SSR = Solid state relay, rele, jossa ei ole liikkuvia osia. Käyttää puolijohdelaitteita kuten triacceja.

Leveyspiiri = Päiväntasaajan suuntainen piiri, joka kiertää maapallon ympäri tietyllä etäisyydellä päiväntasaajasta. Piirin etäisyys päiväntasaajasta ilmoitetaan leveysasteina minuutein ja sekuntein.

Puolijohde = Alkuaine, joka johtaa sähköä paremmin kuin eriste, mutta huonommin kuin johde.

1.2 Yhteistyökumppanit ja tekijänoikeuksien haltijat tai muut tahot

Työn tilaajana toimii Paikallis-Sähkö Oy. Paikallis-Sähkö Oy on vuonna 1959 perustettu Kainuusta lähtöisin oleva sähköurakointia, kiinteistöautomaatiourakointia ja sähkötarvikekauppaa tekevä suomalainen yritys. Paikallis-Sähköllä on toimipisteitä Kuopiossa, Kajaanissa, Oulussa, Sotkamossa, Suomussalmella, Kuhmossa, Kuusamossa ja Paltamossa. Henkilöstöä yrityksellä on tällä hetkellä hieman yli 100. Aurinkopaneelisiin liittyvät sähköalan työt ovat Paikallis-Sähkölle yleisiä, joten opinnäytetyön aihe antaa yritykselle tuntemusta kuormanohjaimiin ja niiden hyötyihin sekä kannattavuuteen.

2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergiaa saadaan auringon säteilystä. Maapallolla hyödynnettävää säteilyä saadaan suorasta auringon säteilystä, sekä heijastuvasta hajasäteilystä. Hajasäteilyä on pilvistä, maaperästä ja ilmakehästä heijastuva säteily. Suomessa suuri osa säteilystä on hajasäteilyä. Hyvissä olosuhteissa hajasäteily voi lisätä saatavaa säteilyä jopa 20 prosenttia.

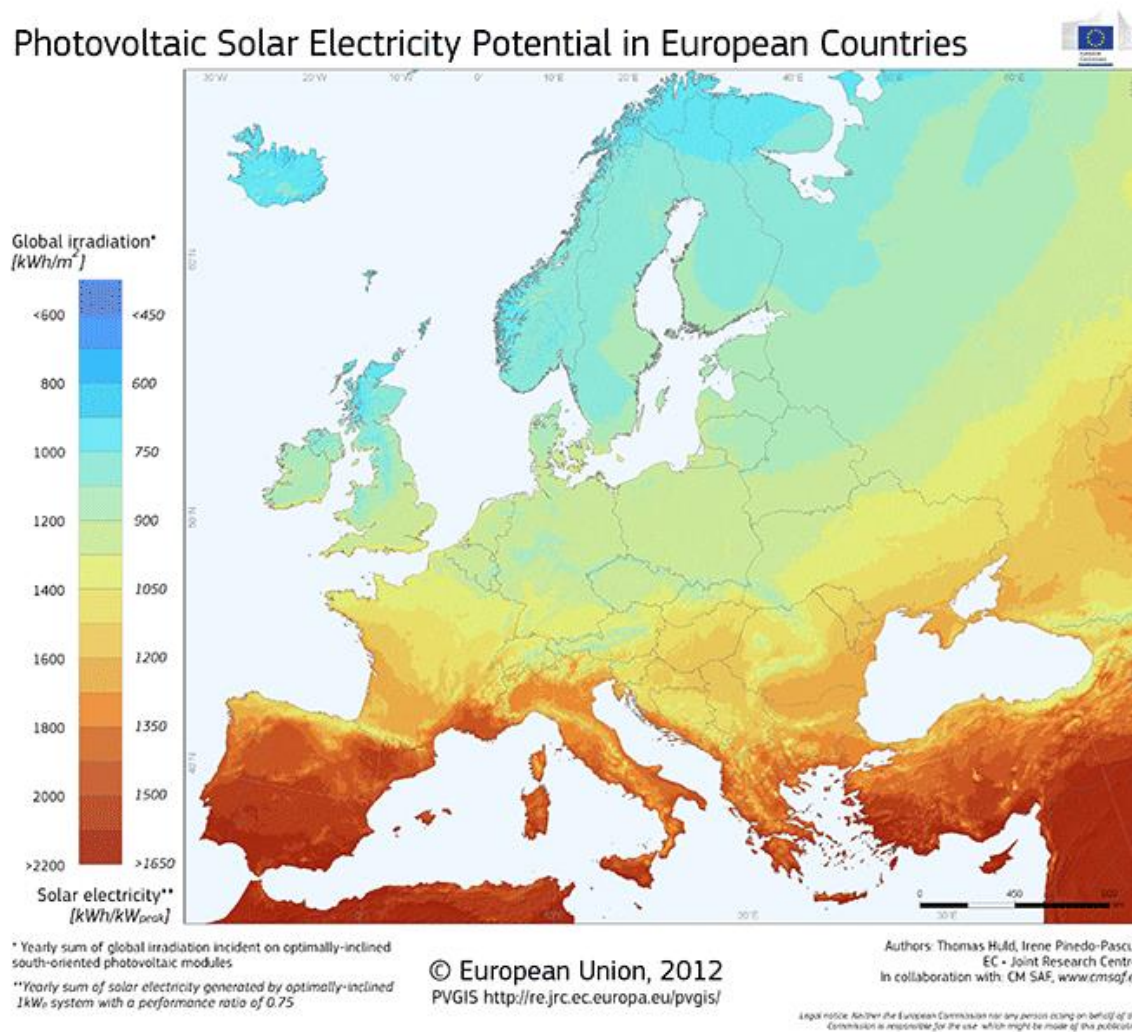
Etelä-Suomessa käytettävissä oleva säteily on samaa luokkaa kuin Pohjois-Saksan säteily. Suomessa säteilyn saatavuus on suurimmillaan kesäkuukausina ja pohjoisempaan mennessä kesäkuukausien vaikutus suurenee. (Motiva 1, 2019)

2.1 Hyödynnettävissä oleva energia

Maapallolle tulee jatkuvasti noin 170 000 TW säteilyenergiaa. Suuresta määrästä huolimatta energiasta hyödynnettävissä on vain pieni osa. Aurinkoenergiasta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä aurinkosähköä tai aurinkokeräimiä, joita käytetään auringon lämmön talteenottoon. (Energiateollisuus)

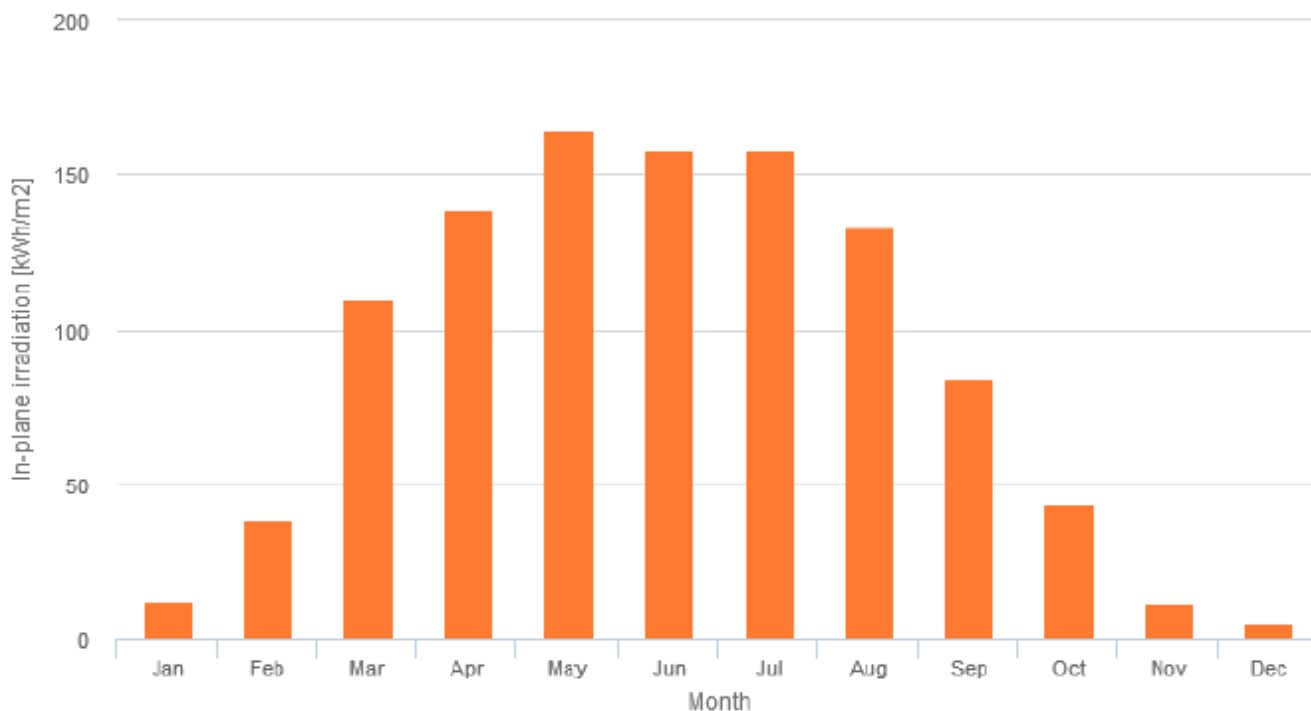
Suomeen käytettävää energiaa saadaan noin 1000 W/m². Tämä tarkoittaa, että tunnissa energiaa saadaan 1 kWh neliometriä kohden. Suomen alueella myös auringonpaistetta saadaan keskimäärin noin 1000 tuntia vuodessa. Vuositasolla siis hyödynnettävissä olevaa auringon energiaa saadaan noin 1000 kWh jokaiselle neliometrille. (Suntekno, Tietopankki, 2010)

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Kuva 1. Euroopan komission tutkimus saatavilla olevasta aurinkoenergiasta Euroopassa.
(Euroopan komissio 11.05.2017)

2.1.1 Kuopion leveyspiirin aurinkoenergia

Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

Kuva 2. Kuukausittainen saatavan säteilyenergian määrä neliometriä kohden Kuopiossa. (Euroopan komissio 15.10.2019)

Kuvassa 2 on pylväsdiagrammi, joka kuvaa auringosta saatavan energian määrää Kuopiossa neliometriä kohden. Tulokset ovat Euroopan komission tiedeosaston tuottamia yleisölle saatavilla olevia laskentatuloksia. Diagrammin avulla pystytään todentamaan auringon säteilyn määrän keskittyvän kesäkuukausille ja olevan todella pientä talvikuukausina, jolloin lämmityksen tarve on suurimmillaan. Vuositasolla Kuopioon saadaan siis noin 1058 kWh energiaa neliometrille. Määrä on hieman Suomen keskiarvoa korkeampi, johtuen suurien järvien läheisyydestä. Suurien vesistöalueiden ympäristössä pilvisuus on vähäisempää. (Ilmatieteenlaitos)

3 AURINKOSÄHKÖ

3.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeleilla kerätään hyötykäyttöön auringon säteilyn tuomaa energiaa. Hyödynnettävissä oleva säteily on ultravioletti ja lähi-infrapuna säteilytaajuuksien alueilla. Säteily koostuu fotoneista, jotka kuljettavat energian mukanaan. Paneelissa käytettävän alkuaineen elektronit ottavat energian vastaan saapuvilta fotoneilta ja irrottautuvat synnyttäen sähkövirran.

Yleisin materiaali, jota aurinkopaneelien valmistuksessa käytetään, on pii. Noin 90 % valmistetuista paneeleista on tehty käyttäen piitä materiaalina. Piitä voidaan käyttää yksi- tai monikiteisenä. Ohutkalvokennot ovat toinen paneelityyppi. Ohutkalvokennoissa on lisätty ohuita kerroksia valoon reagoivaa ainetta toisen aineen pinnan päälle. Toisena aineena voi olla esimerkiksi muovi, lasi tai metalli. Ohutkalvokennot keräävät hajasäteilyn tehokkaammin kuin piikidekennot, mutta sen vuosivaikeus on pieni sekä piikidekennojen hyötysuhde on parempi ja paranee entisestään viileämmässä ympäristössä. (Motiva 2, 2019)

Aurinkopaneeleissa käytetään esimerkiksi alkuaineita pii (S), fosfori (P) ja alumiini (Al). Pii on puolimetalli ja puolijohde, fosfori negatiivisen varauksen omaava epämetalli ja alumiini on positiivisen varauksen omaava metalli. Seostettaessa puolijohdetta negatiivisen varauksen omaavalla aineella, luodaan negatiivisesti varautunut N-aine ja positiivisella aineella seostettaessa luodaan P-aine. Vie-rekkäin asetetut P- ja N-aineet muodostavat PN-liitoksen. (MAOL-taulukot, 2011)

PN-liitoksessa elektronit ovat negatiivisesti varautuneita hiukkasia ja positiivisesti varautuneita hiukkasia kutsutaan aukoiksi. Elektronit ja aukot voivat kulkea materiaalien välillä vapaasti. Elektronin ja aukon kohdatessa muodostuu elektroni-aukkopari. Yhdistyneet parit kasaantuvat materiaalien rajapinnalle muodostaen siihen tyhjennysalueen, jossa ei ole enää vapaita varauksen kuljettajia. Tyhjennysalueelle muodostuu negatiivinen varaus P-aineen puolelle ja positiivinen varaus N-aineen puolelle. Auringon säteilyn fotonit saavat elektronit liikkeelle ja tyhjennysalueen varauksen vuoksi ne tarvitsevat erillisen johtimen, jota pitkin kulkeutua vapaiden aukkojen luokse. Tästä syntyvää sähkövirtaa voimme hyödyntää. (ST-käsikirja 40, 2017)

3.2 Aurinkopaneeleista saatava energia ja invertterit

Aurinkopaneeleissa syntyvä sähkö on tasasähköä. Tasasähkö on harvoin suoraan käytettävissä kiinteistöissä. Jotkut kodinkoneet ja valaistus voivat olla kuitenkin tyyppisiä käyttökohteita tasasähköllä silloin kun kiinteistö on irrallaan muusta sähköverkosta. Tyypillinen tasajännitetaso aurinkopaneelille on 30-40 voltia. Jännitetasoa pystytään nostamaan kytkemällä paneeleita sarjaan. Virtaa saa kohotettua kytkemällä paneeleita rinnan, jolloin niiden virrat summataan yhteen. (Motiva 3, 2017 ja ST-kortti 52.32, 2019)

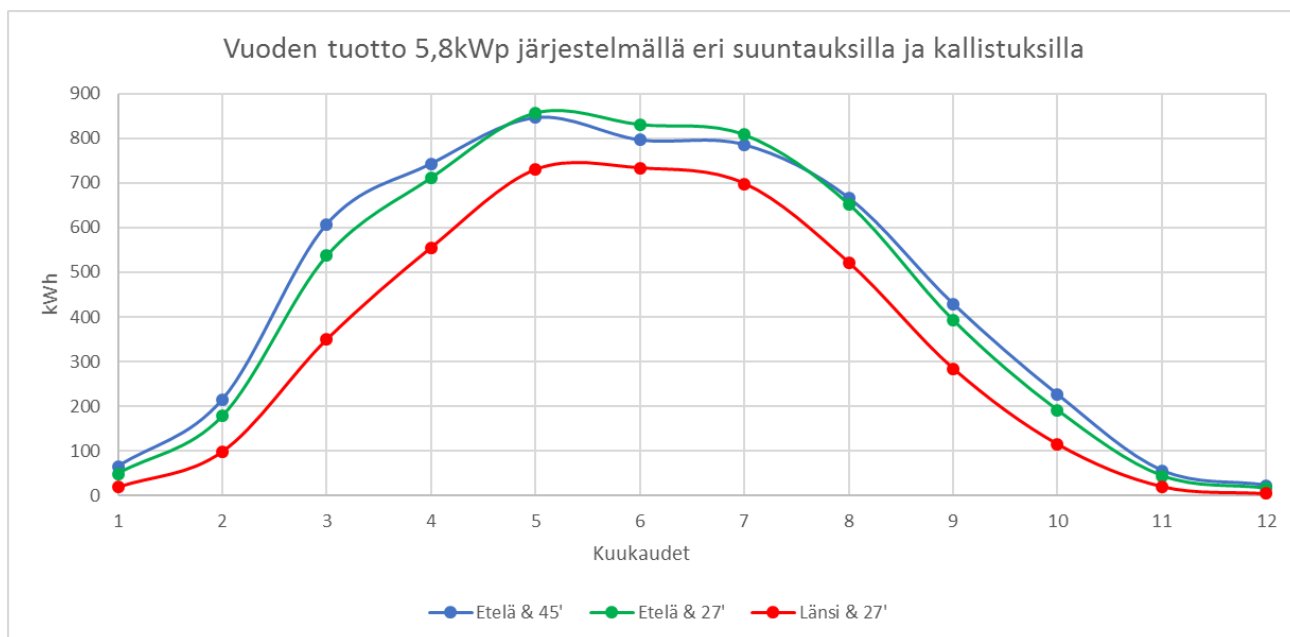
Korkeampi tasajännite pystytään muokkaamaan 230V 50Hz vaihtosähköksi invertterillä. Invertteriin syötettävä tasajännite on määritettävä invertterin suurimman sallitun sisääntulojännitteen mukaan tai päinvastoin. Invertteri on pakollinen laite, jos kiinteistö on yhdistetty valtakunnalliseen sähköverkkoon. Inverttereitä voi olla 1- tai 3-vaiheisia. 3-vaiheisena invertteri syöttää tasaisesti kaikkea kiinteistön kulutusta. 1-vaiheisena aurinkopaneeleiden tuotto saadaan helpommin ohjattua tietyllä vaiheella oleviin laitteisiin. (ST 52.32, 2019)

3.3 Paneelien sijoitus, suuntaus ja varjostukset

Aurinkopaneelien sijoitukselle on useita vaihtoehtoja. Yleisiä asennuspaikkoja ovat katto, seinä tai telineet maassa. Katolle sijoitettaessa paneelit ovat yleisesti katon suuntaisesti ja lähes samassa kulmassa kuin katto. Parhaat tulokset saisi asettelemalla paneelin 45° kaltevuuteen ja osoittamaan suoraan etelään päin. Kuitenkin saadusta energiasta häviää maksimissaan 10 % kun kaltevuuskulma pysyy 20°-60° välillä ja suuntaus on kaakon ja lounaan välillä. Itään tai länteen suunnatessa tuotto ei ole samalla tasolla kuin etelään suunnatessa, mutta tuottopiikin ajankohta muuttuu aikaisemmaksi tai myöhemmäksi tukemaan esimerkiksi illan suurempia kulutuspiikkejä. (ST 52.32, 2019)

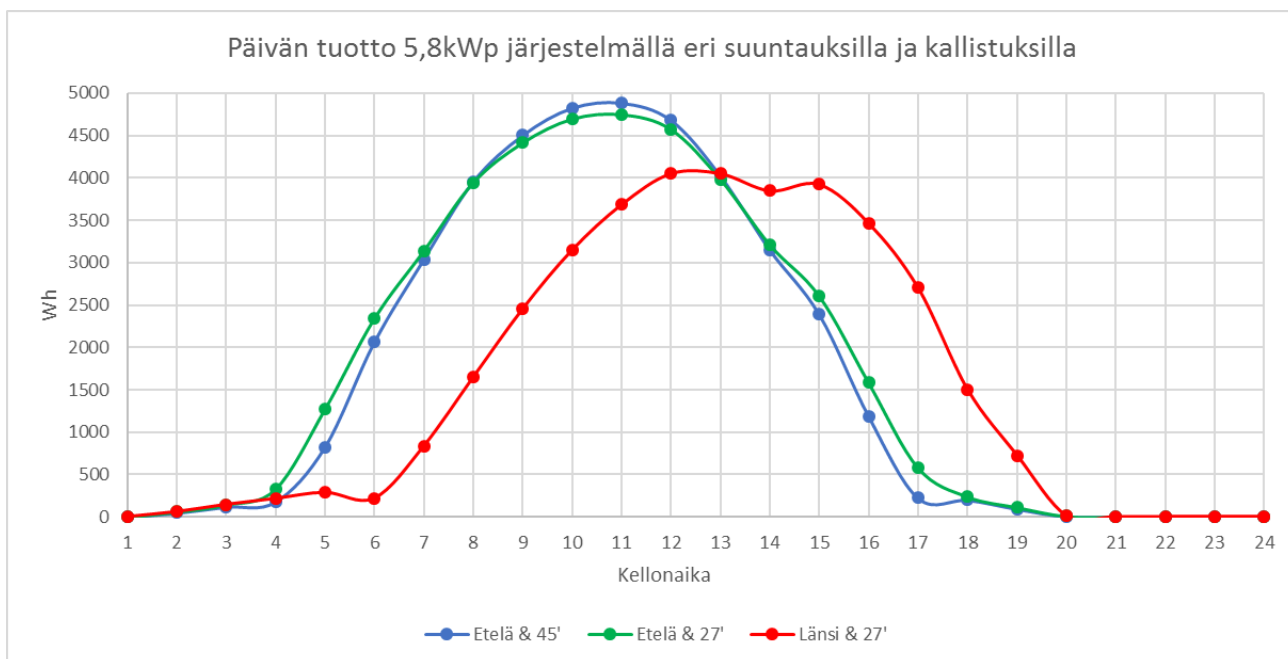
Mahdolliset varjojen aiheuttajat paneelien edestä olisi syytä poistaa. Jo pienillä varjoilla paneelin tuotto voi laskea merkittävästi. Paneelin sisäisen rakenteen vuoksi paneelin lyhyemmän sivun kenno-rivin ollessa kokonaan varjossa, putoaa paneelin tuotto nolnaan. Varjojen aiheuttamaa hävikkiä pyritään pienentämään paneelien ohitusdiodeilla, joilla varjoon jäänyt paneelilohko ohitetaan. Varjostuksien yleisiä aiheuttajia ovat esimerkiksi savupiiput, ilmanvaihtohormit ja kiinteistön lähellä olevat puut tai viereiset rakennukset. Myös huonosti suunniteltu paneelien asettelu voi varjostaa riveissä taempana olevia paneeleita. (ST 52.32, 2019)

3.3.1 Suuntaus ja kallistus Kuopion leveyspiirillä



Taulukko 1, Paneelien suuntauksen ja kallistuksen vaikutus tuotantoon vuositasona. (Tulokset koottu PVGIS-laskurista)

Taulukoissa 1 on vertailtu aurinkovoimalan tuotannon muuttumista eri suuntauksilla ja kallistuksilla vuositasona. Paneelien ollessa 45 asteen kulmassa ja suunnattuna suoraan etelään oli vuoden kokonaistuotanto 5460 kWh, paneelien ollessa 27 asteen kulmassa ja suunnattuna suoraan etelään oli vuoden kokonaistuotanto 5267 kWh. 27 asteen kallistus tuottaa enemmän sähköä kesäaikaan aurinkon sijainnin takia, mutta vähemmän kevät- ja syyskausina johtuen edelleen aurinkon sijainnista. Paneelin tuotto on parhaimmillaan, kun se on kohdistettu osoittamaan suoraan aurinkoa kohden. Vertailussa on mukana myös 27 asteen kulmassa oleva länteen suunnattu voimala.



Taulukko 2, Paneelien suuntauksen ja kallistuksen vaikutus tuotantoon päivämäärällä 15.06. (Tulokset koottu PVGIS-laskurista)

Taulukossa 2 on vertailtu aurinkovoimalan tuotannon muuttumista eri suuntauksilla ja kallistuksilla päivätasolla. Esimerkkipäivämääränä tuloksille on käytetty 15. kesäkuuta vuonna 2016. Etelään suunnatuilla paneeleilla 27 asteen kallistuksella olevat tuottavat aamuisin ja iltaisin enemmän sähköä, kuin 45 asteen kallistuksella olevat. Keskipäivällä tilanne on päinvastainen. Länteen osoitetut paneelit tuottavat sähköä myöhemmin päivällä ja illalla. Kuitenkaan tuottohuippu ei ole yhtä suuri kuin etelään suunnatuilla. Länteen osoitetuilla paneeleilla pystytään kasvattamaan tuotetun sähkön omakäyttöä. Suurin osa asuinkiinteistöjen kulutuksesta sijoittuu kello 16 jälkeiseen ilta-aikaan. Useat invertterit mahdollistavat kahden erillisen paneelikentän yhtäaikaisen käyttämisen, silloin esimerkiksi etelään ja länteen suunnattujen paneelikenttien yhtäaikainen käyttö on mahdollista. Tällöin tuotantoaika kasvaa laajemmaksi, mutta myös hankintakustannukset kasvavat.

4 SÄHKÖMARKKINAT

4.1 Kulutuksesta aiheutuvat kustannukset

Asiakkaalle kulutetun sähkön kustannukset koostuvat kolmesta osiosta, sähkönsiirto, sähkövero ja sähkönmyynti. Vain sähkönmyynnin kustannuksia on mahdollisuus kilpailuttaa. Sähkön hinta voi koostua perusmaksusta ja kulutus pohjaisesta kilowattitunti hinnasta. Sähkönsiirron hinta määräytyy sijainnin perusteella ja sähköveroluokka määräytyy kulutuskohteen mukaan.

Sähkönsiirron hinta määräytyy kuluttajalle sen mukaan, minkä sähköverkkoyhtiön alueella kulutuskohte sijaitsee. Hinta voi olla erilainen jokaisella verkkoyhtiöllä, vaikuttavana tekijänä hintaan on yleensä verkkoyhtiön alueella sijaitsevan verkon laatu. Asiakashintoja valvoo Energiavirasto. Sähkönsiirtomaksulla katetaan muun muassa verkon huoltomaksut, jatkuva verkon toimivuuden valvonta, vikojen korjaus, sähkönsiirrosta aiheutuvat energiahäviöt sekä lainsäädännössä määrätty säävarmuuden kasvattaminen. (Savon Voima, 2020)

Sähkövero on kiinteästi valtakunnallisesti määritetty vero. Sen suuruuteen vaikuttaa sähköveroluokat. Kuluttajat jaetaan kahteen sähköveroluokkaan kulutuskohteeta riippuen. Sähköveroluokkaan 1 kuuluvat yksityistalouksien lisäksi esimerkiksi rakentamis- ja palvelutoiminta, maa- ja metsätalous sekä kaikki muu, jotka eivät kuulu sähköveroluokkaan 2. Sähköveroluokkaan 2 kuuluvat teollisuuden, kaivostoiminnan, louhinnan ja ammattimaisesti kasvihuoneviljelyksiä toteuttavat kuluttajat. Vuodesta 2015 alkaen sähköveroluokan 1 vero on ollut 2,253 snt/kWh (alv 0 %) ja sähköveroluokan 2 vero on ollut 0,703 snt/kWh (alv 0 %). Yli 100 kVA nimellistehoiset mikrovoimalaitokset, kuten aurinkovoimalat ovat myös verovelvollisia myydystä sähköstään, sitä pienemmät voimalaitokset ovat vapautettuja verotuksesta. (Elenia)

4.2 Pientuotannon myynti

Pienvoimalan tuoton ylittäessä kiinteistön kulutuksen, kutsutaan ylijäänyttä ja käyttämätöntä energiaa ylijäämäksi. Jos kuluttajan omistuksessa oleva aurinkosähköjärjestelmä tai muu pienvoimala, on yhteydessä sähköverkkoon, niin käyttämättä jääneen sähkön voi myydä yleiseen sähköverkkoon riippuen verkon haltijasta ja sopimuksesta. Kuormanohjaimen avulla ylijäämän voi ohjata akustoon säilöön. Akuston käyttö on yleistä mökeillä, kun ei olla yhteydessä muuhun sähköverkkoon.

Kuten sähkön ostohinta, niin myyntihintakin on kilpailutettavissa sähköä myyvien yhtiöiden välillä. Jakeluverkkoyhtiöt eivät osta tuotettua sähköä, mutta voivat periä lisämaksua verkkoon syötetystä energiasta korkeintaan 0,07 c/kWh. Yleistä sähkön hinnoittelussa on, että sähkönmyyjät ostavat sähköä samalla arvolla millä sitä myyvätkin. Myytäessä sähköä verkkoon saadaan kuitenkin hyvitettyä vain sähkön arvo, jossa ei ole mukana veroa eikä siirtohintaa. (Motiva 4, 2019)

5 KUORMANOHJAUS

5.1 Kuormanohjaus yleisesti

Kuormanohjauksella tarkoitetaan tässä tapauksessa kiinteistön energian ohjausta. Energiankäyttöä voidaan ohjata pois verkon kulutuspiikeiltä tai monitariffiliittymissä halvemmille käyttötunneille. Kuormanohjaimet kytkevät yleensä isompia kiinteistön kuormia, kuten lämminvesivaraajan, ilmalämpöpumpun tai muun energiaa varaavan laitteen päälle. Esimerkiksi lämminvesivaraajan tapauksessa säilöttävä energiamäärä on tarpeeksi suuri, että suurimman osan vuodesta riittää, että vesi lämmitetään vain kerran päivässä. Yleisesti lämminvesivaraaja kytketään päälle halvemman yösähkön aikaan, mutta kuormanohjauksella vesi voidaan lämmittää päiväaikaan omalla aurinkoenergialla. Tällöin vältetään kulutuspiikin aikaan vedenlämmityksestä, sekä kaksoistariffin käytöstä. Tässä opinnäytetyössä kuormanohjaimia tutkitaan aurinkovoimaloiden yhteydessä.

Aurinkovoimaloiden yhteydessä käytettäessä kuormanohjauksen tarkoitus on hyödyntää omassa voimassa tuotetusta energiasta mahdollisimman suuri osa. Tilanteissa, joissa aurinkovoimala tuottaa enemmän energiaa kuin kiinteistö sillä hetkellä kuluttaa, myydään ylijäämäenergia verkkoon. Kytke-mällä kuorma päälle tällaisena hetkenä tai kun voimalan tuotto on muuten vain suurta, vähennetään tai estetään energian virtaamista verkkoon lämminvesivaraajan tai muiden kytkettyjen laitteiden kapasiteetin rajoissa. Kun energia käytetään itse omassa kiinteistössä, säästetään energialaskussa sähkön hinnan lisäksi myös sähkönsiirron ja verojen osuus. Jos päivällä tuotettu sähkö myytäisiin verkkoon pelkän sähkön hinnalla, ostettaisiin se illalla takaisin suuremmalla hinnalla, tämä ei ole kustannustehokasta.



Kuva 3. Esimerkki hintojen koostumuksesta. (Motiva, 2019)

Kuormanohjaimena voi joissain tilanteissa toimia esimerkiksi kellokytkin. Kellokytkimellä voi määrittää kellonajan, jolloin kuorma kytkeytyy päälle. On mahdollista, että aurinkovoimalan omassa invertterissä on ohjausrele, joka on säädettävissä niin, että kun tietty määrä tuottoa ylittyy, kuorma ohjautuu päälle. Monipuolisimmista erikseen myytävissä kuormanohjausyksiköissä voi yleensä säätää useampia kuormia oman halunsa mukaan aurinkovoimalan tuoton, kiinteistön rajapisteessä kulkevan energian mukaan tai kellonaikojen mukaisesti. Yleiset ohjaustyylit ovat voimalan tuottoon perustuva ja kiinteistön rajapinnassa virtaavan energiamäärän ja suunnan mittaukseen perustuva.

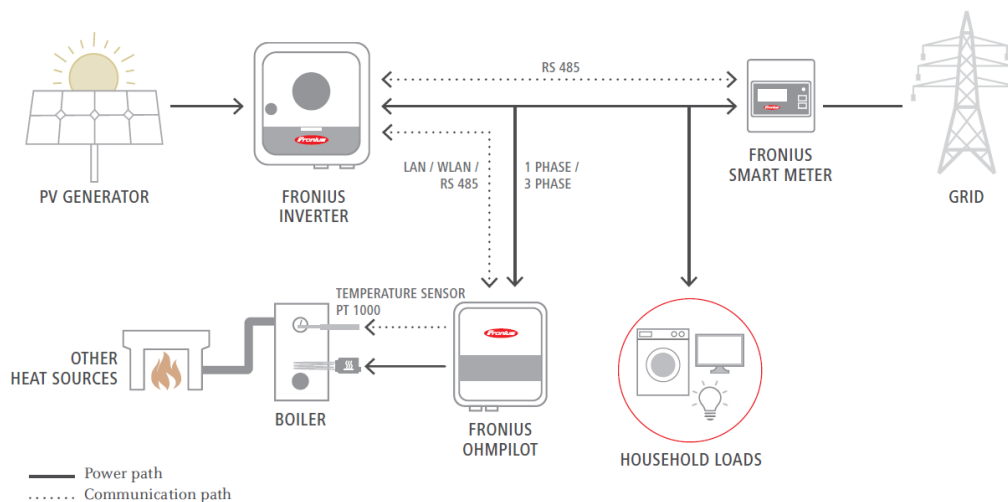
Yleensä kuormanohjaimet käyttävät lämminvesivaraajien omia termostaatteja veden lämpötilan valvontaan, mutta kolmansien osapuolien lämpöantureiden käyttö on mahdollista ja toissijaisten lämmitystavuksien kanssa yleensä pakollista. Tässä opinnäytetyössä on tutkittu tarkemmin erikseen myyviä aurinkojärjestelmän valmistajasta tai rakentajasta riippumattomia kuormanohjausyksiköitä.

5.2 Fronius Ohmpilot

Fronius International GmbH on Itävallassa vuonna 1945 perustettu perheyriitys. Yritys alkoi laturi- ja hitsausteknologiaan perehtyneenä kehittäjänä ja on vuodesta 1992 alkaen ollut mukana myös aurinkosähköjärjestelmien kehityksessä. Fronius on maailmanlaajuisesti tunnettu ja arvostettu yritys teknologian aloilla. (Fronius)

Fronius Ohmpilot on yrityksen suositteloima kuormanohjauskeino. Ohmpilot voitti vuonna 2019 German design award-palkinnon. Ohmpilot vaatii toimiakseen myös Fronius Smart Meter energiamittarin ja Fronius Datamanager 2.0 kommunikaatiokeskuksen. Datamanager sisältyy Froniuksen omiin inverttereihin, mutta kolmansien osapuolien inverttereitä käytettäessä, se on lisättävä, jotta Ohmpilot toimisi. (Fronius Datamanager, 2019)

CONFIGURATION DIAGRAM



Kuva 4. Kaavio Ohmpilotin kytkennästä vaadittavine sivutuotteineen. (Fronius, 2019)

Ohmpilot on suunniteltu erityisesti lämmityslaitteiston, kuten lämminvesivaraajan ohjaukseen. Jos ohjattavaa laitetta halutaan vaihtaa, tulee muutos tehdä fyysisesti asennukseen. Ohmpilot toimii portaattomalla ohjauksella ja kykenee ohjaamaan kuormia kolmivaiheisesti jopa yhdeksään kilowattiin asti, yksivaiheisena ohjattava teho rajoittuu kolmeen kilowattiin. Ohmpilotilla on mahdollista ohjata myös toissijaista laitetta, kuten lämmitintä. Toissijainen ohjaus tapahtuu normaalilla relelähdöllä. (Ohmpilot Operating Instructions, 2019)

Froniuksen Smart Meter energiamittari kommunikoi Ohmpilotin kanssa Datamanagerin kautta. Kommunikaatioon on käytettävissä WLAN-yhteys tai RS 485 väyläliitäntä. Energian virratessa kiinteistöstä verkkoon päin, ohjaa Ohmpilot tarvittavan määrän kuormaa päälle, tavoitteena pitää kiinteistön ja verkon välillä kulkeva energia nollapisteessä. (Ohmpilot Operating Instructions, 2019)

Ohmpilotin konfigurointi tapahtuu verkkoselaimella Froniuksen antaman IP-osoitteen kautta, vaatimuksena, että konfigurointiin käytettävä tietokone on yhdistetty Ohmpilotin luomaan LAN- tai WLAN-verkkoon. Konfigurointikäyttöliittymässä käyttäjän tulee syöttää ohjattavan laitteen vaihemäärä ja teho. Yleinen maksimilämpötila ja valittujen kellonaikojen mukaiset minimilämpötilat ovat täysin säädettävissä. Jos vesi jäähtyy minimilämpötilan alle, eikä ylijäämä energiaa ole käytettävissä, ottaa Ohmpilot tarvittavan energian verkosta. Legionellabakteerin estoon on määritettävissä tunti määrä, jonka kuluttua käyttöveden lämpötilaa nostettaisiin hetkellisesti lämpötila-asteelle, jossa bakteeri ei selviä. (Ohmpilot Operating Instructions, 2019)

The screenshot shows the 'GENERAL SETTINGS' page for the Ohmpilot device. The interface is divided into sections for 'HEATER 1' and 'HEATER 2'. The top navigation bar includes 'Fronius', 'OHMPILOT', 'GENERAL', 'NETWORK', and 'EN'.

HEATER 1 Settings:

- Designation: Ohmpilot
- Mode: Manual
- Consumer: Three-phase
- Power (W): 3000
- Temperature sensor present:
- Adapt day curve:
- Legionella prevention (h): 168
- Maximum temperature: 60 °C
- Time from: 03:00, 05:00, 16:00, 18:00
- Time to: 05:00, 16:00, 18:00, 03:00
- Minimum temperature: 45 °C, 10 °C, 45 °C, 10 °C

HEATER 2 Settings:

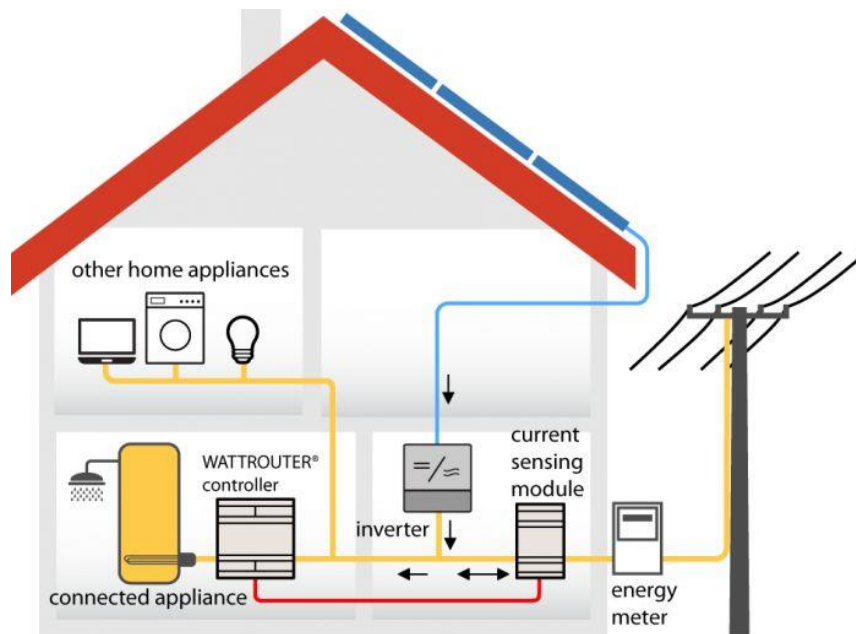
- Consumer: Off

Kuva 5. Kuvakaappaus Ohmpilotin konfigurointialustasta. (Fronius, 2019)

Fronius tarjoaa asiakkailleen myös mobiilisovellusta Microsoft, Android ja iOS käyttöliittymille. Sovelluksesta pystyy seuraamaan kulutus- ja tuottohistoriaa ja nykyarvoja. Sovellusta ei voi käyttää Ohmpilotin konfiguroimiseen, mutta sen kautta pystyy siirtymään konfigurointi sivulle yksinkertaisemmin. (Fronius)

5.3 SolarControls WattRouter MX

SolarControls on tšekkiläinen kiinteistön ohjauksiin erikoistunut yritys. He tarjoavat erityisesti uusiutuvien energianlähteiden yhteyteen asennettavia kuormanohjauksia. Tavoitteena energian kulutuksesta aiheutuvien kustannuksien vähentäminen.



Kuva 6. Kaavio komponenttien asettelusta kiinteistön verkkoon. (solarcontrols.cz 2010)

WattRouter MX on yksi SolarControlsin suosituimmista tuotteista, jonka ensimmäinen versio julkaistiin jo vuonna 2010. WattRouteria pystytään käyttämään kuormanohjauksessa monipuolisesti. Se on suunniteltu asennettavaksi helposti jo olemassa olevien pienvoimalajärjestelmien rinnalle. WattRouter koostuu kahdesta eri moduulista, virtamuuntimesta ja säätäjästä.

Käytettävissä on kuusi SSR-relelähtöä ja kaksi normaalia relelähtöä. SSR-relelähdöt mahdollistavat käytännössä portaattoman kuormanohjauksen. WattRouterin ohjaus perustuu virran ja jännitteen kolmivaiheiseen ja reaaliaikaiseen mittaukseen kiinteistön liittymispisteen kaapelista. Näistä laskeamalla tehon suunta ja suuruus, ohjaa WattRouter kuormaa päälle ja pois pyrkien pitämään verkosta ostetun ja verkkoon myydyn energian määrän mahdollisimman lähellä nollaa. Näin kaikki kiinteistössä kulutettu energia olisi omatuottoista. (WattRouter MX manual, 2020)

Kuormanohjaimen konfigurointi on mahdollista tietokoneella, tabletilla tai muulla mobiililaitteella. Konfigurointi tapahtuu verkkoselaimessa tai WattConfig sovelluksessa LAN- tai WLAN-yhteydellä tai USB yhteyden välityksellä. WattConfig sovellus on tarjolla Android, iOS, MAC, Linus ja Windows käyttöliittymille. Jokaiselle relelähdölle on aseteltavissa omat asetukset. Lähdöt ovat priorisoitu siten, että seuraava lähtö aukeaa vasta, kun edellisen lähdön käyttö on 100 % ja ylijäämäenergiaa pienvoimalasta huomataan. SSR-relelähtöjen asetuksiin tulee syöttää sen perässä olevan kuorman suuruus kilowatteina, mitä vaiheita se käyttää ja onko säätö portaattomasti vai ohjataanko sinne täysi kuorma. Normaleja relelähtöjä ei voi ohjata portaattomasti, ne avautuvat vasta kun tietty määrä

ylijäämäenergiaa on saatavilla. Asetuksista on säädettävissä releen avautumis- ja sulkeutumisiivieet. (solarcontrols.cz)

The screenshot displays the WattConfig software interface, version 1.6.7.39, showing the configuration for six SSRs and two relays. The interface is divided into several sections:

- Top Bar:** Includes connection status (Disconnected), connection type (USB/COM), and buttons for Connect, Disconnect, Configure connection, Read, Write, Open, Save, Reset to defaults, and Exit.
- Phase Power:** Shows power on phase L1, L2, and L3, all at 0,00 kW. Total power sum is also 0,00 kW. Voltage at L1 is 0 V.
- Error and Info Status:** Lists various error conditions like Missing voltage L1, Wrong voltage value L1, Temperature sensor(s), DC source overload, Low tariff, Summer time, Output test is active, and CombiWATT is active.
- AN/DI Input Status:** Shows four digital inputs (ANDI1-4) with Power: 0,00 kW and Energy: 0,00 kWh.
- Digital Temp. Sensors:** Shows four digital temperature sensors (D/Q1-4) with a reading of 0,0 °C.
- Configuration / object name:** Includes fields for Sunrise today at (0:00), Day of week (Monday), Serial number (00000000), and Firmware version.
- Output Settings:** A grid of settings for SSR 1 through SSR 6 and Relay 1 through Relay 2.
 - SSR 1-3:** Function: proportional; Label: LVV 1-v, LVV 2-v, LVV 3-v; Priority: first; Phase: L1, L2, L3; 3f mode: ---; Connected power: 1,00 kW; Maximum power: 1,00 kW; CombiWATT: checked; full power: checked.
 - SSR 4-6:** Function: proportional; Label: ---; Priority: not used; Phase: L1; 3f mode: ---; Connected power: 0,50 kW; Maximum power: 0,50 kW; CombiWATT: unchecked; full power: checked.
 - Relay 1:** Function: relay; Label: Ilmalampo; Priority: second; Phase: L1; 3f mode: ---; On-delay time: 15 s; Off-delay time: 120 s; CombiWATT: checked; inverted: unchecked.
 - Relay 2:** Function: relay; Label: ---; Priority: not used; Phase: L1; 3f mode: ---; On-delay time: 15 s; Off-delay time: 15 s; CombiWATT: unchecked; inverted: unchecked.

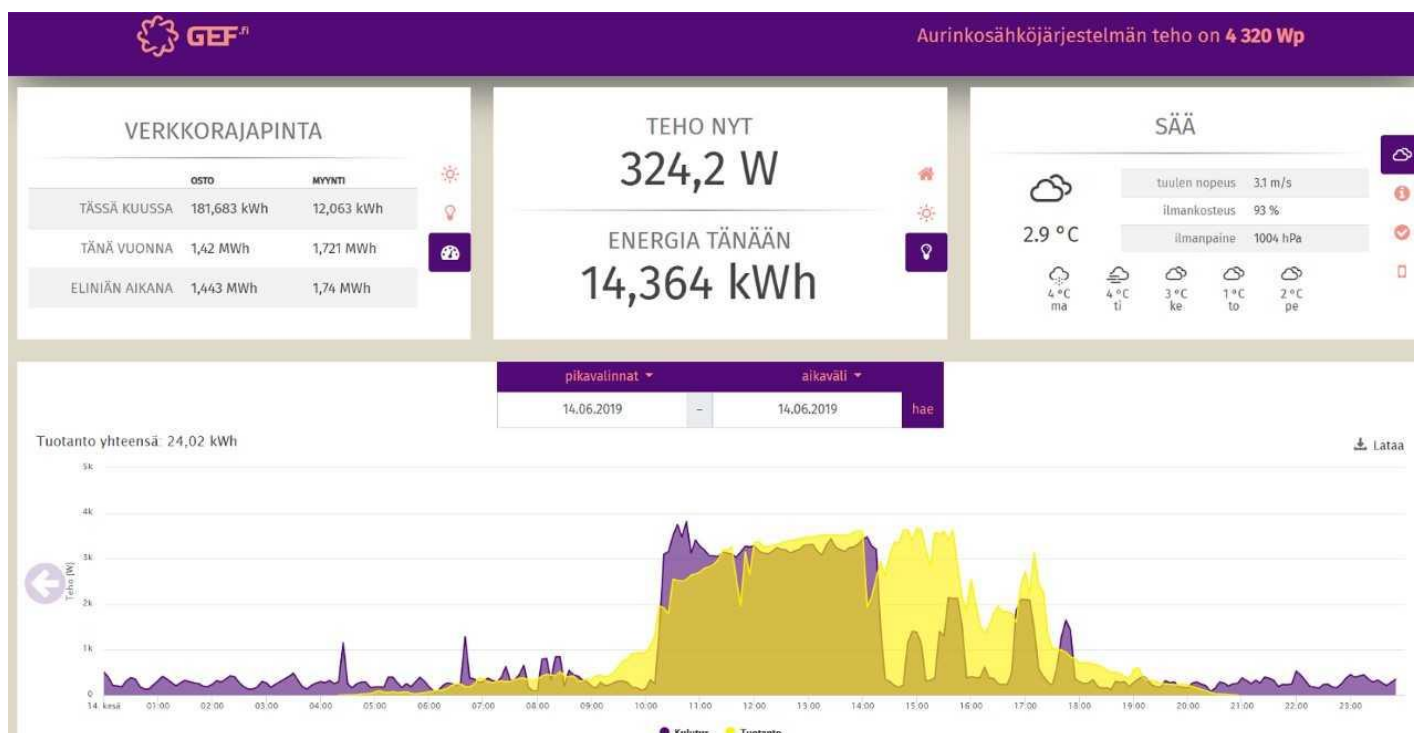
Kuva 7. Kuvakaappaus WattConfig sovelluksesta. (18.02.2020)

WattRouteriin pystyy asettamaan myös kellonaikojen mukaan erilaiset ohjaukset. Tällä asetuksella pystytään esimerkiksi asettamaan minimilämpötilat käyttövedelle haluttuihin kellonaikoihin. Lisäksi pystytään myös lämmittämään käyttövesi päivällä vain aurinkosähköllä, ja yöaikaan ylläpitämään veden lämpöä verkkovirralla. Tämä mahdollistaa kaksoistariffin hyödyntämisen.

5.4 GEF Control

GEF, eli GreenEnergy Finland Oy, on Suomalainen Lappeenrannassa vuonna 2010 perustettu aurinkosähköön ja energianhallintaan erikoistunut yritys. Isoimpia referenssejä heillä on muun muassa Egyptissä Tepcon kaupungissa 1034 kWp aurinkovoimala ja Helsingissä Helenin hiihtohallissa 853 kWp aurinkovoimala. (GreenEnergy Finland)

GEF tarjoaa asiakkailleen GEF Vision™ palvelukokonaisuutta. Siihen kuuluvia komponentteja ovat muun muassa GEF Vision kulutuksenseuranta, GEF Control kuormanohjaus ja GEF kulutusmittaus verkkorajapinnan tehon suunnan valvontaan. Näiden perustana on myös pakollinen GEF Reader -yksikkö. Valvontaan on saatavilla GEF Vision sovellus, jota voi käyttää mobiililaitteilla Android ja iOS käyttöjärjestelmissä sekä nettiselainversiota kaikilla nettiselaimen omaavilla laitteilla. Ostettavana lisäpalveluna käyttöliittymä on muokattavissa esimerkiksi yrityksen ilmeen mukaiseksi aulanäyttö esitykseksi. GEF Vision™ Basic tuotannonvalvontajärjestelmä on ilmainen, mutta GEF Control sisältää vuosimaksun 40 euroa, sillä poikkeuksella, että ensimmäinen vuosi asennuksesta on ilmainen. (GreenEnergy Finland, 2020 sekä aurinkosahko.net)



Kuva 8. Esimerkkikuva GEF Vision käyttöliittymästä.

Kuvassa 8 nähtävässä käyttöliittymässä on nähtävillä verkkorajapinnassa kulkeva energia, kiinteistön nykyinen ja vuorokauden aikainen energia, nykyinen ja ennustettu sää ja alalaidan graafissa aurinkovoimalan tuotto keltaisella ja kiinteistön kulutus violetilla. Graafista selkeää GEF Controlin käyttämä kuormanohjaustapa verkkoon myytävän ylijäämäenergian vähentämiseksi. Kun voimalan tuotto ylittää 1 kilowatin, niin ohjain kytkee lämminvesivaraajan kontaktorin kiinni. Kontaktorin sulkeutuessa kiinteistön kulutus kasvaa lämminvesivaraajan tehon verran, esimerkiksi kolme kilowattia. Kontaktori on ohjattuna kiinni niin kauan, kunnes termostaatti estää veden yllämmittämisen tai voimala ei tuota enää tarpeeksi, voimalan tuotto saa pudota 100 wattia 1 kilowatin alle ennen kuin

kontaktori avataan ja minimi kiinnioloaika kontaktorille on 15 minuuttia. Kontaktori on ohjattuna päivässä minimissään 6 tuntia päälle legionellabakteerin torjumiseksi. (GEF Control logiikkakaavio, 2018.)

5.5 Kuormanohjaustavat

Valituissa kuormanohjausjärjestelmissä oli ohjaustapana portaaton ohjaus, jonka voi toteuttaa esimerkiksi SSR-releillä tai triaceilla ja toisena tapana kontaktorin on/off ohjaaminen ohjausreleellä. SolarControlsin WattRouter MX ja Froniuksen Ohmpilot käyttävät portaatonta ohjaustapaa ja GEF Control perustuu kontaktorin ohjaamiseen releellä. Kummallakin ohjaustavalla kulutettu kokonaisenergiämäärä pysyy samana, vain kulutusajankohdat muuttuvat.

Hyvää portaattomassa ohjaustavassa on, että ylijäämäenergiaa syntyessä, voidaan ohjata kuormaa päälle juuri sen verran, että kiinteistön liittymäpisteessä energia ei virtaa kiinteistöön eikä sieltä pois. Vesi lämpenee sitä nopeammin mitä enemmän ylijäämäenergiaa tuotetaan, jos vettä ei voida jonain hetkenä lämmittää, vaikka ylijäämää olisikin, voidaan energia ohjata muuhun käyttöön ohjaimen määrittämällä tavalla. On/off ohjaustavalla vesi lämpenee nopeammin, koska kaikki lämmitysteho kytketään päälle heti, mutta lämmittäessä saattaa olla tarve ostaa osa energiasta edelleen verkosta ja veden lämmittyä nopeammin myydäänkin energiaa aikaisemmin ja enemmän verkkoon. Tässäkin tapauksessa kuitenkin voidaan energiaa ohjata muuhun käyttöön kuormanohjaimen määrittämällä tavalla. Portaattoman ja on/off ohjaustapojen hyödyt on esitelty opinnäytetyön liitteessä 1.

5.6 Vertailu kuormanohjaimien välillä

Jokaisella kolmesta esitellystä kuormanohjaimesta on omat ominaisuudet. Vertailussa lähteinä on käytetty kuormanohjaimien konfiguraatio- ja käyttösovelluksia, valmistajien ja jälleenmyyjien internet sivuja sekä käyttöohjeita. Yksi vertailtava aihe niiden välillä on, että mitä on tehtävissä, kun lämminvesivaraaja ei ota enää vastaan energiaa. WattRouter MX on tässä monipuolisin. Sillä voi ohjata myös toista kolmevaiheista laitetta portaattomasti yhtä aikaa lämminvesivaraajan kanssa tai vasta sitten kun vesi on jo lämmitetty. WattRouterissa on myös kaksi ohjausrelettä, joille voi määrittää muista releistä riippumattomat toiminnot. Kaikkien releiden ohjauksen voi myös määrittää kellon-aikojen mukaan. Froniuksen Ohmpilotilla on käytettävissä ohjaukseen yhtä ylimääräistä relelähtöä. Toissijaiselle lähdölle on määritettävissä käynnistys ja sammutus hetket tuoton, ajan ja kulutuksen mukaan. GEF Controlissa on kolme relelähtöä. Sillä on siis mahdollista ohjata kolmea kontaktoria erikseen. Relelähtöjä on neljä, jos käytetään langattomasti yhdistettyä Advantech WISE -moduulia. Releet ovat ohjattavissa tuoton mukaan sekä niille on määriteltävissä minimi päälläoloajat per vuorokausi.

Fronius ja GEF ovat hyvin saatavilla Suomessa. Jälleenmyyjiä molemmille on useita ja valmistajat ovat tunnettuja myyjien, ostajien ja asentajien keskuudessa. SolarControlsin WattRouterilla ei ole

maahantuojaa Suomessa. Tuotteen saa tilattua suoraan valmistajan kautta Tšekistä. Maahantuojan puutteen vuoksi ostajan olisi kustannustehokkaampaa tilata tuote itse ja tilata pelkkä asennus urakoitsijalta. Tuote ei myöskään ole kovin tunnettu Suomessa, joten sen löytäminen vaatii asiakkaalta todennäköisesti omatoimista asiaan perehtymistä.

Pakollisia asennettavia komponentteja WattRouterissa on kaksi. Niitä ovat virtamuuntajat kiinteistön syöttöjohtojen ympärille sekä itse kuormanohjain. Portaattomasti ohjattavan laitteen syöttö tulee kytkeä suoraan kuormanohjaimen. WattRouter ei tarvitse yhteyttä invertteriin toimiakseen mikä helpottaa asentamista huomattavasti. Ohmpilotissa komponentteja on useampia. Virtamittari kytetään syöttöjohtoihin eli toisin kuin WattRouterissa, täytyy syöttöjohdot kytkeä uudestaan. Kuormanohjaimen asennus ei poikkea WattRouterista, mutta kuormanohjaimen ja invertterin Data-managerin väliin on asennettava väyläyhteys. Jos invertteri ei ole Froniuksen oma on datamanagerkin asennettava erikseen. Kuormanohjain ja invertteri eivät välttämättä sijaitse lähekkäin, jolloin väyläyhteyden asennus vaatii aikaa ja suunnittelua. GEF Controlin asentaminen vaatii Readerin ja Visionin toimiakseen. Readerin on oltava väyläyhteydessä invertteriin ja Controlin on oltava yhteydessä Readeriin. Yhteydet voivat olla Wifi-yhteyksiä. Control yksiköstä täytyy asentaa lämminvesivaraajan kontaktorille ohjausjohdin. Arviot asentajaystävällisyydestä eivät perustu kokemukseen vaan ovat komponenttien määrän ja laadun perusteella tehtyjä.

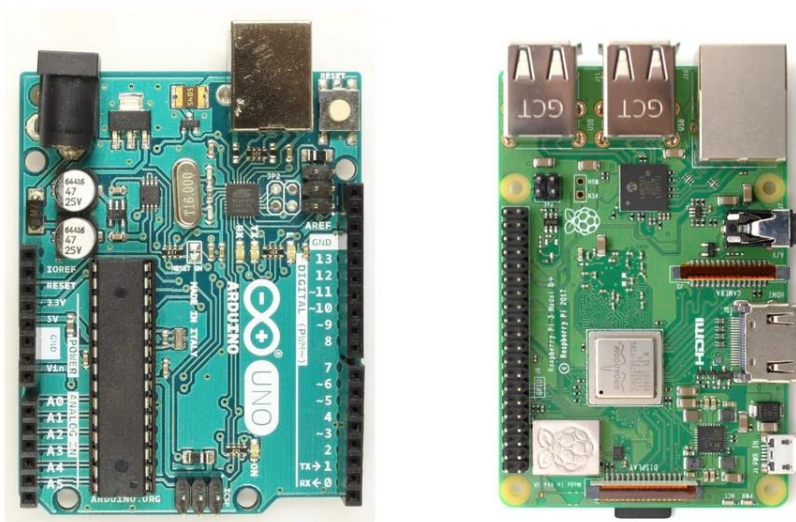
WattRouterin valvonta- ja konfigurointisovellus sisältää informaatiota paljon numero muodossa ja ulkoasu on klassinen ja yksinkertainen. Sovelluksessa on nähtävillä nyky- ja historiatiedot kulutuksesta, mutta tuoton informaatio ei ole saatavilla ilman erikseen asennettua mittausta. Ohmpilotin sovellus omaa modernin ulkoasun ja sisältää informaatiota myös invertterin tuotosta. Informaation käsittely on graafisempaa, mutta numeroarvot ovat myös saatavilla. GEF Vision sovellus on Ohmpilotin kanssa samantyylinen. Molemmat ovat suunniteltu asiakkaalle nopeasti informoiviksi ja helppokäyttöisiksi ja sisältävät historiatietoja kulutuksesta sekä tuotosta.

Usein asiakkaan näkökulmasta sijoitusten kannattavuutta mitataan takaisinmaksuajan suhteen. Takaisinmaksuajat kuormanohjaimille on laskettu vertaamalla kuormanohjaimen hankinta- ja asennushintaa kuormanohjaimen aiheuttamaan rahansäästöön. Arvioiduiksi takaisinmaksuajoiksi kuormanohjaimille tuli 10 vuotta WattRouterille, 18 vuotta Ohmpilotille ja 17 vuotta GEF Controlille. Jos asiakkaalla ei ole Froniuksen invertteriä, Ohmpilotin takaisinmaksuaika kasvaa kaksi vuotta ja jos GEF Controlin 40 € vuosimaksu otetaan huomioon, niin sille jää takaisinmaksuajaksi 24 vuotta. WattRouter erottuu muista selkeästi lyhyemmällä takaisinmaksuajallaan.

6 ITSE RAKENNETTAVA KUORMANOHJAIN

Yhtenä opinnäytetyön tavoitteista oli selvittää mitä oma rakenteinen kuormanohjain vaatisi ja kuinka sellaisen voisi toteuttaa. Ohjainta ei ole tämän työn yhteydessä rakennettu, on vain selvitetty kuinka se teoriassa voisi onnistua. Selvittelyn suunnaksi valikoitui jo olemassa olevien kuormanohjaimien hyväksi todetut toteutuskeinot. Periaatteena siis erityyppiset releet, joita ohjataan mikro-ohjaimella. Kyseessä oleva tehtävä vaatii kuormanohjaimelta luotettavaa toimintaa kellonajasta ja voimalan tuotosta riippumatta, muunlaisilla ohjaustyyliellä, kuten sellaisilla, joissa ei ole digitaalista ohjainta mukana, järjestelmän vaatimukset eivät olisi välttämättä toteutuneet tai olisivat olleet hankalampia toteuttaa.

Tutkittavina mikro-ohjaimina olivat Raspberry Pi ja Arduino. Raspberry Pi on Linuxiin pohjautuvaa Raspbian käyttöjärjestelmää käyttävä mini-pc. Käyttö- ja koodausmahdollisuudet ovat hyvin monipuoliset aloittelijallekin tutun oloisessa pc-ympäristössä. Arduino on analogisempi ja yksinkertaisempi versio mikro-ohjaimesta. Arduino koodataan Arduino nimisellä koodauskielellä, kieli pohjautuu C ja C++ kieliin. (Arduino.cc ja Raspberry.org)



Kuva 9, Arduino vasemmalla, Raspberry Pi oikealla (All3DP, 2019)

Syötettävän koodin tulisi sisältää aurinkovoimalan tuoton huomiointi tai verkkorajapinnassa kulkevan energian huomiointi, riippuen haluaako ohjauksen pohjautuvan voimalan tuottoon vai ylijäämään. Näiden lisäksi ainakin veden lämpötilan valvonta oli huomioitava asia. Virtojen mittaukseen käytettävät virtamuuntajat antavat yleisesti ulos analogista 0-5 voltin DC signaalia. Kontaktoria ohjaaville tai ssr-releille löytyy pienimmillään 0-5 tai 0-10 voltin analoginen ohjaussignaali mahdollisuus.



Kuva 10, AUBER ssr-rele (Auber, 2014)

Kuvassa 10 on esitelty ssr-rele. Ssr-releellä muokataan sen läpi kulkevaa jännitettä. Läpi kulkeva jännite kytketään output liittimiin. Ohjaus tapahtuu 0-5 voltin DC jännitteellä input liittimistä. Kun DC jännite on 0 voltia, ei rele päästä output puolelle kytketystä jännitteestä yhtään läpi. Kun ohjausjännite on 5 voltia, päästää rele 100 % output jännitteestä lävitseen. 0-5 voltin ohjausjännitteellä on suora yhteys 0-100% output jännitteeseen. Ssr-rele käyttää ohjaukseen puolijohdelaitteita, kuten triacceja, tyristoreja tai transistoreja. Esimerkiksi triac "leikkaa" 2,5 voltin ohjausjännitteellä siniaal- tomuotoisesta jännitteestä 50 % jännitteen puoliallostasta pois. (Ato, 2014)

Releiden ohjaukseen käytettävää analogista signaalia ei suoraan ole saatavilla Arduinosta tai Raspberrystä. Kustannustehokkaampaa on hankkia muunnin digitaalisesta signaalista analogiseen signaaliin, kuin käyttää releitä, jotka olisivat yhteensopivia digitaalisen ohjauksen kanssa. Virtamuuntajien analogista signaalia Arduino pystyy lukemaan, mutta Raspberry ei. Raspberryn on liitettävissä ylimääräinen kortti, jolla analogisia sisääntulo signaaleja voi lukea. Myös analogisille lähdoille on saatavilla ylimääräinen kortti Raspberryn.

Kustannustehokkaimmaksi ja tuottavimmaksi järjestelmäksi ilmeni Arduino mikro-ohjain yhdistettynä ssr-releisiin ja kiinteistön liityntäpisteen energiamittaukseen. Näiden komponenttien yhdistelmällä ohjaustapa on portaaton. Järjestelmä maksaisi itsensä takaisin rakentajalle kohtalaisen nopeasti, jälleenmyytynä takaisinmaksuaika olisi verrattavissa tässä opinnäytetyössä tutkittuun WattRouter MX ohjaimen. Tähän järjestelmään ei sisälly valvontanäyttöä tai muuta informaatiolähdettä, tällainen olisi toteutettavissa, mutta lisäksi vaaditun kehitystyön ja myyntisumman määrää. Informaatiopuutteen takia käyttäjälle laitteen toiminta olisi todennettavissa pelkästään laskutusta seuraamalla ja toteamalla muutos ostetuissa ja myydyissä energiamäärissä aikaisempiin arvoihin verraten.

7 LASKENNAN TAUSTA JA TULOKSET

Työssä laskettavana oli kuormanohjaimien tuottama hyöty kiinteistössä, jossa on jo aurinkovoimala asennettuna ja käytössä. Laskennan tuloksiksi haettiin kuormanohjaimien takaisinmaksuaikoja sekä muutosta verkkoon myydyissä energiamäärissä. Laskentamateriaalina käytettiin valitun kiinteistön kulutustietoja ja PVGIS aurinkovoimalalaskurin antamia tuottotietoja. Kulutuksen historiatiedot hankittiin vappi.fi sivustolta, joka on energiayhtiö Väreelle asiakkaille suunnattu energianseuranta ohjelma ja PVGIS tiedot hankittiin Euroopan komission sivustolta.

Laskelmissa otettiin huomioon arviot rahanarvon muutoksesta, sähkön ja sähkönsiirron hintojen kasvusta sekä paneelien tuotantotehon putoamisesta. Laskelmissa kuormanohjaukseen on simuloitu pelkästään lämminvesivaraajan ohjaus. Lämminvesivaraajan aiheuttama kulutuspiikki oli kohde kiinteistössä kello 21 alkaen. Simuloitu kulutuksen muutos on manuaalisesti siirretty ilta-ajasta aurinkovoimalan tuottoajalle kuormanohjaimien toimintaperiaatteiden mukaisesti.

Valitun kiinteistön vuosikulutus vuonna 2016 oli 18607,5 kWh. Talo oli 117 lämpimän neliömetrin omakotitalo sähkölämmityksellä, varaavalla puulämmitteisellä leivinuunilla sekä takalla ja lämminvesivaraaja oli kolmivaiheinen kolmen kilowatin Kaukora VLM 300S.

Aurinkovoimalan koko valittiin usean valmiin internetlaskurin perusteella. Laskureiden antamien arvojen keskiarvoksi tuli 5,8 kWp järjestelmä ja sitä käytettiin laskelmissa. 5,8 kWp järjestelmän vuosituotanto PVGIS laskurin mukaan olisi noin 5101,6 kWh. Paneelien tehohäviönä käytettiin yleisimpien paneelien ilmoitettujen tehohäviöiden keskiarvoa. PVGIS laskuri ei ota huomioon esteitä, kuten lunta. Jotta laskurin ilmoittamat tuotantoarvot pitäisivät paikkansa, tulisi paneelit pitää puhtaana lumesta, jäätystä ja muusta liasta. Lumen huomioon ottamiseksi joulukuun, tammikuun ja helmikuun tuotanto muokattiin nollassa.

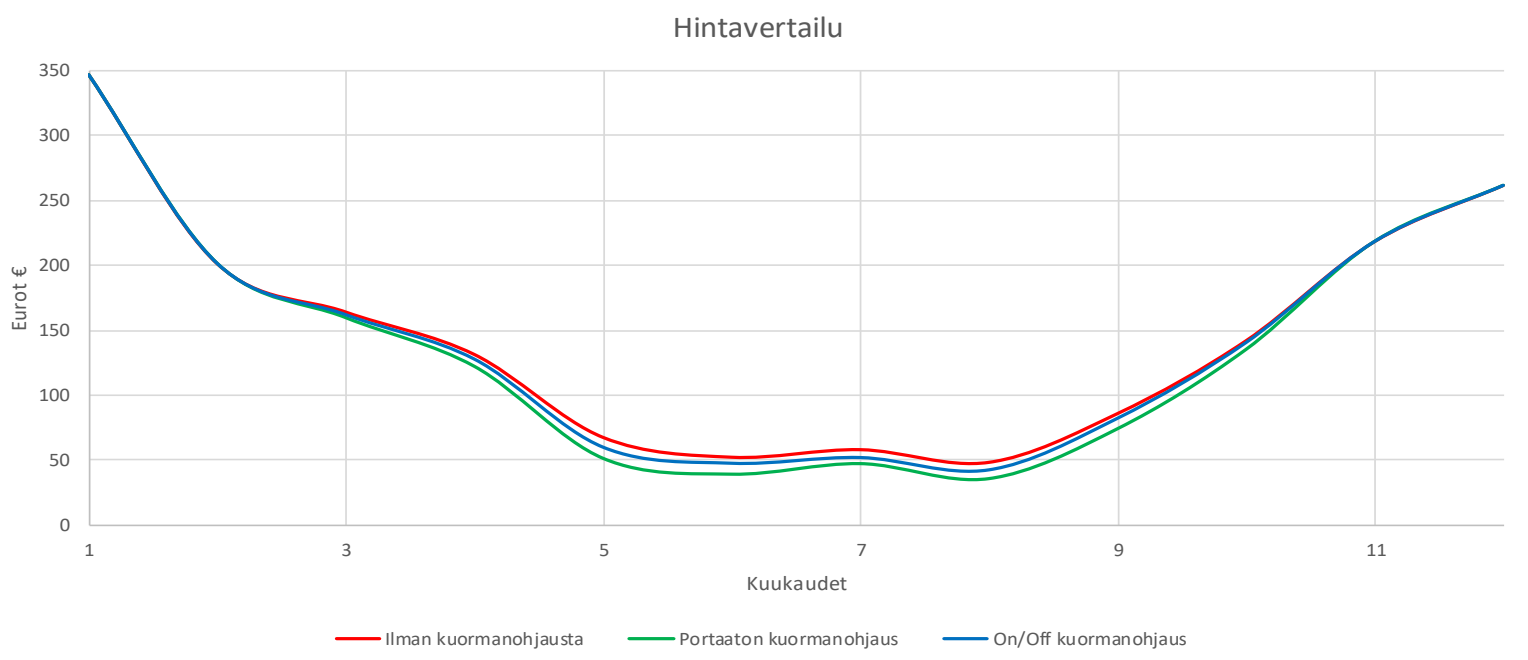
Tuoton ja kulutuksen historiatiedot taulukoitiin Microsoft Excel sovelluksessa ja niihin tehtiin manuaalisesti muutos kuormanohjaimien toimintakuvauksien perusteella ja siten, että kiinteistössä kulutettu energiamäärä säilyi samana. Näin vain energian kulutuksen ajankohta muuttui ja aurinkovoimalan aiheuttaman ylijäämä energian myynti verkkoon väheni.

7.1 Kuormanohjaimen tuottama hyöty kiinteistössä

Kuormanohjaimen muuttaa kulutuspiikin paikkaa ja tasoittaa kulutuskäyrää, ja siitä syntyy kuluttajalle selkeitä hyötyjä. Aurinkovoimalan omakäyttöasteen noustessa säästyy kuluttaja energian ostamiselta verkosta. Kun energiaa ei osteta verkosta tai myydä verkkoon vaan käytetään itse, saa siitä selkeää taloudellista hyötyä. Kulutuksen siirtyminen pois ilta-ajan kulutuspiikiltä helpottaa myös verkkoyhtiöitä verkon kuormankeston valvonnan suhteen. Myös ylijäämäenergian kuluttaminen tuotantopisteessä helpottaa energiayhtiöitä, koska se ehkäisee verkon jännitteen nousemista tuotantopiikkien aikaan (Repo ym. 2003). Kuormanmuutokset sekä portaattoman ja on/off ohjaustapojen hyödyt on esitelty tämän opinnäytetyön liitteessä 1 graafisena kuvaajana sekä rahallisena hyötynä satunnaisten viikkojen ajalta.

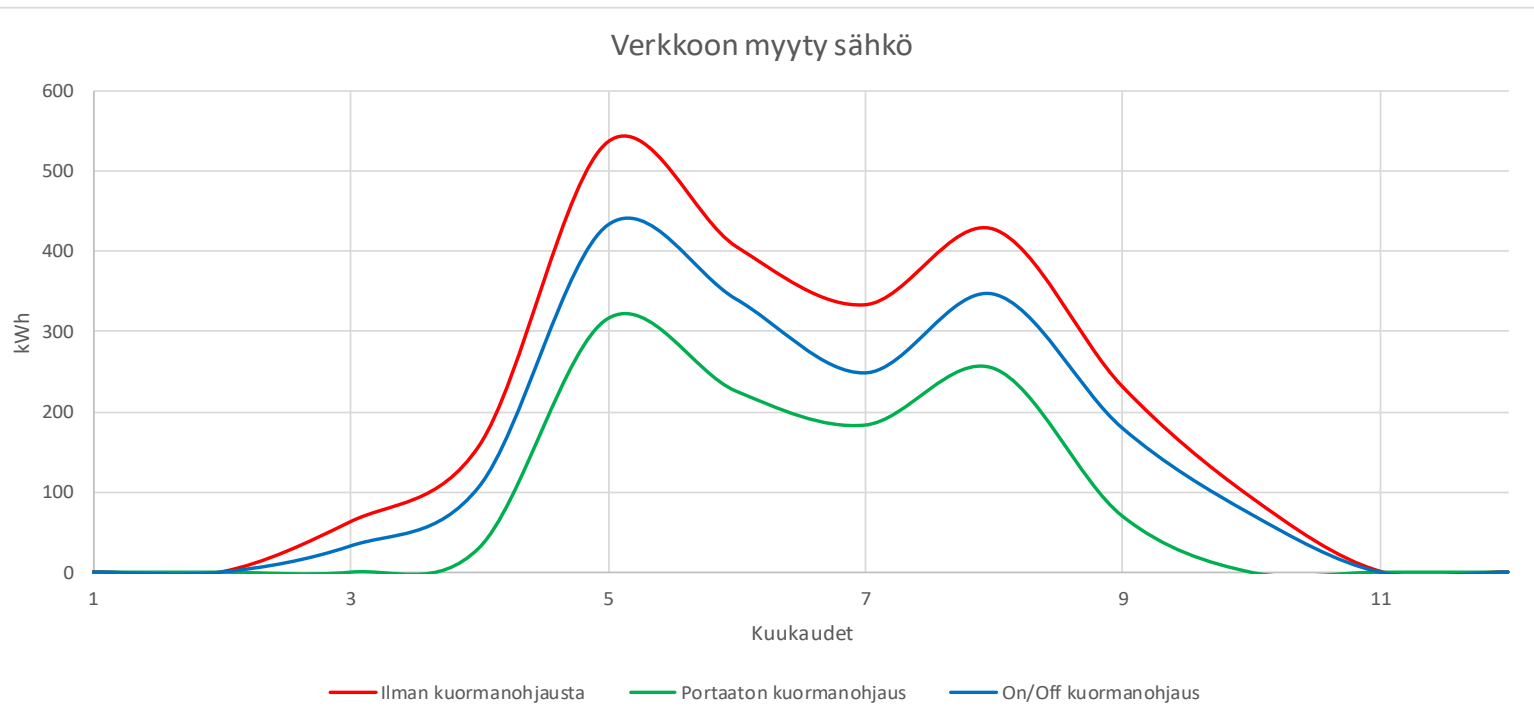
Kuvissa 11 ja 12 on esitelty kuvaajat tilanteista, joissa yhdessä kiinteistöön on asennettu vain aurinkovoimala, toisessa aurinkovoimalan yhteydessä on myös on/off kuormanohjaus ja kolmannessa aurinkovoimalan yhteydessä on portaaton kuormanohjaus. Esitellyistä kolmesta kuormanohjaimesta GEF Control noudattaa on/off kuormanohjaustapaa ja Ohmpilot sekä WattRouter noudattavat portaattonta kuormanohjaustapaa.

Pelkällä aurinkosähköjärjestelmällä maksettavaksi jää:	1 784.14 €	
On/Off kuormanohjauksen kanssa maksettavaksi jää:	1 746.85 €	2.09 % Pienempi kuin normaalisti
Portaattomalla kuormanohjausjärjestelmällä:	1 695.49 €	4.97 % Pienempi kuin normaalisti



Taulukko 3. Kuvaaja kustannusvertailusta ilman kuormanohjausta, on/off ja portaattomalla ohjauksella.

Pelkällä aurinkosähköllä verkkoon myyty kWh:	2249.743	
On/Off kuormanohjauksen kanssa myyty kWh:	1756.517	21.92 % Pienempi kuin normaalisti
Portaattomalla järjestelmällä myyty kWh:	1077.074	52.12 % Pienempi kuin normaalisti



Taulukko 4. Kuvaaja verkkoon myydystä energiasta ilman kuormanohjausta, on/off ja portaattomalla ohjauksella.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitelty on/off ja portaattomien kuormanohjaimien hyöty ja ero toisiinsa välillä. On/off kuormanohjaimella sähköä myydään vuodessa verkkoon noin 22 % vähemmän kuin ilman kuormanohjausta ja sähkönkäytön kustannuksissa säästetään noin 2 % vuodessa. Portaattomalla kuormanohjaimella sähköä myydään vuodessa jopa 52 % vähemmän verkkoon kuin normaalisti ja säästö tässä tilanteessa on noin 5 % vuodessa.

Vuosi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Portaaton:	88.07979	177.2722	271.5176	371.1	476.319	587.4914	704.951313	829.052	960.1665	1098.689	1245.034	1399.643 €
On/Off:	47.59908	94.67945	144.4487	197.0581	252.667	311.4441	373.567314	439.2247	508.6149	581.9475	659.444	741.3383 €

Taulukko 5. Vuosissa kertynyt säästö kullakin kuormanohjaustyyllillä.

Taulukossa 5 on esitelty vuotuiset säästöt kullakin kuormanohjaustyyllillä. Vaikka säästöt vuodessa ei prosenttiyksiköissä olleetkaan järjestyttäviä, on rahana säästetty summa kuitenkin kohtuullinen ja varsinkin jos kuormanohjaimen hankintahinta pysyy maltillisena, on sen hankinta jopa taloudellisesti kannattavaa. Huomioitavaa on, että kuormanohjaimet tuovat myös muita hyötyjä kuin taloudellisen hyödyn. Verkkoon kohdistuvan rasituksen vähentäminen kulutuspiikkien tasaantuessa voi ehkäistä siirtomaksujen kasvua sekä erilaisten uusien energiamaksujen lisääntymistä tai syntymistä. Myös verkon vikatilanteet sekä kapasiteetin kasvattamisen tarve voivat vähentyä. Omavarainen energiantuotanto laskee myös yksilön kasvihuonepäästöjä.

8 TYÖN YHTEENVETO

Aurinkoenergiaa kerääviä aurinkopaneeleita asennetaan Suomessa vuosittain kiihtyvällä tahdilla. Aurinkoenergiaa saadaan Suomessa kerättyä yhtä hyvin kuin Pohjois-Saksassa. Talviaikaan Suomessa on hyvin vähän aurinkoenergiaa saatavilla. Vaikuttavia tekijöitä paneelien tuotantoon liian, jään tai lumen lisäksi ovat varjostavat esteet paneelien edessä, suuntaus ja kallistus. Myös älykkäämmät invertterit lisäävät paneeleista saatavaa hyötyä.

Kun aurinkovoimala tuottaa enemmän energiaa kuin mitä kiinteistö kuluttaa, myydään syntynyt ylijäämäenergia verkkoon. Ylijäämäenergia myydään verkkoon sähkönmyyntiyhtiön kanssa sovitulla hinnalla. Kun energiaa ostetaan verkosta, maksetaan siitä sähkönmyyntiyhtiön kanssa sovittu hinta, kuluttajatyypistä riippuva sähkövero sekä kulutuspaikan sijainnista riippuva sähkönsiirtomaksu.

Kuormanohjauksella aurinkovoimalan synnyttämä ylijäämäenergia pyritään ohjaamaan johonkin energiaa säilövään kulutukseen, kuten lämminvesivaraajalla veden lämmittämiseen. Kuormanohjain mittaa invertterin syöttämää energiaa kiinteistöön tai energian kulkua kiinteistön liittymäpisteessä. Kun invertterin teho, eli paneelien tuottama teho ylittää määritetyn määrän tai energia kulkee kiinteistöstä pois päin, niin kuormanohjain kytkee kuormaa päälle joko koko kuorman kerralla tai portaattomasti juuri tarvittavan määrän. Portaaton ohjaustapa on tehokkaampi, mutta portaattomat kuormanohjaimet ovat yleensä kalliimpia hankkia.

Työssä kolme tutkittua kuormanohjainta olivat suomalainen GEF Control, itävaltalainen Fronius Ohmpilot ja tšekkiläinen Solar controlsin WattRouter MX. GEF Controlilla voi ohjata lämminvesivaraajan kontaktoria releellä päälle ja pois. Ohmpilotilla ja WattRouterilla voi ohjata kuormaa portaattomasti. Ohmpilotin hankintahinta on huomattavasti korkeampi kuin kahden muun. WattRouter on monipuolisin säädöiltään ja käytettävyydeltään, mutta siihen ei kuulu vakiona voimalan tuoton seuranta kuten muihin eikä sillä ole maahantuoja Suomessa. GEF Controlin vahvuksina ovat kotimaisuus ja moderni brändi, mutta hankintahinta asennuksineen on WattRouterin kanssa samaa luokkaa.

Kuormanohjain on mahdollista rakentaa itse tehdaskomponenteista. Tehdaskomponenteilla tarkoitetaan komponentteja, joiden yhteen liittäminen ei vaadi juottamista eikä muuta osien fyysistä muokkaamista. Itse rakennettava kuormanohjain perustuisi samoihin periaatteisiin kuin jo markkinoilla olevat ohjaimet. Virranmittaukseen tarvittaisiin virtamuuntajat ja informaation käsittelyyn sekä ohjauksen toteutukseen tarvittaisiin ohjelmoitava mini-pc tai mikro-ohjain. Ohjaavana komponenttina toimisi normaali tai ssr-rele. Yhteydet komponenttien välillä toteutettaisiin analogisilla signaaleilla.

Työn lopputuloksena valmistui katsaus kuormanohjaukseen sekä valittuihin kuormanohjaimiin. Työstä saa kattavan tuntemuksen valituista kuormanohjaimista, josta on hyötyä jatkuvasti kehittyvillä energiatehokkaammaksi pyrkivillä markkinoilla. Itse rakennettavasta kuormanohjaimesta ja sen vaatimuksista saa peruskäsityksen.

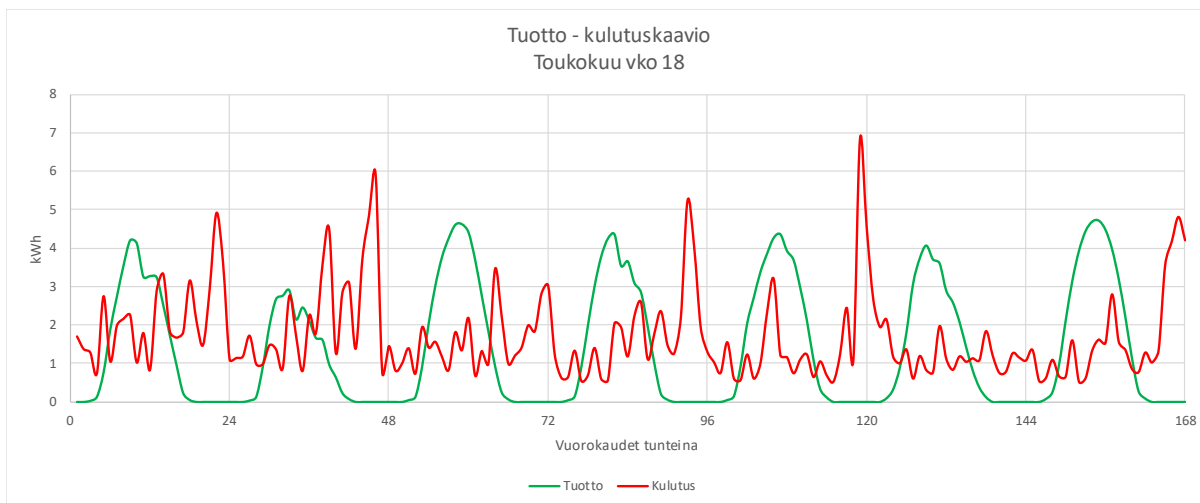
Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin. Laskennan selkeät tulokset auttavat markkinoijia myynnissä ja asiakkaan informoinnissa faktojen avulla sekä asiasta kiinnostuneita tutustumaan kuormanohjaimien hyötyyn. Tämän opinnäytetyön kaltaisia laskelmia on hankala sekä työläs jäljitellä, eikä niitä ole löytynyt julkisesta jaosta aikaisemmin. Tilaajalle työstä avautui muun informaation lisäksi mahdollisuus tutustua ennestään tuntemattomaan WattRouter MX ohjaimen ja miettiä vaihtoehtoja sen suhteen tulevaisuudessa. Kehitettävää työssä voisi mahdollisesti olla itserakennettavan kuormanohjaimen toteuttaminen ja tarkempi suunnittelu. Myös aurinkovoimalan koon ja kiinteistön kulutusprofiilien vaikutusta kuormanohjaimien kannattavuuteen olisi mahdollista tutkia tarkemmin.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Ato. 2014-12-14. Ssr-releet [www-sivut]. [Viitattu 2020-05-04.] Saatavissa: <https://www.ato.com/solid-state-relay-basics-working-principle>
- Aurinkosähkö. GEF Control vuosimaksu [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-04-07.] Saatavissa: <https://www.aurinkosahko.net/product/112/aurinkovoimala-gef>
- Elenia. Sähkövero [www-sivut]. [Viitattu 2020-04-12.] Saatavissa: <https://www.elenia.fi/sahko/sahkovero>
- Energiateollisuus. Maapallolle saapuva säteilyenergia [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-01-27.] Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima>
- Fronius. Historia yrityksestä [www-sivut]. [Viitattu 2020-02-16.] Saatavissa: <https://www.fronius.com/en/about-fronius/history?>
- Fronius Datamanager. 2019-07-13. 2.0 datalehti [ladattava tiedosto]. [Viitattu 2020-02-16.] Saatavissa: <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/system-monitoring/hardware/fronius-datamanager-2-0/fronius-datamanager-2-0>
- Fronius Ohmpilot. 2019-11-02. Datalehti [ladattava tiedosto]. [Viitattu 2020-02-16.] Saatavilla: <https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/solutions/fronius-solution-for-heat-generation/fronius-ohmpilot/fronius-ohmpilot>
- GreenEnergy Finland. GEF esittely [www-sivut]. [Viitattu 2020-02-21.] Saatavissa: <https://www.gef.fi>
- Ilmatieteenlaitos. Pilvisuus järvien läheisyydessä [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-05-04.] Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanpaine>
- MAOL-taulukot (2011). Aineiden kemialliset tunnuksset. Otava : Helsinki
- Motiva 1. 2019. Auringon säteily [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-01-27.] Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

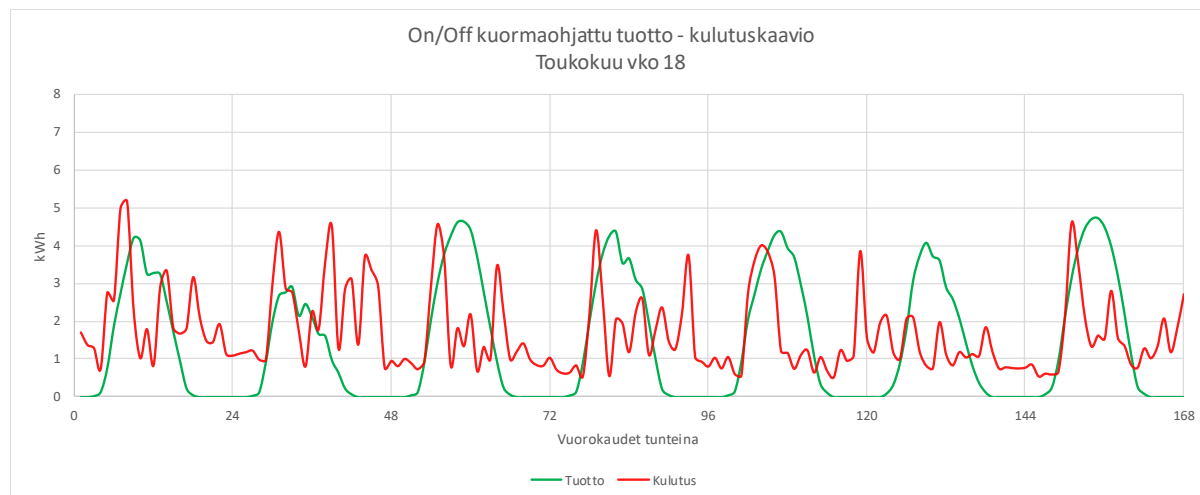
- Motiva 2. Paneelityypit [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-04-14.] Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
- Motiva 3. 2019. Aurinkopaneelin tuottama sähkö [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-03-24.] Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa
- Motiva 4. 2019. Sähkötuotannon myynti verkkoon [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-04-12.] Saatavissa:
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti
- Ohmpilot Operating Instructions. 25.12.2019. Käyttöohje [ladattava tiedosto]. [Viitattu 2020-02-18.] Saatavissa:
<https://www.fronius.com/en/photovoltaics/products/all-products/solutions/fronius-solution-for-heat-generation/fronius-ohmpilot/fronius-ohmpilot>
- Repo, S., Laaksonen, H., Mäkinen, A., & Järventausta, P. (2003). Hajautetun tuotannon huomioiminen sähkönjakeluverkon suunnittelussa. (Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkövoimatekniikan laitos, Sähkötekniikka, Raportti; No. 3/2003). Tuntematon julkaisija : Tampere.
- Savon Voima 2020. Sähkönsiirron kustannukset [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-04-12.] Saatavissa:
<https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/hinnat-ja-sopimusehdot/miten-siirtohintamuodostuu/>
- ST 52.32. 2017. ST-kortti. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-03-04.] Saatavissa:
www.sahkoinfo.fi
- ST-käsikirja 40. 2017. Aurinkopaneelien toiminta [verkkomateriaali]. [Viitattu 2020-01-31.] Saatavissa:
www.sahkoinfo.fi
- Suntekno, tietopankki. 2010. Säteilyn määrä Suomessa [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-01-28.] Saatavissa:
<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>
- WattRouter MX – User manual. 2020. WattRouterin ohjekirja [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2020-02-11.] Saatavissa:
https://solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouterMx_EN.pdf

LIITE 1: KUORMANOHJAUKSIEN VAIKUTUS KULUTUSKÄYRÄÄN JA KUSTANNUKSIIN



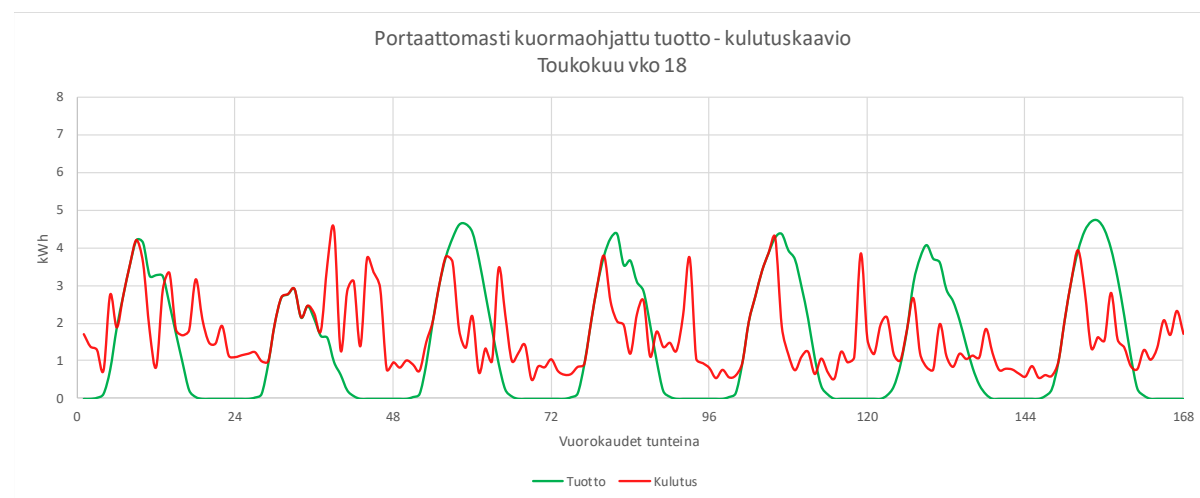
Ilman kuormanohjausta

	kWh	€
Käytetty	287.82	34.39449
Tuotettu	235.7845	28.17624
Verkosta ostettu	173.1732	20.69419
Verkkoon myyty	121.1376	5.317942
Kokonaiskustannus		15.37625



On/Off kuormanohjauksella

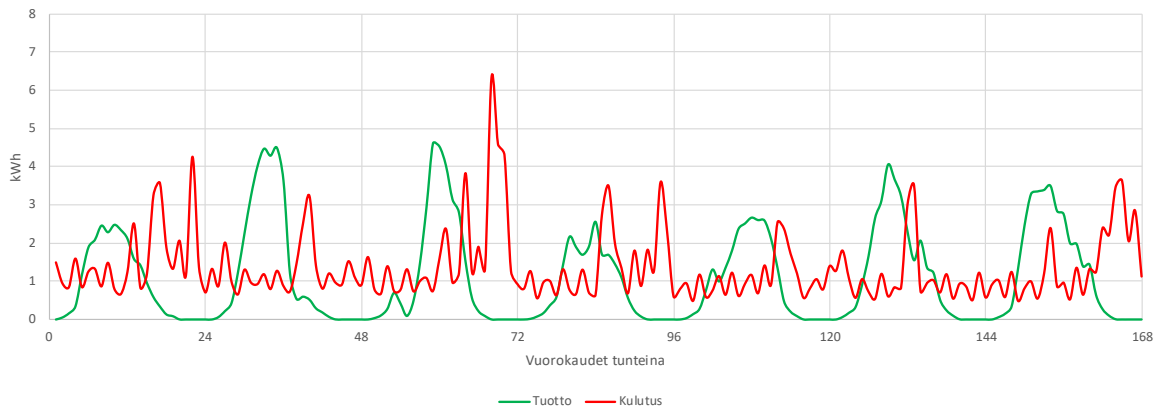
	kWh	€
Käytetty	287.82	34.39449
Tuotettu	235.7845	28.17624
Verkosta ostettu	140.6593	16.80879
Verkkoon myyty	88.62375	3.890583
Kokonaiskustannus		12.9182



Portaattomalla kuormanohjauksella

	kWh	€
Käytetty	287.82	34.39449
Tuotettu	235.7845	28.17624
Verkosta ostettu	123.2171	14.72444
Verkkoon myyty	71.18155	3.12487
Kokonaiskustannus		11.59957

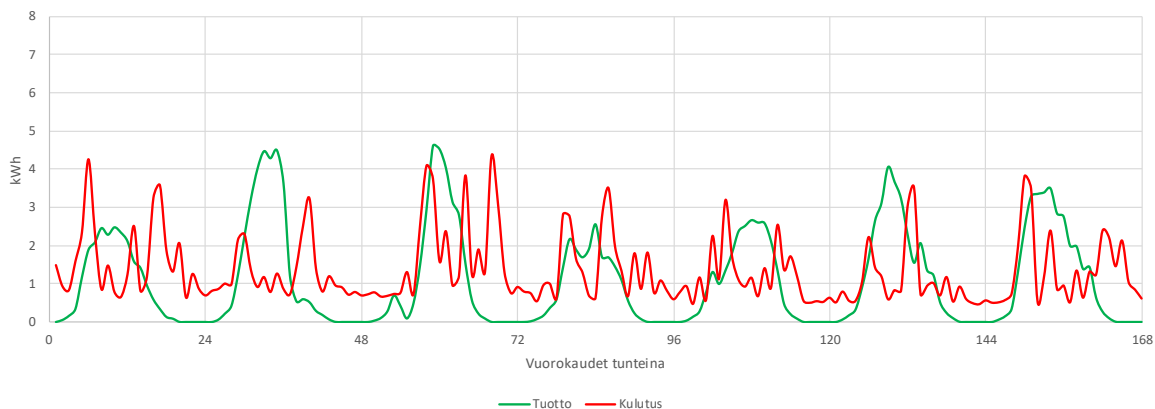
Tuotto - kulutuskaavio
Kesäkuu vko 23



Ilman kuormanohjausta

	kWh	€
Käytetty	229.65	27.44318
Tuotettu	186.4368	22.2792
Verkosta ostettu	137.9937	16.49024
Verkkoon myyty	94.78045	4.160862
Kokonaiskustannus		12.32938

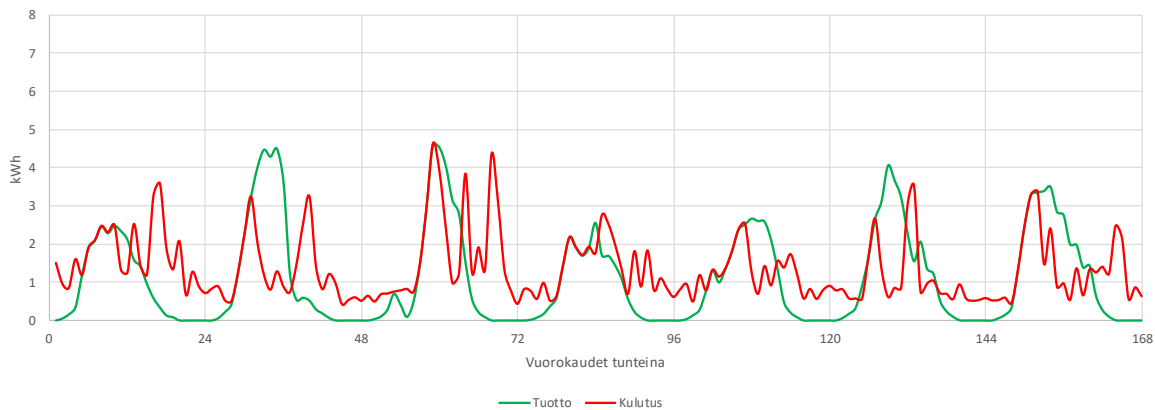
On/Off kuormanohjattu tuotto - kulutuskaavio
Kesäkuu vko 23



Kuormanohjauksella

	kWh	€
Käytetty	229.65	27.44318
Tuotettu	186.4368	22.2792
Verkosta ostettu	117.5377	14.04576
Verkkoon myyty	74.32449	3.262845
Kokonaiskustannus		10.78291

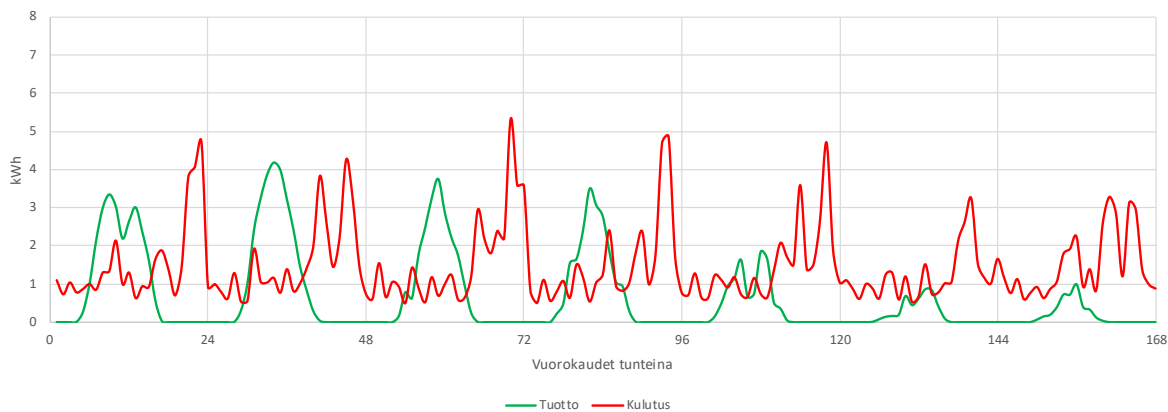
Portaattomasti kuormanohjattu tuotto - kulutuskaavio
Kesäkuu vko 23



Kuormanohjauksella

	kWh	€
Käytetty	229.65	27.44318
Tuotettu	186.4368	22.2792
Verkosta ostettu	95.74864	11.44196
Verkkoon myyty	52.53542	2.306305
Kokonaiskustannus		9.135658

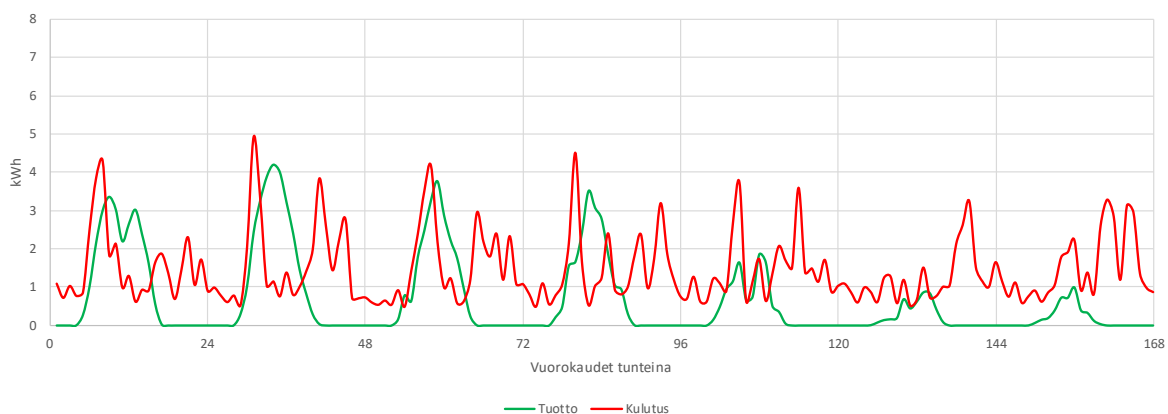
Tuotto - kulutuskaavio
Syyskuu vko 36



Ilman kuormanohjausta

	kWh	€
Käytetty	246.47	29.45317
Tuotettu	111.9188	13.3743
Verkosta ostettu	188.6353	22.54192
Verkkoon myyty	54.08415	2.374294
Kokonaiskustannus		20.16763

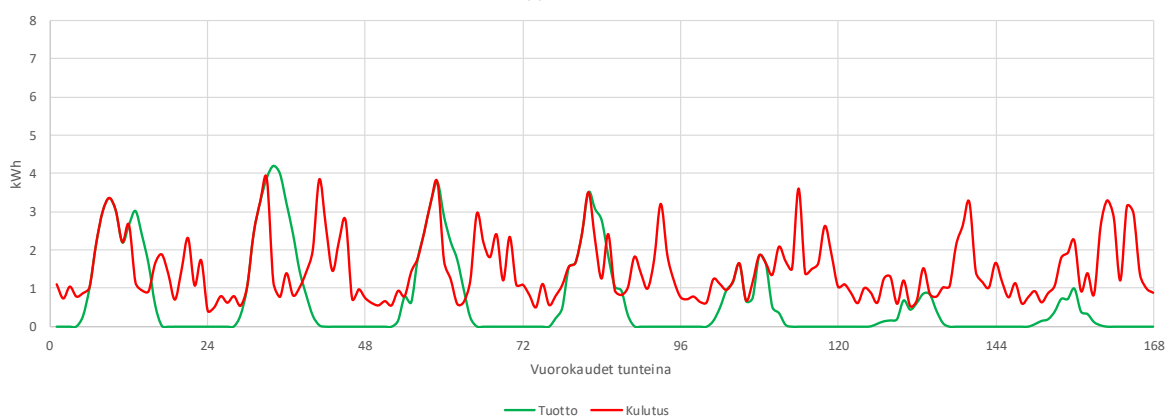
On/Off kuormanohjattu tuotto - kulutuskaavio
Syyskuu vko 36



Kuormanohjauksella

	kWh	€
Käytetty	246.97	29.51292
Tuotettu	111.9188	13.3743
Verkosta ostettu	172.5175	20.61584
Verkkoon myyty	37.46627	1.644769
Kokonaiskustannus		18.97107

Portaaton kuormanohjattu tuotto - kulutuskaavio
Syyskuu vko 36



Kuormanohjauksella

	kWh	€
Käytetty	246.47	29.45317
Tuotettu	111.9188	13.3743
Verkosta ostettu	150.9032	18.03294
Verkkoon myyty	16.35206	0.717855
Kokonaiskustannus		17.31508

LIITE 2: KUORMANOHJAUSTYYPPIEN VUOSISTATISTIIKKA

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Kulutusmäärä (kWh)	2906.914	1688.32	1603.586	1596.086	1274.631	984.2143	984.7814	910.5586	1056.3	1505.803	1903.714	2193.471	18608.38
Tuotto 5.8kWp (kWh)	0	0	265.7287	591.641	1044.188	799.0148	704.7249	772.082	479.6521	372.2573	72.30103	0	5101.59
Tuotosta omaan käyttöön (kWh)	0	0	265.7287	561.6028	728.9557	573.863	521.7889	518.4467	409.5718	372.2573	72.30103	0	4024.516
Tuotosta myyntiin (kWh)	0	0	0	30.03819	315.2326	225.1518	182.936	253.6353	70.08026	0	0	0	1077.074
Sähkön ostohinta €	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195
Sähkön myyntihinta €	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439
Säästetty € tuoton takia	0	0	31.75458	67.11153	87.1102	68.57663	62.35377	61.95438	48.94383	44.48475	8.639973	0	480.9296
Verkkoon myyty €	0	0	0	1.318677	13.83871	9.884164	8.03089	11.13459	3.076523	0	0	0	47.28356
Säästö yhteensä €	0	0	31.75458	68.43021	100.9489	78.46079	70.38466	73.08897	52.02036	44.48475	8.639973	0	528.2132
Säästö ilman kuormanohjausta €	0	0	27.03977	58.84937	84.24393	64.78911	59.02346	59.92685	39.80507	37.42996	8.565955	0	439.6735
Lisäsäästö kuormanohjauksen takia €	0	0	4.714803	9.580836	16.70498	13.67168	11.3612	13.16212	12.21528	7.054792	0.074018	0	88.53971

Taulukko 4. Portaattoman kuormanohjauksen vuosistatistiikka.

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Kulutusmäärä (kWh)	2906.914	1688.32	1603.586	1596.086	1274.631	984.2143	984.7814	910.5586	1056.3	1505.803	1903.714	2193.471	18608.38
Tuotto 5.8kWp (kWh)	0	0	265.7287	591.641	1044.188	799.0148	704.7249	772.082	479.6521	372.2573	72.30103	0	5101.59
Tuotosta omaan käyttöön (kWh)	0	0	240.1202	504.4463	651.7117	480.4813	466.0875	438.1925	319.0824	313.1444	72.30103	0	3485.567
Tuotosta myyntiin (kWh)	0	0	25.60852	87.19466	392.4766	318.5335	238.6374	333.8895	160.5697	59.11288	0	0	1616.023
Sähkön ostohinta €	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	0.1195	1.434
Sähkön myyntihinta €	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439	0.0439
Säästetty € tuoton takia	0	0	28.69436	60.28133	77.87955	57.41751	55.69745	52.36401	38.13035	37.42076	8.639973	0	416.5253
Verkkoon myyty €	0	0	1.124214	3.827846	17.22972	13.98362	10.47618	14.65775	7.04901	2.595055	0	0	70.9434
Säästö yhteensä €	0	0	29.81857	64.10918	95.10927	71.40113	66.17363	67.02175	45.17935	40.01581	8.639973	0	487.4687
Säästö ilman kuormanohjausta €	0	0	27.03977	58.84937	84.24393	64.78911	59.02346	59.92685	39.80507	37.42996	8.565955	0	439.6735
Lisäsäästö kuormanohjauksen takia €	0	0	2.778799	5.259807	10.86534	6.612019	7.150174	7.094907	5.374281	2.585859	0.074018	0	47.7952

Taulukko 5. On/off kuormanohjauksen vuosistatistiikka.