

Jani Jääskeläinen

# Aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajan asuntoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

22.11.2016

Tekijä Otsikko	Jani Jääskeläinen Aurinkosähköjärjestelmä vapaa-ajan asuntoon
Sivumäärä Aika	34 sivua + 1 liite 22.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Osmo Massinen
<p>Insinööriä tehtiin yksityishenkilölle. Työn tavoitteena oli suunnitella vapaa-ajan asuntoon soveltuva verkkoon liitettävä aurinkosähköjärjestelmä, jonka avulla voitaisiin säästää sähkönkulutuksen kustannuksista.</p> <p>Työssä perehdyttiin auringon potentiaaliin energianlähteenä sekä tutkittiin auringon säteilyenergian määriä Suomessa ja muualla maailmassa. Työssä tutkittiin aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun eri vaiheita ja järjestelmän asennuksen teknisiä vaatimuksia sekä selvitettiin mikrotuotannon verkkoon liittämisen vaatimuksia. Lopuksi suunniteltiin aurinkosähköjärjestelmä Puumalassa sijaitsevaan vapaa-ajan asuntoon sekä tutkittiin sen kannattavuutta.</p> <p>Kannattavuuslaskelmissa havaittiin, että kohteeseen suunniteltu järjestelmä maksaa itsensä takaisin, mutta takaisinmaksuaika on kuitenkin varsin pitkä. Kannattavuuden lisäksi investoinnin puolesta puhuvat energiaomavaraisuuden lisääntyminen sekä ekologisuus. Lopullista päätöstä suunnitellun järjestelmän asentamisesta kohteeseen ei ole vielä tehty.</p>	
Avainsanat	aurinkosähköjärjestelmä, aurinkoenergia

Author Title	Jani Jääskeläinen Title of the Thesis
Number of Pages Date	34 pages + 1 appendices 22 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>This study was carried out for a private person. The goal of the study was to plan a grid connected photovoltaic system for a vacation home to save from costs of electricity consumption.</p> <p>The potential of solar energy and solar irradiance on Earth and in Finland are reviewed. Different stages of system design and technical requirements for installation are studied. Also, requirements for connecting a microgeneration installation to the public electricity network are reviewed. In conclusion, photovoltaic system for vacation home in Puumala was planned and profitability of the system was studied.</p> <p>Profitability calculations showed that the investment to the system is profitable, but the repayment period is fairly long. In addition to profitability also rise of energy self-sufficiency and ecologicality speak on behalf of the investment. Final decision on installing the system have not been made yet.</p>	
Keywords	photovoltaic system, solar energy

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinko energianlähteenä	1
3	Aurinkosähköjärjestelmän komponentit	5
3.1	Aurinkokenno	5
3.2	Aurinkopaneeli	9
3.3	Invertteri	11
3.4	Kaapelointi	12
3.5	Muut komponentit	13
4	Suunnittelu	13
4.1	Mitoitus	13
4.2	Suuntaus ja sijoitus	14
4.3	Tuotanto-odotukset	18
5	Mikrotuotannon sähköverkkoon liittäminen	19
5.1	Laitoksen erottaminen verkosta	20
5.2	Sähkönlaatu	21
5.3	Suojaus	21
5.4	Mittaus	22
5.5	Ilmoitus sähköverkkoyhtiölle	23
5.6	Maadoitus	23
6	Esimerkkisuunnitelma	24
6.1	Mitoitus	25
6.2	Aurinkopaneelin valinta	27
6.3	Vaihtosuuntaajan valinta	28
6.4	Sijoitus ja tuotto odotukset	28
6.5	Kustannukset ja tuoton arviointi	29
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

## Liitteet

Liite 1. Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon

## 1 Johdanto

Aurinkoenergian käyttö kasvaa maailmalla ja varsinkin Kiinassa huimaa vauhtia järjestelmien investointikustannusten laskiessa lähes vuosittain. Suomessa ollaan aurinkosähkön hyödyntämisessä vielä hieman jäljessä muuta Eurooppaa. Järjestelmien jatkuvan kehitystyön johdosta nouseva hyötysuhde ja laskevat kustannukset ovat tehneet aurinkosähkön käytöstä myös Suomessa kannattavaa. Aurinkosähkön suuri etu on sen tuottaman sähkön ekologisuus ja päästöttömyys.

Tässä työssä tutkitaan verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun eri vaiheita sekä järjestelmään kuuluvia laitteita. Työssä tutkitaan aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta sekä järjestelmällä tuotetun sähkön avulla saatavia säästöjä ostetusta sähköstä. Työn tavoitteena on suunnitella verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä Puumalassa sijaitsevaan vapaa-ajan asuntoon. Lähtökohtana järjestelmän suunnittelulle on kohteen energiaomavaraisuuden lisääminen ekologisesti tuotetulla sähköllä sekä säästää sähkönkulutuksesta aiheutuvista kustannuksista.

## 2 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on tähti, jota maapallo ja muut aurinkokuntamme planeetat kiertävät. Aurinko on rakenteeltaan pääosin vedystä ja heliumista koostuva kaasupallo. Auringon kuumuudesta johtuen kaikki auringon kaasu on ionisoitunutta eli plasmaa. Auringon energiantuotanto perustuu sen ytimessä tapahtuvaan fuusioreaktioon. Fuusioreaktiossa neljä vetyatomia ydintä yhtyy heliumatomin ytimeksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Auringon ytimessä muuttuu joka sekunti 600 miljoonaa tonnia vetyä 596 miljoonaksi tonniksi heliumia. Jäljelle jäävä 4 miljoonaa tonnia muuttuu energiaksi, joka antaa auringolle  $3,8 \times 10^{23}$  kW:n kokonaistehon. [1;2.]

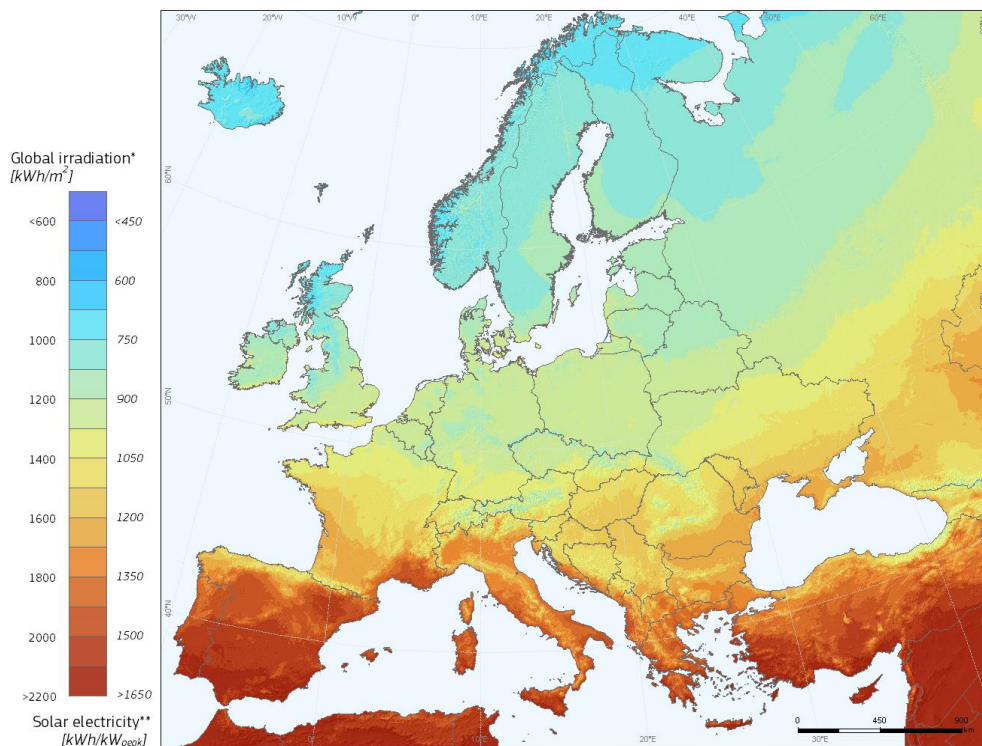
Auringon kokonaissäteilystä maapallolle tulee 170 000 TW, mikä on noin 20 000 kertainen koko maailman teollisuuden ja lämmityksen käyttämä teho. Ilmakehän yläosiin saapuu auringonsäteilyä keskimäärin  $1368 \text{ W/m}^2$ . Tätä arvoa sanotaan aurinkovakioksi, mikä tarkoittaa sitä energiamäärää, joka auringosta tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalle olevalle  $1 \text{ m}^2$ :n kokoiselle pinnalle. Auringon etäisyysvaihteluista johtuen säteilyn

määrä vaihtelee eri vuodenaikoina säteilyn ollessa suurimmillaan tammikuussa ja pienimmillään kesäkuussa.

Maan pinnalle saapuvan säteilyn määrään vaikuttaa ilmakehän heijastava sekä absorboiva vaikutus. Ilmakehän lisäksi maahan saapuvaa säteily heikentää myös pöly sekä saasteet. Kirkkaalla säällä maan pinnalle saapuva säteily on 800–1000 W/m<sup>2</sup>, joka on noin 60 % aurinkovakiosta. Maan pinnalle tuleva säteily voi olla suoraa säteilyä, hajasäteilyä tai ilmakehän vastasäteilyä.

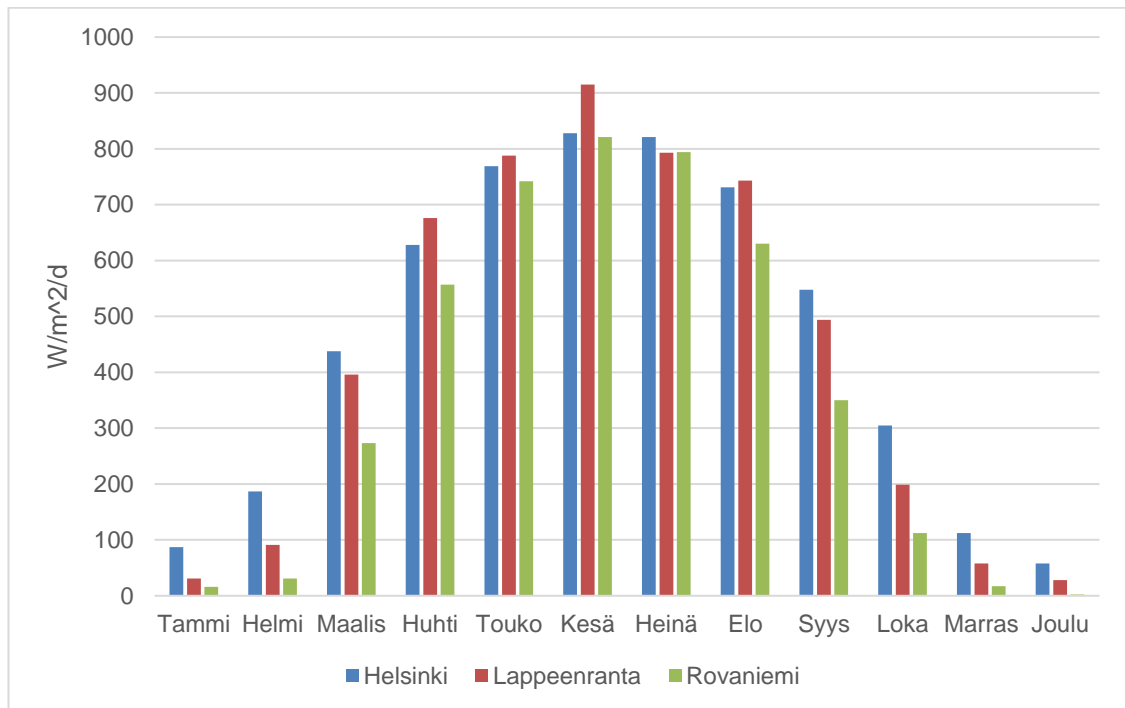
Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä. Hajasäteily on ilmakehän molekyylien ja pilvien säteilyä tai maasta takaisin heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä aiheuttavat ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle.

Kirkkaana päivänä hajasäteilyn määrä vaakasuoralle pinnalle on noin 20 %, kun taas pilvisenä päivänä hajasäteilyn määrä voi olla 80 %. Suomessa hajasäteilyä on noin puolet kokonaissäteilystä. Kuvassa 1 havainnollistetaan auringon säteilyintensiteettiä Euroopassa. [3.]



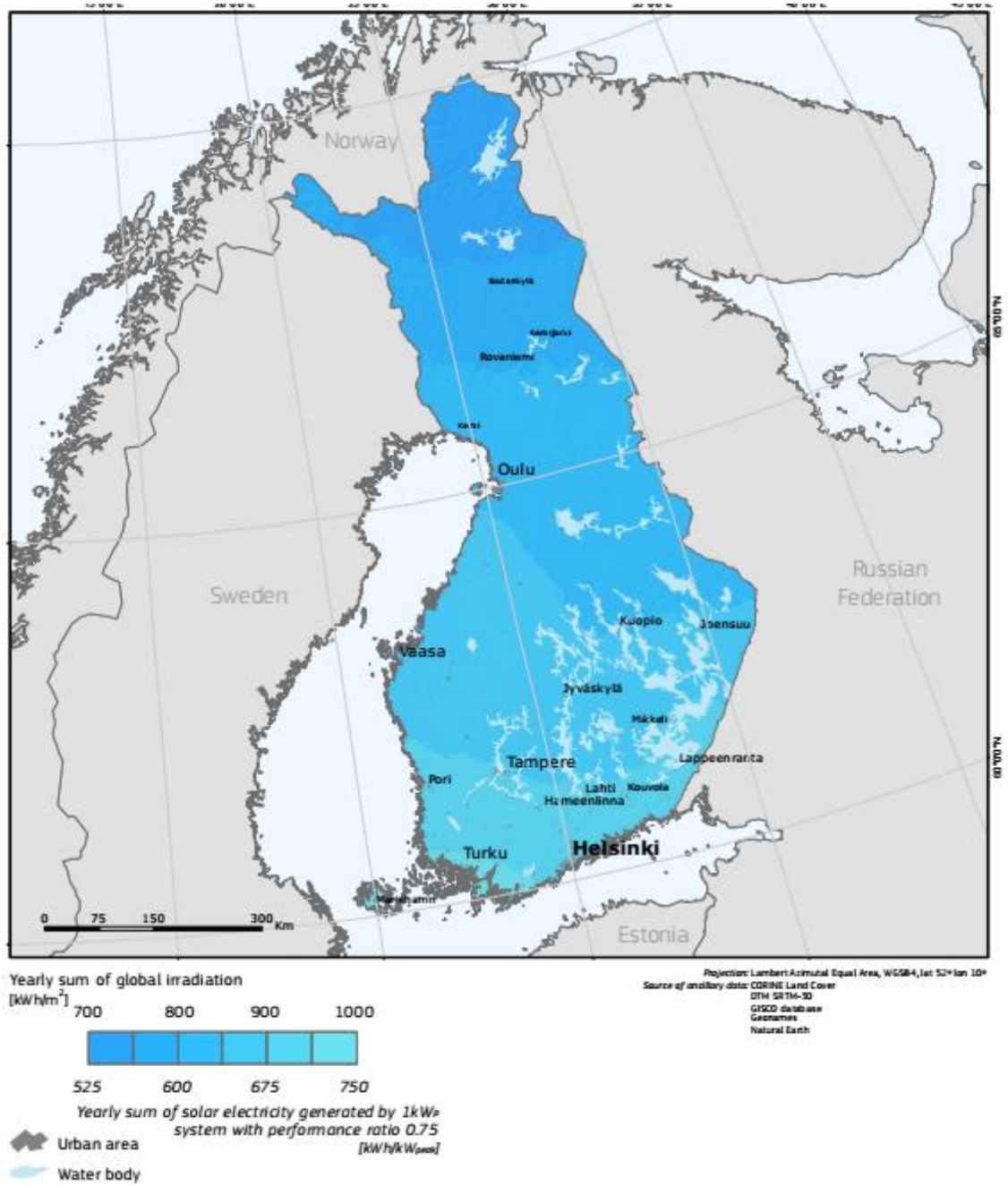
Kuva 1. Auringon säteilyintensiteetti Euroopassa [4].

Suomen pohjoinen sijainti vaikuttaa suuresti säteilymääriin. Suomessa merkittävä osuus kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Etelä-Suomessa noin puolet vuotuisesta säteilystä on hajasäteilyä. Auringon säteily on voimakkainta toukokuusta heinäkuuhun, jolloin myös auringon paistetunnit ovat korkeimmillaan, niiden ollessa keskimäärin noin 9 tuntia päivässä. Kesällä kuukausittain säteilystä saatava energian määrä Helsingissä on noin 200 kWh/m<sup>2</sup>. Marraskuusta helmikuuhun aurinko näyttäytyy vain keskimäärin tunnin päivässä. Tällöin myös säteilystä saatava energia on hyvin vähäistä. Kuva 2 havainnollistaa auringon päivittäistä säteilyä Helsingissä, Lappeenrannassa sekä Rovaniemellä. [5; 6.]



Kuva 2. Auringon päivittäinen säteilyteho keskimäärin vuosina 2012-2016 [7].

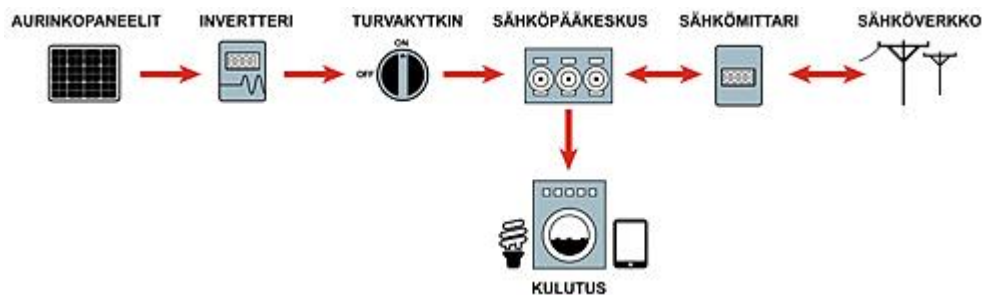
Etelä-Suomessa vuotuinen säteily määrä vaaka-suoralle pinnalle on noin 1000 kWh/m<sup>2</sup>, kun taas Keski-Suomessa saavutetaan noin 900 kWh/m<sup>2</sup> säteily määrä. Säteilyn määrä Etelä-Suomessa on lähes samaa suuruus luokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa tuotanto vaihtelee suuresti vuodenaikojen välillä, jolloin säteilyn huippukuukaudet keskittyvät kesäkuukausiin. Kuva 3 havainnollistaa vuotuisen säteilyenergian määrää eri puolilla Suomea. [7; 8.]



Kuva 3. Vuotuinen auringon säteilyenergian määrä Suomessa [8].

### 3 Aurinkosähköjärjestelmän komponentit

Aurinkosähköjärjestelmän laitteiston komponentit ovat riippuvaisia siitä tuotetaanko järjestelmällä tasa- vai vaihtosähköä. Tässä työssä käsitellään verkkoon liitettävää 230 voltin vaihtosähköjärjestelmää ja sen komponentteja. Kuvassa 4 esitetään verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano.



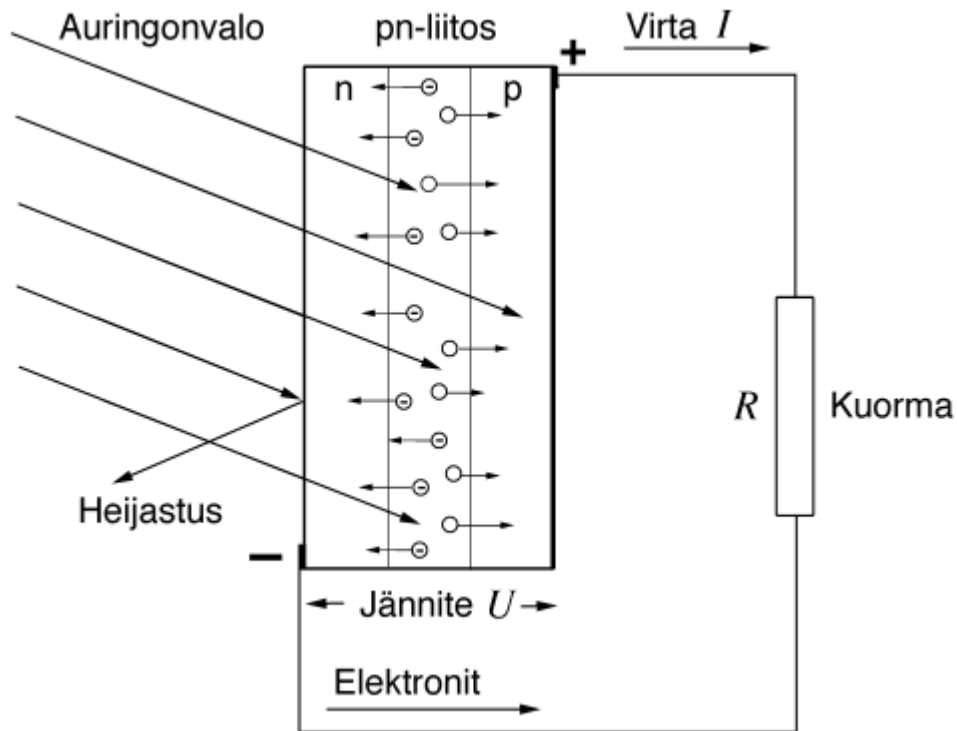
Kuva 4. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano [18].

#### 3.1 Aurinkokenno

Aurinkokenno on komponentti, jolla valosähköisen ilmiön avulla muunnetaan auringon säteily sähköenergiaksi. Kennot valmistetaan puolijohdemateriaaleista, joista yleisimmin käytetty on pii, sillä se on edullinen raaka-aine ja sitä esiintyy runsaasti maan kuoressa. Kennojen puolijohdemateriaali eristää normaaliolosuhteissa, kunnes se muuttuu sähköä johtavaksi energian eli auringon säteilyn osuessa puolijohteisiin. [9, s.120.]

##### Aurinkokennon rakenne

Aurinkokennon rakenne koostuu sekä n-tyypin että p-tyypin puolijohdekerroksista. N-kerros valmistetaan fosforiin seostetusta piistä, jonka atomirakenteessa on ylimääräisiä elektroneja. P-kerros valmistetaan booriin seostetusta piistä, jonka atomirakenteessa on elektroniaukkoja. Kun kerrokset viedään yhteen, muodostuu pn-liitos. Liitoksen seurauksena n-kerroksen elektronit siirtyvät p-kerroksen elektroniaukkoihin, jolloin n-tyypin puolijohteeseen muodostuu positiivinen varaus ja p-kerrokseen negatiivinen varaus. Kerrosten väliseen rajapintaan muodostuneen sähkökentän takia elektronit voivat kulkea vain ulkoisen virtapiiriin kautta p-tyypin puolijohteeseen. Kuva 5 havainnollistaa aurinkokennon toimintaperiaatetta. [10.]



Kuva 5. Aurinkokennon toimintaperiaate [11].

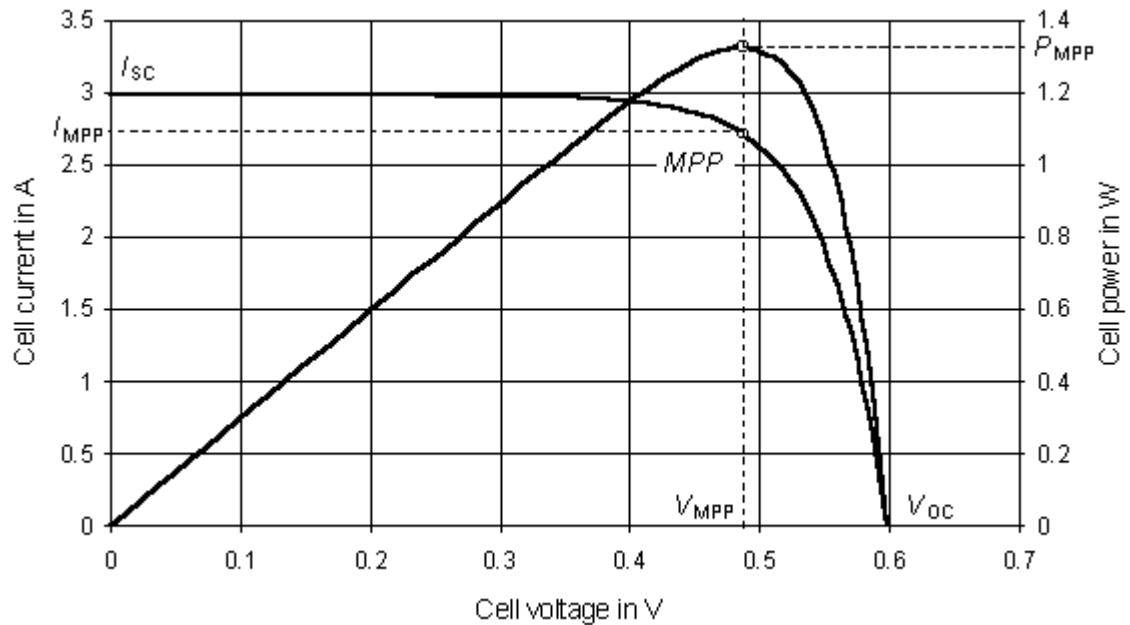
Yksittäisen aurinkokennon koko on tavallisesti noin 10 cm x 10 cm ja se tuottaa auringon valossa noin 0,5 V:n tasajännitteen. Käyttötarpeen mukaan kennoja kytketään sarjaan, jolloin saadaan aikaiseksi haluttu jännite. Kennosta saatava teho riippuu sekä kennon pinta-alasta että auringon säteilytehosta. [9, s.121]

#### Aurinkokennon ominaiskäyrä

Tasaisessa valomäärässä aurinkokennon jännite muuttuu virran pysyessä samana tiettyyn jännitteeseen saakka. Aurinkokennon ominaiskäyrällä eli I-U-käyrällä voidaan havainnollistaa virran muutosta jännitteen suhteen ja nähdä, millä virran ja jännitteen arvoilla se voi toimia.

Käyrästä nähdään kennon tyhjäkäyntijännite ( $V_{dc}$ ), jolloin virran arvo on 0 A. Tyhjäkäyntijännite on kennon korkein jännite, joka saadaan silloin, kun kennoon ei ole kytketty kuormaa. Ominaiskäyrästä voidaan myös nähdä kennon oikosulkuvirta ( $I_{sc}$ ). Oikosulkuvirta saadaan, kun kennon n- ja p-puolet kytketään yhteen, jolloin kennon jännite on 0 V.

Oikosulkuvirta on suurin virta, joka kulkee kennossa tietyssä valointensiteetissä ja lämpötilassa. Kennon ollessa oikosulussa tai tyhjäkäyntitilassa, teho on tällöin 0 W. Omaisikäyrästä voidaan nähdä myös parasta virta-jännitearvopistettä kuvaava maksimitehopiste (MPP), kuten havaitaan kuvasta 6. [9, s.121–123.]



Kuva 6. Aurinkokennon ominaiskäyrä [12].

### Aurinkokennotyypit

Aurinkokennojen raaka-aineena käytetään useimmin yksikiteistä, monikiteistä tai amorfista piitä. Markkinoilla noin 90 % aurinkokennoista on ensimmäisen sukupolven kiteisestä piistä valmistettuja aurinkokennoja. Piikidekennoista valmistettujen kennojen hyötysuhde on noin 15 %.

Yksikiteisestä piistä valmistetun kennon etu verrattuna halvempaan monikiteiseen malliin on hieman parempi hyötysuhde. Yksikiteisen piin kustannuksia nostaa sen vaativa valmistusprosessi. Yksikiteisessä kiderakenteessa atomit ovat tietyssä järjestyksessä.

Monikidekennojen halvemmasta hinnasta johtuen niiden markkinaosuus on suurempi. Kennojen monikidemuoto saadaan valmistamalla kennot valamalla. Valmistustavasta johtuen atomien paikka kiteessä on epämääräisempi kuin yksikiteisessä. Yksikiteisen

kennon tunnistaa sen pyöristetyistä nurkista, kuten kuvasta 7 voidaan havaita.



Kuva 7. Monikide ja yksikidekenno [13].

Amorfista piitä käytetään ohutkalvokennojen valmistukseen. Amorfisessa kiderakenteessa atomien välillä täydellinen epäjärjestys. Amorfinen materiaali voi olla hyvin ohut, joten piitä tarvitaan vain vähän kiteisiin kennoihin verrattuna. Ohutkalvokennoilla pystytään keräämään hieman tehokkaammin hajasäteilyä kuin kiteisen piin kennoilla, mutta ohutkalvokennojen teho pinta-alaa kohti on pienempi. Ohutkalvokennojen hyötysuhde on noin 10 %. Kuvassa 8 nähdään taipuisa amorfisesta piistä valmistettu ohutkalvokennosto. [9, s.125; 11; 14.]



Kuva 8. Amorfisesta piistä valmistettu ohutkalvokennosto [15].

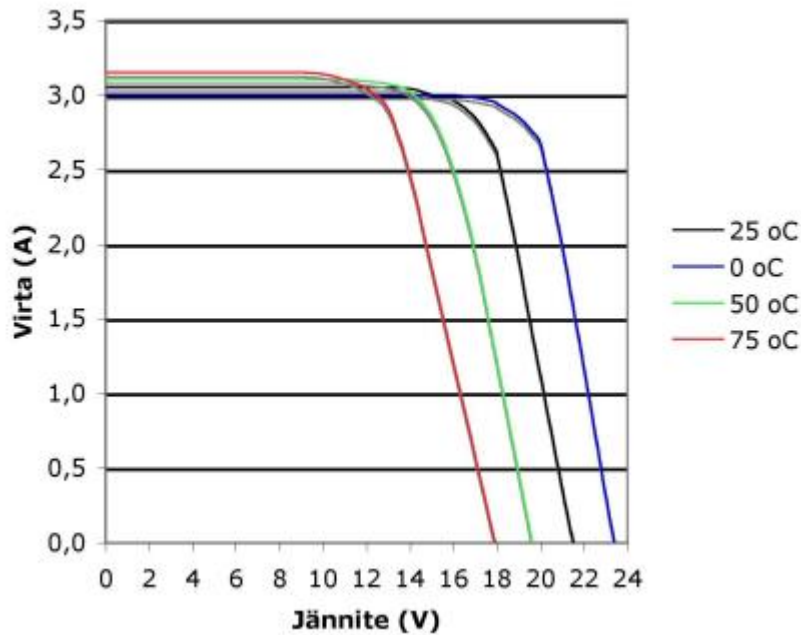
### 3.2 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli rakentuu aurinkokennoista, alumiinikehyksestä, lasilevystä sekä kytkentärasiasta. Kytkemällä sarjaan tarpeellinen määrä aurinkokennoja, saadaan paneelilla tuotettua haluttu jännite. Esimerkiksi 12 V jännitteen tuottamiseen kytketään yleensä 36 kennoa sarjaan. Kuvassa 9 nähdään aurinkopaneeli, joka koostuu 60 kennosta.



Kuva 9. Esimerkki aurinkopaneeli [16].

Yksittäisen paneelin nimellisteho vaihtelee sen käyttökohteen mukaan. Aurinkopaneelin nimellisteho  $W_p$  on teho, jonka paneeli tuottaa, kun auringonsäteily osuu paneeliin 35 asteen kulmassa, 25 C-asteen lämpötilassa, säteilytehon ollessa  $1000 \text{ W/m}^2$ . Aurinkopaneelin teho on riippuvainen monista tekijöistä, kuten säteilyn voimakkuudesta ja tulo-kulmasta, auringon korkeudesta ja ilmakehän absorptiosta sekä paneelin lämpötilasta. Kuvassa 10 havainnollistetaan lämpötilan vaikutusta paneelin tehon tuotantoon.



Kuva 10. Lämmön vaikutus aurinkopaneelin tehon tuottoon [11].

Paneelisto on kaikista aurinkosähköjärjestelmään kuuluvista paneeleista muodostuva kokonaisuus. Kytkemällä paneeleita sarjaan ja rinnan saadaan tuotettua sovelluskohtaisesti teholtaan ja jännitetasoltaan erilaisia kokonaisuuksia. Tämä modulaarisuus onkin yksi aurinkosähköjärjestelmän merkittävistä eduista, sillä samaa aurinkopaneelia käyttämällä voidaan rakentaa niin pieni tuotantolaitos kuin usean megawatin voimala.

Aurinkopaneelin hyötysuhde ei ole sama kuin siinä käytettyjen kennojen, koska kennojen kytkennässä tapahtuu hyötysuhdehäviöitä. Paneeleilla saavutetaankin usein 1–2 % huonompi hyötysuhde kennoihin verrattuna. Koko järjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttaa näiden lisäksi myös järjestelmän muiden osien hyötysuhteet. [9, s.125–127.]

Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen

Aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan laskettua kaavan 1 mukaisesti paneelin nimellistehon ja sen pintaan osuvan kokonaissäteilytehon avulla. [17]

$$\eta = \frac{P_{nim}}{GA} \quad (1)$$

$\eta$  on hyötysuhde

$P_{nim}$  on paneelin maksimiteho

$G$  on säteilyteho

$A$  on paneelin pinta-ala.

Esimerkkinä käytetään tämän työn esimerkki suunnitelmassa käytettyä Kingdom Solarin valmistamaa KD-P250W-monikidepaneelia. Paneelin hyötysuhde saadaan laskettua, kun tiedetään, että paneelin nimellisteho on 250 W, säteilyintensiteetti 1000 W/m<sup>2</sup> ja paneelin pinta-ala, joka on 1,64 m<sup>2</sup>.

$$\eta = \frac{250 \text{ Wp}}{1000 \text{ W/m}^2 * 1,64 \text{ m}^2} = 0,152$$

Paneelin hyötysuhde on siis noin 15,2 %. Koko järjestelmän hyötysuhde saadaan ottamalla huomioon paneeliston lisäksi muiden komponenttien sekä kaapeloinnin tehoviöt.

### 3.3 Invertteri

Vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla paneelien tuottama tasajännite muutetaan vaihtojännitteeksi, jotta aurinkosähköjärjestelmä voidaan kytkeä sähköverkkoon. Järjestelmän kytkeminen yleiseen sähköverkkoon ei onnistu ilman vaihtosuuntaajaa. Verkkoon syötettävästä jännitteestä saadaan taajuudeltaan ja aaltomuodoltaan haluttua vaihtojännitettä, kun invertteri kytkee sille aurinkopaneeleilta tulevaa tasajännitettä ohjaussignaalin mukaan. Haluttu ohjaussignaali voidaan ottaa joko syötettävästä sähköverkosta tai tuottaa se vaihtosuuntaajan sisäisellä oskillaattorilla.

Pienen kokoluokan järjestelmät toteutetaan useimmiten yhdellä 1-vaihe invertterillä, joka kytketään vain yhteen vaiheeseen, esimerkiksi kuvassa 11 olevalla SMA:n valmistamalla Sunny Boy 1.5 invertterillä. Järjestelmässä voidaan myös käyttää mikroinverttereitä, joita asennetaan yksi jokaista aurinkopaneelia kohden. Suuremmissa, yli 3 kWp:n järjestelmissä, käytetään 3-vaiheisia inverttereitä. Vaihtosuuntaajan avulla voidaan myös huolehtia järjestelmän suojausteknisistä vaatimuksista, jos invertterin tekniset ominaisuudet ovat vaadittujen standardien mukaiset. [18.]



Kuva 11. SMA Sunny Boy 1.5 invertteri [19]

Aurinkosähköjärjestelmissä käytettävissä inverttereissä on säätöyksikkö, jolla säädetään paneeliston ulostulojännite toimimaan koko ajan maksimitehopisteessä. Tätä säätöyksikköä kutsutaan maksimitehon seuraajaksi (MPPT). Säätöyksiköllä pyritään siihen, että järjestelmä toimii mahdollisimman optimaalisesti. [20.]

### 3.4 Kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit tulee mitoittaa järjestelmän kokoluokkaan ja virtaan sopiviksi. Yksittäisen mikrotuotantolaitoksen syöttämä virta on yleisesti pieni, joten myös kaapeleiden poikki-pinta-ala jää pieneksi. Tärkeä seikka kaapeleiden valinnassa on niiden sääolosuhteiden kestävyys. Kaapeleiden on kestävä vaihtelevia sääolosuhteita, kuten sadetta, lunta ja jäätä sekä auringon säteilyä ja korkeaa lämpötilaa. Invertterin ja pääkeskuksen väliseksi kaapeliksi kannattaa valita häiriösuojattu kaapeli, jolloin vaihtosuuntaajan mahdollisesti aiheuttamat virheet vähenevät. [21.]

### 3.5 Muut komponentit

Aurinkosähköjärjestelmä, joka liitetään yleiseen jakeluverkkoon, tulee varustaa etäluettavalla 2-suuntaisella sähkömittarilla, jolla voidaan mitata erikseen sähköverkosta otettu ja siihen syötetty sähkö tuntikohtaisesti. Järjestelmään tulee asentaa myös turvakytin, jolla järjestelmä on erotettavissa jakeluverkosta. [22.]

## 4 Suunnittelu

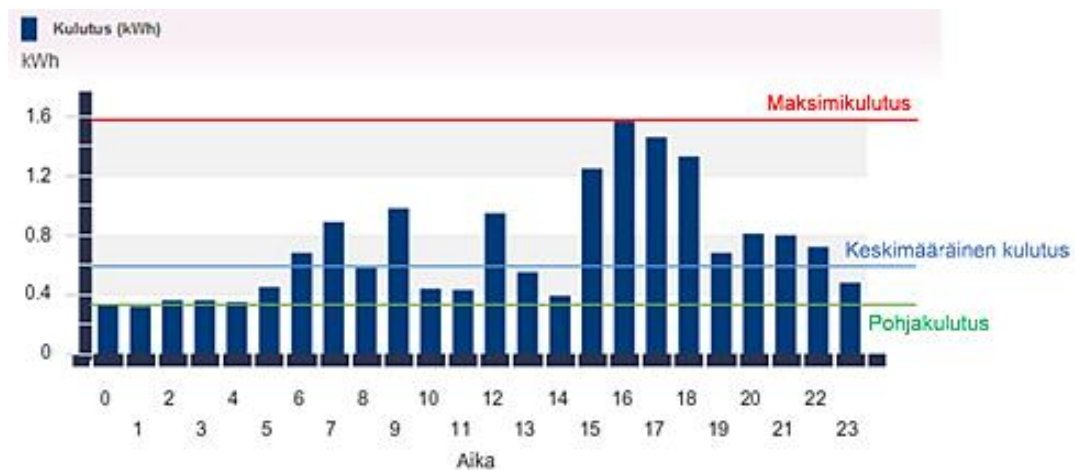
Maksimaalisen hyödyn saamiseksi aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon järjestelmän oikea mitoitus käyttötarpeen mukaan sekä varmistaa paneeliston oikea sijoituspaikka ja suuntaus. Lisäksi ennen järjestelmän asentamista tulee selvittää viranomaisilta tarve rakennus- ja toimipideluupiin. [23.]

### 4.1 Mitoitus

Jotta verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä saadaan kannattavaksi, tulee se mitoittaa niin, että lähtökohtaisesti kaikki järjestelmän tuottama sähköenergia käytetään itse. Koska ylijäämäsiähkön myynnin markkinahintainen korvaus on noin kolmasosa ostetun sähkön hinnasta, järjestelmän ylimitoittaminen ei kannata. Ostosähkön hinta muodostuu sähköenergian lisäksi siirtomaksusta ja verosta, joita omaa ylijäämäsiähköä myydessä ei korvata. [24.]

Jo olemassa oleviin kohteisiin mitoituksen apuna voidaan käyttää saatavissa olevia sähköenergian mittaustietoja. Lähes kaikkialla Suomessa sähköenergiaa mitataan tuntitasolla, jonka avulla voidaan melko tarkasti määrittää rakennuksen pohjakulutus. Pohjakulutuksella tarkoitetaan sitä energiamäärää, jonka rakennus vähintään kuluttaa tuntia kohden. Pohjakulutukseen perustuvan mitoituksen periaate on mitoittaa paneelien yhteenlaskettu nimellisteho yhtä suureksi kuin pienin sähkötehon tarve. Näin saavutetaan mahdollisimman lyhyt järjestelmän takaisinmaksuaika, kun järjestelmän tuottama sähkö käytetään itse. [25; 26.]

Yöaikainen hetkellinen tehontarve voi olla pienempi kuin paneelien nimellisteho, koska yöaikana ei järjestelmällä tuoteta sähköä, jota jouduttaisiin myymään. Yöaikaista kulu- tusta voidaan myös automaation avulla siirtää ajalle, jolloin aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä. Kotitalouksien pohjakuorma on usein niin pieni, ettei sen mukaan mitoi- tetulla aurinkosähköjärjestelmällä pystytä tuottamaan kuin pieni osa vuotuisesta energi- ankulutuksesta. Kuvasta 12 nähdään esimerkki kulutuskäyrästä. [26.]



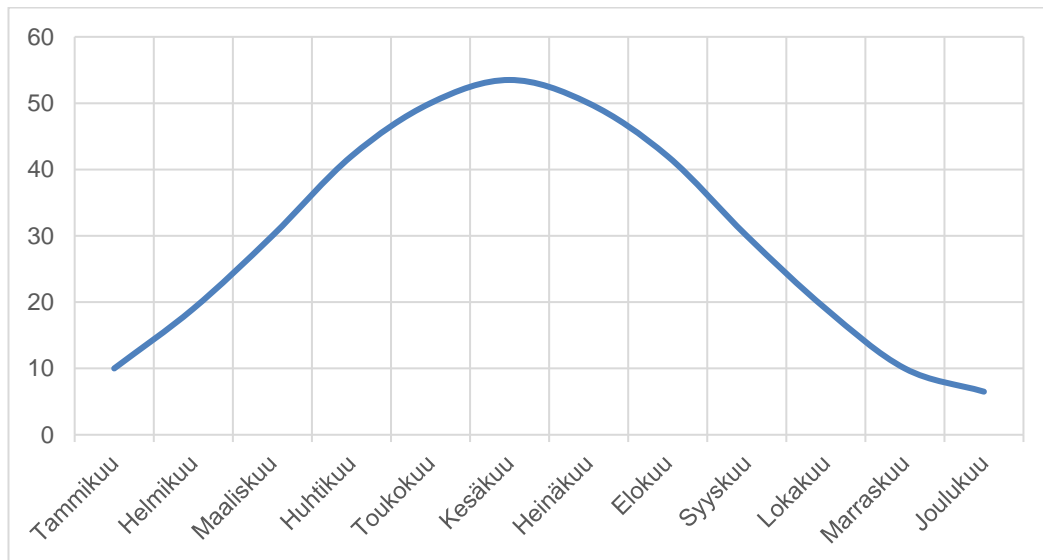
Kuva 12. Esimerkki kulutuskäyrästä [27].

#### 4.2 Suuntaus ja sijoitus

Järjestelmän energiantuotannon kanalta tärkeää on, että aurinko paistaa paneelien pin- nalle mahdollisimman pitkään ja esteettömästi. Jotta järjestelmä tuotto saadaan optimoi- tua, tulee ottaa huomioon paneelien suuntaus, sijoitus ja kallistuskulma.

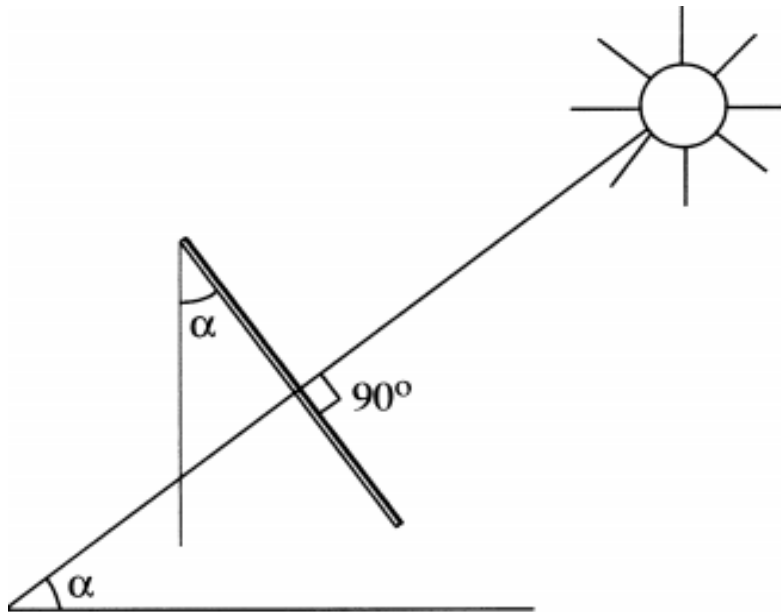
Aurinkopaneelit tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan, jotta koko paneelisto saa tasai- sesti säteilyä. Jos yksikin paneeliston kenno on varjossa, heikkenee sähkövirrankulku koko paneelistossa. Jos asennuspaikassa on kuitenkin varjoisa kohtia, voidaan sen alu- eella oleva paneeli asentaa erilleen muista paneeleista, jolloin sähköntuotanto pysyy mahdollisimman optimaalisena. Toisena vaihtoehtona on kasvattaa paneeliston pinta- alaa, jotta se tuottaisi tarvittavan energiamäärän. Rakennuksen katto on yleisesti hyvä asennuspaikka paneeleille. Näin vältetään useimmiten paneelien varjostuminen sekä li- kaantuminen. Katolle asennettaessa paneelit eivät myöskään vie ylimääräistä rakennus- pinta-alaa. Yleisesti ottaen mitä korkeammalla ja kauempana lähimmästä esteestä au- rinkopaneelit sijaitsevat, sitä enemmän ne voivat tuottaa energiaa. [9 s.15; 28.]

Aurinkopaneelista saadaan paras teho silloin, kun auringon säteily tulee kohtisuorasti paneelin pintaan eli kun säteilyn tulokulma on 0. Auringon korkeus horisontilta vaihtelee eri vuoden aikana, jolloin kiinteään kallistuskulmaan asennetun aurinkopaneelin tulevan säteilyn tulokulma vaihtelee. Talvisin aurinko on huomattavasti alempana kesäkuukausiin verrattuna. Kuvassa 13 havainnollistetaan auringon kulman muutosta kuukausittain Helsingissä. [9, s.15.]



Kuva 13. Auringon kulmanmuutos vuoden aikana.

Kallistuskulma on aurinkopaneelin ja vaakatason välinen kulma. Auringon säteily tulee kohtisuorasti paneelin pintaan silloin, kun paneelin kallistuskulma on yhtä suuri kuin auringon korkeus horisontista. Suomessa optimi kallistuskulma suoran säteilyn kannalta on kiinteästi asennetuille paneeleille noin 30–40 astetta. Pienemmillä kallistuskulmilla saavutetaan kesän aikana suurempi sähkön tuotto, kun taas kulman suurentuessa niiden ympärivuotinen tuotantoprofiili jakautuu tasaisemmin vuodenaikojen välillä. [28.]

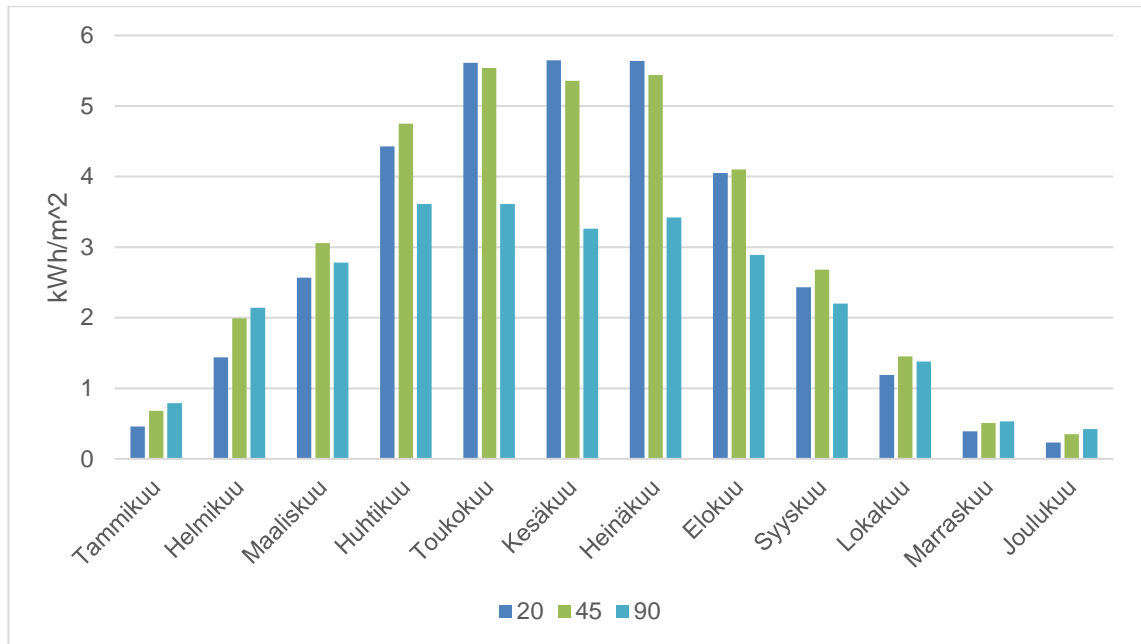


Kuva 14. Paneelin suuntaus aurinkoa kohti [11]

Kuvasta 15 nähdään että 20 asteen kallistuskulma tuottaa eniten sähköä kesäkuukausina, kun taas 90 asteen kallistuskulmalla tuotto jakautuu suhteellisen tasaiseksi ympäri vuoden. 45 asteen kulmalla saavutetaan valituista kallistuskulmista suurin sähköntuotto koko vuoden aikana, kuten taulukosta 1 nähdään.

Taulukko 1. Koko vuoden säteilyenergia Puumalassa eri kallistuskulmilla.

Kallistuskulma	kWh/m <sup>2</sup> /a
20	1040
45	1090
90	822

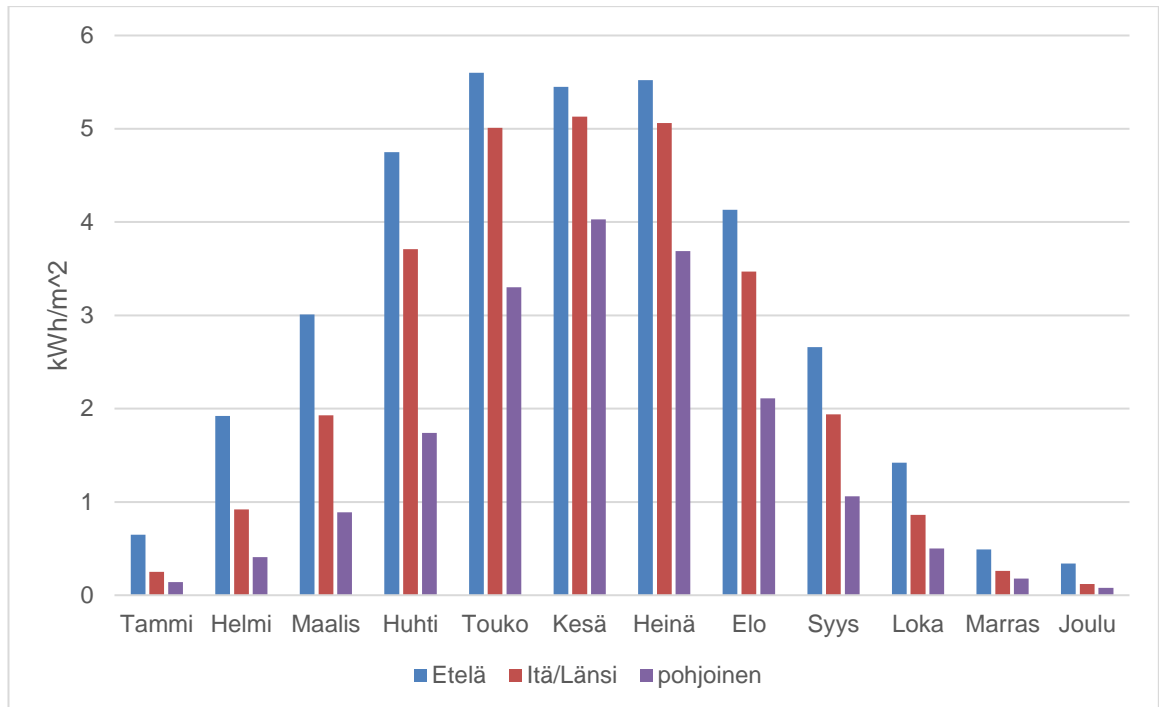


Kuva 15. Eri kallistuskulmien tuottama päivittäinen säteilyenergia Puumalassa.

Aurinkopaneelin suuntauksen ilmansuunnan mukaan määrittää atsimuuttikulma. Atsimuuttikulma on suuntakulma, jonka muodostavat referenssikulma ja suunta kohti määritettyä pistettä. Atsimuuttikulma määritellään siten, että suuntaus etelään on 0 astetta, länteen 90 ja itään -90. Suomessa paneelit pyritään suuntaamaan suoraan kohti etelää optimaalisen sähkötuotannon saavuttamiseksi, koska etelästä aurinko paistaa kaikkein korkeimmalta ja tällöin myös säteilyn voimakkuus on suurimmillaan. [9, s.15.]

Jos kohteessa on säännöllisiä ja merkittäviä kulutushuippuja aamu- tai iltapäivällä voidaan harkita paneelien suuntausta itään tai länteen. Kulutushuipun osuessa aamupäivälle suunnataan paneelit itään ja vastaavasti kulutushuipun osuessa iltapäivälle paneelit suunnataan länteen. Jos paneeleita ei voida asentaa suoraan etelää kohden, suuntauksen atsimuuttikulma voi poiketa etelästä noin +/-45 astetta optimaalisen sähköntuotannon saavuttamiseksi. Tällöin häviöt jäävät vielä maltilliseksi niiden ollessa noin 7 %. [28.]

Kuvassa 16 havainnollistetaan päivittäistä eri ilmansuuntiin kohdistuvaa auringon säteilyenergiaa neliometriä kohden. Kuvasta havaitaan, että etelään suunnattuna paneeliston kohdistuu 20 % enemmän auringon säteilyenergiaa itään tai länteen verrattuna. Suuntaus pohjoiseen ei ole kannattava, koska auringon säteilyenergia jää alle puoleen etelään verrattuna.



Kuva 16. Suuntauksen vaikutus päivittäiseen säteilyenergiaan Puumalassa.

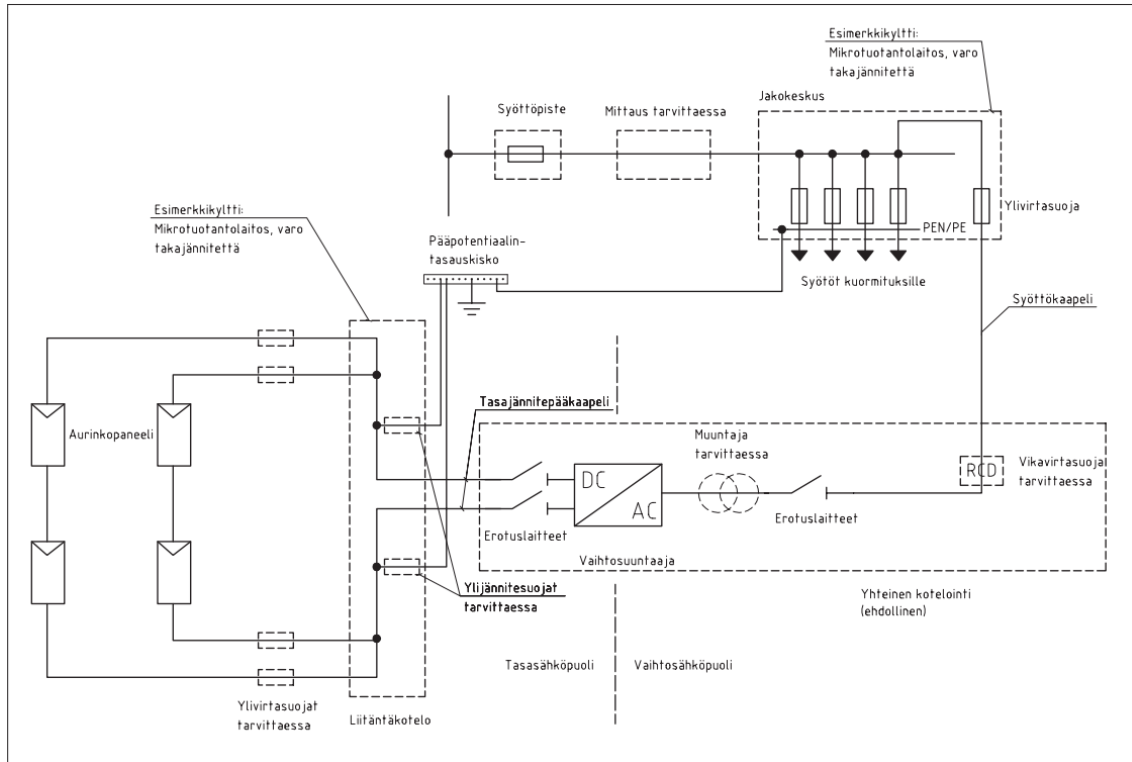
#### 4.3 Tuotanto-odotukset

Aurinkoenergian tuoton arviointiin voidaan käyttää PVIGS-paikkatietojärjestelmää (Photovoltaic Geographical Information Systems), joka perustuu 10 vuoden säteily keskiarvoihin. Työkalun avulla voidaan arvioida pinnalle kohdistuvaa säteilyenergiaa sekä aurinkoenergian tuottoa erikokoisille järjestelmille. PVIGS-työkaluun määritetään suunniteltavan kohteen maantieteellinen sijainti, kennotyyppi, järjestelmän nimellisteho sekä paneelien kallistus- ja atsimuuttikulma. Kuvassa 17 nähdään PVIGS-työkalun etusivu. [29.]

Kuva 17. PVGIS-ohjelman etusivu [29.]

## 5 Mikrotuotannon sähköverkkoon liittäminen

Mikrotuotantolaitos on sähköntuotantolaitos, joka on tarkoitettu ensisijaisesti tuottamaan sähköä kulutuskohteen omaan käyttöön. Mikrotuotantolaitokset ovat siis yleensä yksityisten kuluttajien ja pienyritysten pienet sähköntuotantolaitokset, jotka liitetään kuluttajan sähköjärjestelmään. Mikrotuotantolaitokseksi lasketaan järjestelmä, jonka yhteisteho on enintään 100 kVA. Sähköverkkoon liittymisen maksimisulakekooksi yksivaiheiselle järjestelmälle on määritelty 16 ampeeria, jolloin tuotantolaitoksen maksimiteho on noin 3,7 kVA. Kuvassa 18 nähdään esimerkki aurinkosähköjärjestelmä verkkoon liittämisestä [30.]



Kuva 18. Esimerkkikuva aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittamisestä [21].

Yleiseen jakeluverkkoon liittämiseen tarvitaan aina jakeluverkon omistajan lupa. Verkon haltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävä sähköntuotantolaitos. Aurinkosähköjärjestelmää liitettäessä yleiseen sähköverkkoon tulee varmistua siitä, että tuotantolaitos on turvallinen eikä aiheuta häiriöitä verkkoon. Näistä syistä tuotantolaitoksen tulee saavuttaa tietyt tekniset vaatimukset. Sähköturvallisuusstandardin SFS 6000 mukaan aurinkosähköjärjestelmä luokitellaan generaattorivoimalaitokseksi. [30.]

### 5.1 Laitoksen erottaminen verkosta

Sähköturvallisuusstandardien SF6002 ja SF6000 mukaan tuotantolaitos tulee olla erottavissa verkosta ja erottimen käyttömekanismiin tulee olla lukittavissa. Lisäksi jakeluverkon haltijalla tulee olla joko rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkentämahdollisuus.

Tuotantolaitoksen suojauksen tulee huolehtia siitä, ettei laitos syötä jännitteetöntä jakeluverkkoa. Järjestelmälle vaaditaan kuitenkin standardien mukaan lisäerotin, jotta voidaan varmistua verkon huolto ja korjaustöiden aikaisesta asennusturvallisuudesta. Erottimena voidaan käyttää tuotantolaitoksen yhteyteen asennettua erotinta, jossa on näkyvä ilmaväli tai mekaaninen asennonosoitus. Toisena vaihtoehtona kohteen pääsulakkeet tulee voida irrottaa. Erottimena voi olla myös verkonhaltijan verkossa ennen liittämiskohtaa oleva kytkin. [30.]

## 5.2 Sähkönlaatu

Liitettäessä mikrotuotantolaitos verkkoon tulee liittämiskohdassa jännitteen laadun säilyä standardin SFS-EN 50160 (Yleisen jakelujännitteen ominaisuudet) mukaisena. Liittymiskohdassa sallitaan maksimissaan 8 % harmoninen kokonaissärö. Standardi määrittelee myös annetut raja-arvot liittämiskohdasta mitattaville yksittäisille harmonisille yliaalloilla, jännitetason vaihteluille ja välkynnälle. [30.]

Lisäksi tuotantolaitokselle voidaan soveltaa seuraavia EMC- vaatimuksia koskevia standardeja: [30]

- Häiriön sieto: EN 61000-6-1 (Electromagnetic compatibility (EMC) Generic standards Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments)
- Häiriön päästö: EN 61000-6-3
- Harmoniset yliaallot: EN 61000-3-2
- Nopeat jännitteenmuutokset ja välkyntä: EN 61000-3-3.

## 5.3 Suojaus

Tuotantolaitos tulee varustaa suojalaitteilla, jotka kytkyvät laitteiston irti jakeluverkosta, jos jakeluverkon syöttö katkeaa tai tuotantolaitoksen jännite tai taajuus poikkeaa salli-

tuista arvoista. Suojauslaitteiston tulee erottaa tuotantolaitos verkosta mekaanisilla kontaktoreilla tai elektronisilla kytkimillä. Suojauslaitteisto varmistaa, ettei tuotantolaitos hajoa sähköverkon häiriötilanteissa, sekä huolehtii, ettei tuotantolaitos syötä verkkoon huonolaatuista sähköä. Aurinkosähköjärjestelmissä järjestelmän suojaus voidaan toteuttaa invertterien avulla, jos ne ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan saksalaisen mikrotuotantoonormin VDE-AR-N-4105 mukaisia. [30.]

Enintään 100 kVA:n suuruisille järjestelmille on määrätty taulukon 2 mukaiset suojausasetteluarvot: [31.]

Taulukko 2. Alle 100 kVA tuotantolaitoksen suojausasetteluarvot [31]

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2 s	Un + 10%
Alijännite	0,2 s	Un - 15%
Ylitaajuus	0,2 s	51,5 Hz
Alitaajuus	0,2 s	47,5 Hz
Saa-rekekäyttö	Enintään 5 s	

Tuotantolaitoksen synkronointi jakeluverkon kanssa tulee olla automatisoitua. Suojausasetusten tulee varmistaa, että syöttö verkkoon alkaa vain silloin kun jännite ja taajuus ovat suojausasetusten sallimissa rajoissa tietyn minimiajan. Inverttereillä verkkoon liitetyillä järjestelmillä tämä aika on 20 sekuntia. [31.]

#### 5.4 Mittaus

Enintään 100 kVA:n tuotantolaitoksen sähköntuotto tulee mitata tunneittain etäluettavalla mittarilla. Mikrotuotantolaitos, jonka maksimiteho on enintään 100 kVA, ei vaadi omaa mittalaitetta, vaan mittaus voidaan suorittaa yhdellä 2-suuntaisella tehomittarilla, jolla mitataan sekä verkosta otettu että siihen syötetty sähkö. Mittaria, joka summaa eri vaiheiden tuotanto- ja kulutusmittaustuloksia, ei suositella. Kahteen suuntaan mittaavaa ja mitausdatan summaavaa eli netottavaa mittaria ei saa käyttää, kun kohteessa on sekä kulutusta että tuotantoa. [30]

## 5.5 Ilmoitus sähköverkkoyhtiölle

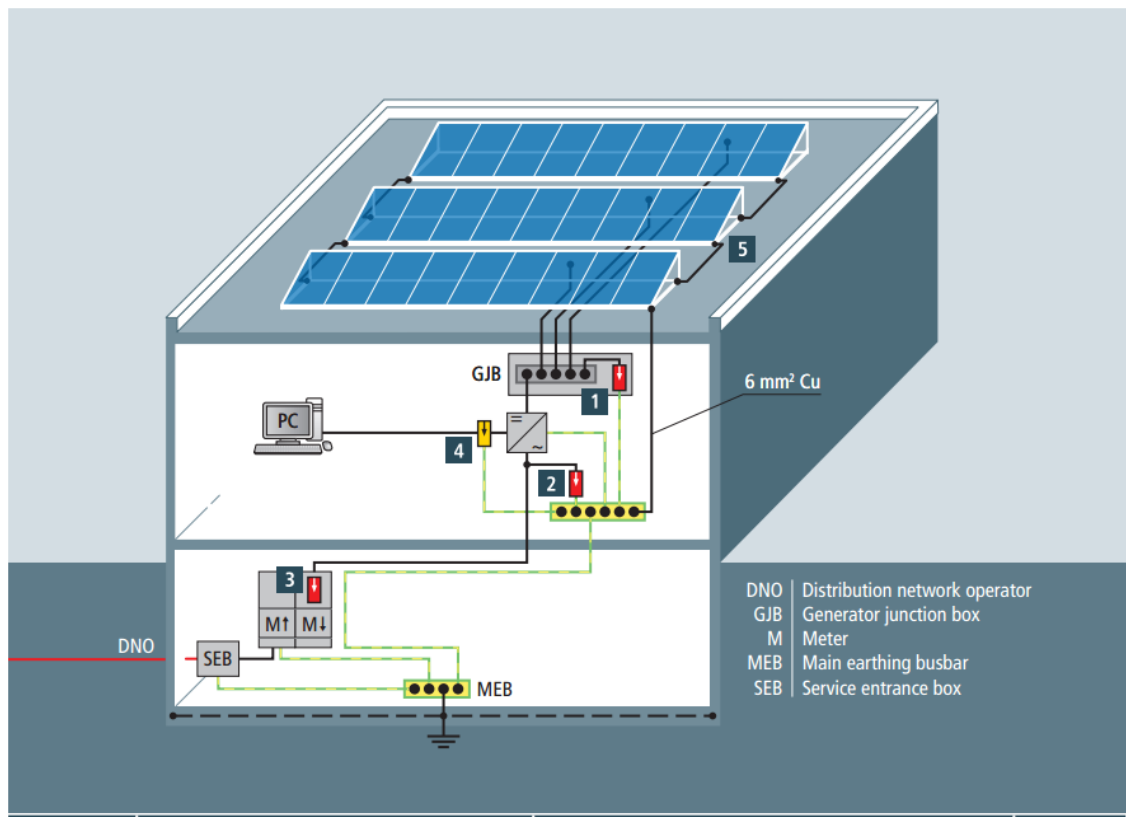
Ennen kuin tuotantolaitos liitetään sähköverkkoon, tulee verkonhaltijalle toimittaa tiedot tuotantolaitteiston seuraavista teknisistä ominaisuuksista: [31]

- laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta sekä oikosulkuvirta
- liitäntälaitteen (vaihtosuuntaajan) tyyppitiedot
- suojausten asetteluarvot ja toiminta-ajat
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika).

Kun tiedot toimitetaan verkkoyhtiölle jo ennen järjestelmän hankintaa, varmistetaan siitä, että järjestelmä voidaan liittää jakeluverkkoon. Tiedot voidaan toimittaa verkkoyhtiölle Energiategollisuus ry:n suosittelemalla yleistietolomakkeella. (liite 1.)

## 5.6 Maadoitus

Tasasähköjärjestelmän yhden jännitteisen johtimen maadoittaminen on sallittua, jos vaihtosähkö- ja tasasähköpuolen välillä on vähintään yksinkertainen erotus. Jos järjestelmään asennetaan suojaavia potentiaalitasausjohtimia, niiden on oltava tasasähkö- ja vaihtosähkökaapeleiden sekä niiden varusteiden rinnalla ja mahdollisimman lähellä niitä. Ukkosen indusoimien jännitteiden pienentämiseksi kaikkien johdinsilmukoiden pinta-alojen pitäisi olla mahdollisimman pieniä.



Kuva 19. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän maadoituksesta.

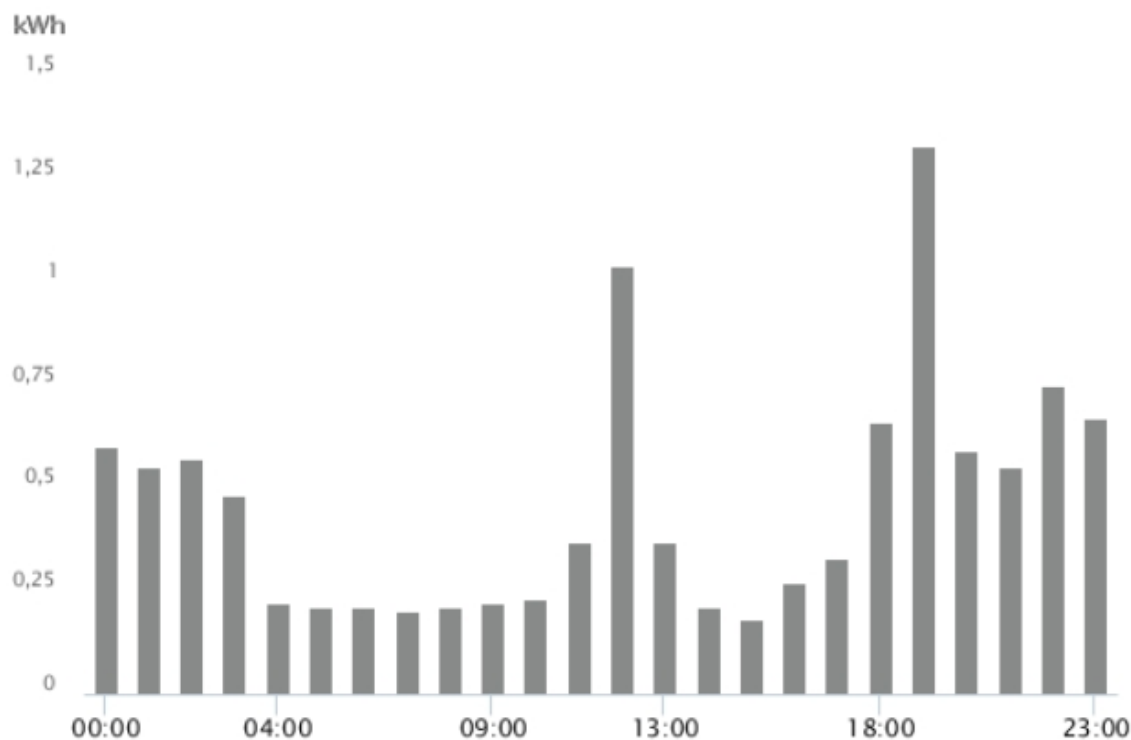
Aurinkosähköjärjestelmän maadoitus voidaan toteuttaa kuvan 19 mukaisesti liittämällä paneelien rungot maadoitusliittimillä paneelien telineisiin. Telineet maadoitetaan liityntärasian maadoituspisteelle, josta on maadoituskaapeli päämaadoituskiskoon. Myös järjestelmän invertteri maadoitetaan liityntärasian maadoituspisteelle. [32.]

## 6 Esimerkkisuunnitelma

Kohde on Puumalassa sijaitseva ympäri vuoden käytössä oleva vapaa-ajan asunto. Kohteen pohjakuormaksi on arvioitu noin 200 W sähkön mittausdatan perusteella. Pohjakuorman kesäaikaan muodostavat pääosin jääkaappi sekä ilmalämpöpumppu. Aurinkopaneelit on mahdollista asentaa päärakennuksen katolle suoraan etelään suunnattuna.

## 6.1 Mitoitus

Kohteeseen soveltuvan aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa lähdettiin liikkeelle siitä, että mahdollisimman suuri osa tuotetusta sähköstä käytetään itse. Kuvassa 20 esiintyvää kohteen mittausdataa tutkimalla arvioitiin pohjakulutuksen olevan noin 200 W.



Kuva 20. Kohteen kulutus kesäkuun päivänä.

Pohjakuorman ollessa noin 200 W täytyisi asennettavan järjestelmän olla teholtaan alle 300 W, jotta sähkön syöttöä jakeluverkkoon ei tapahtuisi. Järjestelmän koko voi kuitenkin olla suurempi, koska järjestelmän syöttämä teho on yleensä alle nimellistehon, mikä johtuu sääolosuhteiden muutoksista.

Järjestelmän mitoituksessa on käytetty hyväksi päivän valoisan ajan tunneille keskiarvoistettua tehon tuottoennustetta ja vertaamalla sitä pohjakuormaan. Kun pohjakuorma ja keskimääräinen tehon tuotto ovat yhtä suuria kuukausina, jolloin tuotanto on suurinta, päästään maltilliseen ylituotantoon, joka sijoittuu kesäkuukausille.

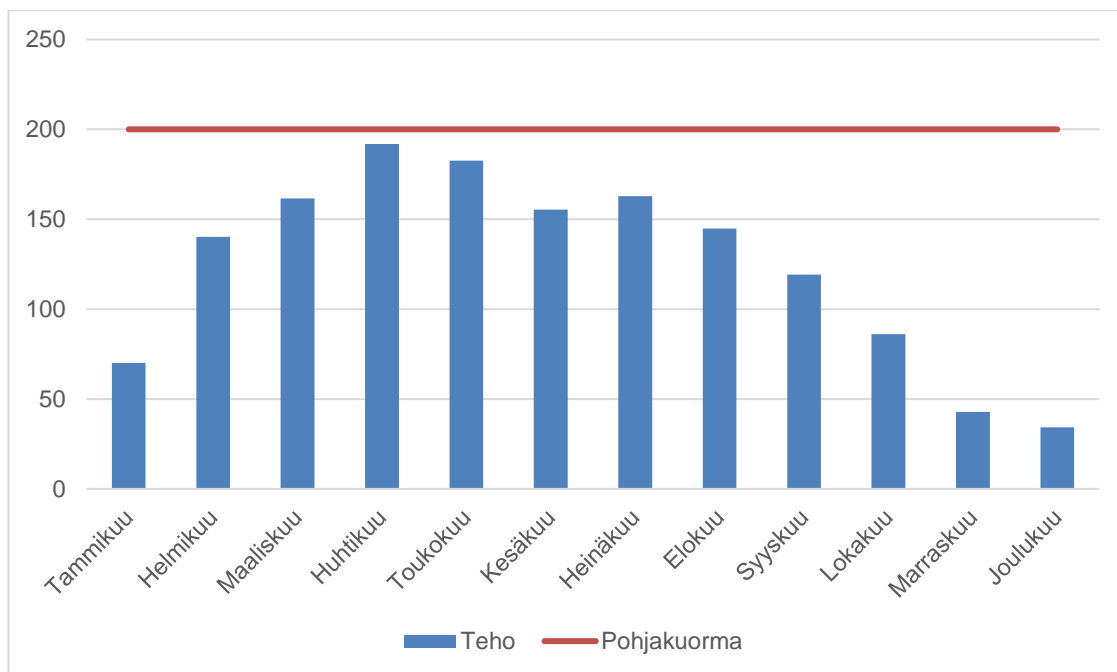
Taulukossa 3 on PVGIS-ohjelman avulla laskettu keskimääräinen tuotantoteho valoisaan aikaan eri kuukausina kahdelle eri kokoiselle järjestelmälle. Valoisa aika on laskettu

jokaisen kuukauden keskimääräisten auringon nousu ja lasku aikojen erotuksena. Keskimääräinen tuotantoteho on saatu jakamalla arvioitu päivittäinen sähköntuotanto päivän valoisalla ajalla. Näin on siis saatu keskimääräinen teho, jonka aurinkosähköjärjestelmä tuottaa auringon ollessa horisontin yläpuolella.

Taulukko 3. Keskimääräinen tehontuotanto kuukausittain

Kuukausi	Valoisa aika (h)	Tuotantoteho valoisaan aikaan (W)	
		750 W <sub>p</sub> :n järj.	1 kW <sub>p</sub> :n järj.
Tammikuu	6,3	70	92
Helmikuu	9,0	140	188
Maaliskuu	11,7	162	215
Huhtikuu	14,7	192	256
Toukokuu	17,5	183	243
Kesäkuu	19,4	155	207
Heinäkuu	18,6	163	217
Elokuu	16,0	145	192
Syyskuu	13,0	119	158
Lokakuu	10,1	86	115
Marraskuu	7,3	43	58
Joulukuu	6,4	34	45

Taulukosta 3 ja kuvasta 21 voidaan havaita, että huhtikuun tehontuotanto valoisaan aikaan on suurin. Koska järjestelmän ylituotanto halutaan minimoida, valitaan 750 W:n järjestelmä, koska sen keskiarvoinen tuotantoteho ei ylitä pohjakuormaa. Taulukon arvot ovat optimitilanteessa saatavia keskiarvotehoja. Kesän huipputunteina tuotettu teho saattaa olla yli kolminkertainen keskiarvoihin verrattuna.



Kuva 21. Kohteen pohjakuorma ja keskiarvoinen tehontuotto kuukausittain

## 6.2 Aurinkopaneelin valinta

Koska järjestelmän tehoksi valittiin 750 W, voidaan järjestelmä toteuttaa käyttämällä 3 kappaletta 250 W:n aurinkopaneelia. Paneeliksi valittiin Kingdom Solarin valmistama KD-P250W, jonka ominaisuudet esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Kingdom Solar KD-P250W paneelin ominaisuudet

Kingdom Solar KD-P250W	
$P_{max}$	250 W
Hyötysuhde	15,3 %
Oikosulkuvirta	8,4 A
Pinta-ala	1,64 m <sup>2</sup>
Kennojen lkm	60 kpl

Paneeliston huipputeho ( $P_{max}$ ) saadaan laskettu kaavan 2 mukaisesti kertomalla paneelien nimellisteho niiden kappalemäärällä.

$$P_{max} = 250 \text{ W} * 3 = 750 \text{ W} \quad (2)$$

Paneeliston pinta-ala (A) saadaan laskettu kaavan 3 mukaisesti kertomalla yhden paneelin pinta-ala asennettavien paneelien lukumäärällä.

$$A = 1,64m^2 * 3 = 4,92 m^2 \quad (3)$$

### 6.3 Vaihtosuuntaajan valinta

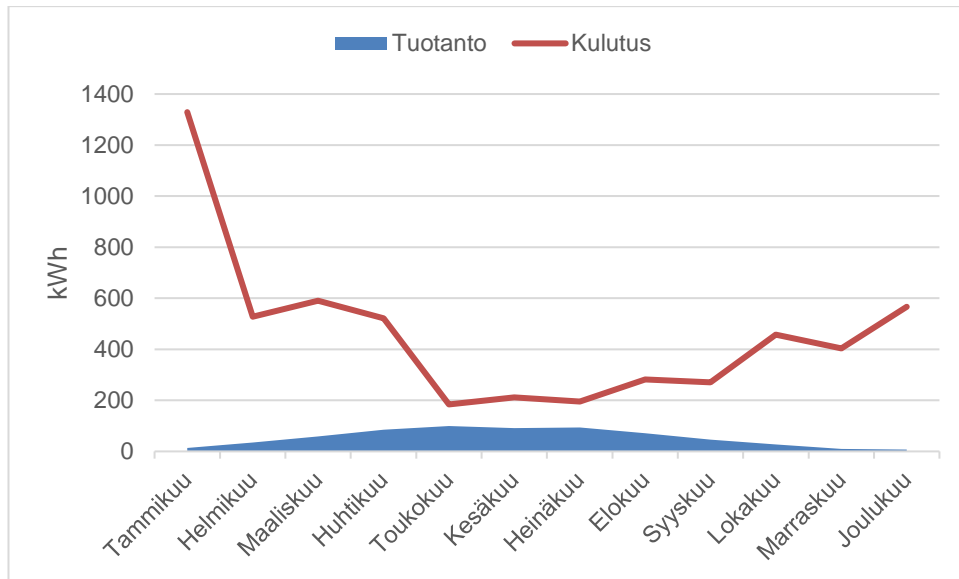
Suunniteltu järjestelmä on suhteellisen pieni, joten se asennetaan yhteen vaiheeseen. Tällöin tarvitaan myös yksivaiheinen invertteri. Järjestelmän vaihtosuuntaajaksi päädyttiin valitsemaan SMA Sunny boy 1.5. Kyseinen invertterimalli täyttää saksalaisen mikro-tuotantonormin VDE-AR-N-4105, jolloin sitä voidaan käyttää koko järjestelmän suojaukseen. Invertteri on hieman ylimitoitettu 750 W:n järjestelmälle, mutta se mahdollistaa aurinkopaneelikapasiteetin tuplaamisen, jos sähkön myynnin suhteen tapahtuu muutos, joka tekee siitä kannattavaa. Taulukossa 5 esitetään Sunny Boy 1.5 invertterin tärkeimmät ominaisuudet.

Taulukko 5. SMA Sunny Boy 1.5 invertterin ominaisuudet

<b>SMA Sunny Boy 1.5</b>	
Pmax	1.5 kW
Hyötysuhde	97,20 %

### 6.4 Sijoitus ja tuotto odotukset

Aurinkopaneelit voidaan sijoittaa kohteen päärakennuksen katolle, noin 40 asteen kulmaan sekä suunnattuna suoraan etelää kohti, jolloin saavutetaan lähes optimaalinen sähköntuotto. Kuvassa 22 on järjestelmän arvioitu kuukausittainen tuotanto, joka on laskettu PVGIS-ohjelman avulla 40 asteen kallistuskulmalla ja suuntaamalla paneelisto etelään. Kuvasta nähdään myös kohteen kuukausittain kuluttama sähkö.



Kuva 22. 750 W:n järjestelmän arvioitu kuukausituotanto suhteessa kulutukseen

750 W:n järjestelmällä vuoden arvioitu sähköenergian kokonaistuotanto on hieman yli 600 kWh. Sähköenergian ostohinnan ja sähkön siirron ollessa 15 snt/kWh säästetään vuodessa 90 € ostosähkön hinnasta, jos kaikki tuotettu sähkö käytetään itse.

### 6.5 Kustannukset ja tuoton arviointi

Järjestelmän aurinkopaneelit saadaan 229 € kappalehintaan, jolloin koko paneeliston hinnaksi tulee 687 €. Invertterin hankinta on kallein osa järjestelmää. Valittu 1,5 kW:n invertterin hinnaksi tulee 998 €. Karkea arvio koko järjestelmän hinnaksi asennuksineen on noin 2000 €.

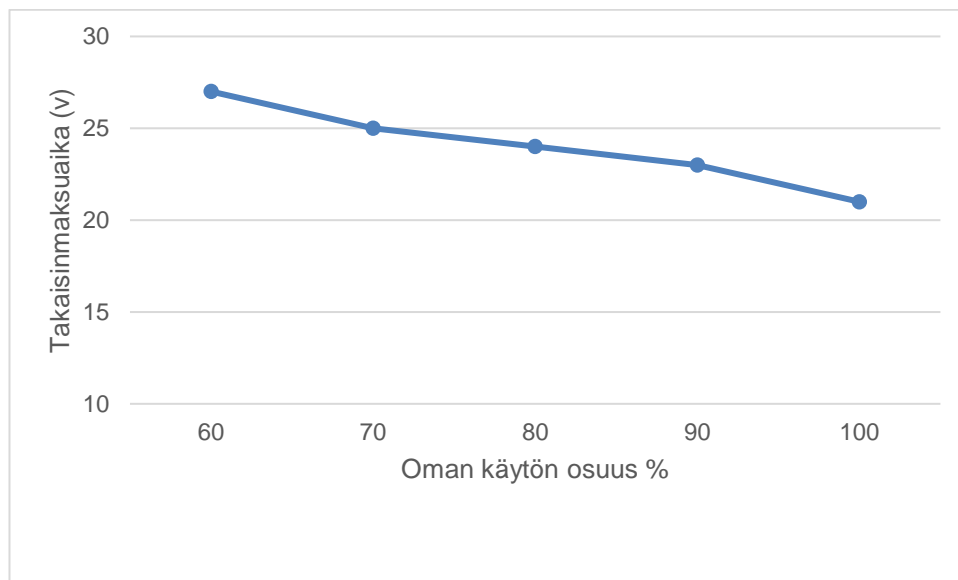
Järjestelmän kannattavuuden laskemiseen käytettiin FinSolar-hankkeessa laadittua laskuria. Laskuriin syötetään erilaisia arvoja järjestelmästä ja niiden perusteella lasketaan järjestelmälle karkea takaisinmaksuaika ja mahdollinen investoinnin nettonykyarvo. [33.]

Järjestelmän takaisinmaksu aikaa laskettaessa on käytetty taulukossa 6 näkyviä arvoja, joiden perusteella järjestelmä maksaa itsensä takaisin 24 vuodessa ja tuottaa elinkaarensa aikana noin 500 € voiton. Jos sähkön hinta nousee 2 % vuodessa aurinkosähköjärjestelmän 30 vuoden elinkaaren aikana, järjestelmän takaisinmaksu aika lyhenee 21 vuoteen.

Taulukko 6. Kannattavuuslaskennassa käytetyt arvot.

Sähkön kuluttajahinta eli sähköenergian ja sähkön siirron ostohinta veroineen snt/kWh	15,0	snt/kWh
Kiinteistön sähkönkulutus vuodessa kWh/v	5500	kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/vuosi	1,0%	%/v
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	750	Wp
Järjestelmän investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€2 000	euroa
Investointituki tai kotitalousvähennys alkuinvestoinnista, %	0 %	%
Oma kiinteistöarvo-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille	€0	euroa
Investoinnin laskentakorko, esim. pankin korkokulu	0,0%	%
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	80 %	%
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	7,0	snt/kWh

Sähkön hinnannousun lisäksi järjestelmän takaisinmaksuaikaan vaikuttaa suuresti tuotetun sähkön oman käytön osuus. Kuvassa 23 havainnollistetaan takaisinmaksuaikaa eri oman käytön osuuksilla, sähkön hinnan nousun ollessa 1 % vuodessa. Käytettäessä kaikki tuotettu sähkö itse järjestelmä maksaa itsensä takaisin 21 vuodessa.



Kuva 23. Sähkön oman käytön suhde takaisinmaksuaikaan.

## 7 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän suunnittelun eri vaiheita sekä järjestelmän komponentteja. Lisäksi tutkittiin verkkoon liittymisen vaatimuksia mikrotuotantolaitokselle sekä aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta. Työn lopputulemana suunniteltiin verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä Puumalassa sijaitsevaan vapaa-ajan asuntoon sekä tutkittiin investoinnin kannattavuutta. Kannattavuus laskelmissa havaittiin, että kohteeseen suunniteltu järjestelmä maksaa itsensä takaisin, mutta takaisinmaksuaika on kuitenkin varsin pitkä. Investoinnin kannattavuuden lisäksi järjestelmän hankintaa voidaan perustella energiaomavaraisuuden lisääntymisellä sekä ekologisuudella. Lopullista päätöstä aurinkosähköjärjestelmän asennuksesta kohteeseen ei ole vielä tehty.

Työn aikana opin, että aurinkosähköjärjestelmän potentiaali saadaan parhaiten käyttöön suunnittelemalla järjestelmä huolellisesti, ottamalla huomioon optimaaliseen tuotantoon vaikuttavat tekijät. Aurinkopaneelien oikea suuntaus sekä varjoton asennuspaikka ovat avainasemassa optimaaliseen tuotantoon pyrittäessä. Näin pystytään takaamaan, että auringon paiste osuu paneeleihin mahdollisimman tehokkaasti ja pitkään. Järjestelmän tehon mitoituksessa tulee perehtyä kohteen sähkönkulutukseen. Tällä hetkellä on kannattavinta mitoittaa aurinkosähköjärjestelmä kohteen pohjakulutuksen mukaan tai kuluspiikkien tasoittamiseen, jolloin lähes kaikki sähkö käytetään itse. Järjestelmän ylimitoittaminen pidentää takaisinmaksuaikaa ylijäämästä saatavan matalan korvauksen takia. Sähkönmyynnistä saatavan korvauksen kasvu tulevaisuudessa olisi siis loistava kannustin aurinkosähköjärjestelmien yleistymiseen.

Jo pitkään aurinkosähkön hyödyntämisen suurimpana haasteena on ollut järjestelmien korkea hinta suhteessa tuotettuun energian määrään. Tulevaisuudessa investoinnit aurinkosähköjärjestelmiin tulevat kannattavammaksi järjestelmien hintojen laskiessa ja sähköenergian hinnan noustessa. Aurinkosähköjärjestelmä on toki jo nyt kannattava investointi oikein toteutettuna. Aurinkopaneelien hyötysuhteet kehittyvät jatkuvasti ja kehitystyö luo uusia mahdollisuuksia aurinkosähkön hyödyntämiselle. Auringosta saatava energia on ilmaista sekä päästötöntä, joten aurinkosähköjärjestelmää käyttämällä voidaan siis säästää sekä rahaa että luontoa.

## Lähteet

- 1 Aurinko. 2014. Verkkodokumentti. Ursa. <<http://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/aurinko.html>>. Luettu 15.9.2016.
- 2 Auringon rakenne ja elinkaari. 2016. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos.fi <<http://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>>. Luettu 15.9.2016.
- 3 Aurinkoenergia. 2010. Verkkodokumentti. Suntekno. <<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>>. Luettu 15.9.2016.
- 4 Auringon säteilyintensiteetti Euroopassa. 2012. Verkkodokumentti. <[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/PVGIS\\_EU\\_201204\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png)>. Luettu 16.9.2016.
- 5 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2016. Verkkodokumentti. Motiva. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)>. Luettu 16.9.2016.
- 6 Tilastoja Suomen ilmastosta 1981-2010. 2012. Verkkodokumentti. Ilmatieteenlaitos. <[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja\\_Suomen\\_ilmastosta\\_1981\\_2010.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4)>. Luettu 16.9.2016.
- 7 Suomen sään vuositilastot. 2016. Verkkodokumentti. Suomen sääpalvelu. <<https://www.saapalvelu.fi/helsinki/tilastot/vuositilastot/>>. 16.9.2016.
- 8 Global irradiation and solar electricity potential in Finland. 2012. Kuva <[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_hor/G\\_hor\\_FI.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_hor/G_hor_FI.pdf)>. Luettu 16.9.2016.
- 9 Erat Bruno. Erkkilä Vesa. Nyman Christer. Peippo Kimmo. Peltola Seppo. Suokivi Hannu. Aurinko-opas. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry. Julkaistu 2008. Luettu 20.9.2016.
- 10 Aurinkosähköteknologiat. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)>. Luettu 20.9.2016.
- 11 Aurinkopaneelit. 2010. Verkkodokumentti. Suntekno Oy. <<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>>. Luettu 20.9.2016.
- 12 Maximizing the Output from Solar Modules. 2013. Verkkodokumentti. Digi-Key Electronics. <<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/dec/maximizing-the-output-from-solar-modules>>. Luettu 20.9.2016.

- 13 Poly vs. monocrystalline. 2016. Kuva. Tindo Solar. <<http://www.tindo-solar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>>. Luettu 20.9.2016.
- 14 Aurinkoenergia-opas. 2013. Verkkodokumentti. Finnwind. <<http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>>. Luettu 20.9.2016.
- 15 Rollable solar panel. 2016. Verkkodokumentti. Zhejiang Solar Panels Co. <<http://www.solarpanel-manufacturer.com/rollable-solar-panel.html>>. Luettu 20.9.2016.
- 16 LG NeON™2 72 Cell Module. 2015. Verkkodokumentti. LG <<http://www.lg.com/us/commercial/solar-panels/lg-LG365N2W-G4>>. Luettu 22.9.2016.
- 17 SMG-4450 Luento 3 ja 4 Aurinkosähkö. Aki Korpela. 2012. Verkkodokumentti. <<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento3.pdf>>. Luettu 22.9.2016.
- 18 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahko\\_jarjestelma](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahko_jarjestelma)>. Luettu 24.9.2016.
- 19 Sunny Boy inverters. 2016. Verkkodokumentti. Wind & Sun Ltd. <<http://www.windandsun.co.uk/products/Inverters/SMA-Inverters/Sunny-Boy-Inverters>>. Luettu 24.10.2016.
- 20 What is maximum power point tracking (MPPT) and how does it work. 2010. Verkkodokumentti. Blue Sky Energy, Inc. <[http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE\\_What\\_is\\_MPPT.pdf](http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPPT.pdf)>. Luettu 24.9.2016.
- 21 ST 55.33 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. 2013. Verkkodokumentti. Sähkötieto ry. <[https://serveri-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/pdfget/3600#search= ST 55.33 Aurinkoenergiaa hyodyntavat laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sahkonjakelujarjestelmaan](https://serveri-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/pdfget/3600#search=ST%2055.33%20Aurinkoenergiaa%20hyodyntavat%20laitteet%20ja%20niiden%20liittaminen%20rakennuksen%20sahkonjakelujarjestelmaan)>. Luettu 27.9.2016.
- 22 Mikrotuotannolla sähköä oman kodin tarpeisiin. 2016. Verkkodokumentti. Caruna Oy. <<https://www.caruna.fi/tietoa-ja-ohjeita/nain-tuotat-oman-sahkosi/mikrotuotanto>>. Luettu 28.9.2016.
- 23 Aurinkosähkön ja muun uusiutuvan sähkön pientuotannon edistäminen Suomessa. 2012. Verkkodokumentti. Sitra. <[https://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/sahkon\\_pientuotanto\\_keskustelupaperi\\_2012-9-3.pdf](https://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/sahkon_pientuotanto_keskustelupaperi_2012-9-3.pdf)>. Luettu 29.9.2016.

- 24 Ylijäämä­sähk­ön myynti Ylijäämä­sähk­ön myynti. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[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)>. Luettu 29.9.2016.
- 25 Aurinkosähk­öjärjestelmän mitoitus. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus)>. Luettu 29.9.2016.
- 26 Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen\\_perustuva\\_mitoitus](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus)>. Luettu 29.9.2016.
- 27 Mitoitusmenetelmiä. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia)>. Luettu 29.9.2016.
- 28 Aurinkopaneelien asentaminen. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[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)>. Luettu 3.10.2016.
- 29 Photovoltaic Geographical Information System. 2016. Verkkotietokanta. European Commission. Joint Research Centre <<http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>>. Luettu 3.10.2016.
- 30 Mikro­tuotannon liittäminen sähköverkkoon, Verkostosuositus YA9:09. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <[http://energia.fi/sites/default/files/mikro-tuotannon\\_liittaminen\\_verkostosuositus\\_lopullinen\\_paivitetty\\_20160427.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/mikro-tuotannon_liittaminen_verkostosuositus_lopullinen_paivitetty_20160427.pdf)>. Luettu 14.10.2016.
- 31 Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon - Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. 2016. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <[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)>. 14.10.2016.
- 32 Lightning and surge protection for rooftop photovoltaic systems. 2014. Verkkodokumentti. DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG. <<https://www.dehn-international.com/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/lpg-chapters/chapter9-18.pdf>>. Luettu 12.11.2016.
- 33 Juntunen Jouni. Jalas Mikko. Auvinen Karoliina. FinSolar-hanke. Kiinteistön aurinkosähk­öjärjestelmän kannattavuuslaskuri. 2016. Excel-työkirja. <<http://www.finsolar.net/wp-content/uploads/2015/11/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6n-kannattavuuslaskuri-v112015.xlsx>>. Luettu 18.9.2016.

## Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

### MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 100 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

#### 1. YHTEYSTIEDOT

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

#### 2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Biokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja	Verkkoonliitännälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) määrä ja malli				
Tuotantolaitteiston nimellisteho	kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta <input type="text"/> A (laitoksen suurin mahdollinen virta)			
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, 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 vaihtoehdoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytketymisajat

<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset (sama kuin Energiateollisuus ry:n suositus 2016, tekninen liite 1)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<i>HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytyy myös lomakkeen kohta 7.</i>
<i>HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä</i>	

##### 3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

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

#### 4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkävä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan. Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on pyydettyessä toimitettava verkonhaltijalle.

#### 5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja
-------------

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat verkkoyhtiöltäsi.

#### 6. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys
<input type="text"/>	<input type="text"/>

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

#### 7. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat

*HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Jokin muu*

Verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:						
Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1			
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*			
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1			
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*			
* jos on						
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palauduttua					<input type="text"/>	s
Saarekekäytönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika						
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty						