



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ KERROSTALOSSA

Arttu Salminen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

SALMINEN, ARTTU:  
Aurinkosähköjärjestelmä kerrostalossa

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 14 sivua  
Toukokuu 2017

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmän soveltuvuutta ja laajuutta saneerattavaan kerrostaloon.

Opinnäytetyö jakaantui kahteen eri osaan. Ensimmäisessä osassa tarkasteltiin aurinkosähköä ilmiönä teorian näkökulmasta ja perehdyttiin sen toimintaan. Lisäksi käytiin läpi yleisellä tasolla kaikki aurinkosähköjärjestelmään tarvittavat komponentit, kuten aurinkopaneelit, vaihtosuuntaajat, kaapeloinnit, maadoitukset, suojauslaitteet ja akusto.

Toisessa osassa opinnäytetyötä keskityttiin aurinkosähköjärjestelmän toimintaan käytännössä. Työssä käytiin läpi aurinkosähkön käyttöä taloyhtiössä ja sen mitoitusperiaatteita. Lisäksi selvitettiin, mitä vaatimuksia järjestelmän asentamiselle on standardien, viranomaisten ja muiden osapuolien vaatimana. Työn lopussa tehtiin olemassa olevaan kerrostalokohteeseen periaatteellinen mitoituslaskelma.

Työn tuloksena saatiin aikaan tiivis tietopaketti aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden hyödyntämisestä kerrostalossa tai muussa taloyhtiössä. Kehittämisehdotuksena työhön ja muihin aurinkosähköjärjestelmien mitoittamisiin on, että järjestelmän mitoittaminen tulisi perustua kiinteistön tuntikohtaiseen mittausdataan.

---

Asiasanat: aurinkosähköjärjestelmä, aurinkopaneeli, järjestelmän mitoitus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

SALMINEN, ARTTU:  
Photovoltaic system in an apartment building

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 14 pages  
May 2017

---

The purpose of this thesis was to determine whether photovoltaic systems are suitable for redeveloped apartment building.

The thesis was divided in two sections. In the first section solar power was investigated as a phenomenon and its functions studied. Moreover, all the different components that are needed in solar power system like solar panels, inverters, cables, grounds, protector devices and batteries were also discussed.

The second part of the thesis focuses on the functions of photovoltaic systems - how it can be used in practice. This part research the use of solar power in a housing company and how it will be dimensioned. The thesis also researched the requirements and restrictions for installing solar power systems to apartment building. As an appendix to this thesis, a real dimensions calculation to an actual apartment building.

The result of this work was a compact and comprehensive information pack of solar power systems and its usability in apartment buildings and other housing companies. As a development proposal to this thesis, the systems dimension should be based on property's hourly measuring data.

---

Key words: photovoltaic system, solar panel, system dimensioning

## SISÄLLYS

JOHDANTO .....	7
1 AURINKOSÄHKÖN TEORIA .....	8
1.1 Aurinko energianlähteenä .....	8
1.2 Auringon säteily Suomessa.....	9
1.3 Aurinkosähkön käyttö Suomessa.....	10
2 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT .....	12
2.1 Aurinkopaneelit .....	12
2.1.1 Aurinkopaneelien toiminta teoriassa.....	12
2.1.2 Aurinkopaneelien tekniset ominaisuudet .....	13
2.1.3 Eri aurinkopaneelityypit.....	16
2.2 Vaihtosuuntaaja .....	18
2.3 Kaapelointi.....	19
2.4 Keskukset.....	20
2.5 Suojaukset ja erottaminen .....	20
2.6 Maadoitukset.....	21
2.7 Akusto .....	22
2.8 Verkkoon kytketyt järjestelmät.....	23
3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	26
3.1 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus .....	26
3.2 Aurinkosähkön käyttö asunto-osakeyhtiössä.....	27
3.3 Viranomais määräykset ja luvat.....	30
3.4 Järjestelmän asentaminen .....	30
3.5 Dokumentointi .....	32
4 ENERGIATALOUS.....	33
4.1 Aurinkosähkön kustannukset.....	33
4.2 Takaisinmaksuaika.....	34
4.3 Kiinteistön arvonnousu .....	34
4.4 Tulevaisuuden näkymät .....	35
5 SUUNNITELTAVA KOHDE .....	36
5.1 Kiinteistösähkön kulutuslaitteet.....	37
5.2 Tekniset tiedot ja laskelmat .....	38
5.3 Asennettava järjestelmä .....	41
6 POHDINTA.....	43
LÄHTEET.....	44
LIITTEET .....	46
Liite 1. Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake .....	46

Liite 2. Varoitusmerkinnät .....	48
Liite 3. Dokumentaation vähimmäisvaatimukset .....	49
Liite 4. Valosähköisen paneeliston testiraportti .....	51
Liite 5. Kiinteistökeskuksen kulutuslaitteet .....	52
Liite 6. Järjestelmän hinnat.....	53
Liite 7. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 6,89 kW <sub>p</sub> .....	54
Liite 8. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 9,01 kW <sub>p</sub> .....	57

**LYHENTEET JA TERMIT**

AC	Vaihtosähkö
DC	Tasasähkö
$I_{sc}$	Aurinkopaneelin oikosulkuvirta
MPP	Maximum power point, suurin tehopiste
PV	Photovoltaic, aurinkosähkö
PVGIS	Aurinkosähkön mitoitusohjelma
STC	Standard test conditions, standardi testiolosuhteet
$U_{oc}$	Aurinkopaneelin avoimen piirin jännite
$W_p$	Aurinkopaneelin tuottama huipputeho

## JOHDANTO

Uusiutuvan energian sähköntuotanto on viime vuosina lisääntynyt ja tulee näillä näkymin edelleen lisääntymään asuin- ja liikekiinteistöissä. Tähän vaikuttavat energian hintojen nousu, ympäristöpoliittiset päätökset sekä yksittäisten ihmisten asenteet ja arvot. Tässä insinöörityössä keskitytään valosähköisen aurinkoenergian teoriaan ja sen hyödyntämiseen asuinkerrostaloissa. Työssä käydään läpi, mitä eri komponentteja aurinkosähköjärjestelmä sisältää ja mitä vaatimuksia niille on asetettu. Työssä tehdään esimerkkimitoitus aurinkosähköjärjestelmästä olemassa olevalle kiinteistölle pääkaupunkiseudulla. Työssä selvitetään myös mitä eri lupia ja ilmoituksia aurinkopaneelijärjestelmän asennus ja käyttöönotto vaativat. Työssä ei käsitellä aurinkoenergian muita tuotantomuotoja kuten aurinkolämpöä.

Insinöörityö tehdään Sähkösuunnittelu RST Oy:lle ja työn tavoitteena on antaa kattavasti tietoa aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden teoriasta yritykselle. Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa yritykselle tulevissa aurinkosähköjärjestelmien kyseilyissä ja suunnitelmissa. Sähkösuunnittelu RST Oy on perustettu vuonna 1998. Yritys toimii pääkaupunkiseudulla Vantaalla. Yritys tekee sähkösuunnitelmia sekä uudis- että saneerauskohteisiin, kuten putkiremonttien yhteydessä tehtäviin sähkösaneerauksiin.

# 1 AURINKOSÄHKÖN TEORIA

## 1.1 Aurinko energianlähteenä

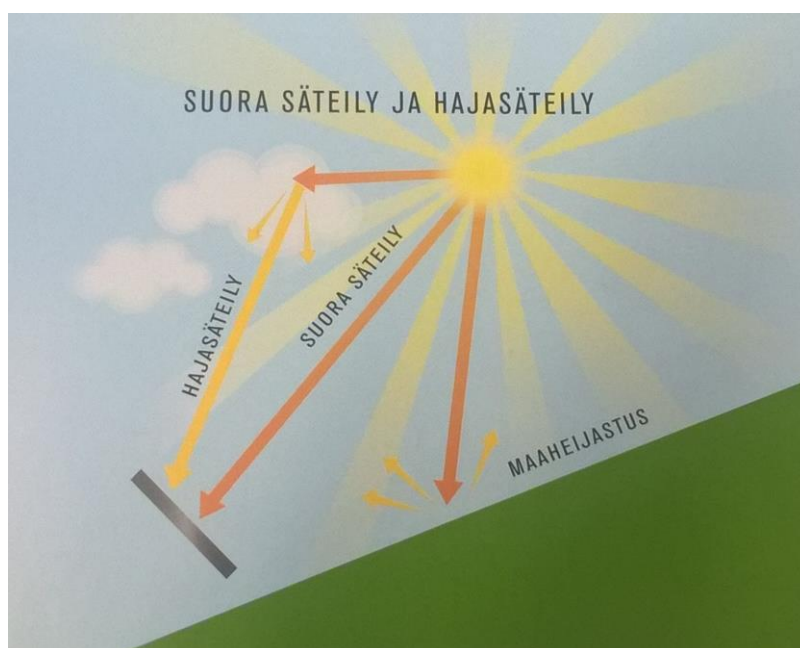
Aurinko on nykytietämyksen mukaan kaasupallo, jonka ulkokuoren muodostavat pääasiassa vety (75 %) ja helium (23 %). Auringon säteilemä energia on peräisin fuusioreaktiosta. Siinä kaksi vetyatomin ydintä yhtyy auringon ytimessä heliumatomiksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä fuusioprosessissa vapauttaa yhtä paljon energiaa kuin 27 000 tonnia kivihiltä eli 180 miljoonaa kilowattituntia. Tämä reaktio vaatii onnistuakseen korkean lämpötilan, noin 10 miljoonaa astetta. Tämä lämpötila vallitsee auringon sisällä, missä fuusioreaktio tapahtuu. Auringon pintalämpötila sitä vastoin on noin 5500 astetta celsiusta. (Tahkokorpi ym. 2016, 11.)

Maapallon ilmakehän pinnalle, neliömetrin kokoiselle alueelle, tulevaa säteilyn määrää kutsutaan aurinkovakioksi. Tämän suuruus on keskimäärin 1,368 kW. Aurinkovakion suuruuden arvo vaihtelee noin 3,5 %, sillä maapallon ja auringon etäisyys vaihtelee. Kun auringonsäteily ohittaa maan ilmakehän, häviää säteilystä parhaimmillaan 40 %. (Tahkokorpi ym. 2016, 13.)

Koska ilmakehä suodattaa ja heijastaa osan säteilystä pois, saadaan maan pinnalle parhaimmillaan noin yhden kilowatin teho neliömetrin alueelle. Maapallon ilmakehä koostuu erilaisista kaasumolekyyleistä, vesihöyrystä sekä erilaisista epäpuhtauksista. (Tahkokorpi ym. 2016, 13.)

Maapallon ilmakehä suojaa ihmisiä haitalliselta UV-säteilyltä. Samalla kuitenkin maanpinnalle osuva säteiden määrä pienenee, mitä pidemmän matkan säteily kulkee ilmakehän läpi. Ilmakehän vaikutuksen myötä säteily, joka tulee maanpinnalle, voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: suora auringonsäteily, haja-diffuusinen säteily ja ilmakehän vastasäteily (kuva 1). Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehässä olevien molekyyliden ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä aiheuttavat ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. (Tahkokorpi ym. 2016, 14.)





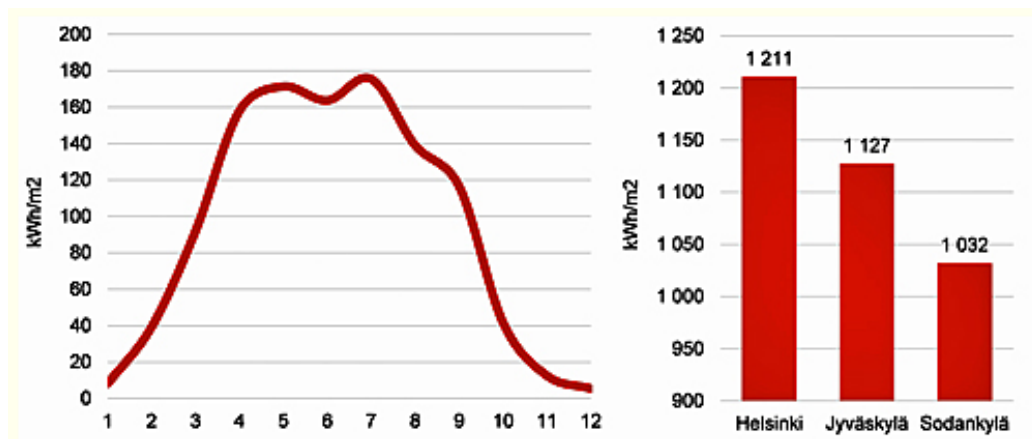
KUVA 1. Maanpinnalle tuleva auringon säteily (Tahkokorpi ym. 2016, 13)

## 1.2 Auringon säteily Suomessa

Koska Suomi sijaitsee maapallolla pohjoisessa osassa, jakautuu sen säteily vuositason suhteellisen epätasaisesti. Tyypillistä Suomessa on, että aurinko on yleensä melko alhaalla, joten ympäristön varjostuksista on suurempi haitta säteilyn tehokkuudelle. Toisaalta säteilystä iso osa epäsuoraa säteilyä, joten sen vaikutus on päinvastainen. Auringonsäteilyn teho ja auringonpaisteen määrä vaihtelevat merkittävästi maapallon liikkeen ja sään vaihteluiden mukaan. (Tahkokorpi ym. 2016, 23.)

Etelä-Suomen vuotuinen kokonaissäteilyn määrä on lähes yhtä suurta kuin Pohjois-Saksassa. Suomessa säteily kohdentuu kuitenkin eteläisempää Eurooppaa vahvemmin kesäkuukausille, joten säteilyn tuotanto vaihtelee Suomessa enemmän vuodenaikojen mukaan. Helsingissä vuotuinen säteily määrä vaakasuoralle pinnalle on Ilmatieteen laitoksen tekemän testivuoden mukaan noin  $980 \text{ kWh/m}^2$  kun taas Sodankylässä vastaava säteily määrä on noin  $790 \text{ kWh/m}^2$ . Kun aurinkopaneelit suunnataan  $45^\circ$  asteen kulmassa etelään päin, voidaan käytettävän säteilyn määrää lisätä 20- 30 prosenttia verrattuna vaakasuoraan asennukseen. Alla olevassa kuvassa (2) on esitetty keskimääräiset kuukausittaiset säteily määrät  $45^\circ$  asteen kulmassa etelään päin suunnatulle pinnalle Suomes-

sa. Kuvan (2) oikean puoleisessa kaaviossa on esitetty vuotuisten säteilymäärien erot eri kaupungeissa. (Motiva: Aurinkoenergia 2016.)



KUVA 2. Keskimääräiset kuukausittaiset säteilymäärät Suomessa ja vuotuisia säteilymääriä kolmessa kaupungissa (Motiva 2016)

### 1.3 Aurinkosähkön käyttö Suomessa

Monille voi tulla yllätyksenä, että Suomessa on pitkät perinteet aurinkosähkön käyttämisestä. Suomalaisilla kesämökeillä on noin 80 000 mökkiaurinkosähkölaitteistoa. Sähköverkkoon näitä ei ole kytketty. Kyseisiä järjestelmiä on rakennettu käytännössä 1980-luvulta lähtien. (Käpylehto 2016, 42.)

Suomessa on asennettuna lokakuussa 2015 Energiaviraston ja FinSolar hankkeen kyselyn perusteella noin kahdeksan megawattia verkkoon liitettyä aurinkosähköä. Jos Suomea verrataan aurinkosähkön edelläkävijämaahan Saksaan, niin siellä on jopa suuruusluokaltaan 5000 kertaa enemmän aurinkosähköä, vaikka tuotantopotentiaali on samaa luokkaa. Etelä-Suomeen tai Pohjois-Saksaan asennettu samanlainen aurinkopaneelisto tuottaa vuositason suunnilleen saman verran sähköä. (Käpylehto 2016, 42.)

Asuinrakennusten voimalat ovat keskimäärin omakotitaloissa kooltaan 2-10 kW<sub>p</sub> ja teolliset voimalat yleensä vähintään 10 kW<sub>p</sub> nimellisteholtaan. Suurin käytössä oleva aurinkovoimala Suomessa keuhällä 2017 on kooltaan reilut 850 kW<sub>p</sub>. Tämä voimala sijaitsee Helsingissä Kivikon hiihtohallin katolla.

Ylivoimaisesti suurin osa Suomen sähköverkkoon kytketystä aurinkosähköstä muodostuu keskisuurista aurinkosähkövoimaloista, joiden nimellisteho on 5-100 kW<sub>p</sub>. Verkkoyhtiöittäin jaoteltuna eniten voimaloita sijaitsee Carunan verkkoalueella, tehot noin 2280 kW<sub>p</sub>. Toiseksi suurimmat kapasiteettimäärät sijoittuvat Helen Sähköverkkojen ja kolmanneksi suurimmat Lappeenrannan Energiaverkkojen alueille. (FinSolar 2015.)

## 2 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

### 2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli toimii aurinkosähköjärjestelmän auringon säteilyenergian keräimenä. Tämän kappaleen alaluvuissa selitetään, miten aurinkopaneeli tuottaa sähköenergiaa, mitä eri aurinkosähkön keskeiset termit tarkoittavat ja mitä eri paneelityyppejä markkinoilla on. Aurinkopaneeleista ja kennoista puhuttaessa pitää olla tarkkana, että käyttää oikeaa termiä oikeassa asiayhteydessä. Aurinkopaneeli koostuu useista joko sarjaan tai rinnan kytketyistä kennoista, eli aurinkokenno on yksi paneelin osa. Aurinkopaneelisto tarkoittaa taas useamman aurinkopaneelin kytkentäryhmää.

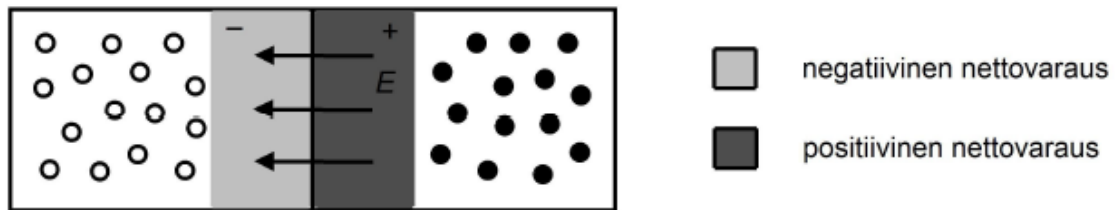
#### 2.1.1 Aurinkopaneelien toiminta teoriassa

Yksinkertaisesti aurinkopaneelin toimintaa voidaan kuvata seuraavasti: Auringon säteily koostuu fotoneista eli hiukkasista, jotka kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Osuessaan aurinkopaneelin kennoihin fotonit luovuttavat energiansa kennojen materiaalien elektroneille. Fotoneilta energiansa saaneet elektronit muodostavat sähkövirran aurinkokennoihin ja sieltä virtajohtimiin. (Motiva, 2016.)

Hyvin sähköä johtavista kiinteistä aineista löytyy aina energiavyö, joka on osittain elektronien miehittämä. Kun taas eristeistä ja puolijohteista löytyy alhaisissa lämpötiloissa vain täysiä ja tyhjiä energiavöitä. Täysin miehitettyä energiavyötä kutsutaan valenssivyöksi ja tyhjää energiavyötä johtavuusvyöksi. Kun lämpötila kasvaa aurinkokennon pinnalla, osalla valenssivyön elektroneista saattaa olla niin paljon energiaa, että ne siirtyvät johtavuusvyölle. (Korpela, 2014.)

Jos aurinkokenno valmistettaisiin puhtaasta puolijohteesta, kuten piistä, auringonsäteilyn synnyttämiä varauksenkuljettajia ei saataisi hyödynnettyä sähkötehon tuottamiseen. Tämän takia puolijohteeseen lisätään seosaineita, jotta sen ominaisuudet muuttuvat. Seosaineina käytetään fosforia (P) ja booria (B). Fosforilla seostetusta piistä käytetään nimitystä n-tyyppi ja boorilla seostetusta piistä nimitystä p-tyyppi. Kun p- ja n-tyypin puolijohteet viedään yhteen, syntyy pn-liitos. Liitoksen keskelle muodostuu tyhjennysalue, jossa on sekä negatiivinen ja positiivinen nettovaraus. Tyhjennysalueeseen syntyy

sähkökenttä, jossa elektronit siirtyvät johtavuusvyöltä valenssivyölle. Tästä ilmiöstä havainnollistavana kuva (3). Tiivistettynä voidaan sanoa, että auringonsäteilyn fotonit synnyttävät aurinkokennon seostetuissa puolijohteissa sähkövirran pn-liitoksen. (Korpela, 2014.)



KUVA 3. Sähkökentän muodostuminen pn-liitoksen tyhjennysalueeseen (Korpela 2014, 39)

### 2.1.2 Aurinkopaneelien tekniset ominaisuudet

Aurinkopaneelin virtajännitekäyrä tai ominaiskäyrä ilmoittaa, millä jännitteen ja virran arvoilla paneeli voi toimia. Ominaiskäyrään liittyviä pisteitä ovat oikosulkuvirta, tyhjäkäyntijännite ja maksimitehopiste. Paneelin perään kytketty kuorma tai akusto määrää paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen taas virta hakeutuu kulloistakin lämpötilaa ja säteilyä vastaavalla ominaiskäyrällä. Kuvassa (4) on tyypillisen 60-kennoisen 250 piikkiwatin aurinkopaneelin ominaiskäyrä standardiolosuhteissa. Kuvan (4) käyrän mukaan paneelista irtoaa paras teho, kun sitä kuormitetaan sen maksipisteessä, joka on 30 voltia ja 8,3 ampeeria. (Tahkokorpi ym. 2016, 137.)



KUVA 4. Tyypillisen aurinkopaneelin ominaiskäyrä (Tahkokorpi ym. 2016, 138)

Aurinkopaneelien nimellistehot ilmoitetaan piikkiwatteina (Wp). Tämä kertoo paneelien tehon standarditestiolosuhteissa (*STC*). Testiolosuhteet edellyttävät paneelin pinnalle säteilyä  $1000 \text{ W/m}^2$ , paneelin kennojen lämpötilan olevan  $+25 \text{ °C}$  sekä auringon säteilyn spektrin vastattava spektriä joka syntyy, kun säteily suodattuu ilmakehässä matkan, joka on 1,5 kertaa ilmakehän paksuus. (Tahkokorpi ym. 2016, 138–139.)

Paneelin nimellisteho ei ole paneelin maksimiteho. Paneeli voi tuottaa pitkiäkin aikoja nimellistehoaan enemmän riippuen säteilystä ja lämpötilasta. Suomessa tällainen tilanne on käytännössä vain kevättalvella, jos paneelit on asennettu jyrkkään kulmaan ja niihin osuu suoran auringonpaisteen lisäksi heijastuksia lumihangesta. (Tahkokorpi ym. 2016, 138.)

Aurinkopaneelien tyhjäkäyntijännitteestä puhuttaessa tarkoitetaan paneelin jännitettä, kun kuormaa ei ole kytketty. Oikosulkuvirralla tarkoitetaan paneelin tuottamaa enimmäisvirtaa, kun sen navat on kytketty oikosulkuun. Tyypillinen oikosulkuvirran arvo on 8 ampeeria noin 250 watin nimellistehon paneelilla. Maksimitehopiste on paneelin virran ja jännitteen arvo, jolla saavutetaan suurin ulostuloteho. (Tahkokorpi ym. 2016, 140.)

Aurinkopaneeli tuottaa paremmin tehoa kylmänä kuin lämpimänä. Tämä johtuu aurinkokennon puolijohteen ominaisuuksista. Tämä tulee huomioida kiinteistöasennuksissa jättämällä katon ja paneelin väliin riittävästi tilaa, jotta katon ja paneelin väliin syntyy jäähdyttävä virtaus kesähelteillä. Paneelien ylä- ja alareunoja ei myöskään tule tukkia, jotta ilma pääsee kiertämään vapaasti. Paneelin tuotantoteho muuttuu noin 20 prosenttia lämpötilan muuttuessa 50 astetta. Muutokseen vaikuttaa kuitenkin paneelin tyyppi ja ikä. (Käpylehto 2016, 63.)

Aurinkopaneelin sähköiset ominaisuudet on merkitty tyyppikilpeen, joka löytyy paneelin takaa. Tyyppikilvessä mainitut asiat ja sähköisten termien esitystavat voivat vaihdella valmistajasta riippuen. Kuvassa (5) on esimerkkinä amerikkalaisen First Solarin valmistaman paneelin tyyppikilpi.



KUVA 5. Aurinkopaneelin tyyppikilpi (First Solar)

Alapuolella on selitetty, mitä kuvan (5) listatut sähköiset ominaisuudet tarkoittavat suomeksi:

- Nominal Power; suurin nimellinen tuotantoteho
- Current at mpp; nimellisvirta tehon maksimi pisteessä
- Voltage at mpp; jännite tehon maksimi pisteessä
- Short Circuit Current; oikosulkuvirta, joka kulkee oikosuljetusta johtimesta, eli kun aurinkopaneelin kaksi johdinta liitetään yhteen.
- Open Circuit Voltage; avoimen piirin jännite, eli kuormittamattoman paneelin jännite
- Maximum System Voltage; Sarjaan kytkettyjen paneelien maksimijännite, eli sarjassa voi olla korkeintaan  $1000\text{V} / 62\text{ V} = 16,12$  eli 16 paneelia. (Käpylehto 2016, 66 – 67.)

### 2.1.3 Eri aurinkopaneelityypit

Aurinkopaneelityypit voidaan jakaa karkeasti kolmeen käytössä olevaan tyyppiin: yksikide-, monikide- ja ohutkalvopaneelisiin. Kiinteistökäytössä aurinkokennojen valmistusmateriaalina käytetään pääsääntöisesti yksi- tai monikiteistä piitä. Noin 90 prosenttia saatavilla olevista aurinkokennoista on piikidekennoja. Seuraavissa kappaleissa on selitetty yksityiskohtaisemmin kutakin paneelityyppiä. Aurinkopaneelin hyötysuhteesta puhuttaessa tarkoitetaan, kuinka suuren osan paneelin pinnalle tulevasta auringon säteilyintensiteetistä paneeli pystyy muuttamaan sähköenergiaksi.

Yksikidepaneeli on kasattu hyödyntäen yksikiteisestä piistä sahattuja piikiekkkoja. Puoli-johteen kiderakenne on yhtenäinen ja tästä syystä hyötysuhde on hyvin korkea. Yksikide aurinkopaneelin rakenteen tunnistaa aktiivisen alueen vieressä olevista salmiakkikuvioista. Yksikidepaneelin hyötysuhde vaihtelee 16 ja 25 prosentin välillä. (Käpylehto 2016, 58.) Kuvassa (6) vasemmalla puolella on esitetty yksikidepaneelin kuva.



KUVA 6. Yksi -ja monikide aurinkopaneeli (Aurinkosähkö.net)

Monikidepaneeli on yleisin aurinkopaneelityyppi kiinteistökäytössä. Paneelin puolijoh-teesta eli aurinkokennosta voidaan tehdä sopivan kokoinen, joten koko paneelin pinta-ala on katettavissa monikidepaneelilla. Paneelin pinta on tasainen ja yhtenäinen. Paneelin hyötysuhde on hieman matalampi kuin yksikidepaneelilla, alle 20 prosenttia. Paneelilla varjostus ei ole kuitenkaan niin suuri ongelma, joten eri suunnista tulevat auringon-

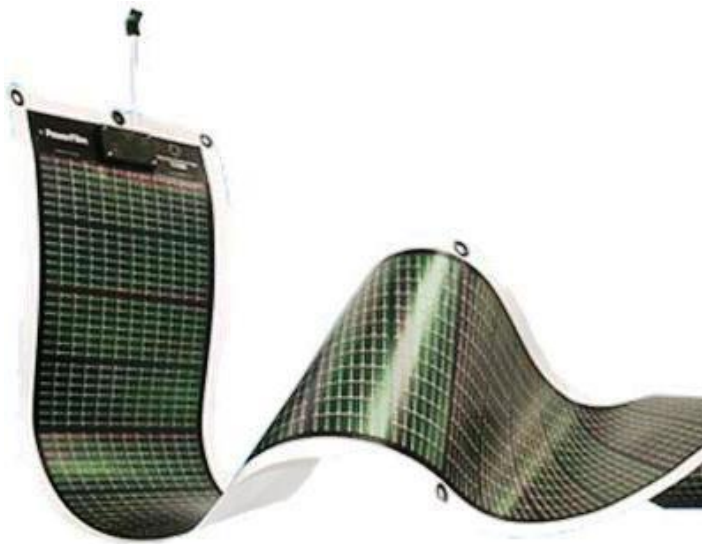


säteet muuttuvat helpommin hyödynnettäväksi energiaksi. (Käpylehto 2016, 58.) Kuvassa (6) oikealla puolella on esitetty monikidepaneelin kuva.

Yksi- ja monikidepaneelien mekaaninen rakenne on tyypillisesti seuraavanlainen. Paneelit kasataan alumiinirunkoiseen kehykseen. Paneelin takaosa on komposiitti muovina. Paneelin kennot on tyypillisesti suojattu päältä 3-5 millimetriä paksulla lasilla ilmalta ja kosteudelta. Varsinainen aurinkokenno sijaitsee kahden ohuen etyylivinyyliasetaatti levyn välissä. Kennon puolijohteiden paksuus on noin 0,25 millimetriä ja ne on yhdistetty toisiinsa lattaliittimillä. Aurinkopaneelin takana on liitinpaneeli, johon on vedetty kennoston päistä plus- ja miinus liittimet. (Käpylehto 2016, 68.)

Ohutkalvopaneelit ovat mahdollisesti tulevaisuudessa voimakkaasti yleistyvä paneelityyppi. Kevyet ja taipuisat cigs-ohutkalvot valmistetaan kuparista, indiumista, galliumista ja diselenidistä. Kennoja voidaan integroida suoraan esimerkiksi talojen kattopelteihin. Halvimmaksii tulee ostaa cigs-paneelit kattoa vaihdettaessa tai rakentaessa, jotta paneelit liimataan kattoon jo tehtaalla suoraan. Kennojen tekniikkaa on kehitetty 10- 15 vuotta, ja nykyään hyötysuhde on tavoittanut perinteiset piiaurinkokennot. Valmistettavien kennojen hyötysuhde on noin 16 prosenttia. Hyötysuhteeksi voitaisiin saada yli 20 prosenttia, mutta taloudellisesti se ei ole kannattavaa. (Tekniikkatalous.fi)

Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään vähän tehokkaammin hajasäteilyä, kuin kiteisen piin paneeleilla. Vuositasolla vaikutus on kuitenkin hyvin vähäinen. Ohutkalvopaneelit päästävät enemmän valoa lävitseen, joten auringonsäteilyä ei saada hyödynnettyä sähköntuotantoon yhtä hyvin kuin kiteiseen piihin perustuvilla paneeleilla. (Motiva 2017.) Kuvassa (7) on esitetty ohutkalvopaneelin kuva.



KUVA 7. Ohutkalvopaneeli (Circuitstoday.com)

Aurinkosähköteknologiat voidaan jakaa kolmeen eri sukupolveen. Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoja ovat yksi- ja monikiteiset piikennot. Toisen sukupolven aurinkokennoja ovat ohutkalvoaurinkokennot. Nämä molemmat teknologiat perustuvat valosähköiseen ilmiöön ja puolijohteiden pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään. Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä kehitysasteella. Esimerkkinä voidaan mainita nanokidekennot, joita voidaan kutsua myös väriaineherkistetyiksi kennoiksi tai Grätzel-kennoiksi. Nanokidekennot eivät perustu pn-liitoksen aikaansaamaan sähkökenttään, vaan elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. (Motiva 2017.)

## 2.2 Vaihtosuuntaaja

Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa (DC), joka muutetaan verkkoinvertterin eli vaihtosuuntaajan avulla vaihtovirraksi (AC). Sähköverkkoon kytkettävien inverttereiden tulee täyttää suomalaisen standardin määräykset SFS-EN-50438, joka määrittää jakeluverkon sekä kiinteistön sähköverkon vaatimukset. (Tahkokorpi ym. 2016, 142.)

Vaihtosuuntaaja kytketään joko yksi- tai kolmivaiheisesti rakennuksen sähköpääkeskukseen. Pienen kapasiteetin järjestelmät, kuten alle 3,7 kW<sub>p</sub>:n kytketään yleensä yksivaiheisesti ja tätä isommat kolmivaiheisesti. Riippuen järjestelmästä ja laitevalmistajasta, useimmiten suuret järjestelmät toteutetaan asentamalla useampia vaihtosuuntaajia. Tämä on kustannustehokkaampaa kuin yhden suuren vaihtosuuntaajan asentaminen. Lisäksi mahdollisissa vikatilanteissa osa järjestelmästä voidaan kytkeä pois verkosta ja osa jättää toimintaan. (ST-kortti 55.33, 2013, 3.)

Suuremmissa aurinkosähköjärjestelmissä suositellaan suuntaajien asennusta paneelien läheisyyteen, jotta säästetään kaapelikustannuksissa. Pienissä järjestelmissä suuntaajien asennuspaikalla ei ole juuri merkitystä. Ne voidaan asentaa aurinkopaneelien läheisyyteen ulkotiloihin, lähelle sähkökeskusta tai näiden välille muihin tiloihin. (ST-kortti 55.33, 2013, 3.)

Hyvälaatuisen verkkoon kytketyn invertterin elinikä on todennäköisesti yli 20 vuotta Suomessa. Invertterit eivät varsinaisesti vaadi huoltoa, mutta joissakin inverttereissä käytetään jäähdytyspuhallinta, joka joudutaan mahdollisesti uusimaan laitteen eliniän aikana. Tämä on hyvä ottaa huomioon kustannuslaskelmissa. Akku-järjestelmään liitettävien inverttereiden elinikää on vaikeampi arvioida ennakolta. Elinikään vaikuttavat muun muassa invertterin asennuspaikka, jäähdytys, kuormien kytkentä ja niiden käyttö sekä invertterin laatu. (Tahkokorpi ym. 2016, 144.)

Tukesin vuoden 2014 loppupuolella julkaiseman tiedotteen mukaan aurinkopaneelien sähköverkkoon liitettävien vaihtosuuntaajien toiminnoista löydettiin runsaasti puutteita. Viranomaiset tarkastivat yhteensä 55 aurinkopaneelin sähköverkkoon kytkettävää invertteriä EU:n alueella. Teknisiä puutteita oli yli 60 % testatuista tuotteista. Yleisimmät puutteet suuntaajissa olivat, että ne lähettivät ympäristöön sallittua enemmän sähkömagneettisia häiriöitä tai, että tuotteen merkinnät ja tiedot olivat puutteellisia. Sähkömagneettiset häiriöt ilmenevät usein häiriöinä muiden sähkölaitteiden toiminnassa, kuten televisioissa, tietokoneissa ja radioissa. (Tukes lehdistötiedote, 2014.)

## 2.3 Kaapelointi

Tasavirtapuolella (DC) eli paneelien ja verkkoinvertterin välillä käytetään tyypillisesti halkaisijaltaan 6 tai 10 mm<sup>2</sup> suojattua teräskaapelia, niin sanottua aurinkopaneelikaapelia. Vaihtovirtapuolella (AC) verkkoinvertterin jälkeiset johdotukset tehdään tyypillisesti sisäasennuskaapeleilla kuten MMJ 5x6 mm<sup>2</sup>. Käytettävä kaapelityyppi ja johtimien poikkipinta-ala määräytyy asennuspaikan ja kaapelissa kulkevan virran mukaan. Verkkoinvertteriltä kaapelointi kulkee turvakytkimelle, jonka jälkeen se viedään sähkökeskukseen. Kaapeloinnin mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös jännitehäviöiden aiheuttamat vaikutukset. (Käpylehto 2016, 141.)

Standardi SFS 6000-7-712 mukaan valosähköisten järjestelmien johdotusten on kestävä odotettavissa olevia ulkoisia olosuhteita, kuten tuulta, jään muodostumista, lämpötilaa sekä auringon säteilyä. Edellä mainittu standardi ohjeistaa myös, että paneeliketjukaapelit, paneelistokaapelit ja tasajännitepääkaapeli on valittava ja asennettava siten, että minimoidaan oikosulkujen ja maasulkujen vaikutukset. (SFS 6000-7-712, 7.)

## 2.4 Keskukset

Aurinkopaneelien johdotukset voidaan kytkeä verkkoinvertterin jälkeen joko erilliseen aurinkosähkökeskukseen tai suoraan kiinteistökeskukseen. Aurinkosähkökeskuksen käyttö ei ole pakollista, mutta se mahdollistaa helpommin järjestelmän laajentamisen myöhemmässä ajankohdassa. Aurinkosähkökeskus kannattaa sijoittaa samaan tilaan, missä invertteri sijaitsee, jotta saadaan keskitettyä järjestelmän komponentit samaan tilaan. Paikallinen sähköverkkoyhtiö vastaa kiinteistökeskuksen mittaroinnista siten, että sillä voidaan mitata myös verkkoon syötettyä tehoa.

## 2.5 Suojaukset ja erottaminen

Aurinkopaneelit itsessään eivät pysty tuottamaan suurta vikavirtaa. Suuria vikavirtoja voi tosin aiheutua ulkoisista tekijöistä kuten salamoista. Ylivirtasuojia tarvitaan suojaamaan aurinkosähköjärjestelmää sähköverkosta tulevilta ylivirroilta sekä muilta vika-tilanteilta. Aurinkopaneelien suojaukset määritellään valmistajien ohjeissa. Aurinkopaneelien välisistä paneeliketjukaapeleista sekä myös tasajännitepääkaapelista voidaan jättää ylikuormitussuojaus pois, jos kaapelin jatkuva kuormitettavuus on 1,25 kertaa oikosulkuvirta  $I_{SC}$  standarditestiolosuhteissa. (ST-kortti 55.33, 2013, 4.)

Vaihtosähköosien kaapelien ja laitteiden suojausta suunniteltaessa noudatetaan rakennuksen jakeluverkon yleisiä, standardin SFS 6000 mukaisia määräyksiä. Vaihtosuuntaajalta rakennuksen sähkökeskukselle menevä kaapeli on liitettävä kulutuslaitteita syötön automaattisella poiskytkennällä suojaavan laitteen syöttöpuolelle. Järjestelmän syöttökaapeli on suojattava oikosululta alkupisteeseen sijoitetulla ylivirtasuojalla. Lisäksi järjestelmässä on oltava poiskytkennän suorittava B-tyypin vikavirtasuojaja, jos järjestelmä sisältää aurinkosähkösyötön, jossa ei ole yksinkertaista erotusta tasa- ja vaihtosähköosien välillä. (ST-kortti 55.33, 2013, 4.)

Standardissa SFS 6000 mainitaan valosähköisten tehonsyöttöjärjestelmien kohdassa, että vaihtosuuntaajan huollon takia on oltava erotuslaitteet, jolla vaihtosuuntaaja saadaan erotettua tasa- ja vaihtosähköosasta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmässä tulee olla lukittava turvakytkin, jolla voidaan erottaa luotettavasti piirit toisistaan. Turvakytkimeen tulee olla verkonhaltijalla esteetön pääsy. (SFS 6000-7-712, 8.)

Henkilöturvallisuuteen liittyvistä syistä (kunnossapito, henkilökunta, tarkastajat, sähköjakeluverkon huoltohenkilöt jne.) johtuen on erityisen tärkeää ilmoittaa, että rakennuksessa on aurinkosähkölaitteisto. Liitteessä (2) on esitetty merkintä, joka on kiinnitettävä aurinkosähköjärjestelmään, joko:

- Liittymiskohdassa
- Sähköenergianmittauskohdassa, jos se on eri kuin liittymiskohta
- Kuluttajan yksikössä tai jakokeskuksessa, johon invertteri on kytketty
- Kaikkien tehonsyöttölähteiden kaikissa erotuskohdissa

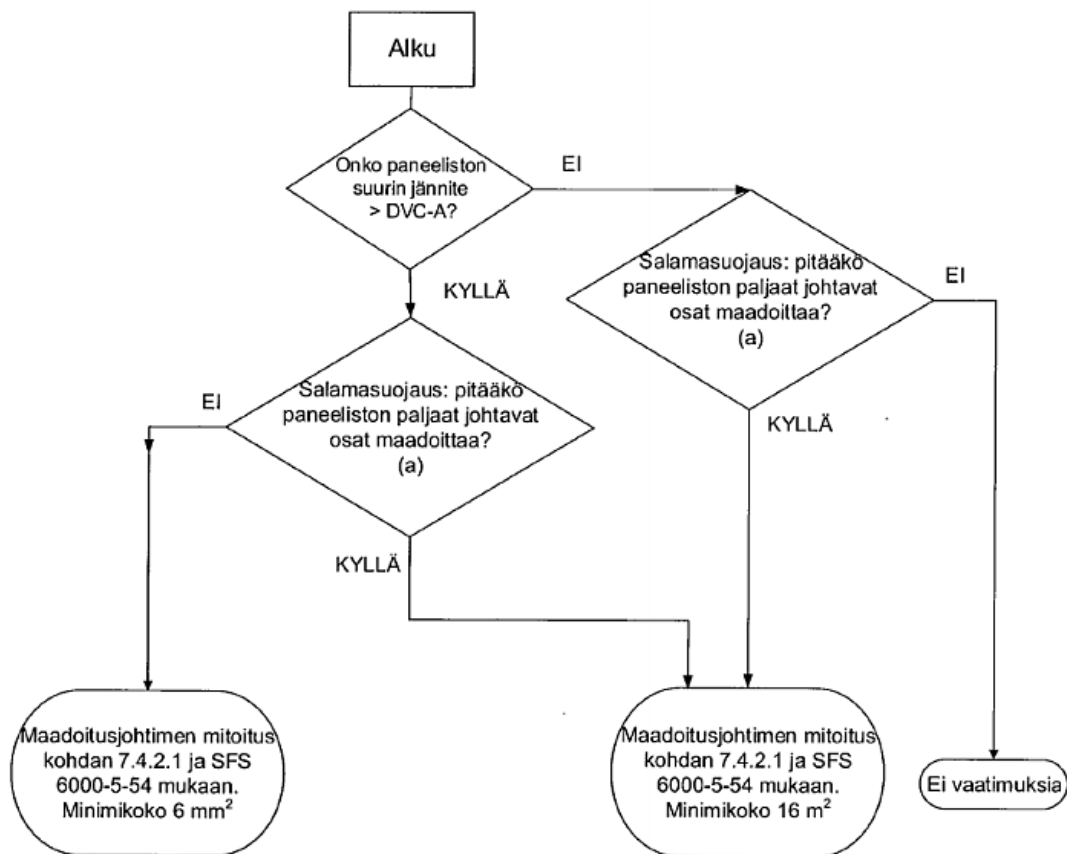
Lisäksi liitteessä (2) näkyvä merkintä ”SOLAR DC” on liitettävä paneelistoon ja paneeliliiketjujen liitântäkoteloon (SFS-käsikirja 607, 51.)

## 2.6 Maadoitukset

Aurinkopaneelien paljaat johtavat osat pitää suurimmassa osassa tapauksista maadoittaa. Standardin SFS 6000-5-54 määritelmän mukaan maadoitusjohtimen on oltava vähintään  $6 \text{ mm}^2$  kuparia tai  $50 \text{ mm}^2$  terästä. Usein aurinkopaneelien johtavat alumiinirungot kytketään maadoitusjohtimilla paneelien telineisiin. Telineistä maadoitukset koostaan paneeliston kytkentärasiaan, josta maadoitus vietään rakennuksen maadoitusjärjestelmään. Lisäksi järjestelmän vaihtosuuntaajalle on vietävä  $6 \text{ mm}^2$  potentiaalintasauskaapeli. (SFS 6000-5-54.)

Joissakin järjestelmän kokoonpanoissa voidaan tarvita minimikokoa suurempia johtimia, johtuen salamasuojausjärjestelmän vaatimuksista. Kuvassa (8) on esitetty päätöksentekokaavio paneeliston paljaiden johtavien osien toiminnallisesta maadoittamisesta/potentiaalintasauksesta. Päätöksentekokaaviossa esiintyvä jänniteluokan termi DVC-A tarkoittaa, että tasajännite voi olla maksimissaan 60 VDC ja vaihtojännite maksimissaan

25 VAC kyseisessä jänniteluokassa. Kaaviossa esiintyy lisäksi merkintä (a), jolla viitataan standardiin IEC 62305 ja IEC 62305. (SFS Käsikirja 607, 45- 60.)



KUVA 8. Päätöksentekokaavio paneeliston paljaiden johtavien osien maadoittamiseen (SFS-käsikirja 607, 46)

## 2.7 Akusto

Aurinkosähköpaneelien tuottama sähköenergia on parhaiten varastoitavissa akustoihin. Perinteisesti aurinkosähköakut ovat olleet lyijyakkuja, mutta litiumakut ovat yleisty- mässä aurinkosähkömarkkinoilla. Akkujen tehokas käyttö rajoittuu lähinnä tunti- ja päivätason energian varastointiin. Pidemmän aikavälin sähköenergian kausivarastointia ei nykytekniikalla ole vielä mahdollista. Akuston valinnan tulisi perustua aina kokonais- taloudellisuuteen, joka koostuu akun hankintahinnasta, huollontarpeesta sekä odotetta- vasta eliniästä. (Tahkokorpi ym. 2016, 155.)

Akkuhuoneen, jossa on avoimia akkuja, tulee olla ikkunaton ja sen pintakäsittelyssä on käytettävä happoja kestäviä materiaaleja ja maaleja. Erityisesti lattia on pinnoitettava niin, että se kestää happoja. Mikäli lattia ei ole haponkestävä, tulee avoimien akkujen telineiden alle sijoittaa vuotoallas, johon akun elektrolyytti voi valua. Suljettujen akkujen osalta vuotoallasta tai lattian käsittelyä ei tarvita. Akkuhuone tulee merkitä oven ulkopuolelta varoitusmerkeillä ja huomautuksilla. Kaikki lyijyakut kehittävät varatessa vetykaasua, joka voi muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen. Tämän takia akkutilassa tulee olla hyvä ja tarvittaessa koneellisesti tehostettu ilmanvaihto. (ST-kortti 52.30.01, 2016.)

Verkkoon liitetyissä aurinkosähköjärjestelmissä akkuja tarvitaan harvoin, eikä ne ole taloudellisessa mielessä kovin kannattavia. Ainoastaan jos ollaan alueella, jossa valtakunnan sähköverkko on epävarma, niin kannattaa harkita akuston käyttämistä varavoi-  
mana. Toiminta vastaa UPS:n eli katkeamattoman tehonlähteen toimintaa. Tämä tarkoittaa, että kun sähköverkko katkeaa, laitteisto jatkaa toimintaa välittömästi hyödyntäen akuston sähköenergiaa. Tällainen järjestelmä ei toimi tavallisella verkkoinvertterillä, vaan tarvitsee toimiakseen island-tyyppisen verkkoinvertterin, joka pystyy jatkamaan toimintaa sähköverkon ollessa nurin. (Käpylehto 2016, 79.)

Verkkoon kytkemättömissä itsenäisissä saarekejärjestelmissä aurinkopaneelien tuottama sähkö varastoidaan akkuihin, jos tuotanto ja kulutus eivät osu kohdakkain. Järjestelmään kuuluu lataussäädin paneelien ja akuston väliin. Verkkoon kytkemättömät järjestelmät ovat yleisiä taajamien ulkopuolella ja saarissa, johon sähköverkon liityntäpisteen tuominen olisi kallista ja hankalaa. Itsenäisiin järjestelmiin kuuluu usein muitakin energiantuotanto muotoja kuten tuulivoimala tai varavoimanlähteenä aggregaatti. (Tahkokorpi ym. 2016, 147-148.)

## **2.8 Verkkoon kytketyt järjestelmät**

Aurinkosähkön yleisin hyödyntämistapa maailmanlaajuisesti on verkkoon kytketyt järjestelmät. Tällaisissa järjestelmissä on kaksi varsinaista pääkomponenttia: aurinkopaneelisto ja invertteri. Järjestelmään kuuluu lisäksi kaapeloinnit, turvakytin, suojalaitteet ja mekaaniset komponentit, joilla paneelit kiinnitetään. Verkkoon kytketyissä aurinkosähköjärjestelmissä tarvitaan aina kahteen suuntaan kulutusta mittaava sähkömitta-





Kun generaattorilaitteisto toimii rinnan yleisen sähköjakeluverkon kanssa, on se varustettava laitteilla, joilla estetään sen kytkeytyminen jakeluverkkoon, jos verkon syöttö katkeaa tai jännite tai taajuus poikkeaa normaaliverkon ilmoitetuista arvoista (SFS 6000-5-55, 9.)

Jakeluverkon sähkön laadun asiakkaan liittymispisteessä määrittelee standardi SFS-EN 50160, yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön ominaisuudet. Keskeisimmät aurinkosähköä koskevat vaatimukset standardissa liittyvät jakelujännitteen suuruuteen ja verkkotaajuuteen. (SFS-EN 50160.)

Yleiseen sähköjakeluverkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä on Suomessa lukuisia. Jakeluverkonhaltijoille on vakiintunut jo selkeät käytänteet, miten järjestelmät liitetään verkkoon. Sähköntuottajalla on velvollisuus ilmoittaa laitteistonsa tiedot jakeluverkonhaltijalle. Verkonhaltijaan on hyvä olla yhteydessä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, kun tietää tulevasta projektista. Liitteessä (1) on mikrotuotantolaitteiston yleis-tietolomake, joka toimitetaan sähkönjakeluverkonhaltijalle ennen järjestelmän liittämistä yleiseen sähköverkkoon. (ST-kortti 55.33 2013, 4.)

### 3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

#### 3.1 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että aurinkopaneeleilla on mahdollista saada sähköä omalta katolta samaan hintaan kuin mitä sähköyhtiöltä voisi ostaa. Olennaisin asia on, että tuotanto hyödynnetään pääosin itse, sillä sähköyhtiön maksava korvaus ei ole kovin hyvä. (Käpylehto 2016, 93.)

Oli järjestelmä millainen tahansa, riippuu sen mitoitus aina ensisijaisesti kohteen sähkönkulutuksesta ja sen ajallisesta jakaumasta. Järjestelmä pitäisi saada mahdollisimman hyvin vastaamaan aurinkosähkön tuotantoa, joka tapahtuu päiväsaikaan. Kesäaikana Suomessa auringonpaiste on voimakkaammillaan yhden aikaan päivällä. (Tahkokorpi 2016, 178.)

Paneeliston vuosituotantoon vaikuttavat järjestelmän maantieteellinen sijainti, ympäristön varjostukset, paneelien asennuskulmat sekä asennustavat. Hyvä ohjelmisto aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun on EU:n ylläpitämä verkkosivustopohjainen PVGIS (Photo-voltaic Geographical Information System) -työkalu. Ohjelmiston avulla saa kohtuullisen hyvän arvion vuosituotosta, jos varjostuksia ei ole. (Käpylehto 2016, 96.)

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus verkkoon kytketyissä kohteissa voi perustua muun muassa seuraaviin lähtökohtiin:

- pohjakulutukseen perustuva mitoitus
- keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä
- nettonollaenergiamittaus (keskimääräinen kulutus vuoden aikana)
- energiaomavaraisuus sähkön osalta
- käytettävissä oleva katto, seinä tai maapinta-ala
- järjestelmään käytettävä rahamäärä

Suomessa sähköenergian kulutusta mitataan useimmissa käyttöpaikoissa tuntitasolla. Olemassa olevissa kohteissa mittaustietoa on hyvä käyttää avuksi enimmäistuottotarvetta suunniteltaessa. Kohteen vähimmäiskulutus (pohjakulutus) voidaan selvittää jo yhden

vuoden mittaustiedon avulla melko tarkasti. Pohjakulutus on energiamäärä, jonka kohde kuluttaa jokaisena tuntina, jona aurinkosähköä on mahdollista tuottaa. (Motiva 2016.)

### 3.2 Aurinkosähkön käyttö asunto-osakeyhtiössä

Asunto-osakeyhtiössä on kolme tapaa hyödyntää aurinkosähköä. Yleisin tapa on liittää järjestelmä talon kiinteistösähköliittymään. Toinen tapa on liittää järjestelmä yksittäisen huoneiston sähkönkulutukseen. Kolmas tapa on takamittarointi, jossa yksittäisillä asukkailla, ei ole omia sähkömittareita, vaan kulutus laskutetaan vastikkeen mukana. Tämä mahdollistaa aurinkosähkön tuoton menevän asuntojen käyttöön. Kuvassa (10) on esitetty esimerkkinä, minkälainen prosessi tulee käydä läpi, kun aurinkosähköjärjestelmää aletaan hankkia taloyhtiöön. (Käpylehto 2016, 106-113.)



KUVA 10. Aurinkosähköjärjestelmän hankintapolku taloyhtiöön (FinSolar)

Yksittäiseen huoneistoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä vain yhteen huoneistoon. Tällainen järjestelmä ei vaikuta kiinteistösähköön tai muiden huoneistojen

sähkökäyttöön. Tämä kytkentätapa ei kannata kerrostalossa, koska yksittäisen huoneiston sähkönkäyttö on niin vähäistä. Ongelmaksi voisi muodostua myös, että taloyhtiö ei anna lupaa yksittäisellä asukkaalle omaan järjestelmään. Lisäksi tällaisen järjestelmän investointihinta kasvaisi todennäköisesti niin suureksi, että takaisinmaksu aika venyisi todella pitkäksi.

Takamittarointi mahdollistaa huomattavasti suuremman aurinkosähköjärjestelmän käytön, sillä siinä tuotto saadaan käytettyä, sekä asukkaiden että kiinteistösähkön kulutukseen. Tällainen järjestely nostaa todennäköisyyttä, että katolla tuotettu sähköenergia menee omaan käyttöön, eikä verkkoon myytäväksi. Takamittaroinnin suurin haaste on, että se vaatii lähtökohtaisesti sataprosenttisen kannatuksen osakkailta, sillä he luopuvat sähkömarkkinalain mukaisesta oikeudesta valita itse sähköntoimittaja. Taloyhtiö laskuttaa tällaisessa järjestelyssä osakkaita sähkövastikkeen mukaan, joka määräytyisi todennäköisesti huoneiston pohjapinta-alan mukaan. (Käpylehto 2016, 112.)

Kiinteistösähkön sähkölaskun maksaa taloyhtiö eli hoitovastikkeen kautta osakkaat ja asukkaat. Talotekniikka ja sen määrä kiinteistössä vaikuttaa merkittävästi kiinteistösähkön kulutukseen. Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannalta olisi järkevää, että kiinteistösähkönliittymässä olisi jatkuvaa kulutusta, joka voitaisiin korvata aurinkosähköllä. (Käpylehto 2016, 106.)

Taloyhtiöiden kiinteistösähkön yleisimpiä kulutuskohteita ovat muun muassa:

- Yleisten tilojen valaistus
- Ulkovaalaistus
- Puhaltimet ja pumput
- Autolämmityspistorasiat
- Taloyhtiön sauna
- Hissit
- Pesutupa
- Kylmäkellari
- Räystäslämmitykset ja kaivolämmitykset

Kiinteistösähkön kulutusjakaumaa eri kulutuskohteiden välillä on haastava arvioida oikein, koska kiinteistösähköllä ei ole olemassa alamittauksia. Energia asiantuntijayritys

Motivan tekemän selvityksen mukaan 1970-luvun kerrostalossa kiinteistösähkön kulutus jakautuu suurin piirtein kuvan (11) mukaan.



KUVA 11. Kiinteistösähkön kulutus (Motiva 2016)

Yleensä aurinkosähköjärjestelmän liittäminen kerrostalon kiinteistösähkönkulutukseen on helpoin ja kannattavin vaihtoehto. Varsinkin vanhoihin taloyhtiöihin, joissa kiinteistösähköä kuuluu runsaasti, esimerkiksi vuodessa 50 000 kWh tai enemmän, suositellaan järjestelmän liittämistä kiinteistösähköliittymään. (Käpylehto 2016, 205). Kiinteistösähkön liitetty järjestelmä pienentää taloyhtiön vuosittaista sähkölaskua. Se ei vaikuta osakkaiden sähkönkäyttöön tai osakkaiden sähkösopimuksiin. Päätös aurinkosähköjärjestelmästä vaatii lähtökohtaisesti taloyhtiön yhtiökokouksen enemmistön, jotta hanke voi toteutua. Sujuvin keino on esitellä aurinkosähkö hanke ensin yhtiön hallitukselle ja sen jälkeen viedä asia yhtiökokouksen päätettäväksi hallituksen esityksenä. Osakkeenomistajien yhdenvertaisuus on aina lähtökohtana kaikessa asunto-osakeyhtiön toiminnassa. Esimerkiksi jos maksuperuste yhtiön suuntaan lisääntyy, kuten takamittaroinnissa käy, niin tarvitaan jokaisen yhtiön osakkaan hyväksyntä. (Käpylehto 2016, 132-133.)

Verkkoyhtiö Helen Oy:lle tehdyn sähköpostikyselyn (2017) perusteella he toteuttavat tällä hetkellä aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön mittaroinnin kaksisuuntaisella etämittaroinnilla. Tämä tarkoittaa käytännössä, että sähkömittari lukee verkosta ostetun ja

verkkoon myydyn sähkön erikseen. Sähköpostikyselyssä ilmeni myös, että Helen tutkii ja selvittää taka- sekä virtuaalimittaroinnin mahdollisuuksia parhaillaan.

Virtuaalimittarointi on palvelupohjainen digitaalinen ratkaisu. Virtuaalimittarointi pohjautuu älymittareihin ja niistä saatavaan tuntikohtaiseen mittaustietoon. Mittauksen palveluntarjoaja mittaa aurinkosähkön tuotantoa tuntitasolla ja hyvittää tuotannon käyttöpaikoille siellä tapahtuvan käytön mukaan. Käytännössä kaikki kytkennät pysyvät käyttöpaikkojen osalta nykyisenlaisina ja taloyhtiössä oleva aurinkovoimala kytketään suoraan sähkönjakeluverkkoon siten, että sen koko tuotanto syötetään verkkoon. Järjestely hyödyttäisi taloyhtiöitä ja kyläyhteisöjä, joissa on pienellä alueella useita käyttöpaikkoja. Nykyisen lainsäädäntö sallii taloyhtiöiden aurinkovoimaloiden virtuaalimittaroinnin, eikä käytännön esteitäkään ole, mutta järjestely ei ole taloudellisesti järkevä. Jotta aurinkosähkön tuotanto virtuaalimittaroinilla saadaan kannattavaksi, tarvitsee se muutosta sähköverolakiin. (FinSolar 2015.)

### **3.3 Viranomaismääräykset ja luvat**

Jos aurinkosähköpaketin tilaa niin sanottuna avaimet käteen -periaatteella, niin myynti-/asennusyritys hoitaa kaikki lupa-asiat. Pakollisia ilmoitus- ja lupa-asioita ovat ainakin paikalliselle sähköverkkoyhtiölle tehtävä verkkoon liityntäilmoitus, sähköyhtiön kanssa tehtävä sähköostosopimus ylijäämänsähkön osalle sekä rakennusvalvonnasta tulee tarkistaa toimenpideluvan tarve. Mikäli toimenpidelupa tarvitaan, pitää taloyhtiön naapureita tiedottaa hankkeesta ja antaa lausuntomahdollisuus. Pääkaupunkiseudulla aurinkosähköjärjestelmät on vapautettu toimenpideluvista, kun kiinteistö ei ole suojeltu eikä sijaitse kaupunkikuvallisesti tärkeällä alueella. Jos kiinteistö on museoviraston suojelema, niin museovirasto määrittelee mihin paneelit voi asentaa, jos niitä saa asentaa ylipäätään. (FinSolar 2017.)

### **3.4 Järjestelmän asentaminen**

Sähköverkkoon liitetyssä aurinkosähköjärjestelmän kohteessa sähköiset kytkennät tulee jättää aina sähköalan ammattilaisten tehtäviksi. Sähköalan ammattilaiseksi katsotaan henkilö, joka on tehtävään ja sen sähköturvallisuutta koskeviin vaatimuksiin perehtynyt. Lisäksi vaaditaan oikeus tehdä sähkötöitä, joka edellyttää ilmoittautumista Tukesin urakoitsijarekisteriin tai työskentelyä yrityksessä, jossa on nimetty sähkötöiden johtaja,

joka kuuluu urakoitsijarekisteriin. Verkkoon kytkettyjen järjestelmien asennusten kohdalla tulee noudattaa suomalaisia standardeja SFS 6000:2012 pienjännitesähköasennukset, osaa 7-712 sekä SFS-EN 62446 sähköverkkoon kytketyt järjestelmät (SFS-käsikirja 607 2015).

Suomen valtion omistama asiantuntijayritys Motiva Oy järjestää sertifiointikoulutusta aurinkosähköjärjestelmiä asentaville sähköasentajille. Koulutus on vapaaehtoinen ja se tarjoaa asentajille mahdollisuuden osoittaa pätevyytensä asennustöihin ja saada todistus sekä sertifiointi aurinkosähkön asennustöihin. (Motiva 2017.)

Ensimmäinen vaihe paneeliston asennuksessa on asentaa aina ensin paneeliston runko, johon paneelit kiinnitetään, oli kattotyyppi minkälainen tahansa. Jokainen aurinkopaneeli tulee kiinnittää vähintään neljällä kiinnikkeellä asennusrunkoon. Kytkentälaatikko, josta johdotukset tulevat alas on hyvä sijoittaa paneelien alaosaan, lukuun ottamatta alinta riviä, jossa kytkentälaatikko tulee ylös, jotta kaapelointi ei näy alhaalta katsottuna. (Käpylehto 2016, 150.)

Eri kattotyypeille on saatavilla tarkoitukseen soveltuva asennusjärjestelmä, jolla asentaminen on nopeaa sekä paneelit pysyvät katolla turvallisesti. Lähtökohtaisesti asennus pyritään tekemään niin, että kattoon ei tarvitse porata reikiä. Poikkeuksena ovat kuvioitu peltikatto ja huopakatto. Niihin joudutaan usein poraamaan pitkät ruuvit, jotka menevät ruoteisiin tai kattotuoleihin asti. Poikkeuksena on tasahuopakatto, jonne voidaan asentaa ilman reikiä kiinnikkeet, käyttäen massoihin kuten betonilevyihin perustuvaa asennusjärjestelmää. Kattokiinnikkeet asennetaan yleensä noin metrin välein, mutta valmistaja-kohtaisia eroja on eri asennusjärjestelmissä. Paneelit voidaan asentaa, joko vaaka- tai pystysuuntaan. Harjakattoasennuksissa on muodostunut tavaksi asentaa paneelit pystyyn ja tasakattoasennuksissa taas vaakasuuntaan. (Käpylehto 2016, 161.) Lisäksi ennen järjestelmän hankintaa on syytä selvittää ja analysoida olemassa olevan katon kunto, tiiveys ja kantavuus, jotta vältetään suuremmilta ongelmilta.

Kuten aikaisemmin mainittu, Suomessa paneelit kannattaa suunnata mahdollisuuksien mukaan etelään. Näin saadaan suurin vuosituotto paneeleista. Itään tai länteen suuntaaminen pienentää vuosituotantoa jo merkittävästi. Suomen leveyspiirillä tehokkain paneelien kallistuskulma on noin 35–45 astetta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 15 asteen poikkeama optimikulmasta vähentää vuosituotantoa noin 5 %. Paneelien optimi-

kallistuskulma vaihtelee vuodenajan mukaan. Keskipäivällä pienempi kallistuskulma tuottaa paremmin ja taas keväällä ja syksyllä pystymässä olevat paneelit tuottavat paremmin. (Motiva 2016.)

### 3.5 Dokumentointi

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkopaneelijärjestelmien odotettu elinaika on kymmeniä vuosia. Tähän sisältyy kunnossapitoa ja todennäköisesti joitakin muutoksia järjestelmän elinkaaren aikana. Järjestelmän omistaja tai haltija saattaa myös vaihtua ajan kuluessa, erityisesti kun järjestelmä on rakennettu rakennukseen. Tekemällä alusta alkaen tarkoituksenmukainen järjestelmän dokumentaatio, jota säilytetään joko järjestelmässä tai sen lähiympäristössä, voidaan varmistaa järjestelmän turvallisuus ja suorituskyky. (SFS-käsikirja 607 2015, 82.)

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkopaneelijärjestelmistä on laadittu vähimmäisvaatimukset dokumentoinnille, jotka pitäisi tehdä asennusten yhteydessä. Tämä informaatio varmistaa, että järjestelmän tärkeimmät tiedot ovat käyttäjän, tarkastajan ja kunnossapito henkilökunnan saatavilla. Taulukon (1) mukaiset asiat tulisi ilmetä järjestelmän dokumentaatiosta. Liitteessä (3) on tarkennettu vielä yksityiskohtaisemmin dokumentoinnin vaatimuksia. Liitteessä (4) on esitetty raporttipohja aurinkosähköjärjestelmän paneeliston testiraportista. (SFS käsikirja 607 2015, 84–86.)

TAULUKKO 1. Dokumentaation vähimmäisvaatimukset

Dokumentoinnista ilmenevät asiat:
Järjestelmän perustiedot
Järjestelmän suunnittelijalta saatavat tiedot
Järjestelmän asentajalta saatavat tiedot
Paneeliston yleiset määrittelyt
Paneeliketjun tiedot
Paneeliston sähkötekniset yksityiskohdat
Maadoitus ja ylijännitesuojaus
Vaihtovirtajärjestelmä
Datalehdet
Käyttö- ja kunnossapitotiedot
Käyttöönotto tulokset

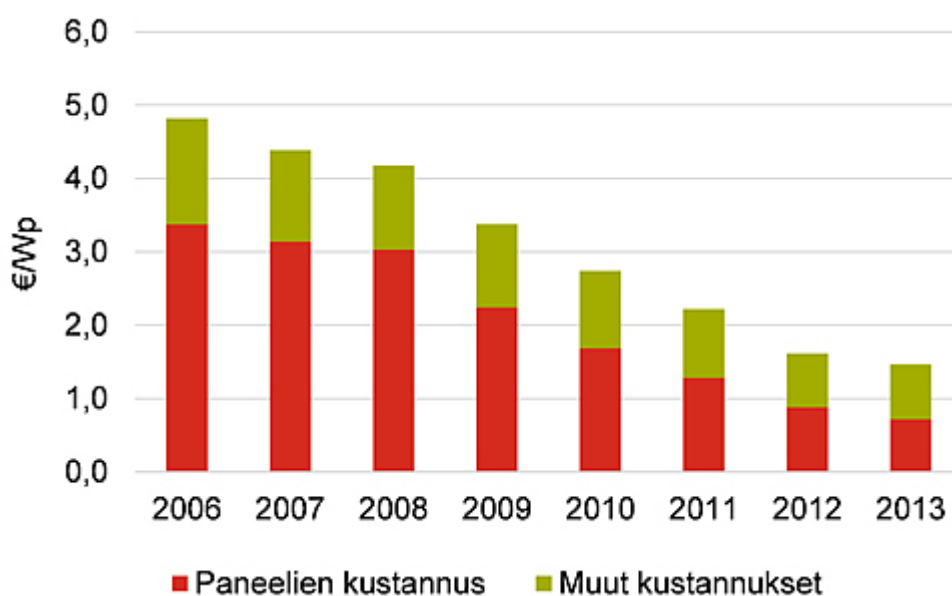


## 4 ENERGIALOUS

### 4.1 Aurinkosähkön kustannukset

Aurinkosähkön kustannukset muodostuvat pääasiassa energian keruujärjestelmän ja mahdollisen varastointijärjestelmän investointikustannuksista. Käytännössä aurinkosähkövoimalan hankinnan ja järjestelmän valmistumisen jälkeen se tuottaa lähes ilmaista sähköä, sillä muuttuvia kustannuksia ei juuri ole. Kustannuksia voi tulla mahdollisten rikkoontuneiden osien korvaamisesta, mikä ei ole kovin todennäköistä. Mahdollisia lisäkustannuksia voi tulla tapauksesta riippuen muun muassa paneelien puhdistuskustannuksista. (Tahkokorpi 2016, 187.)

Aurinkosähkövoimalan keskeisen komponentin eli aurinkosähköpaneelin nimellishinta ( $\text{€/W}_p$ ) on laskenut 2000-luvulla voimakkaasti. Paneelien hinnat ovat yleisesti jo alle 1  $\text{€/W}_p$  ja halvimmillaan niitä voi saada 0,5  $\text{€/W}_p$ . Paneelien hinnat riippuvat usein järjestelmän laajuudesta. Suuremmissa järjestelmissä paneelien  $\text{€/W}_p$  hinta voi olla alhaisempi ja pienemmissä taas suurempi. Kuvassa (12) on esitetty rakennuksiin asennettavien aurinkopaneelijärjestelmien hintakehitys 2000-luvulla Saksassa. Hintakehitys Suomessa on ollut vastaavanlaista. (Motiva 2016.)



KUVA 12. Rakennuksiin asennettavien aurinkopaneelijärjestelmien kustannuskehitys (Motiva 2016)

Vuoden 2016 aikana aurinkopaneelien suuri tuotantomäärä on aiheuttanut raaka-aineena käytetyn piin hinnan kallistumisen, josta johtuen paneelien hinnat eivät ole tällä hetkellä laskemassa. Pientalokokoluokassa (2-5 kW<sub>p</sub>) voidaan sanoa karkeasti, että paneelit muodostavat puolet järjestelmän hinnasta. Neljännes hinnasta koostuu invertteristä ja muista sähkölaitteista, kuten kaapeleista ja suojalaitteista. Loppu neljännes koostuu aurinkosähköjärjestelmän työkustannuksista eli suunnittelusta ja asennuksesta. (Motiva 2016.)

## 4.2 Takaisinmaksuaika

Oikein mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä on taloudellisesti kannattava. Se maksaa keskimäärin itsensä takaisin noin 15 vuodessa. Jotta kannattavuuslaskelma kestää todellista kriittistä tarkastelua tulee laskelmissa huomioida ainakin: koko järjestelmän investointihinta, mahdollinen korkokanta, ostosähkön hinta, sähkön hintakehitys, aurinkopaneeliston tuotannon lasku, vuosituotto ja itse käytetyn sähkön osuus sekä verkkoon myyty osuus. Sähkön hinnan nousua tai kehitystä on vaikea arvioida, mutta jos tarkastelee viimeistä kymmentä vuotta, niin sähkön kokonaishinta on noussut muutaman prosentin vuodessa, ottaen huomioon verot, sähkön siirron ja kulutetun sähköenergian. (Käpylehto 2016, 93–97.)

## 4.3 Kiinteistön arvonnousu

Taloyhtiöissä ja muissa kiinteistöissä aurinkosähköjärjestelmän hankinnan edellytyksenä on useimmiten taloudellinen kannattavuus. Investointi maksaa takaisin itsensä pienentämällä sähkölaskua. Myös kiinteistön arvonnousu on merkittävä. Suomessa tästä ei ole tutkittua tietoa, mutta maailmalta nähtävä signaali on selvä. Aurinkosähköjärjestelmä kiinteistössä nostaa sen arvoa merkittävästi, rohkeimpien lähteiden mukaan, jopa järjestelmän hankintahintaa suuremmaksi. (Käpylehto 2016, 51.)

Kalifornialainen tutkimuslaitos on tehnyt tutkimuksen vuosina 2002–2013, jossa tutkittiin myytäviä asuntoja kahdeksassa eri osavaltiossa. Tutkimuksessa oli mukana 23 000 asuntoa, joista 4000:ssa oli aurinkosähköjärjestelmä. Tutkijat havaitsivat, että ostajat olivat valmiita maksamaan jopa 15 000 dollaria enemmän asunnosta, jossa oli keskikokoinen (3,6 kW<sub>p</sub>) aurinkosähköjärjestelmä. Tämä tarkoittaa, että ostajat olivat valmiita

maksamaan noin neljä dollaria yhtä aurinkosähköjärjestelmän nimelliswattia kohden. (The New York Times, 2015.)

#### **4.4 Tulevaisuuden näkymät**

Aurinkosähkön tuotantokustannus on Suomessakin alittanut verkosta ostettavan sähkön hinnan kohtuullisen kokoisilla järjestelmillä (10–100 kW<sub>p</sub>), joten kohteet, jotka pystyvät kuluttamaan alle 100 kW<sub>p</sub> aurinkovoimalan tuotannon itse, kannattaa sellainen rakentaa. Yli 100 kW<sub>p</sub> aurinkosähkölaitokset joutuvat verovelvollisiksi, joten se kannattaa ottaa huomioon kustannuksissa. Hintakehitys on aurinkosähköjärjestelmissä edelleen laskeva, joten aurinkosähkön kilpailukyky energiamarkkinoinnilla paranee entisestään. Lähivuosikymmeninä saatetaan nähdä sekin hetki, kun sähkön tuotanto aurinkosähkövoimalalla on Suomessa halvempaa kuin millään fossiilisella polttoaineella. Tällainen tilanne on jo monissa lähempänä tropiikkia sijaitsevilla mailla. (Tahkokorpi 2016, 191.)

## 5 SUUNNITELTAVA KOHDE

Kohde (kuva 13 ja 14), johon aurinkosähköjärjestelmä suunnitellaan, on iso kerrostalo-yhtiö, joka sijaitsee Etelä-Suomessa Vantaalla. Kerrostalo on valmistunut vuonna 1972. Kohteeseen on opinnäytetyön tilaaja, RST-sähkösuunnittelu suunnitellut uudet sähkösuunnitelmat linjasaneerauksen yhteydessä tehtäväksi. Kohteesta ei puhuta asunto-osakeyhtiön nimellä, sillä siihen ei ole pyydetty lupaa taloyhtiöltä käyttää sitä opinnäytetyöaiheessa. Tästä syystä tarkemmat kohdetiedot ovat salaisia ja niitä ei julkaista. Asunto-osakeyhtiössä on yhteensä neljä porrasta, joissa on yhteensä 75 asuntoa. Kiinteistöjen kokonaispinta-ala on yhteensä 6358 m<sup>2</sup>. Kiinteistö on tasakattoinen, katolla sijaitsee ainoastaan ilmanvaihtokoneita ja venttiileitä. Kattomateriaalina on huopa. Kiinteistön pihalla on yhteensä 55 autopaikkaa, joissa on sähkölämmitystolppa.



KUVA 13. Asunto-osakeyhtiön ilmakeku (Google Maps)

Kiinteistön sähkösaneeraustyöt ovat jo käynnissä, joten tässä työssä suunniteltua aurinkosähköjärjestelmää ei tulla toteuttamaan, mutta tätä voidaan käyttää mallina ja pohjana muille tuleville projekteille. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa toteuttaa tai ainakin ottaa huomioon varauksen muodossa samalla, kun kiinteistössä on menossa linjasaneera-

raus. Saneerauksessa porraskäytävässä on lähes aina auki johtotiekanava, johon saadaan samalla asennettua katolta alas tuleva aurinkopaneelien syöttökaapeli.

Tässä suunnittelukohteessa suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä toteutettavaksi siten, että tuotettu sähkö hyödynnetään kiinteistökeskuksen (KK) kulutuslaitteissa. Mahdollinen ylijäämä sähkö myydään verkkoon.



KUVA 14. Kohteen julkisivukuva (Google Maps)

## 5.1 Kiinteistösähkön kulutuslaitteet

Rakennukseen vuonna 2015 laaditun energiatodistuksen perusteella kiinteistösähkön edellisen vuoden vuosikulutus on ollut 63729 kWh. Vuosikulutusta voidaan pitää melko vakiona vuosikohtaisesti, sillä kerrostalon lämmitysmuotona on kaukolämpö. Rakennuksessa on kiinteistökeskuksen taakse kytketty liitteen (5) mukaiset kulutuslaitteet. Kiinteistökeskuksen pääsulakkeet ovat 3 x 160 A.

Aurinkosähkön tuotantoaikoina voidaan olettaa jatkuvassa sekä osittaisessa sähkönkulutuksessa olevan vähintään seuraavat laitteet ja järjestelmät: Ryhmälakeskukset talon pumppuihin ja lämmönjakoon, huippuimurit ilmanvaihdolle, porraskäytävien sekä muiden yleisten tilojen valaistus, kylmähuoneiden jäähdytyskompressori ja hissit. Lisäksi satunnaisesti voi esiintyä kuormituksia pistorasiaryhmissä.

Kuten jo luvussa 3.1 mainittiin, olennaisin asia aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisessa on, että tuotettu sähkö hyödynnetään pääosin itse. Koska järjestelmää mitoittaessa ei ollut saatavilla kiinteistön kuukausi- tai tuntitason mittausdataa, pitää mitoittamisessa hyödyntää tiedettyä kiinteistön vuosikulutusta. Jos tiedettäisiin kiinteistön kuukausittainen tai jopa tuntitason mittausdata, pystyttäisiin järjestelmä mitoittamaan tarkemmin. Tällöin saataisiin tarkat kulutuslukemat kiinteistön pohjasähkölle, joka on siis energiamäärä, jonka kohde kuluttaa jokaisena tuntina, jona aurinkosähköä on mahdollista tuottaa.

Taloyhtiön kiinteistösähkön vuosikulutukseen (nettonollaenergiamittaus) perustuvassa aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisessa käytetään yleisesti 10–15 % sääntöä. Tämä tarkoittaa, että mitoitettava järjestelmä on nimellisteholtaan ( $W_p$ ) 10–15 % vuosikulutuksesta. Taulukossa (2) on esitetty järjestelmien laskennalliset koot nimellistehojen mukaan.

TAULUKKO 2. Järjestelmän koot vuosikulutuksen perusteella

	Järjestelmän koko ( $W_p$ )
10 % kiinteistösähkön vuosikulutuksesta	6372,9
15 % kiinteistösähkön vuosikulutuksesta	9559,4

## 5.2 Tekniset tiedot ja laskelmat

Tässä osiossa esitetään valitut tuotteet ja tehdään laskelmat aurinkosähköjärjestelmän investoinnille sekä takaisinmaksuajalle. Laskelmat tehdään kahden eri tehoisen järjestelmän mukaan. Tässä laskelmassa käytetään kotimaisen aurinkosähköyrityksen Areva Solarin tuotetietoja ja hintoja. Areva Solar (2017) myy valmiita aurinkosähköjärjestelmäpaketteja, jotka sisältävät paneelit, invertterin, kaapelit, turvakytkimen sekä kattoasennustelineet. Areva Solarin paneelit valmistetaan heidän omalla tuotantotehtaallaan Suomessa. Yrityksen mukaan he pyrkivät olemaan kilpailukykyisiä Aasialaisten paneelien kanssa.

Taulukossa (3) on kahden eri valmiin pakettijärjestelmän tiedot ja hinnat. Järjestelmään valitut paneelit ovat monikidepaneeleita ja ne kytketään verkkoon kolmivaiheisen SMA merkkisen saksalaisen invertterin kautta. Tiedot on otettu liitteestä (6). Työssä vertaillaan näitä kahta järjestelmää, koska ne ovat hyvin lähellä teholuokaltaan niitä arvoja,



joita aikaisemmassa luvussa laskettiin kiinteistösähkön vuosikulutuksen perusteella. Lisäksi tämän kokoluokan laitteistot löytyivät suoraan valmiina pakettijärjestelmänä valmistajan sivuilta. Vertailun tarkoituksena on selvittää, kumpi järjestelmä olisi järkevämpi asentaa kyseiseen kohteeseen.

TAULUKKO 3. Aurinkosähköjärjestelmän pakettihinnat (Areva Solar)

Aurinkopaketti 1 (6,89 kWp)	Aurinkopaketti 2 (9,01 kWp)
265 W paneeli 26kpl	265 W paneeli 34kpl
SMA Sunny Tripower 6000TL invertteri	SMA Sunny Tripower 6000TL invertteri
Kaapelit 4 mm <sup>2</sup> 100m	Kaapelit 4 mm <sup>2</sup> 100m
Turvakytkin	Turvakytkin
Kattoasennustelineet	Kattoasennustelineet
Paneeliston koko 42 m <sup>2</sup>	Paneeliston koko 55 m <sup>2</sup>
<b>Hinta: 9000€ (1,31 €/W)</b>	<b>Hinta: 11500€ (1,28 €/W)</b>

Aurinkosähköjärjestelmiä vertaillaan FinSolar hankkeessa tehdyn Excel-pohjaisen kannattavuuslaskurin (Liite 7 ja 8) avulla. Ensimmäinen asia, joka syötetään kannattavuuslaskuriin, on kiinteistön tämän hetkisen sähköenergian ostohinta sekä sähkönsiirron energiaperusteinen hinta veroineen. Koska taloyhtiö sijaitsee Vantaalla, niin tulee tarkistaa sen alueen sähköverkkoyhtiö ja heidän siirtohintaa. Alueella sähköverkkoyhtiönä toimii Vantaan Energia sähköverkot Oy. Siirtohintoja ei voida kilpailuttaa, toisin kuin sähköenergian hintaa, joten ne ovat aina kiinteät riippuen sähköverkkoyhtiöstä. Lisäksi tulee huomioida, että asunto-osakeyhtiöt kuuluvat sähköveroluokka 1 piiriin.

Sähköenergian myyntihinta kilpailutettiin Kilpailuttaja.fi sivustolla ja halvimmaksiksi myyntiyhtiöksi saatiin 7.5.2017 tehdyn kilpailutuksen perusteella Loiste Sähkömyynnin sopimus. Taulukossa (4) on eritelty sähkön hinnan muodostuminen. Kaikissa hinnoissa on huomioitu arvonlisävero 24 prosenttia. Sähköhinnoissa ei ole huomioitu sähkösovimuksen kuukausittaisia perusmaksuja, sillä sopimus on oltava joka tapauksessa voimassa, oli kohteessa aurinkosähköjärjestelmä tai ei.

TAULUKKO 4. Sähkön hinnat

	Hinta (snt/kWh) (7.5.2017)
Sähkönmyyntihinta (Loiste)	4,419
Siirtomaksu (Vantaa Energia Sähköverkot Oy)	3,00
Sähköveroluokka 1	2,793
Yhteensä	10,21

Muut kohdat, joita kannattavuuslaskurissa muun muassa käytettiin ja huomioitiin, olivat kiinteistön sähkönkulutus, arvio sähkönhinnan noususta, aurinkosähköjärjestelmän teho, järjestelmän hankintahinta asennuksineen ja aurinkosähkön omakäytön osuus. Sähkön hinnan nousuna laskelmassa käytettiin 2 % nousua vuodelle. Sähkön hinnan nousua on mahdoton ennustaa, mutta viimeisen 10 vuoden aikana sähkön kokonaishinta on nousut muutamana prosentin vuodessa. (Käpylehto 2016, 94). Järjestelmien asennuksien hinnoista pyydettiin aurinkosähköpakettitoimittajalta alustavat tarjoukset. 6,89 kW<sub>p</sub> järjestelmän asennushinnaksi saatiin 3700€ ja 9,01 kW<sub>p</sub> järjestelmän hinnaksi 4300€. (Areva Solar 2017). Laskurissa käytettiin aurinkosähkön omakäytön prosenttina pienemmässä järjestelmässä 90 % ja isommassa järjestelmässä 89 %. Tämä tarkoittaa, että loput tuotannosta menisi verkkoon myytäväksi. Luvut ovat arvioituja perustuen kiinteistön pohjasähkön kulutukseen.

Kannattavuuslaskuri on tehty 30 vuoden elinkaarimallin mukaan, vaikka järjestelmän elinikä voidaan olettaa pidemmäksi. Laskurissa otettiin huomioon 30 vuoden tarkastelujakson aikana yhden kerran mahdollinen invertterin hajoaminen ja uuden invertterin hankinta. Lisäksi laskurissa otettiin huomioon paneelien tehon alenema käyttövuosien mukaan. Näiden lisäksi laskurissa on huomioitu mahdolliset vuotuiset ylläpitokustannukset, kuten vakuutukset ja huoltokulut.

Kannattavuuslaskurin tuotto- ja talouslaskelmat kohdassa on eritelty 0-30 vuoden ajalle tarkasti muun muassa oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot, investointi- ja ylläpitokustannukset, kassavirta, investoinnin sisäinen korkokanta, ostosähkön hinnan kehitys sekä aurinkosähkön tuotanto vuosittain.

6,89 kW<sub>p</sub> järjestelmälle takaisinmaksuajaksi saadaan kannattavuuslaskurin mukaan 20 vuotta, kun taas isommalle 9,01 kW<sub>p</sub> järjestelmälle saadaan 19 vuotta, eli vuoden nope-



ampi aika. Takaisinmaksuaika venyy molemmissa järjestelmissä yllättävän pitkäksi kyseisellä laskelmalla. Yksi syy pitkään takaisinmaksu-aikaan on halpa ostettavan sähköenergian hinta. Vantaa Energia Sähköverkoilla on kohtuullisen halpa energiansiirtomaksu ja lisäksi ostettavan energian hinnaksi saatiin kilpailuttamalla edullinen hinta. Jo kolme senttiä/kWh kalliimmalla ostettavan sähkön kokonaishinnalla takaisinmaksuaika putoaisi molemmissa järjestelmissä kolmella vuodella. Jos tarkastellaan säästöä 30 vuoden päästä järjestelmän hankinnasta, niin pienemmällä järjestelmällä se on tuonut säästöä 7755 € ja isommalla järjestelmällä 10955 €.

### 5.3 Asennettava järjestelmä

Kannattavuuslaskuriin perustuen suunniteltavaan kohteeseen kannattaa asentaa vertailuista järjestelmistä isompi eli 9,01 kW<sub>p</sub> teholuokan laitteisto. Järjestelmä asennettaisiin talon huopakatolle erillisillä telineillä, joissa on tuulikuorman mukaan mitoitettut punukset painoina. Paneelisto tulisi viemään tilaa noin 55 m<sup>2</sup> kerrostalon katolla. Laitteiston kolmivaiheinen invertteri asennettaisiin rakennuksen sähköpääkeskukseen lähelle kiinteistökeskusta, johon se kytketään.

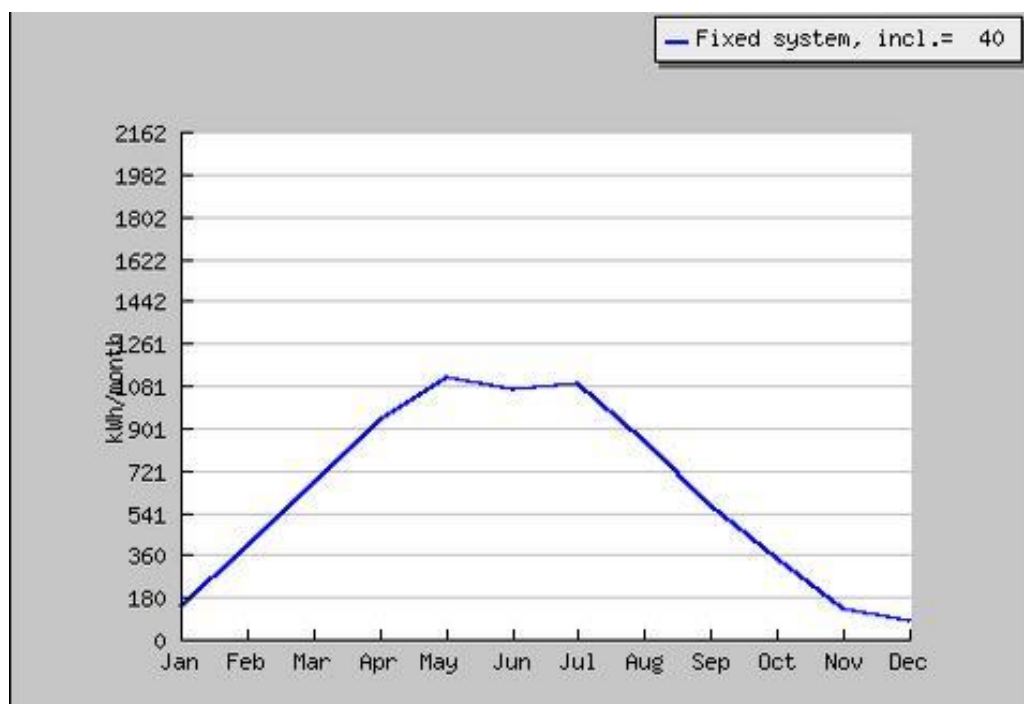
Taulukossa (5) on esitetty PVGIS-laskurilla saatu aurinkosähköjärjestelmän tuotannon vuosijakaumat. Laskuri laskee kohteen maantieteellisen sijainnin perusteella järjestelmälle tuottoennusteet ja paneelien optimiasennuskulman. Koko vuoden tuotannon ennusteeksi saatiin 7380 kWh. Paneelien asennuskulma tulisi tällöin olla 40° etelään päin suunnattuna. Taulukossa esiintyvät merkinnät  $E_d$  ja  $E_m$  tarkoittavat tuotantoa (kWh) päivä ja kuukausikohtaisesti, kun taas merkinnät  $H_d$  ja  $H_m$  tarkoittavat säteilyn määrää (kWh/m<sup>2</sup>) päivä- ja kuukausikohtaisesti.

TAULUKKO 5. Kohteeseen suunnitellun aurinkosähköjärjestelmän tuotannon vuosijakauma (PVGIS)

Fixed system: inclination=40°, orientation=0°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	4.39	136	0.57	17.6
Feb	14.10	395	1.90	53.1
Mar	21.60	670	3.06	94.8
Apr	31.20	936	4.63	139
May	36.10	1120	5.58	173
Jun	35.40	1060	5.61	168
Jul	35.10	1090	5.65	175
Aug	27.40	849	4.32	134
Sep	19.10	574	2.89	86.7
Oct	11.10	345	1.59	49.1
Nov	4.28	128	0.58	17.5
Dec	2.40	74.5	0.32	9.82
Yearly average	20.2	615	3.06	93.2
Total for year		7380		1120

Kuvaajassa (1) on esitetty graafisesti järjestelmän vuosituotannon jakaumat. Kuvaajasta havaitaan järjestelmän tuottavan parhaiten maaliskuusta syyskuuhun. Marras- joulukuussa järjestelmän tuotanto näyttäisi olevan pienimmillään. Talviaikana toteutuneeseen tuotannon määrään vaikuttaa paneelien päälle mahdollisesti kerääntyvä lumi.

KUVAAJA 1. Kohteeseen suunnitellun aurinkosähköjärjestelmän tuotannon vuosijakauma (PVGIS)



## 6 POHDINTA

Aurinkosähköjärjestelmien käytössä kerrostaloissa ja muissa taloyhtiöissä olisi paljon hyödyntämätöntä potentiaalia Suomessa. Taloyhtiöissä asuu Suomessa yli kaksi miljoonaa asukasta. Kerrostalojen katot olisivat potentiaalisia asennuskohteita, sillä ne ovat yleensä korkealla, joten varjostuksista ei tule haittaa paneeleille. Lisäksi kerrostalojen tasakatoilla sijaitsevat paneelit harvoin häiritsevät alueen maisemakuvaa.

Omakotitaloihin asennettavat aurinkosähköjärjestelmät voivat saada työn asennuksen osuudesta kotitalousvähennystä ja yritykset sekä yhdistykset voivat saada investointi- tai energiatukiaavustusta. Taloyhtiöt ovat tässä asiassa väliinputoajia, sillä ne eivät voi saada mitään tukea. Tähän asiaan tulisi saada poliittiselta tasolta muutosta, jotta taloyhtiöt voisivat paremmin hyödyntää aurinkosähköjärjestelmiä. Lisäksi sähköverolakiin ja aurinkosähköjärjestelmien mittarointeihin tulisi saada muutosta, jotta sitä voitaisiin jatkossa hyödyntää tehokkaammin.

Sähkölaskun hinnan pienentymisen lisäksi aurinkosähköjärjestelmät nostavat kiinteistön arvoa, energiaomavaraisuus parantuu ja uusiutuvan energian lisääminen auttaa päästöjen vähentämisessä.

Opinnäytetyö onnistui hyvin, täyttäen työlle asetetut vaatimukset. Työtä tehdessä tietoa löytyi hyvin ja kattavasti erilaisista lähteistä aurinkosähköstä ja sen komponenteista. Kuitenkaan asuinkerrostaloihin asennetuista aurinkosähköjärjestelmistä ei löytynyt montaa esimerkkitapausta, varmasti siitä johtuen, että toteutuneita kohteita ei ole vielä montaa Suomessa. Haasteeksi työssä muodostui aiheen rajausta ja määrittely, mikä on työn kannalta oleellista ja mikä ei.

Parannettavaa työssä jäi aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisessa esimerkki kerrostalokohteesta. Käytettävissä ei ollut tarkempaa mittausdataa, joten järjestelmän mitoittaminen tehtiin kiinteistösähkön vuosikulutuksen mukaan. Tarkempaan järjestelmän tehon suuruuteen olisi päästy esimerkiksi tuntikohtaisella mittausdatalla.

Mahdollisesti työtä olisi voinut vielä laajentaa kaapelien ja suolaitteiden mitoittamisella ja cad-kuvien piirtämisellä suunniteltavaan esimerkkikohteeseen.

## LÄHTEET

Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki: Into Kustannus Oy

Korpela, A. 2014 Aurinkosähkön perusteet. TAMK opetusmateriaali. Tulostettu 20.2.2017

Tahkokorpi, M. Erat, B. Hänninen, P. Nyman, C. Rasinkoski, A ja Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus Oy.

SESKO ry. SFS-käsikirja 607 Aurinkosähkölaitteet. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

ST kortisto, ST 55.33. 2014. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään, Espoo Sähköinfo Oy. Tulostettu 15.3.2017

ST kortisto, ST 52.30.01. 2016. Akkuhuoneet ja varaamotilat, Espoo Sähköinfo Oy. Tulostettu 20.3.2017

Suomen standardisoimisliitto SFS, SFS –EN 62446-1:2016. SESKO ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS, SFS 6000-5-55. 2012 SESKO ry.

Suomen standardisoimisliitto SFS, SFS 6000-7-712. 2012 SESKO ry.

Tukes lehdistötiedote. 2014. Aurinkopaneelien vaihtosuuntaajissa paljon puutteita.

Aurinkosähkö. 2017. Luettu 6.5.2017  
<http://www.aurinkosahko.net/tuotekuvat/>

Areva Solar. 2017. Luettu 6.5.2017  
<http://www.arevasolar.fi/fi/hinnasto>

Circuitstoday. 2011. Luettu 6.5.2017  
<http://www.circuitstoday.com/thin-film-solar-cell>

First Solar. 2006. Luettu 9.3.2017  
<http://contracts.onecle.com/first-solar/juwi-sale-2006-04-09.shtml>

FinSolar. 2017. Luettu 20.2.2017  
<http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkosahkon-maara-suomessa/>

FinSolar. 2015. Luettu 25.4.2017  
<http://www.finsolar.net/taloyhtiöihin-ja-lahialueille-aurinkosahkon-virtuaalimittarointi/>

FinSolar. 2017. Luettu 8.5.2017  
<http://www.finsolar.net/taloyhtiöt/hankintaohjeita/>

Motiva. 2016. Luettu 20.2.2017

[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)

Motiva. 2016. Luettu 20.3.2017

[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_energian-\\_ja\\_vedenkulutuksesta/kiinteistosahkonkulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian-_ja_vedenkulutuksesta/kiinteistosahkonkulutus)

Motiva. 2016. Luettu 26.4.2017

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen)

Motiva. 2016. Luettu 27.4.2017

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelmien\\_hinta](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta)

PVGIS verkkolaskuri. 2012. Käytetty 8.5.2017

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

Vantaan Energia Sähköverkot. 2017. Luettu 6.5.2017

<https://www.vantaanenerbiasahkoverkot.fi/palvelut/hinnat-ja-ehdot/>

Tekniikkatalous. 2016. Luettu 8.3.2017

<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/kattopeltivoimala-maksaa-6-900-euroa-mutta-taman-verran-silla-saastaa-joka-vuosi-6573563>

The New York Times. 2015. Luettu 27.4.2017

<https://www.nytimes.com/2015/02/22/realestate/solar-panels-and-home-values.html>

Sähköpostiviesti

Huolman, T. Markkinointipäällikkö Helen Oy. 2017. Haastattelu 18.4.2017. Haastattelija Salminen, A. Tampere

Sähköpostiviesti

Oikarinen, M. Myynti ArevaSolar Oy. 2017. Haastattelu 8.5.2017. Haastattelija Salminen, A. Tampere

# LIITTEET

## Liite 1. Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake

1(2)



ST 55.35

1 (2)

### MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIETOLOMAKE

Tällä lomakkeella asiakas voi ilmoittaa verkkohaltijalle tiedot sähköverkon kanssa rinnan käyvän nimellisteholtaan enintään 50 kVA:n tuotantolaitteiston liittämistä varten.

Lomakkeen voi täyttää asiakas itse tai sen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle.

#### 1 YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitteiston tiedot	Tuotantolaitteiston haltija		
	Matti Meikäläinen		
	Osoite		
	Meikäläisentie 3		
	Sähköposti	Puhelin	
		040-1234567	
Tuotantolaitteiston osoite (sijaintipaikka)			
Meikäläisentie 3			
Käyttöpaikan numero	Käyttöpaikan pääsulakekoko		
1234567	3 x 25 A		
Yhteyshenkilö	Sähköposti	Puhelin	
Matti Meikäläinen		040-1234567	

#### 2 TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input checked="" type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Vesi	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännäislaitteen valmistaja	Verkkoonliitännäislaitteen malli			
SMA	Sunny Tripower 15000TL			
Tuotantolaitteiston nimellisteho	45 kVA	Tuotantolaitteiston syöttämä enimmäisvirta	A	
Laitteiston kytkentä	<input checked="" 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

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset mukaan lukien verkkoonliitännäislaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat (valitse seuraavista vaihtoehdoista)

- ☐ Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1
- ☐ Saksalainen vaatimusdokumentti VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)
- ☐ Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetuksot
- ☒ Muu, mikä? (täytä osio 3.1.)

##### 3.1 Tuotantolaitteiston verkkoonliitännäislaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat

(Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3 vaihtoehdon Muu, mikä?)

Parametri	Asettelu-arvo	Toiminta-aika	Parametri	Asettelu-arvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojauk 1	0,4 kV + 10 %	0,2 s	Ylitäajuussuojauk 1	51 Hz	0,2 s
Ylijännitesuojauk 2*			Ylitäajuussuojauk 2*		
Alijännitesuojauk 1	0,4 kV - 15 %	0,2 s	Alitäajuussuojauk 1	48 Hz	0,2 s
Alijännitesuojauk 2*			Alitäajuussuojauk 2*		

\* Jos on

Tuotantolaitteiston automaattinen taajuusmuutos verkkojännitteeseen palaututtua 20 s

Saarekkytönöstösuojauksen toteutustapa ja toiminta-aika Vaihotosuuntaaja, enintään 5 s

☒ Tuotantolaitteisto on CE-merkitty

(jatkuu)

Liite 1. Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake



2(2)

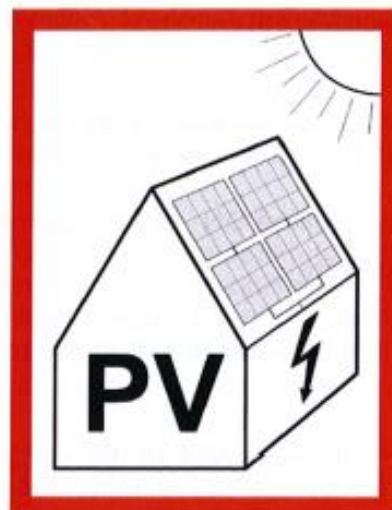
ST 55.35

2 (2)

<b>3.2 Tuotantolaitteiston erottaminen</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy			
Erotuskytkimen sijainti _____			
<input checked="" type="checkbox"/> Liittymän pääkeskuksella on varoituskykytti takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtiytkeemiselle			
<b>4 TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT (urakoitsija täyttää)</b>			
<b>Asentajan/ urakoitsijan tiedot</b>	Sähköurakoitsija		TUKES-numero
	Saulin Sähköurakointi Oy		123456
	Osoite		
	Urakkatie 3, 54321 Urakkala		
	Yhteyshenkilö		
	Sauli Sähköurakoitsija	Sähköposti	Puhelin
			040-7654321
<b>5 LIITTEET JA LISÄTIEDOT</b>			
Tata lomaketta täydentää _____ liitotta (liittoiden lukumäärä)			
Lisätietoja			

## Liite 2. Varoitusmerkinnät

 <b>VAROITUS</b> Syöttö kahdesta suunnasta	 <b>Erota tämän laitteen syöttö <u>sekä</u> jakeluverkosta <u>että</u> paikallisgeneraattorista ennen työskentelyn aloittamista</b>
<p>Erota paikallisgeneraattori (erotuskohta) _____</p> <p>Erota jakeluverkosta (erotuskohta) _____</p>	



**SOLAR DC**



## Liite 3. Dokumentaation vähimmäisvaatimukset

(1/2)

- Järjestelmän perustiedot,
  - Projektin tunnus
  - Järjestelmän mitoitusteho (kW DC tai kVA AC)
  - Paneelit ja invertterit (valmistaja, mallit ja lukumäärä)
  - Asennuspäivä ja käyttöönottopäivä
  - Asiakkaan nimi ja kohteen osoite
- Järjestelmän suunnittelijalta saatavat tiedot,
  - Järjestelmän suunnittelija, yritys ja yhteyshenkilö
  - Järjestelmän suunnittelijan postiosoite, puhelinnumero ja sähköpostiosoite
- Järjestelmän asentajalta saatavat tiedot,
  - Järjestelmän asentaja, yritys ja yhteyshenkilö
  - Järjestelmän asentajan postiosoite, puhelinnumero ja sähköpostiosoite
- Paneeliston - yleiset määrittelyt,
  - Paneelien tyypit
  - Paneelien kokonaislukumäärä
  - Paneeliketjujen lukumäärä
  - Paneelien lukumäärä per paneeliketju
- Paneeliketjun tiedot,
  - Paneeliketjun kaapelin tiedot – koko ja tyyppi
  - Paneeliketjun ylivirtasuojalaitteen tiedot (mitoitusarvot) mitoitus (jännite/virta)
  - Sulkudiodin tyyppi (jos se on oleellinen tieto)
- Paneeliston sähkötekniset yksityiskohdat,
  - Paneelin pääkaapelin tiedot - poikkipinta ja tyyppi
  - Paneelin liitäntärasian sijainti (jos sellainen on käytössä)
  - Tasasähköerotuslaitteen tyyppi, sijainti ja mitoitus (jännite/virta)
  - Paneelien ylivirtasuojalaitteiden – tyyppi, sijainti ja mitoitus (jännite/virta)

- Maadoitus ja ylijännitesuojaus,
  - Yksityiskohdat kaikista maadoituksista/ potentiaalintasausjohtimista – poikkipinta ja liitäntäpisteet
  - Yksityiskohdat kaikista olemassa olevista liitännöistä ukkossuojausjärjestelmään
  - Yksityiskohdat kaikista asennetuista ylijännitesuojista sisältäen sijainnin, tyypin ja mitoituksen
- Vaihtovirtajärjestelmä,
  - Vaihtosähköerotuslaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus
  - Ylivirtasuojalaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus
  - Vikavirtasuojalaitteen sijainti, tyyppi ja mitoitus
- Datalehdet,
  - Paneelien datalehdet järjestelmän kaiken tyyppisistä paneeleista
  - Inverttereiden datalehdet järjestelmän kaiken tyyppisistä inverttereistä
- Mekaanisen suunnittelun tiedot,
  - Datalehdet on oltava saatavilla paneeliston kiinnitysjärjestelmistä
- Käyttö- ja kunnossapitotiedot,
  - Toimenpiteet järjestelmän oikean toiminnan varmistamiseen
  - Tarkistuslista tehtävistä jotka pitää tehdä kun järjestelmä vikaantuu
  - Järjestelmän hätäsulkeminen ja erotustoimenpiteet
  - Suositukset kunnossapitoon ja laitteiston puhdistamiseen
  - Huomioitava mahdolliset tulevat rakennustyöt, jotka vaikuttavat paneeliston toimintaan
  - Paneelien ja inverttereiden takuuseen liittyvä dokumentaatio
  - Dokumentaatio kaikista sovellettavista työmenetelmistä tai säänkestoisuuteen liittyvistä takuutiedoista
- Testitulokset ja käyttöönottoon liittyvä data,
  - On annettava kopiot kaikista testeistä ja käyttöönottoon liittyvästä datasta.

## Liite 4. Valosähköisen paneeliston testiraportti

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS  
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 62446  
40

**Liite C**  
(opastava)  
**Raporttimalli valosähköisen paneeliston testiraportista**

<b>Valosähköisen paneeliston testiraportti</b>		Käyttöönottotarkastus
		Määräaikaistarkastus
Sähkölaitteiston osoite		Viite
		Päivämäärä
Kuvaus sähkölaitteistosta joka testataan		Tarkastaja
		Testilaitte

Paneeliketju		1	2	3	4		n
Paneelisto	Moduuli						
	Lukumäärä						
Paneeliston parametrit (kuten määritelty)	Voc (stc)						
	Isc (stc)						
Paneeliketjun ylivirtasuojalaite	Tyyppi						
	Mitoitus (A)						
	DC-mitoitus (V)						
	Kapasiteetti (kA)						
Kaapelointi	Tyyppi						
	Vaihe (mm <sup>2</sup> )						
	Maadoitus (mm <sup>2</sup> )						
Paneeliketju	Voc (V)						
	Isc (A)						
	Säteily						
Napaisuuden tarkastus							
Paneeliston eristysresistanssi	Testijännite (V)						
	Pos – Maa (MΩ)						
	Neg – Maa (MΩ)						
Maadoituksen jatkuvuus (jos käytetty)							
Kytinlaitteisto toimii oikein							
Invertterin valmistaja/malli							
Invertterin sarjanumero							
Invertteri toimii oikein							
Pienjänniteverkon katkостesti							
Kommentit							

## Liite 5. Kiinteistökeskuksen kulutuslaitteet

Kulutuskohde	Sulakekoko (A)
Autopaikoituskeskus	125
Pumppualakeskus	20
Ryhmäkeskus-lämmönjakohuone	25
Ryhmäkeskus- P1	35
Painepumppu	20
Hissit A, B, C ja D-rappu	25
Saunan ohjauskeskukset x 2 kpl	25
Kylmähuoneiden kompressori	16
Valaistus kellarikäytävä	10
Valaistus kellarikäytävä + irt. Varasto	10
Valaistus saunatilat A	10
Valaistus irt. Varasto + hissi A	10
Valaistus urheiluvälinevarastot	10
Valaistus talouskomero	10
Valaistus saunatilat B	10
Valaistus irt.varasto + SPK	10
Valaistus irt.varasto + LJH	10
Valaistus vanha muuntamo	10
Pistorasiat saunatilat A	16
Pistorasiat saunatilat B	16
Pistorasiat vanha muuntamo	16
Porrasvalaistus A1	10
Porrasvalaistus A2	10
Porrasvalaistus B	10
Porrasvalaistus C	10
Porrasvalaistus D	10
Ulkovalaistus	10
Ulkovalaistus	16
Huippuimuri A	10
Huippuimuri B	10
Huippuimuri C	10
Huippuimuri D	10
Pistorasia keskus	25

## Liite 6. Järjestelmän hinnat

Hinnasto 2017

AREVA SOLAR

SMA-invertteri, SaloSolar-paneelit

Hinnat sisältävät ALV:n (24 %)

1-vaihe pakettivaihtoehdot

Aurinkopaketti 1,59 kWp

265 W paneeli 6 kpl  
 SB 1.5  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 50 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 9,6 m<sup>2</sup>

Hinta: 2 400€ (1,51€/W)

Aurinkopaketti 2,65 kWp

265 W paneeli 10 kpl  
 SB 2.5  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 50 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 16,5 m<sup>2</sup>

Hinta: 3 700€ (1,40€/W)

3-vaihe pakettivaihtoehdot

Aurinkopaketti 5,3 kWp

265 W paneeli 20 kpl  
 Sunny Tripower 5000TL  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 50 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 32 m<sup>2</sup>

Hinta: 7 150€ (1,35€/W)

Aurinkopaketti 6,89 kWp

265 W paneeli 26 kpl  
 Sunny Tripower 6000TL  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 100 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 42 m<sup>2</sup>

Hinta: 9 000€ (1,31€/W)

Aurinkopaketti 9,01 kWp

265 W paneeli 34 kpl  
 Sunny Tripower 8000TL  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 100 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 55 m<sup>2</sup>

Hinta: 11 500€ (1,28€/W)

Aurinkopaketti 11,13 kWp

265 W paneeli 42 kpl  
 Sunny Tripower 10000TL  
 kaapeli 4 mm<sup>2</sup> 100 m  
 turvakytkin  
 kattoasennustelineet  
 Paneeliston koko noin 64 m<sup>2</sup>

Hinta: 13 200€ (1,19€/W)

Areva Solar Oy  
 Satamakatu 20  
 24100 Salo

puh. 02 737 5777  
 info@arevasolar.fi  
 www.arevasolar.fi

Liite 7. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 6,89 kW<sub>p</sub>

1(3)

**Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuri  
(versio 19.11.2015)**

Muokattu: Arttu Salminen 12.5.2017

Sähköenergian ostohinta ja sähkön siirron energiaperusteinen hinta veroineen snt/kWh	10,21	snt/kWh
Kiinteistön sähkönkulutus vuodessa kWh/v	63729	kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/vuosi	2,0%	%/v
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	6890	Wp
Järjestelmän investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€12 700	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, %	90 %	%
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	6,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, % alkuinvestoinnista. Oletettu tapahtuvan kerran aurinkosähköjärjestelmän elinaikana 15. vuotena.	10 %	%
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,1 %	%
Aurinkosähkön vuosituotto 1 kWp:n järjestelmän sijainnin mukaan	875	kWh/kWpeak

**Oletuksia ja välituloksia:**

Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto	6029	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä	-0,5%	%
Järjestelmän koko paneelien pinta-alana m <sup>2</sup>	46,852	neliömetriä
Järjestelmän käyttöikä vuotta	30	vuotta
Järjestelmän investointikustannus tukien jälkeen €	12 700 €	euroa
Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1,8 €	euroa/W

## Aurinkosähkön tuotto- ja talouslaskelmat elinkaaren aikana:

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)
0	0,0 €	-12 700,0 €	-€12 700	
1	590,3 €	-12,7 €	€578	-95,5%
2	599,1 €	-12,7 €	€586	-76,1%
3	608,0 €	-12,7 €	€595	-58,0%
4	617,1 €	-12,7 €	€604	-44,4%
5	626,3 €	-12,7 €	€614	-34,4%
6	635,6 €	-12,7 €	€623	-27,1%
7	645,1 €	-12,7 €	€632	-21,5%
8	654,7 €	-12,7 €	€642	-17,2%
9	664,5 €	-12,7 €	€652	-13,8%
10	674,4 €	-12,7 €	€662	-11,1%
11	684,4 €	-12,7 €	€672	-8,9%
12	694,6 €	-12,7 €	€682	-7,1%
13	705,0 €	-12,7 €	€692	-5,5%
14	715,5 €	-12,7 €	€703	-4,2%
15	726,1 €	-1 282,7 €	-€557	-5,3%
16	736,9 €	-12,7 €	€724	-3,9%
17	747,9 €	-12,7 €	€735	-2,8%
18	759,1 €	-12,7 €	€746	-1,9%
19	770,4 €	-12,7 €	€758	-1,1%
20	781,9 €	-12,7 €	€769	-0,4%
21	793,5 €	-12,7 €	€781	0,1%
22	805,3 €	-12,7 €	€793	0,6%
23	817,3 €	-12,7 €	€805	1,1%
24	829,5 €	-12,7 €	€817	1,5%
25	841,9 €	-12,7 €	€829	1,8%
26	854,4 €	-12,7 €	€842	2,1%
27	867,1 €	-12,7 €	€854	2,4%
28	880,1 €	-12,7 €	€867	2,7%
29	893,2 €	-12,7 €	€880	2,9%
30	906,5 €	-12,7 €	€894	3,1%
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>22 125,8 €</b>	<b>-14 351,0 €</b>		

Liite 7. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 6,89 kW<sub>p</sub>

(3/3)

Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Takaisinmaksu-aika valitulla investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/kWh]	Myyntiin menevän ylijäämäsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön tuotantohinta LCOE [eur/kWh]
-12 700 €			0,10 €		0	
-12 122 €	-12 122 €	1	0,10 €	0,06 €	6029	
-11 536 €	-11 536 €	1	0,10 €	0,06 €	5999	1,06 €
-10 941 €	-10 941 €	1	0,11 €	0,06 €	5969	0,71 €
-10 336 €	-10 336 €	1	0,11 €	0,06 €	5939	0,53 €
-9 723 €	-9 723 €	1	0,11 €	0,06 €	5909	0,43 €
-9 100 €	-9 100 €	1	0,11 €	0,07 €	5880	0,36 €
-8 467 €	-8 467 €	1	0,12 €	0,07 €	5850	0,31 €
-7 825 €	-7 825 €	1	0,12 €	0,07 €	5821	0,27 €
-7 174 €	-7 174 €	1	0,12 €	0,07 €	5792	0,24 €
-6 512 €	-6 512 €	1	0,12 €	0,07 €	5763	0,22 €
-5 840 €	-5 840 €	1	0,12 €	0,07 €	5734	0,20 €
-5 158 €	-5 158 €	1	0,13 €	0,07 €	5705	0,18 €
-4 466 €	-4 466 €	1	0,13 €	0,08 €	5677	0,17 €
-3 763 €	-3 763 €	1	0,13 €	0,08 €	5648	0,16 €
-4 320 €	-4 320 €	1	0,13 €	0,08 €	5620	0,16 €
-3 596 €	-3 596 €	1	0,14 €	0,08 €	5592	0,15 €
-2 860 €	-2 860 €	1	0,14 €	0,08 €	5564	0,14 €
-2 114 €	-2 114 €	1	0,14 €	0,08 €	5536	0,14 €
-1 356 €	-1 356 €	1	0,15 €	0,09 €	5509	0,13 €
-587 €	-587 €	1	0,15 €	0,09 €	5481	0,12 €
194 €	194 €	0	0,15 €	0,09 €	5454	0,12 €
986 €	986 €	0	0,15 €	0,09 €	5426	0,11 €
1 791 €	1 791 €	0	0,16 €	0,09 €	5399	0,11 €
2 608 €	2 608 €	0	0,16 €	0,09 €	5372	0,10 €
3 437 €	3 437 €	0	0,16 €	0,10 €	5345	0,10 €
4 279 €	4 279 €	0	0,17 €	0,10 €	5319	0,10 €
5 133 €	5 133 €	0	0,17 €	0,10 €	5292	0,09 €
6 001 €	6 001 €	0	0,17 €	0,10 €	5266	0,09 €
6 881 €	6 881 €	0	0,18 €	0,10 €	5239	0,09 €
7 775 €	7 775 €	0	0,18 €	0,11 €	5213	0,09 €
		<b>20</b>			<b>168342</b>	

**Yhteenveto: investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat**

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	<b>7 775 €</b> euroa
Takaisinmaksuaika	<b>20</b> vuotta

**Vertaa:**

Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	<b>8,5</b> snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 30 vuoden aikana	<b>13,7</b> snt/kWh

Kannattavuuslaskurin tekijät: KTT Juntunen Jouni, KTT Jalas Mikko ja DI Auvinen Karoliina.  
 2015. FinSolar-hanke, Aalto-yliopisto. Lisätietoja: <http://www.finsolar.net>



Liite 8. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 9,01 kW<sub>p</sub>

(1/3)

**Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuri**  
**(versio 19.11.2015)**

Muokattu: Arttu Salminen 12.5.2017

Sähköenergian ostohinta ja sähkön siirron energiaperusteinen hinta veroineen snt/kWh	10,21	snt/kWh
Kiinteistön sähkönkulutus vuodessa kWh/v	63729	kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/vuosi	2,0%	%/v
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	9010	Wp
Järjestelmän investointikustannus € (laitteet ja asennus, myös mahdollinen ALV)	€15 800	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, %	89 %	%
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	6,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, % alkuinvestoinnista. Oletettu tapahtuvan kerran aurinkosähköjärjestelmän elinaikana 15. vuotena.	10 %	%
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) % alkuinvestoinnista	0,1 %	%
Aurinkosähkön vuosituotto 1 kWp:n järjestelmän sijainnin mukaan	875	kWh/kWpeak

**Oletuksia ja välituloksia:**

Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto	7884	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä	-0,5%	%
Järjestelmän koko paneelien pinta-alana m <sup>2</sup>	61,268	neliömetriä
Järjestelmän käyttöikä vuotta	30	vuotta
Järjestelmän investointikustannus tukien jälkeen €	15 800 €	euroa
Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	1,8 €	euroa/W

## Aurinkosähkön tuotto- ja talouslaskelmat elinkaaren aikana:

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)
0	0,0 €	-15 800,0 €	-€15 800	
1	768,6 €	-15,8 €	€753	-95,2%
2	780,1 €	-15,8 €	€764	-75,5%
3	791,7 €	-15,8 €	€776	-57,2%
4	803,5 €	-15,8 €	€788	-43,5%
5	815,5 €	-15,8 €	€800	-33,6%
6	827,6 €	-15,8 €	€812	-26,3%
7	840,0 €	-15,8 €	€824	-20,8%
8	852,5 €	-15,8 €	€837	-16,5%
9	865,2 €	-15,8 €	€849	-13,2%
10	878,1 €	-15,8 €	€862	-10,5%
11	891,2 €	-15,8 €	€875	-8,3%
12	904,4 €	-15,8 €	€889	-6,5%
13	917,9 €	-15,8 €	€902	-5,0%
14	931,6 €	-15,8 €	€916	-3,7%
15	945,5 €	-1 595,8 €	-€650	-4,6%
16	959,6 €	-15,8 €	€944	-3,3%
17	973,9 €	-15,8 €	€958	-2,2%
18	988,4 €	-15,8 €	€973	-1,4%
19	1 003,1 €	-15,8 €	€987	-0,6%
20	1 018,0 €	-15,8 €	€1 002	0,0%
21	1 033,2 €	-15,8 €	€1 017	0,6%
22	1 048,6 €	-15,8 €	€1 033	1,1%
23	1 064,2 €	-15,8 €	€1 048	1,5%
24	1 080,1 €	-15,8 €	€1 064	1,9%
25	1 096,2 €	-15,8 €	€1 080	2,2%
26	1 112,5 €	-15,8 €	€1 097	2,5%
27	1 129,1 €	-15,8 €	€1 113	2,8%
28	1 145,9 €	-15,8 €	€1 130	3,1%
29	1 163,0 €	-15,8 €	€1 147	3,3%
30	1 180,3 €	-15,8 €	€1 165	3,5%
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>28 809,2 €</b>	<b>-17 854,0 €</b>		

Liite 8. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri 9,01 kW<sub>p</sub>

(3/3)

Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) valitulla laskentakorolla	Takaisinmaksu-aika valitulla investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/kWh]	Myyntiin menevän ylijäämäsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön tuotantohinta LCOE [eur/kWh]
-15 800 €			0,10 €		0	
-15 047 €	-15 047 €	1	0,10 €	0,06 €	7884	
-14 283 €	-14 283 €	1	0,10 €	0,06 €	7844	1,01 €
-13 507 €	-13 507 €	1	0,11 €	0,06 €	7805	0,67 €
-12 719 €	-12 719 €	1	0,11 €	0,06 €	7766	0,51 €
-11 920 €	-11 920 €	1	0,11 €	0,06 €	7727	0,41 €
-11 108 €	-11 108 €	1	0,11 €	0,07 €	7689	0,34 €
-10 284 €	-10 284 €	1	0,12 €	0,07 €	7650	0,29 €
-9 447 €	-9 447 €	1	0,12 €	0,07 €	7612	0,26 €
-8 598 €	-8 598 €	1	0,12 €	0,07 €	7574	0,23 €
-7 735 €	-7 735 €	1	0,12 €	0,07 €	7536	0,21 €
-6 860 €	-6 860 €	1	0,12 €	0,07 €	7498	0,19 €
-5 971 €	-5 971 €	1	0,13 €	0,07 €	7461	0,17 €
-5 069 €	-5 069 €	1	0,13 €	0,08 €	7424	0,16 €
-4 153 €	-4 153 €	1	0,13 €	0,08 €	7386	0,15 €
-4 804 €	-4 804 €	1	0,13 €	0,08 €	7349	0,15 €
-3 860 €	-3 860 €	1	0,14 €	0,08 €	7313	0,15 €
-2 902 €	-2 902 €	1	0,14 €	0,08 €	7276	0,14 €
-1 929 €	-1 929 €	1	0,14 €	0,08 €	7240	0,13 €
-942 €	-942 €	1	0,15 €	0,09 €	7204	0,12 €
60 €	60 €	0	0,15 €	0,09 €	7168	0,12 €
1 078 €	1 078 €	0	0,15 €	0,09 €	7132	0,11 €
2 110 €	2 110 €	0	0,15 €	0,09 €	7096	0,11 €
3 159 €	3 159 €	0	0,16 €	0,09 €	7061	0,10 €
4 223 €	4 223 €	0	0,16 €	0,09 €	7025	0,10 €
5 303 €	5 303 €	0	0,16 €	0,10 €	6990	0,10 €
6 400 €	6 400 €	0	0,17 €	0,10 €	6955	0,09 €
7 513 €	7 513 €	0	0,17 €	0,10 €	6920	0,09 €
8 644 €	8 644 €	0	0,17 €	0,10 €	6886	0,09 €
9 791 €	9 791 €	0	0,18 €	0,10 €	6851	0,08 €
10 955 €	10 955 €	0	0,18 €	0,11 €	6817	0,08 €
		<b>19</b>			<b>220139</b>	

**Yhteenveto: investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat**

Investoinnin nettonykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöiällä	<b>10 955 €</b> euroa
Takaisinmaksuaika	<b>19</b> vuotta

**Vertaa:**

Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitoajalla	<b>8,1</b> snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 30 vuoden aikana	<b>13,7</b> snt/kWh

Kannattavuuslaskurin tekijät: KTT Juntunen Jouni, KTT Jalas Mikko ja DI Auvinen Karoliina.  
 2015. FinSolar-hanke, Aalto-yliopisto. Lisätietoja: <http://www.finsolar.net>