

# AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Nea Pesonen	
Työn nimi Aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika	
Päiväys	7.6.2016
Sivumäärä/Liitteet	52 / 17
Ohjaajat yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Jari Ijäs	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) PCM Technology Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää verkkoon kytkettävän aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika suomenjokelaiselle PCM Technology Oy:lle. Suunnittelun lähtökohta oli yrityksen toive, että järjestelmä tuottaisi 80 kW aurinkoisen kesäpäivän huipputuntina ja että suurin osa tuotetusta sähköenergiasta menisi yrityksen omaan käyttöön. Lisäksi opinnäytetyössä tuli selvittää yrityksen tehtaan kattorakenteen kestävyys, järjestelmästä vaadittavat lupa-asiat ja verkonhaltijan vaatimukset hajautetusta energiantuotannosta.</p> <p>Työssä selvitettiin aluksi, onko yritykseltä saatu mitoituseruste aurinkopaneelijärjestelmälle sopiva yrityksen kulutukseen verrattuna. Tämä selvitettiin arvioimalla Opistotien kampuksen 2 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän todellisen tuoton avulla 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän tuotto. 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän arvioitua tuottoa verrattiin yrityksen tehtaan kulutukseen todellisilta päiviltä.</p> <p>Työssä etsittiin yrityksen tarpeisiin sopivia aurinkopaneelijärjestelmiä eri laitetoimittajilta. Muutamilta laitetoimittajilta pyydettiin ja saatiin tarjoukset, joiden perusteella tehtiin kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat.</p> <p>Työn tuloksena saatiin yritykselle materiaali aurinkopaneelijärjestelmän hankintaa varten sekä kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat. Tulosten perusteella yritys tekee investointipäätöksen aurinkopaneelijärjestelmän hankinnasta.</p>	
Avainsanat aurinkosähkö, aurinkopaneeli, invertteri, aurinkosähköjärjestelmä, takaisinmaksuaika, kannattavuus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Nea Pesonen			
Title of Thesis Repayment period and profitability of solar panel system			
Date	June 7, 2016	Pages/Appendices	52 / 17
Supervisors Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Jari Ijäs, Lecturer			
Client Organisation /Partners PCM Technology Oy			
<p>Abstract</p> <p>The object of this Bachelor's Thesis was to find out the profitability and repayment period of a grid connected solar panel system for a company in Suonenjoki called PCM Technology Oy. The starting point of the planning was the company's wish that the system would produce 80 kW on the peak hour of a sunny summer day and that most of the produced energy would be used by the production processes of the company. In addition, the durability of the roof structures of the building for the system needed to be clarified as well as the required permissions and the demands of the network owner on the distributed energy production.</p> <p>The first thing to do was to find out if the sizing preferences for the solar panel system were correct for the consumption of the company. This was found out by estimating the production of 80 kWp solar panel system with the values received from a 2 kW<sub>p</sub> solar panel system which was located at Opistotie Campus of Savonia University of Applied Sciences. The evaluated production of the 80 kWp system was then compared to the consumption of PCM Technology Oy's factory.</p> <p>Suitable solar panel systems that would meet the company's requirements were looked up from various hardware suppliers. Actual offers were asked and received from few hardware suppliers and the profitability and repayment period calculations were based on those offers.</p> <p>As a result of this thesis, the company got material about getting a solar panel system and the profitability and repayment period calculations. Based on the results the company will make an investment decision on the procurement of a solar panel system.</p>			
<p>Keywords photovoltaic, solar panel, inverter, photovoltaic system, repayment period, profitability</p>			

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin PCM Technology Oy:lle. Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaavia opettajia yliopettaja Juhani Rouvalia ja lehtori Jari Ijätä avusta ja tuesta opinnäytetyöprosessin aikana sekä PCM Technology Oy:n toimitusjohtajaa Tommi Väänästä mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta. Lisäksi haluan kiittää perhettäni saamastani tuesta ja neuvoista koko opinnäytetyön teon aikana.

Opinnäytetyön tavoitteena on syventää omaa osaamista ja oppia ymmärtämään aurinkopaneelijärjestelmän mitoituksen perusteita. Opinnäytetyön aihe on hyvin ajankohtainen, sillä yhä useammat miettivät aurinkopaneelijärjestelmän hankkimista nousevien sähköenergian ja siirtohintojen takia sekä ympäristökysymysten myötä.

Olin opinnäytetyön teon loppuvaiheessa työsuhteessa Savon Voima Verkko Oy:n kanssa.

Kuopiossa 7.6.2016

Nea Pesonen

# SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	8
1 JOHDANTO .....	10
2 AURINKOENERGIA.....	11
2.1 Auringon kierron ja korkeuden vaikutus säteilyenergiaan.....	11
2.2 Auringon säteilyenergia .....	13
2.3 Ilmakehän vaikutus säteilyyn .....	15
2.4 Auringon säteilyteho maapallolla .....	16
2.5 Auringon säteily Suomessa .....	16
2.6 Auringon säteily Suomenjoella .....	18
3 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄ.....	20
3.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate .....	20
3.2 Aurinkopaneelin ominaiskäyrät.....	21
3.3 Aurinkopaneelisiin liittyvät laskennat.....	22
3.3.1 Aurinkopaneelin hyötysuhde .....	22
3.3.2 Aurinkopaneelin tehontuotto .....	22
3.3.3 Aurinkopaneelin kuorma .....	23
3.3.4 Siirtojohtimien aiheuttamat häviöt.....	23
3.4 Aurinkopaneelityypit.....	24
3.4.1 Puolijohdepaneelit.....	24
3.4.2 Ohutkalvopaneelit .....	26
3.4.3 Nanokidepaneelit .....	27
3.5 Invertteri eli vaihtosuuntaaja .....	28
4 ERI ASIOIDEN VAIKUTUS AURINKOPANEELIN TEHONTUOTTOON.....	29
4.1 Auringonsäteilyn voimakkuuden vaikutus.....	29
4.2 Ulkolämpötilan vaikutus.....	29
4.3 Aurinkopaneelien sijainnin vaikutus .....	30
4.4 Aurinkopaneelien suuntauksen vaikutus .....	30
4.5 Aurinkopaneelien kallistuskulman vaikutus .....	31
5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT .....	34
5.1 Verkkoon kytkettävä järjestelmä .....	34

5.2	Verkkoon kytkemätön järjestelmä .....	35
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU PCM TECHNOLOGY OY:LLE.....	38
6.1	Tehtaan kulutus.....	38
6.2	Järjestelmän mitoittaminen.....	39
7	KATON ASETTAMAT VAATIMUKSET JÄRJESTELMÄN ASENTAMISELLE.....	41
7.1	Huollon tarve.....	41
7.2	Yrityksen tehtaan katto .....	41
8	JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON.....	42
8.1	Energiateollisuuden suositukset .....	42
8.2	Rakennusvalvontaviranomaisen vaatimat luvat .....	43
8.3	Savon Voima Verkko Oy:n vaatimukset verkkoon liittämiseen .....	43
8.3.1	Tarvittavat ilmoitukset.....	43
8.3.2	Liittymiskustannukset .....	44
8.3.3	Siirtomaksut .....	44
8.3.4	Mittarointi.....	45
8.3.5	Tariffit .....	45
8.4	Energiatuki .....	46
9	KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA LASKELMAT .....	47
9.1	Laskentakaavat.....	47
9.1.1	Saatavan säästön laskenta.....	47
9.1.2	Takaisimaksuajan laskenta .....	47
9.1.3	Sijoitetun pääoman tuotto-%:n laskenta .....	48
9.1.4	Omaan käyttöön menevän tuotannon prosentiosuuden laskenta .....	48
9.1.5	Keskitehon laskenta .....	48
9.2	Saadut tarjoukset.....	48
9.2.1	Savon Voima Oyj.....	48
9.2.2	Muut toimittajat .....	48
9.3	Laskelmat.....	49
9.3.1	Investointi ilman energiatukea .....	50
9.3.2	Investointi 25 % energiatuella .....	51
10	YHTEENVETO.....	52
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	53

LIITE 1: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 1.4.2016.....	57
LIITE 2: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 2.4.2016.....	58
LIITE 3: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 3.4.2016.....	59
LIITE 4: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 4.4.2016.....	60
LIITE 5: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 5.4.2016.....	61
LIITE 6: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 6.4.2016.....	62
LIITE 7: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 7.4.2016.....	63
LIITE 8: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 8.4.2016.....	64
LIITE 9: TEHTAAN KULTUS JA ARVIOITU TUOTTO 9.4.2016.....	65
LIITE 10: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 14.4.2016 .....	66
LIITE 11: SAVON VOIMA VERKON MIKROTUOTANNON YLEISTIETOLOMAKE (SAVON VOIMA VERKKO OYB.) .....	67
LIITE 12: LASKELMAT .....	69

## LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

Auringon deklinaatio

Auringon korkeuskulma päiväntasaajaan nähden (Suntekno 2010-04-15a, 1).

Auringonsäteily

Auringosta tuleva säteily, joka voi olla suoraa- ja hajasäteilyä (Kvick 2010, 4).

Aurinkoenergia

Auringon lähettämä säteilyenergia (Kvick 2010, 4).

Aurinkovakio

Auringon säteilyteho, joka tulee maapallon ilmakehän ulkopuolella auringonsäteilyä vastaan kohtisuorassa olevalle pinnalle. Aurinkovakio on 1,35 - 1,39 kW/m<sup>2</sup>. (Erat, ym., 2008, 11.)

Hajasäteily

Hajasäteily koostuu ilmakehän molekyyleistä, pilvien heijastamasta ja maasta heijastuvasta säteilystä (Erat, ym., 2008, 12).

Huipputeho,  $W_p$

Aurinkopaneelin nimellisteho lämpötilan ollessa +25 °C ja auringon säteilyn kohdatessa aurinkopaneeli 35° kulmassa sekä auringon säteilytehon ollessa 1000 W/m<sup>2</sup> (Motiva 2014).

Hyötysuhde (aurinkopaneeli)

Aurinkopaneelin nimellistehon eli huipputehon jakaminen paneelin pinta-alalla ja standardiolosuhteiden säteilymäärällä (1 000 W/m<sup>2</sup>) (Motiva 2014).

Invertteri

Laitte, joka muuttaa tasavirran vaihtovirraksi (Kvick 2010, 5).

Kokonaissäteily

Kokonaissäteily koostuu suorasta auringonsäteilystä, hajasäteilystä ja ilmakehän vastasäteilystä (Erat, ym., 2008, 12).

Nimellisteho

Teho, joka ilmoitetaan aurinkopaneelille testiolosuhteissa. Nimellisteho ilmaistaan yleensä huipputehona ( $W_p$ ) (Kvick 2010, 5).

Paneeli

Aurinkokennoista koostuva kokonaisuus, joka tuottaa tasavirtaa (Kvick 2010, 5). Englanninkielinen sana aurinkopaneelille on PV modul ja solar panel.



### Paneelisto

Monesta aurinkopaneelista koostuva kokonaisuus, jossa paneelit on kytketty yhteen rinnan tai sarjaan (Kekkonen, 6).

### Pn-liitos

Kun n-tyyppin ja p-tyyppin puolijohteet liitetään toisiinsa, syntyy pn-liitos (Suntekno 2010-04-15c, 1).

### PV

Englannin kielisen sanana photovoltaic lyhenne. Sana tarkoittaa valosta syntyvää sähköä eli tässä tapauksessa aurinkosähköä. (Kvick 2010, 5.)

### Rinnankytkentä

Vähintään kahden aurinkopaneelin kytkemistä yhteen saman merkkisistä päistä. Rinnankytketyssä paneelistossa jännite on sama kuin yhden aurinkopaneelin jännite, ja virta on paneelien yhteenlaskettu virta. Rinnankytkentä voidaan tehdä paneeleille, joilla on samat jännitearvot. (Kekkonen, 6.)

### Sarjaan kytkentä

Vähintään kahden aurinkopaneelin kytkeminen yhteen siten, että erimerkkiset navat yhdistetään. Sarjaan kytketyssä paneelistossa jännite on paneelien yhteenlaskettu jännite ja virta on yhden paneelin virta. Sarjaan kytkentä voidaan tehdä paneeleille, joilla on samat virta-arvot. (Kekkonen, 6.)

### Teho

Aurinkopaneelin/-paneeliston tuottama teho (P) saadaan, kun virta (I) kerrotaan jännitteellä (U) eli  $P=UI$ . Tehon yksikkö on watti (W).

### Vaihe

Sähköverkko koostuu kolmesta vaiheesta, jotka syöttävät aallon muotoista vaihtojännitesähköä. Vaiheiden aallonharjat ovat aina kolmasosasyklin päässä toisistaan. (Motiva 2015-09-02.)

### Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä, joka on liitetty kyseisellä alueella toimivan verkonhaltijan sähköverkkoon. Järjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit ja invertteri. Englanninkielinen sana verkkoon kytkettävälle järjestelmälle on ON-Grid ja Grid-connected. (Motiva 2014-05-12d.)

### Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä, jota ei ole liitetty alueella toimivan verkonhaltijan sähköverkkoon. Englanninkielinen sana verkkoon kytkemättömälle järjestelmälle on OFF-Grid. (Motiva 2014-05-12b.)

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää verkkoon kytkettävän aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika. Opinnäytetyön toimeksiantaja on suonenjokelainen PCM Technology Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella yrityksen tarpeisiin sopiva verkkoon kytkettävä aurinkopaneelijärjestelmä, joka tuottaisi noin 80 kW tehon aurinkoisen kesäpäivän huipputuntina. Mitoitusperusteena on, että tuotetusta sähköenergiasta suurin osa menisi omaan kulutukseen ja vain pieniä määriä syötettäisiin verkkoon myytäväksi. Tällä tavalla aurinkopaneelijärjestelmä on kannattava ja taloudellinen.

Opinnäytetyössä etsitään kohteeseen sopivia aurinkopaneelistoja eri laitetoimittajilta ja kohteeseen sopivista paneelistoista pyydetään tarjouspyynnöt. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään yrityksen tehtaankattorakenteen kestävyys rakennuttajalta, aurinkopaneelijärjestelmälle vaadittavat lupa-asiat Suonenjoen rakennusviranomaiselta ja verkonhaltijan (Savon Voima) vaatimukset verkkoon liitettävälle hajautetulle energiantuotannolle. Kun aurinkopaneelijärjestelmä on päätetty, pyydetään verkonhaltijalta vielä arvioidut kustannukset järjestelmän verkkoon liittämiseksi. Lisäksi selvitetään, onko aurinkopaneelijärjestelmän hankintaan mahdollista saada valtion tukea. Tämän jälkeen lasketaan aurinkopaneelijärjestelmälle kannattavuuslaskelmat ja takaisinmaksuaika siten, että myytävälle energialle ajatellaan tuotoksi 0 € ja mahdollisia kattorakenteen vahvistamiskustannuksia ei oteta huomioon. Järjestelmän asennuksesta aiheutuvat kulut pyritään arvioimaan kustannuslaskentaa varten.

Opinnäytetyön tuotoksena saadaan aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuuslaskelmat ja takaisinmaksuaika. Opinnäytetyössä saatujen laskelmien perusteella yritys tekee investointipäätöksen aurinkopaneelijärjestelmän hankinnasta. Yrityksen toiveena on, että järjestelmän takaisinmaksuaika on korkeintaan 15 vuotta.

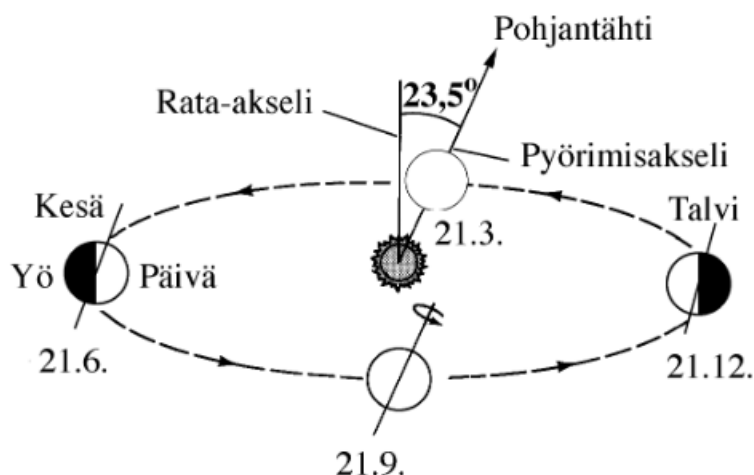
## 2 AURINKOENERGIA

Aurinko koostuu pääasiassa vedystä ja heliumista (Ilmatieteenlaitos). Auringon säteilemä energia syntyy sen ytimessä tapahtuvassa fuusiossa, kun kaksi vetyatomia ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia yhdistyvät yhdeksi heliumatomiksi vapauttaen suuren määrän energiaa (Erat, ym., 2008, 10). Auringossa tapahtuu joka sekunti fuusioitumisreaktioita, joissa 600 miljoonaa tonnia vetyä fuusioituu 596 miljoonaksi tonniksi heliumia (Ilmatieteenlaitos). Fuusioreaktion seurauksena aurinko saa  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW:n kokonaistehon, josta maapallolle tulee  $1,7 \cdot 10^{14}$  kW (Erat, ym., 2008, 10).

### 2.1 Auringon kierron ja korkeuden vaikutus säteilyenergiaan

Maapallo kiertää ellipsin muotoisella radalla auringon ympäri kerran vuodessa (Otavan Opisto, 2015). Maapallo on lähimpänä aurinkoa tammikuussa ja kauimpana kesäkuussa (Suntekno 2010-04-15a, 1). Kuitenkaan pelkkä maapallon kiertäminen auringon ympäri ei saa aikaan vuodenaikojen vaihtelua. Vuodenaikojen vaihtelut johtuvat kierrosta auringon ympäri ja maan akselin  $23,5^\circ$  kaltevuuskulmasta. (Otavan opisto, 2015.) Kun maapallo kiertää auringon ympäri, kaltevuuskulma pysyy koko ajan samana ja ainoastaan pohjoisen ja eteläisen pallonpuoliskojen kallistuneisuus vaihtelee aurinkoon päin. Näin ollen pohjoisen pallonpuoliskon ollessa kallistuneena aurinkoon päin siellä on kesä ja puolestaan eteläisellä pallonpuoliskolla on talvi. (Särkänniemi.)

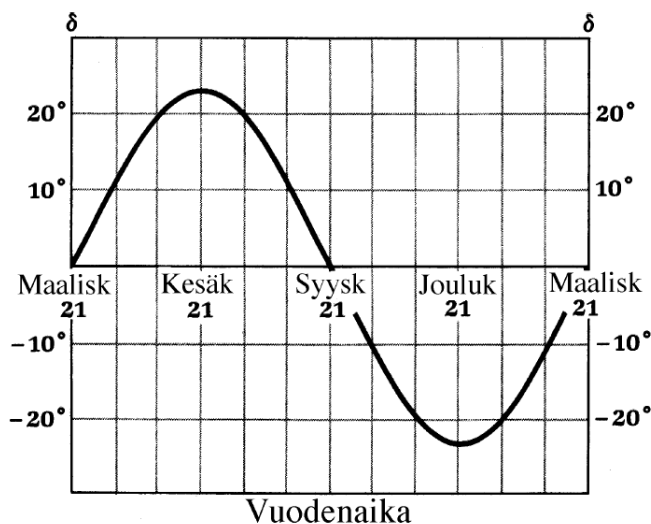
Koska maapallo on pallonmuotoinen, ei auringonsäteily jakaudu tasaisesti joka puolelle. Mitä lähempänä päiväntasaajaa ollaan, sitä pienemmälle alueelle säteilymäärä jakautuu, jolloin säteilyenergian määrä on suurempi kuin esimerkiksi napa-alueilla, joissa sama säteilymäärä jakautuu laajemmalle pinta-alalle. (Arino, ym., 2015, luku 3.)



KUVA 1. Maapallon kierto auringon ympäri (Suntekno 2010-04-15a, 1.)

Kuvassa 1 on esitetty maapallon kiertäminen auringon ympäri. Maapallon kiertäessä auringon ympäri ja pyöriessään oman akselinsa ympäri vaihtelee auringon korkeus eri vuodenaikoina. Aurinko ei kulje pitkin päiväntasaajaa, vaan se kulkee välillä sen yläpuolella ja välillä taas sen alapuolella. (Suntekno 2010-04-15a, 1). Kevätpäiväntasauksena 21.3. ja syyspäiväntasauksena 21.9. aurinko paistaa

päiväntasaajalle ja silloin yö ja päivä ovat yhtä pitkiä kaikkialla maapallolla (Arino, ym., 2015, luku 3). Tällöin auringon korkeuskulma on  $0^\circ$  päiväntasaajan tasoon verrattuna (Suntekno, 1). Kesäpäivänseisauksena 21.6. aurinko paistaa kohtisuoraan Kravun kääntöpiirille, jolloin pohjoisella napapiirillä aurinko ei laske lainkaan (Arino, ym., 2015, luku 3). Deklinaatio on tällöin  $+23,5^\circ$  (Suntekno 2010-04-15a, 1). Talvipäivänseisauksena 21.12. aurinko paistaa kohtisuoraan Kauriin kääntöpiirille, jolloin pohjoisella napapiirillä aurinko ei nouse lainkaan (Arino, ym., 2015, luku 3) ja deklinaatio on tällöin  $-23,5^\circ$  (Suntekno 2010-04-15a, 1). Auringon deklinaation vaihtelu voidaan nähdä kuviosta 1.



KUVIO 1. Auringon deklinaation vaihtelu eri vuodenaikoina (Suntekno 2010-04-15a, 1.)

Auringon deklinaatio voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä (Suntekno 2010-04-15a, 2):

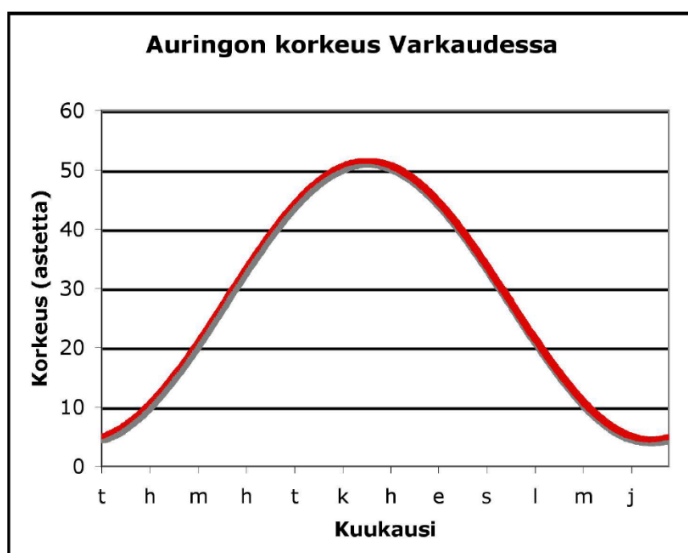
$$\delta = \sin \omega t \quad (1)$$

jossa  $\omega$  on auringon kulmanopeus radalla ja  $t$  on aika, joka lasketaan kevätpäiväntasauksesta 21.3. Maapallo kiertää vuoden aikana  $360^\circ$  auringon ympäri. Tällöin yhden päivän kulmanopeus on  $365^\circ/365 \text{ pv} = 0,986^\circ \approx 1^\circ$  eli maapallon kiertymä yhdessä päivässä. (Suntekno 2010-04-15a, 2.)

Auringon korkeus horisontissa keskipäivän aikaan saadaan laskettua seuraavasta yhtälöstä, kun tiedetään leveyspiiri  $\varphi$  (Suntekno 2010-04-15a, 2):

$$\alpha_{max} = 90^\circ + \delta - \varphi \quad (2)$$

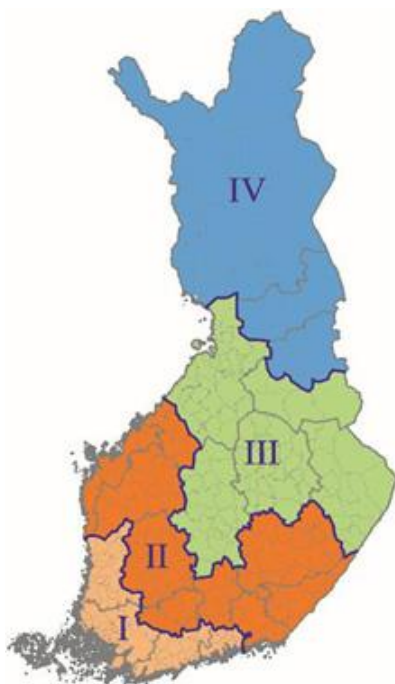
Kuvassa 2 on esitetty auringon korkeuden vaihtelu vuoden aikana Varkaudessa (leveyspiiri  $\varphi \approx 62^\circ$ ). Kuvasta 2 voidaan huomata, että aurinko on korkeimmillaan kesäkuussa ja matalimmillaan joulukuussa.



KUVA 2. Auringon korkeus Varkaudessa eri kuukausina (Suntekno 2010-04-15a, 2.)

## 2.2 Auringon säteilyenergia

Nykypäivänä monista sääpalveluista saa tietoa oman alueen auringon säteilyenergian määrästä. Muun muassa Ilmatieteenlaitos on mitannut auringon kokonaissäteilyenergiat eri ilmansuuntiin osoitavilla pystypinnoilla ja 45° kulmaan kallistetuilla pinnoilla. Ilmatieteenlaitos on jakanut Suomen neljään säähavaintoasemaan, jossa on suoritettu vyöhykkeiden mittaukset. Kuvasta 3 voidaan nähdä tämä vyöhykejako.



KUVA 3. Suomen aluejako testivuotena (Ilmatieteenlaitosa.)

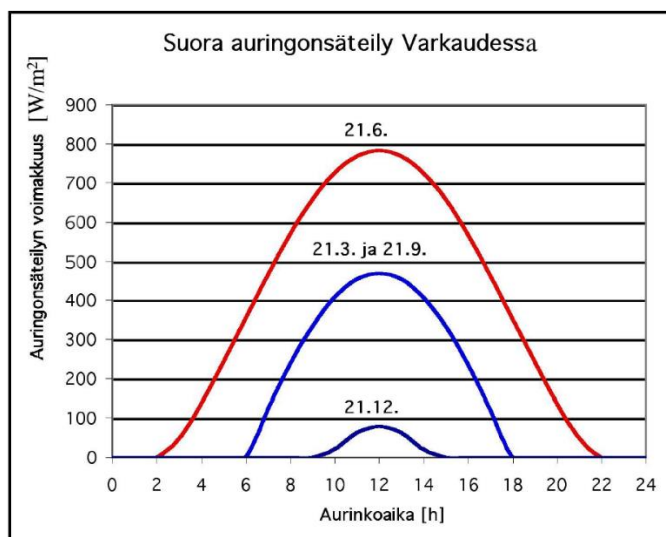
Eri sääpalveluiden mittausten lisäksi auringon säteilyn voimakkuus voidaan laskea paikkakunnittain. Sunteknon Aurinkoenergia ABC-oppaassa on esitetty malli, jolla auringon säteilyvoimakkuus voidaan laskea. Alla on esitetty kyseinen laskentamalli. (Suntekno 2010-04-15a, 2.)

$$S = S_0 \sin \alpha \quad (3)$$

missä  $S_0 \approx 1000 \text{ W/m}^2$  on auringon säteilyn voimakkuus maanpinnassa, kun aurinko on suoraan yläpuolella, ja  $\alpha$  on auringon korkeuskulma, joka riippuu leveyspiiristä  $\varphi$ , auringon deklinaatiosta  $\delta$  ja tuntikulmasta  $h$ . Auringon korkeuskulma  $\alpha$  voidaan laskea seuraavasti. (Suntekno 2010-04-15a, 2.)

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos h \quad (4)$$

missä tuntikulma  $h$  lasketaan, kun tiedetään maapallon pyörähtävän kerran vuorokaudessa akselinsa ympäri eli maapallo kiertyy tunnissa  $360^\circ/24=15^\circ$ . Tuntikulma on tuntia vähemmän, kuin aurinkoaika, sillä kesäajalla aurinko on kesällä etelässä noin klo 13 aikaan. (Suntekno 2010-04-15a, 2.)



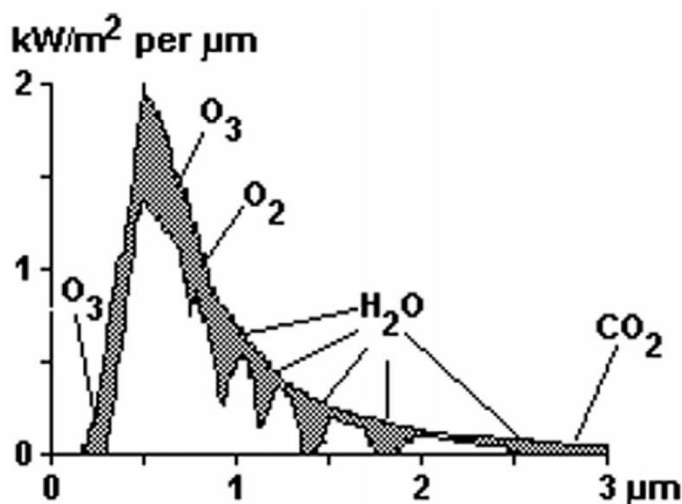
KUVA 4. Laskettu auringonsäteilyn voimakkuus Varkaudessa (Suntekno 2010-04-15a, 3.)

Kuvassa 4 on esitetty suoran auringonsäteilyn voimakkuuden jakautuminen vuorokauden aikana Varkaudessa. Voimakkuudet on otettu eri tasauspäivinä. Auringonsäteilyn voimakkuus on suurimmillaan Varkaudessa kesäpäivänseisauksena 21.6. klo 12 maissa, jolloin säteilyn määrä on noin 780  $\text{W/m}^2$ . Kevät- ja syyspäiväntasauksena (21.3. ja 21.9.) säteilyn voimakkuus on suurimmillaankin alle 500  $\text{W/m}^2$ . Talvipäivänseisauksen aikana, jolloin aurinko ei nouse lainkaan, säteilyn voimakkuus on suurimmillaan noin 80  $\text{W/m}^2$  luokkaa. Kuitenkin tulee huomioida, ettei näissä laskelmissa ole huomioitu sääolosuhteita kuten pilvisyyttä ja muista säteilyn heikkenemiseen vaikuttavista tekijöistä. Tästä syystä laskelmat tulee tulkita suurimmiksi mahdollisiksi säteilymääriksi kyseisinä ajankohtina. (Suntekno 2010-04-15a, 3.)

## 2.3 Ilmakehän vaikutus säteilyyn

Ilmakehän läpi maanpinnalle voi tulla kolmenlaista eri säteilyä: suoraa auringonsäteilyä ( $I_A$ ), hajasäteilyä ( $I_D$ ) ja vastasäteilyä ( $I_V$ ). Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tulevaa auringonsäteilyä. Hajasäteilyllä tarkoitetaan ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä. Vastasäteilyllä tarkoitetaan ilmakehän vesihöyryn, hiilidioksidin ja otsonin säteilemää lämpöä, joka säteilee takaisin maanpinnalle. (Erat, ym., 2008, 12.)

Ilmakehässä olevat kaasut absorboivat auringosta tulevaa säteilyä ja pienentävät maanpinnalle tulevan säteilyn määrää kuvan 5 mukaisesti. Tulevan säteilyn voimakkuus on vielä ilmakehän yläosassa  $1\,368\text{ W/m}^2$ , mutta maanpinnalle tästä tulee vain noin  $1\,000\text{ W/m}^2$ . Ilmakehässä oleva vesihöyry  $\text{H}_2\text{O}$ , hiilidioksidi  $\text{CO}_2$  ja ilmakehän happi  $\text{O}_2$  heikentävät auringon infrapunäsäteilyä. Puolestaan ilmakehän yläosissa oleva otsonikerros  $\text{O}_3$  vähentää auringon ultraviolettisäteilyä. (Suntekno 2010-04-15a, 4.)



KUVA 5. Säteilyn heikkeneminen ilmakehän kaasujen takia (Suntekno 2010-04-15a, 4.)

Pilvet eivät absorboi auringosta tulevaa säteilyä vaan heijastavat auringonsäteilyä ja muuttavat sen kulkusuuntaa. Kirkkaalla ilmalla hajasäteilyn ( $I_D$ ) osuus onkin noin 30 %, puolipilvisellä 70 % ja pilvisellä ilmalla 100 %. Pilviselläkin säällä siis pystytään tuottamaan aurinkoenergiaa. (Suntekno 2010-04-15a, 4.)

Auringon säteilyn voimakkuus eri korkeuskulmilla voidaan laskea seuraavasta kokeellisesti määritetystä yhtälöstä (Suntekno 2010-04-15a, 4):

$$I = 1100\text{ W/m}^2 e^{-0,17/\sin \alpha} \quad (5)$$

jossa  $\alpha$  on auringon korkeuskulma horisontin yläpuolella (Suntekno 2010-04-15a, 4).

Maanpinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia voidaan laskea summaamalla suora auringonsäteily, hajasäteily ja vastasäteily. Maanpinnalle jäävä kokonaissäteilyteho ( $I$ ) saadaan laskettua, kun kokonaissäteilyenergiasta vähennetään maanpinnan takaisin avaruuteen heijastama pitkäaaltoinen säteily ( $I_U$ ). (Erat, ym., 2008, 12.)

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (6)$$

#### 2.4 Auringon säteilyteho maapallolla

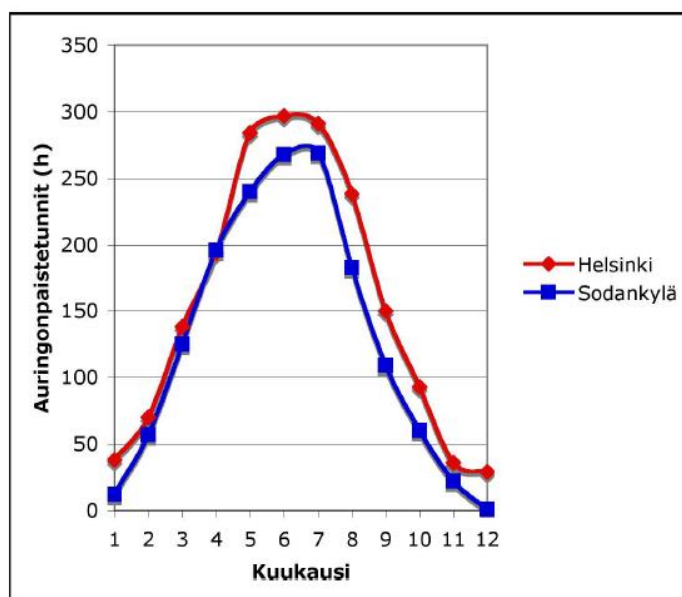
Auringon tuottama energia säteilee avaruuteen pääosin näkyvänä valona ja lämpö- eli infrapunasäteilynä (Ilmatieteenlaitos b). Auringon säteilyteho on kohtisuoraan tullessa 1,35 - 1,39 kW/m<sup>2</sup>. Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. (Erat, ym., 2008, 11.) Aurinkovakio ei kuitenkaan ole vakio, vaan sen arvo vaihtelee +/-3,5 %, sillä maapallon ja auringon etäisyys vaihtelee sekä auringon pinnalla olevat aurinkopilkut vaikuttavat säteilytehon suuruuteen (Erat, ym., 2008, 11 ja Ilmatieteenlaitos b).

#### 2.5 Auringon säteily Suomessa

Auringon paisteeseen vaikuttaa merkittävästi maantieteellinen sijainti. Suomi sijaitsee lähempänä Pohjoisnapaa kuin päiväntasaajaa, minkä vuoksi Suomessa on selvästi neljä vuodenaikaa: kevät, kesä, syksy ja talvi (Arino, ym., 2015, luku 3). Suomessa päivät ovat lyhimmillään joulukuussa, jolloin aurinko paistaa Helsingissä enimmillään noin viisi tuntia vuorokauden aikana, ja kesäkuussa päivät ovat pisimmillään, kun aurinko paistaa melkein 20 tuntia vuorokaudessa. Auringonpaistetuntien määrä vaihtelee kuitenkin voimakkaasti eri vuosien aikana. Eroa voi olla jopa 30 % eri vuosien välillä. (Suntekno 2010-04-15a, 5).

Kuvassa 6 on esitetty keskimääräiset auringonpaistetunnit Helsingissä ja Sodankylässä 1971 - 2000. Kuvasta voidaan huomata, kuinka auringonpaistetunteja on enemmän kesäkuukausina kuin talvikausina.





KUVA 6. Keskimääräiset auringonpaistetunnit kuukausittain (Suntekno 2010-04-15a, 5.)

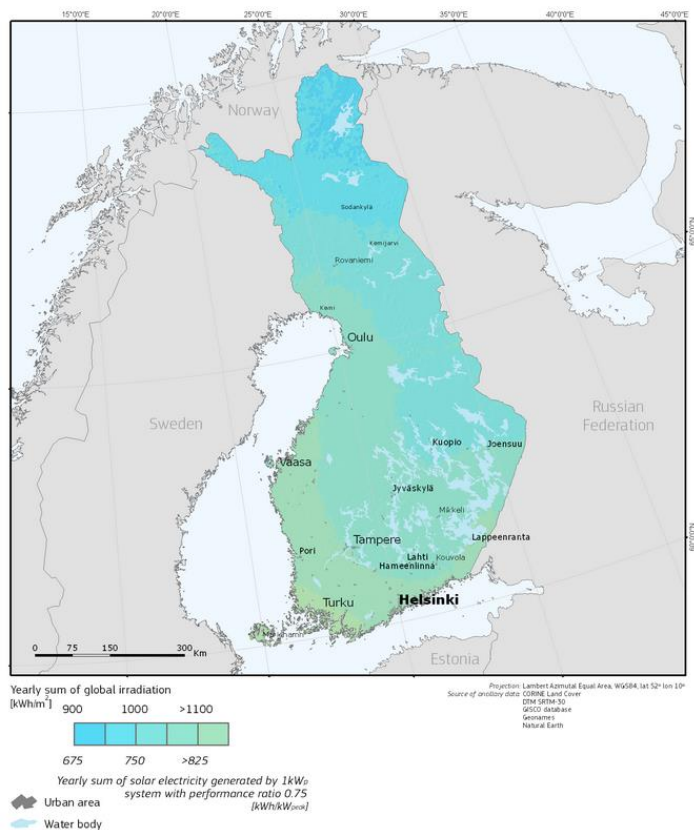
Taukukossa 1 on esitetty puolestaan keskimääräisten auringonpaistetuntien määrä kyseisillä paikkakunnilla kesäkuukausien aikana (toukokuu – elokuu) vuosien 1971 ja 2000 välillä. Taulukosta voidaan huomata, että aurinko paistaa eniten etelä- ja länsirannikolla ja auringonpaistetunteja on tällä alueella noin 1 100. Sisämaassa aurinko paistaa vähemmän kuin rannikolla, sillä pilvisuus yleensä lisääntyy sisämaassa päivän aikana. Kuitenkin Kuopiossa aurinko paistaa keskimäärin yli 1 000 tuntia, mikä johtuu suurien järvien vaikutuksesta. (Suntekno 2010-04-15a, 6.)

TAULUKKO 1. Keskimääräiset auringonpaistetunnit (Suntekno 2010-04-15a, 6.)

Paikkakunta (Mittauspaikka)	Auringonpaiste (h)
Korppoo (Utö)	1170
Kotka (Rankki)	1131
Maarianhamina (la)	1116
Valassaaret	1107
Kemi-Tornio (la)	1093
Kruunypyy (la)	1079
Turku (la)	1061
Helsinki-Vantaa (la)	1040
Vaasa (la) 61-90	1038
Oulu (la)	1038
Ylistaro	1036
Utti (lk)	1024
Lappeenranta (la)	1014
Kuopio (la)	1005
Jokioinen (la)	993
Joensuu (la)	983
Jyväskylä (la)	978
Rovaniemi (la)	978
Sodankylä (la)	960
Utsjoki (Kevo)	801

Kuvassa 7 on esitetty auringon säteilyn ja aurinkosähkön potentiaali Suomessa optimaalisessa kulmassa yhden vuoden aikana 1 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmällä, jonka hyötysuhde on 75 %

(kWh/kWp). Kuvasta nähdään, kuinka paljon auringon säteilyä osuu yhdelle neliömetrille (kWh/m<sup>2</sup>) vuodessa. Kuvasta voidaan hyvin huomata, että koko Suomi saa vähintään 1 000 kWh/m<sup>2</sup> säteilyä vuodessa pohjoiset osat mukaan lukien.



KUVA 7. Auringonsäteilyn määrä Suomessa (European Commission.)

## 2.6 Auringon säteily Suomenjoella

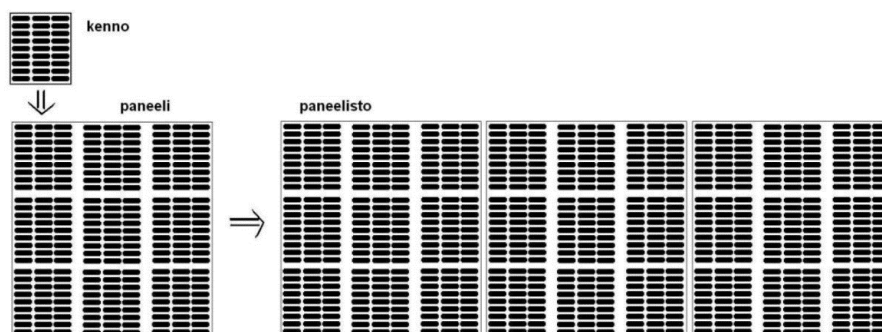
Suonenjoki sijaitsee leveyspiirillä  $\varphi \approx 62^\circ$  eli samalla leveyspiirillä kuin Varkaus. Tästä syystä aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelussa voidaan käyttää kuvan 5 Varkauden käyriä eri tasauspäivinä. Kuvan 5 käyristä kaikkein oleellisin on mitoituksen osalta 21.6. käyrä, josta nähdään kaikkein paras mahdollinen tilanne auringonsäteily voimakkuuden suhteen keskikesällä. Mitoituksen apuna voidaan käyttää myös taulukkoa 2, jonka mittaus tulokset ovat Ilmatieteenlaitoksen mittausvuoden alueelta III. Kuten voidaan huomata, saadaan paras hyöty  $45^\circ$  kulmassa, kun se on asennettu etelään päin.

## TAULUKKO 2. Auringon kokonaissäteily 45° kulmassa olevalla pinnalla (Ilmatieteenlaitosa.)

Auringon kokonaissäteilyenergia 45 astetta kallistetulle pinnalle eri ilmansuuntiin suunnattuna vyöhykkeellä III (Jyväskylä), kWh/m <sup>2</sup>								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	5,0	5,0	5,4	8,0	9,7	8,3	5,7	5,0
Helmikuu	13,6	13,7	22,6	37,9	45,7	37,4	20,9	13,7
Maaliskuu	36,2	40,0	52,3	72,5	84,5	76,2	58,4	41,0
Huhtikuu	51,1	69,1	99,8	129,0	137,2	123,8	97,9	66,0
Toukokuu	84,0	117,7	161,1	190,0	189,7	179,0	156,5	110,2
Kesäkuu	94,3	116,0	146,3	164,8	163,7	161,8	147,6	111,7
Heinäkuu	79,8	107,1	143,3	169,2	172,5	164,5	146,2	105,3
Elokuu	56,9	74,5	104,3	132,8	143,2	134,9	110,7	75,4
Syyskuu	31,7	41,8	68,8	100,3	113,5	98,6	69,5	40,7
Lokakuu	14,4	15,6	25,4	40,2	47,6	39,6	24,8	15,4
Marraskuu	5,8	5,8	7,5	12,2	14,9	12,2	7,4	5,8
Joulukuu	3,0	3,0	3,2	4,5	5,3	4,4	3,2	3,0
Koko vuosi	475,8	609,3	839,9	1061,4	1127,3	1040,7	848,8	593,3

### 3 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄ

Aurinkosähköjärjestelmän keskeisin osa on aurinkopaneeli (solar panel, PV modul). Aurinkopaneelit koostuvat useista yksittäisistä aurinkokennoista (solar cell). Kun useita aurinkopaneeleita yhdistetään kytkemällä ne rinnan- tai sarjakytkentään, on kyseessä aurinkopaneelisto (array). Kuvassa 8 on esitetty, kuinka aurinkopaneeli koostuu kennoista ja kuinka paneelisto koostuu useasta aurinkopaneelista.

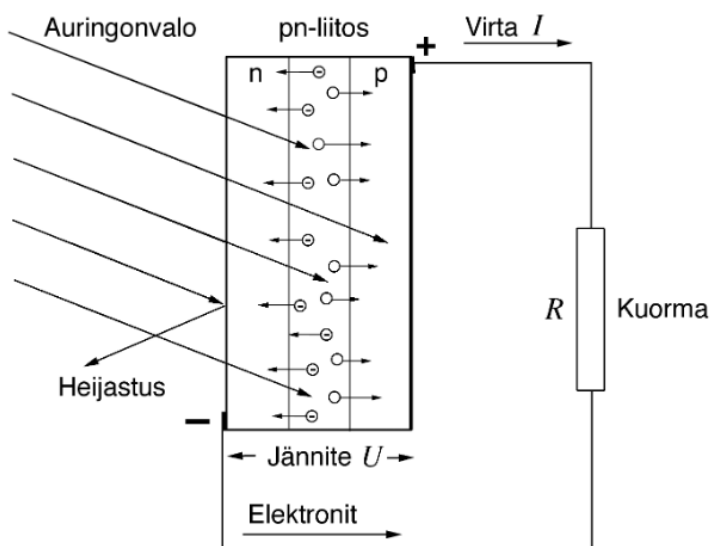


KUVA 8. Paneelisto koostuu paneeleista ja paneeli aurinkokennoista (Saarensilta 2012, 4.)

#### 3.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelin kennot on valmistettu saostetuista (n-tyyppin ja p-tyyppin) puolijohdeista. N-tyyppin puolijohdeeseen on lisätty alkuaineatomeja, joilla on yksi valenssielektroni enemmän kuin isäntäatomeilla. Näin ollen saadaan aikaiseksi n-tyyppin puolijohde, jossa elektronit toimivat varauksenkuljettajina. P-tyyppin puolijohdeeseen on puolestaan lisätty alkuaineatomeja, joilla on yksi valenssielektroni vähemmän kuin isäntäatomeilla. Tällä tavalla kunkin seosatomien kohdalla syntyy elektronivajaus eli positiivinen aukko. (Kotiposti.net; Motiva 2014-07-17.)

Aurinkopaneelin rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9. Aurinkopaneelin kennossa aurin-  
gon valo muutetaan suoraan sähkövirraksi (Suntekno 2010-04-15c, 1). Aurinkokennoa voidaan pitää hyvin suurena fotodiodina, jossa on yhdistetty kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (p ja n) (Suntekno 2010-04-15c, 1).



KUVA 9. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno 2010-04-15c, 1.)

Ainakin osalla fotoneista eli valohiukkasilla on tarpeeksi suuret energiamäärät, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen ja muodostavat siellä elektronipareja (Suntekno 2010-04-15c, 1). ”Jokainen fotoni voi synnyttää vain yhden elektroni-aukoparin (Suntekno 2010-04-15c, 2.)” Pn-liitoksen lähettyvillä muodostuvista pareista elektronit kulkevat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapinnalle muodostuu tällöin sähkökenttä, joka pakottaa elektronit kulkevaan vain tiettyyn suuntaan. Tällöin n-puolella olevat ylimääräiset elektronit kulkeutuvat ulkoisen virtapiirin kautta p-puolen aukoihin. Kun elektroni siirtyy n-puolelta p-puolelle, n-tyyppin puolijohteeseen syntyy positiivinen varaus ja p-tyyppin puolijohteeseen negatiivinen varaus. Elektronit toimivat negatiivisen varauksen kuljettajina jättäen jälkeensä aukon. Tämä aukko toimii positiivisen varauksen kuljettajana. Näin liitoksen eri puolilla on jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat ja liitos pystyy toimimaan ulkoisen piirin jännitelähteenä. (Motiva 2014-07-17; Suntekno 2010-04-15c, 1.)

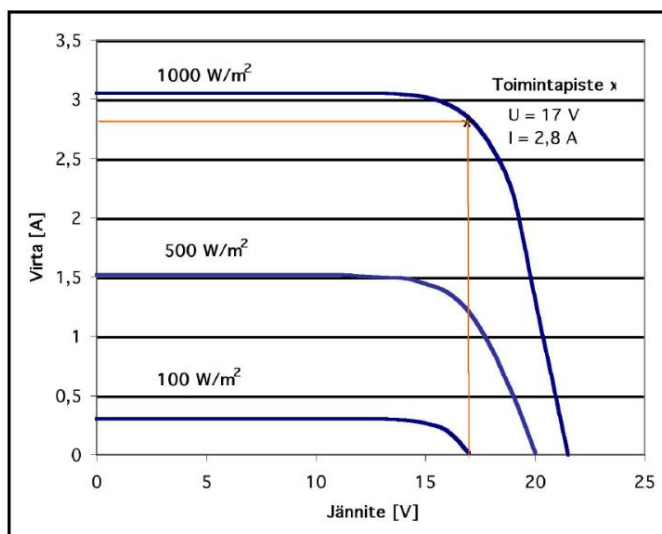
### 3.2 Aurinkopaneelin ominaiskäyrät

Aurinkopaneelin ominaiskäyrä (I-U-käyrä) kertoo, millä virran ja jännitteen arvoilla kyseinen aurinkopaneeli voi toimia. Tässä tilanteessa paneelin tuottama suurin virta on paneelin oikosulkuvirta. Paneelin suurin jännite on puolestaan paneelin tyhjäkäyntijännite, joka saadaan, kun paneeliin ei ole kytketty kuormaa. (Suntekno 2010-04-15c, 3.)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrällä on hyvin tärkeä piste, jota sanotaan maksimitehopisteeksi ja toimintapisteeksi. Tästä pisteestä saadaan tietää kyseisen pisteen virta ja jännite, joilla saadaan suurin ulostuloteho tietyissä käyttöolosuhteissa. Kuitenkin tätä pistettä on erittäin vaikea saavuttaa, sillä valaistusolosuhteet vaihtelevat koko ajan ja aurinkoisella säällä ympäristön ja paneelin lämpötila nousee, mikä puolestaan pienentää aurinkopaneelin tehoa. (Suntekno 2010-04-15c, 3.)

Kuvassa 10 on esitetty  $50 W_p$  aurinkopaneelin ominaiskäyrä auringonsäteilyn voimakkuuksilla  $1000 W/m^2$ ,  $500 W/m^2$  ja  $100 W/m^2$ . Kuvasta voidaan huomata, kuinka paneelin tuottama virta pienenee

suorassa suhteessa auringonsäteilyn voimakkuuteen verrattuna. Myös jännite pienenee säteilyn voimakkuuden pienetessä. Kuvassa 10 maksimitehopiste on keltaisten viivojen yhtymäkohdassa, jossa virtakäyrä on alkanut laskea. (Suntekno 2010-04-15c, 3.)



KUVA 10. 50 W<sub>p</sub> aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Suntekno 2010-04-15c, 3.)

### 3.3 Aurinkopaneelisiin liittyvät laskennat

Aurinkopaneelille voidaan laskea muun muassa seuraavat suureet: hyötysuhde  $\mu$ , aurinkopaneelin tuottama teho  $P$ , aurinkopaneelin tuottama energia  $E$  ja aurinkopaneelin kuorma  $R$ .

#### 3.3.1 Aurinkopaneelin hyötysuhde

Aurinkopaneelin hyötysuhde voidaan laskea seuraavasti (Suntekno 2010-04-15c, 4).

$$\eta = \frac{P}{SA} \cdot 100\% \quad (7)$$

jossa  $P$  on aurinkopaneelin nimellisteho ( $W_p$ ),  $S$  auringon säteily määrä standardiolosuhteissa ( $1\,000\text{ W/m}^2$ ) ja  $A$  aurinkopaneelin pinta-ala. Esimerkiksi, kun paneelin nimellisteho on  $260\text{ W}_p$  ja paneelin pinta-ala on  $1,7\text{ m}^2$ , on paneelin hyötysuhde  $15\%$ . (Suntekno 2010-04-15c, 4.)

#### 3.3.2 Aurinkopaneelin tehontuotto

Aurinkopaneelin tuottama teho voidaan laskea seuraavan kaavan avulla (Suntekno 2010-04-15c, 4).

$$P = UI \quad (8)$$

jossa  $P$  on teho ( $W$ ),  $U$  jännite ( $V$ ) ja  $I$  virta ( $A$ ). Paneelin tuottama energia ( $Wh$  tai  $kWh = 1\,000\text{ Wh}$ ) puolestaan saadaan laskettua, kun tehon  $P$  lisäksi tiedetään  $t$  aika ( $h$ ). (Suntekno 2010-04-15c, 4.)

$$E = Pt \quad (9)$$

Esimerkiksi, jos paneelin napajännite on 18 V ja virta on 2 A kolmen tunnin ajan, on paneelin teho  $P = UI = 18 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 36 \text{ W}$  ja sähköenergiaa tuotettiin  $E = Pt = 36 \text{ W} \cdot 3 \text{ h} = 108 \text{ Wh} = 0,108 \text{ kWh}$ . (Suntekno 2010-04-15c, 4.)

### 3.3.3 Aurinkopaneelin kuorma

Aurinkopaneelin kytkettävä kuorma tai akusto määrää aurinkopaneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu auringonsäteilyn ja lämpötilan mukaan ominaiskäyrällä (Suntekno 2010-04-15c, 4). Kuorman suuruus pystytään laskemaan seuraavasti (Suntekno 2010-04-15c, 4).

$$R = \frac{U}{I} \quad (10)$$

jossa R on kuorman resistanssi ( $\Omega$ ), U aurinkopaneelin napajännite (U) ja I virta (A). (Suntekno 2010-04-15c, 4.)

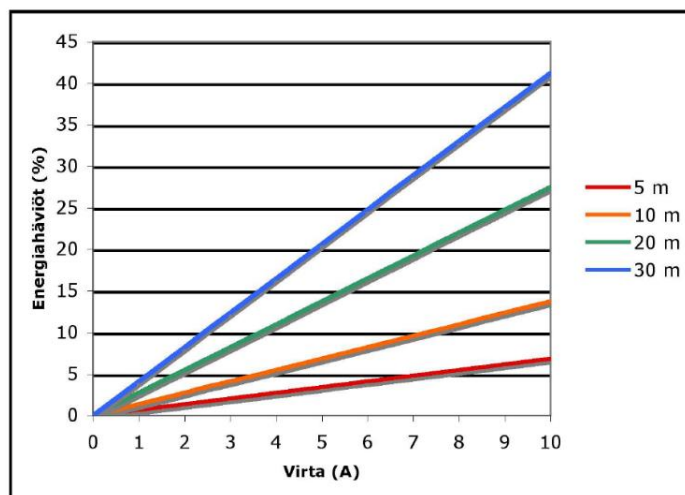
### 3.3.4 Siirtojohtimien aiheuttamat häviöt

Aurinkopaneelit liitetään siirtojohtimien avulla kiinni invertteriin. Johtimissa syntyy tehohäviöitä, kun johtimessa kulkeva virta lämmittää johdinta. Tehohäviöiden määrä voidaan laskea seuraavasti (Suntekno 2010-04-15c, 8).

$$P = I^2 R \quad (11)$$

jossa I on johtimessa kulkeva virta (A) ja R johtimen resistanssi ( $\Omega$ ). Jotta siirtohäviöt olisivat mahdollisimman pieniä, tulisi virran ja resistanssin olla mahdollisimman pieniä. Johtimen tulisi olla tällöin paksu ja se tulisi olla valmistettu mahdollisimman hyvin sähköä johtavasta materiaalista, kuten kuparista tai hopeasta. Kuparia käytetäänkin hyvin paljon sähköjohtimissa pienillä poikkipinnoilla ja hopeaa aurinkopaneelien pintaliitoksissa. Vaikka kuparia käytetäänkin siirtojohtimissa, alumiini ei käytetä, sillä alumiini soveltuu paremmin suurille poikkipinnoille ja suurille jännitteille. (Suntekno 2010-04-15c, 8.)

Kuvassa 11 on esitetty 2 mm<sup>2</sup> kuparikaapelissa syntyvien tehohäviöiden syntyminen 12 V jännitteellä eri siirtomatkoilla virran vaikutuksesta. Kuvassa 11 on otettu huomioon meno- ja paluujohtimien pituudet. Häviöiden suuruus kasvaa lineaarisesti kaapelin pituuteen nähden. Kuvaa 11 tarkasteltaessa voidaan huomata, että tehohäviöitä voidaan vähentää lyhentämällä johtimen pituutta tai kasvattamalla jännitettä. Mitä pidempi johdin on, sen paksumpi sen täytyy olla, jotta tehohäviöt eivät ole liian suuria (yli 5 %). (Suntekno 2010-04-15c, 9.) Kun siirtojohtimien pituus on 5 m, ovat tehohäviöt 5 % luokkaa 7 A virralla. Puolestaan, kun kyseessä on 20 m siirtojohdin, ovat tehohäviöt 20 % luokkaa.



KUVA 11. 2mm<sup>2</sup> paksussa kuparikaapelissa tapahtuvat häviöt 12 V jännitteellä eri matkoilla (Suntekno 2010-04-15c, 9.)

Kuparikaapelin (meno- ja paluujohtimen) aiheuttamat tehohäviöt voidaan laskea seuraavalla tavalla (Suntekno 2010-04-15c, 9).

$$\text{Häviöt (\%)} = 3,4 \cdot I \cdot \frac{l}{AU} \quad (12)$$

jossa I on virta (A), l johtimen pituus (m), A johtimen poikkipinta-ala (mm<sup>2</sup>) ja U jännite (V).

Yleensä kaapelit/johtimet mitoitetaan aurinkopaneelijärjestelmässä siten, että tehohäviöt eivät ole yli 5 %. (Suntekno 2010-04-15c, 9.)

### 3.4 Aurinkopaneelityypit

Aurinkosähköteknologiat aurinkopaneeleissa voidaan jakaa kolmeen eri sukupolven. Ensimmäisen sukupolven aurinkopaneeleita ovat puolijohdepaneelit (yksi- ja monikiteiset piipaneelit), joiden määrä markkinaosuudesta on noin 90 %. Toisen sukupolven aurinkopaneeleita on puolestaan ohutkalvopaneeli, jonka markkinaosuus on tällä hetkellä noin 10 %. Ensimmäisen ja toisen sukupolven aurinkopaneelien teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdeiden pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. (Motiva 2014-07-17; Saarensilta 2012, 4.)

Tällä hetkellä kolmannen sukupolven aurinkopaneelit ovat vielä kehitys- ja tutkimusasteella. Näitä kolmannen sukupolven aurinkopaneeleita ovat nanokidepaneelit, joissa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin eikä pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. (Motiva 2014-07-17.)

#### 3.4.1 Puolijohdepaneelit

Puolijohdepaneelit jaetaan kahteen päätyyppiin: yksikiteisestä piistä (monocrystalline) ja monikiteisestä piistä (polycrystalline) valmistettuihin paneeleihin. "Kiteiset piikennot ovat yleensä noin 0,2-0,3



mm paksuja ja pinta-alaltaan (90 - 160) mm x (120 - 160) mm (Suntekno 2010-04-15 c, 1).” Paneelien ulkonäön perusteella voidaan erottaa, kummalla tavalla paneeli on valmistettu. Yksikiteisestä piistä valmistetut paneelit ovat yleensä mustia, pinnaltaan hyvin tasaisia, sileän näköisiä ja kulmista pyöreähköjä. Monikiteisestä piistä valmistetut paneelit puolestaan ovat yleensä tummansinisiä, epäsymmetrisistä piikiteistä koostuvia, pinnaltaan epätasaisempia ja neliskulmaisia. (Aurinkopaneeli.org; Lappalainen 2014, 21.)

Yksikiteisillä puolijohdepaneelilla on hiukan parempi hyötysuhde kuin monikiteisellä paneelilla. Tästä syystä yksikiteistä puolijohdepaneelia käytetään enemmän. Piikidekennojen teoreettinen hyötysuhde on 31 %, mutta tällä hetkellä parhaimpien piistä valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 18 %. Paneelien hyötysuhde huononee mm. metallijohteisista liitoksista paneelin pinnalla, resistanssista ja heijastuksesta paneelin päällä olevasta lasipinnasta. Jotkut valmistajat kuitenkin käyttävät paneelin pinnalla lasia, jossa on heijastusta vähentävä pinnoite, mikä puolestaan parantaa aurinkopaneelin hyötysuhdetta. (Aurinko.org; Motiva 2014-07-17; Suntekno 2010-04-15c, 2.)

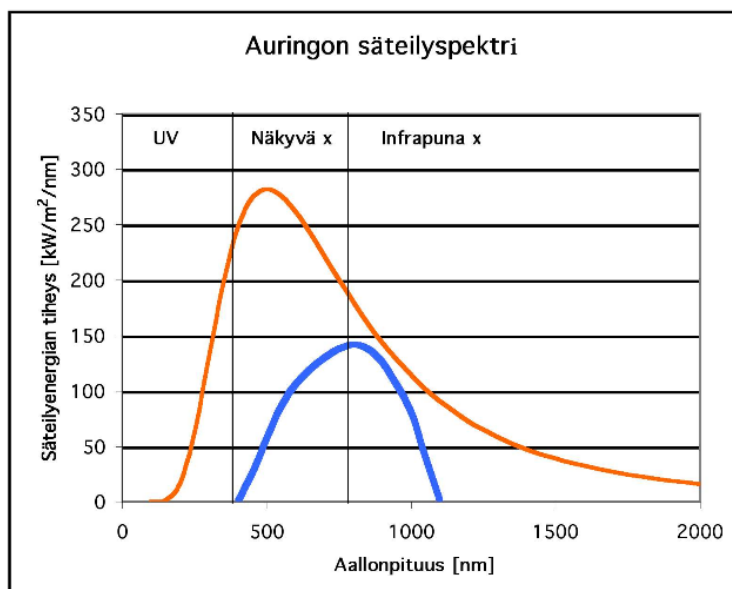
Yksikiteisestä piistä valmistetut paneelit valmistetaan piikiteistä, jotka sahataan kiekkoiksi, joiden halkaisija on 10 – 16 cm. Koska pii on hyvin kallista, kiekot ovat pyöreitä eivätkä neliskulmaisia. Yksi kiekko aina muodostaa yhden aurinkopaneelin kennon. (Finnwind Oy 2013-02-01, 4; Suntekno 2010-04-15c, 1.) Monikiteistä piistä valmistetut paneelit puolestaan valmistetaan siten, että sulatettu piimassa kaadetaan nelikulmaiseen muottiin sen sijaan, että piistä tehtäisiin kiekkoja (Lappalainen 2014, 22; Suntekno 2010-04-15c, 1). Kuvassa 12 on esitetty vasemmalla yksikidepaneeli ja oikealla monikidepaneeli.



KUVA 12. Yksikide- ja monikidepaneeli (Aarnio.)

Kuvassa 13 on esitetty auringon säteilyspektrin muoto ja jakautuminen eri aallonpituuksilla sekä piikennon absorptioaluetta. Sininen käyrä esittää piikennon absorptioaluetta ja oranssi käyrä auringon säteilyspektriä. Kuten kuvasta voidaan huomata suurin aallonpituus, jolla valohiukkanen fotoni saa

piihin synnitettyä elektroni-aukkoparin, on 1150 nm. Tällaisen aallonpituuden omaava valo on lyhytaaltoista infrapunasäteilyä, jonka aallonpituus on todella lähellä näkyvän valon aallonpituutta. Auringsäteily, jonka aallonpituus on yli 1150 nm, ei synnytä aurinkopaneelissa sähkövirtaa vaan kuumentaa ainoastaan aurinkopaneelia. Piikkeno ei pysty myöskään hyödyntämään lyhytaaltoista ultra violettsäteilyä, jonka aallonpituus on 100 – 400 nm. (Suntekno 2010-04-15c, 2; Terveyskirjasto.)



KUVA 13. Auringon säteily spektri ja piikennon absorptioalue (Suntekno 2010-04-15c, 2.)

### 3.4.2 Ohutkalvopaneelit

Puolijohdepaneelien rinnalle on kehitetty toinen merkittävä aurinkopaneelityyppi, ohutkalvopaneelit (thin film). Ohutkalvopaneeleita valmistetaan muun muassa kadmium-telluurista (CdTe), amorfisesta piistä (a-Si) ja kupari-indium-(gallium)-diselenidistä (CIS/CIGS), joista valmistetaan ohuita vain noin 10 µm paksuisia kennoja edulliselle pohjamateriaalille kuten lasille, ruostumattomalle teräkselle tai muoville. (Motiva 2014-07-17; Saarensilta 2012, 6.)

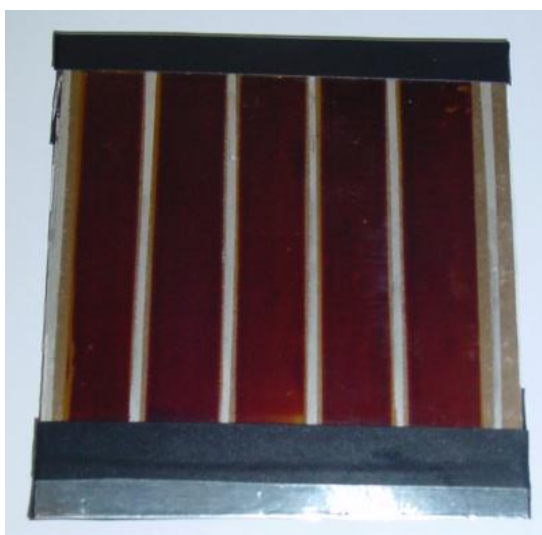
Ohutkalvopaneelien suurin etu on niiden monikäyttöisyys, niiden suhteellisen hyvä toimivuus hajavalossa ja kuumissa olosuhteissa. Paneelien materiaali on joustavaa, joten niitä voidaan asentaa esimerkiksi erilaisille kaareville pinnoille. Niiden huonoja puolia ovat niiden hyötysuhde (tavallisesti noin 9-11 %) ja hyötysuhteen heikkeneminen. Paneelien hyötysuhde heikkenee jopa 15 – 35 % paneelien ikääntyessä. Tästä syystä ohutkalvopaneeleita käytetäänkin vain pienissä kohteissa kuten veneissä ja paikoissa, joissa aurinkopaneelin halutaan mukautuvan esimerkiksi kaareville pinnoille. (Motiva 2014-07-17; Saarensilta 2012, 6-7.) Kuvassa 14 on esitetty ohutkalvopaneeli.



KUVA 14. Ohutkalvoaurinkopaneeli (Aarnio.)

### 3.4.3 Nanokidepaneelit

Tällä hetkellä on kehitteillä uudella tekniikalla toimivia nanokidepaneeleita (kuva 15), jotka edustavat kolmatta sukupolvea. Näitä nanokiderakenteisia kennoja kutsutaan myös väriaineherkistetyiksi aurinkokennoiksi ja Grätzel-kennoiksi. Nanokidekennossa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin eikä pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. Kennot koostuvat nanokokoisista titaanioksidhiukkasista, jotka on pinnoitettu ja käsitelty säteilyä absorboivilla väriainehiukkasilla ja elektrolyyttiliuoksella. Kun auringonsäteily saavuttaa väriainehiukkaset, kennossa vapautuu elektroneja, jotka sitten kulkevat puolijohtavalta titaanioksidikerrokselta ulkoiseen virtapiiriin. (Motiva 2014-07-17.)



KUVA 15. Väriaineherkistetty nanokiderakenteinen aurinkokenno (Aarnio.)

Nanokidepaneeleiden etuina ovat niiden alhaiset valmistuskustannukset ja yksinkertaiset valmistusmenetelmät. Paras hyötysuhde, joka nanokidepaneelilla on saavutettu, on noin 11 %. (Aarnio.)

### 3.5 Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä, joka muutetaan invertterin (inverter) avulla 230 V vaihtosähköksi. Lisäksi invertteri tahdistaa itsensä sähköverkkoon ja huolehtii takatehonsuojauksesta. Invertteri vahtii takatehonsuojauksessa DC- ja AC-verkkoja ja erottaa yhteyden, jos tulojännite pienenee alle minimin tai lähtöjännite ja taajuus eroavat jakeluverkon arvoista tai yhteys jakeluverkkoon katkeaa. Näin ollen ei pääse syntymään tilannetta, jossa aurinkopaneeleilla tuotettua sähköä syötettäisiin jännitteettömään sähköverkkoon, mikä voisi aiheuttaa verkossa vaaratilanteita muun muassa huoltotöitä tehdessä. (Finnwind Oy 2013-02-01, 14; Motiva 2014-05-12d.)

On olemassa 1- ja 3-vaiheisia inverttereitä. Mikäli invertteri on 1-vaiheinen, voidaan tuotettua sähköä hyödyntää vaiheessa, johon invertteri on kytketty. 3-vaiheisella invertterillä tuotettua sähköä voidaan puolestaan hyödyntää kaikissa vaiheissa. (Motiva 2014-05-12d.) Kuvassa 16 on esitetty SMA Sunny Tripower -verkkoinvertteri.



KUVA 16. SMA Sunny Tripower -invertteri (Nollaenergiahiritalo.fi.)

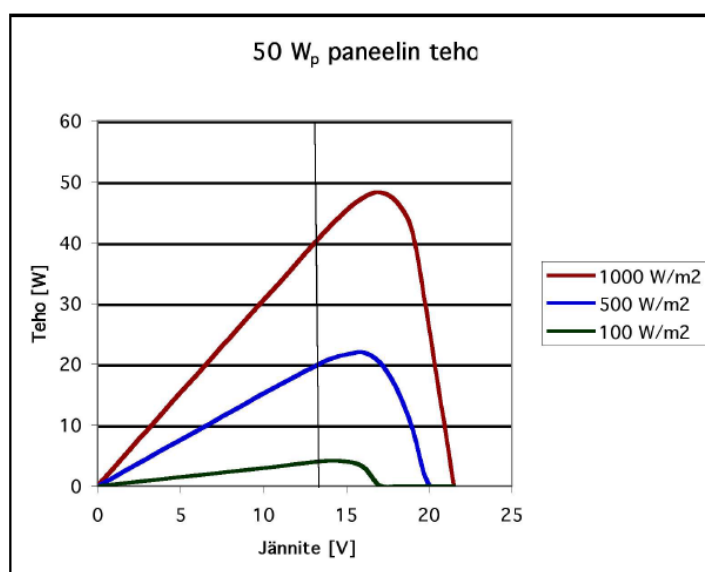
Invertterin hyötysuhde on yleensä 80 – 90 %, kun kuorman suuruus on 25 - 100 % invertterin tehosta, mutta jopa 90 % hyötysuhteen inverttereitä on saatavilla (Erat, ym., 2008, 133; Saarensilta 2012, 17). Invertteri voidaan kytkeä aurinkopaneeliin eri tavoin ja niitä voi olla järjestelmässä yksi tai useampi. Esimerkiksi pienissä järjestelmissä jokaisella paneelilla voi olla oma invertterinsä. Yleensä kuitenkin invertteriin kytketään useita paneeleita, jotka on kytketty sarjaan. Tällaisia invertterin ja sarjaan kytkettyjen paneelien yhdistelmiä voi olla yhdessä aurinkosähköjärjestelmässä useita. Kytkennät voidaan tehdä myös niin, että yhteen invertteriin kytketään useita sarjaan kytkettyjä paneeliketjuja. (Saarensilta 2012, 17.)

## 4 ERI ASIOIDEN VAIKUTUS AURINKOPANEELIN TEHONTUOTTOON

Aurinkopaneelin optimaaliseen toimintaan ja energiantuottoon vaikuttavat merkittävästi auringon säteilytehon määrä, ulkolämpötila, aurinkopaneeleiden suuntaus, asennuskulma ja sijainti.

### 4.1 Auringonsäteilyn voimakkuuden vaikutus

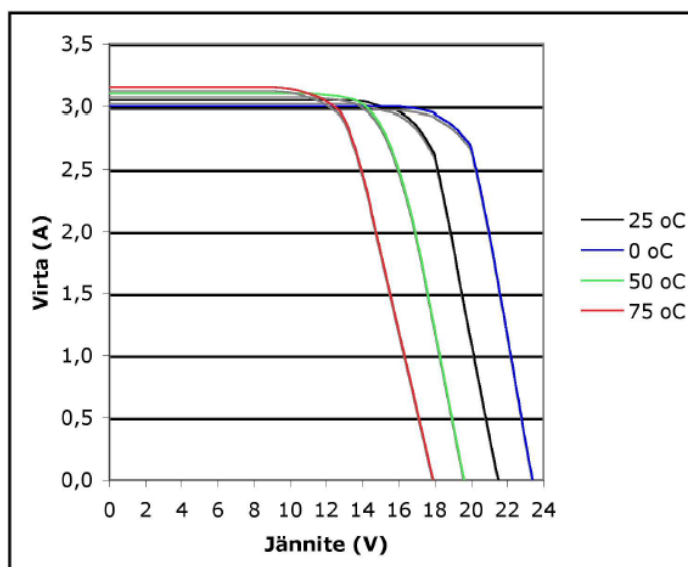
Auringon säteilyn voimakkuudella on vaikutusta aurinkopaneeleilla saatavaan tehontuottoon. Kuten kuvasta 17 voidaan huomata, aurinkopaneelin teho riippuu auringon säteilyn voimakkuudesta ja jännitteestä. Kuvassa esitetyn aurinkopaneelin nimellisteho on  $50 W_p$  ja sitä käytetään 13 V akkujen lataamiseen. Tällöin paneelin tehontuotto on noin 40 W auringonsäteilytehon ollessa  $1\ 000\ W/m^2$ , noin 20 W auringonsäteilytehon ollessa  $500\ W/m^2$  ja noin 4 W säteilytehon ollessa  $100\ W/m^2$ . Tilanteessa ei pystytä saavuttamaan maksimitehopistettä (tässä tapauksessa 50 W), sillä akun napajännite määrää paneelin jännitteen. Tästä syystä paneeli pystyisi tuottamaan jopa 15 % enemmän energiaa kuin akut pystyvät hyödyntämään latauksessa. Toisaalta tehopiste kuitenkin putoaa alemmaksi paneelien lämpenemisen johdosta. (Suntekno 2010-04-15c, 6.)



KUVA 17. Auringonsäteilyn vaikutus  $50 W_p$  paneelin tuottoon (Suntekno 2010-04-15c, 6.)

### 4.2 Ulkolämpötilan vaikutus

Aurinkopaneelien tuottaman tehon määrään vaikuttaa olennaisesti ulkolämpötila. Kuvasta 18 voidaan nähdä ulkolämpötilan vaikutus aurinkopaneelin toimintaan. Paneelin virta kasvaa ulkolämpötilan noustessa. Tämä johtuu siitä, että lämpötila lisää termisten varaustenkuljettajien määrää aurinkopaneelissa. Termisten varaustenkuljettajien vaikutus on kuitenkin hyvin pieni, sillä ne vaikuttavat noin  $+0,065\ \%/^{\circ}C$ . Puolestaan aurinkopaneelin tyhjäkäyntijännitteen arvo putoaa lämpötilan noustessa. Tämä putoama on piikidekennessä yleensä noin  $-0,5\ \%/^{\circ}C$  ja parhaimmillaan noin  $-0,35\ \%/^{\circ}C$ . (Suntekno 2010-04-15c, 6.)



KUVA 18. Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin ominaiskäyrään (Suntekno 2010-04-15c, 6.)

#### 4.3 Aurinkopaneelien sijainnin vaikutus

Aurinkopaneelien sijainnilla on iso vaikutus tehontuotantoon, sillä muun muassa paneeleita varjostavat puut heikentävät järjestelmän energiantuotantoa. Tästä syystä aurinkopaneelit kannattaa sijoittaa varjottomaan paikkaan ja paneelit tulee sijoittaa siten, etteivät ne varjosta toisiaan. Ideana on, että koko paneeli tai paneelisto saisi tasaisesti auringonsäteilyä. Etenkin talvella paneelien sijainti vaikuttaa ratkaisevasti energiantuotantoon, sillä aurinko paistaa silloin Suomessa alhaalla ja paneelit saattavat tällöin varjostaa toisiaan helpommin. Jos varjostuksia ei pystytä kokonaan estämään, tulee aurinkopaneelien pinta-alaa kasvattaa, jotta niillä saadaan tuotettua haluttu määrä energiaa. Mitä korkeammalla, ylempänä ja kauempana aurinkopaneelit ovat lähimmistä puista ja muista varjostavista esteistä, sitä enemmän aurinkopaneelilla saadaan tuotettua energiaa. (Erat, ym., 2008, 15.)

#### 4.4 Aurinkopaneelien suuntauksen vaikutus

Aurinkopaneelien suuntauksella on suuri merkitys aurinkopaneelien tuottoon. Tämä voidaan huomata taulukosta 3. Kiinteästi asennettavat aurinkopaneelit kannattaa suunnata etelään päin eli kohti päiväntasaajaa. Mikäli kuitenkin etelän suunnassa on varjostavia puita tai muita varjostavia esineitä, voidaan aurinkopaneelit suunnata myös länteen tai itään. Tällöin energiantuotto jää pienemmäksi kuin optimaalisesti etelään suunnattuna. (Erat, ym., 2008, 15.)

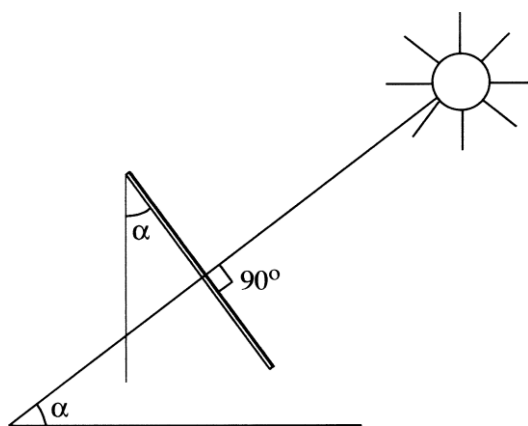
TAULUKKO 3. Aurinkopaneelin suuntauksen vaikutus tuottoon (Keski-Karhu ja Sutinen.)

Suuntaus	Tuotto
Itä	75 %
Kaakko	92 %
Etelä	100 %
Lounas	95 %
Länsi	78 %

Järjestelmä voidaan myös suunnata järjestelmän kuormitushuipun mukaan. Mikäli järjestelmän kuormitushuiput ovat aamuisin, kannattaa aurinkopaneelit suunnata kohti itään, ja mikäli taas järjestelmän kuormitushuiput ovat iltaisin, kannattaa aurinkopaneelit suunnata kohti länttä. (Erat, ym., 2008, 15.)

#### 4.5 Aurinkopaneelien kallistuskulman vaikutus

Aurinkopaneelilla saadaan tuotettua parhaiten energiaa, kun auringonsäteily tulee kohtisuorasti paneelin pintaan eli kun tulokulma on  $0^\circ$  (kuva 19). Tällöin aurinkopaneelin kallistuskulma on yhtä suuri kuin auringon korkeus horisontista. Auringon korkeus vaihtelee kuitenkin jatkuvasti niin päivittäin kuin vuodenaikojen mukaan, joten aurinkopaneelien kallistuskulmaa tulisi säätää koko ajan sopivaksi. Tämän lisäksi myös sijainnin leveysaste vaikuttaa auringon korkeuteen. (Erat, ym., 2008, 15; Suntekno 2010-04-15c, 7.)



KUVA 19. Aurinkopaneelin suuntaus kohtisuorana aurinkoa (Suntekno 2014-04-14, 7.)

Paras kallistuskulma olisi sama kuin paikkakunnan leveysaste, jolloin saataisiin aina keskipäivällä ja kesäaikaan paras mahdollinen tuotto. Jotta talvella saataisiin optimaalisin tehontuotto, kallistuskulman tulisi olla leveysaste plus  $15 - 20^\circ$  eli käytännössä aurinkopaneelit tulisi asentaa lähes pystysuoraan. Mikäli taas energiantuotannon halutaan olevan optimaalisinta kesäkuukausien aikana eli toukoheinäkuussa, tulee kallistuskulman olla pienempi kuin paikkakunnan leveysaste. Paras kallistuskulma aurinkopaneelilla on Suomessa noin  $35 - 45^\circ$ . (Erat, ym., 2008, 15 - 16; Motiva 2014-05-12e.) Taulukossa 4 on esitetty, kuinka kallistuskulma vaikuttaa aurinkopaneelien tehontuottoon. Kallistuskulmalla ei ole suurta vaikutusta tehontuottoon, kun paneelit asennetaan  $30 - 50^\circ$  asteen kulmaan.

TAULUKKO 4. Kallistuskulman vaikutus tehontuottoon (Keski-Karhu ja Sutinen.)

Kallistuskulma [ $^\circ$ ]	Tuotto
10	90 %
20	95 %
30	99 %
40	100 %
50	98 %

Taulukossa 5 on esitetty auringonsäteilyn määrä per vuorokausi eri kallistuskulmilla etelään suunnatuilla aurinkopaneeleilla Helsingissä. Taulukosta 5 voidaan nähdä, että mitä lähempänä vaakatasoa aurinkopaneelit on asennettu, sitä enemmän niihin osuu auringonsäteilyä. (Erat, ym., 2008, 15 - 16; Motiva 2014-05-12e.)

TAULUKKO 5. Säteily/vrk Helsingissä etelään suunnatuilla paneeleilla (Erat, ym., 2008, 16.)

Kuukausi	30°	45°	90°
Tammikuu	0,4	0,5	0,5
Helmikuu	1,5	1,8	1,9
Maaliskuu	3,1	3,4	3,2
Huhtikuu	4,4	4,5	3,4
Toukokuu	5,9	5,7	3,7
Kesäkuu	6,6	6,3	3,9
Heinäkuu	5,7	5,5	3,6
Elokuu	5,0	5,0	3,6
Syyskuu	3,3	3,5	3,0
Lokakuu	1,6	1,8	1,7
Marraskuu	0,5	0,5	0,5
Joulukuu	0,4	0,5	0,6

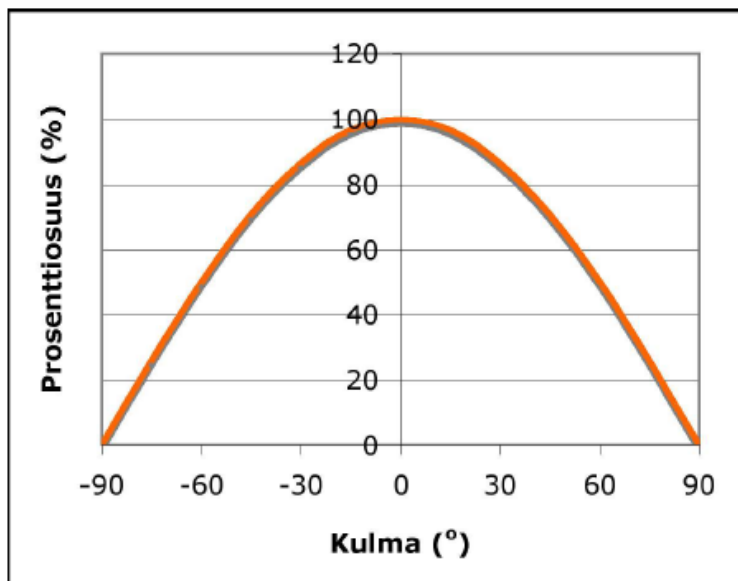
Vinosti paneelin pinnalle tulevan auringonsäteilyn teho voidaan laskea seuraavasti (Suntekno 2014-04-14, 8).

$$P_s = SA \cos \alpha \quad (13)$$

jossa S on auringonsäteilyn voimakkuus ( $W/m^2$ ), A aurinkopaneelin pinta-ala ( $m^2$ ) ja  $\alpha$  on aurinkopaneelin normaalin ja auringonsäteiden välinen kulma. (Suntekno 2014-04-14, 8.)

Kuvassa 20 on esitetty tuotetun tehon muuttuminen auringonsäteilyn tulokulman muuttuessa aurinkopaneeliin nähden. Kuvasta voidaan huomata, että vaikka tulokulma muuttuisi 30°, paneelille tuleva säteilyteho putoisi vain noin 13 %. Puolestaan tulokulman ollessa 60°, putoaa paneelille tuleva säteilyteho puoleen.





KUVA 20. Kohtaamiskulman vaikutus paneelille tulevaan auringonsäteilyn tehoon (Suntekno 2014-04-14, 8.)

## 5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmiä on kahdenlaisia: verkkoon kytkettäviä ja verkkoon kytkemättömiä järjestelmiä. Näiden järjestelmien suurimpia eroja on se, että verkkoon liitetystä aurinkosähköjärjestelmästä pystytään ostamaan tarvittaessa sähköä, jollei itse tuotettu aurinkosähkö riitä. Puolestaan verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä järjestelmää ei ole kytketty sähkönjakeluverkkoon vaan järjestelmässä on akut, joihin aurinkopaneelilla tuotettu sähköenergia varastoidaan käyttöä varten. Tällä tavalla sähköä on aina saatavilla, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät ole samaan aikaan. (Motiva 2015a.)

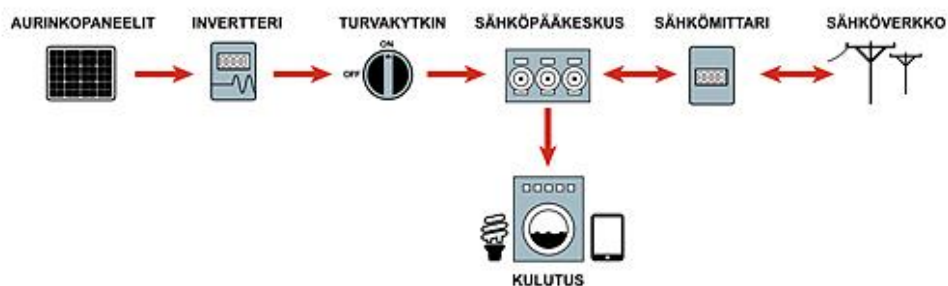
Aurinkosähköjärjestelmää valittaessa kaikkein tärkein valintakriteeri on tuleva käyttökohde. Mikäli kohteessa ei ole verkkoliittymää tai verkkoliittymän hankkiminen ei ole käyttökohteeseen kannattavaa, ainut mahdollinen aurinkosähköjärjestelmä on verkkoon kytkemätön järjestelmä akuilla. (Motiva 2015 a.) ”Tällaisessa tilanteessa akustosta saatavaa sähköenergiaa voidaan käyttää suoraan 12/24 V tasajännitteellä (DC) toimivilla laitteilla tai vaihtosuuntaajan avulla 230 V vaihtojännitteellä (AC) toimivia laitteita (Lappalainen 2014, 14).” Vastaavasti verkkoon kytkettävä järjestelmä on luontevin vaihtoehto, mikäli kohteessa on jo verkkoliittymä. Tällöin aurinkopaneelilla tuotettua sähköä voidaan käyttää samoissa laitteissa kuin verkosta otettavaa sähköä. (Motiva 2015a.)

### 5.1 Verkkoon kytkettävä järjestelmä

Verkkoon liitettävä aurinkosähköjärjestelmä (ON-Grid, Grid-connected) on esitetty kuvassa 21. Verkkoon liitettäviä järjestelmiä käytetään kohteissa, joissa on jo verkkoliittymä. (Motiva 2015-09-02.)

Järjestelmän komponentteja ovat aurinkopaneelit, invertteri eli vaihtosuuntaaja, erotuskytkin (turvakytkin), sähköpääkeskus, kaksisuuntainen mittari ja kaapelit. Järjestelmä liitetään kiinteistön sähkönjakelujärjestelmään sähköpääkeskuksen kautta. Verkkoon kytkettävässä järjestelmässä suojalaitteet ja turvakytkimet ovat tärkeitä, sillä järjestelmä ei saa syöttää jännitteetöntä verkkoa. Yleensä suojalaitteet ja turvakytkin on integroitu invertteriin, mutta mikäli näin ei ole suojalaitteet asennetaan erikseen. (Motiva 2014-05-12d.)

Suojalaitteiden lisäksi järjestelmässä tulee olla vaihtopiirin erotuskytkin (turvakytkin), jonka avulla järjestelmä pystytään erottamaan yleisestä sähköverkosta. Verkkoyhtiöllä tulee olla vapaa pääsy erotuskytkimelle. (Motiva 2014-05-12d.)

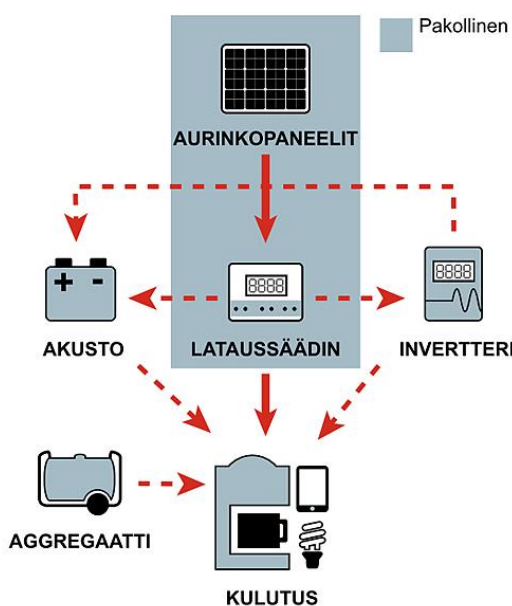


KUVA 21. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2014-05-12d.)

Verkkoon kytkettävässä aurinkosähköjärjestelmässä sähköenergiaa ei varastoida akkuihin. Mikäli kaikkea tuotettua sähköä ei kuluteta, syötetään ylijäämäsähkö verkkoon. Tätä varten tulee tehdä sopimus verkonhaltijan kanssa tai sähköä ostavan asiakkaan kanssa sähkömarkkinoilla. Ilman sähkön ostajaa sähkön syöttäminen verkkoon on kielletty. Lisätietoa verkkoon liittynästä löytyy luvusta 8.

## 5.2 Verkkoon kytkemätön järjestelmä

Verkkoon kytkemättömiä aurinkosähköjärjestelmiä käytetään muun muassa mökeillä, joissa sähköverkon liittytapiste voi olla kaukana, jolloin verkkoliittymä voi tulla kalliiksi sähkön tarpeeseen nähden. Tällaisessa kohteessa sähköntarve on tärkeää arvioida huolellisesti, jotta tuotettu sähkö riittää omaan tarpeeseen. Verkkoon kytkemättömässä järjestelmässä aurinkopaneelit tuottavat sähköä ja tuotettu sähkö voidaan varastoida akkuihin, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät ole samaan aikaan. (Motiva 2014-05-12 b.) Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä on esitetty kuvassa 22.



KUVA 22. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä (Motiva 2014-05-12b.)

Verkkoon kytkemätön järjestelmä voidaan toteuttaa ilman invertteriä tai invertterin kanssa. Ilman sähköpääkeskukseen kytkettävää invertteriä aurinkopaneeleilla tuotettua tasajännitettä 12/24 V voivat käyttää vain tasajännitteellä toimivat laitteet. Tämä tuo haasteita, sillä suoraan 12/24 V tasajännitteellä toimivia kodinelektronikkalaitteita on markkinoilla huomattavasti vähemmän kuin 230 V vaihtojännitteellä toimivia laitteita. (Lappalainen 2014, 14.)

Lisäksi verkkoon kytkemätön järjestelmä voidaan toteuttaa monilla erilaisilla tavoilla. Järjestelmässä voi olla akusto tai aggregaatti tai vaikka molemmat, jompikumpi tai järjestelmä voi toimia ilman kumpaakin. Järjestelmän toteutustapa riippuu aurinkosähköjärjestelmän käyttökohteesta, sen sähkökulutuksesta ja energijärjestelmän kokoonpanosta. Yleistä kuitenkin on, että verkkoon kytkemätön järjestelmä sisältää akut. Akullisessa järjestelmässä aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia siirretään lataussäätimien kautta akustoon. Lataussäädin suojaa akkuja virtapiikeiltä säätämällä sisään tulevan energian määrää ja kykenee irrottamaan kuorman akkujen tyhjentymässä. Lataussäätimessä on yleensä estodiodi, jonka tarkoituksena on estää akuston mahdollinen purkautuminen yön aikana paneelistojen kautta. (Erat, ym., 2008, 132; Lappalainen 2014, 15.)

Nykyiset lataussäätimet käyttävät pulssileveysmodulaatiota (PWM = Pulse Width Modulation), MPPT-latausta ja vastusmallista säädintekniikkaa. PWM on nykyään yleisin tekniikka. PWM-tekniikka perustuu siihen, että kun haluttu jännitetaso on saavutettu, säätimen piiri kytkee energian lähteen jatkuvasti päälle ja pois pitäen jännitteen halutulla tasolla. Näin aurinkoenergian saanti saadaan maksimoitua. (Erat, ym., 2008, 132; Kwick 2010, 32.)

MPPT-säätimessä (Maximum Power Point Tracking) käytetään uusinta tekniikkaa, jossa säädin säätää paneelin tai paneeliston ulostulojännitettä toimimaan koko ajan maksimitehopisteen jännitteellä ( $V_{mp}$ ). Aurinkopaneelin ominaiskäyrän takia paras energiantuotto saadaan, kun paneelin tai paneeliston ulostulojännite on maksimitehopisteessä. (Erat, ym., 2008, 133; Kwick 2010, 32.) Kuvassa 23 on esitetty SunSaverin MPPT-lataussäädin.



KUVA 23. SunSaverin MPPT-lataussäädin (Sunstore.)

Vastusmaisilla säätimillä on elektroninen piiri, joka mittaa akkujen jännitettä. Mikäli akkujen jännite nousee esiasennettuun jännitearvoon, katkaistaan akkujen lataus. Jännitteen laskettua tiettyyn arvoon akkujen lataus alkaa uudestaan. Säätimen haittapuolena on, että lataus on joko päällä tai poissa päältä. Kun paneelit lataavat akkuja, säädin lähettää tuotetun energian akkuihin. Mikäli latausvirta on liian suuri, akut voivat ylikuumeta. Tällainen teknologia on vanha ja halpa, mutta se soveltuu edelleen aurinkosähköjärjestelmien säätöön. (Erat, ym., 2008, 132.)

## 6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU PCM TECHNOLOGY OY:LLE

Tarkoituksena oli selvittää suonenjokelaiselle PCM Technology Oy:lle verkkoon kytkettävän aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika. Pääajatuksena oli, että aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia käytetään pääasiallisesti itse, jolloin mahdollisimman vähän tuotetusta energiasta syötettäisiin verkkoon myytäväksi. Näin ollen aurinkopaneelijärjestelmä olisi kannattavampi, sillä ”sähkön syöttö on vähemmän kannattavaa kuin sen käyttö omaan tarpeeseen (Motiva 2014-05-12d).” Tämä voidaan nähdä hyvin kuvasta 24. Yrityksellä oli ajatuksena, että aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuaika saisi olla maksimissaan 15 vuotta.

Kun tuotettu sähköenergia käytetään pääasiassa itse, säästetään sähkönsiirrosta, sähköenergiasta ja sähköverosta aiheutuviissa kustannuksissa. Alle 100 kVA:n voimalaitoksilla ei ole sähköverovelvollisuutta, niitä ei tarvitse rekisteröidä verovelvolliseksi eikä niiden tarvitse antaa sähköntuotannosta veroilmoitusta. Yli 100 kVA:n voimalaitosten, jotka tuottavat enintään 800 000 kWh vuodessa, on rekisteröidyttävä Tullille sähköverovelvollisiksi ja annettava kerran vuodessa veroilmoitus tuotetun sähkön määrästä, mutta tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa sähköveroa. Yli 100 kVA:n voimalaitoksen tuottaessa yli 800 000 kWh maksaa se sähköveroa ja antaa joka kuukausi veroilmoituksen riippumatta siitä, syöttääkö se ylijäämäsähköä verkkoon vai ei. (Tulli 2015-03-03; Tulli 2015-04-27.)

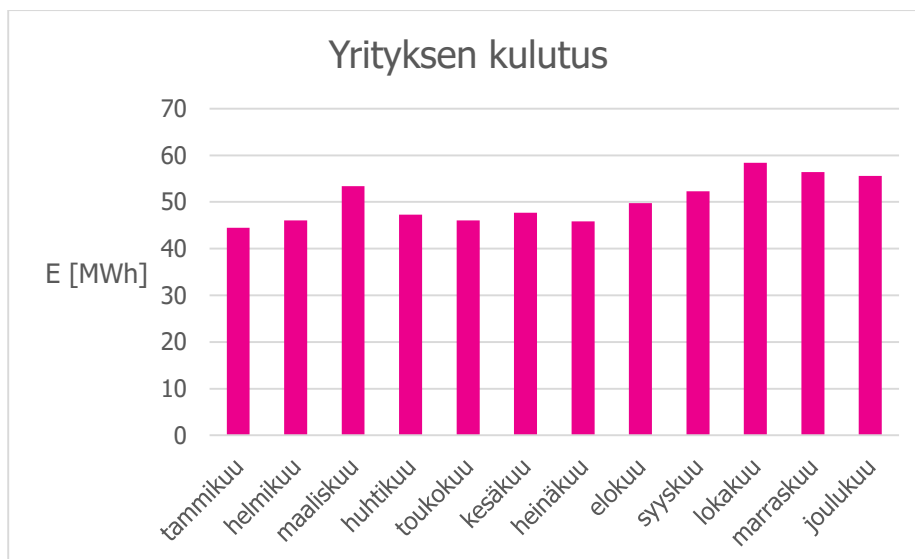


KUVA 24. Sähkön osto- ja myyntihinnan muodostuminen (Motiva 2015-10-16.)

Verkkoon syötettävän ylijäämäsähkön tuotoksi päätettiin arvioida opinnäytetyössä 0 €. Todellisuudessa verkkoon syötettävästä ylijäämäsähköstä maksetaan usein tuntikohtaista Spot-hintaa (Motiva 2015-10-16).

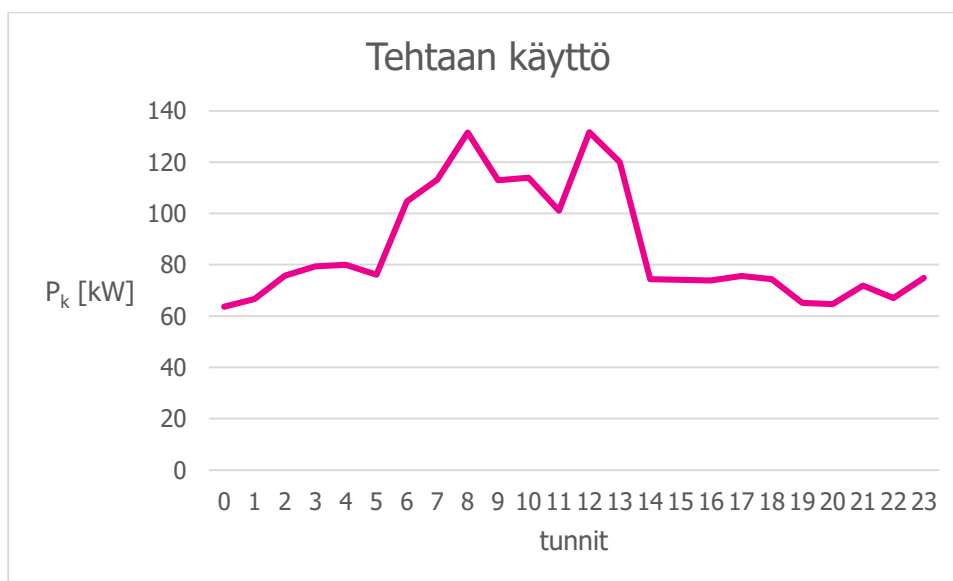
### 6.1 Tehtaan kulutus

Kuvassa 25 on esitetty PCM Technology Oy:n tehtaan kulutus vuodelta 2015. Tehtaan kulutus on melko tasaista kuukaudesta riippumatta ja vaihtelee noin 45 ja 55 MWh/kk välillä. Yrityksen vuosikulutus oli noin 600 MWh vuonna 2015. Yrityksen kulutustiedot on saatu Oma Energia -palvelusta.



KUVA 25. Yrityksen tehtaan kulutus vuonna 2015

Kuvassa 26 on puolestaan esitetty yrityksen kulutusikäyrä eräältä päivältä, kun tehtaassa on tuotanto käynnissä. Tehtaan tuntikeskiteho vaihtelee päivän aikana noin 60 - 130 kW välillä ja on keskimäärin noin 80 kW.



KUVA 26. Tehtaan käyttö eräänä päivänä

## 6.2 Järjestelmän mitoittaminen

Yrityksen toiveena oli, että aurinkopaneelijärjestelmä tuottaisi 80 kW:n tehon aurinkoisen kesäpäivän huipputuntina ja että suurin osa tuotetusta sähköenergiasta menisi yrityksen omaan käyttöön. Koska yrityksen tehtaan teho on keskimäärin noin 80 kW tuotannon ollessa käynnissä, päätettiin aurinkosähköjärjestelmä mitoittaa siten, että aurinkopaneeleilla pystytään tuottamaan noin 80 kW aurinkoisen kesäpäivän huipputuntina yrityksen toiveen mukaan. Järjestelmän nimellistehoksi valittiin näin ollen 80 kW<sub>p</sub>. Aurinkosähköjärjestelmillä pystytään tuottamaan nimellistehon (W<sub>p</sub>) verran, kun auringon säteilyn voimakkuus on 1 000 W/m<sup>2</sup>. Mikäli auringon säteilyn voimakkuus on enemmän kuin 1 000 W/m<sup>2</sup> paneeli voi tuottaa nimellistehoa enemmän.

Mitoitusperustetta (80 kW<sub>p</sub> järjestelmä) päätettiin verrata Kuopion Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksella sijaitsevaan 2 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmään, joka on suunnattu etelään. Savonia-ammattikorkeakoulun 2 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmästä saatiin tietää sen todellinen tuotto ajalta maaliskuu 2015 - huhtikuu 2016. Järjestelmän tuottama sähköenergia kerrottiin 40:llä, jotta saataisiin arvio siitä, mitä 80 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmä tuottaisi näillä leveysasteilla etelään suunnattuna.

80 kW<sub>p</sub> järjestelmän arvioitua tuottoa päätettiin verrata yrityksen todelliseen kulutukseen kymmeneltä päivältä huhtikuun alusta, jotta nähtäisiin, onko mitoitusperuste hyvä. Nämä vertailut löytyvät liitteistä 1 - 10. Liitteissä olevista kuvaajista voidaan huomata, kuinka paneelistolla tuotettua sähköenergia käytettäisiin itse omaan kulutukseen lukuun ottamatta päiviä, jolloin tehtaassa tuotanto olisi pysäytetty. Tuotannon ollessa seis ja auringon paistaessa tuotettu sähköenergia syötettäisiin sähköverkkoon kuten liitteen 3 tilanteessa.



## 7 KATON ASETTAMAT VAATIMUKSET JÄRJESTELMÄN ASENTAMISELLE

Mikäli hankittava aurinkosähköjärjestelmä on ajateltu hankkia oman rakennuksen katolle, tulee ole-  
massa olevan rakennuksen katon kestävyys ja huollon tarve sekä katemateriaali arvioida ennen jär-  
jestelmän hankintaa. Yksi aurinkopaneeli painaa noin 20 kg, joten niistä aiheutuu kattorakenteisiin  
rasitetta. Tästä syystä kannattaa varmistaa oman rakennuksen rakennuttajalta katon kestävyys ja  
tarvittaessa kattorakennetta tulee vahvistaa ennen järjestelmän hankintaa.

### 7.1 Huollon tarve

Kattoa ei pystytä uusimaan aurinkopaneelien alta paneelien käyttöiän aikana, joka on vähintään 25  
vuotta. Tämän takia mahdolliset katon huollot kannattaa suorittaa ennen järjestelmän asentamista,  
mikäli käyttöikä on jäljellä alle 30 vuotta. (Keski-Karhu ja Sutinen, 2016-04-13.)

Rakennuksen katon katemateriaali kannattaa myös vaihtaa tarpeen mukaan, sillä aurinkopaneelit  
eivät toimi itsessään katemateriaalina eivätkä varmista ja lisää katon tiiviyyttä. Aurinkopaneelien  
tulee olla katolla tuetulla alueella eikä niitä saa asentaa esimerkiksi räystäitä hyödyntäen. (Motiva  
2014-05-12e.)

### 7.2 Yrityksen tehtaan katto

Opinnäytetyötä varten selvitettiin, kestääkö yrityksen tehtaan katto aurinkopaneeleista aiheutuvat  
kuormat. Tätä varten otettiin yhteyttä Rakennussuunnittelu Jukka Timonen Oy:n, joka on suunnitel-  
lut tehtaan. Sieltä saatiin vastaukseksi, ettei tehtaan katon kuormitukseen ole varattu lisäkuormia  
vaan ainoastaan katon oma paino ja normaali lumikuorma. (Timonen, 2016-01-28.) Yrityksen tulee  
näin ollen vahvistaa tehtaan kattorakennetta ennen aurinkosähköjärjestelmän hankintaa.

## 8 JÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON

”Liitettäessä tuotantolaitosta yleiseen sähköverkkoon ja käytettäessä sitä rinnan sähköverkon kanssa, on ensisijaisen tärkeää varmistua siitä, että tuotantolaitos on turvallinen eikä se aiheuta häiriöitä verkkoon ja esimerkiksi riko muiden sähkökäyttäjien sähkölaitteita (Energiateollisuus 2013-02-28). ”Tästä syystä tuotantolaitoksen liittämiseen liittyy teknisiä vaatimuksia ja ohjeita. Näitä ovat muun muassa Energiateollisuuden laatimat ohjeet sekä verkonhaltijan tekniset ehdot tuotantolaitoksen liittämiseksi. Näiden ohjeiden lisäksi tulee selvittää mahdolliset lupa-asiat rakennusvalvontaviranomaisilta ja mahdolliset tuet hankkeeseen.

### 8.1 Energiateollisuuden suositukset

Energiateollisuus on laatinut muutamia ohjeita sähköntuotantolaitoksien liittämiseen sähköjakeluverkkoon. Näitä ovat:

- Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon
- Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon (YA9:13, päivitetty 27.4.2016)
- Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellistehoaltaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen
- Tekninen liite 2 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellistehoaltaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen

Yleisesti ottaen tuotantolaitoksen jännite ja taajuus tulee olla sovittujen arvojen sisäpuolella. Lisäksi tuotantolaitos ei saa syöttää jännitteetöntä verkkoa. Kun verkkojännite palautuu, voi laitos kytkeytyä verkkoon automaattisesti tai se voidaan kytkeä käsin riippuen siitä, miten verkonhaltijan kanssa on sovittu. (Energiateollisuus 2013-02-28, 1.)

Mikäli verkon kanssa rinnankäytettävää tuotantolaitosta halutaan käyttää myös saarekkeessa eli paikallisena energiantuotantona, kun yleinen sähköverkko on jännitteetön, tulee järjestelmässä olla erillinen kytkin ja lisälaitteisto. Saarekekäytössä oleva tuotantolaitos ei saa olla missään nimessä yhteydessä jännitteettömään verkkoon, jotta vaaratilanteita ei syntyisi viankorjaus- ja asennustöiden aikana. (Energiateollisuus 2013-02-28, 1.)

Sähköntuotantolaitos ei saa aiheuttaa häiriöitä verkkoon eikä muihin asennuksiin. Mikäli tuotantolaitoksessa ilmenee vika, tulee tuotantolaitoksen haltijan kytkeä tuotantolaitos irti mahdollisimman nopeasti yleisestä sähköjakeluverkosta. Mikäli tuotantolaitos kuitenkin aiheuttaa häiriöitä, tulee verkonhaltijan puuttua tilanteeseen ja äärimmäisessä tilanteessa poistaa laitteisto verkosta. (Energiateollisuus 2013-02-28, 1.)

Sähköntuotantolaitoksen haltija on vastuussa tuotantolaitoksensa aiheuttamista vahingoista muille sähkökäyttäjille ja verkonhaltijalle, mikäli tuotantolaitos ei tuota standardien ja vaatimuksien mukaista sähköä (Energiateollisuus 2013-02-28, 1).

## 8.2 Rakennusvalvontaviranomaisen vaatimat luvat

Aurinkosähköjärjestelmä saattaa vaatia rakennusvalvontaviranomaiselta rakennus- ja toimenpideluvan ennen laitteiston hankintaa (Energiateollisuus 2011-12-16, 1). Aurinkosähköjärjestelmän rakentamista koskevat lupamenettelyt vaihtelevat kunnittain, eikä järjestelmän asentaminen vaadi aina lupia. Tähän vaikuttaa asennustapa- ja asennuspaikka. Kaavamääräyksistä riippuen järjestelmälle voidaan vaatia rakennus- tai toimenpidelupa. Kaava-alueen ulkopuolella olevilta pieniltä tuotantolaitoksilta vaaditaan tyypillisesti toimenpidelupa. (Energiateollisuus 2011-12-16, 2; Lappalainen 2014, 33.)

Opinnäytetyötä varten selvitettiin, tarvitseeko PCM Technology Oy lupia tehtaan katolle asennettavia aurinkopaneeleita varten. Tätä varten otettiin yhteyttä rakennuslupainsinööri Mika Kimoseen Kuopion kaupungin alueellisesta rakennusvalvonnasta. Vastaukseksi saatiin, että yritys ei tarvitse aurinkopaneeleita varten lupaa tai ilmoitusta, mikäli hankkeesta ei aiheudu haittaa naapurikiinteistöille. Kuitenkin suositeltiin keskustelemaan naapuri kiinteistöjen omistajien kanssa ennakkoon kyseisestä hankkeesta, ettei asiasta synny jälkikäteen ongelmia. (Kimonen 2016-03-29.)

## 8.3 Savon Voima Verkko Oy:n vaatimukset verkkoon liittämiseen

Tuotantolaitosta eli tässä tapauksessa aurinkosähköjärjestelmää ei saa kytkeä verkkoon ilman sähköverkonhaltijan lupaa (Energiateollisuus 2011-11-16, 2). Suomenjoen alueen sähköverkonhaltijana toimii Savon Voima Verkko Oy. "Verkonhaltijaan kannattaa olla ensimmäisen kerran yhteydessä jo ennen tuotantolaitoksen hankkimispäätöstä, jotta voidaan varmistua tuotantolaitoksen soveltuvuudesta liittämisaikanaan (Energiateollisuus 2011-11-16, 2)." Tällä tavalla vältetään tilanteet, jossa hankittu tuotantolaitos ei täytä sille asetettuja teknisiä vaatimuksia ja verkonhaltija joutuu kieltämään jo hankitun tuotantolaitoksen liittämisen sähköverkkoon (Energiateollisuus 2011-11-16, 2).

Opinnäytetyötä tehdessä otettiin yhteyttä Savon Voima Verkon Oy:n palvelusuunnittelija Eero Paanaseen ja selvitettiin, mitä kaikkea Savon Voima Verkko Oy vaatii verkkoon liitettävältä aurinkosähköjärjestelmältä. Tämän lisäksi tutustuttiin Savon Voiman nettisivujen oma sähköntuotanto osioon.

### 8.3.1 Tarvittavat ilmoitukset

Ennen kuin tuotantolaitosta liitetään sähköjakeluverkkoon, tulee jakeluverkonhaltijalle toimittaa kirjallinen liittymisilmoitus ja kopio laitteiston käyttöönottopöytäkirjasta. Savon Voima Verkon liittymisilmoitus tehdään mikrotuotannon yleistietolomakkeella, joka löytyy liitteestä 11. Mikrotuotannon yleistietolomakkeessa ilmoitetaan tuotantolaitoksen tietoja: tyyppi, nimellisteho ( $W_p$ ), nimellisvirta, invertterin tyyppitiedot ja suojausasetteluissa käytetty standardi tai asetteluajat, erotuskytkimen sijainti ja tuotantolaitoksen asentajan/urakoitsijan tiedot. (Paananen 2016-01-26; Savon Voima Verkko Oyd.)

Näiden tietojen perusteella Savon Voima Verkko tarkistaa, onko laitteiston kytkeminen jakeluverkkoon turvallista, ohjelmoi sähkönmittauksen kaksisuuntaiseksi sekä antaa laitteistolle verkkoon kytkentäluvan (Savon Voima Verkko Oyd).

### 8.3.2 Liittymiskustannukset

Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävä tuotantolaitos omalla toiminta-alueellaan (Sähkömarkkinalaki 2013-08-09/588, 20 §). Enintään 2 MVA tuotantolaitoksien liittymismaksuun ei saa sisällyttää sähköverkon vahvistamisesta aiheutuvia kuluja vaan ne ovat verkonhaltijan vastuulla. Tämän kokoiselta tuotantolaitokselta voidaan periä kustannuksia ainoastaan siitä verkon osasta, joka palvelee kohdetta itseään eli mikäli sähköverkkoa tarvitsee laajentaa. Jos tuotantolaitoksen liittäminen aiheuttaa muutoksia verkon suojaukseen, asiakas maksaa näistä muutoksista aiheutuvat kustannukset. (Energiateollisuus 2016, 16; Lappalainen 2014, 33 – 34; Paananen 2016-04-25.)

Tuotantolaitoksen liittymismaksun suuruus voidaan määrittää kohteen kulutukset ja tuotannon perusteella seuraavasti:

- ”Jos kohteen kulutus (verkosta otto) on suurempaa kuin kohteen tuotanto (verkkoon anto), peritään kohteelta normaalit käyttöpaikan liittymismaksut (Energiateollisuus 2016, 16).”
- ”Jos kohteen kulutus (verkosta otto) on pienempää kuin tuotanto (verkkoon anto), arvioidaan pelkkää kulutusta varten vaadittavan liittymän koko ja peritään vastaavan kokaisen kulutuskohteen liittymismaksu. Tämän ylittävältä osalta voidaan periä laskennallinen tuotannon liittymismaksun periaatteita vastaava osa (Energiateollisuus 2016, 16).”

Kun tulevasta tuotantolaitoksesta tiedetään tarvittavia tietoja, laatii Savon Voima Verkko alustavan tarjouksen. Mikäli hanke lähtee etenemään, tekee Savon Voima Verkko liittymistarjouksen, jossa on määritelty tuotantolaitoksen liittämiskohta, liittymismaksu, liittymisteho ja liittämiseen liittyvä rakentamisaikataulu. (Savon Voima Verkko Oyd.)

Kun tuotannon maksimiteho on pienempi kuin kulutuksen maksimiteho, kattaa olemassa oleva kulutuksen liittymäkoko myös tuotannon liittymän. Tällöin liittymismaksukustannuksia ei muodostu. Pääsääntöisesti voidaan myös ajatella niin, ettei pientuotannon liittämisestä käytännössä aiheudu liittymismaksukustannuksia myöskään silloin, kun tuotannon liittymisteho on kulutuksen liittymistehoa suurempi. (Paananen 2016-04-25.)

### 8.3.3 Siirtomaksut

Mikäli tuotantolaitoksen omistaja myy tuotettua sähköä markkinoille, voi verkonhaltija periä pien- ja keskijänniteverkkoon liittyneeltä tuotantolaitokselta verkkoon annetusta sähköstä enintään 0,07 snt/kWh vuodessa tuotannon siirtomaksua (alv 0 %). Joskus tuotantolaitoksen tuottama energiamäärä on kuitenkin niin pieni, että verkonhaltijan perimät korvaukset ovat suuremmat kuin itse

lasku. Siirtomaksujen periminen on verkkoyhtiöiden päätettävissä, minkä takia kaikki verkkoyhtiöt eivät vaadi siirtomaksuja pientuottajilta. (Energiateollisuus 2016, 17; Forsström 2014, 30; Lappalainen 2014, 34.)

Verkosta otettavasta sähköenergiasta veloitetaan normaalit käyttöä koskevat siirtohinnot. Siirtohinnot ovat verkkoyhtiökohtaisia. Sähkön siirtohinnoissa on suuria eroja eri verkkoyhtiöiden välillä. (Energiateollisuus 2016, 17; Iltalehti 2016-02-09.)

#### 8.3.4 Mittarointi

”Mittauskäytännöt ja mittausta koskeva lainsäädäntö ovat erilaiset eri kohteissa riippuen kohteen koosta sekä siitä myydäänkö verkkoon siirtyvää sähköä markkinoille (Energiateollisuus 2016, 12).”

Kohteissa, joissa on enintään 100 kVA:n tuotantolaitos, voidaan mittaus suorittaa yhdellä etäluettavalla mittarilla. Verkosta otolla ja verkosta annolla on omat rekisterit eikä niitä netota eli verkosta otetusta energiasta ei vähennetä verkkoon siirrettyä energiaa. (Energiateollisuus 2011-12-16, 3; Energiateollisuus 2016, 12.)

Kohteissa, joissa tuotantolaitoksen nimellisteho on yli 100 kVA, ei tuotantoa ja kulutusta voida enää mitata yhdellä mittarilla. Tällaisessa kohteessa verkosta oton ja verkosta annon lisäksi tulee mitata oman tuotannon kulutus tuntimittauslaitteistolla. Oman tuotannon kulutuksen määrä saadaan, kun tuotetusta sähköstä vähennetään tuotantolaitoksen omakäyttösähkö ja verkkoon anto. Omakäyttösähköllä tarkoitetaan järjestelmän itsensä kuluttamaa sähköä. Verkonhaltija vastaa verkosta oton ja annon mittauksesta, mutta oman tuotannon kulutuksen mittauksesta huolehtii kuluttaja itse. (Energiateollisuus 2016, 12-13.)

PCM Technology Oy:n tehtaan ei tarvitse hankkia toista mittaria vaan mittaus voidaan suorittaa yhdellä etäluettavalla mittarilla, koska tuotantolaitoksen nimellisteho on alle 100 kW. Mittarilla mitataan yrityksen verkosta otto ja ylijäämäsiirto verkkoon eli verkkoon anto.

#### 8.3.5 Tariffit

Tuottajalla on oikeus siirtää tuottamaansa sähköä verkkoon, kun tuotantolaitoksen liityntä ja mitaukset täyttävät kaikki asetetut vaatimukset ja, kun tuottajalla on syöttämälleen sähkölle ostaja (Energiateollisuus 2011-12-16, 3). Tälle myytävälle sähkölle ei ole määrätty missään tariffia. Tariffin suuruus on tuotantolaitoksen omistajan ja sähköyhtiön välinen päätös. (Forsström 2014, 30.) Tuotantolaitoksen omistaja voi myydä ylijäämäsiirtoa yleisen jakeluverkon kautta sähkömarkkinoilla valitsemalleen ostajalle (Energiateollisuus 2011-12-16, 3; Savon Voima Verkko Oyd).

## 8.4 Energiatuki

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaa varten yrityksellä on mahdollisuus hakea energiataukea oman alueen ELY-keskukselta. Aurinkosähköhankkeissa tukea voidaan myöntää niin vanhoihin kuin uudisrakennuskohteisiin. Aurinkosähköhankkeeseen voi saada tukea enimmillään 25 % verottomasta hinnasta. (Motiva 2015-10-26; Savon Voima Verkko Oy c; Stjerna 2016-04-20; Työ- ja elinkeinoministeriö 2016-02-03.) Investointihankkeen alaraja on 10 000 € (Stjerna 2016-04-20). Tukien laskennassa alle 100 kW:n järjestelmän perushinta on 1 600 €/kW ja yli 100 kW:n järjestelmässä 1 300 €/kW (Savon Voima Verkko Oyc).

Jotta tukea voi saada, tulee yrityksen talouden olla kunnossa ja kokonaisrahoituksen olla selvä. Hanketta ei saa aloittaa ennen energiatauen saamista. (Stjerna 2016-04-20.) Aloittamiseksi katsotaan muun muassa sitovan tilauksen tekeminen aurinkosähköjärjestelmästä. Energiataukihakemus toimitetaan siihen ELY-keskukseen, jonka alueella investointi tehdään. (Stjerna 2016-04-20; Työ- ja elinkeinoministeriö 2016-02-09.) PCM Technology Oy toimittaa tässä tapauksessa energiataukihakemuksensa Pohjois-Savon ELY-keskukseen. Hakeminen tapahtuu paperihakemuksella, joka on tulostettavissa muun muassa Työ- ja elinkeinoministeriön ja ELY-keskuksen nettisivuilta.

## 9 KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA LASKELMAT

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jona vuosituottoa syntyy investointikustannusten verran. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikaan vaikuttaa useita muuttuvia tekijöitä, kuten sähköenergian ja sähkönsiirron hinta. Järjestelmällä saatavaan vuosituottoon vaikuttavat yrityksen maksama sähköenergian hinta, sähkönsiirron hinta (Pj-tehosähkön siirto 2 Savon Voima Verkolta) ja veroluokka 2:n sähkövero. Mikro- ja pienvoimalaitokset nimellisteholta alle 100 kVA ovat verotuksen ulkopuolella, joten niissä tuotetusta sähköstä ei tarvitse maksaa sähköveroa (Savon Voima Verkko Oyd; Tulli 2015-03-03).

Laskelmissa otetaan huomioon

- järjestelmän kokonaishinta (alv 0 %)
- liittymiskustannukset
- ylijäämänsähkön tuotto 0 € (yrityksen pyynnöstä).

Laskennassa ei huomioida yrityksen tehtaan kattorakenteen vahvistamisesta aiheutuvia kuluja ja kaikki laskennat tehdään alv 0 %.

### 9.1 Laskentakaavat

Tässä luvussa käsitellään kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmiin liittyvät laskentakaavat.

#### 9.1.1 Saatavan säästön laskenta

Aurinkopaneelijärjestelmällä tuotetun sähkön arvo eli yrityksen saama säästö lasketaan seuraavasti:

$$\text{säästö vuodessa} = \text{omaan käyttöön menevä tuotanto} \cdot (\text{sähkön siirtohint} + \text{sähkövero} + \text{sähköenergian hinta}) \quad (14)$$

#### 9.1.2 Takaisinmaksuajan laskenta

Takaisinmaksuaika saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Tyni 2015, 48)

$$T = \frac{x}{y} \quad (15)$$

jossa T on takaisinmaksuaika (v), x järjestelmän hinta (€) ja y järjestelmän tuotto eli saatava säästö (€/v).

Katon vahvistamisesta aiheutuvia kuluja ei oteta huomioon järjestelmän kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmissa.

### 9.1.3 Sijoitetun pääoman tuotto-%prosentin laskenta

Investoinnin tuotto saadaan, kun lasketaan sijoitetun pääoman tuotto-%prosentti. Sijoitetun pääoman tuotto-%prosentti saadaan laskettua seuraavasti (Balance consulting)

$$\text{sijoitetun pääoman tuotto-%prosentti} = \frac{\text{nettotulos}}{\text{sijoitettu pääoma}} \cdot 100 \% \quad (16)$$

jossa nettotulos tarkoittaa järjestelmästä saatavaa vuosituottoa ja sijoitettu pääoma järjestelmän investoinnin hintaa.

### 9.1.4 Omaan käyttöön menevän tuotannon prosenttiosuuden laskenta

Aurinkopaneelijärjestelmän tuotannosta omaan käyttöön menevän määrän prosenttiosuus voidaan laskea seuraavasti

$$\begin{aligned} \text{tuotannosta omaan käyttöön [\%]} = \\ \frac{\text{kokonaistuotanto} - \text{myytävä ylijäämä-sähkö}}{\text{kokonaistuotanto}} \cdot 100 \% = \\ \frac{\text{omaaan käyttöön menevä tuotanto}}{\text{kokonaistuotanto}} \cdot 100 \% \quad (17) \end{aligned}$$

### 9.1.5 Keskitehon laskenta

Aurinkopaneelin tuottama keskiteho saadaan laskettua seuraavasti

$$P_k = \frac{W}{T} \quad (18)$$

jossa  $W$  on aurinkopaneelien tuottama sähköenergian määrä [kWh/a] ja  $T$  vuoden tuntimäärä, joka on 8 760 h/a.

## 9.2 Saadut tarjoukset

Opinnäytetyötä varten pyydettiin tarjouksia nimellisteholtaan 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmästä eri laitetoimittajilta.

### 9.2.1 Savon Voima Oyj

Savon Voima Oyj:ltä saatiin tarjous 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmästä. Savon Voima Oyj arvioi järjestelmän hinnaksi noin 100 000 € (alv 0 %).

### 9.2.2 Muut toimittajat

Opinnäytetyössä saatiin myös budjettitarjoukset Vattenfallilta ja Finnwind Oy:ltä, mutta ne eivät halunneet tarjouksiaan julkisiksi.



## 9.3 Laskelmat

Opinnäytetyön kaikki laskelmat perustuvat Savon Voima Oyj:n tarjoukseen (noin 100 000 €, alv 0 %). Laskelmat on esitetty liitteessä 12. 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän arvioitu vuosituotanto perustuu Opistotien 2 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän todelliseen tuotantoon ajanjaksolta huhtikuu 2015 - maaliskuu 2016. Opistotien 2 kW<sub>p</sub> järjestelmän todellinen tuotanto on kerrottu 40:llä, jotta on saatu arvio siitä, mitä 80 kW<sub>p</sub> järjestelmä tuottaisi. Opistotien aurinkopaneelit on suunnattu samalla tavalla etelään päin, kuten yrityksen paneelit tulitaisiin suuntaamaan. Asennuskulmassa voi olla kuitenkin eroa, mutta sitä ei ole otettu laskennassa huomioon, sillä asennuskulmalla ei ole suurta vaikutusta tehontuottoon asennuskulman ollessa 30 - 50° kuten luvun 4.5 taulukosta 4 voidaan huomata. Suurempi merkitys on suuntauksella, kuten luvussa 4.4 käy ilmi.

Laskentaa varten saatiin tiedot yrityksen kulutuksesta ajanjaksolta huhtikuu 2015 - maaliskuu 2016. Yrityksellä on Savon Voima Verkon sähkönsiirtosopimuksena Pj-tehonsähkön siirto 2, jolloin yrityksellä on neljä sähkön siirron hintaa: kesäpäivä (1.4.-31.10. ma-la klo 07-22), kesäyö (1.4.-31.10. muu aika), talvipäivä (1.11.-31.3. ma-la klo 07-22) ja talviyö (1.11.-31.3. muu aika). Taulukosta 6 nähdään Savon Voiman Pj-tehonsähkön siirto 2:en hinnat 1.6.2016 alkaen.

TAULUKKO 6. Yrityksen maksama sähkönsiirto 1.6.2016 alkaen (Savon Voima Verkko Oyf.)

Siirtohinnat veroluokka 2 (alv 0%)	
1.4.-31.10. ma-la klo 07-22	1,98 snt/kWh
1.4.-31.10. muu aika	1,44 snt/kWh
1.11.-31.3. ma-la klo 07-22	3,50 snt/kWh
1.11.-31.3. muu aika	2,51 snt/kWh

Yrityksellä on Spot-hintainen energiasopimus, joten energian hinnaksi valittiin eräs yrityksen maksama Spot-hinta, joka oli 4,24 snt/kWh (alv 0 %).

Yrityksessä on tehtaan tuotanto käynnissä suurimman osan viikkoa, mutta tuotanto on aika ajoittain seis. Tuotannon seisoapäiviä eli liitteessä 12 puhuttavia hukkapäiviä arvioitiin olevan yrityksellä noin yksi päivä viikossa. Tällöin yrityksen tehtaan teho on alle 10 kW kuten nähdään liitteen 3 oranssista käyrästä, joka kuvaa tehtaan tehoa. Hukkapäivien määrän arvioiminen on tärkeää, sillä tuotannon ollessa seis ja auringon paistaessa aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa niin paljon, ettei se mene yrityksen omaan kulutukseen. Tällöin tämä sähköenergia syötetään ylijäämänä sähköverkkoon. Tälle sähköverkkoon syötettävälle ylijäämäsähkölle yritys halusi arvioida tuotoksi 0 €. Yhden hukkapäivän tuotto arvioitiin jakamalla arvioitu kuukausituotto aina kuukaudessa olevien päivien lukumäärällä.

80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän arvioidusta vuosituotannosta 63 091 kWh menee yrityksen omaan käyttöön 54 168 kWh, kun arvioidusta vuosituotannosta vähennetään verkkoon syötettävä ylijäämäsähkö, joka on arviolta 8 923 kWh. Omaan käyttöön menevän tuotannon määrä kesäpäivänä on laskettu summaamalla 80 kW<sub>p</sub> järjestelmän arvioitu tuotanto ajalta huhtikuu 2015 - lokakuu

2015 ja vähentämällä siitä huhtikuu 2016 - lokakuu 2015 ajalta syntyvä ylijäämäsähkön määrä. Omaan käyttöön tuotannosta menee kesäpäivänä 48 573 kWh. Omaan käyttöön menevän tuotannon arvo, jonka yritys säästää sähkölaskussa, on noin 3019 €. Saatava säästö on laskettu kaavalla 14 seuraavasti:

$$\text{säästö vuodessa} = 48\,573 \text{ kWh} \cdot \left( 0,0198 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 0,0424 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \approx 3\,019 \text{ €}$$

Laskennassa käytetty  $0,0198 \text{ €/kWh} = 1,98 \text{ snt/kWh}$  (alv 0%) on sähkön siirtohintaa veroluokassa 2 kesäpäivänä. Hinta sisältää sähkön siirtohinnan ja sähköveron.  $0,0424 \text{ €/kWh} = 4,24 \text{ snt/kWh}$  on sähköenergian hinta (alv 0 %).

Omaan käyttöön menevän tuotannon määrä talvipäivänä saadaan laskettua puolestaan summamalla arvioitu tuotanto ajalta marraskuu 2016 - maaliskuu 2016 ja vähentämällä siitä kyseiseltä ajalta syntyvä ylijäämäsähkö. Omaan käyttöön tuotannosta menee talvipäivänä 5 630 kWh. Omaan käyttöön menevän tuotannon arvo, jonka yritys säästää sähkölaskussa, on noin 436 €. Saatava säästö on laskettu kaavalla 14 seuraavasti:

$$\text{säästö vuodessa} = 5\,630 \text{ kWh} \cdot \left( 0,035 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 0,0424 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \approx 436 \text{ €}$$

Laskennassa käytetty  $0,035 \text{ €/kWh} = 3,5 \text{ snt/kWh}$  (alv 0 %) on sähkön siirtohintaa veroluokassa 2 talvipäivänä. Hinta sisältää sähkön siirtohinnan ja sähköveron.  $0,0424 \text{ €/kWh} = 4,24 \text{ snt/kWh}$  on sähköenergian hinta (alv 0 %).

$80 \text{ kW}_p$  aurinkopaneelijärjestelmän arvioidusta tuotannosta menee omaan käyttöön 86 %. Aurinkopaneelijärjestelmän tuotannosta omaan käyttöön menevän määrän prosenttiosuus on laskettu kaavalla 17.

$$\text{tuotannosta omaan käyttöön [\%]} = \frac{54\,168 \text{ kWh}}{63\,091 \text{ kWh}} \cdot 100 \% \approx 86 \%$$

$80 \text{ kW}_p$  aurinkopaneelijärjestelmän arvioiduksi keskittehoksi saadaan  $7,2 \text{ kW}$ , kun järjestelmän arvioitu vuosituotanto on  $63\,091 \text{ kWh/a}$ . Aurinkopaneelijärjestelmän keskiteho on laskettu kaavalla 18.

$$P_k = \frac{63\,091 \text{ kWh/a}}{8\,760 \text{ h/a}} \approx 7,2 \text{ kW}$$

### 9.3.1 Investointi ilman energiatukea

Mikäli yritys ei saa energiatukea,  $80 \text{ kW}_p$  aurinkopaneelijärjestelmän hinta on noin  $100\,000 \text{ €}$  (alv 0 %). Investoinnille ei ajatella korkokantaa eikä jäännösarvoa.

Liitteessä 12 on laskettu investoinnin takaisinmaksuaika ja sijoitetun pääoman tuotto prosentti, kun investointiin ei ole saatu tukea. 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan noin 28,9 vuotta ja sijoitetun pääoman tuotto prosentiksi noin 3,5 %. Takaisinmaksuaika T on laskettu kaavalla 15 ja sijoitetun pääoman tuotto prosentti kaavalla 16.

$$T = \frac{100\,000\ \text{€}}{3\,454,81\ \text{€/v}} \approx 28,9\ v$$

$$\text{sijoitetun pääoman tuotto prosentti} = \frac{3\,454,81\ \text{€}}{100\,000\ \text{€}} \cdot 100\ \% \approx 3,5\ \%$$

Yrityksen toiveena oli, että järjestelmän takaisinmaksuaika olisi maksimissaan 15 vuotta. Investoinnin takaisinmaksuaika on ilman energiatukea 28,9 vuotta. Takaisinmaksuaika on pidempi, mitä yritys toivoi.

### 9.3.2 Investointi 25 % energiatuella

Mikäli yritys saa energiatukea, 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän tuettu hinta on noin 75 000 € (alv 0 %). Investoinnille ei ajatella korkokantaa eikä jäännösarvoa.

Liitteessä 12 on laskettu investoinnin takaisinmaksuaika ja sijoitetun pääoman tuotto prosentti, kun investointiin saadaan maksimi 25 % energiatuki. 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan noin 21,7 vuotta ja sijoitetun pääoman tuotto prosentiksi noin 4,6 %. Takaisinmaksuaika T on laskettu kaavalla 15 ja sijoitetun pääoman tuotto prosentti kaavalla 16.

$$T = \frac{75\,000\ \text{€}}{3\,454,81\ \text{€/v}} \approx 21,7\ v$$

$$\text{sijoitetun pääoman tuotto prosentti} = \frac{3\,454,81\ \text{€}}{75\,000\ \text{€}} \cdot 100\ \% \approx 4,6\ \%$$

Yrityksen toiveena oli, että järjestelmän takaisinmaksuaika olisi maksimissaan 15 vuotta. Investoinnin takaisinmaksuaika on 25 % energiatuen kanssa 21,7 vuotta eli pidempi, kuin yritys toivoi.

## 10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää verkkoon kytkettävän aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika suonenjokelaiselle PCM Technology Oy:lle. Aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelun perustana oli, että aurinkopaneelijärjestelmä tuottaisi 80 kW aurinkoisen kesäpäivän huipputuntina ja että suurin osa tuotetusta sähköenergiasta menisi yrityksen omaan käyttöön. Tuotannon mennessä suurimmalta osalta omaan käyttöön järjestelmän kannattavuus lisääntyy, kun säästetään sähkönsiirrosta, sähköenergiasta ja sähköverosta aiheutuvissa kustannuksissa.

Työssä pyydettiin tarjouksia nimellisteholtaan 80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmästä eri laitetoimittajilta. Savon Voima Oy:n tarjous oli julkinen ja muut olivat salaisia. Kaikki laskennat on tehty Savon Voima Oy:n hinta-arvion perusteella, joka oli noin 100 000 € (alv 0 %). Takaisinmaksuajaksi saatiin ilman energiatukea 28,9 vuotta ja energiatuen kanssa 21,7 vuotta. Yrityksen toiveena oli, että järjestelmän takaisinmaksuaika olisi maksimissaan 15 vuotta.

80 kW<sub>p</sub> aurinkopaneelijärjestelmän arvioiduksi vuosituotannoksi saatiin 63 091 kWh ja keskitehoksi 7,2 kW. Tuotannosta omaan käyttöön menisi 54 168 kWh ja ylijäämä sähköä syntyi 8 923 kWh. Tuotannosta omaan käyttöön menisi noin 86 %.

Opinnäytetyössä selvitettiin yrityksen tehtaan kattorakenteen kestävyys Rakennussuunnittelu Jukka Timonen Oy:stä, joka on suunnitellut yrityksen tehtaan. Lisäksi selvitettiin rakennusvalvontaviranomaisen vaatimat lupa-asiat kohteeseen rakennuslupainsinööri Mika Kimoselta. Verkonhaltijan vaatimukset selvitettiin Savon Voima Verkko Oy:ltä, joka on Suonenjoen alueella verkonhaltijana. Savon Voima Verkko Oy:n palvelusuunnittelija Eero Paanaselta selvitettiin tarvittavat vaatimukset ja tämän lisäksi verkkoon liittämiseen liittyviä vaatimuksia selvitettiin Energiategollisuuden suosituksista ja ohjeista.

Lopputuloksena saatiin yritykselle aikaan kattava materiaali, josta käy ilmi kattorakenteen vahvistamisen tarve, lupa-asiat, verkkoon liittymisen vaatimukset sekä kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelmat, joiden perusteella yritys tekee investointipäätöksen.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- AARNIO, Pertti. Helsinki University Of Technology. Aurinkosähköteknologiat. [viitattu 2016-04-16.] Saatavissa: <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>
- AIRAS, VALTTERI 2015. Aurinkopaneelijärjestelmän kannattavuustarkastelu. Centria-ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99194/Airas\\_Valtteri.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99194/Airas_Valtteri.pdf?sequence=1)
- AURINKOPANEELI.ORG. Toimintaperiaate. [Viitattu 2016-04-16.] Saatavissa: <http://www.aurinkopaneeli.org/aurinkopaneelin-toimintaperiaate/>
- ARINO, Kirsj, HEINÄÄHO, Merja, RANTANEN, Jari, ROININEN, Janne, SALMINEN ja TOMUKORPI, Suvu 2015. eMaantieto 8: Euroopan maantieto [nettioppimateriaali]. [viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: <https://peda.net/kannus/jvk/oppiaineet2/maantiede/8-lk-maantieto/eurooppa3>
- BALANCE CONSULTING. [Viitattu 2016-05-08.] Saatavissa: [http://www.balanceconsulting.fi/tunnusluvut/sijoitetun\\_paaoman\\_tuotto](http://www.balanceconsulting.fi/tunnusluvut/sijoitetun_paaoman_tuotto)
- ELINKEINO-, LIIKENNE- JA YMPÄRISTÖKESKUS 2015-05-06. Energiatuki. [Viitattu 2016-04-19.] Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/fi/web/ely/energiatuki?categoryId=63655#.VxX3Rj9f2Un>
- ENERGIATEOLLISUUS 2011-12-16. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-04-13.] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/ohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_jakeluverkkoon.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS 2016-04-27a. Tekninen liite 2 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellistehoaltaan yli 100 kVA laitoksen liittäminen [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-06-05.] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/tekninen\\_liite\\_2\\_-\\_yli\\_100\\_kva\\_paivitetty\\_20160427.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_2_-_yli_100_kva_paivitetty_20160427.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS 2016-04-27b. Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellistehoaltaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-06-05.] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/tekninen\\_liite\\_1\\_-\\_enintaan\\_100\\_kva\\_paivitetty\\_20160427.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kva_paivitetty_20160427.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS 2013. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon YA9:13 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-04-13.] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon\\_liittaminen\\_sahkonjakeluverkkoon\\_ya9\\_13.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_sahkonjakeluverkkoon_ya9_13.pdf)
- ENERGIATEOLLISUUS 2016. Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon YA9:13, päivitetty 27.4.2016 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2016-05-27.] Saatavissa: [http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon\\_liittaminen\\_verkostosuositus\\_lopullinen\\_paivitetty\\_20160427.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikrotuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_paivitetty_20160427.pdf)
- ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, PELTOLA, Seppo ja SUOKIVI, Hannu, 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin.
- EUROPEAN COMMISSION. Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe. [Viitattu 2016-04-06.] Saatavilla: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_FI.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.png)
- FINNWIND OY 2013-02-01. Aurinkoenergiaopas. [opas.][Viitattu 2016-04-17.] Saatavissa: <http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>
- FORSSTRÖM, Heidi 2014. Aurinkoenergiajärjestelmät ja aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Vaasan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71146/forsstrom\\_heidi.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71146/forsstrom_heidi.pdf?sequence=1)
- ILMATIETEENLAITOSa. Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. [Viitattu 2016-02-04.] Saatavissa: <http://ilmatieteennlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>

- ILMATIETEENLAITOSb. Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut. [Viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>
- ILMATIETEENLAITOSc. Auringon rakenne ja elinkaari. [Viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>
- ILTALEHTI 2016-02-09. IL selvitti: Sähkön siirtohinnoissa rajut erot – Caruna vielä yksi halvimmista [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2016-04-24.] Saatavissa: [http://www.iltalehti.fi/asuminen/2016020921091639\\_an.shtml](http://www.iltalehti.fi/asuminen/2016020921091639_an.shtml)
- KAKRIAINEN, TIMO 2011. Aurinkoenergian kannattavuus kasarmin kampuksella. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Talotekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30884/Kakriainen\\_Timo.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30884/Kakriainen_Timo.pdf?sequence=1)
- KEKKONEN, Alpo. Tuuli- ja aurinkosähkötuotannon oppimisympäristö, TUURINKO. Pienten tuuli- ja aurinkosähköjärjestelmien asentaminen, Siikajoki 7.10.2014. Oulun ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2016-04-18.] Saatavissa: [http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/esitys\\_asenn.pdf](http://www.oamk.fi/toolbox/fileuploads/esitys_asenn.pdf)
- KESKI-KARHU, Juha ja SUTINEN, Arto 2016-04-13. Toimitusjohtaja. [Aurinkoenergiailan luento.] Kuopio: Savon Voima Verkko Oyj. Saatavissa: <http://www.savonvoima.fi/aurinkoenergiailta>
- KIMONEN, Mika 2016-03-29. Rakennuslupainsinööri. [Sähköpostiviesti.] Kuopio: Kuopion kaupunki, Kaupunkiympäristön palvelualue, Alueellinen rakennusvalvonta
- KOTIPOSTI.NET. Puolijohteet. [Viitattu 2016-04-17.] Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/ajnieminen/pujo.pdf>
- KUOPION ENERGIA. Tuotannon liittäminen sähköverkkoon. [Viitattu 2016-03-18.] Saatavilla: [http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2571-Tuotannon\\_liittaminen\\_sahkoverkkoon\\_ohje.pdf](http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2571-Tuotannon_liittaminen_sahkoverkkoon_ohje.pdf)
- KVICK, Pasi 2010. Verkkoon kytketty aurinkopaneelijärjestelmä. Savonia-ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/1759/browse?value=Kvick%2C+Pasi&type=author>
- LAPPALAINEN, Olli 2014. Verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu opetuskäyttöön. Savonia-ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/74989>
- MOTIVA 2014-05-12a. Aurinkojärjestelmän teho. [Viitattu 2016-04-04.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho)
- MOTIVA 2014-05-12b. Verkkoon kytkemätön aurinkosähköjärjestelmä. [Viitattu 2016-04-06.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_kytkeaton\\_aurinkosahkojarjestelma](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_kytkeaton_aurinkosahkojarjestelma)
- MOTIVA 2014-05-12c. Lupa-asiat. [Viitattu 2016-04-18.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/ennen\\_jarjestelman\\_hankintaa/lupa-asiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat)
- MOTIVA 2014-05-12d. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. [Viitattu 2016-04-06.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)
- MOTIVA 2014-05-12e. Aurinkopaneelien asentaminen. [Viitattu 2016-04-18.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen)
- MOTIVA 2014-07-17. Aurinkosähköteknologiat. [Viitattu 2016-04-16.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)
- MOTIVA 2015-09-02. Verkkoon kytketty vai verkkoon kytkemätön järjestelmä. [Viitattu 2016-04-06.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/verkkoon\\_kytetty\\_vai\\_verkkoon\\_kytkeaton\\_jarjestelma](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/verkkoon_kytetty_vai_verkkoon_kytkeaton_jarjestelma)

MOTIVA 2015-10-26. Investointituet uusiutuvalle energialle. [Viitattu 2016-04-19.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa/uusiutuvan\\_energian\\_tuet/investointituet\\_uusiutuvalle\\_energialle](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle)

MOTIVA 2015-10-16. Ylijäämäsähkön myynti. [Viitattu 2016-05-07.] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaamasahkon\\_myynti](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti)

NOLLAENERGIAHIRSITALO.FI. Sähkö: aurinkosähkö. [Viitattu 2016-04-17.] Saatavissa: <http://www.nollaenergiahirsitalo.fi/suunnittelu/sahko/>

OTAVAN OPISTO. Maan kierto auringon ja oman akselinsa ympäri. [Viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: [http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/ge/ge1/04\\_tellus/4.2\\_maan\\_kierto?C:D=gjhe.exOK&m:selus=gjhe.exOK](http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/ge/ge1/04_tellus/4.2_maan_kierto?C:D=gjhe.exOK&m:selus=gjhe.exOK)

PAANANEN, Eero 2016-01-26. Palvelusuunnittelija. [sähköpostiviesti.] Kuopio: Savon Voima Verkko Oyj.

PAANANEN, Eero 2016-04-25. Palvelusuunnittelija. [sähköpostiviesti.] Kuopio: Savon Voima Verkko Oyj.

SAARENSILTA, Jukka 2012. Aurinkosähkön hyödyntäminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53374/Aurinkos.pdf?sequence=1>

SAVON VOIMA VERKKO OY a. Sähkön pientuottajaksi [opas mikrotuotannon liittämistä sähköverkkoon]. [Viitattu 2016-04-14.] Saatavissa: [http://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/esitteet/svv\\_pientuotantoesite\\_web.pdf](http://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/esitteet/svv_pientuotantoesite_web.pdf)

SAVON VOIMA VERKKO OY b. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon [lomake]. [Viitattu 2016-04-13.] Saatavissa: [http://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/mikrotuotantolaitteiston\\_liittaminen\\_2014.pdf](http://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/mikrotuotantolaitteiston_liittaminen_2014.pdf)

SAVON VOIMA VERKKO OY c. Rahoitus ja tuet. [Viitattu 2016-04-19.] Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/aurinkosahko/aurinkosahkoinfo/rahoitus-ja-tuet/>

SAVON VOIMA VERKKO OY d. Oma sähköntuotanto. [Viitattu 2016-04-24.] Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/sahkoliittyman-tilaus/oma-sahkontuotanto/>

SAVON VOIMA VERKKO OY e. Palvelumaksut 1.1.2015. [Viitattu 2016-04-24.] Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/hinnat-ja-ehdot/svm/palvelumaksut.pdf>

SAVON VOIMA VERKKO OY f. Sähkönsiirtohinnot 1.6.2016 alkaen. [Viitattu 2016-05-27.] Saatavissa: [https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/hinnat-ja-ehdot/svv/sahkonsiirtohinnot\\_01062016.pdf](https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/hinnat-ja-ehdot/svv/sahkonsiirtohinnot_01062016.pdf)

STJERNA, Pekka 2016-04-20. Yritystutkija. [Sähköpostiviesti.] Pohjois-Savon ELY-keskus, yritysrahoitus.

SUNTEKNO 2010-04-15a. Aurinkoenergia ABC-opas. [Viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/ladattavat%20tiedostot>

SUNTEKNO 2010-04-15b. Aurinkopaneelimittaukset. [Viitattu 2016-04- .] Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/ladattavat%20tiedostot>

SUNTEKNO 2010-04-15c. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. [Viitattu 2016-04-15.] Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/ladattavat%20tiedostot>

SUNSTORE. [Kuva.] [Viitattu 2016-04-21.] Saatavissa: <http://www.sunstore.co.uk/Morningstar-Sun-saver-MPPT-Solar-Charge-Controller.html>

SÄHKÖMARKKINALAKI 2013-08-09/588. [Viitattu 2016-04-24.] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588#a588-2013>

SÄRKÄNNIEMI. Vuodenajat ja päivän pituuden vaihtelu. [Viitattu 2016-02-15.] Saatavissa: <http://www.sarkanniemi.fi/akatemiatahtiakatemia/maapallo/vuodajat.htm>

TIMONEN, Jukka 2016-01-28. [sähköpostiviesti.] Kurkimäki: Rakennussuunnittelu Jukka Timonen Oy

TERVEYSKIRJASTO 2012-10-29. Ultravioletti säteily (UV) ja sen vaikutus ihmiseen. [artikkeli.] [Viitattu 2016-04-17.] Saatavissa: [http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00682](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00682)

TULLI 2015-03-03. Sähköntuotannon verovelvollisuuden muutokset 2015. [Viitattu 2016-05-08.] Saatavissa: [http://www.tulli.fi/fi/tiedotteet/asiakastiedotteet/yritykset/as\\_tiedote\\_20150303\\_5/index.html?bc=15701](http://www.tulli.fi/fi/tiedotteet/asiakastiedotteet/yritykset/as_tiedote_20150303_5/index.html?bc=15701)

TULLI 2015-04-27. Sähkön pientuotannon verotus helpottuu toukokuun alussa. [Viitattu 2016-05-27.] Saatavissa: [http://www.tulli.fi/fi/tiedotteet/lehdistotiedotteet/0000\\_tiedotteet/tiedote\\_20150427\\_5/index.html](http://www.tulli.fi/fi/tiedotteet/lehdistotiedotteet/0000_tiedotteet/tiedote_20150427_5/index.html)

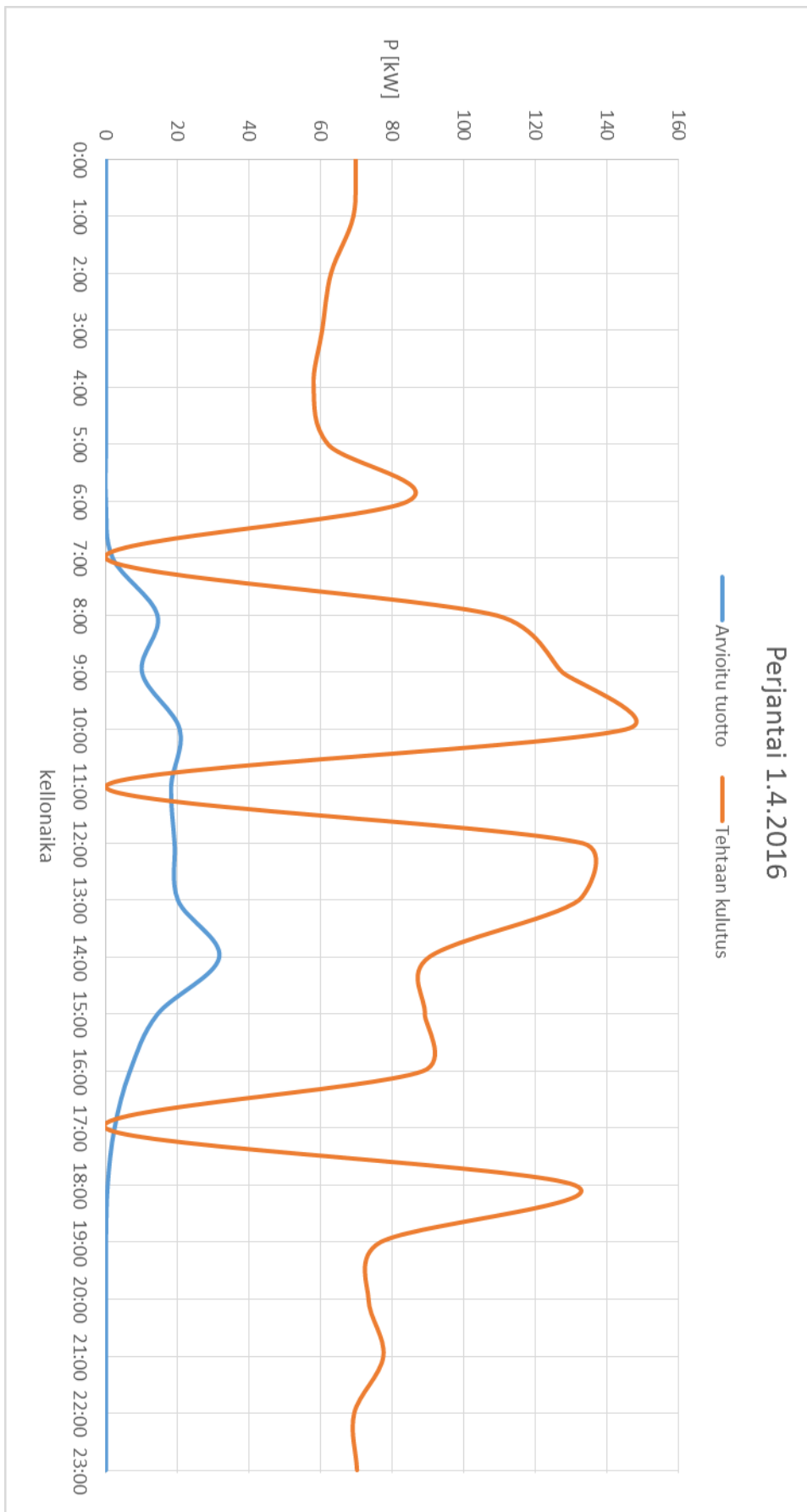
TYNI, JUKKA-PEKKA 2015. Aurinkosähköä mikrotuotantona kotitalouksiin. Lapin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikka. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/91810/Aurinkosahkoa%20mikrotuotantona%20kotitalouksiin%20valmis.pdf?sequence=1>

TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ 2016-02-03. Tuen enimmäismäärät. [Viitattu 2016-04-19.] Saatavissa: [https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen\\_maara](https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara)

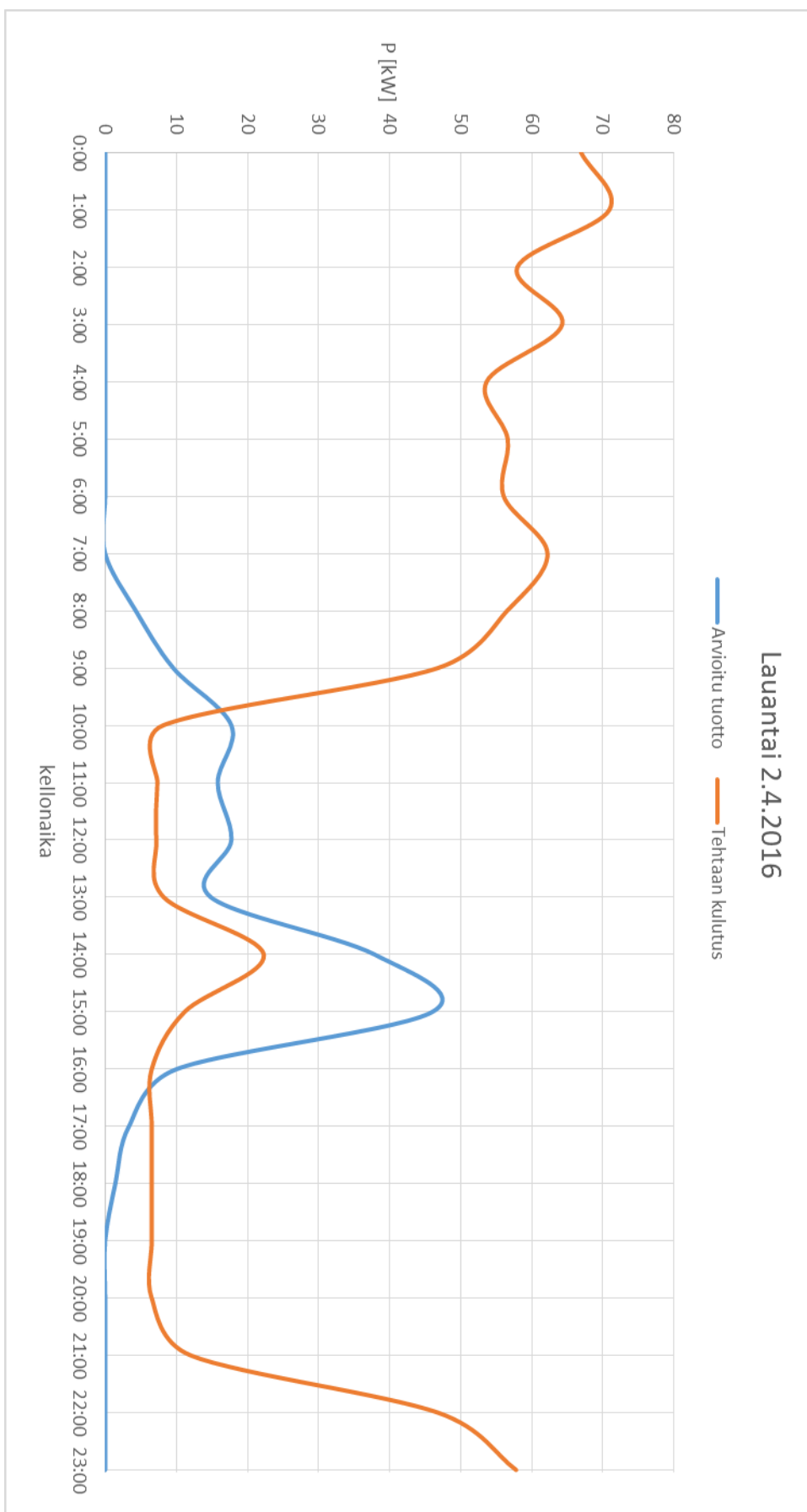
TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ 2016-02-09. Hakeminen ja maksaminen. [Viitattu 2016-04-24.] Saatavissa: [https://www.tem.fi/energia/energiatuki/hakeminen\\_ja\\_maksatus](https://www.tem.fi/energia/energiatuki/hakeminen_ja_maksatus)



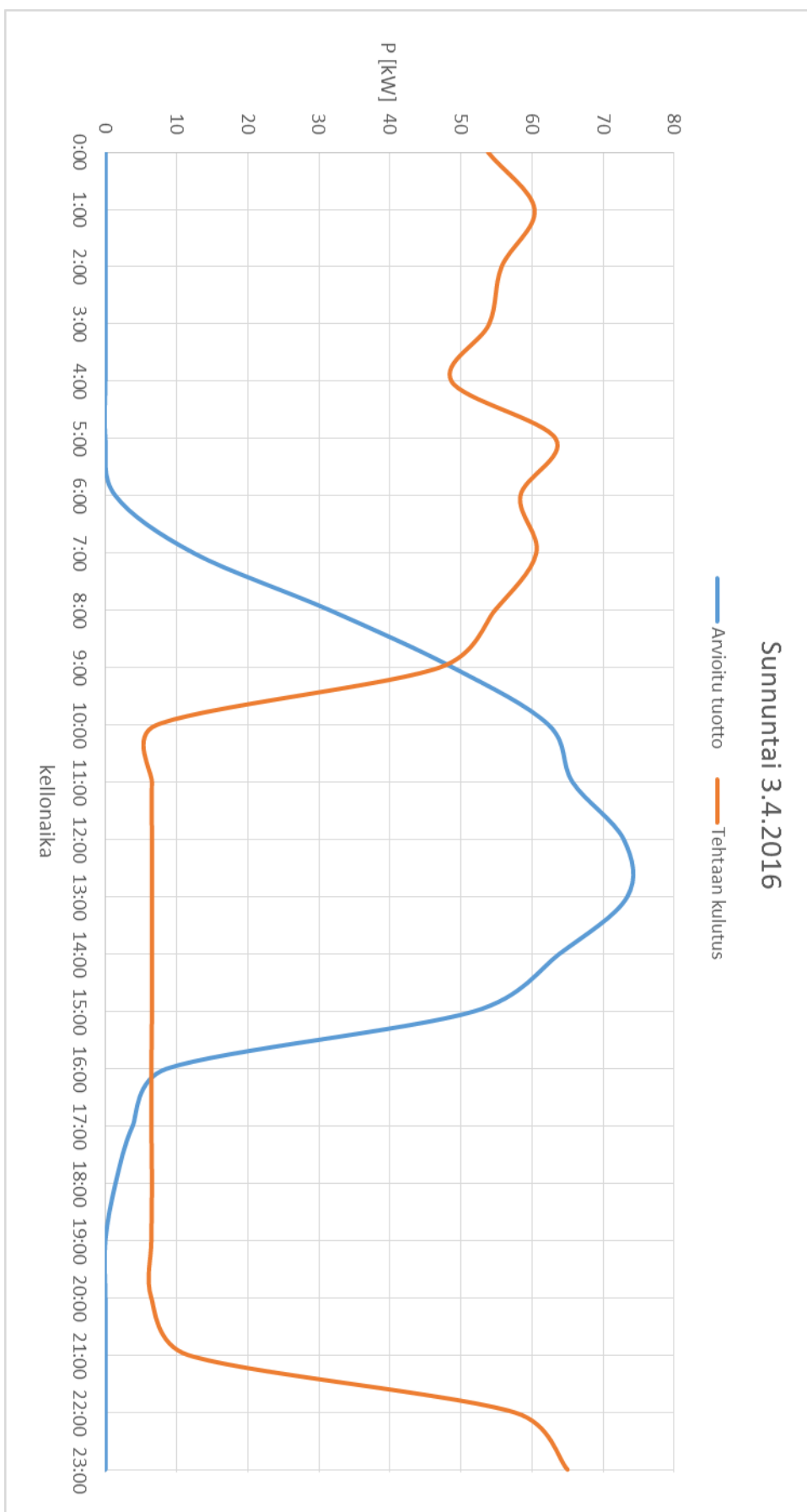
## LIITE 1: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 1.4.2016



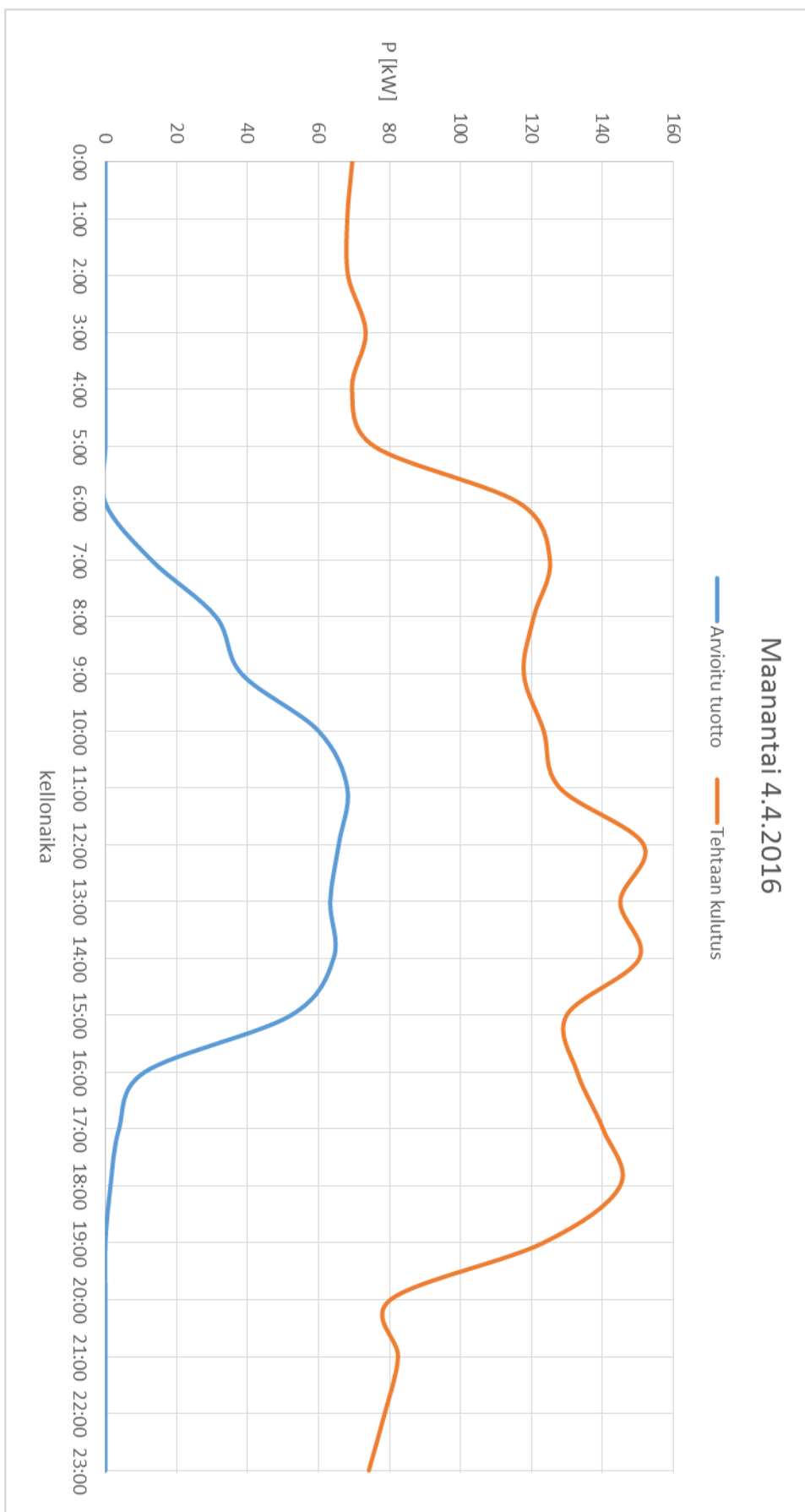
## LIITE 2: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 2.4.2016



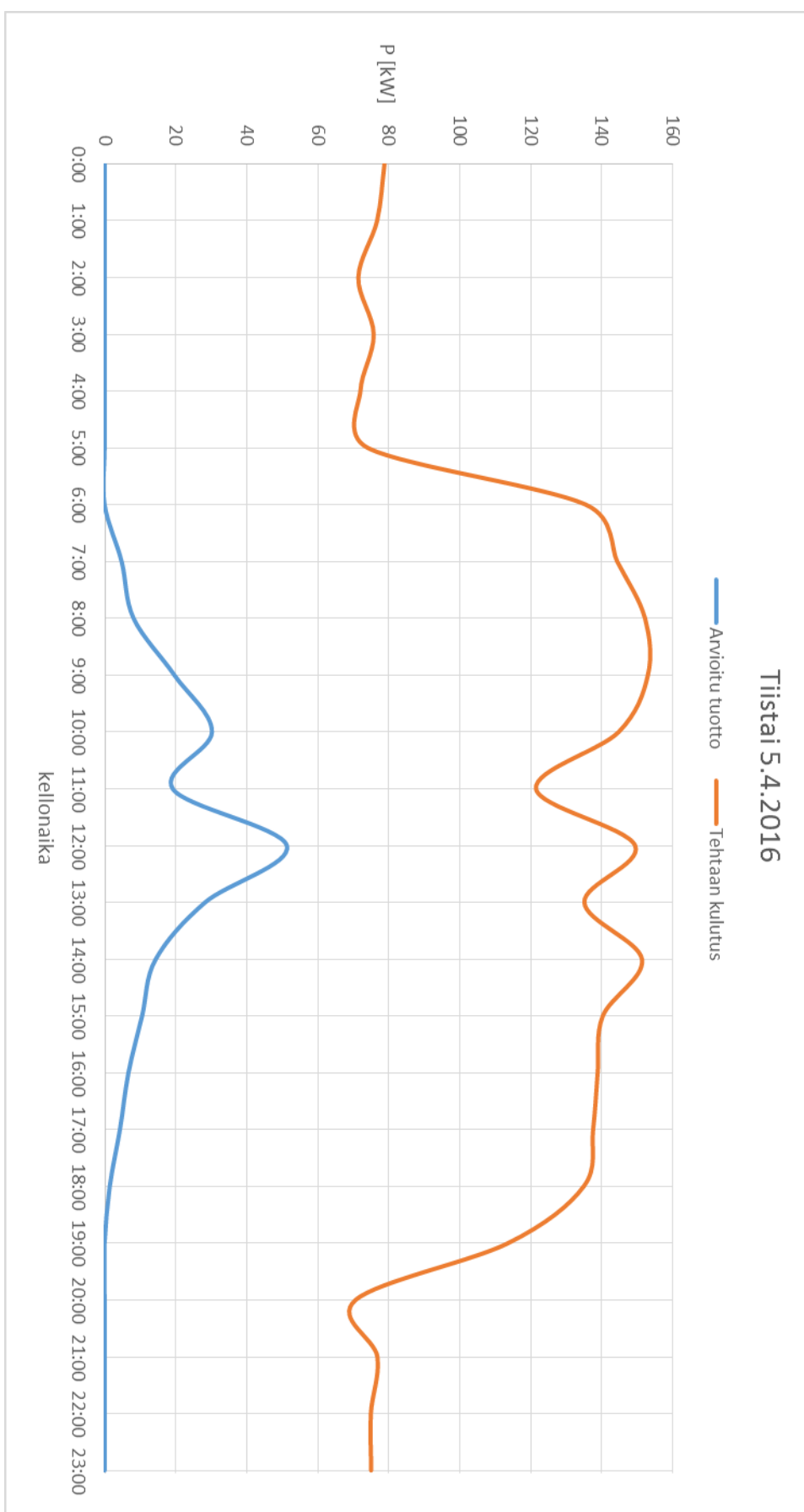
## LIITE 3: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 3.4.2016



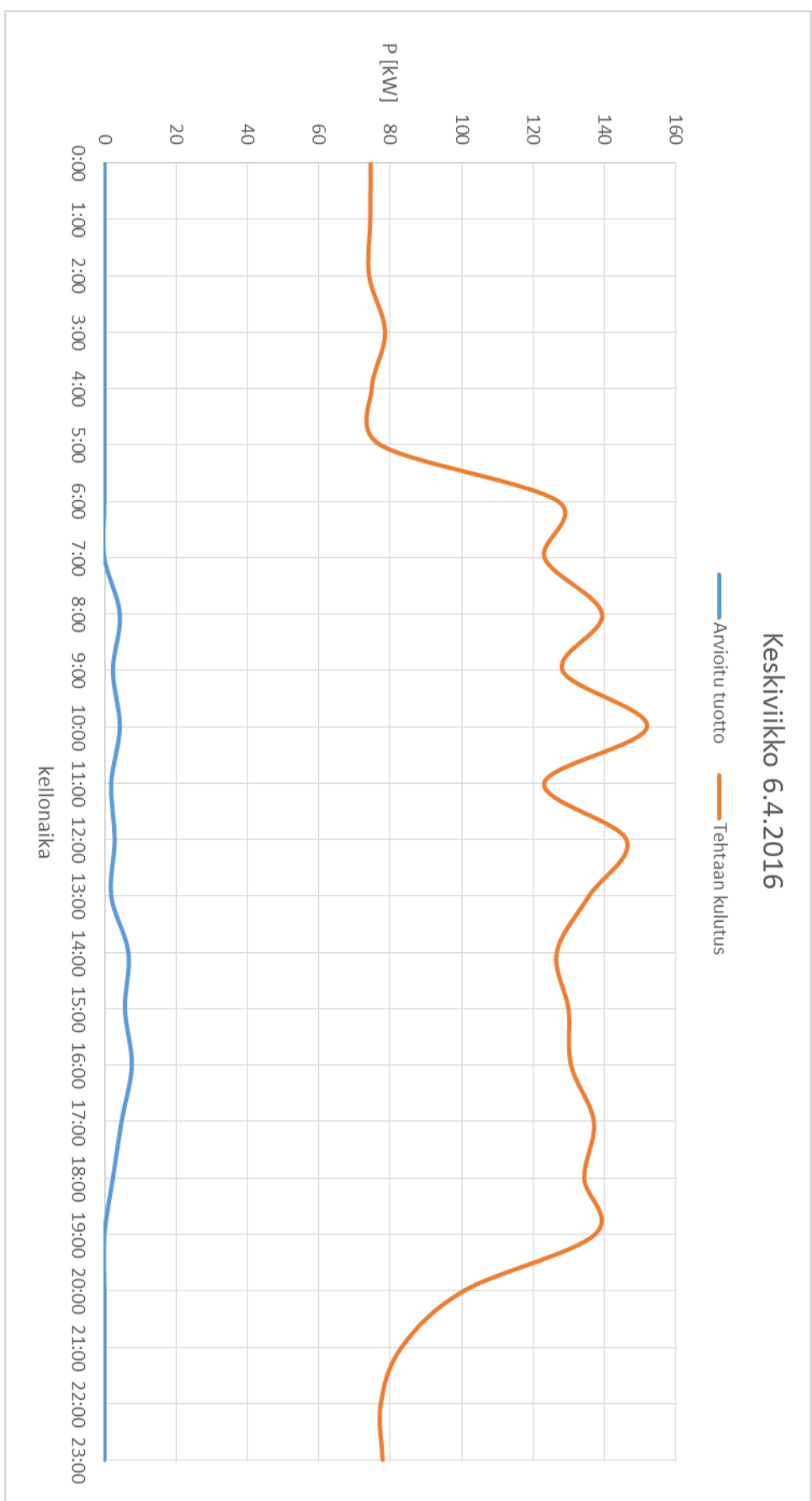
## LIITE 4: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 4.4.2016



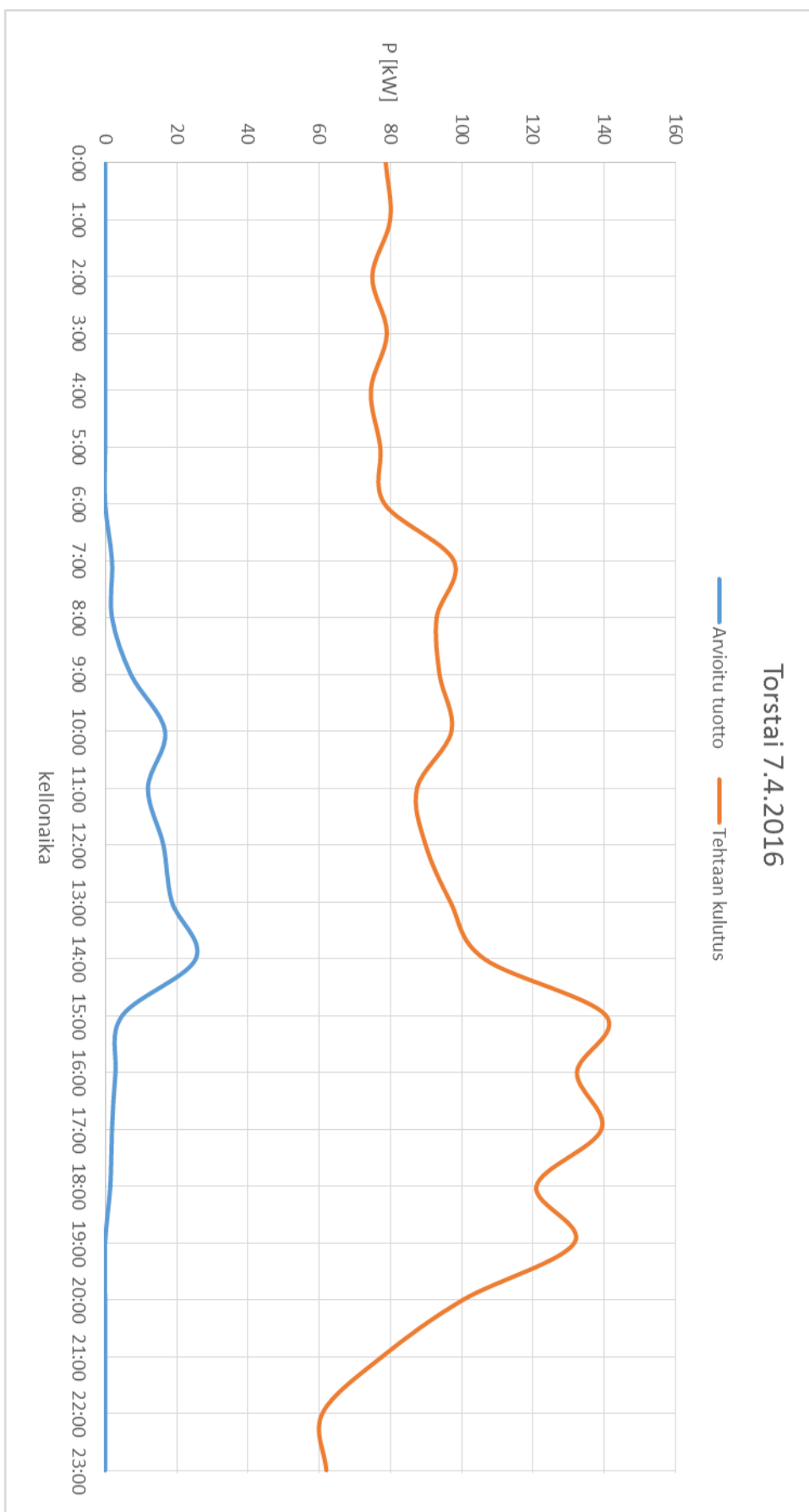
## LIITE 5: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 5.4.2016



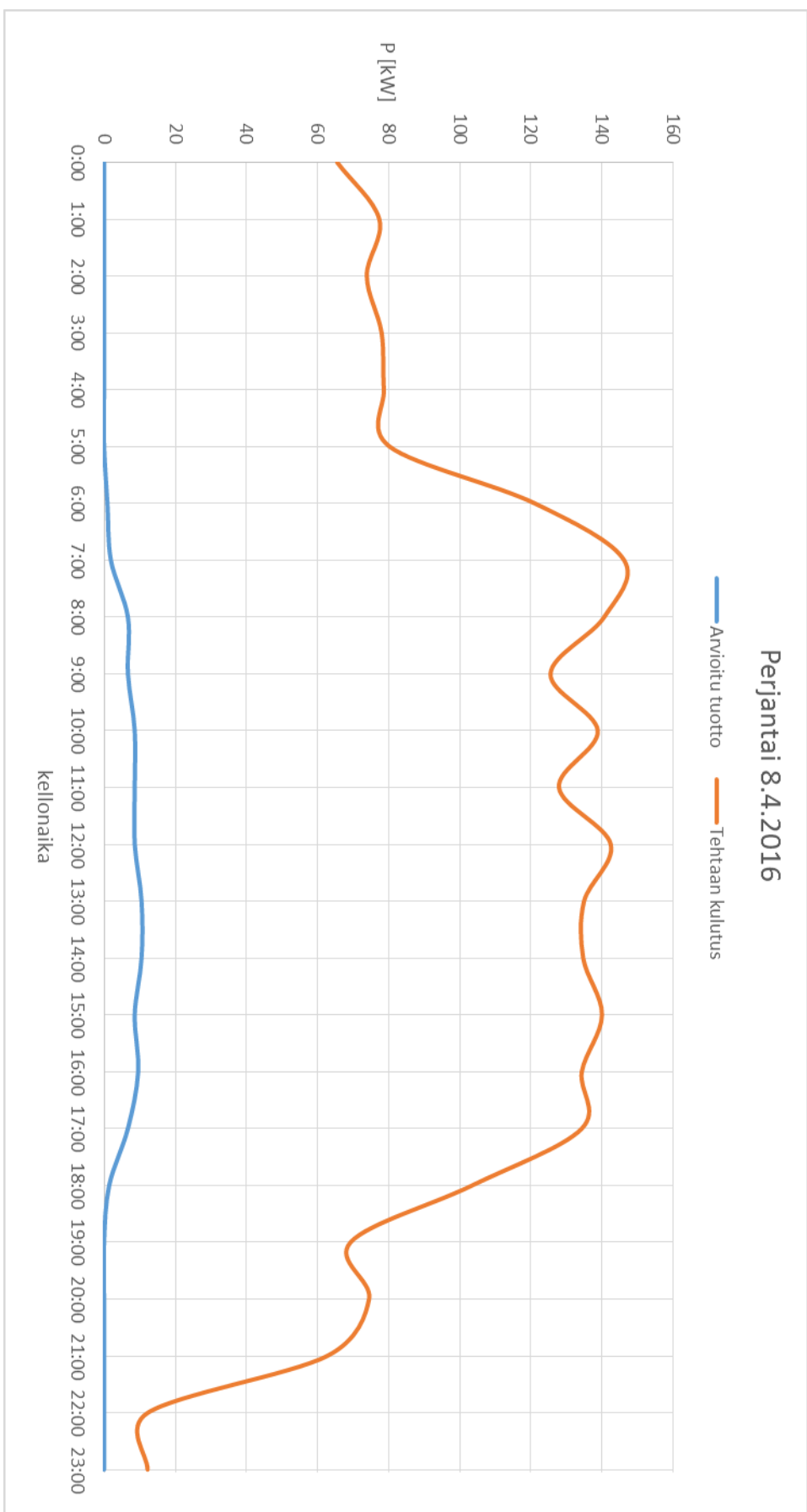
## LIITE 6: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 6.4.2016



## LIITE 7: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 7.4.2016

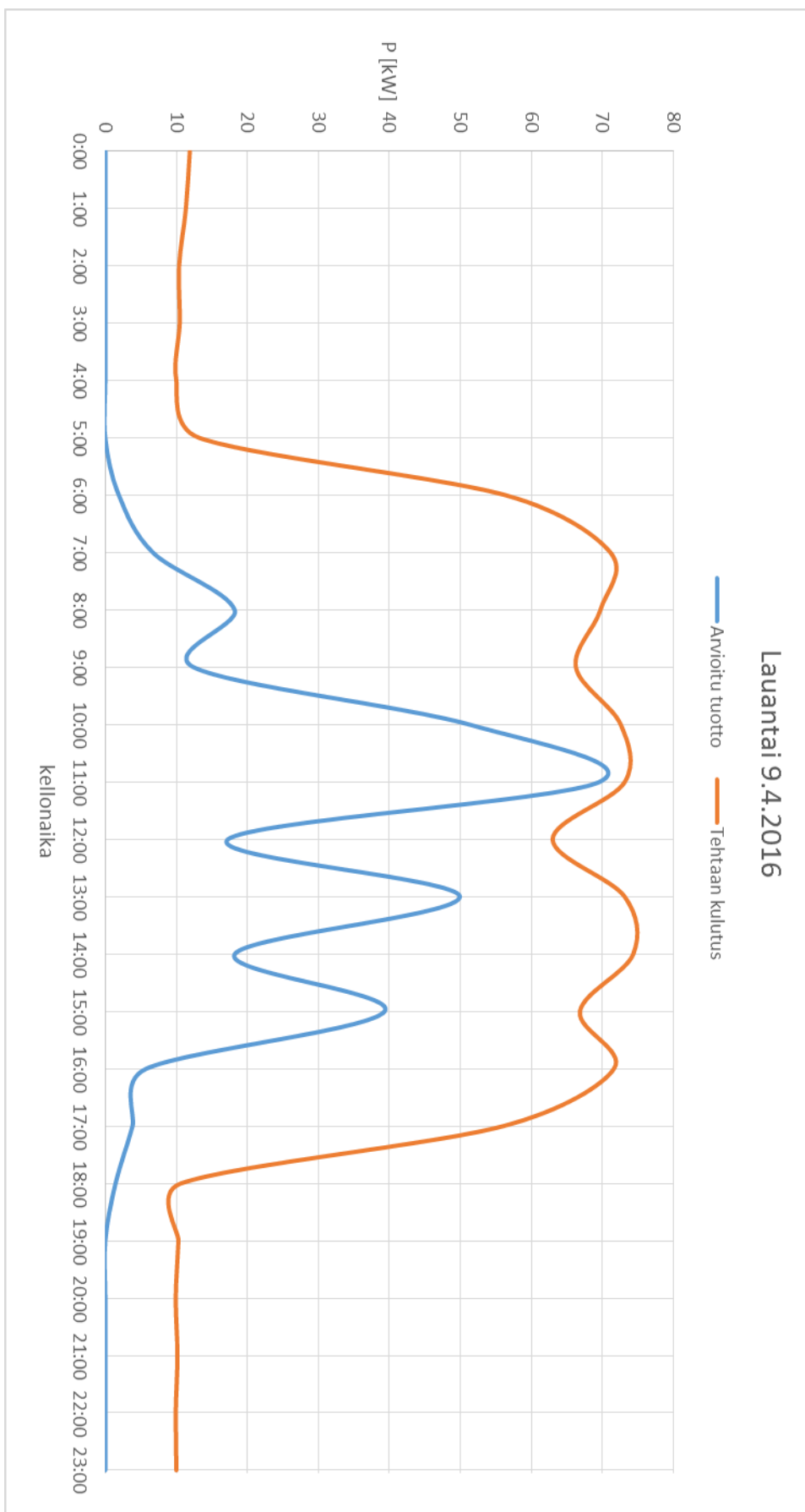


## LIITE 8: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 8.4.2016

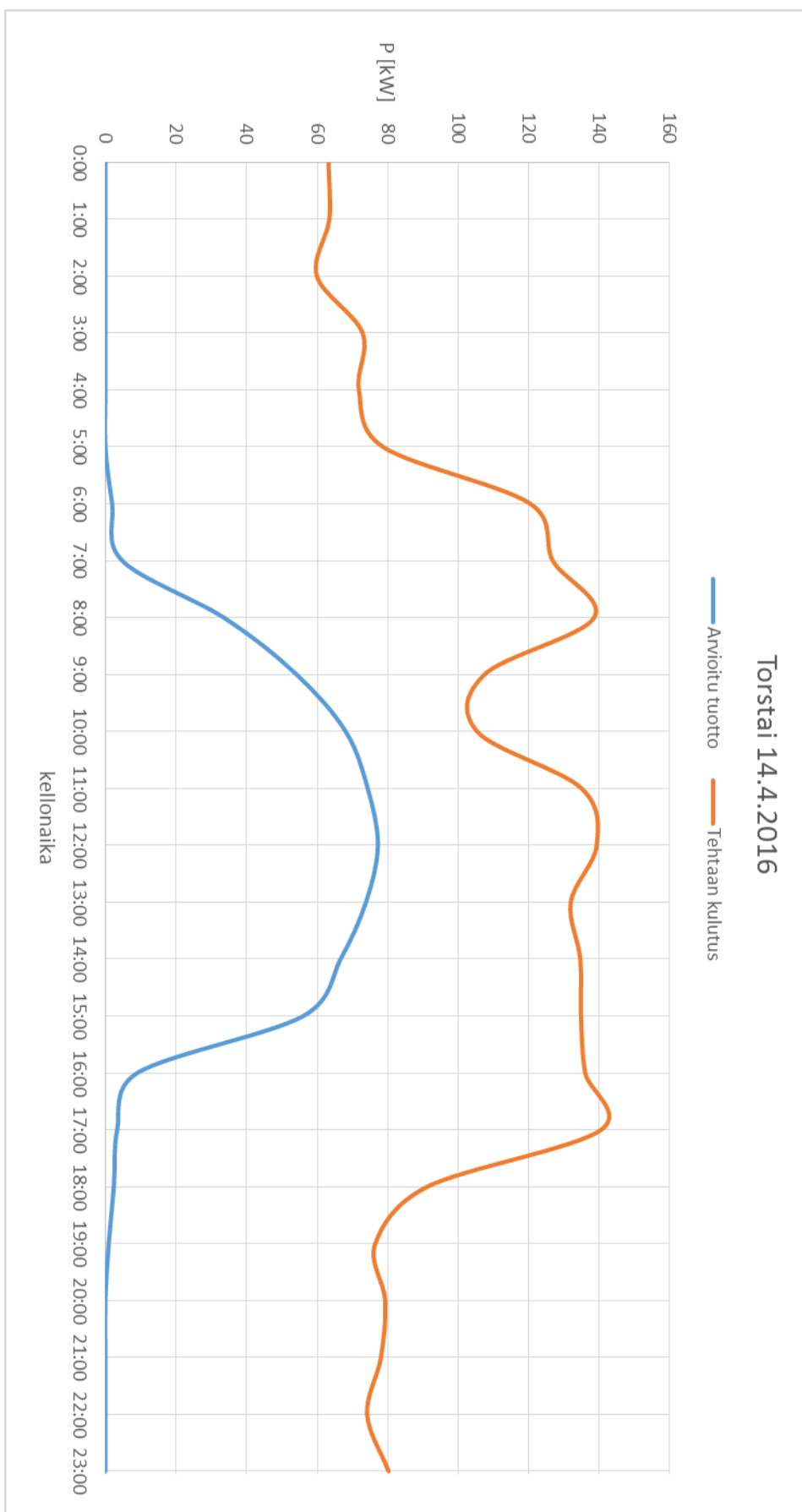




## LIITE 9: TEHTAAN KULTUS JA ARVIOITU TUOTTO 9.4.2016



## LIITE 10: TEHTAAN KULUTUS JA ARVIOITU TUOTTO 14.4.2016



# LIITE 11: SAVON VOIMA VERKON MIKROTUOTANNON YLEISTIETOLOMAKE (SAVON VOIMA VERKKO OYB.)



## MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa tiedot Savon Voima Verkolle nimellistehoaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähkötuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

**HUOMI!** Katso lomakkeen toimitusosoitteet sivun alalaidasta.

### 1 YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiirtolaskusta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

### 2 TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Blokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliittämlaitteen (invertteri/valhtosuuntaaja) valmistaja	Verkkoonliittämlaitteiden (invertteri/valhtosuuntaaja) määrä ja malli				
Tuotantolaitteiston nimellisteho	Tuotantolaitteiston enimmäisvirkavirta	Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> 3-valheinen	<input type="checkbox"/> 1-valheinen, merkitse vaihe:	<input type="checkbox"/> L1 <input type="checkbox"/> L2 <input type="checkbox"/> L3

### 3 TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

#### 3.1 Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehtoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliittämlaitteen (invertteri/valhtosuuntaaja) suojausasetelut ja irtkytkeytymisajat.

<input type="checkbox"/> Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset) <i>HUOMI!</i> VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä	<input type="checkbox"/> Jokin muu _____ <i>HUOMI!</i> Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 7.

#### 3.2 Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/> Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhallitsija on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)	Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
<input type="checkbox"/> Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskytkin takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtkytkeymiselle	

### 4 TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN / URAKOITSIJAN TIEDOT (tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Savon Voima Verko Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111, faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala, asiakaspalvelu 0800 301 40, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

#### Yleistietolomakkeen toimitusosoite:

Kirjepostina: Savon Voima Verko Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala  
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: tekninen.myynti@savonvoima.fi



## 5 LISÄTIEDOT

Usätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Usätietoja saat Savon Voima Verkolta.

## 6 ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi

Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys
----------------------	---------------------------------

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija.

## 7 Tuotantolaitteiston verkkoonliitäntälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymsajat

**HUOMI!** Täytä tämä osio vain, jos valitset kohdassa 3 vaihtoehdon "Jokin muu".

Verkkoonliitäntälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:

Parametri (*jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-alka	Parametri (*jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-alka
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaaajuussuojaus 2*		

Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumis-alka verkkojännitteen palaututtua  s

Saarekekäyntönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-alka

Tuotantolaitteisto on CE-merkitty

Savon Voima Verkko Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111,  
faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala,  
asiakaspalvelu 0800 301 40, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

### Yleistietolomakkeen toimitusosoite:

Kirjepostina: Savon Voima Verkko Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala  
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: tekninen.myynti@savonvoima.fi

## LIITE 12: LASKELMAT

	Ajanjakso	Tälvipäivä [kWh]	Yhtyeen kulutus [kWh]			Yhteensä [kWh]	Opiston 2 MWp lämpösiirteimä	80 MWp lämpösiirteimä			
			Tälvipäivä [kWh]	Kesäpäivä [kWh]	Kesäyö [kWh]			Todellinen tuotto [kWh]	Avioitu tuotto [kWh]	Avioitu tuotto per päivä [kWh]	Huikapäivät (pv/o)
	Almanjako	0	0	32 307	14 961	47 268	181,56	7 263	242	4	968
	toukokuu (2015)	0	0	30 847	15 220	46 067	208,05	8 322	268	5	1 342
	kesäkuu (2015)	0	0	33 341	14 381	47 722	232,12	9 285	309	4	1 238
	heinäkuu (2015)	0	0	30 817	15 053	45 870	223,54	8 941	288	4	1 154
	elokuu (2015)	0	0	33 661	16 124	49 785	255,32	11 813	381	5	1 995
	syyskuu (2015)	0	0	36 664	15 651	52 315	163,29	6 532	218	4	871
	lokakuu (2015)	0	0	39 855	18 562	58 417	110,82	4 453	143	4	572
	marraskuu (2015)	39 995	16 409	0	0	56 404	17,71	708	24	5	118
	joulukuu (2015)	39 193	16 381	0	0	55 574	8,11	324	10	4	42
	tammikuu (2015)	35 563	19 492	0	0	55 055	5,59	223	7	5	36
	helmikuu (2016)	36 215	17 601	0	0	53 816	0,00	0	0	4	0
	maaliskuu (2016)	41 270	17 070	0	0	58 340	131,18	5 287	169	4	677
	Yhteensä	192 236	88 953	237 482	109 952	626 633	1577,28	63 091	1 691	52	8 923
	<b>Hinnat</b>										
	Almanjako	€/kWh (GWh/0%)									
	Sähkön siltto veroluokka 2 (kesäpäivä sis. sähkönvero)	0,0198									
	Sähkön siltto veroluokka 2 (tälvipäivä sis. sähkönvero)	0,035									
	SÄHKÖENERGIA	0,0424									
	<b>80 MWp lämpösiirteimä</b>										
	Almanjako	tuotto [kWh]	säikeistö [€/V]								
	Tuotto omaan käyttöön (kesäpäivä)	48 537	3019,03								
	Tuotto omaan käyttöön (tälvipäivä)	5 630	435,78								
	omaan käyttöön menevä tuotto YHT.	54 168	3454,81								
	<b>Investointi ilman tukea</b>										
	Investointin hinta	100 000	€								
	Takaisimakuuajan ilman tukea	28,9	vuotta								
	Sijoitettu P.O. tuotto %	3,5	%								
	<b>Investointi 25% energiatuen kanssa</b>										
	Investointin hinta	75 000	€								
	Takaisimakuuajan ilman tukea	21,7	vuotta								
	Sijoitettu P.O. tuotto %	4,6	%								
	<b>Tuotettua sähköä menevä omaan käyttöön</b>										
		85,9	%								