

Mikrotuotantolaitoksen ylijäämä sähköön tehokkaampi hyödyntäminen

Aki Hyyryläinen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä Hyryläinen, Aki	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.4.2015
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: (x)
Työn nimi Mikrotuotantolaitoksen ylijäämäsähkön tehokkaampi hyödyntäminen		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja Suur-Savon Sähkö Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin aurinkosähkön tuottamiseen Suomessa. Lisäksi selvitettiin pienen sähköverkkoon kytkettävän aurinkovoimalan eli mikrotuotantolaitoksen toimintaperiaate ja se, kuinka laitos kytketään oikeaoppisesti sähköverkkoon. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Suur-Savon Sähkö Oy. Yritys on Järvi-Suomen alueella toimiva sähköverkkoyhtiö, joka toimittaa sähköä noin 100 000 asiakkaalle.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisia puskurivarastosovelluksia ja niiden toimintaa sekä sitä, kuinka puskurivarastoja olisi mahdollista ohjata. Lisäksi tarkasteltiin, onko mikrotuottajan kannattavampaa myydä tuottamansa ylijäämäsähkö sähköverkkoon vai varastoida se omiin puskurivarastoihinsa. Puskurivarastojen toimintaa tutkittiin pintapuolisesti, koska ohjauksen rakentaminen todettiin tutkimuksen aikana haastavaksi toteuttaa.</p> <p>Opinnäytetyötä varten käytettävissä oli esimerkkikohde, jonka sähkönkulutusta pystyttiin seuraamaan etäluettavan sähkömittarin avulla. Tutkimuksessa Excel-taulukkoon luotiin kuvaajia havainnollistamaan sähkönkulutuksen ja -tuotannon suhdetta toisiinsa. Kuvaajia tarkastelemalla mikrotuotantolaitoksen toiminnasta saatiin selkeämpi käsitys. Lopuksi tutkimuksessa vertailtiin mikrotuotantolaitoksen kustannuksia erilaisissa tilanteissa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena esimerkkikohteen aurinkovoimalan kannattavuutta pystyttiin vertailemaan eri tilanteissa. Mikrotuotantolaitoksen tuotantoa pystyttiin havainnollistamaan kuvaajien avulla. Tutkimuksessa luotuja Excel-taulukoita on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa laskettaessa mikrotuotantolaitosten kustannuksia.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Aurinkoenergia, mikrotuotantolaitos, aurinkovoimala		
Muut tiedot		



Author Hyryläinen, Aki	Type of publication Bachelor's thesis	Date 20.4.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 40	Permission for web publication: (x)
Title of publication More efficient use of micro power plant's surplus electricity		
Degree programme Automation Engineering		
Tutor Puttonen, Pasi		
Assigned by Suur-Savon Sähkö Oy		
<p>Abstract</p> <p>The thesis deals with the production of solar electricity in Finland. Additionally it studies the operation of solar power plant or a micro power plant connected to a small power grid and how the facility is professionally connected to the grid. The bachelor's thesis was assigned by Suur-Savon Sähkö Oy, an electricity grid company operating in the Finnish lake district. The company supplies electricity to around 100 000 customers.</p> <p>The aim of the thesis was to investigate the potential applications of buffer stocks and how it is possible to control them. In addition, it was examined whether it is more profitable to the micro producer to sell the surplus electric power to grid or store it in its own buffer stocks. The operations of buffer stocks were examined superficially, since it was noticed during the study that the construction of the control was quite challenging to implement.</p> <p>This study contains an example of the use of the real target; it was possible to follow the electricity consumption by smart electricity meters. In the study, an Excel spreadsheet was created with graphs to illustrate the relationship of electricity consumption and its production. Examining the graphs, it was clearer to understand the micro-generation activities. Finally, the study compared the micro-generation costs in different situations.</p> <p>The result of the thesis was the comparison of the profitability in different situations, for example micro power plant. It was possible to visualize the production of micro power plants using graphs. The Excel tables created during the study can be utilized in the future calculation of the micro-production costs.</p>		
Keywords/tags (subjects) Solar power, micro power plant		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	3
1.1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	3
1.2	Suur-Savon Sähkö Oy	4
2	Aurinkoenergia suomessa.....	4
3	Sähköverkkoon kytkettävä aurinkovoimala.....	6
3.1	Mikrotuotantolaitos	6
3.2	Mikrotuotantolaitoksen toiminta	7
3.2.1	Toimintaperiaate.....	7
3.2.2	Aurinkopaneelit	8
3.2.3	Vaihtosuuntaaja	10
3.3	Mikrotuotantolaitoksen suojalaitteet	12
3.4	Kytkeminen sähköverkkoon	14
3.4.1	Luvat ja sopimukset	14
3.4.2	Mittaus ja sähkön myyminen	15
4	Puskurivarastot	17
4.1	Mahdollisia puskurivarastoja.....	17
4.2	Puskurivarastojen ohjaaminen	19
5	Esimerkkikohde.....	20
5.1	Lähtökohdat	20
5.2	Suunniteltu laitteisto	20
5.3	Mittaustulokset	22
5.4	Laskelmat.....	24
5.4.1	Aurinkovoimalalla varustettu kiinteistö, joka myy ylijäämäsähköä	25
5.4.2	Aurinkovoimalalla ja puskurivarastolla varustettu kiinteistö.....	26
5.5	Yhteenveto.....	28
6	Pohdinta	29
	Lähteet.....	31
	Liitteet	33
	Liite 1. 4,5 kWp:n aurinkovoimalan suunnitelma.....	33

Kuviot

Kuvio 1. Auringon kokonaissäteilyenergian summa Suomessa	5
Kuvio 2. Vuotuinen aurinkosähkön tuotantomäärä Euroopassa 1 kWp:n järjestelmällä	6
Kuvio 3. Esimerkki verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanosta	8
Kuvio 4. PN-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate	8
Kuvio 5. TRIO-5.8-TL-OUTD, kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja.....	10
Kuvio 6. Magnitudi- ja vektorisummauksen ero sähkömittareissa	16
Kuvio 7. kulutettu ja tuotettu sähköenergia vuoden tarkastelujaksolla, 4,5 kWp:n aurinkovoimala.....	23
Kuvio 8. Sähköenergiankulutus ja -tuotanto viikon tarkastelujaksolla, 4,5 kWp:n aurinkovoimala.....	24

Taulukot

Taulukko 1. Liittymän suojauksen asetteluarvot.....	12
Taulukko 2. Esimerkkikohteen sähköenergiakustannukset vuodessa.....	30

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Sähköverkkoon liitettävien pienien aurinkosähköjärjestelmien eli mikrotuotantolaitosten määrä on lisääntynyt viime vuosien aikana ja lisääntyy todennäköisesti yhä enemmän tulevien vuosien aikana aurinkosähköjärjestelmien tekniikan kehittyessä ja kustannusten pienentyessä (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, & Suokivi 2008, 118–119). Energiayhtiöille mikrotuotantolaitosten lisääntyminen tuottaa lisätyötä muun muassa energianeuvonnassa, mikrotuotantolaitosten hallinnoinnissa ja sähköverkkoon ylijäämäsähköä myyvien mikrotuotantolaitosten kulujen ja menojen selvittämisessä sekä sähköverkon suojauksen suunnittelussa.

Suoritin opintoihini kuuluvan työharjoitteluni Suur-Savon Sähkö Oy:ssä. Harjoitteluni aikana pääsin tutustumaan erilaisiin aurinkosähköjärjestelmiin ja erityisesti sähköverkkoon kytkettäviin mikrotuotantolaitoksiin. Harjoitteluni aikana sain osallistua mikrotuotantodemolaitteen rakentamiseen. Demolaitteella havainnollistetaan kuluttajille, millainen mikrotuotantolaitos on ja miten se liitetään turvallisesti sähköverkkoon.

Tässä tutkimuksessa selvitin, olisiko mikrotuottajan kannattavampaa myydä ylijäämäsähkönsä sähköverkkoyhtiölle vai siirtää se omiin puskurivarastoihinsa. Lisäksi tutkin, miten puskurivarasto voitaisiin toteuttaa ja miten sitä olisi mahdollista ohjata. Tutkimusta varten sain käytettäväkseni todellisen esimerkkikohteen, joka sijaitsee Suur-Savon Sähkön toimialueella. Esimerkkikiinteistöön on kytketty etäluettava sähkömittari. Etäluennan avulla kohteesta saadaan tarkkaa ja lähes reaaliaikaista tietoa sähköenergiankulutuksesta vuoden ympäri. Mittaustuloksien avulla tutkimuksessa selvitettiin puskurivaraston taloudellista hyötyä. Puskurivarastona laskuesimerkeissä toimi kiinteistössä olemassa oleva lämminvesivaraaja.

1.2 Suur-Savon Sähkö Oy

Suur-Savon Sähkö Oy on energiayhtiö, joka on toiminut Järvi-Suomen alueella jo yli 60 vuotta. Suur-Savon Sähkö on alueensa merkittävimpiä työnantajia, se työllistää yli 270 alansa ammattilaista. Yrityksen päätehtävät ovat sähköenergian hankinta, tuotanto ja jakelu. Yhtiö tuottaa sähköä omilla vesivoimalaitoksillaan Jyväskylän Vaajakoskella ja Hirvensalmen Kissakoskella. Sähköä tuotetaan myös omissa tai osaomistuksessa olevissa voimalaitoksissa, jotka toimivat muun muassa puulla ja turpeella. Lisäksi konsernin toimialaan kuuluu lämmön tuotanto ja jakelu sekä sähköverkon rakentaminen ja kunnossapito. (Yritys n.d.)

Suur-Savon Sähköllä on noin 101 000 sähkön myynnin asiakasta, sähkön siirron asiakkaita on suurin piirtein saman verran. Sähköä toimitetaan vuodessa noin 1 128 GWh. Yhtiön sähköverkkoon on kytketty muutama mikrotuottaja. (Yritys n.d.) Mikrotuottajien määrän uskotaan lisääntyvän lähivuosien aikana maltillisesti (Lehto 2011).

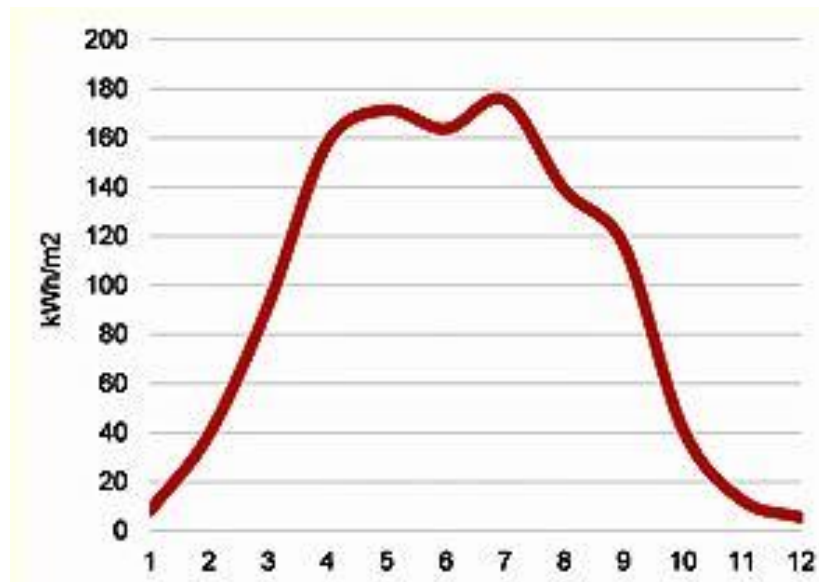
2 Aurinkoenergia suomessa

Aurinko on uusiutuva energianlähde, jota on pyritty hyödyntämään tehokkaasti kautta aikojen. Aurinkoenergiaa voidaan ottaa talteen sekä sähkön- että lämmöntuottamiseen erilaisia teknisiä ratkaisuja apuna käyttäen. Sähköntuotantoon tarkoitettujen paneelien valmistuksessa käytetään kierrätyskelpoisia materiaaleja, kuten kuparia ja alumiinia. Aurinkosähköpaneelit ovat pitkäikäisiä, niiden käyttöikä on tyypillisesti vuosikymmeniä. Paneelit ovat lähes huoltovapaita, puhdistus niiden päälle kertyneestä lumesta ja roskista riittää. Kaiken kaikkiaan aurinkoenergia on ympäristöystävällinen energiantuotantomuoto. (Auringosta lämpöä ja sähköä 2014, 2.)

Esimerkki optimaalisesta aurinkosähköjärjestelmällä sähköistettävästä kohteesta on loma-asunto, jota käytetään pääsääntöisesti kesäaikaan. Kiinteä sähköliittymä sinne olisi usein asennettava pidemmästä matkasta ja näin ollen sähköliittymän hinta tulisi olemaan korkea. Tyypillinen suomalaisten suosima aurinkosähköjärjestelmä onkin

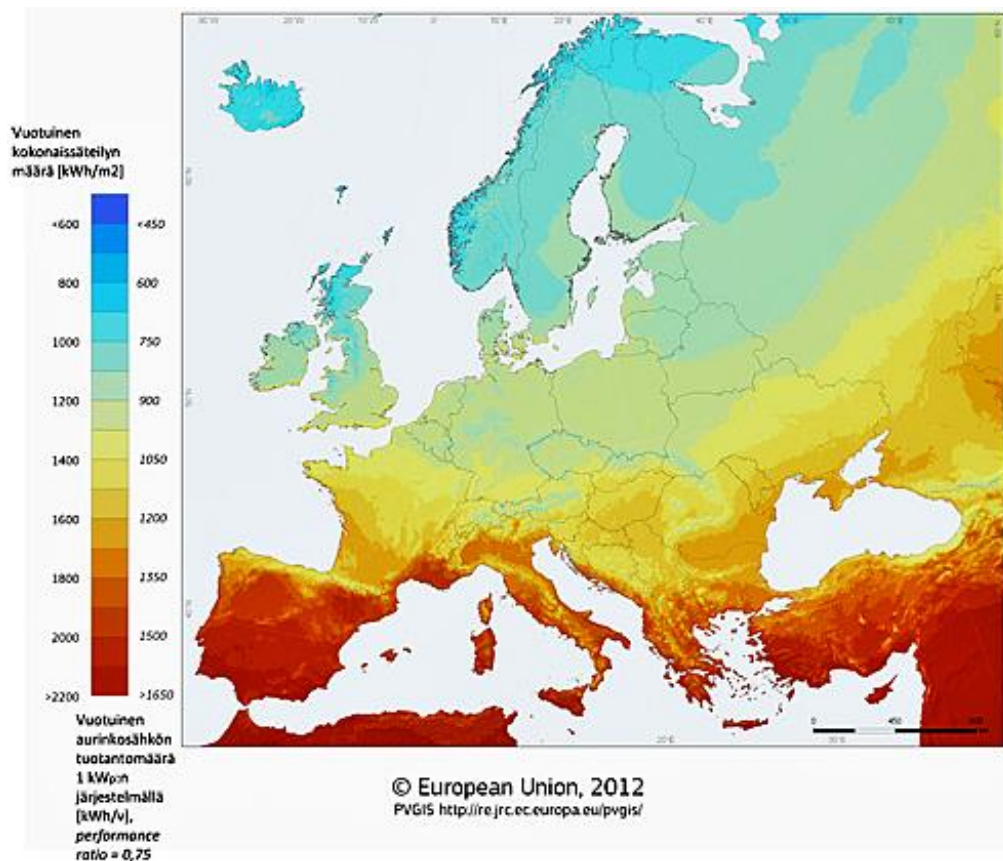
mökkikäytössä oleva saarekejärjestelmä, jolla tuotetaan sähköä esimerkiksi valaisimille ja jääkaapille. (Käpylehto 2014, 7–8.)

Aurinkoenergian hyödyntäminen Suomessa on haastavampaa kuin eteläisemmässä Euroopassa. Suomessa auringon säteily keskittyy kesäkuukausille (ks. kuvio 1), kun taas eteläisemmässä Euroopassa säteily jakaantuu tasaisemmin vuoden ympäri. Säteilyn keskittyminen kesäkuukausille vaikeuttaa aurinkoenergiasta tuotetun sähkön hyödyntämistä kotitalouksien omaan käyttöön. Talvella, jolloin energiankulutus on suurimmillaan lämmityksen tarpeesta johtuen, auringosta saatavan energian määrä on pienimmillään. (Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2014.)



Kuvio 1. Auringon kokonaissäteilyenergian summa Suomessa (Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2014)

Aurinkoenergia eli auringon säteilyn määrä vuotuisella tasolla mitattuna Etelä-Suomen ja Pohjois-Saksan välillä on lähes yhtä suuri (ks. kuvio 2). Mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä enemmän aurinkoenergian määrä keskittyy kesäkuukausille. Suomessa aurinkoenergiaa pystytään tuottamaan eteläisemmästä Suomesta aina Lappiin asti. Aurinkosähköenergian vuosituotannon ero Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä ei ole merkittävän suuri. Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että Lapissa tarvitaan noin 15 prosenttia enemmän aurinkopaneelitehoa Etelä-Suomeen verrattuna. (Käpylehto 2014, 24–25.)



Kuvio 2. Vuotuinen aurinkosähkön tuotantomäärä Euroopassa 1 kWp:n järjestelmällä (Aurinkonsäteilyn määrä Suomessa 2014)

3 Sähköverkkoon kytkettävä aurinkovoimala

Aurinkosähkijärjestelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin: saarekekäyttöön tarkoitettuihin järjestelmiin ja sähköverkkoon kytkettäviin järjestelmiin. Tässä luvussa esitellään sähköverkkoon kytkettävän aurinkosähkijärjestelmän eli mikrotuotantolaitoksen toimintaa.

3.1 Mikrotuotantolaitos

Mikrotuotantolaitos on pienimuotoinen sähköntuotantolaitos, joka on kytketty pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen. Mikrotuotantolaitoksen ensisijainen tar-

koitus on tuottaa sähköenergiaa omaan kulutuskohteeseen. Sähköenergian syöttäminen verkkoon on toissijainen motiivi ja se on yleensä vähäistä. Mikrotuotantolaitos on yleensä yksityishenkilön tai pienyrityksen hankkima tuotantolaitos, jolla pyritään pienentämään sähköverkosta ostetun sähköenergian määrää. Yleisimpiä sähköntuotantomuotoja mikrotuotantolaitoksissa ovat aurinkoenergia, tuulivoima ja pienimuotoisista biopolttolaitoksista saatava sähköenergia. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 2–3.) Mikrotuotantolaitos voidaan kytkeä verkkoon yksi- tai kolmivaiheisena. (Pienimuotoinen sähköntuotanto n.d.)

3.2 Mikrotuotantolaitoksen toiminta

3.2.1 Toimintaperiaate

Mikrotuotantolaitoksen eli esimerkiksi verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate on hyvin pitkälti samanlainen kuin saarekekäyttöön tarkoitetun aurinkovoimalan. Suurin ero järjestelmien välillä on sähköenergian varastoiminen. Saarekekäyttöiset aurinkosähköjärjestelmät syöttävät tuottamansa sähköenergian lataussäätimen kautta akustoihin, joista se siirtyy tarpeen mukaan 12 tai 24 voltin sähkölaitteille. Saarekekäytössä sähköenergiaa voidaan siis varastoida ja käyttää tarpeen mukaan kulutuskohteille. Verkkoon kytkettävissä aurinkosähköjärjestelmissä tuotettu sähköenergia siirtyy suoraan kuluttaville sähkölaitteille ja jos omaa kulutusta ei ole tarpeeksi, ylimääräinen sähköenergia siirtyy sähköverkkoyhtiön sähköverkkoon. Verkkoon kytkettävät järjestelmät eivät ole riippuvaisia pelkästään omasta tuotannostaan, koska sähköenergiaa otetaan omaan käyttöön myös sähköverkosta. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)

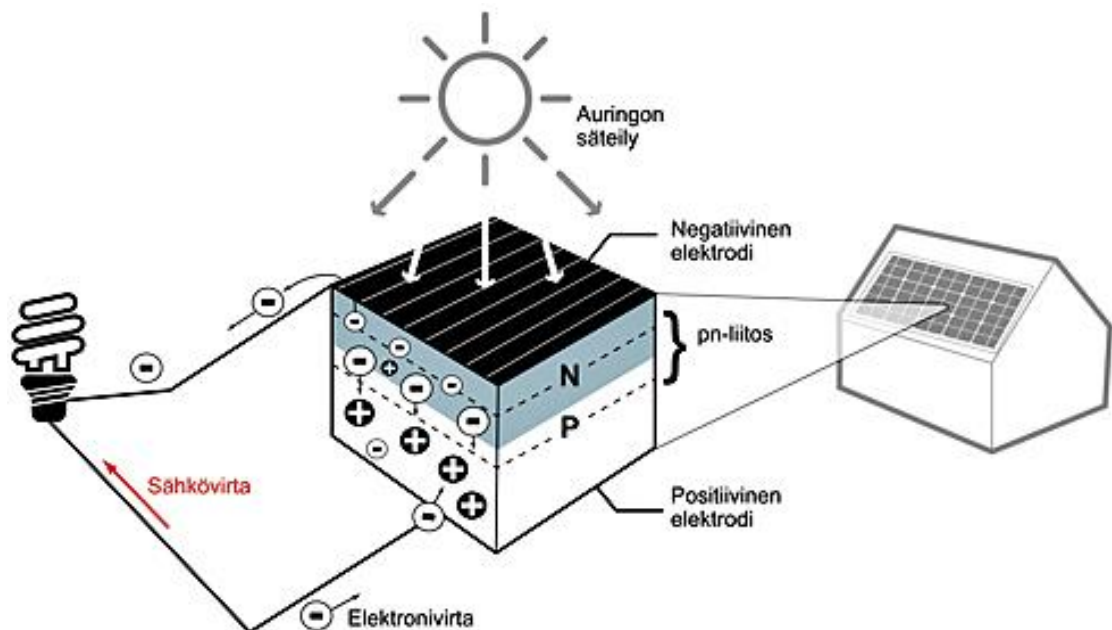
Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä koostuu kahdesta pääkomponentista: yhdestä tai useammasta aurinkopaneelistä ja invertteristä eli vaihtosuuntaajasta. Lisäksi järjestelmän kytkemiseen tarvitaan kaapeleita ja tarvittavat turvalaitteet (ks. luku 3.3). Yleensä aurinkopaneelit kytketään vaihtosuuntaajan ja turvakytkimen kautta sähköpääkeskukselle, josta sähköenergia siirtyy kulutuksen mukaan joko omille sähkölaitteille tai sähkömittarin kautta sähköverkkoon (ks. kuvio 3).



Kuvio 3. Esimerkki verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanosta (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014)

3.2.2 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit koostuvat piistä valmistetuista kennoista, pii on maankuoressa hyvin yleisesti esiintyvä alkuaine. Aurinkokenno tuottaa sähköenergiaa muuttamalla auringon säteilyä valosähköisen ilmiön avulla sähköksi. Auringon säteestä saatava fotoni synnyttää puolijohteen PN-liitoksessa elektroniaukkopareja, jolloin muodostuu sähkövirta (Ks. kuvio 4). PN-liitos koostuu kahdesta eri tavalla seostetusta piikiekon osasta. (Käpylehto 2014, 37.)



Kuvio 4. PN-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate (Aurinkosähköteknologiat 2014)

Aurinkopaneelit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: yksikidepaneelit, monikidepaneelit ja ohutkalvopaneelit eli amorfisesta piistä koostuvat paneelit. Yleisimmin käytetty paneelien tekniikka on monikidepaneeli, jonka hinta ja tehokkuus ovat keskitasoa. Monikidepaneelin tuottama energian määrä laskee lämpötilan noustessa enemmän kuin muilla tekniikoilla, joskaan Suomessa tällä ei ole juuri merkitystä. Yksikidepaneeli on kallein mutta tuottavin tekniikka. Ohutkalvopaneelit ovat halvimpia, mutta samalla myös tehottomimpia. Ohutkalvopaneeleita pystytään joustavuutensa ja ohuen rakenteensa ansiosta hyödyntämään esimerkiksi katto- ja seinärakenteissa, jolloin aurinkopaneeli integroidaan rakenteeseen. (Aurinkosähkö n.d.)

Aurinkopaneeli pystyy tuottamaan energiaa pitkään ja tehokkaasti, jos se ei rikkoudu mekaanisesti. Nykyaikaisten aurinkopaneelien tehontuotto laskee vain noin puoli prosenttia vuodessa. Uusille paneeleille on saatavilla jopa 25 vuoden tehontuottotakuu. Valmistajat antavat paneelien takuille erilaisia ehtoja. Tavallinen tehontuottotakuu varmistaa, että paneeli tuottaa 10 vuoden ajan sähköä teholla, joka on vähintään 90 % valmistajan antamasta nimellistehosta ja 25 vuoden ajan sähköteholla, joka on vähintään 80 % valmistajan antamasta nimellistehosta. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2014.)

Aurinkopaneelin nimellisteho ilmoitetaan piikkiwatteina (W_p), joka määritellään laboratorio-olosuhteissa. Standardiolosuhteissa auringosta maanpinnalle tulevan säteilyn teho on 1000 W/m^2 ja aurinkopaneelin lämpötila 25 celsiusastetta. Suomeen asennettavan aurinkopaneelijärjestelmän, jonka teho on tuhat piikkiwattia, pinta-alan tulee olla noin 6-8 neliometriä. 1000 piikkiwatin aurinkosähköjärjestelmällä voidaan tuottaa sähköä Suomessa tavallisesti 700–1000 kilowattituntia vuodessa järjestelmän sijainnista riippuen. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2014.)

Aurinkosähköjärjestelmän tuottama teho riippuu auringon säteilyn määrän ja aurinkopaneelin hyötysuhteen lisäksi paneelien pysty- ja vaakasuuntauskulmista, puhtaanapidosta ja lämpötilasta. Paneelit tuottavat enemmän tehoa matalammassa lämpötilassa, joten paneelien ja katon väliin olisi hyvä jättää asentaessa ilmapäli, jotta ilma pääsisi kiertämään ja jäähdyttämään paneeleita. Tehontuottoon vaikuttavia tekijöitä ovat myös vaihtosuuntaajan hyötysuhde, kaapeleiden teho- ja jännitehäviöt sekä esimerkiksi puista ja rakenteista aiheutuvat varjostukset. Verkkoon kytketyissä aurinkosähköjär-

jestelmissä käytetään samoja paneeleita kuin saarekekäyttöisissä järjestelmissä. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2014.)

3.2.3 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja eli verkkoinvertteri on aurinkosähköjärjestelmän kallein yksittäinen komponentti. Aurinkopaneelit kytketään vaihtosuuntaajan kautta kiinteistön sähköverkkoon eli pääkeskukseen. Vaihtosuuntaajan tehtävänä on muuntaa aurinkopaneelin muodostama tasavirta vaihtovirraksi, joka vastaa sekä kiinteistön että sähköverkon vaatimuksia. Jotta vaihtosuuntaaja toimii oikein, on paneelien tuottaman jännitteen oltava tarpeeksi suuri eli paneeleita on oltava kytkettynä riittävä määrä sarjaan. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)



Kuvio 5. TRIO-5.8-TL-OUTD, kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja (TRIO-5.8-TL-OUTD 2014)

Vaihtosuuntaajia valmistetaan sekä yksi- että kolmivaiheisena. Yksivaiheisella vaihtosuuntaajalla aurinkopaneelien tuottama sähköenergia syötetään yhteen valittuun vaiheeseen, kun taas kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja syöttää sähköenergiaa kaikkiin kolmeen vaiheeseen sähköverkossa. Tyypillisesti kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja syöttää sähköenergiaa tasaisesti jokaiselle kolmelle vaiheelle kulutuksesta riippumatta. Kiinteistön suurimmat kulutuskojeet, kuten hellat, kiukaat ja lämminvesivaraajat, on kytketty sähköverkkoon kolmivaiheisesti, jolloin kolmivaiheisen vaihtosuuntaajan kautta syötetty sähköenergia palvelee laitetta tehokkaasti. Pienet aurinkosähköjärjestelmät (alle 3 kW_p) on kuitenkin kytkettävä sähköverkkoon yksivaiheisesti, koska markkinoilla ei ole saatavilla alle 3 kW_p:n kolmivaiheisia vaihtosuuntaajia. Yksivaiheisella vaihtosuuntaajalla voidaan tasata kiinteistön sähköverkon vaiheiden välistä epätasapainoa kytkemällä aurinkosähköjärjestelmä sellaiseen vaiheeseen, jolla on suurin kuorma. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)

Vaihtoehtona yhdelle keskitetylle vaihtosuuntaajalle ovat mikroinvertterit. Jokaisen paneelin perään kytketään oma mikroinvertteri. Käytettäessä mikroinvertterejä sähköenergiantuotanto on suurempaa sellaisessa tilanteessa, jossa osa paneeleista jää varjoon. Mikroinvertterejä käyttämällä mahdollistetaan myös pienempien voimaloiden liittäminen verkkoon. Mikroinvertterin avulla järjestelmä toimii jo yhdellä aurinkopaneelilla, kun taas yksi keskitetty vaihtosuuntaaja vaatii toimiakseen useamman paneelin. Mikroinvertterit ovat usein kuitenkin kalliimpi investointi kuin yksi keskitetty vaihtosuuntaaja ja lisäksi herkkien komponenttien lisääntyminen järjestelmässä heikentää sen toimintavarmuutta. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)

Vaihtosuuntaajien käyttöikä on aurinkopaneeleita lyhyempi johtuen vaihtosuuntaajien sisältämästä elektroniikasta. Vaihtosuuntaajien tyypillinen toimintaikä on 10–15 vuotta ja valmistajan antama takuu on tyypillisesti viisi vuotta. Vaihtosuuntaajat ovat yleensä säänkestäviä, joten ne on mahdollista asentaa niin sisä- kuin ulkotiloihin. Useimmat vaihtosuuntaajat pystyvät lähettämään tietoa esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän tuottamasta energiasta Bluetooth-yhteyden avulla tietokoneeseen. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)

3.3 Mikrotuotantolaitoksen suojalaitteet

Sähköverkon kanssa rinnan toimiva mikrotuotantolaitos ei saa aiheuttaa haittaa sähköverkkoon eikä muihin sähköasennuksiin. Mikrotuotantolaitos on varustettava sellaisilla suojalaitteilla, jotka kytkevät tuotantolaitoksen irti sähköverkosta, jos verkkosyöttö katkeaa (Loss of Main -suojaus) tai tuotetun sähköenergian jännite tai taajuus ei ole sallittujen raja-arvojen sisällä (ks. taulukko 1). Mikäli suureet eivät pysy aseteltujen raja-arvojen sisällä, suojalaitteen on katkaistava tuotantolaitoksen syöttö sähköverkkoon annetussa toiminta-ajassa. Suojalaitteiden on myös estettävä tuotantolaitoksen takaisinkytkentyminen verkkoon edellä mainituissa tilanteissa. Useimmissa vaihtosuuntaajissa on nämä suojaukset, suojalaitteiden riittävyys on kuitenkin varmistettava laitteen valmistajalta. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 6–7.)

Taulukko 1. Liittymän suojauksen asetteluarvot (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 8)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,15 s	$U_n + 10 \%$
Alijännite	1,5 s	$U_n - 15 \%$
Ylitaajuus	0,2 s	51 Hz
Alitaajuus	0,5 s	48 Hz
Loss of Mains*	0,15 s	
*Loss of Mains -suojauksen eli saarekekäytönestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.		

Saarekekäytön estäminen

Mikrotuotantolaitoksen suojauksen on irrotettava laitos irti syöttävästä sähköverkosta Loss of Main -tilanteessa (LoM) eli tilanteessa, jolloin syöttävä sähköverkko on jännitteetön. Mikrotuotantolaitos ei saa koskaan jäädä syöttämään sähköverkkoa tai sen yksittäistä osaa. Saarekekäyttö saattaa aiheuttaa vaaratilanteen verkkoa huoltamassa oleville henkilöille kytkemällä jo jännitteettömän sähköverkon osan jännitteelliseksi. Loss of Main -tilanne voi syntyä, mikäli tuotantolaitoksen tuottama teho ja jonkin kulutuskojeen kuluttama teho ovat lähellä toisiaan. Kun kulutuskojeen kulutus laskee,

sähköenergiaa alkaa siirtyä sähköverkkoon ja jännitteetön sähköverkon osa kytkeytyy jännitteiseksi. Loss of Main -tilanteet ovat melko harvinaisia, mutta niihin on kuitenkin varauduttava. Loss of Main -suojaus on integroituna useimpiin vaihtosuuntaajiin, ja se toteutetaan yleensä ROCOF-releellä. ROCOF-releen toiminta perustuu taajuuden muutosnopeuden havaitsemiseen ja sen toimintanopeus on todettu Loss of main -suojaukseen riittävän nopeaksi (alle 0,15 sekuntia). (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 8–9.)

Mikrotuotantolaitoksen erottaminen verkosta

Mikrotuotantolaitoksen tasavirtapiiriin tulee olla erotettavissa yleisestä sähköverkosta turvakytkimellä. Tasavirtapiiriin turvakytkin sijaitsee useimmiten vaihtosuuntaajassa, mutta se on myös mahdollista asentaa tuotantolaitokseen erillisenä komponenttina. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2014.)

Sähköturvallisuusstandardien mukaan mikrotuotantolaitos on pystyttävä erottamaan sähköverkosta erottimella. Erottimessa on oltava näkyvä erotusväli, tai siinä on oltava luotettava asennon osoitus. Lisäksi erottimen on oltava lukittava. Lukittavalla erottimella varmistetaan se, että verkon vikatilanteessa huoltotoimenpiteet pystytään suorittamaan turvallisesti ja mahdolliset saarekekäyttöä aiheuttavat laitokset pystytään lukitsemaan irti verkosta. Yleisin tapa erottimen toteuttamiseen on kytkeä turvakytkin vaihtosuuntaajan ja kiinteistön sähköpääkeskuksen väliin. Turvakytkin on suositeltavaa kytkeä näkyvälle paikalle tai vaihtoehtoisesti sen löytämistä helpottamaan on asennettava opasteet. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 4.)

Mikrotuotantolaitoksen merkitseminen

Mikrotuotantolaitoksen lähdöt on merkittävä informatiivisesti ja selkeästi sekä laitoksen että sähköverkon puolelle. Merkinnot on oltava kaikissa sellaisissa kohteissa, jotka mikrotuotantolaitos voi tehdä jännitteelliseksi. Merkittäviä kohteita ovat muun muassa jakokaapit ja muuntajien lähdöt. Asiakkaan omaan sähköpääkeskukseen on lisättävä selkeä merkintä lisätystä mikrotuotantolaitoksesta.

Varoituskilvet on asennettava sellaisiin paikkoihin, joista maallikko ja asentaja huomaavat ne varmasti. Varoituskilpien lisäksi asennushenkilökuntaa on syytä ohjeistaa mikrotuotantolaitoksen aiheuttamasta riskistä käytännön työssä ja siitä, että mikrotuotantolaitos kytketään jännitteettömäksi ja jännitteettömyys varmistetaan ennen asennustyön aloittamista. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 5.)

3.4 Kytkeminen sähköverkkoon

3.4.1 Luvat ja sopimukset

Tässä luvussa käsitellään ohjeita, joita eri sähköverkkoyhtiöissä sovelletaan. Tästä johtuen sähköverkkoyhtiöiden toimintatavat saattavat poiketa toisistaan eri tilanteissa.

Kun kyseessä on kulutuskohde, johon liittyy myös sähköntuotantoa, tuotannon osalta on tehtävä erillinen sopimus. Kulutuksen osalta voimassa ovat yleiset verkkopalveluehdot. Kun mikrotuotantolaitos tuottaa sähköenergiaa yleiseen sähköverkkoon, tuotantolaitoksen haltijan on tehtävä tuotantoa koskevat liittymis- ja sähköverkkosopimukset oman sähköverkkoyhtiönsä kanssa. Mikäli tuotantolaitoksen tuottamaa sähköenergiaa ei myydä verkkoyhtiölle, vaan ylijäämäenergia siirtyy verkkoon ilman korvausta, liittymis- ja sähköverkkosopimuksia ei tarvitse tehdä. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 14–15.)

Verkonhaltija antaa mikrotuotantolaitokselle liittämisluvan asiakkaan toimittamien tietojen perusteella. Tiedot on suositeltavaa toimittaa verkkonhaltijalle hyvissä ajoin, jo ennen tuotantolaitoksen hankkimista. Verkonhaltijalle tulee toimittaa ainakin seuraavat tiedot:

- mikrotuotantolaitoksen tyyppi, nimellisteho ja -virta
- liitäntälaitteen eli vaihtosuuntaajan tyyppitiedot
- suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika)
- tuotantolaitoksen irrottamiseen sähköverkosta käytettävä erotin ja sen sijainti.

Kun tuotantolaitos on kytkettävissä verkkoon, tuotantolaitoksen haltijan tulee toimittaa verkonhaltijalle käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Kun kyseessä on yksivaiheinen tuotantolaitos, verkonhaltijalle on ilmoitettava myös vaihe, johon laitos kytketään. Tuotantolaitosta voidaan käyttää vasta, kun verkonhaltija antaa siihen luvan. (Mikro-tuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 14–15.)

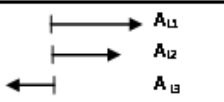
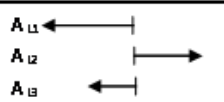



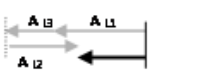



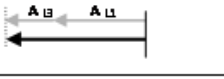
Mikäli tuotantolaitoksen tuottama ylijäämäsähköenergia siirtyy sähköverkkoon ilman korvausta eli sähköllä ei ole ostajaa, kohteen sähkönkäytöstä tehdään normaalit kulu-tuskohdetta koskevat sopimukset ja lisäksi tuotannon osalta tehdään sovelletut sopi-mukset. Vaikka sähkölle ei olisikaan ostajaa, tuotantolaitos on hyväksyttävä verkon-haltijalla ja tuotantolaitoksen saa kytkeä verkkoon vasta verkonhaltijan luvalla. (Mik-rotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 14–15.)

3.4.2 Mittaus ja sähkön myyminen

Mikäli mikrotuotantolaitoksen ylijäämäsähkö siirtyy sähköverkkoon ilman korvausta, kulutuskohteen kuluttamaa sähköenergiaa voidaan mitata tavallisella pyörivällä mitta-rilla, joka mittaa vain kulutetun sähköenergian määrän. Pyörivät mittarit ovat nykyai-kana kuitenkin melko harvinaisia. Netottavan sähkömittarin käyttö tällaisissa kohteis-sa on kielletty. Energiateollisuuden verkostosuosituksen mukaan tällaisiin kohteisiin olisi kuitenkin suositeltavaa asentaa kaksisuuntainen sähkömittari sitä varten, jos säh-köenergiaa päätetään ryhtyä myymään verkkoon. Mikäli mikrotuotantolaitoksen tuot-tamaa ylijäämäsähköenergiaa ryhdyttäisiin myymään sähköverkkoon, olisi sähkömit-tari vaihdettava joka tapauksessa. Jos kulutuskohteeseen vaihdetaan kaksisuuntainen sähkömittari, ei siitä suositella perittävän kuluja asiakkaalta. (Mikrotuotannon liittä-minen sähköverkkoon 2009, 13–14, 17.)

Mikäli mikrotuotantolaitoksen ylijäämäsähköenergiaa myydään sähköverkkoon, on kohde varustettava etäluettavalla sähkömittarilla, joka mittaa kulutuksen tunneittain. Suositeltavin mittaustapa kohteissa, joissa on sekä kulutusta sekä tuotantoa, on magni-tudisummaan perustuva sähköenergianmittaus (ks. kuvio 6). Mittari, jonka toiminta-periaate perustuu magnitudisummaan, rekisteröi kulutetun ja tuotetun sähköenergian vaihekohtaisesti, jolloin kulutettu ja tuotettu sähköenergia voidaan lisätä omiin rekis-tereihinsä. Vektorisummaukseen perustuvaa sähkömittaria ei suositella käytettäväksi

mikrotuotantolaitoksissa, koska se summaa eri vaiheiden kulutus- ja tuotantomittauksia keskenään (ks. kuvio 6). Mikäli kohteessa on sekä kulutusta että tuotantoa, on verkonhaltijan luotava järjestelmäänsä kaksi käyttöpaikkatunnusta, toinen kulutusta ja toinen tuotantoa varten. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 13–14, 17.)

		Esimerkki 1		Esimerkki 2		
Laskentametodi			Esimerkki $A_{11} = 4$ $A_{12} = 3$ $A_{13} = -2$		Esimerkki $A_{11} = -4$ $A_{12} = 3$ $A_{13} = -2$	Reverse Stop
Vektorisumma	+A		5		0	Kaikkien vaiheiden yli
	-A		0		-3	
Magnitudisumma (etumerkit)	+A		7		3	Vaihekohtainen
	-A		-2		-6	

Kuvio 6. Magnitudi- ja vektorisummauksen ero sähkömittareissa (Kuparinen 2014)

Mikäli kohteeseen joudutaan vaihtamaan mittari mikrotuotantolaitoksen takia, verkonhaltijalla on oikeus periä mikrotuotantolaitoksen haltijalta korvaus mittarin vaihtoon liittyvästä asennustyöstä tai vaihtoehtoisesti tuntimittarin ohjelmoimisesta kaksisuuntaiseksi. Itse sähkömittarin hankinta ja siihen liittyvät kustannukset kuuluvat verkonhaltijalle, koska mittari on verkonhaltijan omaisuutta. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 13–14, 17.)

Mikrotuotantolaitoksen myydessä sähköenergiaa verkkoon myydyn sähköenergian hinta määräytyy sähköverkkoyhtiön määrittelemän sopimuksen mukaan. Sähköverkkoyhtiö saa periä sähköverkko-asetuksen mukaisesti siirtomaksua mikrotuottajan tuotamasta ja sähköverkkoon siirretystä energiasta enintään 0,07 senttiä/kWh (alv 0 %). Sähköverkkoon tuotetun sähkönn hinta määräytyy yleensä Nord Poolin tuntihinnan perusteella. Nord Pool on Pohjois- ja Baltian maiden yhteinen sähköpörssi, jonka mu-

kaan sähkön hinta määräytyy. Verkkoyhtiöllä on myös oikeus periä sähkön tuottajalta korvauksia muista mikrotuotantolaitoksen aiheuttamista kustannuksista, kuten esimerkiksi tasehallintaan liittyvistä kuluista. Mikäli kohteen tuottamaa ylijäämäsähköenergiaa luovutetaan sähköverkkoon ilman korvausta, ei verkonhaltijalla ole oikeutta periä siitä siirtomaksua. Mikrotuotantolaitoksen haltijalla on velvollisuus maksaa tuottamastaan ja myymästään sähköenergiasta mahdolliset verot. (Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon 2009, 17.)

4 Puskurivarastot

Mikäli mikrotuotantolaitoksen ylijäämäsähköenergiaa pystytään käyttämään kiinteistön omiin tarpeisiin, se on yleensä kannattavampaa kuin sähköenergian myyminen verkkoon. Verkkoon myytävästä sähköenergiasta saatava korvaus on huomattavasti pienempi kuin verkosta ostetun sähköenergian hinta. Verkkoon myytävän sähköenergian alhainen hinta johtuu muun muassa sähköverosta, sähköverkkoyhtiön perimistä siirtomaksuista ja sähkön alhaisemmasta markkinahinnasta myyntihetkellä. Aurinkovoimalan tuottamaa ylijäämäsähköenergiaa on sähköverkkoon myymisen sijaan mahdollista siirtää omiin puskurivarastoihin. Tässä tutkimuksessa selvitetään mahdollisia puskurivarastojen käyttösovelluksia.

4.1 Mahdollisia puskurivarastoja

Saarekekäyttöön tarkoitetuissa aurinkovoimaloissa yleisesti käytössä olevat akut soveltuvat huonosti puskurivarastoiksi verkkoon kytkettäviin aurinkosähköjärjestelmiin korkean hankintahinnan takia. Mikäli mahdollista, puskurivarastoina olisi taloudellista käyttää jo olemassa olevia laitteita.

Yksi lähes poikkeuksetta jokaisesta asuinkiinteistöstä löytyvä laite puskurivarastokäyttöön on lämminvesivaraaja. Lämminvesivaraajia käytetään mallista riippuen joko käyttöveden ja esimerkiksi lattialämmitykseen käytettävän veden lämmitykseen tai pelkästään toiseen näistä. (Lämminvesivaraajan toiminta 2003.) Aurinkovoimalla tuo-

tettu ylijäämäsähköenergia pyritään siirtämään puskurivarastoon eli tässä tapauksessa lämminvesivaraajaan. Puskurivarastokäytössä lämminvesivaraajaan lisätään joko yksi tai kolme lisävastusta aurinkovoimalan vaihtosuuntaajan mukaan. Ylijäämäsähköllä toimivat lisävastukset lämmittävät lämminvesivaraajan sisällä olevan veden normaalia käyttötilannetta lämpimämmäksi päivisin, jolloin aurinkoenergiaa tuotetaan eniten. Mikäli puskurivarastoihin on päivän aikana saatu siirrettyä ylijäämäsähköenergiaa, yöaikaan lämminvesivaraajaa ei tarvitse lämmittää verkosta ostetulla sähköenergialla niin suurella teholla kuin normaalisti. Lämminvesivaraajan käyttö puskurivarastona on suhteellisen yksinkertaista. Mikäli puskurivaraston ohjaukseen löydetään hyvä ja taloudellinen keino, olisi ohjauksen toteuttaminen useampaan kohteeseen helppoa, koska lämminvesivaraajien toimintaperiaate on lähes samanlainen mallista riippumatta.

Toinen tulevaisuuden kannalta merkittävä puskurivarastosovellus on sähköautojen akkukapasiteetti. Sähköautojen lisääntyminen tulevaisuudessa mahdollistaa puskurivarastokapasiteetin kasvamisen. Mikäli sähköauto on mahdollista pitää latauksessa päivällä, jolloin aurinkosähköenergian tuotanto on suurimmillaan, kiinteistön ylijäämäsähköenergia siirtyy automaattisesti sähköauton akustoon. Akustoihin siirrettyä sähköenergiaa ei siirretä takaisin kiinteistön sähköverkkoon vaan se käytetään auton toimintaan. Näin ollen autojen lataaminen iltaisin ja öisin, jolloin sähköenergiankulutus on suurimmillaan, vähenee. Ongelmana sähköautojen käyttämiseen puskurivarastoina on se, että autot ovat usein käytössä päiväsaikaan. Ratkaisuna ongelmaan voisi olla se, että sähköautoja ladattaisiin ylijäämäsähköenergialla päiväsaikaan työpaikoilla.

Aurinkosähkövoimalan tuottamaa ylijäämäsähköenergiaa on mahdollista käyttää muihinkin mahdollisiin puskurivarastoihin. Muiden sovellusten ohjaaminen on kuitenkin vaikeampaa tai ylijäämäsähköenergiaa on ohjattava manuaalisesti. Ylijäämäsähköenergiaa voitaisiin ohjata käytettäväksi esimerkiksi kiinteistön jäähdytykseen tai niin kutsuttuihin aina valmiisiin kiukaisiin. Akkujen käyttäminen puskurivarastoina on nykyaikaisilla akuilla kannattamatonta, korkean hankintahinnan takia. Tulevaisuudessa akkuteknologian kehittyessä ja hintojen laskiessa, akut ovat varteenotettava vaihtoehto puskurivarastoina.

4.2 Puskurivarastojen ohjaaminen

Mikäli aurinkovoimalan tuottamaa ylijäämäsähköenergiaa halutaan varastoida kiinteistön omiin puskurivarastoihin, on tätä varten suunniteltava ja toteutettava puskurivarastoja ohjaava laitteisto. Puskurivarastojen ohjaamisen suunnittelussa on otettava huomioon aurinkovoimalassa käytettävän vaihtosuuntaajan toimintatapa. Vaihtosuuntaaja voi olla sekä yksi- että kolmivaiheinen.

Käytettäessä yksivaiheista vaihtosuuntaajaa aurinkovoimala liitetään yhteen kiinteistön käytössä olevasta kolmesta vaiheesta. Voimala on taloudellisinta kytkeä vaiheeseen, jossa sähkönkulutusta on mahdollisimman tasaisesti tai kulutus sijoittuu päiväsaikaan. Kolmivaiheista vaihtosuuntaajaa käytettäessä on otettava huomioon, syöttääkö vaihtosuuntaaja sähköenergiaa verkkoon symmetrisesti jokaiselle vaiheelle vai syötetäänkö tuotettu sähköenergia verkkoon epäsymmetrisesti. Epäsymmetrisessä syöttötavassa vaihtosuuntaaja syöttää sähköenergiaa vaiheille niiden kulutuksen mukaan eli eniten kuluttavalle vaiheelle syötetään enemmän sähköenergiaa kuin muille. Epäsymmetrisesti sähköenergiaa syöttäviä vaihtosuuntaajia ei ole vielä markkinoilla.

Puskurivarastojen ohjauslaitteen on pystyttävä tunnistamaan tilanne, jossa aurinkovoimala tuottaa enemmän sähköenergiaa kuin kiinteistö kuluttaa. Tilanne voidaan tunnistaa esimerkiksi kaksisuuntaisella energiamittarilla ja tieto voidaan lähettää ohjausyksikölle mittarin lähettämän pulssin avulla. Jos kyseessä on kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja, joka syöttää sähköenergiaa symmetrisesti, on ohjauslaitteen tunnistettava vaihe, jossa ylijäämäsähköenergiaa syntyy. Epäsymmetrisesti syöttävä vaihtosuuntaaja sen sijaan tunnistaa itse ylijäämäsähköenergiaa tuottavan vaiheen. Kun ohjauslaite on tunnistanut vaiheen, jolla ylijäämäsähköenergiaa syntyy, kyseisen vaiheen puskurivarastovastusta syötetään tarvittavalla teholla. Puskurivarastoa voidaan ladata sen kapasiteetin verran. Tilanteessa, jossa puskurivaraston kapasiteetti on täynnä, tehonsyöttö voidaan katkaista esimerkiksi termostaatilla.

Tutkimuksen esimerkkikohteeseen suunniteltiin asennettavaksi vaihtosuuntaaja, joka syöttää kolmivaihesähköenergiaa verkkoon symmetrisesti. Tästä johtuen puskurivaraston ja sen ohjauksen toteuttaminen ei kyseisellä laitteistolla ollut vielä järkevää. Mikäli käytössä olisi vaihtosuuntaaja, joka syöttää tehoa verkkoon vaiheen kulutuksen mukaan, puskurivarastojen käyttö olisi kannattavampaa ja helpompi toteuttaa.

5 Esimerkkikohde

5.1 Lähtökohdat

Tutkimusta varten sain käyttööni todellisen esimerkkikohteen. Esimerkkikohteenä toimii vuonna 2005 rakennettu keskikokoinen omakotitalo, joka sijaitsee haja-asutusalueella Mikkelin Rahulassa. Omakotitalon yhteyteen on rakennettu autokatos, jonka päädyssä sijaitsee lämmitettävä varastotila. Kiinteistön sähköpääkeskus sijaitsee autokatoksen läheisyydessä. Kohteen päälämmitysmuotona toimii maalämpöjärjestelmä. Maalämmön ansiosta sähköenergiankulutus jakaantuu tasaisemmin vuodenai-kojen välille. Talvella sähköenergiankulutus ei nouse niin suureksi, ja kesällä kulutus on hieman korkeampaa verrattuna esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä lämpiävään kiinteistöön.

Kiinteistö sijaitsee Järvi-Suomen Energia Oy:n toiminta-alueella, ja siten se on kytketty yhtiön sähköverkkoon. Järvi-Suomen Energia mittaa kiinteistön sähköenergiankulutusta etäluettavalla tuntimittarilla, ja mitattua sähköenergiankulutusta on mahdollista seurata Suur-Savon Sähkö Oy:n internetsivuilla sijaitsevan online-palvelun avulla. Kiinteistön sähkömittari on kaksisuuntainen, joten se soveltuu myös mahdolliseen mikrotuotantolaitoskäyttöön. Mittarin kaksisuuntainen mittaus perustuu magnitudisummaan, eli se rekisteröi jokaisen vaiheen kulutuksen ja tuotannon erikseen (ks. luku 3.4.2).

5.2 Suunniteltu laitteisto

Tutkimusta varten esimerkkikohteeseen oli suunniteltava mahdollinen aurinkovoimala. Aurinkovoimalan suunnittelun ja mallinnuksen toteutti GreenEnergy Finland Oy. GreenEnergy Finland tuottaa energiantuotantoon ja energiansäästämiseen liittyviä kokonaisratkaisuja. Yritys tarjoaa kuluttajille aurinkovoimaloiden sähkösuunnittelun ja kiinnitysratkaisuiden mekaanisen suunnittelun. Yritys kouluttaa myös urakoitsijoita suunnittelemaan ja asentamaan aurinkosähköjärjestelmiä erityisesti omakotitalokoh-teisiin. (Aurinkosähkövoimalaitokset n.d.)

Aurinkopaneelit on suunniteltu sijoitettavaksi autokatoksen katolle, koska sijainti suhteessa sähköpääkeskukseen olisi hyvä ja siten kaapeloinnit olisi helppo toteuttaa. Autokatoksen valintaan voimalan sijoituspaikaksi vaikutti myös katon kaltevuuskulma, mahdollisten varjojen vähäisyys ja mahdollisuus asentaa paneelit katon etelälappeelle. Toimitin esimerkkikohteen lähtötiedot GreenEnergy Finlandille. Suunnittelua varten tarvittavia lähtötietoja olivat kiinteistön sijainti maantieteellisesti ja rakennusten sijoittelu ilmansuuntaan nähden sekä autokatoksen katon etelälapteen pinta-ala ja katon kaltevuus. (Aurinkosähkövoimalaitokset n.d.)

Annettujen lähtötietojen perusteella GreenEnergy Finland toteutti suunnitelmat mahdollisista aurinkosähköjärjestelmistä. Autokatoksen katon pienen pinta-alan takia, katolle olisi mahdollista asentaa 3 kWp:n ja 4,5 kWp:n aurinkopaneelit. (Esimerkki 4,5 kWp:n voimalan suunnitelmasta löytyy liitteestä 1.) Suunnitelmien perusteella molempiin voimalakokoihin valikoitui ABB:n valmistama TRIO-5.8-TL-OUTD kolmivaiheinen vaihtosuuntaaja, joka sopii käytettäväksi aina 5,8 kWp:n suuruisiin aurinkovoimaloihin saakka. Tämä vaihtosuuntaaja muuntaa aurinkopaneeleista tuotettua tasavirtaa vaihtovirraksi jokaiselle kolmelle vaiheelle symmetrisesti kulutuksesta riippumatta. Aurinkopaneeleiksi valikoitui DSTechin valmistamat P6-6000-aurinkopaneelit, yksittäisen aurinkopaneelin teho on 250 wattia. 3 kWp:n voimalaan aurinkopaneeleita asennettaisiin 12 kappaletta ja 4,5 kWp:n voimalaan 18 kappaletta. (Pääkkönen 2014.)

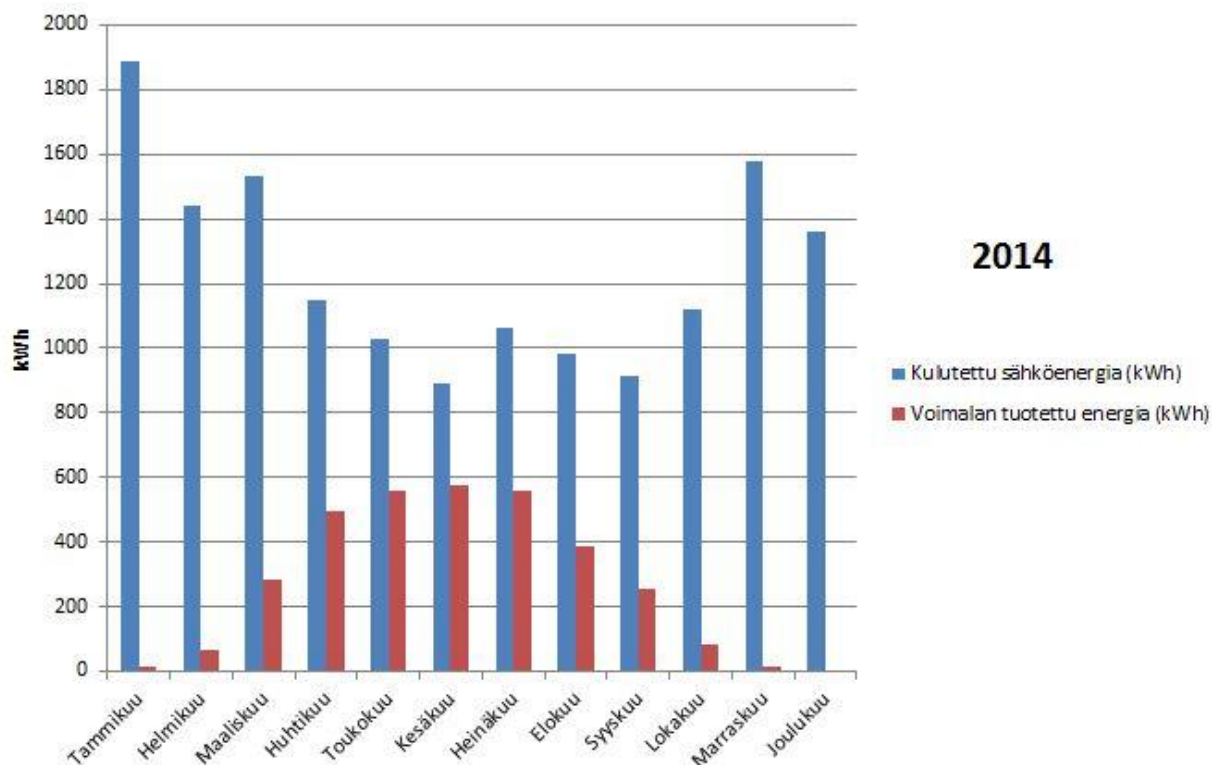
Suunnitelmien perusteella 3 kWp:n aurinkovoimala tuottaisi vuodessa sähköenergiaa 2 193 kilowattituntia kokonaishyötysuhteen ollessa 81,1 %. 4 kWp:n voimalalla päästään 3 388 kilowattitunnin vuosituotantoon kokonaishyötysuhteen ollessa 83,6 %. Pienemmän tuotantolaitoksen pienempi kokonaishyötysuhde selittyy molemmissa voimaloissa käytettävästä samansuuruisesta vaihtosuuntaajasta. 3 kWp:n voimala toimii käytännössä koko ajan osakuormalla koska vaihtosuuntaajan on ylimitoitettu. Mahdollisia varjostumia ei ole suunnitelmassa otettu huomioon, vähäisten varjostusten takia esimerkkikohteen suunnitelmiin niillä ei olisi kuitenkaan ollut suurta merkitystä. Autokatoksen katon etelälapteen suunta on noin 60 astetta etelästä länteen. Suuntauksen takia vuosituotannossa hävitään noin 10 %, erityisesti suuntaus vaikuttaa negatiivisesti aamuauringosta saatavaan aurinkoenergiaan. Katon kaltevuuskulma on hyvä (22 astetta), eikä se vaikuta alentavasti energiantuotantoon. (Pääkkönen 2014.)

5.3 Mittaustulokset

Kuten jo aiemmin on mainittu, esimerkkikohteen sähköenergiankulutusta mitataan etäluettavalla kaksisuuntaisella tuntimittarilla. Kohteen sähköenergiankulutusta pystytään seuraamaan lähes reaaliaikaisesti Suur-Savon Sähkön online-palvelusta. Online- palvelun avulla voidaan tarkastella sähköenergiankulutusta tunnin tarkkuudella siltä ajalta, kun etäluettava mittari on ollut kytkettynä kohteeseen. Myös alueen keskiulkolämpötilaa voidaan seurata palvelun avulla. Online-palvelusta on mahdollista siirtää tietoa suoraan Excel-taulukkoon, minkä ansiosta kulutukseen liittyviä tietoja on helpompi käsitellä.

GreenEnergy Finlandin suunnitelmat sisälsivät mallinnuksen aurinkovoimalan tuottamasta sähköenergiasta tunneittain. Tuotetun sähköenergian arviot on myös mahdollista siirtää Excel-taulukkoon, mikä mahdollistaa kulutuksen ja arvioidun tuotannon tarkastelemisen rinnakkain. Tässä tutkimuksessa tarkastelujaksoksi valittiin vuosi 2014, koska sähköenergiankulutusta koskevat tulokset ovat saatavilla koko vuoden osalta. Loin Excel-ohjelman avulla kuvion 7 havainnollistamaan tuotettua ja kulutettua sähköenergiaa. Olen valinnut kuvioon 7 tietoja vuoden tarkastelujaksolta ja tarkempaa tarkastelua varten tietoja kahden erillisen viikon tarkastelujaksolta kuvioon 8.

Vuoden tarkastelujaksoa varten valitsin kaavioon jokaisen kuukauden osalta tuotetun ja kulutetun sähköenergian (ks. kuvio 7). Jokaisen kuukauden kulutettu ja tuotettu sähköenergia on saatu summaamalla kyseisen kuukauden tuntienenergiat yhteen. Kaaviosta käy ilmi mikrotuotantolaitoksen suurin epäkohta sähköntuotannon kannalta: kun sähkönkulutus on kesäkuukausien aikaan vähäisimmillään, aurinkovoimalan tuottama sähköenergian määrä on suurimmillaan, ja talvikuukausien aikana kulutuksen ollessa suurimmillaan tuotettu sähköenergia on lähes olematonta.

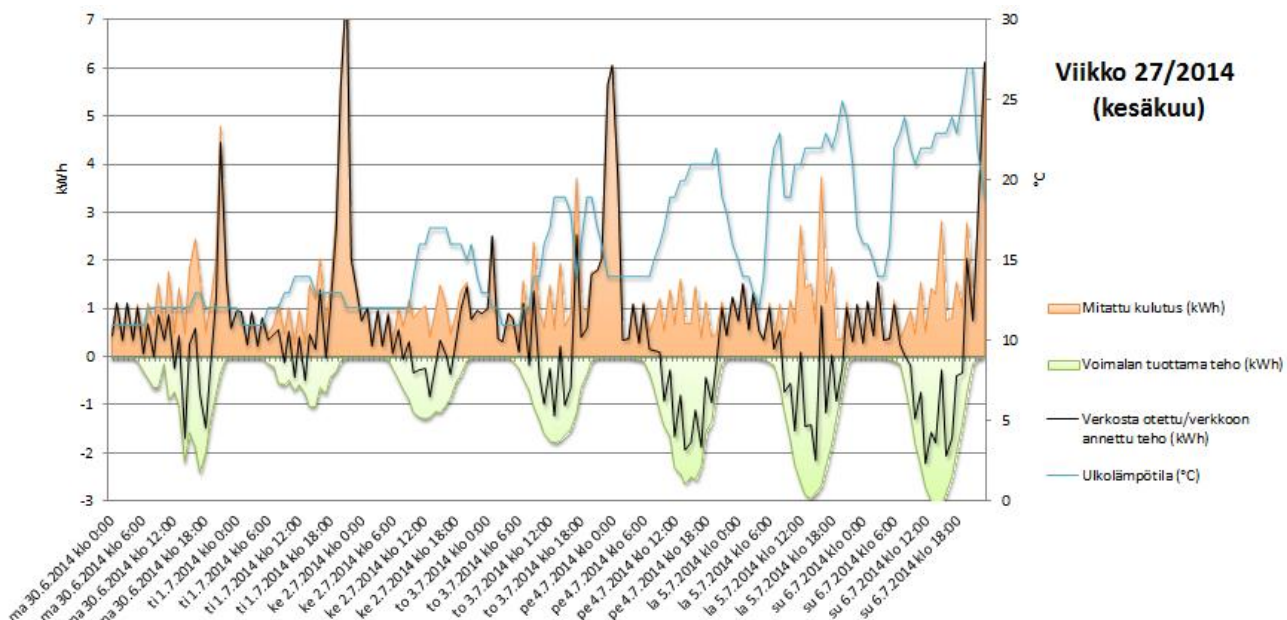


Kuvio 7. kulutettu ja tuotettu sähköenergia vuoden tarkastelujaksolla, 4,5 kWp:n aurinkovoimala

Tutkimusta varten vuoden 2014 ajalta on poimittu joitain viikkoja tarkemmin tarkasteltavaksi. Valitut viikot ovat 14 (huhtikuu) ja 27 (kesäkuu). Huhtikuussa aurinkovoimala tuottaa jo 4,5 kWp:n aurinkopaneeleilla keskimäärin 300 kWh sähköenergiaa ja samaan aikaan kiinteistön kuluttaa sähköenergiaa keskimäärin 1150 kWh. Kesäkuussa auringonsäteilyn teho ja samalla aurinkosähkövoimalalla tuotettu energia ovat suurimmillaan kulutuksen ollessa pienintä vuoden aikana.

Kuviosta 8 käy ilmi tunneittain mitattu kiinteistön sähköenergiantulutus, aurinkosähkövoimalan tuottama sähköenergia, ulkolämpötila ja kiinteistön verkosta ottama tai verkkoon tuotettu sähköenergia. Verkosta otetun tai verkkoon tuotetun sähköenergian määrä on saatu vähentämällä kiinteistön kuluttamasta sähköenergiasta aurinkopaneelien tuottama sähköenergia. Kuvaajasta selviää sähköenergiantuotannon ja sähköenergiantulutuksen ristiriita. Päivällä tuotannon ollessa suurimmillaan sähköenergiaa siirtyy verkkoon, koska kulutusta ei ole tarpeeksi. Illalla ja yöllä sähköenergiantuotanto on vähäistä tai sitä ei ole ollenkaan ja tavallisesti käytössä on

suurikulutuksisia sähkölaitteita, kuten kiuas ja lämminvesivaraaja. Tästä syystä sähköenergiaa joudutaan ostamaan verkosta.



Kuvio 8. Sähköenergiankulutus ja -tuotanto viikon tarkastelujaksolla, 4,5 kWp:n aurinkovoimala

5.4 Laskelmat

Tutkimusta varten laadin Excel-ohjelman avulla taulukon, jolla aurinkovoimalan kustannuksia pystytään tarkastelemaan eri tilanteissa. Taulukon on tarkoitus helpottaa aurinkovoimalan kustannusten laskemista myös tulevaisuudessa. Tutkimuksessa tarkastellaan esimerkkitilanteen vuotuisia kustannuksia ja kannattavuutta kolmessa eri tilanteessa:

- alkutilanne (kiinteistö ilman aurinkovoimalaa)
- kiinteistö varustettuna aurinkovoimalla ja ylijäämä sähkö myydään verkkoon
- kiinteistö varustettuna aurinkovoimalla ja ylijäämä sähkö pyritään varastoi-
maan omiin puskurivarastoihin.

Alkutilanteen kustannukset pystytään selvittämään yksinkertaisesti kertomalla kiinteistön vuodessa kuluttama sähköenergian määrä sähkön hinnalla. Sähkön hintana tutkimuksessa käytetään Suur-Savon Sähkö Oy:n määrittelemää yleissähkön hintaa

vuoden 2014 lopussa, joka sisältää sähköveron (11,88 senttiä /kilowattitunti) (Sähkö-energiatuotteiden hinnat 2014). Sähkönhinta sisältää sähköveron, joka oli vuoden 2014 lopussa 2,40 senttiä kilowattituntia kohden (Sähkövero 2015). Alkutilanteessa sähköön kulutus vuodessa oli noin 15 000 kilowattituntia. Kustannukset koko vuoden osalta ovat 1 775 euroa.

5.4.1 Aurinkovoimalalla varustettu kiinteistö, joka myy ylijäämäsähköä

Tilanteessa, jossa aurinkovoimalan tuottama sähköteho on suurempi kuin kiinteistön kulutuslaitteiden sähköteho, ylijäämäsähköteho siirtyy yleiseen sähköverkkoon. Kuten jo aiemmin tutkimuksessa on mainittu, kuluttajan on mahdollista myydä ylijäämäsähkötehoa verkkoon, jolloin sähköön ostaja eli sähköverkkoyhtiö maksaa ostamastaan sähköenergiasta sopimuksen mukaisen hinnan. Esimerkkikohteen kustannuksia laskettaessa käytetään Suur-Savon Sähkö Oy:n vuoden 2014 lopussa voimassa olevaa hinnastoa. Suur-Savon Sähkö maksaa heidän verkkoonsa siirretystä sähköenergiasta Nord Poolin mukaisen sähköenergian tuntihinnan, josta vähennetään 0,3 senttiä kilowattituntia kohden (Tammi 2014). Tutkimuksessa laskennan helpottamiseksi on käytetty Nord Poolin tuntihinnan sijaan Nord Poolin keskimääräistä sähköenergian markkinahintaa vuonna 2014, joka on 4,12 senttiä kilowattituntia kohden. Lopulliseksi ylijäämäsähköenergian myyntihinnaksi jää 3,72 senttiä kilowattituntia kohden. Kiinteistön kulutettua ja tuotettua sähköenergiaa verrataan rinnakkain tunneittain, jolloin pystytään laskemaan sekä verkosta otetun sähköenergian määrä ja kustannus että verkkoon siirtyvän sähköenergian määrä ja siitä saatava voitto.

3 kWp:n aurinkovoimalalla varustettuna esimerkkikohteen sähköenergian kustannukset edellä kuvatussa tilanteessa ovat 1 551 euroa vuodessa. Säästöä alkutilanteeseen verrattuna syntyy 224 euroa vuodessa. Voimalan hankintakustannukset tarvikkeineen ja arvioituine asennuskuluineen ovat noin 8 100 euroa (alv 24 %) (Puolakka 2014), jolloin aurinkovoimalan takaisinmaksuajaksi tulee noin 36 vuotta.

4,5 kWp:n voimalalla varustettuna esimerkkikohteen sähköenergian kustannukset edellä kuvatussa tilanteessa ovat noin 1 474 euroa vuodessa. Säästöä alkutilanteeseen verrattuna syntyy noin 301 euroa vuodessa. Voimalan hankintakustannukset tarvik-

keineen ja arvioituine asennuskuluineen ovat noin 9 839 euroa (alv 24 %) (Puolakka 2014), jolloin aurinkovoimalan takaisinmaksuajaksi tulee noin 32,5 vuotta.

4,5 kWp:n aurinkovoimala on kuvatussa tilanteessa hieman kannattavampi vaihtoehto, vaikkakin molempien voimaloiden takaisinmaksuajat venyvät melko pitkiksi. Takaisinmaksuaikaa on mahdollista lyhentää, mikäli tuotantolaitoksen hankkijalla on mahdollisuus tehdä ainakin osa asennustöistä itse. Myös tuotantolaitosten kilpailuttamisella ja kotitalousvähennyksen hyödyntämisellä asennustyön kustannuksissa on mahdollista saada taloudellista hyötyä.

5.4.2 Aurinkovoimalalla ja puskurivarastolla varustettu kiinteistö

Kolmas tarkasteltava tilanne tutkimuksessa on sellainen, jossa esimerkkikohteen aurinkovoimalan tuottama ylijäämäsähkö pyritään siirtämään omiin puskurivarastoihin. Tässä tilanteessa verkkoon siirtyvää ylijäämäsähköenergiaa ei myydä, vaan se siirtyy verkkoon ilman korvausta. Esimerkissä puskurivarastona käytetään kiinteistön lämminvesivaraajaa, jota käytetään käyttöveden lämmittämiseen. Esimerkissä lämpimän veden kulutuksen oletetaan vastaavan nelihenkisen perheen kulutusta (77,5 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa). Lämminvesivaraaja on kooltaan 300 litraa. Normaalis- sa käytössä lämminvesivaraaja lämmittää veden yöllä 50–60 °C:seen. Kun lämminvesivaraajaa lämmitetään lisävastuksella puskurivarastokäytössä, termostaatin asetusluarvo nostetaan 90 °C:seen.

Puskurivaraston kapasiteetti on energiamäärä, jolla puskurivarastoa voidaan vuorokaudessa ladata eli ylijäämäsähköenergiaa voidaan siirtää puskurivarastoon. Veden lämmittämiseen kuluva energia voidaan laskea Motiva ry:n julkaiseman yhtälön 1 avulla (Lämmin käyttövesi 2015.):

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (1)$$

missä

Q	on veden lämmittämiseen kuluva energia (kWh)
ρ	on tiheys (vedellä 1 000 kg/m ³)
c_p	on ominaislämpökapasiteetti (vedellä 4,2 kJ/kg°C)
V	on vedenkulutus (kiinteistön vedenkulutus vuorokaudessa, m ³)
t_2	on lisävastuksen termostaatin asettelu (90 °C)
t_1	on yötermostaatin asettelu (50 °C)
3600	on yksikönmuunnoskerroin (kJ → kWh).

Kolmannen tilanteen kustannukset saadaan vähentämällä verkosta ostetun sähköenergian kustannuksista puskurivarastoihin siirretyn sähköenergian arvo. Koska esimerkiksi kiinteistöstä saatujen sähköenergiankulutustietoihin perustuvat laskelmat on laskettu arvioiduilla tuotantotehoilla ja aikaisempien vuosien kulutusmittausten mukaan, tutkimuksessa oletetaan, että ylijäämäsähköenergiasta 80 % pystytään siirtämään puskurivarastoihin. Puskurivarastoihin siirretty sähköenergia voidaan ajatella samanarvoiseksi kuin vastaava määrä verkosta ostettua sähköenergiaa. Vuorokaudessa puskurivarastoihin voidaan siirtää sähköenergiaa enintään puskurivaraston kapasiteetin verran. Jos ylijäämäsähköenergiaa tuotetaan yli puskurivaraston kapasiteetin, ylimääräinen osa siirtyy sähköverkkoon ja se käsitellään häviönä. Tässä tilanteessa puskurivaraston kapasiteetin ylittävää ylijäämäsähköenergiaa ei syntynyt. Mikäli käytössä olisi pienempi puskurivarasto tai sähkötehotuotannoltaan suuremmat aurinkopaneelit, ylijäämäsähköenergian syntyminen olisi mahdollista ja sitä olisi mahdollista myydä sähköverkkoon. Mikrotuotantolaitoksen haltijan on kuitenkin otettava huomioon joidenkin sähköverkkoyhtiöiden käyttämä kiinteä kuukausimaksu ylijäämäsähköenergian myymisestä sähköverkkoon. Jos ylijäämäsähköenergiaa myydään sähköverkkoon vain pieniä määriä, voi kiinteät kuukausikustannukset nousta suuremmiksi, kuin sähköenergian myynnistä saatu tulo.

Tilanteessa, jossa käytössä on 3 kWp:n aurinkovoimala ja sähköenergiaa varastoidaan omiin puskurivarastoihin, kiinteistön sähköenergian kustannukset vuodessa ovat noin 1 524 euroa. Säästöä edelliseen tilanteeseen (ylijäämäsähköenergia myydään verkkoon) syntyy noin 27 euroa vuodessa. Jos puskurivarastojen ohjauksen hankintakus-

tannusten takaisinmaksuajaksi halutaan 20 vuotta, hankintakustannusten pitäisi jäädä alle 540 euron.

Tilanteessa, jossa käytössä on 4,5 kWp:n aurinkovoimala ja sähköenergiaa varastoidaan omiin puskurivarastoihin, kiinteistön sähköenergian kustannukset vuodessa ovat noin 1 410 euroa. Säästöä edelliseen tilanteeseen (ylijäätämäsähköenergia myydään verkkoon) syntyy noin 64 euroa vuodessa. Jos puskurivarastojen ohjauksen hankintakustannusten takaisinmaksuajaksi halutaan 20 vuotta, hankintakustannusten pitäisi jäädä alle 1 280 euron.

5.5 Yhteenveto

Mikrotuotantolaitoksen ylijäätämäsähköenergian käyttöä suunniteltaessa on otettava huomioon kohteen yksilölliset ominaisuudet. Ylijäätämäsähköenergian käytön kannalta olennaisia asioita ovat syntyvän ylijäätämäsähköenergian määrä, myytävän ylijäätämäsähköenergian hinta ja myynnistä syntyvät kustannukset sekä mahdollisen puskurivaraston kapasiteetti. Esimerkkikohteen ylijäätämäsähköenergian käytön kustannusten laskennassa puskurivarastona on käytetty lämminvesivaraajaa. Tutkimuksessa luotua Excel-taulukkoa pystytään hyödyntämään muissa puskurivarastotekniikoissa, kuten esimerkiksi käytettäessä akkuja.

Esimerkkikohteessa sähkön varastoiminen puskurivarastoihin on kannattavaa, mikäli puskurivaraston ohjaukseen löytyy järkevä ja taloudellinen ratkaisu. Tässä vaiheessa ylijäätämäsähköenergian myyminen verkkoon on kuitenkin järkevää, koska sähköverkkoyhtiö ei peri myynnistä kuukausittaisia kiinteitä kustannuksia. Takaisinmaksuajan kannalta suuremman aurinkovoimalan hankkiminen (4,5 kWp) on taloudellisesti kannattavampaa. Taulukosta 2 käy ilmi esimerkkikiinteistön vuotuiset kustannukset edellä käsitellyissä tilanteissa.

Taulukko 2. Esimerkkikohteen sähköenergiakustannukset vuodessa

	Alkutilanne (kiinteistö ilman aurinkovoimalaa)	Aurinkovoimalalla varustettu kiinteistö	Aurinkovoimalalla varustettu kiinteistö (yliäämä sähköenergia myydään verkkoon)	Aurinkovoimalalla varustettu kiinteistö (käytössä puskurivarasto)
3 kWp:n aurinkovoimala	1 775 €	1 571 €	1 551 €	1 524 €
4,5 kWp:n aurinkovoimala	1 775 €	1 517 €	1 474 €	1 410 €

6 Pohdinta

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää mikä olisi taloudellisin tapa käyttää mikrotuotantolaitoksen tuottama yliäämä sähköenergia. Lisäksi tavoitteena oli selvittää erilaisia puskurivarastoja, joihin yliäämä sähköenergian olisi mahdollista siirtää ja niiden ohjausta. Alun perin tutkimuksessa oli tarkoitus suunnitella ja mahdollisesti toteuttaa esimerkkikohteeseen toimiva puskurivaraston ohjauslaitteisto.

Esimerkkikohteen mitattua sähköenergiankulutusta ja aurinkovoimalan mallinnettua sähköenergiantuottoa hyödyntämällä pystyttiin havainnollistamaan kuvaajia apuna käyttäen sähkönkulutusta ja -tuotantoa. Kuvaajia tarkastelemalla saatiin selville, kuinka kulutus ja tuotanto jakautuvat eri vuodenajoille ja tarkemmin tarkasteltuna kuinka ne jakaantuvat tunneittain vuorokauden sisällä. Esimerkkikohteen aurinkovoimalan kustannuksia erilaisissa tilanteissa pystyttiin vertaamaan hyvin toisiinsa tutkimuksessa tehtyjen laskelmien perusteella. Puskurivarastojen ja niiden ohjaus käsiteltiin tutkimuksessa pintapuolisesti. Tutkimuksen edetessä kävi ilmi, että puskurivarastojen ohjauksen toiminta oli ajateltua monimutkaisempi toteuttaa ja se olisi vaatinut paljon enemmän työtunteja. Puskurivaraston ohjauslaitteiston toteuttamisesta päätettiin luopua tutkimuksen aikana.

Mielestäni esimerkkikohteen kannattavuuslaskelmat onnistuivat hyvin, ja kaavioiden avulla niistä saatiin helposti ymmärrettäviä. Toimeksiantajan tavoitteen mukaisesti tutkimustuloksia on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa muun muassa energianeuvonnassa ja uusien mikrotuotantolaitosten suunnittelussa. Tutkimuksen aikana

luotujen Excel-taulukoiden avulla asiakkaalle pystytään havainnollistamaan mikrotuotantolaitoksen tuottamaa sähköenergiaa suhteessa kulutettuun energiaan. Lisäksi luotuja taulukoita on mahdollista käyttää laskettaessa aurinkovoimaloiden kustannuksia erilaisissa tilanteissa tulevaisuudessa. Haastavinta tutkimuksessa oli puskurivarastojen ohjauksen suunnittelu. Tarkemmasta ohjauksen suunnittelusta jouduttiin luopumaan, ja ohjauksen toimintaa esiteltiin tutkimuksessa opinnäytetyön tavoitteesta poiketen vain pintapuolisesti.

Tutkimuksen luotettavuutta rajoitti se, että esimerkkikohteen kannattavuuslaskelmissa käytettiin arvioituja lukuja sähköenergian tuotannon suhteen. Lisäksi puskurivarastoihin siirrettävää sähköenergiaa jouduttiin arvioimaan ilman käytännön kokemusta. Arvoidut lukemat olivat kuitenkin hyvin suuntaa antavia ja niistä saadut tulokset olivat käyttökelpoisia esimerkkikohteen eri tilanteiden kannattavuutta laskettaessa.

Jotta puskurivarastoja pystyttäisiin hyödyntämään mikrotuotantolaitosten ylijäämäsähköenergian varastoimisessa, olisi puskurivarastojen ohjaamiseen löydettävä taloudellinen ja toimiva ratkaisukeino. Mikäli kannattava keino puskurivarastojen ohjaamiseen löytyisi, puskurivarastojen rooli ylijäämäsähköenergian varastoimisessa kasvaisi. Mikrotuotantolaitosten lisääntyminen, ja mikäli sähköverkkoyhtiöt asettavat sähköenergian myymiselle kiinteitä kuukausimaksuja, puskurivarastojen merkitys tulevaisuudessa kasvaisi entisestään.

Aikaisempien työharjoittelujeni aikana olen päässyt tutustumaan aurinkosähköjärjestelmiin ja mikrotuotantolaitoksiin sekä teoriassa että käytännössä. Tässä tutkimuksessa pystyin hyödyntämään aikaisemmin hankkimaani tietoa aurinkosähköjärjestelmistä ja sain syventää tietouttani aiheesta. Erityisesti verkkoon kytkettävien aurinkovoimaloiden parissa työskentely on ollut mielenkiintoista, koska aihe on ajankohtainen ja se liittyy vahvasti tulevaisuuteen. Tutkimuksen aikana pääsin soveltamaan aikaisemmin opinnoissani oppimiani asioita. Sähkötekniikan perusteet ovat oleellinen osa aurinkosähkötekniikan ymmärtämistä ja esimerkiksi kiinteistön sähköverkon rakenteen ja mittaustekniikan ymmärtäminen ovat helpottaneet tutkimuksen tekemistä.

Lähteet

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2014. Motiva Oy, tietoa aurinkoenergiasta. Viitattu 16.1.2014.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Auringosta lämpöä ja sähköä. 2014. Motiva Oy:n esite aurinkosähköstä. uusittu painos. Helsinki: Motiva. Viitattu 15.1.2014.

http://www.motiva.fi/files/9698/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2014.pdf

Aurinkosähkö. N.d. MicrE-hankkeen julkistamaa tietoa aurinkosähköstä. Viitattu 23.2.2015. <http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/aurinkosahkoe/>

Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2014. Motiva ry:n antamaa tietoa aurinkosähköjärjestelmän tehosta. Viitattu 23.2.2015.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho

Aurinkosähköteknologiat. 2014. Motiva ry:n antamaa tietoa erilaisista erilaisista aurinkopaneeliteknologioista. Viitattu 23.2.2015.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Aurinkosähkövoimalaitokset. n.d. GreenEnergy Finland Oy:n esite verkkoon kytkettävistä aurinkovoimaloista. Viitattu 2.3.2015.

http://www.gef.fi/files/4014/1275/7394/Gef_esite_pv_paketit_Elfin_pakattu.pdf

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Päivitetty versio. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

Etäluenta. N.d. Järvi-Suomen Energia Oy, tietoa etäluennasta. Viitattu 15.1.2015.

<http://jseoy.fi/Sahkoverkko/Etaluenta/>

Kuparinen, S. 2014. Energianeuvoja, Suur-Savon Sähkö Oy. Sähköpostilla saatu materiaali 28.11.2014.

Käpylehto, J. 2014. Mökille sähköt auringosta ja tuulesta. Helsinki: Into Kustannus Oy.

Lehto, I. 2011. Verkkoon sopivaa piensähköä. Motiva ry:n ajankohtaisseminaarin aineisto. Viitattu 4.3.2015

http://www.motiva.fi/files/4736/Verkkoon_sopivaa_piensahkoa_Ina_Lehto.pdf

Lämmin käyttövesi. 2015. Motiva ry, laskukaavoja lämpimän käyttöveden energiankulutukseen. Viitattu 3.3.2015.

http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Lämminvesivaraajan toiminta. 2003. VTT, lämminvesivaraajan toimintaperiaate. Viitattu 4.3.2015 <http://www.rte.vtt.fi/webdia/sahkolampo/opastus/faq.asp?Viite1=SF63>

Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. 2009. Energiateollisuus ry:n verkostosuositus. Viitattu 23.2.2015.

http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopulinen_2009.pdf

Pienimuotoinen sähköntuotanto. N.d. Järvi-Suomen Energian ohje kuluttajille. Viitattu 23.2.2015. <http://jseoy.fi/Sahkoverkko/Pientuotanto/>

Puolakka, P. 2014. Myyjä, Onninen Oy. Opinnäytetyöhön liittyvä sähköpostikeskustelu 3.12.2014.

Pääkkönen, M. 2014. Suunnittelija, GreenEnergy Finland Oy. Suunnitelmat esimerkiksi aurinkovoimaloista, 20.11.2014.

Sähköenergiatuotteiden hinnat. 2014. Suur-Savon Sähkö Oy:n ilmoittamat sähköenergiatuotteiden hinnat vuoden 2014 lopulle. Viitattu 3.3.2015.

<http://www.ssoy.fi/PageFiles/799/VaivatonKymppi01102014.pdf>

Sähkövero. 2015. Elenia Oy:n tiedote sähköveron muutoksesta vuodelle 2015. Viitattu 3.3.2015. <http://www.elenia.fi/sahko/sahkovero>

Tammi, A. 2014. Suur-Savon Sähkö Oy:n hankintapäällikkö. Opinnäytetyöhön liittyvä haastattelu 25.11.2014.

TRIO-5.8-TL-OUTD. 2014. Archiproducts verkkokaupan tuote. Viitattu 23.2.2015.

<http://www.archiproducts.com/en/products/89872/trio-three-phase-inverter-for-photovoltaic-system-trio-5-8-tl-outd-abb.html>

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2014. Motiva Oy, tietoa aurinkosähköjärjestelmästä. Viitattu 23.2.2015.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma


Yritys. n.d. Suur-Savon Sähkö Oy, yritysesittely. Viitattu 13.1.2015.

<http://www.ssoy.fi/Yritys>

Liitteet

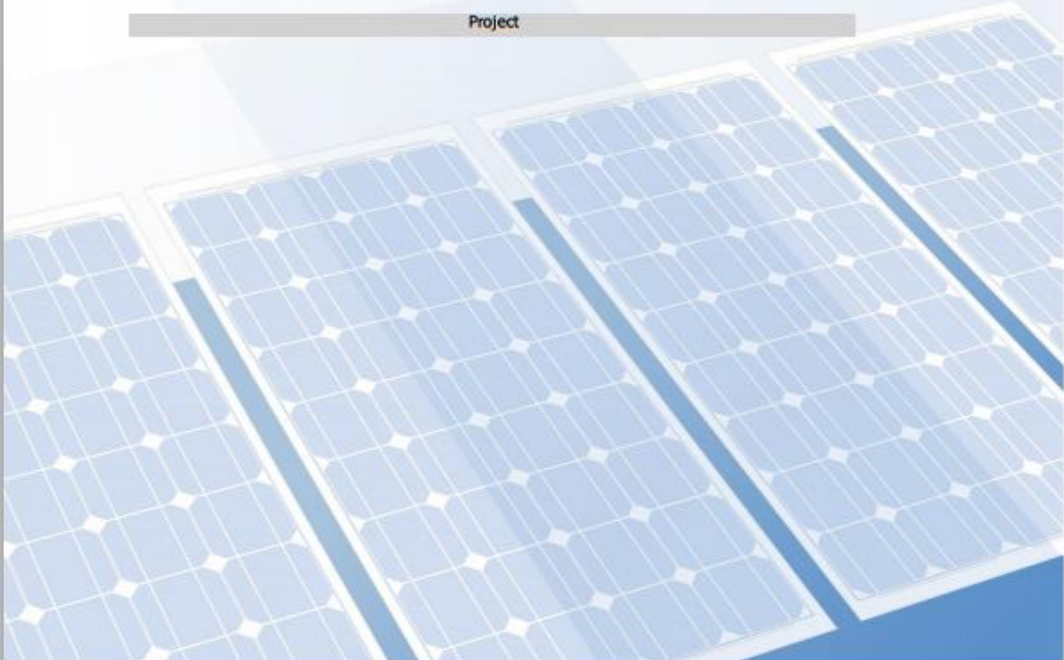
Liite 1. 4,5 kWp:n aurinkovoimalan suunnitelma

4,5 kWp aurinkovoimala

Company	
	GreenEnergy Finland Oy Laserikatu 6 53850 Lappeenranta Contact Person: Mikko Paakkonen Phone: +358 44 700 4567 Mail: mikko.paakkonen@gef.fi

Client	
	Finland Contact Person: Aki Hyynäinen Phone: +358 50 535 3796

Project	



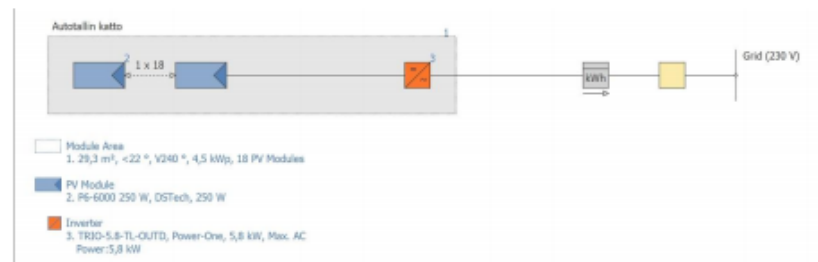


Project Number: 20141120-1
Date of Offer: 20.11.2014
4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
Company: GreenEnergy Finland Oy

Grid Connected PV System - Full Feed-in

City	Mikkeli
Climate Data	MIKKELI
PV Generator Output	4,5 kWp
Generator Surface	29,3 m ²
Number of PV Modules	18
Number of Inverter	1



The yield

Energy produced by PV System (AC)	3 388 kWh
Spec. Annual Yield	752,87 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	83,6 %
CO ₂ Emissions avoided	2 011 kg / year

The results have been calculated with a mathematical model calculation from Valentin Software GmbH (PV*SOL algorithms). The actual yields from the solar power system may differ as a result of weather variations, the efficiency of the modules and inverter, and other factors.



Project Number: 20141120-1
 Date of Offer: 20.11.2014
 4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
 Company: GreenEnergy Finland Oy

Set-up of the system

City	Mikkeli
Climate Data	Mikkeli
Type of System	Grid Connected PV System - Full Feed-in

Solar Generator

Module Area	Autotallin katto
Solar Modules*	18 x P6-6000 250 W
Manufacturer	DSTech
Inclination	22 °
Orientation	Southwest (240 °)
Installation Type	Mounted - Open Space
Generator Surface	29,3 m ²

Losses

Shading	0 %
---------	-----

Inverter

Module Area	Autotallin katto
Inverter 1*	1 x TRIO-S.8-TL-OUTD
Manufacturer	ABB
Configuration	MPP 1: 1 x 18

AC Mains

Number of Phases	3
Mains Voltage (1-phase)	230 V
Displacement Power Factor (cos φ)	+/- 1

Cable

Total Loss	0,16 %
------------	--------

* The guarantee provisions of the respective manufacturer apply



Project Number: 20141120-1
Date of Offer: 20.11.2014
4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
Company: GreenEnergy Finland Oy

Simulation results

PV System

PV Generator Output	4,5 kWp
Spec. Annual Yield	752,87 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	83,6 %
Annual Grid Feed-in	3 388 kWh/year
Annual Grid Feed-in incl. Degradation of Module	3 388 kWh/year
Stand-by Consumption	36 kWh/year
CO ₂ Emissions avoided	2 011 kg / year

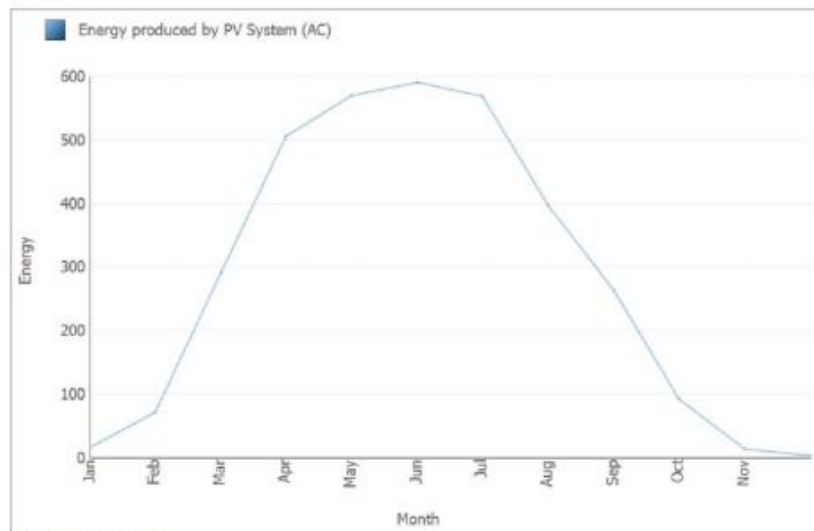


Figure: Production Forecast



Project Number: 20141120-1
Date of Offer: 20.11.2014
4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
Company: GreenEnergy Finland Oy

PV System Energy Balance

Global radiation - horizontal	863,7 kWh/m²	
Deviation from standard spectrum	-8,64 kWh/m ²	-1,00 %
Orientation and inclination of the module surface	43,48 kWh/m ²	5,09 %
Shading	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Reflection on the Module Interface	-52,80 kWh/m ²	-5,88 %
Global Radiation at the Module	845,7 kWh/m²	

$$\begin{aligned}
 &845,7 \text{ kWh/m}^2 \\
 &\times 29,34 \text{ m}^2 \\
 &= 24810,5 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Global PV Radiation	24 810,5 kWh	
Solling	-268,34 kWh	-1,08 %
STC Conversion (Rated Efficiency of Module 15,38%)	-20 767,00 kWh	-84,62 %
Rated PV Energy	3 775,2 kWh	
Part Load	-137,07 kWh	-3,63 %
Temperature	31,69 kWh	0,87 %
Diodes	-18,35 kWh	-0,50 %
Mismatch (Manufacturer Information)	-58,42 kWh	-1,60 %
Mismatch (Configuration/Shading)	0,00 kWh	0,00 %
String Cable	-0,98 kWh	-0,03 %
PV Energy (DC) without inverter regulation	3 592,1 kWh	
Regulation on account of the MPP Voltage Range	0,00 kWh	0,00 %
Regulation on account of the max. DC Current	0,00 kWh	0,00 %
Regulation on account of the max. DC Power	0,00 kWh	0,00 %
Regulation on account of the max. AC Power/cos phi	0,00 kWh	0,00 %
MPP Matching	-9,99 kWh	-0,28 %
PV energy (DC)	3 582,1 kWh	

Energy at the Inverter Input	3 582,1 kWh	
Input voltage deviates from rated voltage	-11,06 kWh	-0,31 %
DC/AC Conversion	-179,07 kWh	-5,01 %
Stand-by Consumption	-35,88 kWh	-1,06 %
Regulation of Radiation Peaks	0,00 kWh	0,00 %
AC Cable	-4,04 kWh	-0,12 %
Solar energy (AC) minus standby use	3 352,0 kWh	
Annual Grid Feed-in	3 387,9 kWh	



Project Number: 20141120-1
 Date of Offer: 20.11.2014
 4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
 Company: GreenEnergy Finland Oy

PV Module: PG-6000 250 W

Manufacturer	DSTech
Available	Yes

Electrical Data

Cell Type	Si polycrystalline
Only Transformer Inverters suitable	No
Number of Cells	60
Number of Bypass Diodes	6

Mechanical Data

Width	995 mm
Height	1638 mm
Depth	40 mm
Frame Width	40 mm
Weight	19 kg
Framed	Yes

I/V Characteristics at STC

MPP Voltage	31,26 V
MPP Current	8,02 A
Output	250 W
Open Circuit Voltage	37,74 V
Short-Circuit Current	8,34 A
Increase open circuit voltage before stabilisation	0 %

I/V Part Load Characteristics (calculated)

Values source	Standard (PV*SOL Model)
Irradiance	200 W/m ²
Voltage in MPP at Part Load	29,5455 V
Current in MPP at Part Load	1,604 A
Open Circuit Voltage (Part Load)	33,9716 V
Short Circuit Current at Part Load	1,668 A

Further

Voltage Coefficient	-128,32 mV/K
Electricity Coefficient	7,51 mA/K
Output Coefficient	-0,4 %/K
Incident Angle Modifier	95 %
Maximum System Voltage	1000 V
Spec. Heat Capacity	920 J/(kg *K)
Absorption Coefficient	70 %
Emissions Coefficient	85 %



Project Number: 20141120-1
 Date of Offer: 20.11.2014
 4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
 Company: GreenEnergy Finland Oy

Inverter: TRIO-5.8-TL-OUTD

Manufacturer	ABB
Available	Yes

Electrical Data

DC Power Rating	5,95 kW
AC Power Rating	5,8 kW
Max. DC Power	6,05 kW
Max. AC Power	5,8 kW
Stand-by Consumption	15 W
Night Consumption	3,5 W
Feed-in from	32 W
Max. Input Current	18,9 A
Max. Input Voltage	1000 V
Nom. DC Voltage	620 V
Number of Feed-in Phases	3
Number of DC Inlets	2
With Transformer	No
Change in Efficiency when Input Voltage deviates from Rated Voltage	0,4 %/100V

MPP Tracker

Output Range < 20% of Power Rating	99,5 %
Output Range > 20% of Power Rating	99,8 %
No. of MPP Trackers	1
Max. Input Current per MPP Tracker	18,9 A
Max. recommended Input Power per MPP Tracker	6,05 kW
Min. MPP Voltage	200 V
Max. MPP Voltage	950 V



Project Number: 20141120-1
 Date of Offer: 20.11.2014
 4,5 kWp aurinkovoimala

Project Designer: Mikko Pääkkönen
 Company: GreenEnergy Finland Oy

