

Ville Kulmala

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ OMAKOTITALOSSA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ OMAKOTITALOSSA

Kulmala, Ville
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014
Ohjaaja: Asmala, Hannu
Sivumäärä: 46
Liitteitä: 6

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneeli, aurinkosähköjärjestelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää työn tilaajalle verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän rakenne, toimintaperiaate sekä käytettävyys Suomessa. Työssä selvitetään verkkoon kytkettävälle aurinkosähköjärjestelmälle asetetut vaatimukset ja määräykset.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen on erittäin tärkeä asia järjestelmää hankkiessa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja mitoittaa oikean kokoinen sekä kustannustehokas järjestelmä rakennuksen tarpeisiin nähden. Työssä tutkittiin myös kohteeseen suunniteltavan järjestelmän kustannuksia, kannattavuutta sekä järjestelmän takaisinmaksuaikaa.

Työn lopputulosten pohjalta tilaajalla on hyvät pohjalaskelmat aurinkosähköjärjestelmän kustannuksiin liittyen. Tarkalleen kohteeseen tehtyjen tutkimusten pohjalta tilaajan on helpompi arvioida järjestelmän kannattavuutta omalta kannaltaan.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A DETACHED HOUSE

Kulmala, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2014

Supervisor: Asmala, Hannu

Number of pages: 46

Appendices: 6

Keywords: solar energy, solar panel, photovoltaic system

The purpose of this thesis was to investigate and find out the structure of the grid-connected photovoltaic system, working principle and usability in Finland. This thesis points out the requirements and the regulations for the grid-connected photovoltaic system.

When purchasing photovoltaic system, one of the most important things is proper measurements and sizing. The purpose of this project was to design and decide on the right size as well as a cost-effective system for building needs. In addition, the planned system costs, profitably, and the system payback time were studied.

Due to the findings of this thesis the client for the possible has a good basic knowledge on costs that photovoltaic system would require. The findings are based on the client's requirements and therefore supplies him with the possibility to assess the profitability of the system from his point of view easily.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOSÄHKÖ.....	7
2.1	Auringosta saatava energia	7
2.1.1	Säteily Suomessa	8
2.2	Saatavan säteilyn tehostamisen keinot.....	9
2.3	Aurinkosähkön käyttötavat	12
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	13
3.1	Aurinkopaneeli.....	14
3.1.1	Aurinkokenno	15
3.1.2	Aurinkokennotyypit.....	16
3.1.3	Aurinkokennon toimintaperiaate	17
3.1.4	Aurinkopaneelin ominaiskäyrä.....	18
3.1.5	Aurinkopaneelien teho ja energia.....	19
3.2	Säätöjärjestelmä ja akusto.....	20
3.3	Invertteri.....	21
3.4	Järjestelmän toimintaperiaate.....	21
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ OMAKOTITALOUDESSA.....	22
4.1	Mikrotuotannon määritelmä.....	22
4.2	Sopimukset ja luvat.....	22
4.3	Määräykset jakeluverkon rinnalle liitettävään aurinkosähköjärjestelmään	23
4.3.1	Jakeluverkonhaltijalle toimitettavat tiedot	24
4.3.2	Laitteistoon liittyvät määräykset	25
4.3.3	Laitteiston ja jakeluverkon suojaus	25
4.3.4	Tuotetun sähkön laatuvaatimukset	27
4.4	Sähkön mittaus.....	27
4.5	Järjestelmän mitoitus	28
4.5.1	Järjestelmän valinta ja suuruus	29
4.5.2	Järjestelmän tehohäviöt.....	31
4.6	Laitteiston hankinta.....	32
4.7	Järjestelmän asennus	33
4.7.1	Paneelien suuntaus ja kiinnitys.....	35
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET	37
5.1	Järjestelmän hinta.....	37
5.2	Takaisinmaksuaika.....	38
5.2.1	Ylijäämäenergian myynti	41
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	42
	LÄHTEET.....	44

LITTEET

1 JOHDANTO

Auringon lämpödinreaktiossa syntyy energiaa, joka kohdistuu maapallolle säteilynä. Maan pinnalla säteily voidaan hyödyntää valosähköisen ilmiön avulla. Valosähköiseen ilmiöön perustuvat aurinkosähköjärjestelmät, joiden avulla saadaan tuotettua energiaa tarpeiden mukaan. Aurinkoenergiaa hyödynnetään vapaa-ajan asuntojen sekä erilaisten vapaa-ajan laitteiden sähköistyksessä. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää myös sähköverkon rinnalla toimivalla järjestelmällä, jonka avulla korvataan osuus ostettavasta sähköstä.

Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien määrä on kasvamassa ympäri Eurooppa. Aurinkopaneelit on otettu rakentamiseen mukaan ja on syntynyt niin sanottuja aurinkotaloja. Aurinkotaloissa aurinkopaneeleita integroidaan rakenteisiin esimerkiksi kattoon ja seiniin. Teknologian kehittyessä aurinkopaneelien hyötysuhteet tulevat kasvamaan paremmiksi sekä paneelien hinnat tulevat laskemaan. Investointien pienentyessä järjestelmien määrä tulee kasvamaan myös Suomessa.

Suomessa aurinkosähköstä on yleisesti ottaen vääristynyt kuva. Yleisenä oletuksena pidetään, että aurinko ei paista Suomessa tarpeeksi, jotta aurinkosähköjärjestelmistä olisi hyötyä. Tämä oletus on kuitenkin väärä, sillä esimerkkinä Saksassa aurinko paistaa lähes yhtä paljon verrattuna Suomeen, mutta Saksassa aurinkosähkön avulla tuotetaan noin 5 prosenttia koko sähköenergian tuotannosta.

Työn tavoitteena on tutkia ja selvittää työn tilaajalle verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate sekä käyttömahdollisuudet. Lisäksi työssä tullaan selvittämään aurinkosähköjärjestelmälle asetetut vaatimukset ja määräykset, kun järjestelmä liitetään yleiseen sähköverkkoon. Työn tarkoituksena on suunnitella ja mitoitaa oikean kokoinen sekä kustannustehokas järjestelmä rakennuksen tarpeisiin nähden. Työssä selvitetään myös kohteeseen suunniteltavan järjestelmän kustannukset, kannattavuus sekä järjestelmän takaisinmaksuaika.

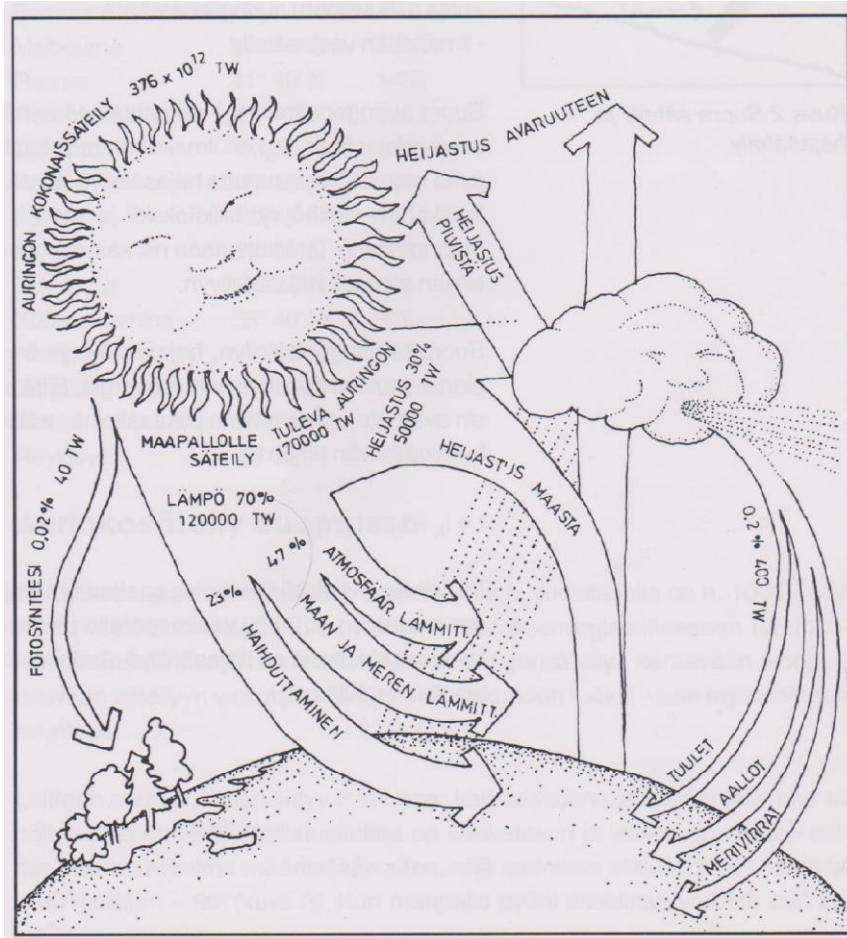
2 AURINKOSÄHKÖ

Auringossa tapahtuvasta lämpödynreaktiosta syntyy energiaa, joka vaikuttaa maapallolle säteilyinä. Tästä säteilystä maahan kohdistuva osuus on 2000 kertaa enemmän, kun ihmiskunnan aiheuttama energiankulutus. Aurinkoenergian hyödyntäminen aktiivisesti tapahtuu aurinkosähköjärjestelmien avulla. Aurinkosähköjärjestelmissä aurinkokennot muuttavat niihin kohdistuvan säteilyn energiaksi valosähköisen ilmiön (Photovoltaic effect) avulla. Kytkemällä aurinkokennoja sarjaan tai rinnan voidaan muodostaa erikokoisia aurinkopaneeleita. (Aurinkoenergia.fi www-sivut. 2014.)

Suomessa aurinkoenergian käyttämisen sähköntuotannossa odotetaan kasvavan tulevaisuudessa huomattavasti. Aurinkosähkön hyödyntäminen on nostamassa suosioaan, koska järjestelmän ostokustannukset ovat olleet laskussa viime vuosina. Tyypillisesti aurinkoenergiaa hyödyntäviä järjestelmiä on käytetty vain kohteissa, joissa sähköverkkoa ei ole saatavissa esimerkiksi kesämökit, veneet sekä saaristo- ja erämaakohteet. Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen yleiseen sähköverkkoon on kuitenkin yleistymässä johtuen aurinkosähköjärjestelmän ja yleiseen verkkoon kuuluvan järjestelmän helposta sovittamisesta. (Motivan www-sivut. 2014.)

2.1 Auringosta saatava energia

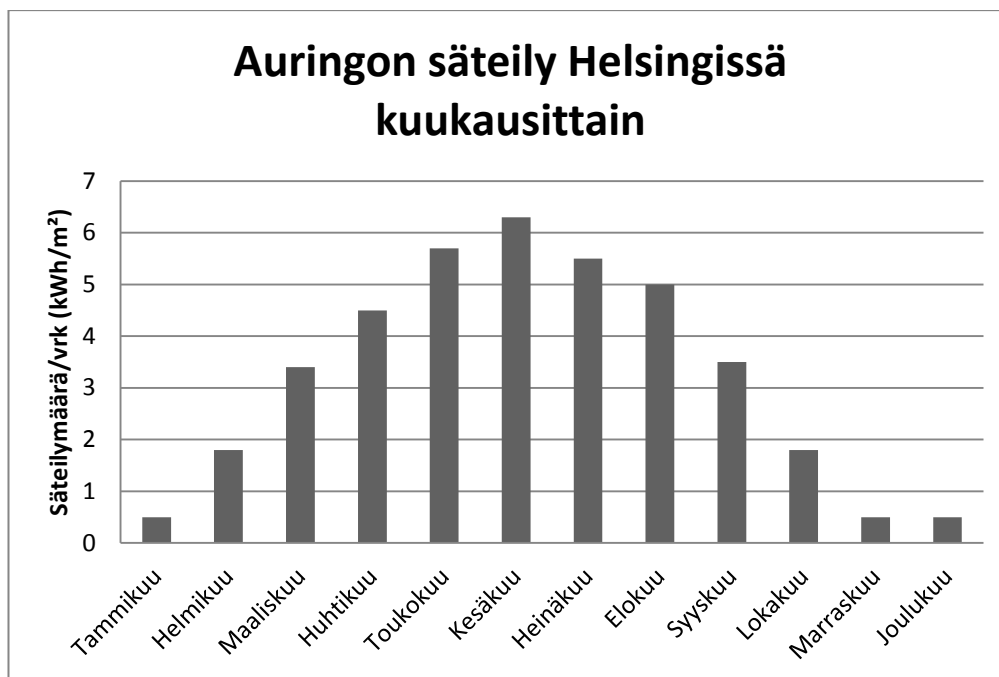
Auringossa tapahtuvassa lämpödynreaktiossa eli fuusiossa vapautuu energiaa, josta saadaan auringon kokonaisteho, joka on $3,8 * 10^{23}$ kW. Ilmakehässä tapahtuvan säteilyn hajoamisen ja heijastumisen johdosta maapallolle lankeava osuus on kuitenkin $1,7 * 10^{14}$ kW. Maapallon ulkopinnalle saapuvan auringonsäteilyn teho on 1,33-1,4 kW/m². Arvo saadaan käsitteestä aurinkovakio, jolla tarkoitetaan säteilyä vastaan kohtisuorassa olevan neliömetrin pinnalle saapuvaa energiamäärää yhdessä sekunnissa. Ulkopinnalle saapuvasta tehosta noin 70% saapuu maan pinnalle. Välittömällä aurinkovakiolla tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka ilmakehässä tapahtuvien vaikutusten jälkeen kohdistuu maan pinnalla tietylle pinta-alalle sekunnissa. Välitön aurinkovakio on keskellä kirkasta päivää noin 0,8-1,0 kW/m². (Hietalahti 2013, 66)



Kuva 1. Maapallolle tulevan auringonsäteilyn määrä (Erat ym. 2008, 11)

2.1.1 Säteily Suomessa

Auringon säteilyn määrässä Suomen sisällä on vaihteluita. Suomessa auringonsäteily on vuositasolla noin 800 - 1000 kWh/ m². Kuvaajassa 1. on esitetty säteilyenergian määrä päivässä tietyssä kuukaudessa paneelin ollessa 45° kulmassa horisonttiin nähden. Paneelit suunnataan 45° kulmaan, jotta kesäkuukausien aikana saadaan paras mahdollinen hyöty paneeleista. Aurinkopaneeleihin osuvaan säteilyyn vaikuttaa säteilyvoimakkuuden lisäksi ainoastaan paneelien suuntaus. (Hietalahti 2013, 66)



Kuvio 1. Auringonsäteilyn määrä kuukausittain (Erat ym. 2008, 16)

2.2 Saatavan säteilyn tehostamisen keinot

Kuten aiemmin mainittiin, paneeleihin osuvaa säteilyä voidaan tehostaa ainoastaan paneelien suuntauksella. Vuodenajoista johtuen auringonsäteilyn määrät vaihtelevat Suomessa suuresti. Aurinkopaneeleita asentaessa tulee kiinnittää huomiota suuntaukseen ja sijoittamiseen, jotta paneeleista saadaan paras mahdollinen hyöty irti. Talvella auringon ollessa matalalla varjot ovat pidempiä kuin kesällä, joten paneelit tulee sijoittaa mahdollisimman korkealle ja kauas lähimmistä puista tai muista varjoa tekevistä esteistä. (Erat ym. 2008, 15)

Aurinkosähköpaneeleita voidaan kyllä asentaa talon lähelle erilliselle telineelle, jolloin voidaan varmistaa, ettei lähellä ole puita tai muita varjostavia tekijöitä, mutta yleisimmin paneelit kuitenkin asennetaan talon katolle, joka tarjoaa parhaimman, taloudellisimman ja varmimman paikan. (Erat ym. 2008, 134)

Paneelien sijoittamisessa tulee kiinnittää huomiota siihen, että paneelit sijoitetaan varjottomaan paikkaan. Koko paneelin tai paneeliston tulee saada tasaisesti säteilyä. Aurinkosähköpaneelien kennojen sarjakytkentöjen takia mikään kenno ei saa jäädä varjoon, koska se estäisi täydellisen virrankulun paneelissa. Mikäli varjostuksia ei

pystytä estämään, voidaan järjestelmän paneelipinta-alaa suurentaa, jotta se tuottaisi tarvittavan energiamäärän. (Erat ym. 2008, 15)

Kiinteästi asennettavat aurinkopaneelit suunnataan yleensä etelään, jos paneeleita ei voida suunnata etelään jonkun varjostavan tekijän johdosta, voidaan paneelit suunnata myös länteen tai itään. Energian tuotto jää kuitenkin pienemmäksi kuin optimaalisella suuntauksella. Paneeleita suunnatessa tulee kuitenkin miettiä mihin ajankohtaan järjestelmän kuormitushuippu sijoittuu. Mikäli kuormitushuippu on aamulla, paneelit kannattaa suunnata itää. Kuormitushuipun sijoituessa iltaan voidaan paneelit suunnata länteen. (Erat ym. 2008, 15)

Säteilyn maksimoimiseksi paneelin suuntaukseen liittyy kaksi olennaista kulmaa: kallistuskulma, jolla tarkoitetaan vaakatason ja laitetasen välistä kulmaa sekä atsimuuttikulma, jolla tarkoitetaan paneelin poikkeama etelästä. (Erat ym. 2008, 13)

Järjestelmän ympärivuotisen tuoton optimoimiseksi atsimuuttikulma voi vaihdella +/- 45° etelästä. Tällöin häviöt jäävät noin 7%:iin, jos kyseessä on kesäajan optimointi häviöt ovat vielä pienemmät. Atsimuuttikulman poikkeama itään päin etelästä merkitään negatiivisena ja länteen päin etelästä positiivisena. (Erat ym. 2008, 15)

Kallistuskulman oikealla valinnalla on tärkeä merkitys aurinkopaneelistä saatavaan tehoon. Aurinkopaneelistä saadaan paras teho silloin, kun säteily osuu paneeliin 0 asteen tulokulmassa. Toisin sanoen paras teho saadaan, kun säteily osuu aurinkopaneeliin kohtisuorasti. Tehon maksimoimiseksi paneelin kallistuskulmaa pitää säätää vuoden ajan mukaan, koska auringon korkeus horisonttiin nähden vaihtelee eri vuoden aikoina. Paras kallistuskulma on noin 45°. Talvella kallistuskulman tulee olla leveysaste + 15-20° eli käytännössä pystysuorassa. (Erat ym. 2008, 15-16)

Seuraavassa taulukossa esitetään miten kallistuskulman muuttaminen vaikuttaa saatavan säteilyn määrään eri kuukausina. Taulukosta 1 voidaan huomata, kiinteään kulmaan ja etelään päin asennetun aurinkopaneelin vuosittaisen tuoton kannalta 45° kulma on kannattavin vaihtoehto.

Taulukko 1. Säteily/vrk eri kallistuskulmilla, suuntaus etelään (kWh/m²/päivä) (Erat ym. 2008, 16)

Kuukausi	30°	45°	90°
Tammikuu	0,4	0,5	0,5
Helmikuu	0,5	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	5	3,6
Syyskuu	3,3	3,5	3
Lokakuu	1,6	1,8	1,7
Marraskuu	0,5	0,5	0,5
Joulukuu	0,4	0,5	0,6

Säteilyä voidaan maksimoida myös erilaisilla seurantalaitteilla. Yleensä aurinkopaneelit asennetaan kiinteäkulmaisena, mutta silloin ei pystytä hyödyntämään kaikkea mahdollista säteilyä. Auringon liikkuessa tulokulma on yleensä suuri, vaikka optimi on 0°. Seurantalaitteet tuottavat lisäenergiaa seuraamalla auringon liikettä tavalla, jotta säteilyn tulokulma pysyisi pienenä. Seurantalaitteita on markkinoilla 3 erilaista tyyppiä. (Erat ym. 2008, 16)

Kahden akselin seuranta: Seurantalaite säätää kallistuskulmaa sekä atsimuuttikulmaa siten, että tulokulma on lähellä 0°. Atsimuuttiseuranta: Kallistuskulma pidetään kiinteänä, mutta seurantalaite kääntyy suunnan mukaan (idästä länteen). Yhden akselin seuranta: Laite kääntyy akselinsa ympäri, joka on samassa tasossa aurinkopaneelin kanssa. (Erat ym. 2008, 16)

Kahden akselin seurantalaitteen avulla saadaan kerättyä eniten säteilyä. Korkeilla leveysasteilla atsimuuttiseuranta tuottaa säteilyä hieman enemmän kuin yhden akselin seuranta. Matalilla leveysasteilla taas yhden akselin seuranta tuottaa enemmän säteilyä kuin atsimuuttiseuranta. Talviaikaan seurantalaite ei juuri tehosta säteilyn keräämistä johtuen päivän lyhyydestä. (Erat ym. 2008, 17)

Kesäaikana seurantalaitteella voidaan teoreettisesti nostaa tuottoa jopa 30-60%. Useimmiten seurantalaite vaatii kuitenkin energiaa toimiakseen. Käytännössä kahden akselin seurantalaite tuottaa lisäenergiaa noin 30%. (Erat ym. 2008, 17)

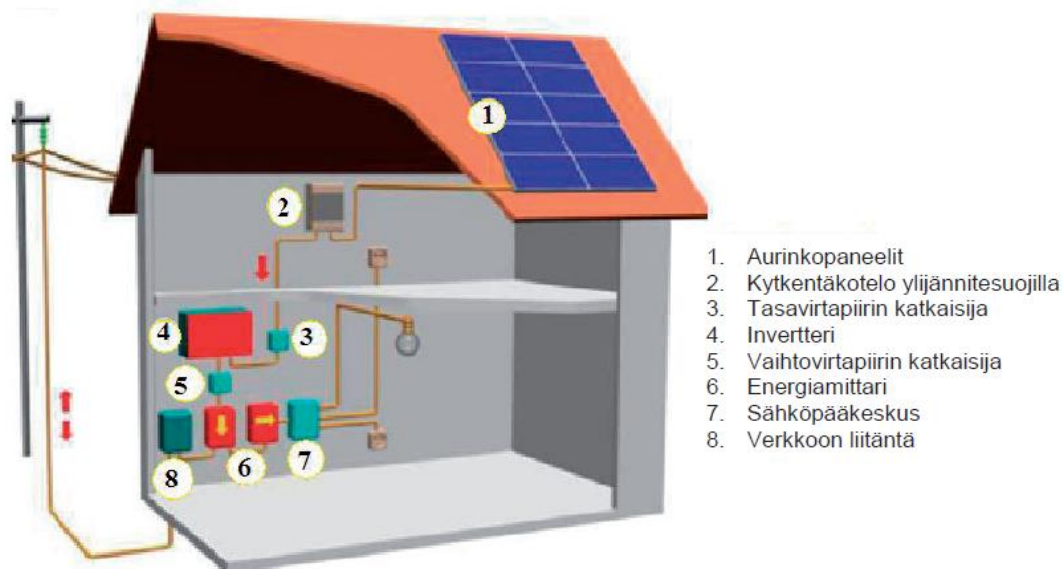
2.3 Aurinkosähkön käyttötavat

Aurinkosähköä voidaan käyttää monien erilaisten kohteiden sähköistykseen. Yleisimpiä kohteita ovat kesämökit, joissa aurinkosähkön tuottaminen on autonomista esimerkiksi siksi, että sähköverkkoa ei ole saatavissa syrjäisestä sijainnista johtuen. Kesämökeillä aurinkosähköä voidaan käyttää esimerkiksi jääkaapin tai kahvinkeitin käyttämiseen. Yleisimmät mökille tarkoitetut pienjännitelaitteet toimivat 12 V järjestelmissä. Aurinkosähköjärjestelmää voidaan myös hyväksikäyttää veneissä ja asuntovaunuissa. (Pistokkeen www-sivut. 2014.)

Aurinkosähköä voidaan käyttää myös rakennuksien sähköistyksessä, joka onkin yleistymässä teknologian kehittyessä ja järjestelmien hintojen laskiessa. Esimerkiksi omakotitaloudessa tuotettua aurinkosähköä voidaan käyttää tarvittavien toimenpiteiden jälkeen yleisestä sähköverkosta tulevan sähkön lisäksi tai korvata ostettava sähkö. Aurinkopaneeleita voidaan käyttää myös rakennusten julkisivuihin integroituna. Aurinkopaneeleita voidaan integroida joko rakennusten kattoihin tai seiniin, jolloin aurinkosähkösovellus ei tarvitse maapinta-alaa. Aurinkopaneelit rakennuksen julkisivumateriaalina luo arkkitehtonisia mahdollisuuksia ja onkin yleistyvänä trendinä Euroopassa, Japanissa sekä Pohjois-Amerikassa. (Erat ym. 2008, 119)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

Aurinkosähköjärjestelmä on kokonaisuus mikä koostuu erilaisista komponenteista. Tärkeimpänä osana järjestelmää ovat aurinkopaneelit, joiden avulla auringon säteilystä saatava energia voidaan muuttaa sähköenergiaksi. (Aurinkopaneelit.net www-sivut. 2014)



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit (Naps Systems Oy. 2014)

Aurinkosähköjärjestelmät luokitellaan kahteen ryhmään käyttötapojen mukaan: Autonomisiin eli omavaraisiin järjestelmiin ja verkkoon kytkettyihin järjestelmiin. Omavaraisissa aurinkosähköjärjestelmissä tarkoituksena on tuottaa sähköä tarvittaviin käyttökohteisiin esimerkiksi siksi, että kohteeseen ei ole saatavilla sähköä suoraan yleisestä jakeluverkosta. Suomessa omavaraisia aurinkosähköjärjestelmiä käytetään enimmäkseen vapaa-ajan asunnoilla. Mahdollisia omavaraisten järjestelmien käyttökohteita ovat myös veneet ja asuntovaunut, jossa saatavaa aurinkosähköä voidaan käyttää esimerkiksi valaistukseen tai akkujen lataamiseen. Omavaraisessa järjestelmässä tärkeänä osana aurinkopaneelien lisäksi on akusto, johon tuotettu sähkö voidaan varastoida. Akkuihin voidaan ladata virtaa silloin, kun aurinkosähköä tuotetaan enemmän kuin kulutetaan. Sähkön varastointi akkuihin mahdollistaa ladatun sähkön käyttämisen silloin, kun aurinkosähköä ei ole saatavilla, esimerkiksi yöaikaan. 12/24V-omavaraisen sähköjärjestelmän avulla voidaan syöttää suoraan tasa-kuormia. Kuormaksi käyvät 12/24V-tasajännitteellä toimivat laitteet. Vapaa-ajan

asunnoissa tällaisia käyttökohteita voivat olla esimerkiksi valaistus, jääkaappi, kahvinkeitin ja vesipumppu. (Huoltodatan www-sivut. 2014.)

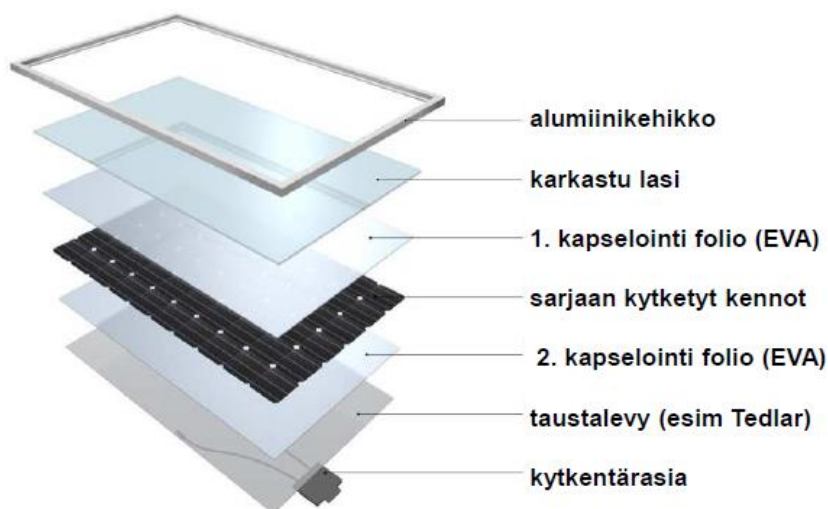
Verkkoon kytketty 230 V- aurinkosähköjärjestelmä eroaa omavaraisesta järjestelmästä niin rakenteeltaan kuin myös käyttötarkoitukseltaan. Verkkoon kytkettyyn järjestelmään liitetään harvemmin akustoa ja siihen liittyvää lataussäädintä. Tilanteessa, jossa aurinkosähköä tuotetaan enemmän kuin käytetään, on verkkoon kytketyssä järjestelmässä mahdollisuus siirtää ylijäämäsähköä takaisin verkkoon. Verkkoon kytketyssä järjestelmässä tulee myös olla vaihtosuuntaaja, jonka avulla aurinkopaneelin tuottama virta voidaan muuttaa käyttöön sopivaksi. 230 V - järjestelmässä aurinkopaneelilla tuotettua sähköä käytetään yleisestä jakeluverkosta ostetun sähkön lisäksi omakotitalon sähköistyksessä. Verkkoon kytketyn järjestelmän tarkoituksena on tuottaa omavaraista sähköä korvaamaan ostosähkö, jolloin säästetään sähkölaskuissa. (Aurinkopaneelit.net www-sivut. 2014)

3.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli on aurinkosähköjärjestelmän osa, joka muuttaa auringon säteilyn sähköksi valosähköisen ilmiön avulla. Aurinkopaneelit luokitellaan niiden sähkötehon tuotannon mukaan, yleisimmin aurinkopaneelien tuottama teho vaihtelee 100W-500W välillä. Aurinkopaneelien hyötysuhteet vaihtelevat 10% ja 20% välillä, mutta paneelien kehittyessä hyötysuhteet tulevat kasvamaan. (Aurinkopaneelit.net www-sivut. 2014.)

Aurinkopaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän komponentteja, jotka koostuvat lasilevystä, alumiinikehyksestä sekä sähköisesti kytketyistä aurinkokennoista. Aurinkopaneeli muodostetaan kytkemällä sarjaan tarpeellinen määrä aurinkokennoja halutun jännitteen saavuttamiseksi. Yleisimmin aurinkopaneeliin sarjaankytketään 30-36kpl aurinkokennoja 12 V:n jännitteen saavuttamiseksi. Aurinkopaneeli yhdistetään sähköjohtimilla kuormaan, jolloin syntyy virtapiiri, missä sähkövirta kulkee. Piirissä kulkevan virran suuruus on suoraan verrannollinen auringon säteilyn voimakkuuteen. (Erat ym. 2008, 126)

Aurinkopaneeliin rakenne



Kuva 3. Aurinkopaneelin rakenne. (Jodat Ympäristöenergia Oy. 2012.)

3.1.1 Aurinkokenno

Aurinkokenno on puolijohdekomponentti, jonka toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Aurinkokenno muuttaa auringon säteilyenergian sähköenergiaksi. Valosähköiseen ilmiöön perustuen aurinkokennot tuottavat tasasähköä lähes säteilytehonsa verran. Rakenteeltaan aurinkokenno koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joita erottaa rajapinta. Kerrokset koostuvat kahdesta erilaisesta puolijohdemateriaalista. Toinen materiaaleista on p-tyyppinen ja toinen n-tyyppinen puolijohde. P-tyypin materiaali on positiivisesti varautuneeksi seostettu, jolloin sen atomeilla on radoillaan elektronivajausta eli ns. aukkoja. N-tyypin materiaali taas on seostettu negatiiviseksi, jolloin sillä on ylimääräisiä elektroneja, jotka pääsevät liikkumaan aineessa vapaasti. Aurinkosähkökennon koko on tavallisesti noin 10cm * 10cm ja paksuus 0,1 - 0,4 mm. Se tuottaa valaistuna noin 0,5 V:n tasajännitteen, virtaa kennosta saadaan tietty määrä riippuen säteilytehosta sekä kennon pinta-alasta. (Erat ym. 2008, 11) (Hietalahti 2013, 67-68)

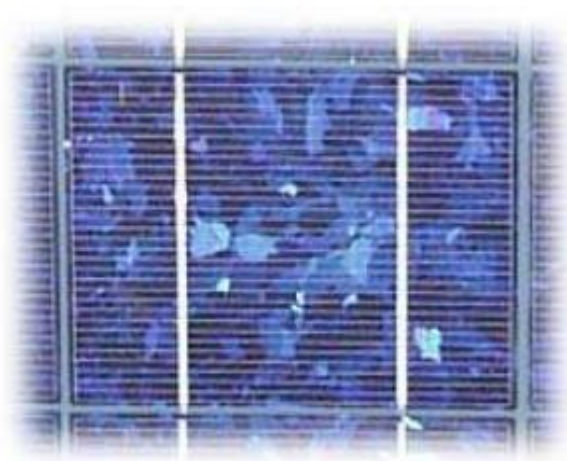
3.1.2 Aurinkokennotyypit

Yleisin materiaali aurinkokennoissa on pii (Si), jota käytetään yksi- ja monikiteisinä sekä amorphisessa muodossa. Yksikiteisestä piistä (crystalline silicon, c-Si) valmistettujen aurinkokennojen tyypillinen hyötysuhde on noin 12-16%. Yksikiteisestä piistä valmistetuilla aurinkokennoilla on kuitenkin päästy myös parempiin hyötysuhde-arvoihin (jopa 25%). Tällaisten aurinkokennojen rakenne on kuitenkin monimutkainen ja sen valmistuskustannukset ovat varsin korkeat. Yksikiteisestä piistä valmistettujen kennojen tuottama sähköteho on noin 140W/m². (Aarnio. 2014.)



Kuva 4. Yksikiteinen piikenno (Sunteknon www-sivut. 2014.)

Monikiteisestä piistä (multicrystalline silicon mc-Si) valmistetut aurinkokennot ovat hyötysuhteeltaan hieman yksikiteisestä piistä valmistettuja kennoja huonompia, noin 11-15% luokkaa, mutta niiden valmistusprosessi on helpompi ja kustannukset ovat huomattavasti pienemmät. Monikiteisen piin valmistusprosessissa sulatettu pii saateetaan kiinteään olomuotoon. Tällaisten kennojen tuottama sähköteho on noin 125W/m². (Aarnio. 2014.)



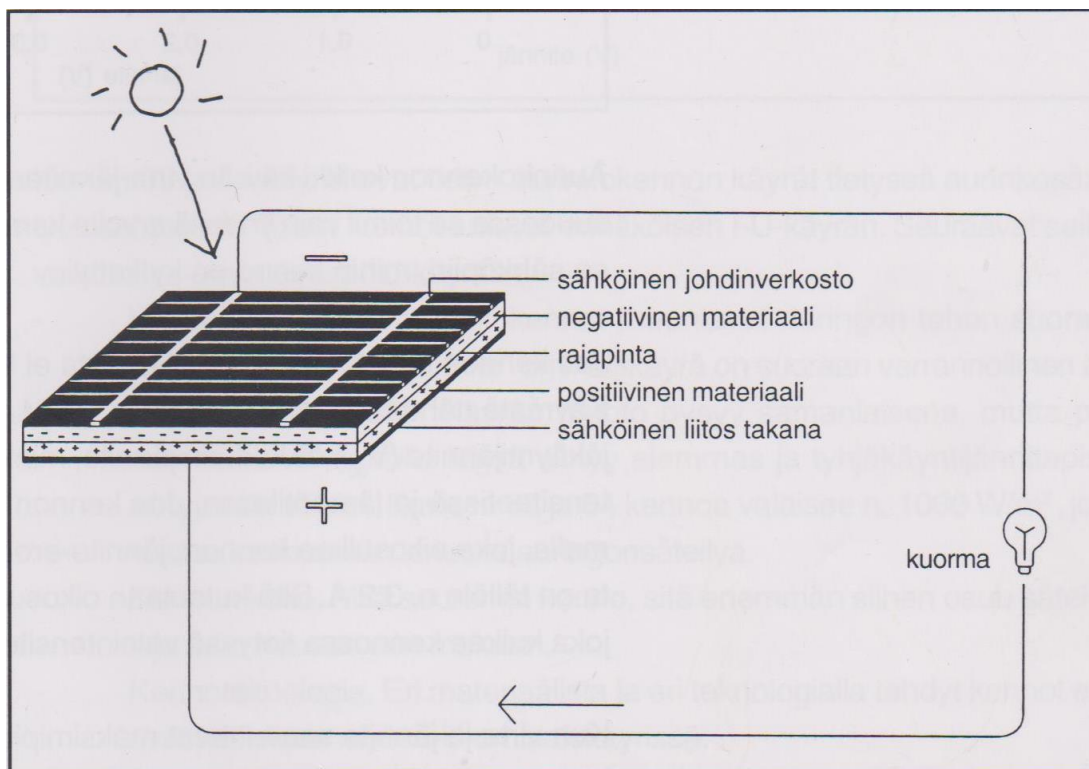
Kuva 5. Monikiteinen piikkenno (Sunteknon www-sivut. 2014.)

Aurinkokennoissa voidaan käyttää myös ohutkalvoteknologiaa. Ohutkalvoteknologia onkin ajanut piistä valmistettujen kennojen määrää kiinni, johtuen vähäisestä materiaalarpeesta ja puolijohdeteknologian kehittymisestä. Tärkeimmät ohutkalvoteknikat muodostuvat metalli-puolijohdeyhdisteistä kalium-telluridi (Cd-Te) ja kupari-indium-diselenidi (CuInSe₂). Amorphinen pii (amorphous silicone, a-Si) lasketaan myös ohutkalvotekniikkaan, koska sillä ei ole lainkaan kiteistä rakennetta. Amorphisesta piistä valmistettujen kennojen hyötysyhte on vain noin 6-8% ja sähkötehoa tuottaa huomattavasti kiteisestä piistä valmistettuja kennoja vähemmän, noin 65W/m². Ohutkalvotekniikkaa käyttävien kennojen hyötysuhteet ovat huonompia, kuin kiteisestä piistä valmistetuilla. Parhaat saadut hyötysuhteet ovat: Cd-Te 16%, CIS 18%, a-Si 13%. (Aarnio. 2014.) (Erat ym. 2008, 68)

3.1.3 Aurinkokennon toimintaperiaate

”Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi, jossa on yhdistetty kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia p-tyyppi ja n-tyyppi. Valon kohdistuessa aurinkokennoon osalla fotoneista on niin suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen. Tästä aiheutuu puolijohdemateriaaliin elektroni-aukkopareja. Lähelle pn-liitosta muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot kulkeutuvat p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. Elektronien täytyy kulkea ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen (esitetty kuvassa 6.), jossa ne voivat yhdistyä puoli-

johteeseen kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Näin johtimeen saadaan sähkövirta. Valaistun liitoksen eri puolilla on jatkuvasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat jolloin liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä.” (Sunteknon www-sivut. 2014.)



Kuva 6. Aurinkokennon toimintaperiaate ja rakenne (Erat ym. 2008, 121)

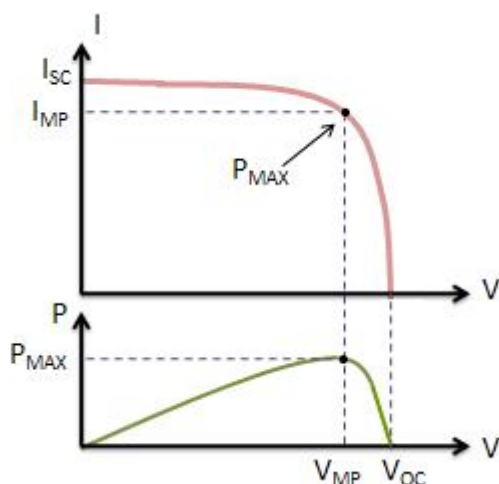
3.1.4 Aurinkopaneelin ominaiskäyrä

Aurinkopaneelin virta-jännite- ominaiskäyrän (IU-käyrän) avulla ilmoitetaan ne virran ja jännitteen arvot, joilla aurinkopaneeli voi toimia. Ominaiskäyrästä saadaan selville myös maksimitehopisteet eli ne paneelin virran ja jännitteen arvot, joilla saavutetaan suurin mahdollinen ulostuloteho kussakin käyttöolosuhteessa. (Samlexsolarin www-sivut. 2014.)

Aurinkopaneelien IU- ja tehokäyrässä käytettävät suureet:

- I_{sc} = Oikosulkuvirta. Oikosulkuvirralla tarkoitetaan sitä aurinkopaneelin tuottamaa enimmäisvirtaa, kun sen navat on kytketty oikosulkuun.

- V_{oc} = Tyhjäkäyntijännite. Puhutaan myös avoimen piirin jännitteenä. Tällä tarkoitetaan paneelin jännitettä silloin, kun kuorma ei ole kytkettynä.
- P_{max}/P_{mp} = Tehon maksimipiste. Piste, jossa paneelia kannattaa kuormittaa, jotta energiantuotanto saadaan maksimoitua.
- I_{mp} = Virta tehopisteessä
- V_{mp} = Jännite tehopisteessä



Kuva 7, Esimerkki aurinkopaneelin virtajännite- ja tehokäyrästä (Samlexsolarin [www-sivut. 2014.](http://www.sivut.2014))

Aurinkopaneelien IU-käyriä käytetään eri paneelien vertailussa, joten kaikki aurinkopaneelit testataan STC (Standard Test Conditions) olosuhteissa. STC olosuhteissa tehtyjen testien ansiosta ihmisten on helppo vertailla paneelien tuloksia luotettavasti. STC olosuhteissa säteilyteho on $1000\text{W}/\text{m}^2$, lämpötila on $+25^\circ\text{C}$ ja säteilyn jakauma AM1,5. Testaukset tehdään tehtailla keinotekoisissa olosuhteissa, jotta tulokset ovat mahdollisimman tarkkoja ja luotettavia (Amsolarin [www-sivut. 2014.](http://www.sivut.2014))

3.1.5 Aurinkopaneelien teho ja energia

Aurinkopaneelit luokitellaan eri kokoluokkiin niiden sähköisten ominaisuuksien perusteella. Tärkeimpiä tietoja paneelista ovat: teho, jännite sekä hyötysuhde. Aurinkopaneelin teho onkin asia, mitä paneelia hankittaessa katsotaan. Paneelin teho kertoo,

kuinka paljon se pystyy tuottamaan sähkötehoa. (Aurinkopaneelit.net www-sivut. 2014.)

Aurinkopaneelin tuottama teho voidaan laskea Joulen lain avulla.

$$P = U * I,$$

missä P on teho (W), U Jännite (V) ja I virta (A).

Aurinkopaneelin tuottama energia saadaan laskettua kertomalla saatu teho ajalla.

$$E = P * t,$$

missä E on tuotettu energiamäärä (kWh), P on tuotettu teho (W) ja t on aika (h)

(Sunteknon www-sivut. 2014.)

Aurinkopaneelin hyötysuhde η saadaan laskettua paneelin tuottaman tehon ja auringsäteilyn intensiteetin avulla.

$$\eta = \frac{P}{SA} * 100\%,$$

missä η on hyötysuhde prosentteina (%), P on teho (W), S on säteilyintensiteetti (W/m²) ja A on aurinkopaneelin pinta ala (m²). (Sunteknon www-sivut. 2014.)

3.2 Säätojärjestelmä ja akusto

Yleisesti omavaraisiin aurinkosähköjärjestelmiin kuuluu myös säätojärjestelmä sekä akusto, joiden avulla päivällä saatu energia voidaan varastoida ja käyttää pimeän ajan tarpeisiin. Järjestelmässä käytetään ohjausyksikköä eli lataussäädintä, jolla säädetään aurinkokennojen lataus-jännitettä ja virtaa. Lataussäädin estää akkujen ylilatauksen sekä vuotovirrat takaisin aurinkopaneeleille. Lataussäädin tulee valita akkujen jännitteen sekä aurinkopaneelin/paneelien maksimivirran mukaan. Aurinkopaneelin tuottaessa sähköä vain valoisana aikana, voidaan sähköä varastoida akkuun/akkuihin. Akku toimii siis järjestelmässä varastona, johon sähkö varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Ennen akkujen hankintaa täytyy selvittää päivittäinen sähköntarve sekä kuinka pitkän aikaa akkujen halutaan kestävän ilman latausta. Akkujen kapasiteetti on 50 Ampeeritunnista (Ah) yli 500Ah:n. (Huoltodatan www-sivut. 2014.)

3.3 Invertteri

Suomessa yleisestä sähköverkosta saatava sähkö on vaihtovirtamuotoista, jonka taajuus on 50 Hz. Aurinkogeneraattorit (aurinkopaneelit) taas tuottavat tasavirtamuotoista sähköä. Jos aurinkosähköjärjestelmä halutaan liittää rakennuksen verkkoon ja sitä kautta yleiseen sähköverkkoon, tulee tasasähkö muuttaa vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla vaihtosähköksi. Invertterillä tarkoitetaan elektronista laitetta, jolla muutetaan tasajännite halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Invertteri kytkee sille saapuvaa tasajännitettä ohjaussignaalin mukaan siten, että lähtöjännite saadaan taajuudeltaan ja aaltomuodoltaan vaihtosähköverkkoon sopivaksi. Vaihtosuuntaajassa kytkinelementteinä toimivat puolijohdekomponentit. Ohjaussignaali otetaan joko syöttävästä sähköverkosta tai se voidaan luoda invertterin sisäisellä oskillaattorilla. Invertteri on verkkoon kytketyssä järjestelmässä pakollinen komponentti. Invertteri muuttaa tasasähkö, jonka tulojännite voi olla 12 V, 24 V tai 48 V vaihtosähköön, jonka jännite on 110V tai 240V (Hietalahti 2013, 73) (Erat ym. 2008, 133)

Aurinkosähköjärjestelmiin suunnitelluissa inverttereissä on MPPT (Maximum Power Point Tracker) eli maksimitehopisteen seurantalaitte, jonka avulla aurinkosähköjärjestelmästä saadaan aina sen suurin mahdollinen teho irti. MPPT-laite pyrkii asettamaan aurinkopaneeliston toimintapisteen aina mahdollisimman lähelle maksimitehon pistettä. MPPT muuttaa siis tasajännitettä ja sitä kautta tasavirtaa, jotta järjestelmä toimisi lähellä optimaalista toimintapistettä. MPPT:n tärkeimpiä ominaisuuksia ovat sen nopeus ja tarkkuus. Häviöiden välttämiseksi on tärkeää, että pilvisellä säällä optimaalinen toimintapiste löytyy nopeasti. Auringon paistaessa taas on tärkeää, että toimintapiste löydetään mahdollisimman tarkasti parhaan säteilyn voimakkuuden hyödyntämiseksi. (Cullen. 2014, 1)

3.4 Järjestelmän toimintaperiaate

Yleiseen sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate on varsin yksinkertainen. Järjestelmään kuuluvat aurinkopaneelit tuottavat tasavirtamuotoista sähköä, määrä riippuu luonnollisesti saatavan säteilyn määrästä. Voidakseen käyttää saatua sähköä rakennuksen tarpeisiin, muutetaan tuleva tasavirtamuotoinen

sähkö invertterin avulla vaihtovirraksi. Muutoksen jälkeen vaihtovirta syötetään sähköpääkeskuksen kautta käytettäväksi sähköyhtiöltä ostetun sähkön lisäksi. Järjestelmän tuottama mahdollinen ylimääräinen sähkö syötetään valtakunnan verkkoon ja voidaan myydä sähköyhtiölle, edellyttäen, että asiasta on tehty sopimus. (Arokylä. 2013, 11)

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ OMAKOTITALOUDESSA

Tässä kappaleessa käsitellään aurinkosähköjärjestelmän toteuttamista omakotitaloon. Tarkemman tutkinnan kohteena on omakotitalo, joka sijaitsee Hämeenlinnassa.

4.1 Mikrotuotannon määritelmä

Mikrotuotannoksi kutsutaan useimmiten pienjänniteverkkoon, esimerkiksi omakotitalon yhteyteen kytkettyä aurinkosähköjärjestelmää, jonka tarkoituksena on tuottaa sähköä järjestelmän ollessa yhdistettynä yleiseen jakeluverkkoon. Mikrotuotannossa ”takaisin” verkkoon päin syöttäminen on vähäistä tai satunnaista. SFS-EN-50438 standardissa määritellään mikrotuotantolaitoksen maksimivirraksi 16 ampeeria. Mikrotuotannoksi lasketaan sähköverkkoon liitetty aurinkopaneeliryhmä, jonka näennäis-teho on enintään 50kVA (Motivan www-sivut. 2014.) (Fortumin www-sivut. 2014.)

4.2 Sopimukset ja luvat

Aurinkosähköjärjestelmää liitettäessä sähköverkkoon tehdään jakeluverkkoyhtiön kanssa liittymissopimus. Liittymissopimuksessa sovitaan seuraavat asiat:

- Liittymismaksu
- Sähköntuotantolaitteistolle asetettavat vaatimukset
- Sähköntuotantolaitteiston käyttö ja suojaus
- Teho- ja energia-arvojen rajat (Motivan www-sivut. 2012)

Tapauksessa, jossa aurinkosähköjärjestelmän avulla tuotetaan enemmän sähköä, kun kulutetaan, on sitä mahdollisuus myydä verkkoyhtiölle (riippuen vielä verkkoyhtiöstä). Mikäli ylijäämäsähköä halutaan myydä, on verkkoyhtiön kanssa tehtävä verkkopalvelusopimus. Verkkopalvelusopimuksella oikeutetaan myymään tuotettua sähköä ja syöttämään sitä sähkönjakeluverkkoon. Ennen sopimuksen tekemistä laitteiston tulee olla asennettu ja verkkoyhtiön hyväksymä. (Fortumin www-sivut. 2014)

Aurinkopaneeleita asennettaessa talon katolle tai seinään, tulee ottaa huomioon, ettei se vaikuta ympäristöön tai ole ulkonäöllisesti häiritsevä. Aurinkopaneelien asentaminen voi edellyttää toimenpidelupaa. Aurinkopaneelit on pääsääntöisesti asennettava katto- tai julkisivupinnan suuntaisesti. Toimenpidelupa myönnetään kunnan rakennusvalvonnasta. (Kantonen. 2012.)

Lupa järjestelmän liittämistä sähköverkkoon pitää aina pyytää alueella toimivalta verkkoyhtiöltä. Luvan saamiseksi tulee esittää käyttöönottopöytäkirja, jonka avulla verkkoyhtiö voi varmistua suojausten toimivuudesta. (Paavola. 2013, 12)

4.3 Määräykset jakeluverkon rinnalle liitettävään aurinkosähköjärjestelmään

Verkkoon liitettävälle tuotantolaitokselle on asetettu tiettyjä määräyksiä, jotka järjestelmän tulee täyttää ennen järjestelmän liittämistä verkkoon. Verkkoon liittämistä koskevat velvoitteet ja ohjeet tulee tarkistaa alueella toimivalta verkkoyhtiöltä. (Energiateollisuuden www-sivut. 2014)

”Tuotantolaitosten sähköverkkoliitännän ja sähköisten ominaisuuksien tulee täyttää sähköturvallisuusstandardien sekä sähkömagneettisten yhteensopivuus standardien vaatimukset.” Standardit täyttävillä laitteilla voidaan varmistaa sähköverkossa työskentelevien asentajien turvallinen työskentely sekä varmistetaan verkon jännitteen laadun pysyminen riittävän hyvänä. (Energiateollisuuden www-sivut. 2014)

4.3.1 Jakeluverkonhaltijalle toimitettavat tiedot

Mikrotuotantoon kuuluvasta eli nimellistehoaltaan alle 50kVA aurinkosähköjärjestelmästä täytyy toimittaa jakeluverkon haltijalle riittävästi tietoja, jotta jakeluverkon haltija voi suunnitella liittymän jakeluverkkoon, sekä toteuttamaan mahdolliset muutokset. Ennen järjestelmän liittämistä verkkoon tulee verkonhaltijalle toimittaa seuraavat tiedot:

- Laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta
- Liitäntälaitteen eli vaihtosuuntaajan tyyppitiedot
 - Vaihtosuuntaajan sopivuuden/kelpuutuksen voi kysyä sähköpostin välityksellä jakeluverkon haltijalta
- Suojauksen asetteluarvot sekä toiminta-ajat
 - Seuraavassa taulukossa on esitetty suojauslaitteiden vaadittavat asetteluarvot:

Taulukko 2. Tuotantolaitteiston suojauslaitteiden asetteluarvot (Lehto. 2013.)

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,2 s	$U_n + 10\%$
Alijännite	0,2 s	$U_n - 15\%$
Ylitaajuus	0,2 s	51Hz
Alitaajuus	0,2 s	48Hz
Saarekekäyttö	0,15 s	

- Erotuskytkimen sijainti
- Tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta
 - Menetelmä ja toiminta-aika (Lehto. 2013.)

Aurinkosähköjärjestelmän asennuksen jälkeen verkonhaltijalle tulee lähettää oikein täytetty yleistietolomake. Yleistietolomakkeen saa täyttää vai valtuutettu sähköura-koitsija. (Huttula & Herttua. 2013, 88)

Laitteistoa käyttöönottaessa tehtävän ilmoituksen mukana lähetettävillä dokumenteilla on tehty myös määrittämiä. Standardissa SFS-EN-62446 kerrotaan järjestelmän dokumentoinnille, käyttöönototesteille ja tarkastuksille annetut minimivaatimukset. Pääsääntöisesti ilmoituksen jakeluverkon haltijalle verkkoon liittymisestä tekee laite-

toimittaja. Aurinkosähkön tuottaja voi sopia asiasta laitetoimittajan kanssa tarjouspyynnön yhteydessä. (Kantonen. 2012.) (Paavola. 2013, 43)

4.3.2 Laitteistoon liittyvät määräykset

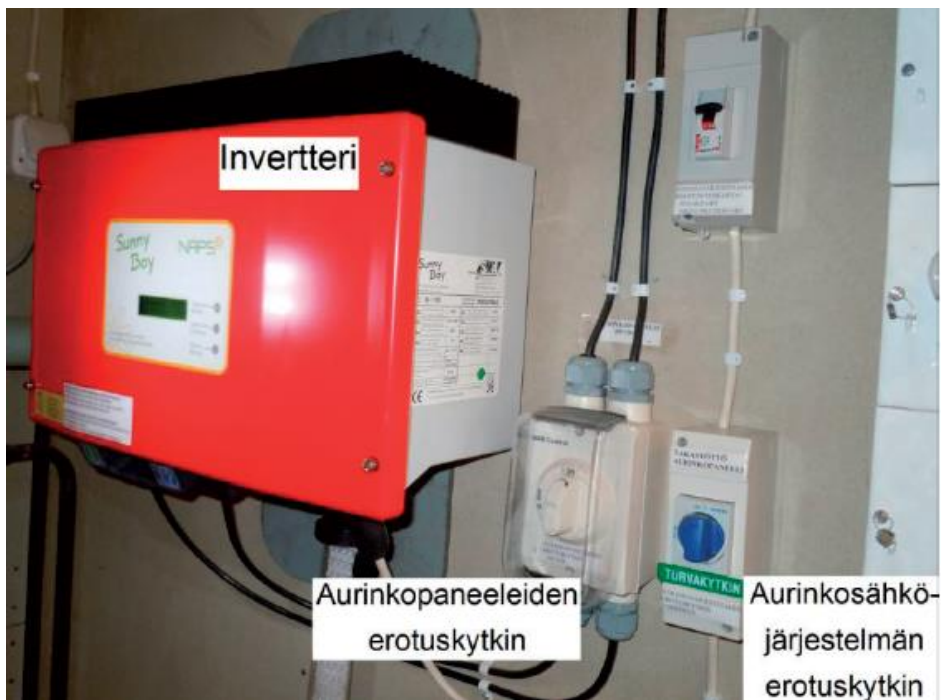
Aurinkosähköjärjestelmään liittyvän laitteiston tulee täyttää energiateollisuuden vaatimukset. Suomessa sopivia ovat Saksan mikrotuotantonormin VDE-AR-N-4105:2011 mukaiset laitteet sekä mikrotuotantostandardin SFS-EN-50438 mukaiset laitteet, Suomen asetusarvoilla. (Fortumin www-sivut. 2014)

Liitäntäkotelon ja jakokeskuksen on oltava standardin SFS-EN-60439-1 mukaisia. Paneeleissa käytettävien aurinkokennojen ominaisuudet määritellään standardissa SFS-EN-61215. (Kuronen. 2013.)

4.3.3 Laitteiston ja jakeluverkon suojaus

Järjestelmän suojauksesta tulee huolehtia asianmukaisilla suojauslaitteilla. Asianmukaisella suojauksella varmistetaan, ettei laitteisto rikkoudu sähköverkon häiriötilanteissa. Suojauksella varmistetaan myös se, että järjestelmä ei syötä verkkoon huonolaatuista sähköä. Aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähkön laadusta kerrotaan lisää kappaleessa 4.3.4. (Lehto. 2013.)

Yleiseen sähköverkkoon liitettävässä järjestelmässä tulee olla lukittava turvakytkin, jotta järjestelmä voidaan irrottaa nopeasti jakeluverkosta. Kytkin tulee sijoittaa paikkaan, johon on helppo sekä nopea pääsy ja kytkin tulee merkitä opastetarroin ja merkinnöin helpon tunnistamisen vuoksi. (Huttula & Herttua. 2013. 88) (Fortumin www-sivut. 2014.)



Kuva 8. Järjestelmän erotuskytkimille tulee olla esteetön pääsy. (Minna Paavola)

Aurinkosähköjärjestelmässä suojauksen tulee sisältää ainakin yli- ja alijännitesuojaus, yli- ja alitaajuussuojaus sekä ylivirtasuojaus. Näiden lisäksi käytännössä aina tulee olla maasulkusuojaus sekä yksinsyötön estävä suojaus. Useimmiten invertteri sisältävät tarvittavan suojauksen tuotantolaitoksen liittämiseksi verkkoon. Osa markkinoilla olevista inverttereistä sisältävät lukittavan erotusvälin, joka mikrotuotantolaitoksissa vaaditaan olevan. Invertterin täyttäessä irtikytkemisvaatimukset, erillistä suojauslaitetta ei tarvita. Aurinkosähköjärjestelmässä vaaditut suojaukset on esitetty kuvassa 10. (Paavola. 2013, 26, 47)

Aurinkosähköjärjestelmässä on oltava suojalaitteet, jotka estävät jakeluverkon saarekesyötön. Loss of Main- (LoM) eli saarekesyöttötilanteeksi kutsutaan tilannetta, jossa verkon jännite katoaa. Mikrotuotantolaitos ei saa koskaan jäädä yksin syöttämään muodostunutta saarekettä vaan sen tulee aina irrota verkosta LoM-tilanteessa. Saarekkeen muodostuminen on suuri turvallisuusriski verkkoasentajille. LoM-tilanteessa suojaus hoidetaan jännite- ja taajuusreleillä. ”Yleensä invertterit eivät kykene jäämään saarekekäyttöön, sillä ne tarvitsevat verkon jännitettä tahdistuakseen. Tällaiset verkkoonliitännälaitteet eivät tarvitse erillistä LoM-suojausta, mutta ne tulee kuitenkin testata myös LoM-tilanteessa.” (Paavola. 2013, 48)

Järjestelmän suojauksen toimivuus tulee aina varmistaa käyttöönottestauksella. Suojauksen toimivuuden varmistus tapahtuu toimittamalla verkkoyhtiölle invertterin valmistajan antama standardien mukainen tyyppikoestuspöytäkirja. (Paavola. 2013, 47)

4.3.4 Tuotetun sähkön laatuvaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua sähköä siirrettäessä jakeluverkkoon tulee järjestelmän haltijan huolehtia sähkön laadusta. Syötettävän sähkön tulee täyttää sähkön laatua koskevien standardien vaatimukset (mm. SFS-EN-50160, Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jännitevaatimukset.) Sähköntuotantolaitoksen haltijalla on vastuu laitoksensa tuottamasta sähköstä. Mikäli järjestelmän tuottaman sähkön laatu ei vastaa standardeja ja muita vaatimuksia, niin kyseisen järjestelmän haltija on vastuussa aiheuttamista vahingoista muille sähkökäyttäjille ja verkonhaltijalle. (Motivan www-sivut. 2014.)

Aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähkön laatua voidaan pitää parempana kuin tavallisesti sähköverkosta otettua yleissähköä. Korkeatasoisten invertterien tuottama siniaaltosähkö on puhdasta, koska kulutuspaikalla tuotettu sähkö ei ehdi saamaan häiriöitä siirrosta niin kuin käy normaalisti suurimuotoisen keskitetyn sähköntuotannon kohdalla. (Napssystemsin www-sivut 2014.)

4.4 Sähkön mittaus

Verkkosopimuksessa, jonka jakeluverkonhaltija ja sähköntuottaja tekevät sovitaan miten sähkön mittaaminen järjestetään. Sopimuksessa sovitaan myös mittauslaitteiden hankinnasta ja laitteiston kustannusten korvauksesta. Tarkasteltavassa kohteessa eli omakotitalossa liityntäpisteeseen liittyy sekä tuntienergiaperusteista sähköntuotantoa, sekä kulutusta. Tästä syystä liityntäpisteen mittauksen tulee olla kaksisuuntaista eli mittauslaitteeksi on hankittava kaksisuuntainen tuntitehomittari. Jakeluverkonhaltijan tulee määrittää loistehonmittaukseen liittyvät mittauslaitteet. (Elenian www-sivut. 2014.)

4.5 Järjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen omakotitalouteen on erittäin tärkeää, jotta järjestelmän hyöty saadaan optimoitua. Mitoittaessa, on otettava huomioon sähkön kulutus. Paras tilanne olisi, jos kaikki tuotettu sähkö voitaisiin käyttää itse. Vaikka oman kulutuksen ylittävä määrä sähköä voitaisiinkin myydä takaisin verkkoon, ei järjestelmän ylimitoittamisella ole vähentävää vaikutusta järjestelmän takaisinmaksu-aikaan. Takaisinmaksuajasta lisää kappaleessa 5. (Paavola. 2013, 35)

Aurinkosähköjärjestelmää mitoittaessa tulee ottaa huomioon milloin sähköä käytetään eniten ja milloin vähiten. Mitoitus kannattaa siis tehdä kiinteistön pohjakuorman mukaan. Pohjakuormalla tarkoitetaan sitä energiamäärää, jolloin omakotitalon sähkönkulutus on pienimmillään. Käytännössä kesä-aikaan pohjakuorman muodostavat kylmälaitteet sekä elektroniikkalaitteiden valmiustilat. (Paavola. 2013, 36)

Tarkasteltavana kohteena on varsin suuri omakotitalorakennus. Rakennuksen pinta-ala on noin 300m² ja rakennus on sähkölämmitteinen. Sähkönkulutus on suurta, vuosittain noin 40 000kWh. Taulukossa 3 esitetään kohteen sähkönkulutus eroteltuna päiväsähkön ja yösähkön osuuteen.

Taulukko 3. Kohteen sähkönkulutus kuukausittain (kWh/kk)

Kuukausi	Sähkönkulutus (kWh)	
	Päiväsähkö	Yösähkö
Tammikuu	3190	2747
Helmikuu	3100	2524
Maaliskuu	2148	1878
Huhtikuu	1901	1635
Toukokuu	1030	892
Kesäkuu	790	776
Heinäkuu	650	674
Elokuu	720	692
Syyskuu	1340	1120
Lokakuu	1830	1443
Marraskuu	2265	1723
Joulukuu	2889	1946
Kokonaiskulutus	21853	18050

Kuten aiemmin mainitsin, järjestelmä kannattaa mitoittaa pienimpään kulutukseen sopivaksi, jotta kaikki tuotettava sähkö saadaan suoraan omaan käyttöön. Tässä kohdessa huomaamme taulukosta 3, että pienin energiankulutus osuus Heinäkuulle, jolloin kulutus päiväsähkön osalta on 650kWh/kk. Järjestelmää mitoittaessa otetaan luonnollisesti huomioon vain päiväsähkön osuus, koska öisin järjestelmä ei tuota sähköä.

4.5.1 Järjestelmän valinta ja suuruus

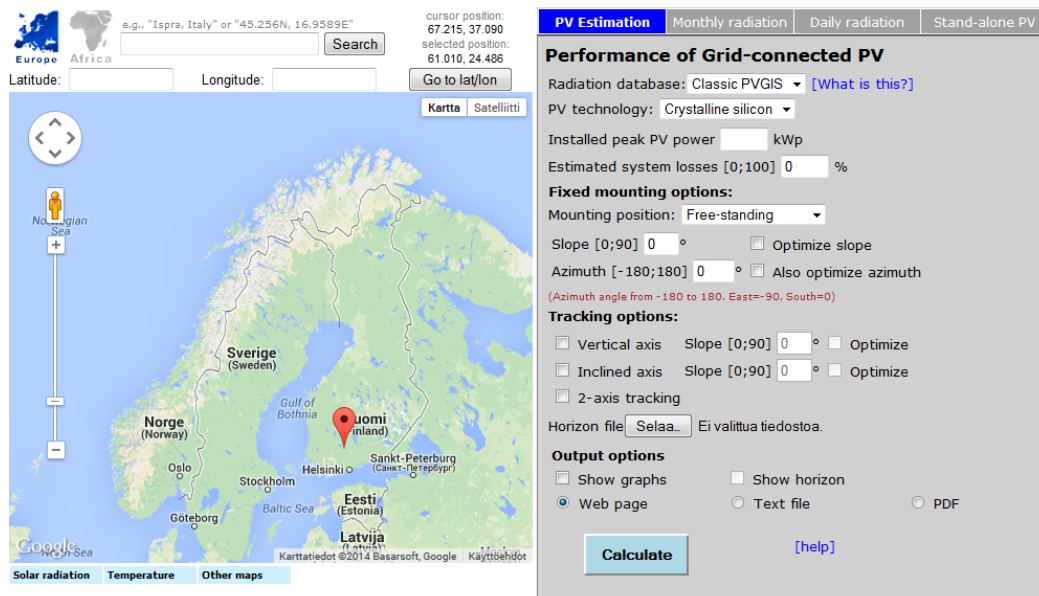
Järjestelmän järkevään mitoittamiseen on olemassa erilaisia apukeinoja. Internetistä löytyy esimerkiksi Euroopan komission ylläpitämä aurinkosähkölaskuri, jonka avulla voidaan laskea erisuuruisten järjestelmien päivittäinen, kuukausittainen ja vuotuinen tuotto. (Ilmastoinfon www-sivut. 2014)

Aurinkosähkölaskuri vaatii tiettyjen tietokenttien täyttämistä ja paikan määrittämistä laskeakseen järjestelmän tuoton. Kuvassa 7 esitetään aurinkosähkölaskurin pohja.

Aurinkosähkölaskuriin syötettävät tiedot:

- Ensiksi valitaan kartalta kohta mihin järjestelmä asetetaan
- PV technology: Valitaan aurinkopaneelin valmistusmateriaali
 - Crystalline silicon: Pii-aurinkokenno
 - CIS: Ohutkalvokenno (kupari-indium-dieselenidi)
 - CdTe: Ohutkalvokenno (tyyppiä kadmium-telluridi)
- Installed peak PV power: tarkoittaa järjestelmän huippu-/nimellisteho, joka halutaan asentaa
- Estimated system losses: Arvioidaan järjestelmän hyötysuhdehäviö
- Mountin position: Paneelien kiinnitystapa
 - Free-standing: maahan, katolle tai seinälle asennettavat paneelit
 - Building integrated: rakennuksen rakenteisiin integroitavat paneelit
- Slope: Paneelien asennuskulma horisonttiin nähden (optimize slope optimoi asennuskulman automaattisesti)
- Azimut: Tarkoittaa aurinkopaneelien suuntausta etelään nähden
 - 0° tarkoittaa kohtisuoraan etelään
 - -90° tarkoittaa kohtisuoraan itään

- 90° tarkoittaa kohtisuoraan länteen
- Tracking options: Täytetään vain, jos käytössä fyysinen on seurantalaitte (Ilmastoinfon www-sivut. 2014)



Kuva 9. Aurinkosähkölaskurin pohja (Euroopan komissio)

Laskurin antamia tuloksia ei pidä kuitenkaan uskoa sokeasti vaan niissä tapahtuu vuosittain luonnollista heittoa esimerkiksi säästä johtuen. Useimmiten aurinkosähköjärjestelmää hankkiessa laitteistotoimittajalta voi pyytää laskelmat järjestelmän suuruudesta.

Kohteeseen liittyvien perustietojen syöttämisen jälkeen suoritettiin laskenta kahdella eri laitteistokoolla, huipputeoltaan 3kW:n ja 5kW:n laitteistot, tuli kuukausittaiselle energiatuotannolle seuraavanlaiset tulokset:

Taulukko 4. Tuotettavan energian määrä kuukausittain erikokoisilla järjestelmillä.

Kuukausi	Kuukausittainen energiatuotanto (kWh)	
	3,0kW järjestelmä	5,0kW järjestelmä
Tammikuu	31,1	51,9
Helmikuu	103	172
Maaliskuu	200	334
Huhtikuu	307	511
Toukokuu	389	648
Kesäkuu	369	615
Heinäkuu	378	630
Elokuu	281	468
Syyskuu	178	296
Lokakuu	93,2	155
Marraskuu	32,2	53,6
Joulukuu	16,3	27,1
	2380	3960

Tuotantolaitoksen suuruus voidaan määrittellä tutkimalla kohteen energiankulutusta (taulukko 3) ja kuukausittaista energiatuotantoa (taulukko 4). Heinäkuun kohdalla kuukausittainen energiankulutus on 650kWh. Vertailemalla 3kW:n ja 5kW:n järjestelmien kuukausituottoa, heinäkuun osalta se on 378kWh ja 630kWh. Järjestelmän suuruus riippuu luonnollisesti siitä miten paljon ostosähköä halutaan korvata omalla tuotannolla. Kyseisessä kohteessa tarkoituksena on korvata mahdollisimman paljon ostosähköä omalla tuotannolla kuitenkin niin, ettei niin ”ylijäämäsähköä” synny. Edellä mainitusta syystä johtuen valinta kohdistuu 5kW:n järjestelmään.

Järjestelmää valitessa valintakriteereinä toimivat usein hinta ja järjestelmän toimitusaika. Kohteeseen valitsimme järjestelmäksi 5,0kW:n aurinkosähköjärjestelmän, joka koostuu 20 yksikiteisestä piistä valmistetusta aurinkopaneelistä. Yhden aurinkopaneelin nimellisteho on siis 250W. Järjestelmä myydään kokonaisuutena pakettina, johon sisältyvät aurinkopaneelit, invertteri, tarvittavat kaapelit sekä asennustarvikkeet.

4.5.2 Järjestelmän tehohäviöt

Siirtojohtimissa tulee tehohäviöitä, koska johtimissa kulkeva virta aiheuttaa johtimen lämpenemisen. Tehohäviöt voidaan lasketa yhtälöstä:

$$P=I^2R,$$

missä P tarkoittaa tehohäviöitä (W), I johtimessa kulkevaa virtaa (A) ja R johtimen resistanssia (Ω). Kaavasta huomataan, että siirtohäviöiden pienentämiseksi johtimessa kulkevan virran tulisi olla mahdollisimman pieni. Myös johtimen resistanssin tulisi olla pieni. Johtimen resistanssi pienenee mitä paksumpi ja paremmin sähköä johtava johdin on. Aurinkosähköjärjestelmissä jännitteet ovat pieniä ja siitä johtuen johtimien tehohäviöt kasvavat helposti suuriksi. (Sunteknon www-sivut. 2014.)

Aurinkosähköjärjestelmissä kaapeloinnissa käytetään yleensä kuparikaapelia. Kuparikaapelin (meno ja paluujohtin) tehohäviöt saadaan laskettua suoraan kaavasta:

$$\text{Häviö}(\%) = 3,4 \cdot \text{virta} \cdot \text{johtimen pituus} / \text{johtimen poikkipinta-ala} / \text{jännite}$$

Johtimet mitoitetaan niin, että tehohäviöt eivät ylitä 5% arvoa. Siirtojohtimen paksumuden tulee kasvaa johtimen pituuden kasvaessa, jotta johtimesta aiheutuvat tehohäviöt eivät kasva kohtuuttoman suuriksi. (Sunteknon www-sivut. 2014.)

Tehohäviöitä tulee myös virran kulkiessa invertterin kautta. Invertterin hyötysuhde on noin 80 - 90% kuorman ollessa 25 – 100 % invertterin tehosta. (Erat ym. 2008, 133)

4.6 Laitteiston hankinta

Aurinkosähköjärjestelmää ei kannata hankkia, ennen kuin verkkoyhtiöltä on kysytty järjestelmän sopivuudesta jakeluverkkoon. Verkkoyhtiön hyväksyessä laitteiston voi järjestelmän hankkimisen aloittaa. Sähköntuottajan on erittäin tärkeää huolehtia siitä, että laitteet ovat verkkoyhtiön vaatimusten mukaisia, koska tuottaja on vastuussa laitteistonsa aiheuttamasta sähkönlaadun heikkenemisestä. Verkkoyhtiöllä on oikeus poistaa verkosta sähkön laatua heikentävä laite. (Paavola. 2013, 43)

Useat yritykset toimittavat aurinkosähköjärjestelmiä niin sanotulla ”avaimet käteen” periaatteella. Tämä tarkoittaa sitä, että laitetoimittaja hoitaa koko projektin alusta loppuun. Avaimet käteen projektien ansiosta järjestelmien hintojen vertailu on myös helpompaa. Useimpien aurinkosähköjärjestelmiä myyvän yrityksen verkkosivuilla löytyy hinnat järjestelmästä ja tarjouksen pyytämällä saa kokonaiskustannuksen, jos-

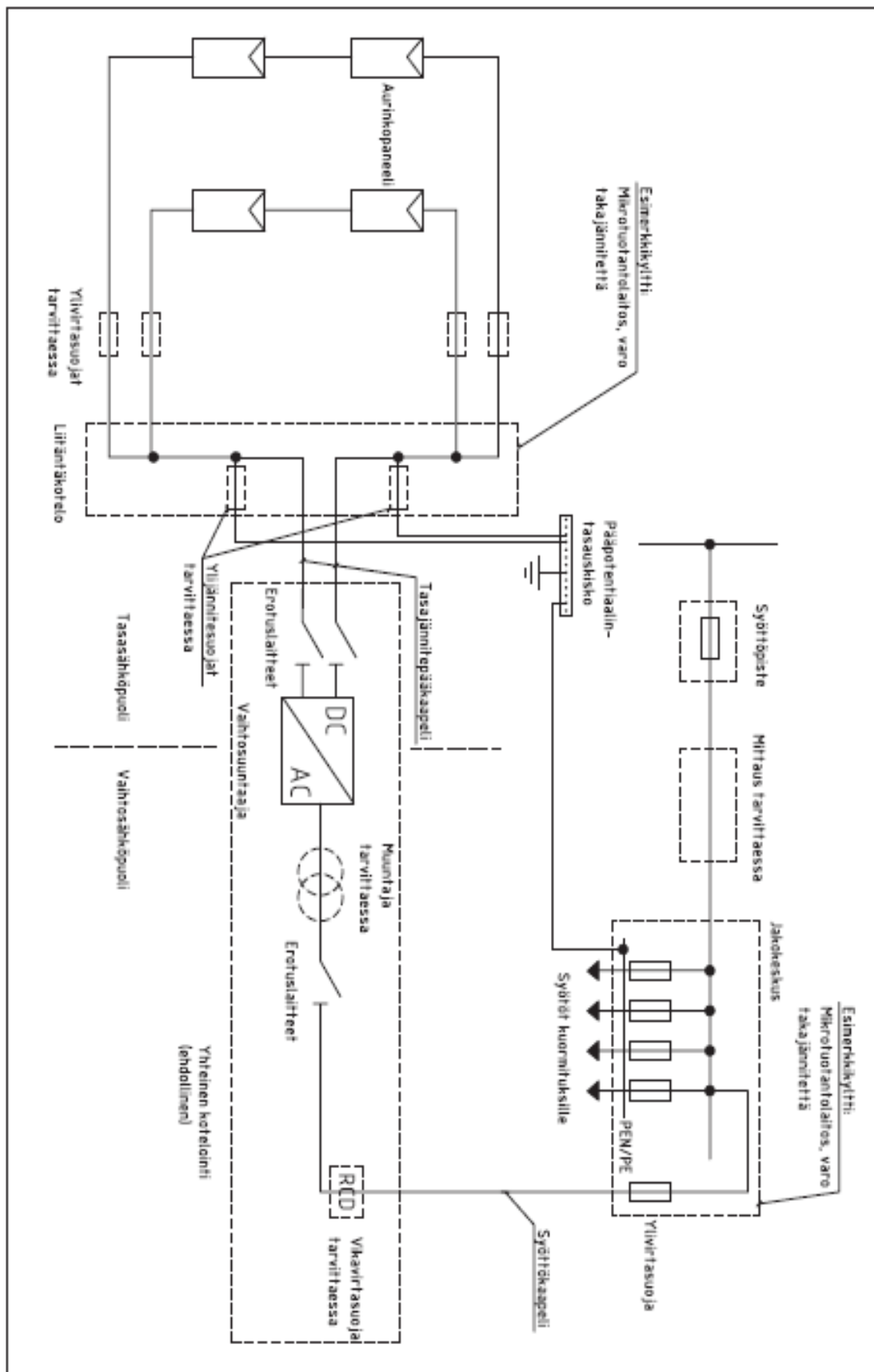
sa on mukana asennuksen hinta. Vertailussa kannattaa huomioida ainoastaan luotettavien toimittajien tuotteita. Yleisesti ottaen luotettavien toimittajien takuuajat ovat paneeleille noin 20 vuoden luokkaa ja invertterille noin 5 vuotta. Valmiin aurinkosähköjärjestelmäpaketin hankkiminen on helpoin ja varmin tapa alkaa tuottamaan sähkö, mutta ei kuitenkaan halvin. (Huttula & Herttua. 2013, 86)

Aurinkopaneelit ja muut järjestelmään liittyvät laitteet voi myös tilata itse esimerkiksi internetistä. Itse tilaamalla laitteiden hinnassa säästää rahaa. Laitteita ostaessa tulee kuitenkin varmistua siitä, että ne sopivat Suomen olosuhteisiin sekä ovat vaadittujen standardien mukaisia. Ostettavien komponenttien tulee olla CE- hyväksytyjä, jotta niitä voi käyttää Suomessa. Varsinkin invertteriä tilatessa tulee olla tarkkana sopivuuden suhteen. Ongelmia tuottaa se, että vaikka laite täyttäisikin Saksalaisen VDA-normin, se voi silti olla koodattu toisen maan sähköverkkoon varten, jolloin se ei toimi Suomessa. Invertterit koodataan tehtaalla maan sähköverkkoon sopivaksi. (Huttula & Herttua. 2013, 88)

4.7 Järjestelmän asennus

Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen on varsin yksinkertainen operaatio, mutta sitä ei saa suorittaa kokonaisuudessaan itse, ellei ole sähköalan ammattilainen jolla on sähköurakointioikeudet. Käytännössä paneelien kiinnityksen sekä kaapeloinnin invertterille voi tehdä itse, mutta silloinkin on syytä tietää mitä tekee. Kaikkien niiden asennustöiden, joissa kosketaan 230V verkkoon tai kiinteisiin sähköjärjestelmiin, suorittajana tulee olla oikeudet omaava ammattilainen. (Huttula & Herttua. 2013, 90)

Aurinkosähköjärjestelmän sarjaan kytketyt paneelit liitetään yhteen liitântäkotelossa. Tarvittaessa liitântäkoteloon voidaan sijoittaa suojauslaitteita. Liitântäkotelo kytketään tasajännitekaapelilla invertteriin, joka kytketään mittauslaitteen kautta sähköjärjestelmään. Invertteri kytketään rakennuksen sähköpääkeskukseen joko yksi- tai kolmivaiheisesti. Kytkentä tulee tehdä kolmivaiheisena aina, mikäli järjestelmän teho on yli 3,7kW_p:n. Kuten aiemmin mainittiin, yleiseen sähköverkkoon liitettävässä järjestelmässä tulee aina olla turvakytkin, jotta järjestelmä voidaan irrottaa nopeasti verkosta. (Kuronen. 2013.) (Huttula & Herttua. 2013, 88)



Kuva 10. Sähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän yleiskaavio. (Kuronen, J. 2013.)

4.7.1 Paneelien suuntaus ja kiinnitys

Suunniteltavassa kohteessa oli kaksi eri kohtaa katossa mihin paneelit voitaisiin asentaa. Toinen kohta osoittautui kuitenkin järkevämmäksi atsimuuttikulmaa ja mahdollisia varjostuksia vertaillen. Aurinkopaneelit asennetaan katon pinnan suuntaisesti, joten ne asennetaan 30° kulmaan. Kuvassa 11 on esitetty katon kohta mihin aurinkopaneelit tullaan asentamaan. Valitussa kohdassa atsimuuttikulma on noin $+45^\circ$ etelästä, joka on vuosittaisen sähköntuotannon kannalta sopiva poikkeama etelästä. Kuvasta 11 poiketen lähistöllä ei ole enää puita, jotka voisivat aiheuttaa varjostuksia, joten auringon säteet osuvat käytännössä aamusta iltaan aurinkopaneeleihin.

Kuvaan 11 on muokattu aurinkopaneelit kohtaan, johon ne on suunniteltu asennettavaksi. Kuvan paneelit eivät ole mittakaavassa. Paneelien kokonaispinta-ala tulee olemaan 32m^2 , katon pinta-ala on kuitenkin huomattavasti suurempi, joten paneelit tulevat mahtumaan haluttuun kohtaan hyvin.



Kuva 11. Aurinkopaneelien suuntaaminen ja sijoitus kohteessa. (Henri Ilanen. 2014.)

Aurinkosähköjärjestelmän tarjouksen yhteydessä järjestelmän toimittaja/asentaja halusi tietää katon rakenteen, jotta he voivat suunnitella aurinkopaneelien kiinnittä-

misen kattoon. Useamman aurinkopaneelin ryhmä kiinnitetään katolle kiinnitystelineen avulla (kuva 12). Valitsemamme järjestelmän hintaan sisältyy vaadittavan kokoinen kiinnitysteline paneeleille.

Aurinkopaneelien kiinnitysteline tulee asentaa kiinnitystelineen valmistajan asennusohjeiden sekä valmistajan laatimien piirustusten mukaisesti. Paneeleita kiinnittäessä tulee toimia myös aurinkopaneelin valmistajan asennusohjeiden mukaisesti, jotta asennuksen yhteydessä ei tule laiterikkoja tai muita mahdollisia vaaratilanteita. (Aurinkovirta www-sivut. 2014)



Kuva 12. Esimerkki tiilikatolle asennettavasta aurinkopaneelien kiinnitystelineestä (Aurinkovirta www-sivut. 2014)

5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KUSTANNUKSET

Tässä luvussa selvitetään aurinkosähköjärjestelmän lopullinen hinta ja samalla selvitetään järjestelmän takaisinmaksuaika. Tässä kappaleessa esitetyt hinnat perustuvat aurinkosähköjärjestelmiä myyvän ja asentavan yrityksen tarjoukseen 5kW:n aurinkosähköjärjestelmästä. Seuraavassa tehtävät laskemat on tehty tarjouksen hintoihin perustuen.

5.1 Järjestelmän hinta

5kW:n järjestelmän kokonaiskustannukseksi tulee 10400,00€, alv 24% (2,08 €/Wp). Järjestelmän kustannuksia eroteltaessa, asennuksen osa hinnasta on 2405€, joten laitteiston hinnaksi jää 7995€.

Järjestelmä sisältää seuraavat osat:

- 20 kpl LDK S-250D 250Wp – aurinkopaneeli
- 1kpl SMA Sunny Tripower 3-vaihe, 5kW invertteri
- 1kpl AC-kytkin
- 10m AC-kaapeli 5*2,5mm²
- 50m DC-kaapeli 4mm²
- 1kpl asennusteline 20 paneelille

Järjestelmän asennuksen lisäksi järjestelmän asentaja hoitaa tarvittavien lupapapereiden toimittamisen sähköyhtiölle. Järjestelmän myyjä antaa tuotteille seuraavanlaiset takuut: Aurinkopaneelien tehotakuu $25v \pm 20\%$, muille tuotteille takuu on voimassa 5 vuotta.

Järjestelmän ostohintaa saadaan kuitenkin tuotua hieman alaspäin. Aurinkosähköjärjestelmän asennusosuus on kotitalousvähennyskelpoinen. Vero.fi sivuilla sanotaan seuraavaa kotitalousvähennyksistä: ”Kotitalousvähennyksenä voi vähentää osan (15%) maksetusta palkasta ja palkan sivukulut (työnantajan sosiaaliturvamaksun, pakollisen työeläkemaksun, tapaturmavakuutusmaksun, työttömyysvakuutusmaksun ja ryhmähenkivakuutusmaksun) kokonaan, jos työn tekee palkattu henkilö. Jos työn tekee ennakoperintärekisteriin merkitty yritys tai yrittäjä taikka yleishyödyllinen

yhteisö, vähentää voi osan (45%) laskussa olevasta työn osuudesta eli työkorvauksesta.” Kotitalousvähennyksen maksimivähennys vuonna 2014 on 2400 €.

(Verohallinnon www-sivut. 2014.)

Voimme siis laskea työn osuudesta kotitalousvähennyksen määrän ja vähentää sen järjestelmän ostokustannuksista. Kotitalousvähennys euroina on $2405\text{€} * 0,45 = 1082,25\text{€}$. Saatu vähennyksen määrä jää selkeästi alle maksimivähennyksen. Kotitalousvähennyksellä on merkitystä järjestelmän takaisinmaksuaikaa laskettaessa.

5.2 Takaisinmaksuaika

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta tutkittaessa lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa järjestelmän kokonaishinta, vuosituotto, sekä energian ja sen siirtämisen hinta.

Suunniteltavan kohteen tapauksessa 5 kW:n järjestelmän vuosittainen energiantuotto on noin 3960 kWh/vuosi. Kaikki tuotettu sähkö menee rakennuksen kulutukseen, eikä sitä syötetä yleiseen sähköverkkoon ollenkaan. Päiväsähköstä maksetaan 5,95 snt/kWh ja siirrosta sähköveroihin maksetaan 4,77 snt/kWh. Sähkö ostetaan Kuopion energialta ja siirrosta vastaa Vattenfall. Yhteensä sähkön hinnaksi tulee 10,7 snt/kWh eli 0,107 €/kWh. Vuosittaisen ostoenergian tarpeen vähentyessä rahaa säästetään: $3960 \text{ kWh/vuosi} * 0,107 \text{ €/kWh} = 423,72 \text{ €/vuosi}$

Seuraavassa tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikoja muutamalla eri periaatteella ja siihen vaikuttavilla asioilla:

Koko järjestelmän takaisinmaksuaika ottaen huomioon myös kotitalousvähennyksen, mutta ei oteta huomioon mahdollista sähkönhinnan kallistumista:

$$\begin{aligned} \text{Järjestelmän kokonaishinta} - \text{kotitalousvähennys: } & 10400\text{€} - 1082,25\text{€} \\ & = 9317,75\text{€} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Järjestelmän lopullinen hinta}}{\text{Vuosittainen säästö}} = \frac{9317,75\text{€}}{423,72 \text{ €/vuosi}} = 21,98 \text{ vuotta}$$

Koko aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika on noin 22 vuotta.

Tarkastellaan seuraavaksi järjestelmän takaisinmaksuaikaa tilanteessa, jossa kaikki tuotettu sähkö myytäisiin verkkoon:

Ylijäämäsähkön hinta: *Suomen alueen hinta (spot) – välityspalkkio* 0,24 snt/kWh (Fortumin www-sivut. 2014.)

Ylijäämäsähkön myyntihinnaksi saadaan annetun kaavan avulla laskettua:

$$3,91 \text{ snt}/kWh - 0,24 \text{ snt}/kWh = 3,67 \text{ snt}/kWh$$

Tilanteessa, jossa kaikki tuotettu sähkö myytäisiin verkkoyhtiölle, saataisiin tuottoa vuoden aikana: $3960 \text{ kWh}/vuosi * 0,0367 \text{ €/kWh} = 265,32 \text{ €/vuosi}$

Järjestelmän takaisinmaksuaika laskettuna myytävän sähkön hinnalla:

$$\frac{9317,75\text{€}}{265,32 \text{ €/vuosi}} = 35,12 \text{ vuotta}$$

Tuloksia vertailemalla voidaan todeta, että energian myyminen ei pienennä järjestelmän takaisinmaksuaikaa ja siitä saatava vuosittainen korvaus on huomattavasti pienempi, kun tilanteessa, jossa kaikki energia kulutetaan rakennuksen omiin tarpeisiin.

Järjestelmään kuuluvien komponenttien ikääntymisellä on vaikutusta takaisinmaksu-aikaan. Järjestelmään kuuluvien aurinkopaneelien teho ei pysy samana vaan se laskee. Valitsemissamme aurinkopaneeleissa tehotakuu on merkitty seuraavasti:

- 10 vuotta paneelin teho pitää pysyä manuaalissa annetuissa arvoissa
- 12 vuoden jälkeen paneelien tehon tulee olla 90% luvatusa minimitehosta
- 25 vuoden jälkeen paneelien tehon tulee olla 80% luvatusa minimitehosta

(Ldk solarin www-sivut. 2014)

Aurinkopaneelien tehon heikentyminen vuosien varrella vaikuttaa suoraan verrannollisesti aurinkosähköjärjestelmän tuottamaan energiaan, järjestelmän tuottaman energian määrä vähenee vuosien varrella.

Aurinkopaneelien vanhentumisen lisäksi myös järjestelmään kuuluva invertteri on todennäköisesti vaihdettava ennen, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Invertterille annetaan usein noin 5 vuoden takuu. Verratessa takuu-aikaa järjestelmän eliniäkään, joka on noin 30 vuotta, on erittäin todennäköistä, että invertteri vikaantuu ennen järjestelmän eliniän täyttymistä. Invertterin vaihtaminen tulee maksamaan noin 1500€ + asennuskustannukset. (SMA:n www-sivut. 2014)

Seuraavana lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaika siten, että invertterin vaihto otetaan huomioon (hinnaksi määritetään 1800€):

$$\frac{\text{Järjestelmän kokonaishinta} + \text{invertterin vaihto}}{\text{Vuositainen säästö}} = \frac{9317,75\text{€} + 1800\text{€}}{423,72\text{€/vuosi}} = 26,2 \text{ vuotta}$$

Järjestelmän takaisinmaksuaikaan vaikuttaa myös sähkön hinta ja sen muutos. Sähkön hintaa on hankala ennustaa vuosiksi eteenpäin, koska hinnan muutokseen vaikuttaa niin moni asia. Aurinkosähköjärjestelmän elinikä on noin 30 vuotta, joten kannattavuuden ja takaisinmaksuajan tarkaksi laskemiseksi pitäisi osata ennustaa sähkön hinta muutoksineen koko järjestelmän eliniäksi. Hinnan ennustaminen ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista, koska muutoksia ei voida ennakoida 30 vuoden päähän. Yleinen näkemys on kuitenkin, että sähkön hinta tulee nousemaan. ”Viimeisen 10 vuoden aikana omakotitalon sähkölasku Suomessa on noussut keskimäärin 6% vuodessa.” (Napssystemsin www-sivut 2014.)

Seuraavassa lasketaan aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika siten, että otetaan huomioon sähkön hinnan 6% vuosittainen kasvu.

$$Np = \frac{\ln\left(\frac{Ci * (p - d)}{pe * Ea} + 1\right)}{\ln\left(\frac{1 + p}{1 + d}\right)}$$

, missä

Np = Takaisinmaksuaika [vuosi]

C_i = Järjestelmän hinta vähennyksien jälkeen [€]

p_e = Nykyinen sähkön hinta [€/kWh]

E_a = Vuosittainen sähköntuotanto [kWh]

p = Vuosittainen sähkönhinnan kasvu [%]

d = Lainan korko [%] (Duffie & Beckman. 2006. 268)

$$Np = \frac{\ln\left(\frac{9317,75\text{€} * (0.06 - 0)}{0,107\text{€}/kWh * 3960kWh} + 1\right)}{\ln\left(\frac{1 + 0.06}{1 + 0}\right)} = 14,4 \text{ vuotta}$$

Mikäli sähkön hinnan korotus olisi 6%/vuosi, niin järjestelmän takaisinmaksuajaksi tulisi noin 14,5 vuotta. 14,5 vuotta on varsin hyvä takaisinmaksuaika järjestelmälle, koska maksettuaan itsensä takaisin, järjestelmällä on vielä noin puolet eliniästään jäljellä. Sähkön hinnan muutoksesta ei kuitenkaan voida olla varmoja, joten saatu takaisinmaksuaika voi muuttua reilusti sähkönhinnan muutoksen mukana. Olettaen, että sähkön hinta nousee vuosittain 6%, tulee aurinkosähkijärjestelmästä huomattavasti kannattavampi investointi ja rahaa säästetään vuosittain yhä enemmän. Takaisinmaksuajan jälkeen kaikki mitä sähkölaskussa säästetään, on puhdasta voittoa.

5.2.1 Ylijäämäenergian myynti

Kaikki sähköyhtiöt eivät toistaiseksi osta verkkoon syötettävää energiaa. Ennen laitteiston hankintaa kannattaa selvittää, onko ylijäämäenergiaa mahdollista myydä sähköyhtiölle. Sähköyhtiöt, jotka ostavat energiaa vaativa sähkön myyjältä asiakkuutta ja sähkösopimusta yhtiön kanssa. Sähkön tuottaja on myös velvollinen tarkistamaan sähköverovelvollisuutensa. Mikrotuotantolaitoksilla sähköverovelvollisuutta ei kuitenkaan ole. Mikrotuotannon osalta verkkoon syöttäminen ei myöskään maksa mitään. (Kuopion energian www-sivut. 2014)

Järjestelmän ylivoimittaminen ei tällä hetkellä kannata vaan se kasvattaa järjestelmän takaisinmaksuaikaa. Ylivoimittamisen johdosta ylijäämäenergia joudutaan syöttämään sähköverkkoon joko ilman korvausta tai markkinahintaista korvausta vastaan. Kor-

vaus ylijäämästä on noin kolmasosa ostosähkön hinnasta. Markkinahintainen korvaus tulee ainoastaan sähköenergiasta. Ostosähkön hinta koostuu energian lisäksi sähkön siirrosta (30%) sekä veroista (30%). Sähkøyhtiö voi myös ottaa välityspalkkion tuotetusta sähköstä. Uudisrakennuksissa aurinkosähköjärjestelmän ylimitoittaminen voi olla järkevää silloin, kun rakennuksen Energia-lukua halutaan pienentää. (Tampereen kaupungin www-sivut. 2014, 7)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli selvittää tilaajalle aurinkosähköjärjestelmän hankkimiseen ja asentamiseen liittyvät asiat sekä antaa näkökulma järjestelmän kannattavuuteen laskelmien avulla.

Verkkoon liitettävää aurinkosähköjärjestelmää hankkimisessa tulee ottaa huomioon erilaiset rakennustekniset asiat, sekä olla yhteydessä jakeluverkon haltijaan sähkötekniikan asioiden puolesta. Järjestelmän rakentaminen ja verkkoon liittäminen vaatii erilaisia lupia verkkoyhtiöltä, niin liittämisen kuin ylijäämästä myymisenkin osalta.

Järjestelmää hankkiessa turvallisinta on luottaa yrityksiin, joilla on aurinkosähköjärjestelmistä kokemusta. Laitetoimittaja hoitaa luotettavasti järjestelmän mitoittamisen sekä suunnittelun kohteeseen ja varmistaa, että laitteisto on vaadittujen normien mukainen. Yleisesti järjestelmä myydään pakettina, eli siihen kuuluu laitteisto sekä asennustyöt. Laitteiston asentaja hoitaa myös tarvittavat dokumentit verkkoyhtiölle, jotta järjestelmän liittäminen on turvallista ja verkkoyhtiön toimesta hyväksyttyä.

Aurinkoenergian hyödyntäminen tulee kasvamaan Suomessa sekä muualla Euroopassa teknologian kehittyessä. Aurinkosähköjärjestelmät ovat toistaiseksi varsin hintavia hyötyensä nähden, mutta kehityksen ja standardien yhtenäistymisen myötä laitteistojen hinnat tulevat laskemaan. Kehityksen mukana myös aurinkopaneelien hyötysuhteet tulevat kasvamaan. Tulevaisuudessa aurinkosähköjärjestelmiä aletaan integroida yhä enemmän rakennuksiin, jolloin voidaan vaikuttaa talon energia-

lukuun ja sisältää aurinkosähköjärjestelmä rakennukseen ilman, että se vie ylimääräistä tilaa katolta tai seinistä.

Tällä hetkellä aurinkosähköjärjestelmän kustannukset ovat varsin korkeat ja järjestelmän takaisinmaksuaika nousee reiluun 20 vuoteen, jos mukaan ei lasketa mahdollista sähkön hinnan kasvua. Mikäli sähkön hinta kasvaa noin 6% vuodessa, tulee järjestelmän takaisinmaksuaika laskemaan noin 15 vuoteen, mikä on varsin kohtuullinen takaisinmaksuaika. Järjestelmä ei toistaiseksi ole rahallisessa mielessä kovinkaan kannattava ratkaisu, ainakaan tarkastellussa kohteessa. Takaisinmaksuajan muutos voi kuitenkin olla huomattavaa kohteesta riippuen. Asiaa miettiessä ympäristön kannalta voidaan kuitenkin todeta, että aurinkoenergia on ekologinen vaihtoehto eikä energia tuottaminen aiheuta päästöjä. Mikäli aate on rahallista merkitystä tärkeämpi, on aurinkosähköjärjestelmä pienenkin toteutetun järjestelmän osalta omaatuntoa puhdistava asia.

Opinnäytetyön pohjalta työn tilaajan voi tehdä päätöksen aurinkosähköjärjestelmän rakentamisesta. Todennäköisintä on että järjestelmän rakentamista ei aloiteta heti, vaan seurataan rauhassa teknologian kehitystä ja sen vaikutusta järjestelmien hintoihin. Paneelien hyötysuhteiden parantuessa ja vuosittaisen energiantuotannon kasvassa järjestelmä on luonnollisesti kannattavampi. Kehitys tapahtuu tällä hetkellä varsin nopeasti, joten laitteiston rakentamista ei välttämättä tarvitse odottaa kovin montaa vuotta.

LÄHTEET

- Aarnio, P. 2014. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 16.2.2014.
<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>
- Amsolarin www-sivut. 2014. Viitattu 25.2.2014.
http://www.amsolar.com/home/amr/page_164
- Arokylä, K. 2013. Omakotitalo sai aurinkosähköt. Sulake 4, 8-11. Viitattu 5.3.2014.
- Aurinkoenergia.fi www-sivut. 2014. Viitattu 10.2.2014.
<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia>
- Aurinkopaneelit.net www-sivut. 2014. Viitattu 10.2.2014.
<http://www.aurinkopaneelit.net/>
- Aurinkovirta www-sivut. 2014. Viitattu 3.5.2014.
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/aurinkopaneelien-kiinnitysteline/>
- Cullen, R. 2014. What is Maximum Power Point Tracking (MPPT)?. Viitattu 15.4.2014. http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPPT.pdf
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. 2006. Solar Engineering of Thermal Processes: Third edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Energiateollisuuden www-sivut. 2014. Viitattu 5.5.2014.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>
- Elenian www-sivut. 2014. Viitattu 01.04.2014.
http://www.elenia.fi/sites/default/files/Sahkon_pientuotannon_liittaminen_verkkoon.pdf
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S., Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry
- Euroopan komission www-sivut. 2014. PVGIS aurinkosähkölaskuri. Viitattu 2.5.2014. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- Fortumin www-sivut. 2014. Viitattu 06.04.2014.
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkon-siirto-ja-liittymat/oma-sahkontuotanto/mikrotuotanto/pages/default.aspx>
- Fortumin www-sivut. 2014. Sähkön pientuotanto. Viitattu 6.5.2014
<https://www.fortum.fi/countries/fi/yksityisasiakkaat/energiansaasto/sahkon-pientuotanto/hinnastot/pages/default.aspx>
- Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. AMK-Kustannus Oy Tammer-tekniikka

- Huoltodatan www-sivut. 2014. Viitattu 11.3.2014.
<http://www.huoltodata.com/aurinko/perusteet.html>
- Huttula, J. & Herttua, I. 2013. Ryhtyisitkö sähköntuottajaksi?. Tekniikan maailma 18E, 86-91. Viitattu 5.3.2014.
- Ilmastoinfon www-sivut. 2014. Viitattu 2.5.2014.
<http://ilmastoinfo.fi/aurinkosahkoakotiin/miten/huomioitavaa/>
- Jodat Ympäristöenergia. 2012. Aurinkosähkökurssi. Viitattu 2.5.2014.
http://kset.fi/useruploads/files/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6kurssi_kokkola_syksy_2012%29.pdf
- Kantonen, M. 2012. Aurinkosähkö ja pientuulivoima kiinteistön energiantuotannossa. Viitattu 4.5.2014.
http://www.hameenlinna.fi/pages/399506/Aurinko_ja_tuuli_MattiKantonen.pdf
- Kuopion Energian www-sivut. 2014. Viitattu 5.5.2014.
http://www.kuopionenergia.fi/filebank/2220-Ke_pientuotanto_hinnasto.pdf
- Kuronen, J. 2013. ST kortisto - 55.33 Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 15.3.2014
- LDK solarin www-sivut. 2014. Viitattu 8.5.2014.
http://www.ldksolar.com/uploadfiles/down/LDK_240D_245D_250D_20_Ontario_DCC_EN_V1_12_120229.pdf
- Lehto, I. 2013. Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Viitattu 12.4.2014. http://energia.fi/sites/default/files/tekninen_liite_1_-_enintaan_50_kva_paivitetty_20130228.pdf
- Motivan www-sivut. 2014. Viitattu 12.2.2014.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko
- Motivan www-sivut. 2012. Opas sähkön pientuottajalle. Viitattu. 4.5.2014.
http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf
- Napssystemsinn www-sivut 2014. Viitattu 2.3.2014.
<http://www.napssystems.com/wordpress/fi/aurinkosahko-totta-vai-tarua/>
- Paavola, M. 2013. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella. Viitattu 5.5.2014.
http://www.tampere.fi/material/attachments/v/6HSsw1Wei/Diplomityo_Paavola_painettuversio.pdf
- Pistokkeen www-sivut. 2014. Viitattu 15.2.2014.
<http://www.pistoke.fi/aurinkosahko/aurinkosahko>
- Samlexsolarin www-sivut. 2014. Viitattu 20.2.2014.
<http://www.samlexsolar.com/learning-center/solar-panels-characteristics.aspx>

SMA:n www-sivut. 2014. Viitattu 8.5.2014.

<http://www.sma.de/en/products/solar-inverter-without-transformer/sunny-tripower-5000tl-6000tl-7000tl-8000tl-9000tl.html#Technical-Data-79881>

Sunteknon www-sivut. 2014. Viitattu 16.4.2014.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Sähkön tuotantolaitosten liityntäperiaatteet. 2010. Fortumin www-sivut. Viitattu 10.4.2014 . https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/sahkon_tuotantolaitteistojen_liityntaperiaatteet.pdf .

Tampereen kaupungin www-sivut. 2014. Aurinkosähköopas Tamperelaisille. Viitattu 5.5.2014.

http://www.tampere.fi/material/attachments/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas_36660_vedos.pdf

Verohallinnon www-sivut. 2014. Viitattu 2.5.2014. [http://www.vero.fi/fi-](http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkilöasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys%2831651%29#4Vhennyksensaavaintynosuudesta_)

[FI/Syventavat_veroohjeet/Henkilöasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys%2831651%29#4Vhennyksensaavaintynosuudesta_](http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkilöasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys%2831651%29#4Vhennyksensaavaintynosuudesta_)

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan 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. 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 sähkönsiirtolaskulta)		
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			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 irtikytketymsijat

<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)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
<i>HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä</i>	<i>HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 7.</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 kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

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

5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

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

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 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					s
Saarekekäytönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika					
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty					



MONOCRYSTALLINE MODULES
LDK-240D-245D-250D-20

ONTARIO
 DOMESTIC
 CONTENT
 COMPLIANT



WHY LDK SOLAR MODULES

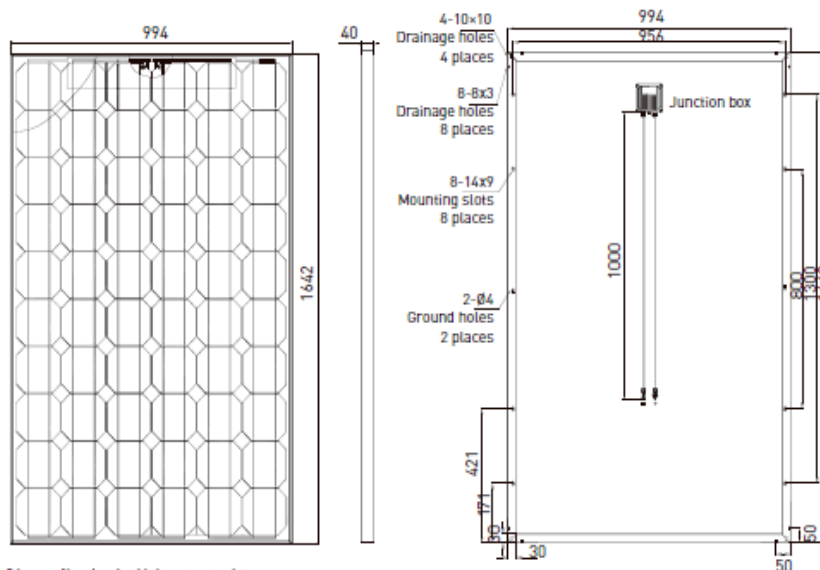
- Industry leading module power output warranty
- International quality, safety and performance certifications
- Modules manufactured in ISO 9001 certified factories
- High-reliability with guaranteed 0/+5 Wp peak power classification

WARRANTIES

- 10 years for product defects in materials & workmanship
- 12 years for 90% of warranted minimum power
- 25 years for 80% of warranted minimum power

CERTIFICATES

- IEC EN 61215, IEC EN 61730-1-2, CE Conformity
- UL 1703 2002/03/15 Ed:3 Rev:2008/04/08
- ULC/ORD-C1703-01 second edition 2001/01/01
- UL and Canadian standard for safety flat-plate
- ISO 9001:2008 Quality Management System
- CEC Listed: modules are eligible for California rebates
- PV CYCLE: voluntary module take back and recycling program
- MCS The Microgeneration Certification Scheme UK



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC*)

TYPE	LDK-2400-20	LDK-2450-20	LDK-2500-20
Nominal Output (Pmax) [Wp]	240	245	250
Voltage at Pmax (Vmp) [V]	29.1	29.5	29.9
Current at Pmax (Imp) [A]	8.26	8.32	8.38
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	37.3	37.6	37.8
Short Circuit Current (Isc) [A]	8.88	8.90	8.92
Power Classification Range [Wp]	-0/+4.99	-0/+4.99	-0/+4.99
Tolerance on Nominal Output [%]	+/-3	+/-3	+/-3
Maximum System Voltage	IEC EN: 1000 V / UL: 1000 V		
Cell Efficiency [%]	16.74	17.09	17.44
Module Efficiency [%]	14.70	15.01	15.32

STC* (Standard Test Conditions): Irradiance 1000 W/m², Module Temperature 25 °C, Air Mass 1.5

ELECTRICAL PERFORMANCE AT NOCT

TYPE	LDK-2400-20	LDK-2450-20	LDK-2500-20
Nominal Output (Pmax) [Wp]	174	178	181
Voltage at Pmax (Vmp) [V]	26.3	26.7	27.0
Current at Pmax (Imp) [A]	6.61	6.66	6.70
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	34.5	34.7	34.8
Short Circuit Current (Isc) [A]	7.19	7.21	7.23

NOCT: Irradiance 800 W/m², Module Temperature 45 +/- 2 °C, Air Mass 1.5

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

TYPE	LDK-D-20 Series
NOCT**	45 +/- 2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.47 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.06 %/°C
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Operating Temperature	from -40 to +85 °C
Storage Temperature	from -40 to +60 °C

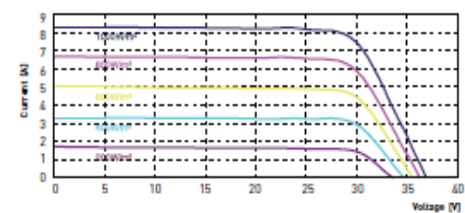
NOCT**: Nominal Operation Cell Temperature Sun 800 W/m², Air 20 °C, wind speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

TYPE	LDK-D-20 Series
Solar Cells	60 (6x10) monocrystalline silicon solar cells 156 x 156 mm
Front Glass	3.2 mm thick, tempered glass / AR coating glass
Backsheet	TPT (Tedlar-PET-Tedlar) / BBF
Encapsulant	EVA (ethylene vinyl acetate)
Frame	Double-layer anodized aluminium alloy
Diodes	6 (3 x 2 in parallel) serviceable Bypass Diodes
Junction Box	IP65 rated
Connectors	MC4 or compatible connectors
Cables	Length: 1000 mm / Section: 4.0 mm ²
Dimensions	1642 x 994 x 40 mm / 64.64 x 39.13 x 1.57 in
Weight	19 kg / 41.9 lbs
Max. Load	Wind Load: 2400 Pa / Snow Load: 5400 Pa

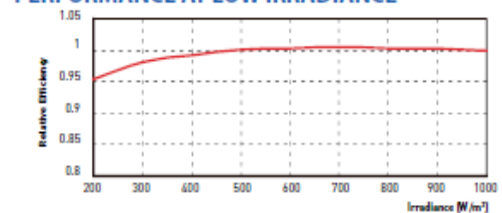
LDK Solar reserves the right to make specifications changes without any prior notice. This data sheet complies with the EN 50380 requirements. V1 - February 2012 - © LDK Solar Limited. All rights reserved. E.80.E.

I-V CURVE AT DIFFERENT IRRADIANCE LEVELS



Above graphics according to LDK-220D-20

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



The typical relative change in module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² (both at 25 °C and AM 1.5 spectrum) is less than 6%

PACKING CONFIGURATION

TYPE	LDK-D-20 Series
Packing Configuration	25 pcs. / box
Quantity / Pallet	50 pcs. / pallet
Loading Capacity	700 pcs. / 40 ft (High Cube Container)

Partner:

info.canada@ldksolar.com
www.ldksolar.com



SUNNY TRIPOWER 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL



STP 5000TL-20 / STP 6000TL-20 / STP 7000TL-20 / STP 8000TL-20 / STP 9000TL-20

Economical

- Maximum efficiency of 98%
- Shade management with OptiTrac Global Peak
- Active temperature management with OptiCool

Flexible

- DC input voltage of up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive power supply
- Module-tailored plant design with OptiFlex

Communicative

- SMA Webconnect Portal communication
- Bluetooth® communication
- Simple country configuration
- Multi-function relay as standard

Simple

- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system
- Integrated ESS DC switch-disconnector
- Easy wall mounting

SUNNY TRIPOWER 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL

The three-phase inverter for your home

At home with leading-edge technology and top yields: The Sunny TriPower PV plant with 5 to 9 kW of power is setting new standards for home systems. It features an asymmetric multi-tilt and OptiFlex technology to ensure the highest in flexibility while combining peak efficiency with the OptiTrac Global Peak system to generate the highest in yields. In addition to communication via the external Bluetooth-antenna, the PV plant comes with a direct Sunny Portal connection via SMA Webconnect as standard – and now for the first time without data loggers. In addition, the "small" Sunny TriPower comes with integrated grid management functions, is capable of reactive power supply and is suitable for operation with a 30 mA RCD.

SUNNY TRIPOWER

5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL

Technical data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Input (DC)		
Max. DC power (0 cos φ = 1)	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V / 580 V	295 V ... 800 V / 580 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A2; B2	2 / A2; B2
Output (AC)		
Rated power (0 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. apparent AC power	5000 VA	6000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 230 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	3 / N / PE; 230 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V - 280 V	160 V - 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European Efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
Protective devices		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -	● / ● / -
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62102) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W/H/D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climate category (according to IEC 60721-3-4)	4E41	4E41
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	100%
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485, Bluetooth, Speedwire/Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certification and approvals (additional on request)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21 (>6 kW), EN 50438, G59/2, G83/1-1, IEC 61727, MSA, NEM D4 50438, NRS 097-2-1, PSE, TPC, PFD, SD1699, SD 661/2007, SI 4777, UTE C15712-1, VDE AR N 4105, VDE 0126-1-1	
Type designation	STP 5000TL-00	STP 6000TL-00