

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Timo Nykänen

Aurinkosähkön tuotanto Pohjois-Karjalan Sähkön jakelualueella

Opinnäytetyö
Tammikuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2017
Ympäristötekniikan koulutus

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
Puh. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Timo Nykänen

Nimeke
Aurinkosähkön tuotanto Pohjois-Karjalan Sähkön jakelualueella

Toimeksiantaja
Pohjois-Karjalan Sähkö Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin aurinkosähkön mikrotuotantoon liittyvää tekniikkaa, sähkön tuottoa, tuotannon kannattavuutta sekä tuotannon ympäristövaikutuksia. Osana opinnäytetyötä tehtiin selvitys aurinkosähkön mikrotuotannosta vuonna 2015 Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n jakelualueella.

Teoriatietoa kerättiin pääasiassa Internet-julkaisuista ja aiemmista tutkimuksista. Tuotantotietoja saatiin Pohjois-Karjalan Sähköltä sekä haastattelemalla sen asiakkaita.

Tutkimuksen mukaan tyypillinen aurinkosähkövoimalaitos PKS:n verkkoalueella on kooltaan 3 - 4,5 kWp. 4,5 kWp:n voimalaitoksen hankintahinta avaimetkäteentoimituksena on 7 200 - 11 250 € ja takaisinmaksuaika itse tuotetun sähkön käytön määrästä riippuen 19 - 41 vuotta. Vaikka aurinkosähkön tuottaminen ei ole järin kannattavaa, olivat kyselyyn osallistuneet aurinkosähkön tuottajat tyytyväisiä aurinkosähköjärjestelmiinsä ja osaansa aurinkosähkön pientuottajina. Asennusten jälkeen aurinkosähköjärjestelmät koettiin yleisesti helpoiksi ja huoltovapaiksi ja kehittämisajatukset liittyivät lähinnä sähkönsaannin ja -käytön tehostamiseen.

Jatkoa ajatellen tutkimusta voisi laajentaa koskemaan myös kahden akselin seurantalaitteilla varustettuja voimalaitoksia, sillä tällöin pystyttäisiin vertaamaan kiinteästi asennettujen ja seurantalaitteilla varustettujen voimaloiden tuottoa ja takaisinmaksuaikaa.

Kieli
suomi

Sivuja 56
Liitteet 2
Liitesivumäärä 5

Asiasanat
aurinkopaneelit, sähköjärjestelmät



THESIS
January 2017
**Degree Programme in Environmental
Technology**
Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
Puh. (013) 260 6800

Author(s)
Timo Nykänen

Title
Solar power production in Pohjois-Karjalan Sähkö Oy network area

Commissioned by
Pohjois-Karjalan Sähkö Oy

Abstract

In this thesis solar power micro production technique, electricity production, production profitability and environmental effects were observed. As part of this thesis a survey about solar power micro production in Pohjois-Karjalan Sähkö Oy network area.

Background information was collected mainly from Internet sources and earlier studies regarding solar power. Production data was collected from Pohjois-Karjalan Sähkö Oy database, and by interviewing their customers.

According a study, typical solar power plant in Pohjois-Karjalan Sähkö Oy network area is 3 – 4,5 kWp. Price for for 4,5 kWp solar power plant, installed ready for function, is between 7 200 and 11 250 €. Amortization time for investment depending on electricity produced by power plant, is from 19 to 41 years. Even the low profitability of solar power plants, the plant owners participating the survey were satisfied for their plants, and to their role as a micro producer of solar power. Solar power plants were found easy to use and service free after installation. Development ideas were mainly presented regarding electricity usage and its efficiency.

In future research could be extended to power plants equipped with solar tracking equipment to be able to compare productivity and amortization time between fixed installations and solar tracking systems.

Language
Finnish

Pages 56
Appendices 2
Pages of Appendices 5

Keywords

solar panels, solar power systems

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Tutkimuksen kohde ja tarkoitus	6
1.2	Toimeksiantaja	7
1.3	Keskeiset käsitteet	8
2	Aurinko	9
2.1	Aurinko energianlähteenä	9
2.2	Auringon säteily	9
2.2.1	Säteilyn tulokulma	10
2.2.2	Sijainnin ja sään vaikutus säteilyyn	11
3	Aurinkosähkö	13
3.1	Aurinkosähkön ympäristövaikutukset	13
3.2	Aurinkosähkö Suomessa	14
3.3	Aurinkosähkön tuet Suomessa	16
3.4	Aurinkosähkön tukimuotojen vertailua	16
3.5	Luvat ja sopimukset	18
3.6	Aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys ja kannattavuus	19
4	Aurinkosähköpaneelit	22
4.1	Aurinkosähköpaneelin toimintaperiaate	22
4.2	Aurinkosähköpaneelien tehontuotto	25
4.3	Aurinkosähköpaneelien valinta	26
4.4	Aurinkosähköpaneelien sijoitus	27
4.5	Aurinkosähköpaneelien asennus	28
4.5.1	Aurinkosähköpaneelien kiinnitysteline	29
4.5.2	Kiinnikkeet eri katetyypeille	30
4.5.3	Kiinnitysten lumikuorman kestävyys	32
5	Aurinkosähköinvertterit	33
5.1	Invertterin ominaisuudet	34
5.2	Invertterin asennus	35
6	Tutkimuksen toteutus	38
6.1	Menetelmälliset valinnat	38
6.2	Kysely aurinkosähkön tuottajille	38
7	Aurinkosähkön tuottajat PKS:n jakelualueella	41
7.1	Aurinkosähköjärjestelmät, sähkön kulutus ja tuotanto	41
7.2	Aurinkosähkön kannattavuusvertailu	43
7.3	Aurinkosähkön tuottajien tyytyväisyys ja palaute	46
8	Yhteenveto ja pohdinta	49

Liitteet

Liite 1 Mikrotuotantolaitoksen liittäminen verkkoon -yleistietolomake

Liite 2 Kysely aurinkosähkötuottajien tyytyväisyydestä järjestelmäänsä

Kuvat, kuviot ja taulukot

- Kuva 1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Motiva Oy 2014a)
- Kuva 2 Aurinkopaneelit ja latvavarjostus (Timo Nykänen)
- Kuva 3 Yksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä tiilikatolla (Timo Nykänen)
- Kuva 4 Tiilikatolle soveltuva kiinnike (Timo Nykänen)
- Kuva 5 Kattotiili muokattuna tiilikattokiinnikkeelle sopivaksi (Timo Nykänen)
- Kuva 6 Invertteri asennettuna palamattomaan seinälevyyn tekniseen tilaan (Timo Nykänen)
- Kuva 7 AC-turvakytkin ja läpiviennit MMJ-kaapeleille tekniseen tilaan ja UV-suojaus alumiiniputkella (Timo Nykänen)
- Kuva 8 PKS Sähkönsiirto Oy:n jakelualuekartta (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016a)
-
- Kuvio 1 Sähkön pientuotannon osuudet tuotantomuodoittain energiaviraston teettämän kyselyn mukaan (Väre 2105)
- Kuvio 2 $50W_p$ aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla 25 °C:ssa (Suntekno 2010)
- Kuvio 3 Aurinkovoimalan paneeliteho
- Kuvio 4 Ostetun sähkön määrä
- Kuvio 5 Aurinkosähkön tuotanto ja kulutus
- Kuvio 6 PKS:n Priima-liittymän toteutunut tuntihinta 5.8.2015 (Pohjois-Karjalan Sähkö Oy 2015)
- Kuvio 7 4,5 kWp:n aurinkosähkövoimalan tuotto 5.8.2015 (ABB 2016)
- Kuvio 8 Ratkaisevat seikat aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa
-
- Taulukko 1 Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hankintahinnat Suomessa 2014 - 2015 (FinSolar 2016c)
- Taulukko 2 Priima-sähkötuotteen hinta (Pohjois-Karjalan Sähkö, 2016b; 2016c)
- Taulukko 3 Myydystä aurinkosähköstä saatu tuotto eri myyntiprosenteilla ja hinnoilla/kWh.
- Taulukko 4 Energian ja energian siirron yhteishinta (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016b; 2016c; ABB 2016)

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen kohde ja tarkoitus

Tässä työssä tarkastellaan aurinkosähkön mikrotuotantoon liittyvää tekniikkaa, sähköntuottoa ja sen kannattavuutta sekä aurinkosähkön tuotannon ympäristövaikutuksia. Aurinkopaneeleissa keskitytään monikiteisten ja yksikiteisten pii-paneelien soveltamiseen verkkokäyttöisten aurinkosähköjärjestelmien osana.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on lisäksi tehdä Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:lle selvitys aurinkosähkön mikrotuotannosta (alle 50 kW:n laitteistot) sen jakelualueella. Selvitys tehdään vuoden 2015 mikrotuottajien sähkön tuotannosta. Aurinkosähkön mikrotuotantoa suunnittelevat voivat hyödyntää tämän tutkimuksen teoriaosiota ja tuloksia suunnitellessaan oman tuotannon aloittamista.

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, koska aurinkosähkön mikrotuotanto yleisyy laitteistojen kehittymisen, hinnan alentumisen ja sitä kautta kasvaneen kysynnän myötä (Isosaari 2012, 104). Aurinko tuottaa luonnostaan energiaa, ja tätä energiaa hyödyntämällä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja pienentää hiilidioksidipäästöjä. Pienvoimaloiden hankinta halutaankin tehdä kuluttajille mahdollisimman helpoksi, jotta yhä useammat kotitaloudet ryhtyisivät aurinkosähkön pientuottajiksi. (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa 2014.)

Aurinkosähköä ja sen tuotantoa on tutkittu viime vuosina paljon. Vuonna 2013 Etelä-Karjalassa käynnistyi hanke, jossa 21 kotitaloutta tilasi aurinkopaneelit Saksasta. Grönberg (2014) on tutkimuksessaan selvittänyt, millaisia energiakansalaisuuteen liittyviä vaikutuksia omakohtainen energiainvestointi aiheutti uusissa mikrotuottajatalouksissa. Tutkimuksen mukaan monet mikrotuottajat olivat ”heränneet” energiakansalaisuuteen ja alkaneet seurata aktiivisesti kodin energiatuotantoa ja -kulutusta, ja tämä on johtanut tietoisuuden kasvuun. Tuottajat olivat myös alkaneet ajoittaa kodin toimintoja oman energiatuotannon mukaan ja aurinkopaneelien hankkiminen oli sytyttänyt kipinän kodin energiankäy-

tön laajempaan rationalisointiin. Näin ollen tällaisilla yhteisöllisillä energiahankkeilla voidaan todeta olevan positiivinen vaikutus kuluttajien energia-asenteisiin.

Kahola (2015) on tutkimuksessaan tarkastellut kotitalouksien pienaurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta Suomessa ja sitä, millaisia tukitoimia vaadittaisiin kannattavuuden saavuttamiseksi. Tutkimuksessa todettiin, ettei pienaurinkosähkön hyödyntämiselle Suomessa ole teknisiä rajoitteita. Kuitenkin taloudelliseen kannattavuuteen on vielä matkaa johtuen säteilymäärän epätasaisesta jakaumasta ja ennen kaikkea sähkön matalasta hinnasta sekä tukimekanismien puutteesta.

1.2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Pohjois-Karjalan Sähkö Oy, joka on perustettu vuonna 1945 (Pohjois-Karjalan sähkö 2015). Pohjois-Karjalan Sähkön edustajana toimii Jarmo Hautaluoma. Emoyhtiönä toimii Pohjois-Karjalan Sähkö Oy, jonka toiminta sisältää sähkökauppaliiketoiminnan, sähköntuotannon, sekä konsernipalvelut. Tytäryhtiöinä toimii PKS Sähkönsiirto Oy ja Kuurnan Voima Oy, Enerke Oy sekä Enerke Oy:n tytäryhtiö SLT-Consults Oy. (Pohjois-Karjalan sähkö 2015.)

Pohjois-Karjalan Sähkö omistaa kymmenen vesivoimalaa ympäri Pohjois-Karjalaa, ja ne sijaitsevat Kuurnassa, Puntarikoskella, Jänisjoessa, Puhoksesa, Kuokkastenkoskella, Louhikoskella ja Palokissa. Pohjois-Karjalan Sähkö Oy:n sähköverkon pituus on 21 000 km ja asiakkaita on 86 300. Toimialueen asiakkaiden käyttämä sähkön määrä 1 147 GWh vuodessa. (Pohjois-Karjalan Sähkö 2015.)

1.3 Keskeiset käsitteet

Aurinkokenno on aurinkosähkötekniikan peruselementti eli puolijohdekomponentti, joka tuottaa tasasähköä. Tämä perustuu valosähköiseen ilmiöön jossa valo muuttuu suoraan sähkövirraksi. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 120.)

Aurinkosähköjärjestelmä on verkkoonkytketty tai omavarainen sähköä tuottava järjestelmä. Sen tehollähteenä toimii aurinkosähköpaneelisto ja siihen kuuluu invertteri. (Erat ym. 2008, 120.)

Aurinkosähköpaneeli on aurinkokennoista muodostuva, ympäristöltä suojattu ja tasavirtaa tuottava yksikkö (Erat ym. 2008, 120).

Aurinkosähkövoimalan paneeliteho kWp Aurinkosähkön yhteydessä tehosta puhutaan kWp:nä eli kilowattipeakinä, joka tarkoittaa parhaimmillaan tuotettua huipputehoa. Huipputeho riippuu järjestelmän koosta. (Rexel Finland Oy 2016.)

Aurinkovakio tarkoittaa sitä auringosta lähtöisin olevaa energian määrää, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maanpinnalla. Keskipäivällä kirkkaalla säällä aurinkovakio on noin 0,8–1,0 kW/m². (Erat ym. 2008, 11.)

Mikrotuotantolaitos Mikrotuotantolaitoksella tarkoitetaan pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen kytkettyä sähköntuotantolaitosta, jonka teho on maksimissaan 50 kVA:a. Mikrotuotantolaitoksen ensisijainen tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen ja se voi olla myös yhdistettynä sähköjakeluverkkoon. (Motiva Oy 2016.)

Verkkoinvertteri muuttaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi ja mahdollistaa aurinkosähkön oman käytön tai myymisen sähköverkkoon (Puro 2016b).

2 Aurinko

2.1 Aurinko energianlähteenä

Aurinko on kaasupallo, jonka ulkokuori muodostuu pääasiassa vedystä (75 %) ja heliumista (23 %). Auringossa tapahtuu lämpöydinreaktio eli fuusio, jossa 2 vetyatomia, 2 protonia ja 2 neutronia yhtyvät heliumatomiksi ja jonka seurauksena vapautuu suuri määrä energiaa. (Erat ym. 2008, 10.)

Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä vapauttaa 180 miljoonaa kWh energiaa. Vapautunut energiamäärä saadaan atomien mikrorakenteesta, ja koska vedyn atomipaino on 1 ja heliumin 3,97, atomipaino pienenee vetyatomien muuttuessa heliumatomiksi. Koska massa ja energia ovat ekvivalentteja, tämä määrä muuttuu osittain energiaksi. Joka sekunti auringossa muuttuu 654 miljoonaa tonnia vetyä 650 miljoonaksi tonniksi heliumia, josta syntynyt erotus, 4 tonnia, muuttuu energiaksi. Fuusion vapauttama energia antaa auringolle $3,8 \cdot 10^{23}$ kW:n kokonaistehon, josta maapallolle tulee $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. Tämä määrä vastaa noin 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuteen ja lämmitykseen tarvittavaa tehoa. (Erat ym. 2008, 10.)

Auringonsäteiden maanpinnalle pääsyä heikentäviä tekijöitä ovat erilaisista molekyyleistä ja vesihöyrystä koostuva ilmakehä sekä saasteet ja pöly. Ilmakehän vaikutuksesta haitallisen UV-säteilyn määrä maanpinnalla pienenee, mutta samalla pienenee myös välitön aurinkovakio. Mitä pidemmän matkan säteily kulkee ilmakehän läpi, sitä pienempi aurinkovakio on. (Erat ym. 2008, 12.)

2.2 Auringon säteily

Maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat 1) suora auringonsäteily, 2) diffuusinen eli haja-auringsäteily ja 3) ilmakehän vastasäteily. Suoralla auringonsäteilyllä (I_A) tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä. Hajasäteilyllä (I_D) tarkoitetaan ilmakehän molekyylien ja pilvien

heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä (I_V) aiheuttavat ilmakehässä oleva vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle ja tätä kutsutaan kasvihuonevaikutukseksi. Vastasäteily luetaan yleensä kuuluvaksi hajasäteilyyn. (Erat ym. 2008, 12.)

Maanpinnalle tulevan kokonaissäteilyenergian määrä saadaan laskemalla yhteen auringonsäteilyn, hajasäteilyn ja ilmakehän vastasäteilyn määrä. Tästä täytyy vähentää vielä pinnan takaisin avaruuteen heijastama pitkäaaltonen säteily (I_U), jotta saadaan selville pinnan hyväksi jäävä teho (I) (2.1).

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (2.1)$$

Pilvisinä päivinä säteilystä 80 % voi olla hajasäteilyä, mutta kesällä keskipäivällä sen osuus voi olla noin 20 % vaakasuoralle pinnalle. Aurinkosäteily mitataan yleensä vain vaakatasolla. (Erat ym. 2008, 12.)

2.2.1 Säteilyn tulokulma

Helsingissä aurinkosäteily vaakatasossa on 936 kWh/m²a ja Joensuussa 866 kWh/m²a (European Commission 2016). Aurinkoenergialaitteeseen vuositasoilla osuvaan säteilyyn vaikuttaa säteilyn voimakkuuden lisäksi laitteen suuntaus, joka sisältää kaksi kulmaa: kallistuskulma, joka on vaakatason ja aurinkopaneelin välinen kulma ja atsimuuttikulma eli poikkeama etelästä. Atsimuuttikulman ollessa 0° aurinkopaneeli on suunnattu etelään, länteen +90° ja itään -90°. (Erat ym. 2008, 13.)

Maapallon pyörintä akselinsa ympäri vaikuttaa auringon säteilyyn tulokulmaan, joka muuttuu jatkuvasti osuessaan kiinteästi asennettuun aurinkopaneeliin. Aurinkopaneeli tuottaa parhaiten energiaa, kun aurinkopaneeli on suunnattu etelään ja tulokulma on 0°. Auringonsäteilyn osuessa kohtisuoraan aurinkopaneelin pintaan tulokulma on 0°. (Erat ym. 2008, 13 - 15.)

2.2.2 Sijainnin ja sään vaikutus säteilyyn

Auringonsäteilyn teho ja auringonpaisteen määrä vaihtelevat maapallon liikkeiden ja sään vaihtelujen mukaan. Auringonpaisteen mittaamiseen käytetään auringografia, jonka ytimessä on lasipallo. Lasipallo asennetaan niin, että polttopisteen etäisyydellä olevassa paperissa näkyy auringonpaisteen jättämä jälki. Laitte rekisteröi auringonpaisteen 0,1 tunnin tarkkuudella. Päivän tuntiarvoista voidaan laskea absoluuttinen auringonpaiste-aika. Auringonpaisteen vuorokautinen jakautuminen pystytään toteamaan samalla laitteella. (Erat ym. 2008, 22 - 24.)

Suomen leveysasteet alkavat etelästä 60° N leveysasteelta pohjoisen leveysasteelle 70° N Joensuun ollessa leveysasteella 62.6011° N. Päivänpituus Helsingissä (22.12.) talvipäivänseisauksenaikaan on 6 tuntia auringon korkeuskulman ollessa 7° keskellä päivää, ja joka Joensuussa on samana päivänä 4 tuntia 53 minuuttia korkeuskulman ollessa 5°. Joensuussa aurinko on korkeimmillaan kesäkuussa hieman yli 50° korkeudessa päivän pituuden ollessa pisimmillään 20 tuntia 4 minuuttia. (Erat ym. 2008, 22; Kärnä 2016.)

Napapiirillä Rovaniemen pohjoispuolella aurinko on talvipäivänseisauksen aikaan vain horisontissa, eli aurinko ei nouse. Utsjoella aurinko ei nouse ollenkaan 26.11.–17.1. välisenä aikana. Utsjoella kesäaurinko paistaa yhtäjaksoisesti 66 päivää. (Erat ym. 2008, 22 - 24.)

Vuoden pimeimpänä aikana 20.11.–6.1. aurinko on Helsingissä esillä vain alle tunnin vuorokaudessa. Sen jälkeen paisteen keskiarvo kasvaa hitaasti maaliskuun puoliväliin saakka, jolloin paiste-aikaa on keskimäärin 5 tuntia vuorokaudessa. Vuoden maksimi paiste-aika 10 tuntia saavutetaan Helsingissä toukokuun lopulla ja 10 tunnin paisteen mahdollisuus kestää kesäkuun loppuun saakka. Paisteen keskiarvo jää syyskuun puolivälissä alle 5 tuntiin. (Erat ym. 2008, 24.)

Absoluuttiseen auringonpaiste-aikaan vaikuttaa pilvisyys ja vuodenaika. Vertailukelpoisen suureen saamiseksi käytetään suhteellista auringonpaistetta, joka on havaitun paisteajan suhde suurimpaan havaittuun paiste-aikaan. Maksimi-

paiste on paistesumma, joka saavutetaan täysin kirkkaalla säällä havaintopaikalla. (Erat ym. 2008, 24.)

Suhteellisen paisteen jakautuminen vaihtelee hyvin paljon eri vuosina samoilla havaintoasemilla. Sisämaassa suhteellinen paiste kesäkuussa on 55 – 60 % cumuluspilvien muodostumisesta johtuen. Maarianhaminan arvon ollessa 66,8 % joka on Suomen suurin. (Erat ym. 2008, 24.)

Suhteellinen auringonpaiste jakautuu maaliskuussa melkein tasan Keski-Suomen rannikon ja sisämaan välillä. Kesäkuussa meri vaikuttaa suhteelliseen auringon paisteeseen Ahvenanmaan ollessa aurinkoisinta seutua. Suhteellinen paiste pienentyy paljon Oulu-Kajaani -linjan pohjoispuolella. Syyskuussa perämeren rannikko on aurinkoisinta seutua ja maan eri osien auringonpaisteen erot tasoittuvat. Joulukuussa suhteellisen paisteen arvot voidaan laskea vain Etelä- ja Keski-Suomessa. Maan lounaisosa on hieman aurinkoisempi kuin kaakkoisosa. (Erat ym. 2008, 25.)

Maanpinnalle ilmakehän ulkorajan auringonsäteilystä $1\ 353\ \text{W/m}^2$ saadaan kirkkaana päivänä suorana säteilyä 70 %, jonka tehon hajasäteily nostaa 80 %:iin, Loppu häviää ilmakehän aiheuttamaan sirontaan ja absorptioon. Suomessa ilman sameus vähentää kesällä suoran säteilyn määrää 10–15 %. (Erat ym. 2008, 26.)

Pilvien laatu, määrä ja paksuus sekä auringon korkeuskulma pienentävät suoran säteilyn määrää. Pilvisyys vaihtelee vuodenajan, säätyypin ja paikallisten tekijöiden vaikutuksesta. Esimerkiksi talvella pilvipeite on usein tasainen ja laaja, mutta maaliskuussa pitkiä pilvettömiä jaksoja esiintyy jo yleisesti. Kesällä ovat tyypillisiä cumuluspilvet, jotka syntyvät puolenpäivän aikaan ja häviävät illalla. Tämän vuoksi aamupäivällä säteily on suurinta itään suunnatuilla auringkopaneeleilla. (Erat ym. 2008, 26.)

3 Aurinkosähkö

Aurinko tuottaa luonnostaan energiaa, mutta aiemmin ihmisillä ei ole ollut väliä siitä ottaa tuota energiaa talteen. Aurinkosähköjärjestelmät ovatkin kehittyneet suurin harppauksin viime vuosina. Pitkällä aikavälillä aurinkoenergia voi olla pääasiallinen energiantuotantomuoto, koska se todennäköisesti on erittäin taloudellinen tapa tuottaa sähköä ja tuotetun sähkön varastoiminenkin voidaan tulevaisuudessa toteuttaa tehokkaasti. Haasteita tullaan kohtaamaan siinä, ettei voimaloiden tehoa voida säätää samalla tavalla kuin perinteisissä voimalaitoksissa. Järjestelmän tehotasapainon hallinta tilanteessa, jossa sekä tuotanto että kulutus vaihtelevat ohjaamattomasti, on vaikeampaa kuin aiemmin. (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa 2014.)

3.1 Aurinkosähkön ympäristövaikutukset

Aurinkokennot tuottavat toimiessaan päästötöntä energiaa. Aurinkokennojen ympäristövaikutukset riippuvat kuitenkin niiden valmistusprosessista, kuljetuksesta ja siitä, mitä niille tapahtuu käytön jälkeen. Paneelit menettävät tehoaan ajan kuluessa; niiden toiminta-ajan on arvioitu olevan noin 25 vuotta. Monissa paneeleissa on käytetty myrkyllisiä metalleja ja käytöstä poistettavien paneelien hiilijalanjälkeä voidaan parantaa kierrättämällä materiaalit käytöstä poiston jälkeen. (CO₂-raportti 2010.)

Arizona State Universityssä tehdyn tutkimuksen mukaan aurinkokennojärjestelmän takaisinmaksuaika on energiassa mitattuna 2,2 vuotta. Kennot siis tuottavat tuossa ajassa sen energian, mikä niiden valmistukseen kului. Tutkimuksessa käytettiin piikennoja alueella, jossa auringon säteilyenergiaa kertyi 1 700 kWh/m² vuodessa. (CO₂-raportti 2010.) Eratin ym. (2008, 13) mukaan Suomessa säteilyenergiaa tulee sijainnista riippuen 800 - 1 000 kWh/m² vuodessa. Tällöin aurinkokennojärjestelmän takaisinmaksuaika voi olla jopa puolet pidempi.

Arizona State Universityn tutkimuksen mukaan aurinkokennojen valmistuksen hiilijalanjälki on viimeisen kymmenen vuoden aikana pienentynyt kolmasosaan

teknologian kehittymisen myötä. Modernien kennojen valmistuksen hiilijalanjäljen laskettiin olevan 21g CO₂/kWh tuotettua sähköä. Kun huomioitiin myös valmistusprosessin ulkopuoliset päästöt, kuten kuljetuksesta aiheutuvat päästöt, hiilijalanjälki kasvoi 32 grammaan tuotettua kilowattituntia kohti. Kuljetuksen optimointi on siis tärkeässä roolissa aurinkokennojen hiilijalanjäljen muodostumisessa. (CO₂-raportti 2010.) Aurinkosähköpaneelien lisäksi järjestelmään kuuluu paljon muutakin, mikä pitäisi huomioida takaisinmaksuaikaa laskettaessa. Tukirakenteet, paneelien kehykset, säätäjä, invertteri ja akut vaikuttavat koko järjestelmän päästöihin. (Erat ym. 2008, 166.) Nykyiselläänkin aurinkokennojen hiilijalanjälki on kuitenkin vain murto-osan fossiilisten polttoaineiden hiilijalanjäljestä ja aurinkosähkön hyödyntämistä laajemmin rajoittaa lähinnä vain hinta (CO₂-raportti 2010).

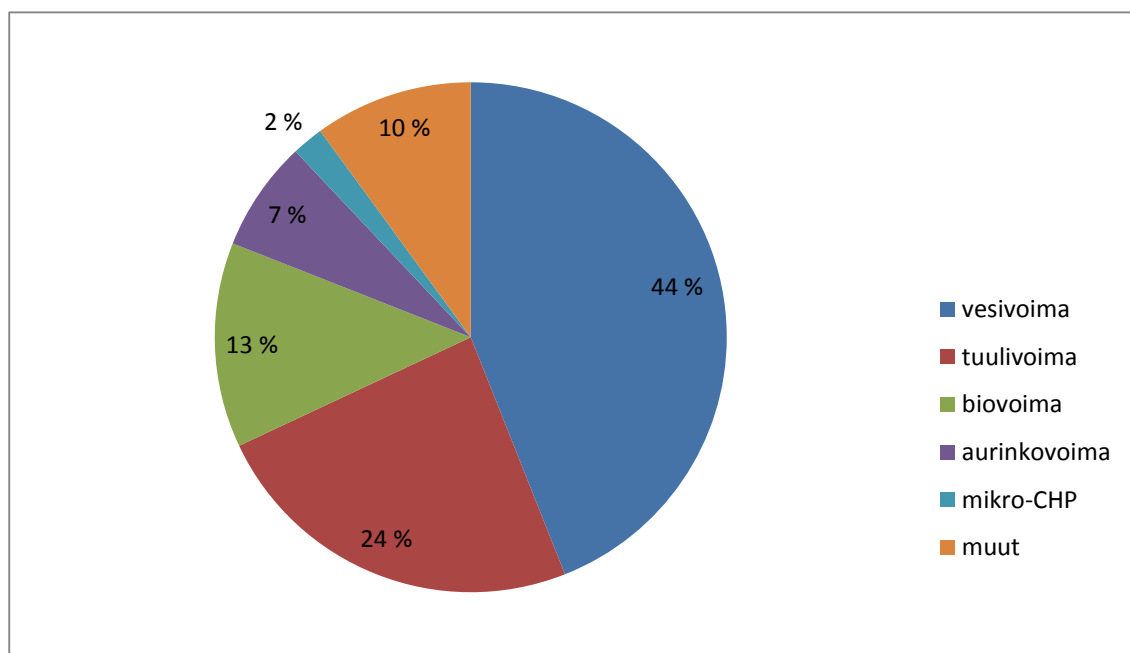
3.2 Aurinkosähkö Suomessa

Energiaviraston teettämän kyselyn mukaan Suomessa oli vuonna 2015 yhteensä 7,9 MW verkkoon kytkettyä aurinkosähköä. Suurin osa tästä kapasiteetista muodostui keskisuurista (5 - 100 kWh) voimaloista. Suurin osa voimaloista sijaitsee Carunan (2 280 kW), Helen Sähköverkköjen (820 kW) ja Lappeenrannan Energiaverkkojen (547 kW) alueilla. (FinSolar 2016a.)

Aurinkosähkön mikrotuotannolla tarkoitetaan pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen kytkettyä voimalaitosta, jonka tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen laitoksen ollessa kytkettynä jakeluverkkoon ja verkkoon syötön ollessa satunnaista tai vähäistä. SFS-EN 50438 -standardi määrittelee mikrotuotantolaitoksen suurimmaksi kooksi 16 ampeeria (11 kilovolttiampeeria). Mikrotuotantolaitos-käsitteellä tarkoitetaan pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen kytkettyä voimalaitosta, jonka tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen laitoksen ollessa yhdistettynä jakeluverkkoon. (Motiva Oy 2012.)

Kuviossa 1 on esitetty sähkön pientuotannon osuudet tuotantomuodoittain Suomessa vuonna 2015. Tuulivoiman osuus oli 24 % (28 758 kW), vesivoiman 44 % (52 771 kW), biovoiman 13 % (15 086 kW), mikro-CHP:n 2 % (2 983 kW), aurinkovoiman 7 % (7 866 kW), ja muiden energialähteiden 10 % (12 328 kW).

Aurinkovoiman osuuteen on lisätty 220 kW kyselyn teettämisen jälkeen. (Väre 2015.)



Kuvio 1. Sähkön pientuotannon osuudet tuotantomuodoittain energiaviraston teettämän kyselyn mukaan (Väre 2015)

Aurinkosähkökapasiteetti kaksinkertaistui Suomessa vuonna 2015, ja tämä näkyi erityisesti suurien voimaloiden yleistymisenä; kymmenestä suurimmasta voimalasta seitsemän toteutui vuoden 2015 aikana. (Lovio & Liuksiala 2016.)

Toisin kuin luullaan, Suomi vastaa Keski-Eurooppaa aurinkoenergian tuotannossa. Pimeitä talvipäiviä kompensoi valoisa kesä, jolloin aurinko paistaa lähes vuorokauden ympäri. Suomen etuna onkin matala ympäristön lämpötila, joka parantaa paneelien hyötysuhdetta. Paneelit toimivat sitä paremmin, mitä kylmempää on. Asentamalla paneeleja rakennusten julkisivuihin saa energiaa hyvin talteen talvellakin, koska aurinko paistaa matalalta eikä julkisivuasennuksiin pääse kertymään lunta. Varsinkin kirkkaina talvipäivinä seinäpaneelit tuottavat hyvin, kun vielä lumen heijastus lisää paneeleihin kohdistuvaa säteilyä. (Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa 2014.)

3.3 Aurinkosähkön tuet Suomessa

Vuoden 2016 energiatukilinjausten mukaan yritysten ja julkisten toimijoiden aurinkosähköinvestoinneille voidaan myöntää tukea enintään 25 % investointikustannuksista. Muista energialähteistä poiketen aurinkosähkön osalta tukea voidaan myöntää myös uudisrakennuskohteille. Tuen myöntäjänä on työ- ja elinkeinoministeriö eli TEM. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016.)

Maatiloille myönnetään aurinkosähköinvestointeihin tukea 35 %, jos tuotettavaa energiaa käytetään maatalouden tuotantotoiminnassa (Maaseutuvirasto 2016). Kotitalouksissa tehtäviin aurinkosähköinvestointeihin voidaan hakea verotuksessa kotitalousvähennystä, joka lasketaan investoinnin työkuluista, kuten esimerkiksi asennuksen kustannuksista. Vähennys on 45 % siihen oikeuttavista kuluista. (Verohallinto 2016.) FinSolarin (2016b) esimerkitapauksissa vuosilta 2014 - 2015 kotitalousvähennykset kattoivat 14–18 % tehdyistä aurinkosähkön kokonaisinvestoinneista.

3.4 Aurinkosähkön tukimuotojen vertailua

Kotitalouksien aurinkosähkön tuottaminen tämänhetkisillä hinnoilla on vielä kaukana kannattavasta. Euroopan mittakaavassa Suomi onkin siitä poikkeuksellinen maa, ettei aurinkosähkölle ole mitään suoraa tukimekanismia. Aurinkosähkön hyödyn maksimoimiseksi ja kulujen minimoimiseksi tulisikin pohtia tarkkaan, millainen tukijärjestelmä olisi paras Suomen olosuhteisiin. Yksi mahdollisuus olisi valtion tarjoama investointituki (käytössä esimerkiksi Ruotsissa), jolloin valtio maksaisi määrätyn prosenttiosuuden investoinnin kokonaiskustannuksesta. Syöttötariffissa (käytössä esimerkiksi Saksassa) aurinkosähkön tuottaja saisi jokaista verkkoon syötettyä yksikköä kohden yhden ylimääräisen tariffikorvauksen. Tuotantotariffissa (käytössä esimerkiksi Iso-Britanniassa) tuottaja saisi kiinteän korvauksen jokaista tuotettua yksikköä kohden joko valtiolta tai sähköyhtiöltä. Nettolaskutuksessa (käytössä esimerkiksi Tanskassa) verkkoon syötetty sähkö vähentäisi suoraan ostosähkön määrää. (Kahola 2015.)

Syöttötariffi on yleensä suurempi kuin kotitalouksien sähköstä maksama hinta, joten se kannustaa syöttämään tuotetun sähkön verkkoon, mikä taas ei ole sähköverkon toimivuuden kannalta toivottavaa. Ja vaikka Saksan tukijärjestelmä on onnistunut luomaan maailman suurimman aurinkosähkökapasiteetin, on se saanut voimakasta kritiikkiä sen seurauksena, että järjestelmän kohtuuttomista kustannuksista verrattuna sen saavutuksiin. Aurinkosähköinvestoinneista on saatu kannattavia, koska sille myönnetyt tuet ovat olleet selvästi muita uusiutuvan energian tukimuotoja kannattavampia. (Kahola 2015.)

Iso-Britannian tuotantotariffijärjestelmä kannustaa kuluttamaan mahdollisimman suuren määrän tuotetusta sähköstä itse, sillä verkkoon syötetystä sähköstä saatu korvaus on huomattavasti kuluttajahintaa pienempi. Vaikka tämä järjestelmä poikkeaa kannustinrakenteeltaan Saksan mallista, on sen toimivuus silti riippuvainen tariffien suuruudesta. Iso-Britanniassa onkin tehty useaan otteeseen muutoksia tuotantotariffien tasoon, mikä taas on aiheuttanut suuria heilahteluja aurinkosähköjärjestelmien asennusmäärissä. (Kahola 2015.)

Nettolaskutuksessa investoinnin tuotto on täysin riippuvainen sähkön markkinahinnasta, ja näin ollen sen ennakoitavuus on selvästi muita tukimuotoja heikompi. Esimerkiksi Tanskassa markkinat ylikuumenivat nettomittausjärjestelmän käyttöön oton myötä ja tarjolle tuli huonoa laitteistoa. Kokeilu lopetettiin järjestelmän aiheutettua kymmenien miljoonien kruunujen verotulojen menetyksen, eikä kokeiluun enää oteta uusia talouksia. (Kahola 2015; Dammert 2016.)

Suomen oloihin parhaiten soveltuisi investointituki, joka on käytössä esimerkiksi Ruotsissa. Ruotsissa investointituen avulla on onnistuttu saavuttamaan vauhdikasta, mutta hillittyä aurinkosähkön kasvua. Investointituen budjetti määritellään vuosittain ja siksi kokonaistukikustannusten hallinta on helppoa. Tariffijärjestelmistä poiketen investointituki ei voi luoda tuottajille ylisuuria voittoja, sillä tuen määrä/kWp laskee reaaliaikaisesti aurinkosähköjärjestelmien hintojen kanssa. Prosentuaalinen investointituki on helpoin tapa mukautua nopeasti vaihteleviin aurinkopaneelien hintoihin. (Kahola 2015.)

Investointituki kannustaa mahdollisimman suureen omakäyttöasteeseen, koska Suomessa verkkoon syötetystä sähköstä saatu korvaus on vain noin kolmasosa itse hyödynnetyn sähkön arvosta. Kun kotitaloudet näin ollen mitoittavat järjestelmän koon oman kulutuksen mukaan, pienenee myös aurinkosähköjärjestelmien sähköverkolle aiheuttama rasite. Investoinnin tuottavuuden maksimoimiseksi tuottajan tulee myös olla tietoinen omasta sähkönkulutuksestaan ja pyrkiä ajoittamaan sähkön kulutuksensa ajankohtiin, jolloin aurinkosähkön tuotanto on suurta. Näin ollen aurinkosähköjärjestelmä kannustaa tuottajia muuttamaan sähkönkulutustottumuksiaan ja todennäköisesti tekee heistä entistä valvettuneempia sähkönkuluttajia. (Kahola 2015.)

3.5 Luvat ja sopimukset

Aurinkosähköpaneelien asentamisen lupakäytännöt Suomessa vaihtelevat kunnittain. On mahdollista, että asentaminen on kokonaan kielletty, rakennusvalvonta vaatii toimenpideluvan tai -ilmoituksen, kaupunkiarkkitehdin tai muun vastaavan hyväksynnän tai ettei rakennusvalvonta vaadi mitään. Näiden kuntakohtaisten erojen vuoksi oman kunnan rakennusvalvontaan tulee olla yhteydessä hyvissä ajoin käytäntöjen varmistamiseksi. (Motiva Oy 2014b.)

Sähkömarkkinalaki velvoittaa sähköverkonhaltijaa pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittämään sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset toiminta-alueellaan ja velvollisuus koskee myös sähkön pien- ja mikrotuotantolaitoksia (FINLEX 588/2013). Tuotantolaitteistoja ei saa kytkeä verkkoon ilman verkkoyhtiön lupaa ja laitteiden sekä asennusten on täytettävä verkkoon kytkemisen tekniset vaatimukset. Verkkoyhtiöön tuleekin olla yhteydessä jo hyvissä ajoin ennen järjestelmän hankintaa. Ennen mikrotuotantolaitoksen liittämistä verkkoon tulee täyttää yleistietolomake (liite 1), jossa ilmoitetaan laitoksen ja omistajan tiedot. Lisätietoa sopimuksista ja ohjeita pienvoimaloiden liittamisestä sähköverkkoon löytyy Energiategollisuuden Internet-sivuilta. (Energiategollisuus 2016.)

Jos kaikkea tuotettua sähköä ei kuluteta kohteessa, verkonhaltija ja tuottaja sopivat keskenään verkkoon syötöstä. Tuottaja voi myydä yleiseen sähköverkkoon

siirtyneen sähkön yleisin menettelytavooin sähkömarkkinoille. Verkkoyhtiö ei osta verkkoon siirtyvää sähköä, vaan sitä ostavat useat sähkönmyyjät, joista pientuottaja voi valita itselleen sopivimman. Sähkönmyyjät ja hinnat löytyvät Energiaviraston ylläpitämästä sähköhinta.fi-palvelusta. (Energiateollisuus 2016.)

3.6 Aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys ja kannattavuus

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat ovat laskeneet kansainvälisesti 42–64 % vuosien 2008 - 2014 aikana. Taulukossa 1 on esitetty aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hankintahinnat Suomessa vuosina 2014 - 2015. Hinnat ovat ns. avaimetkäteen-asennushintoja, jotka sisältävät paneelit, invertterin, säätimen, kiinnikkeet, johdot ja asennuksen. (FinSolar 2016c.)

Taulukko 1. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hankintahinnat Suomessa 2014–2015 (FinSolar 2016c)

Järjestelmän koko, kWp	Esimerkkejä asennuskohteista	Järjestelmän hankintahinta €/Wp
3 - 20 kWp (pienet järjestelmät)	Omakotitalot ja asunto-osakeyhtiöt	1,6 - 2,5 €/Wp (sis. ALV 24 %)
3 - 20 kWp (pienet järjestelmät)	Kaupat, päiväkodit, maatilat	1,35 - 2 €/Wp (ALV 0 %)
40 - 400 kWp (keskikokoiset järjestelmät)	Toimistot, kauppakeskukset, kuntakiinteistöt, teollisuuskiinteistöt	1 - 1,6 €/Wp (ALV 0 %)

Euro/Wp lisäksi järjestelmän hintaan vaikuttavat myös:

1. Sähkön kuluttajahinta, eli sähköenergian ja sähkön siirron ostohinta veroineen
2. Kiinteistön sähkönkulutus vuodessa (h/v)
3. Arvio ostosähkön hinnan muutoksesta %/vuosi
4. Investointituki tai kotitalousvähennys alkuinvestoinnista
5. Investoinnin laskentakorko
6. Aurinkosähkön oman käytön osuus %
7. Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon (snt/kWh)
8. Ylläpitokulut
9. Aurinkosähkön vuosituotto sijainnin mukaan (kWh/kWp)
10. Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %, joka on noin 0,5 %/v
11. järjestelmän käyttöikä. (FinSolar 2016c.)

Aurinkosähkön LCOE (levelized cost of energy) -tuotantohinta muodostuu ylläpitokuluista, alkuinvestoinnista ja käyttöiän aikaisesta tuotosta. Aurinkopaneelit ovat pitkäikäisiä, 30-40 vuotta kestäviä komponentteja, joita ei tarvitse teknisesti huoltaa. Järjestelmän ylläpitokulut syntyvät mm. vaihdettavasta invertteristä sekä huoltokustannuksista. (FinSolar 2016c.)

Taloudellisen kannattavuuden edellytys on, että aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan omaan kulutukseen sopivaksi. Omaan käyttöön tuotettu sähkö on ver-

rannollinen sähkön ostohintaan, kun omalla tuotannolla vähennetään ostosähkön kulutusta. Kohteissa joissa aurinkoenergiaa hyödynnetään mahdollisimman paljon omaan kulutukseen, saadaan paras taloudellinen hyöty. Verkkoon tuotetusta aurinkosähköstä sähköyhtiöt maksavat vain sähkön tukkuhinnan 2 - 6 snt/kWh vähentäen siitä marginaalin tai palvelumaksun. Helpoin tapa mitoitaa aurinkosähköjärjestelmä on tarkastella oman kiinteistön kesäkuukausien keskipäivän aikaisia tuntikulutuksia, joita voi seurata sähköyhtiöiden nettipalveluiden kautta. (FinSolar 2016c.)

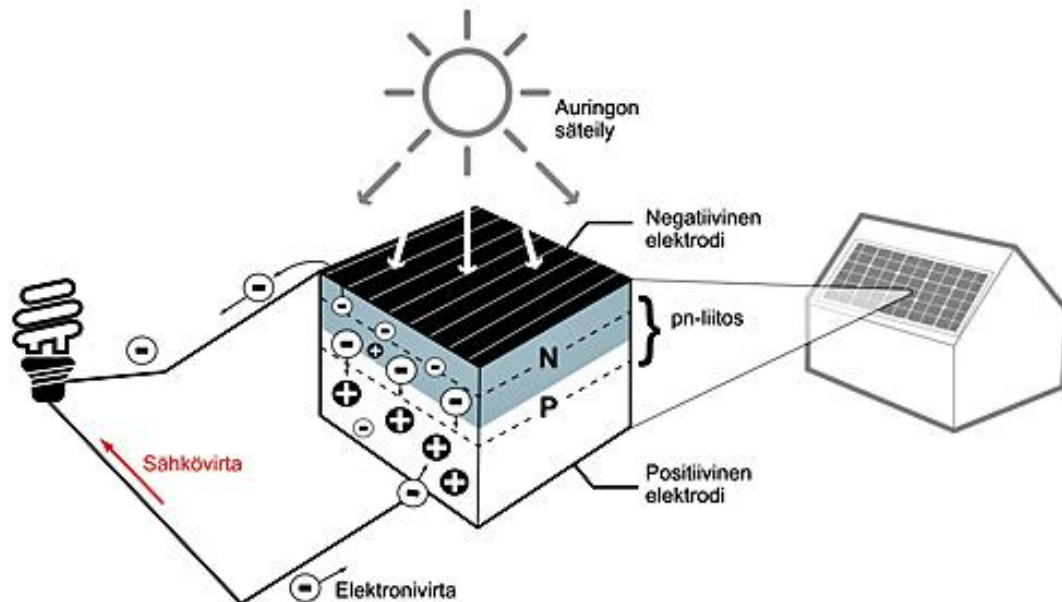
Omakotitalojen taloudellisesti tehokas järjestelmäkoko on tällä hetkellä melko pieni. Akkujen kuitenkin ennakoitua halpenevan, joten tulevaisuudessa päivän aikana saatu tuotto saataneen varastoitua kannattavasti. Tämä mahdollistaisi myös suurempien järjestelmäkokojen taloudellisen kannattavuuden. (FinSolar 2016c.)

Hyvissä olosuhteissa aurinkoenergiainvestointi tuottaa omistajalle noin 3 - 8 %:n tuoton, jos oletetaan sähkön hinnan nousevan maltillisesti investoinnin 30 vuoden keston aikana. Mitä enemmän sähkön hinta nousee, sitä kannattavampi investointi aurinkosähköön on. Investoinnin kannattavuutta ja lähtöarvoja voi arvioida itse kannattavuuslaskurilla. (FinSolar 2016c.)

Kiinteistön omaan käyttöön tuotetun sähkön kannattavuus johtuu siitä, ettei siitä tarvitse maksaa siirtomaksuja eikä energiaveroja. Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta rajaa sähköverotuksen ja huoltovarmuusmaksun ulkopuolelle järjestelmät, joiden kiinteistökohtainen teho ei ylitä 100 kVA:n tai 800 000 kWh:n vuosituotantoa. Yli 100 kVA:n tehoiset järjestelmät rekisteröidään verovelvollisiksi tullille vuotuisen tuotantorajan valvomiseksi. 800 000 kWh:n tuotantoraja mahdollistaa jopa 900 kWp:n tehoisen aurinkosähkövoimalan rakentamiseen kulutuspisteeseen siten, ettei omaan käyttöön tuotetusta aurinkosähköstä tarvitse maksaa sähköveroa tai huoltovarmuusmaksua. (FinSolar 2016c.)

4 Aurinkosähköpaneelit

4.1 Aurinkosähköpaneelin toimintaperiaate



Kuva 1. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Motiva Oy 2014a)

Kuva 1 havainnollistaa aurinkopaneelin rakennetta ja toimintaperiaatetta. Aurinkopaneeli muuttaa auringon säteilyä tasasähköksi (DC), joka verkkoonkytetyissä aurinkosähköjärjestelmissä muutetaan erillisellä invertterillä sähköverkossa käytettäväksi 230V vaihtovirraksi (AC). (Puro 2016a.)

Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi, jossa yhdistyy kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia: p-tyyppinen ja n-tyyppinen. Kun auringon valo osuu kennoon, ainakin osalla valohiukkasista on niin suuri energia, että ne pääsevät ohuen pintakerroksen läpi pn-liitokseen muodostaen elektroni-aukkopareja. Pn-liitoksen lähellä muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit kulkevat vain tiettyyn suuntaan, ja niiden on kuljettava ulkoisen johtimen kautta p-tyypin puolijohteeseen. Vasta siellä ne voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistun liitoksen eri puolilla on näin ollen jatku-

vasti vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat ja liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä. (Suntekno 2010.)

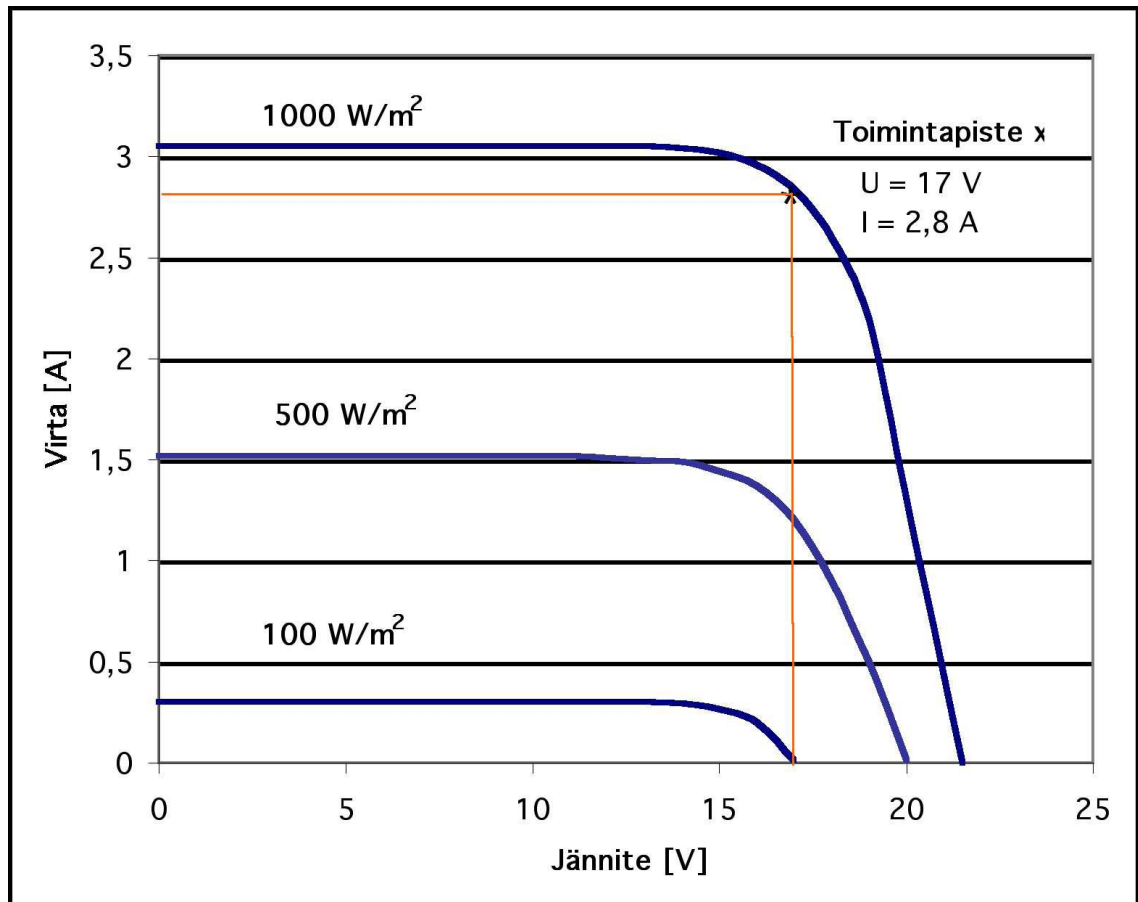
Yleisin materiaali aurinkopaneeleissa on pii (Si), jota käytetään yksi- ja moniki-teisenä sekä amorfisessa muodossa. Kiteisten piikentojen paksuus on yleensä noin 0,2 - 0,3 mm ja niiden pinta-ala on (90 -160) mm · (120 - 160) mm. Yksiki-teiset piikentot on sahattu yhtenäisestä piihiosta, jonka halkaisija on 10 - 16 cm. Arvokkaan raaka-aineen vuoksi pyöreistä kiekkoista ei tehdä neliskulmaisia ja tämän vuoksi yksikidepaneeleissa on aukot kennojen kulmissa. Monikide-paneelit on mahdollista tehdä neliskulmaisista aihioista, jolloin raaka-aine saa-daan tarkemmin hyödynnettyä. (Suntekno 2010.)

Suurin aallonpituus, jolla fotoni saa aikaan elektroni-aukkoparin piissä on 1 150 nm eli 1,15 µm. Tällainen valo on lyhytaaltoista infrapunasäteilyä ja sen aallon-pituus on lähellä näkyvän alueen rajaa. Säteily, jonka aallonpituus on suurempi kuin 1,15 mm kuumentaa paneelia, mutta ei synnytä sähkövirtaa. Jokainen fo-toni voi synnyttää vain yhden elektroni-aukkoparin. Jos fotoneilla on enemmän energiaa kuin elektroni-aukkoparin synnyttämiseen tarvitaan, fotonien energias-ta osa menee hukkaan. Piikentot eivät myöskään pysty hyödyntämään lyhyt-aaltoista ultravioletivaloa, joka tuhoaa paneelia pitkän ajan kuluessa. (Suntekno 2010.)

Piikidekennojen teoreettisen hyötysuhteen on laskettu olevan 31 %, mutta kau-pallisessa käytössä olevien paneelien hyötysuhde jää alle 20 %. Tehokkuutta laskee se, ettei kenno pysty hyödyntämään kaikkea energiaa kaikilla valon aal-lonpituuksilla. Lisäksi luonnosta löytyvä pii on epäpuhdasta, ja sen puhdistami-nen on kallista sekä aikaa vievää, joten kennoissa käytettävä pii on usein epä-puhdasta. Tehokkuutta vähentää myös paneelin valoa heijastava pinta. Muita tehokkuutta huonontavia seikkoja ovat muun muassa metallijohteiden liitokset paneelin pinnalla ja resistanssi. (Mielonen 2015; Suntekno 2010.)

Yhden aurinkokennon antama jännite on 0,5 - 0,6 V (Suntekno 2010). 250 W:n aurinkopaneelissa kennoja on 60 kappaletta, jolloin avoimen virtapiirin jännite on monikidepaneelissa 37,6 V ja yksikidepaneelissa 37,8 V (Solarworld 2016).

Aurinkokennosta saatu sähkövirta on verrannollinen muodostuvien elektroni-
aukkoparien lukumäärään, ja tämän vuoksi sähkövirta riippuu kennon pinta-
alasta sekä auringon säteilyn voimakkuudesta. Kirkkaalla auringonpaisteella
kennot tuottavat virtaa noin 32 mA/cm^2 . Sarjaankytketyissä kennoissa paneelis-
ta saatava virta on yhtä suuri kuin yhden kennon tuottama virta. (Suntekno
2010.)



Kuvio 2. 50 W_p aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla $25 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa (Suntekno 2010)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrä (kuvio 2) kertoo, millä virran ja jännitteen arvoilla paneeli voi toimia. Oikosulkuvirta on paneelin tuottama enimmäisvirta paneelin napojen ollessa kytkettynä oikosulkuun. Tyhjäkäyntijännite on suurin jännite, joka saadaan, kun paneeliin ei ole kytketty kuormaa. Tärkeä piste ominaiskäyrällä on maksimitehopiste tai toimintapiste. Tällä tarkoitetaan virran ja jännitteen arvoja, joilla saavutetaan suurin ulostuloteho kulloisissakin käyttöolosuhteissa. Tätä pistettä on käytännössä vaikea saavuttaa, koska valaistusolosuhteet vaihtelevat ja kirkkaalla auringonpaisteella paneelin lämpötila nousee, mikä

pienentää paneelin tehoa. Kuviosta 2 voi nähdä, kuinka paneelin tuottama virta pienenee lähes suorassa suhteessa säteilyn määrään. Jännite pienenee myös säteilyn vähetessä. Maksimitehopiste saavutetaan vähän sen jälkeen, kun virta on alkanut laskea. (Suntekno 2010.)

4.2 Aurinkosähköpaneelien tehontuotto

Aurinkosähkön yhteydessä tehosta puhutaan kWp:nä eli kilowattipeakinä, joka tarkoittaa parhaimmillaan tuotettua huipputehoa. Huipputeho riippuu järjestelmän koosta. Vuotuista sähköntuottoa mitataan kWh:na eli kilowattitunteina, mikä ilmoittaa, kuinka paljon asennettu järjestelmä tuottaa sähköä vuosittain. Tyypillisesti jokainen asennettu kWp tuottaa vuosittain noin 800–850 kWh:a sähköä. Esimerkiksi tyypillisen sähkölämmitteisen omakotitalon vuotuinen sähkönkulutus on noin 20 000 kWh:a. Tällöin 2 kWp:n järjestelmällä saadaan tuotettua noin 9 % sähkönkulutuksesta. (Rexel Finland Oy 2016.)

Aurinkopaneelin tuottama teho saadaan kaavasta (Joulen laki)

$$P = UI,$$

missä P on teho (W), U jännite (V) ja I virta (A). Paneelin tuottama energia saadaan, kun teho kerrotaan ajalla

$$E = Pt.$$

Yleensä sähköenergia annetaan yksiköissä wattitunti (Wh) tai kilowattitunti (kWh = 1000 Wh). Silloin aika annetaan tunteina (h). Esimerkiksi, jos paneelin napajännite on 18 V ja virta 3 A viiden tunnin ajan, on paneelin teho $P = UI = 54 \text{ W}$ ja tuotettu energia $E = Pt = 270 \text{ Wh}$.

Paneelin hyötysuhde h saadaan paneelin tuottaman tehon ja paneelille tulevan säteilyn suhteena

$$h = \frac{P}{SA} \times 100 \%,$$

missä P on paneelin teho, S auringonsäteilyn voimakkuus ja A paneelin pinta-ala.

Esimerkiksi, kun paneelin virta on 3 A ja jännite 14 V, on sen tuottama teho 42 W. Jos auringonsäteilyn voimakkuus on 700 W/m² ja paneelin pinta-ala 0,4 m², on hyötysuhde 15 %.

Paneeliin kytketty kuorma tai akusto määrää paneelin jännitteen, jota vastaavaan pisteeseen virta hakeutuu kulloistakin säteilyä ja lämpötilaa vastaavalla ominaiskäyrällä. Kuorman suuruus voidaan laskea Ohmin laista

$$R = \frac{U}{I},$$

missä R on kuorman resistanssi (W), U paneelin napajännite ja I virta. (Suntekno 2010.)

4.3 Aurinkosähköpaneelien valinta

Monikiteiset piikidepaneelit soveltuvat verkkokäyttöiseen aurinkosähköjärjestelmään, koska niiden suorituskyky, saatavuus, kestävyys, hinta ja valmistustekniikan kehittyneisyys ovat sopusuhdassa keskenään. (Puro 2016a.)

Aurinkopaneeleja verrataan maailmalla hinnan suhteella paneelin huipputehoon (EUR/W). Lisäksi paneeleja valittaessa tulee harkita muun muassa tehoa, muita sähköisiä ominaisuuksia ja niiden muuttumista lämpötilan vaihdellessa. Huomiota tulee kiinnittää myös paneelien mekaaniseen lujuuteen (mm. lumikuorma), fyysisiin mittoihin ja painoon, liitännäjohtojen pituuteen ja käytettyihin liittimiin, ulkonäköön, vaatimustenmukaisuuteen ja tehontuottotakuuseen. Muita huomioitavia seikkoja ovat myös valmistajan takuu, valmistusmaa ja pakkaustapa. (Puro 2016a.)

Kiinteäkulmaisesti asennetut aurinkopaneelit ovat edullisin, luotettavin ja huoltovapain asennustapa, vaikka sillä ei saa parasta hyötysuhdetta järjestelmälle. Seurantalaitteet liikuttavat aurinkopaneeleja auringon mukaan tulokulman pysyessä mahdollisimman pienenä. Seurantalaitetyyppejä on kolme: kahden akselin seurantalaitte liikuttaa paneelien kallistuskulmaa ja suuntakulmaa yhtä aikaa, atsimuuttiseurannassa paneelit kääntyvät idästä länteen auringon mukaan ja kallistuskulma pysyy samana ja yhden akselin seurantalaitteilla aurinkopaneelit

seuraavat aurinkoa akselinsa ympäri, joka on samassa tasossa kuin aurinkopaneelit. (Erat ym. 2008, 16.)

Eniten säteilyä saadaan kerättyä kahden akselin seurantalaitteella. Atsimuuttiseuranta tuottaa korkeilla leveyspiireillä hieman enemmän kuin yhden akselin seuranta. Matalilla leveyspiireillä yhden akselin seuranta laitteella saadaan parempi tuotto, kuin atsimuuttiseurannalla. Lyhyiden päivien aikana seurantalaitteilla ei saa juurikaan hyötyä. Kesällä seurantalaitteella voidaan teoreettisesti lisätä tuottoa maksimissaan 60 % käytännössä tuotto voi jäädä 30 %. Seurantalaitteet vaativat huoltoa ja energiaa toimiakseen. (Erat ym. 2008, 17.)

4.4 Aurinkosähköpaneelien sijoitus

Aurinkosähköpaneelien paras sijoituspaikka on varjoton. Kaikkien järjestelmän paneelien tulisi saada yhtä paljon säteilyä, mikäli laitteistoa ei toteuteta mikroinvertterillä (ks. luku 5 Aurinkosähköinvertterit). Talvella Suomessa aurinko on alhaalla ja varjostusta muodostuu enemmän. Aurinkopaneelit tuottavat parhaiten energiaa mikäli varjostavat kohteet ovat mahdollisimman kaukana aurinkopaneeleista. Sarjaan kytketyt aurinkopaneelien kennot eivät saa jäädä varjoon, sillä varjoon jäänyt kenno alentaa koko aurinkopaneelin tehoa. (Erat ym. 2008, 15.) Kuvassa 2 paneelit on sijoitettu niin, että latvavarjostusta tulee vain aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä.



Kuva 2. Aurinkopaneelit ja latvavarjostus (Kuva: Timo Nykänen).

Itään suunnatut aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan enemmän sähköä aamupäivällä ja länteen suunnatut iltapäivällä. Paras kallistuskulma aurinkopaneeleille talvella on sama kuin leveysaste plus 15 - 20° eli lähes pystysuoraan. Kesällä kallistuskulman tulee olla pienempi kuin leveysaste. (Erat ym. 2008, 16.) Joensuussa parhaan vuosituoton saa 35 - 50°:n kulmalla (European Commission 2016).

4.5 Aurinkosähköpaneelien asennus

Paneelien mekaaniset asennustyöt voi tehdä itse, mutta ammattiapu on usein järkevä vaihtoehto varsinkin asennettaessa paneeleja jyrkälle katolle. Omatoiminen asennus saattaa vaikuttaa paneelien takuuehtoihin ja mahdollisesti myös kotivakuutuksen kattavuuteen katon osalta. (Motiva 2014b.) Suuremmissa aurinkovoimalahankkeissa kannattaa myös tukeutua ammattiapuun, sillä heiltä saa etukäteen hyödyllistä tietoa muun muassa energiatarpeen mitoituksesta, aurinkosäteilyn saatavuudesta, soveltuvista järjestelmistä ja energiantuottoenusteista. (Linnamurto 2015.)

Aurinkosähköpaneeleja asennettaessa kannattaa huomioida katon kunto. Paneelien käyttöikä on arviolta 25 - 30 vuotta, joten mahdolliset katon kunnostustyöt kannattaa tehdä ennen paneelien asennusta. (Linnamurto 2015.)

4.5.1 Aurinkosähköpaneelien kiinnitysteline

Aurinkopaneelien kiinnitysteline on alumiiniprofiilista valmistetusta kiinnityskiskosta sekä katetyypin mukaisista kiinnitystarvikkeista. Kiinnitystelineiden ja kiinnikkeiden mitoittamisessa käytetään laskentaohjelmaa, josta saadaan piirustukset ja osaluettelo asennusta varten. (Puro 2016c.)

Aurinkopaneelit asennetaan katolle joko yksikerroksista tai kaksikerroksista kiinnitysjärjestelmää käyttäen. Erona on rakenteen vankkuus, tuuletusvälin koko sekä hinta. Kiinnitysjärjestelmästä riippuen aurinkopaneelit voidaan kiinnittää pysty- tai vaakasuoraan. (Puro 2016c.) Kuvassa 3 on yksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä tiilikatolla. Kuvassa näkyy korotusvaneripalat sekä kiinnikkeet. Kattotiilet ovat vielä asentamatta takaisin paikoilleen alemman kiskon kohdalla.



Kuva 3. Yksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä tiilikatolla (Kuva: Timo Nykänen).

Oikein mitoitetun yksikerroksisen kiinnitysjärjestelmän ominaisuudet riittävät isoon osaan asennetuista aurinkovoimalaitoksista. Kohteissa, joissa varaudutaan erikoisen suuriin lumikuormiin, katon rakenteet ovat arveluttavia, halutaan maksimituotto tai paras mahdollinen rakenne, käytetään kaksikerroksista kiinnitysjärjestelmää. (Puro 2016c.)

Kiinnitysjärjestelmä muodostuu yleensä kattokiinnikkeillä katolle vaakasuoraan kiinnitetyistä alumiiniprofiileista. Aurinkopaneelit kiinnitetään pystysuoraan siten että paneelin takana oleva kytkentälaatikko on harjan puolella. Tuuletusväliä katon ja aurinkopaneelien väliin jää noin 150 mm. Yhden paneelin paino tällä järjestelmällä on noin 6 kiloa. (Puro 2016c.)

Oikea kiinnityskiskojen välimatka selviää aurinkopaneelin asennusoppaasta. Yleensä kiinnitysprofiili asennetaan $\frac{1}{4}$ etäisyydelle aurinkopaneelin päädystä pitkältä sivulta mitattuna. (Puro 2016c.)

Kaksikerroksinen kiinnitysjärjestelmä muodostuu kattokiinnikkeillä vaakasuoraan asennetuista kiinnityskiskoista, joiden päälle asennetaan lappeen suuntaisesti parillinen määrä alumiiniprofiileita. Aurinkopaneeli asennetaan kahden lappeen suuntaisen alumiiniprofiilin päälle vaakasuoraan. Katon ja aurinkopaneelin väliin jää noin 200 mm tuuletusväli. Yhden aurinkopaneelin osalta kaksikerroksisella kiinnitysjärjestelmällä tulee painoa noin 10 kiloa. (Puro 2016c.)

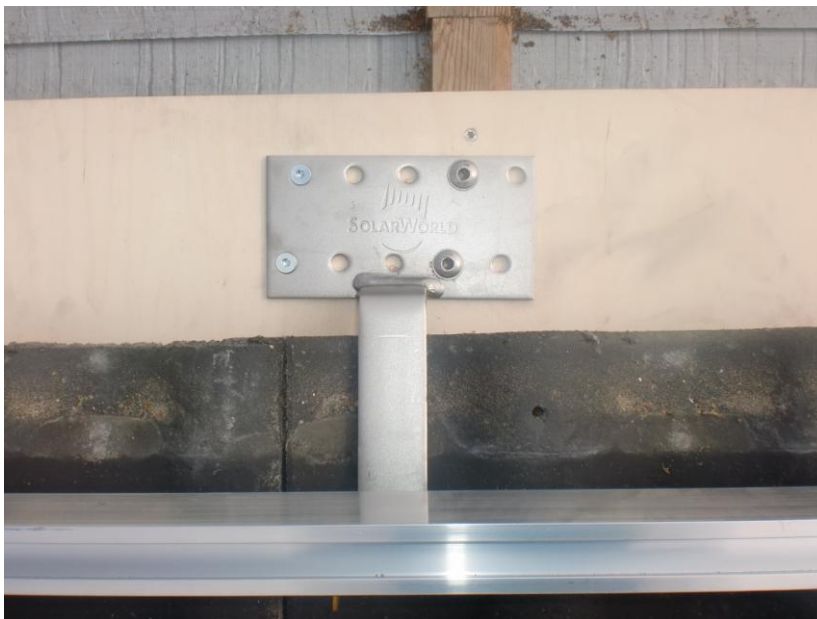
4.5.2 Kiinnikkeet eri katetyypeille

Kone- ja käsin saumatulle peltikatolle alumiiniprofiilit asennetaan saumaan kiinnitettävien puristimien avulla samaan tapaan kuin lumiesteet ja kattosillat. Puristin on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja sen päälle asennetaan lappeensuuntaisen säädön mahdollistava alumiininen yleiskiinnityslevy, johon vaakasuuntaiset alumiiniprofiilit kiinnitetään. Yleiskiinnityslevy ja alumiiniprofiilin tulee olla samanlaisilla kiinnitysurilla valmistettuja. Kiinnitysurat parantavat kiinnityksen kestävyttä. (Puro 2016c.)

Aalto- tai profiilipeltikatolle kiinnitystelineet on valmistettu ruostumattomasta teräksestä valmistetuista ankkuripulteista (M12 x 300 mm). Kiinnikkeet asennetaan peltikaton läpi kattotuoliin. Ankkuripultin ala osa kiinnitetään ruuvaamalla 100 mm pultti kattotuoliin. Ankkuripultin yläosaan kiinnitetään kahden mutterin väliin yleiskiinnityslevy, johon vaakasuuntainen alumiiniprofiili kiinnitetään. Aaltopeltikaton läpiviennit tiivistetään EPDM-kumitulpalla sekä mahdollisesti tiivistemassalla. (Puro 2016c.)

Huopakatolla ankkuripultti asennetaan kattohuovan läpi ja reiän tiivistämiseen käytetään koroketta, johon EPDM-kuminen tulppa tiivistyy (Puro 2016c).

Tiilikatoille kiinnitysteline on ruostumattomasta teräksestä valmistettu s-koukku, joka asennetaan kattotiilen alapuolelle. Kiinnitysteline nostetaan sopivalle korkeudelle vanerilevystä sahatun tukilevyn avulla. Vanerin paksuus valitaan niin, ettei kiinnitystelineen varren alaosa kosketa tiilen pintaan. Kiinnitysteline kiinnitetään kattotuoliin kahdella 100 mm ruostumattomalla puuruuvilla. (Puro 2016c.) Kuvassa 4 on lisätty myös kaksi puuruuvia, jolla kiinnike on kiinnitetty korokepalavaneriin. Asennettaessa tiilikattokiinnikkeitä kattotiilien alapintoja voi joutua hiomaan kiinnikkeiden kohdalla sopivaksi (kuva 5).



Kuva 4. Tiilikatolle soveltuva kiinnike (Kuva: Timo Nykänen).



Kuva 5. Kattotiili muokattuna tiilikattokiinnikkeelle sopivaksi (Kuva: Timo Nykänen).

4.5.3 Kiinnitysten lumikuorman kestävyys

Kiinnitysten lumikuorman kestävyys voi laskea siten, että lasketaan koko paneeliston päälle tuleva lumikuorma ja jaetaan kuorma kiinnityspisteiden lukumäärällä. Esimerkiksi:

$$24 \text{ paneelia} \times 1,5 \text{ m}^2/\text{paneeli} = 36 \text{ m}^2$$

$$36 \text{ m}^2 \times 180 \text{ kg/m}^2 = 6\,480 \text{ kg}$$

$$6\,480 \text{ kg} / 77 \text{ kiinnikettä} = 84 \text{ kg.}$$

Tuloksen tulisi jäädä alle kahdensadan kilon, jotta kiinnikkeet eivät ylikuormittuisi. Yhden kiinnikkeen kestävyyttä voi myös testata kokeilemalla haluttua painoa kiinnikkeen päällä. (Puro 2016c.)

Etelä-Suomessa katon lumikuorma mitoitetaan 180 kg/m^2 mukaan. 1998 rakentamismääräyksien mukainen lumikuorma Pohjois-Karjalassa on $1,8 - 2,0 \text{ kN/m}^2$, mikä vastaa $180 - 200 \text{ kg/m}^2$ lumikuormaa katolla. (Valtion ympäristöhallinto 2016.)

5 Aurinkosähköinvertterit

Verkkoinvertteri muuttaa aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi. Invertteri voidaan asentaa talon sisälle tai ulos. Aurinkosähköjärjestelmässä invertteriin tulee paneeleilta kaksoiseristetyt tasavirtakaapelit. Invertterin ja sähköpääkeskuksen välillä käytetään 3-vaihe- tai 1-vaihekaapelia. Tällainen kytkentä mahdollistaa oman aurinkosähkön käytön itse ja myymisen sähköverkkoon automaattisesti. Tällaiseen järjestelmään ei tarvita akkuja tai erillistä kytkintä. Järjestelmä on yksinkertainen ja kustannustehokas. (Puro 2016b.) Kuva 6 on SMA Sunny Tripower 5000 TL -invertteri asennettuna.



Kuva 6. Invertteri asennettuna palamattomaan seinälevyyn tekniseen tilaan (Kuva: Timo Nykänen).

Mikrotuotantolaitosten kokoluokassa aurinkosähköjärjestelmään on kytketty yleensä yksi invertteri, mutta saatavilla on myös järjestelmiä, jotka kytketään mikroinverttereillä. Paneelikohtaiset mikroinvertterit tuottavat tehokkaammin sähköä tilanteissa, joissa osa paneeleista on varjossa. Useasta mikroinvertteristä rakennettu järjestelmä on investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin järjestelmä, johon on kytketty yksi invertteri, joka riittää järjestelmän kaikkien aurinkopaneelien tuotolle. Mikrotuotantolaitoksen huoltovarmuus heikkenee komponenttien lisääntyessä. (Motiva oy 2014c.)

5.1 Invertterin ominaisuudet

Tärkeintä invertterissä on sen turvallinen toiminta ja että se parantaa olemassa olevan sähköverkon toimintaa. Invertterin tulee toimia tehokkaasti ja muuntaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä hyvänlaatuista siniaaltoista verkkovirtaa mahdollisimman pienellä häviöllä. (Puro 2016b.)

Valmistaja vakuuttaa CE-merkillä invertterin täyttävän eurooppalaiset vaatimukset. Toinen sähköturvallisuuteen liittyvä vaatimus on saarekekäytön esto ja kytkettävän laitteen suojausasetusten toteutuminen. Vaatimukset täyttää saksalaisen VDE-AR-N-4105 2011-08 -mikrotuotantonormin mukainen laite. (Puro 2016b.)

Hyvän verkkoinvertterin hyötysuhde on noin 97,5 - 98,5 %. Verkkoinverttereille ilmoitetaan kaksi eri hyötysuhdetta; hyötysuhde ja eurooppalainen hyötysuhde, joka on painotettu keskiarvo hyötysuhteesta keskieurooppalaisissa olosuhteissa. Aurinkopaneelien tuottamasta energiasta invertterissä muuttuu hukkalämmöksi 1,5–2,5 %. (Puro 2016b.)

Tyypillisen verkkoinvertterin teknisiä tietoja ovat

- huipputeho 1,5 - 25 kWp
- DC-liitäntäteho kertoo aurinkopaneelien yhteistehon, joka invertteriin (vähintään) voidaan liittää

- AC-teho kertoo maksimitehon, jonka invertteri voi maksimissaan tuottaa
- MPP-alue kertoo minimi- ja maksimijännitteen, joka välillä invertterin maksimitehopisteenseuraaja (MPPT) toimii kunnolla
- liitäntä sähköverkkoon on 1-vaiheinen tai 3-vaiheinen
- sopiiko sisä- ja/tai ulkoasennukseen, minimoimintalämpötila, maksimikosteus
- suojausasetukset VDE-AR-N-4105 2011-08
- invertterin verkkoliitännät (Ethernet, Bluetooth, WLAN, RS422). (Puro 2016b.)

5.2 Invertterin asennus

Invertteri asennetaan aurinkopaneelien ja talon sähkökeskukseen tehtävän liitännän väliin tarvittavien suojalaitteiden kanssa. Asennus tehdään invertterivalmistajan asennusohjeiden mukaan. Asennusohjeista pitää huomioida tyhjätilan tarve invertterin ympärillä, invertterin ympäristövaatimukset sekä tarvittavat suojalaitteet. Käyttöohjeisiin tulee tutustua invertterin käynnistyksen, pysäytyksen ja vikatilanteiden varalle. Tiiviysluokitus ja ilmastovaatimukset määrittävät voiko invertterin asentaa sisä- tai ulkotiloihin. (Puro 2016b.)

SMA Sunny Tripower -invertterillä on 4K4H-ilmastoluokitus (-25°C - +60°C) ja IP65-tiiveysluokitus. Näillä luokituksilla varustettu invertteri voidaan asentaa sisätilaan tai ulkoseinälle pois suorasta auringonpaisteesta. Invertteri asennetaan tasaiselle palamattomalle pinnalle. Invertterin pintalämpötila voi nousta +85 °C:seen. Tästä syystä laitevalmistaja suosittelee, että invertterin takaosan metallilevyn ja seinän väliin tulisi jäädä 2 mm:n tuuletusrako. (Puro 2016b.)

Verkkoinvertterin asennuksen saa tehdä asennusoikeudet omaava sähköasennusliike, joka on TUKES:n rekisterissä ja jolla on S1- tai S2-asennusoikeudet, ja sähköurakoitsijan on aina itse tarkastettava asennukset ennen käyttöönottoa. Työn teettäjän kannattaa vaatia myös tarkastuspöytäkirja käyttöönototarkastuksesta. (Puro 2016b; Motiva Oy 2014b.)

Aurinkopaneeleiden ja invertterin välissä käytettävät PV1-F-yksijohdinkaapelit on suunniteltu kestäämään suuria lämpötilavaihteluita. Kaapeleissa on kaksoiseristys, ja ne on suunniteltu kestäämään otsonia. Kaapelit kestävät hyvin sääolosuhteita, UV-säteilyä, happoja, joten kaapelit soveltuvat ulkotiloissa käytettäväksi. (Transfer Multisort Elektronik 2016.)

Käytettäessä 6mm² kaksoiseristettyä PV1-F-kaapelia aurinkopaneeleiden ja invertterin välisen kaapelin pituus voi olla enimmillään 40 metriä. Pidemmille kaapeloinneille voidaan mitoittaa kaapelit erillisellä suunnitteluohjelmalla. (Puro 2016b.) Aurinkopaneeleilta invertterille tulee erilliset plus (+) ja miinus (-) kaksoiseristetyt PV1-F-kaapelit jokaiselta aurinkopaneeliketjulta. DC-turvakytkintä ei tarvitse asentaa erikseen mikäli se on integroitu invertteriin. (Puro 2016b.)

Aurinkopaneelit ja kiinnityskiskojen rungot maadoitetaan kelta-vihreällä potentiaalintasauskapelilla. Invertteriltä sähkökeskukseen tulee 5 x 2,5 mm² MMJ-asennuskaapeli, joka on tarkoitettu kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona, ei maahan eikä suoraan betonivaluun. Johdineriste on suojattava suoralta aurin gonvalolta. Toinen vaihtoehto on MCMK-maakaapeli, joka on tarkoitettu kiinteään asennukseen sisällä ja ulkona. Asennus maahan on sallittu, kun toimitaan kansallisten asetusten ja määräysten mukaisesti. Yllä mainitut kaapelivahvuudet soveltuvat 5 kW invertterille ja paneelit ovat pisimmillään 40 metrin päässä, sekä invertterin ja sähköpääkeskuksen välisen kaapelin pituus on enintään 3 metriä. (Puro 2016b; Reka Kaapeli Oy 2016a; 2016b.)

Invertteri maadoitetaan pääpotentiaalintasauskiskoon kelta-vihreällä potentiaalintasauskapelilla. Verkonhaltijan vaatimustenmukainen AC-turvakytkin asennetaan invertterin ja sähkökeskuksen väliseen kaapeliin, jolla järjestelmä irroteetaan sähköverkosta. AC-turvakytkin asennetaan sellaiseen paikkaan johon verkonhaltijalla on vapaa pääsy. (Puro 2016b.) Kuvassa 7 on AC-turvakytkin asennettuna talon ulkoseinään sekä MMJ-kaapelit suojattuna alumiiniputkillla.



Kuva 7. AC-turvakytkin ja läpiviennit MMJ-kaapeleille tekniseen tilaan ja UV-suojaus alumiiniputkella (Kuva: Timo Nykänen).

6 Tutkimuksen toteutus

6.1 Menetelmälliset valinnat

Tutkimuksen teoriaosion lähteenä käytettiin pääasiassa aurinkosähköön liittyviä Internet-julkaisuja, koska aurinkosähkölaitteiden jatkuvan kehityksen myötä ajantasaista kirjallisuutta on vaikea löytää. Lisäksi työssä hyödynnettiin alan aiempia opinnäytetöitä. Tuotantotietoja saatiin suoraan PKS:ltä ja haastatteleamalla sen asiakkaita. Kannattavuuslaskelmissa on pyritty hyödyntämään uusimpia markkinahintoja (esim. FinSolar 2016c), mutta hintojen jatkuvan laskeamisen myötä laskelmat ovat vain suuntaa antavia.

Tutkimuksessa käytettiin laskurina Photovoltaic Geographical Information System:iä eli aurinkosähkön maantieteellistä tietojärjestelmää, jonka avulla arvioitiin aurinkojärjestelmien sähkön tuotantoa (European Commission 2016). Lisäksi aurion nousu- ja laskuaikoja selvitettäessä hyödynnettiin Vantaaweather.infon laskuria (Kärnä 2016).

Tätä opinnäytetyötä varten kerättiin tietoa aurinkosähkön mikrotuotannosta Pohjois-Karjalan sähkön asiakkailta. Asiakkaita haastateltiin liittyen heidän kokemuksiinsa aurinkosähkön tuottajina. Tuloksia analysoitiin sekä määrällisesti (suljetut kysymykset) että laadullisesti (avoimet kysymykset). Teoriaosiossa ja tutkimustulosten analysoinnissa hyödynnettiin myös aiempaa aurinkosähköön liittyvää tutkimustietoa. Kannattavuusvertailua tehdessä vertailukohteeksi valittiin Kiteellä sijaitseva 4,5 kWp:n aurinkosähkövoimala, koska se kuvastaa hyvin keskivertotuottajan aurinkosähkövoimalaa ja sen tiedot ovat saatavilla Internet-seurannasta.

6.2 Kysely aurinkosähkön tuottajille

Osana tätä opinnäytetyötä tehtiin puhelinkysely Pohjois-Karjalan Sähkön (PKS) verkkoalueelle kytkettyihin aurinkovoimalaitoksen omistajille, joiden laitokset

ovat olleet toiminnassa vuoden 2015. Kysely suunniteltiin yhdessä PKS:n markkinoitpäällikön kanssa. Kysely (liite 2) sisälsi sekä suljettuja kysymyksiä vastauskategorioineen että avoimia kysymyksiä. Tietoa alueen aurinkosähkövoimaloiden toiminnasta saatiin kyselyn lisäksi myös PKS:n mittaroinneista.

Kyselyllä koottiin tietoa aurinkovoimaloiden paneelitehosta, aurinkosähkön tuotannon ja oman kulutuksen määrästä ja ostosähkön määrästä. Kyselyyn osallistuvilta tiedusteltiin myös sitä, onko heidän ostamansa sähkötuote ns. vihreää sähköä. Lisäksi haluttiin saada tietoa siitä, mitkä seikat olivat ratkaisevia aurinkovoimalan hankintapäätöksessä ja kuinka tyytyväisiä aurinkosähkön tuottajat ovat olleet järjestelmiinsä. Kyselyn tavoitteena oli kerätä tietoa uudenlaisten aurinkosähkötuotteiden valmisteluun ja aurinkosähköjärjestelmien kehittämiseen.

PKS:n jakelualueella (kuva 8) on aurinkosähkön tuottajia yhteensä 31. Tähän kyselyyn valittiin aurinkosähkön tuottajia, jotka olivat tuottaneet aurinkosähköä koko vuoden 2015 ajan ja jotka olivat tuottaneet sähköä myyntiin jo huhtikuussa. Heitä oli yhteensä 15, joista kyselyyn osallistui 11 eli kolmasosa kaikista alueen aurinkosähkön tuottajista.

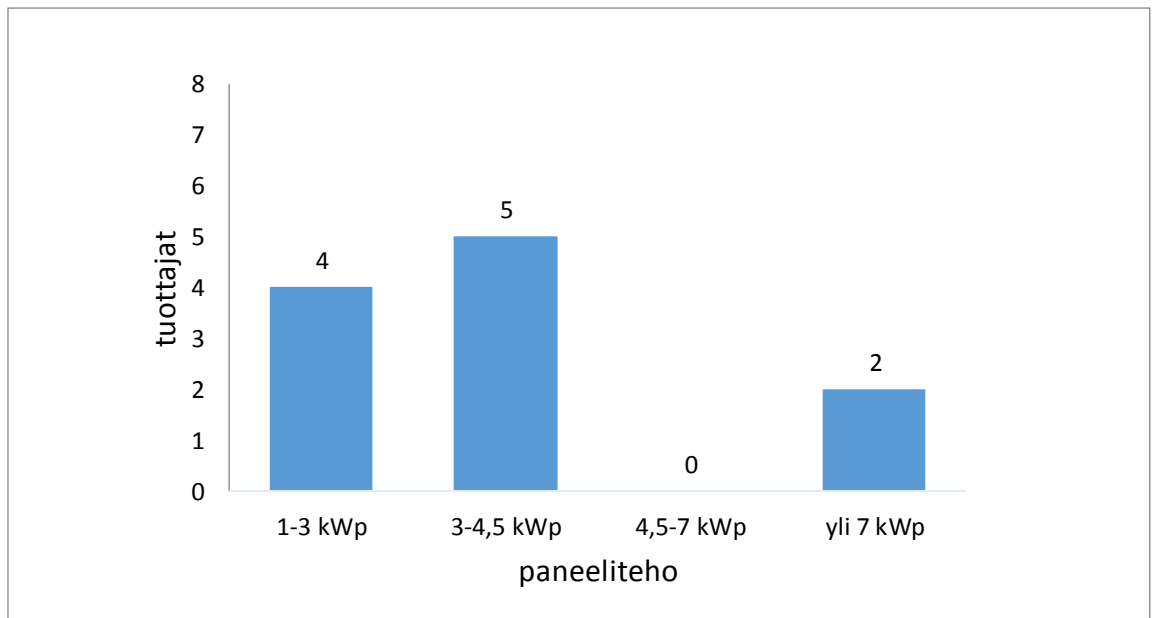


Kuva 8. PKS Sähkösiirto Oy:n jakelualuekartta (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016a).

7 Aurinkosähkön tuottajat PKS:n jakelualueella

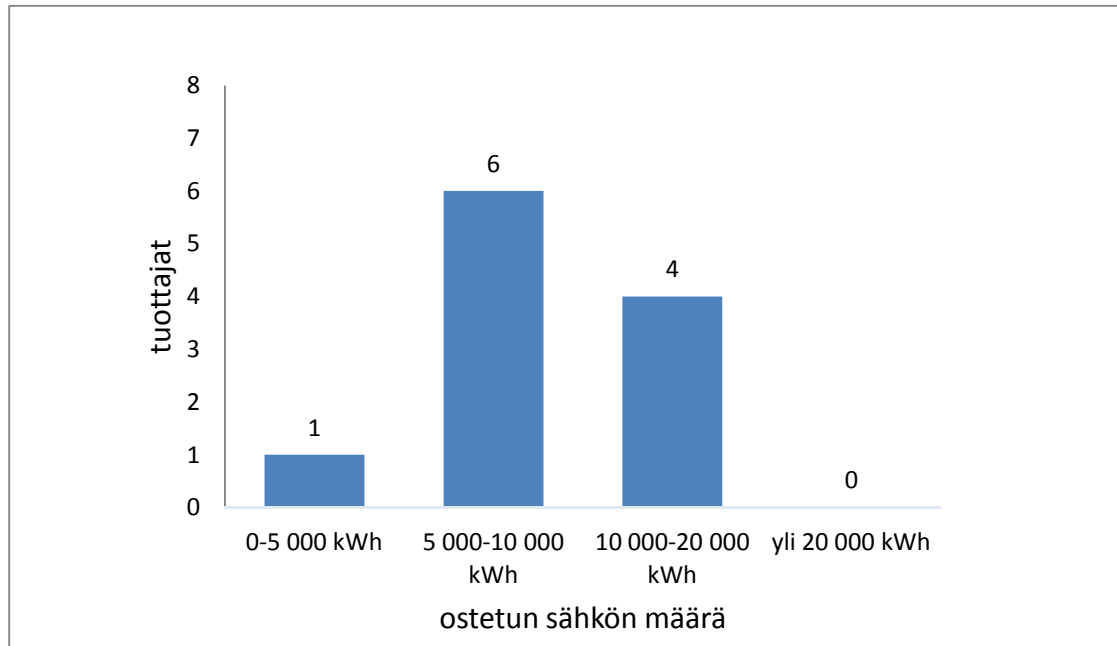
7.1 Aurinkosähköjärjestelmät, sähkön kulutus ja tuotanto

PKS:n jakelualueen aurinkosähkön tuottajille tehdyssä kyselyssä kartoitettiin voimaloiden paneelitehot sekä selvitettiin ostosähkön, kulutetun sähkön ja tuotetun sähkön määrä. Kuviossa 3 on esitetty aurinkovoimalat paneelitehojen mukaan. Kyselyyn osallistuneista tuottajista neljällä voimalan paneeliteho oli 1 - 3 kWp ja viidellä 3 - 4,5 kWp. Kahdella kyselyyn osallistuneella tuottajalla voimalan paneeliteho on yli 7 kWp. Pienet ja keskikokoiset voimalat olivat siis yleisimpiä.



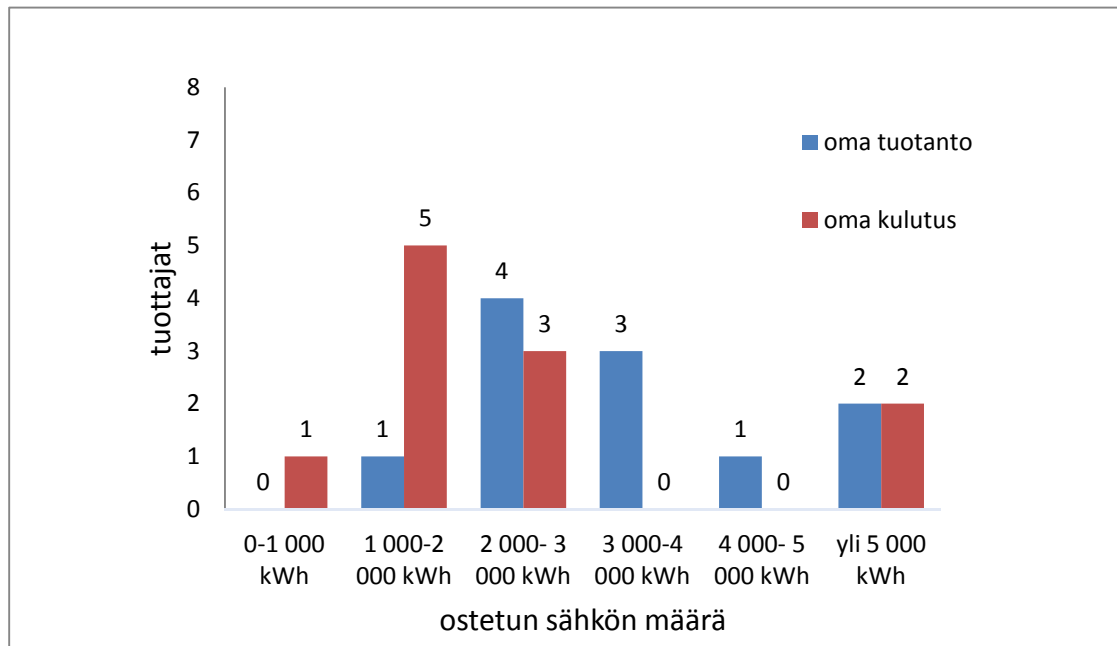
Kuvio 3. Aurinkovoimalan paneeliteho

Kuviossa 4 on esitetty aurinkovoimalat ostetun sähkön määrän mukaan. Yksi aurinkosähköntuottajista oli ostanut sähköä alle 5 000 kWh, kuusi tuottajista oli ostanut sähköä 5 000 - 10 000 kWh ja neljä 10 000 - 20 000 kWh.



Kuvio 4. Ostetun sähkön määrä

PKS:ltä saatujen tietojen mukaan kyselyyn osallistuneet aurinkosähkön tuottajat olivat myyneet sähköä keskimäärin 1 928 kWh per tuottaja. Kuviossa 5 on esitetty aurinkovoimaloiden tuottama ja kuluttama aurinkosähkö. Yhdellä tuottajista aurinkosähköä on tuotettu 1 000 - 2 000 kWh, neljällä 2 000 - 3 000 kWh, kolmella 3 000 - 4 000 kWh, yhdellä 4 000 - 5 000 kWh ja kahdella yli 5 000 kWh. Yhdellä tuottajista oma kulutus on jäänyt alle 1 000 kWh. Viidellä tuottajalla kulutus on ollut 1 000 - 2 000 kWh, kolmella 2 000 - 3 000 kWh ja kahdella yli 5 000 kWh.



Kuvio 5. Aurinkosähkön tuotanto ja kulutus

7.2 Aurinkosähkön kannattavuusvertailu

Pohjois-Karjalan Sähkön sähkötuotteista parhaiten aurinkosähkentuottajille soveltuva on Priima (tuntiperustainen pörssisähkö). Tuotteen hinta muodostuu energiamaksusta (snt/kWh), kuukausimaksusta, toimitusmaksusta (snt/kWh) sekä sähköverosta (snt/kWh). Laskelmissa käytettiin PKS:n Yleissiirto Yksiaika - hinnastoa, jossa hinta on sama ympäri vuorokauden. Priiman osalta toteutunut keskihinta on laskettu ajanjaksolta 3/2015 - 3/2016. (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016b; 2016c.) Tuotteen hinnat on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Priima-sähkötuotteen hinta. (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016b; 2016c.)

Liittymä	hinta (snt/kWh)	kuukausimaksu (€)	toimitus+vero (snt/kWh)
PRIIMA	4,35	21,41	6,92

Aurinkosähkön kannattavuusvertailussa laskennan perustana käytettiin Kiteellä sijaitsevan 4,5 kWp:n aurinkosähkövoimalan tuotantolukemia, koska se vastaa tyypillistä PKS:n jakelualueen aurinkovoimalaitosta. Voimalan kokonaistuotto vuonna 2015 oli 3565 kWh. (ABB 2016.)

Verkkoon myydystä aurinkosähköstä saa noin 3 - 5 snt/kWh, kun taas verkosta ostettavan sähkön hinta on 11 - 14 snt/kWh (Kokko 2014). Taulukkoon 3 on laskettu aurinkosähkön myynnistä saatu tuotto eri sähkön hinnoilla (4,8 ja 12 snt/kWh) ja eri myyntiprosenteilla (10, 30 ja 50 %). Tällöin omaan käyttöön jäisi siis 90, 70 ja 50 % aurinkovoimalla tuotetusta sähköstä.

Taulukko 3. Myydystä aurinkosähköstä saatu tuotto eri myyntiprosenteilla ja hinnoilla/kWh

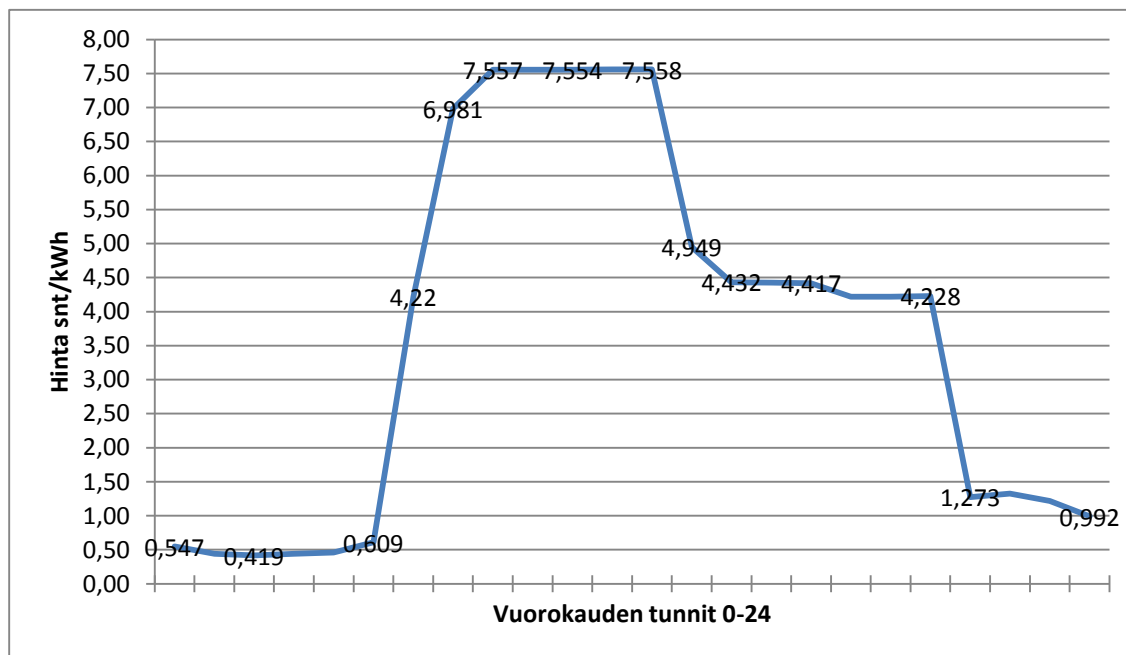
	357 kWh (10%)	1 070 kWh (30%)	1 783 kWh (50%)
4 snt/kWh	14,30 €	42,80 €	71,30 €
8 snt/kWh	28,60 €	85,60 €	142,60 €
12 snt/kWh	42,80 €	128,40 €	214,00 €

Taulukkoon 4 on vastaavasti laskettu, kuinka paljon samat määrät ostosähköä maksaisivat PKS:n Priima-tuotteella. Priima-sopimuksella 90 % tuottamastaan aurinkosähköstään käyttävä säästää enimmillään 361,80 € ostoenergian hinnassa ja saa sen lisäksi myymästään aurinkoenergiasta 14,30 € (hinnalla 4 snt/kWh).

Taulukko 4. Energian ja energian siirron yhteishinta (Pohjois-Karjalan Sähkö 2016b; 2016c; ABB 2016)

	1 783 kWh (50%)	2 496 kWh (70%)	3 209 kWh (90%)
PRIIMA	201,00€	281,40€	361,80€

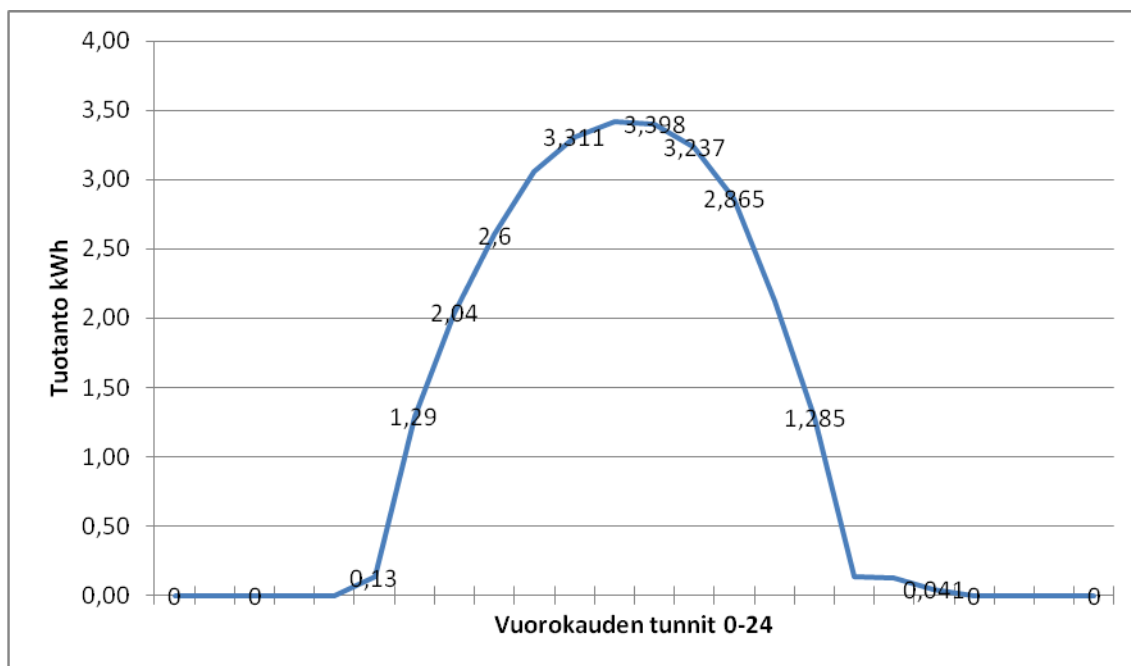
Taulukossa 5 on esitetty PKS:n toteutuneet sähkön tuntihinnat snt/kWh Priima-tuotteella 5.8.2015 (Pohjois-Karjalan Sähkö Oy 2015).



Kuvio 6. PKS:n Priima-liittymän toteutunut tuntihinta 5.8.2015 (Pohjois-Karjalan Sähkö Oy 2015).

Pörssisähkön hinta muodostuu kysynnän ja tarjonnan leikkauspisteessä, eli kysynnän ollessa suurta hinta nousee (Nordic Green Energy 2016). Sähkö on tällöin luonnollisesti kalleinta päiväaikaan, jolloin teollisuus ja kotitaloudet käyttävät paljon sähköä.

Taulukossa 6 on vastaavasti esitetty Kiteellä sijaitsevan 4,5 kWp:n aurinkosähkövoimalan tuotto 5.8.2015 (ABB 2016). Aurinkosähkön tuottohuippu osuu pilvettömällä säällä luonnollisesti kello 12:een, jolloin myös ostosähkön hinta on ollut kalleimmillaan (taulukko 5). Tällöin aurinkosähkön kannattavuus Priima-sopimuksella on vuoden keskiarvohintaa kannattavampaa.



Kuvio 7. 4,5 kWp:n aurinkosähkövoimalan tuotto 5.8.2015 (ABB 2016)

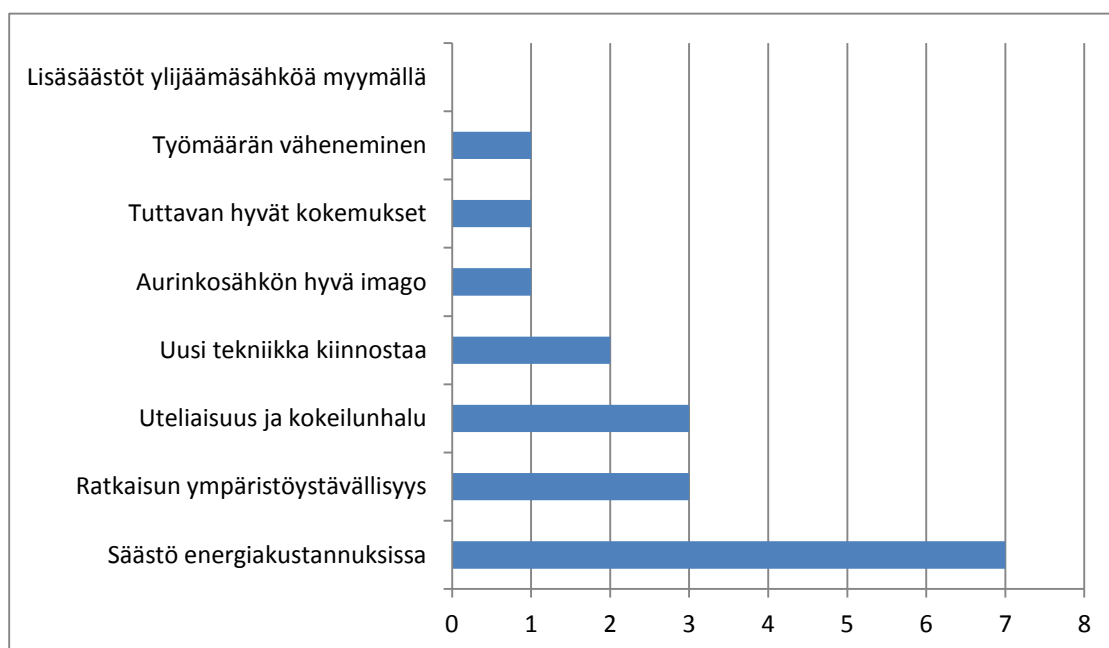
7.3 Aurinkosähkön tuottajien tyytyväisyys ja palaute

Aurinkosähkön tuottajille tehdyn kyselyn tarkoituksena oli myös selvittää, mitä energiaa he käyttävät (uusiutuva/uusiutumaton), aurinkovoimalan hankintaan johtaneita syitä sekä kartoittaa tuottajien tyytyväisyyttään ja tiedustella kehittämisideoita voimaloihin ja sähköntuotantoon liittyen.

Kyselyyn osallistuneista aurinkosähkön tuottajista vain kahdella talouteen ostettava sähkö oli ns. vihreää sähköä eli tuotettu uusiutuvilla energiamuodoilla. Yhdeksällä vastaajista oli siis sähköä, joka oli tuotettu uusiutumattomilla muodoilla. Moni heistä (5/9) perusteli valintaansa hinnalla; on järjestelmästä riippuen edullisempaa valita yö-päivä-sähkötuote tai tuntihintainen pörssisähkö-tuote kuin vihreä sähkö. Yksi vastaajista ei perustellut valintaansa ja kaksi ei ollut kiinnittänyt erityistä huomiota sähkötuotteen valintaan.

Kuvioon 6 on koottu kyselyyn osallistuneiden vastaukset siitä, mikä tai mitkä olivat ratkaisevia seikkoja aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa. 7 vastaajaa 11:stä mainitsi syyksi säästön energiakustannuksissa. Ratkaisun ympäristöystävällisyys (3; N=11) sekä uteliaisuus ja kokeilunhalu (3; N=11) olivat toiseksi eniten mainittuja syitä. Muita syitä olivat kiinnostus uutta tekniikka kohtaan (2;

N=11), aurinkosähkön hyvä imago (1; N=11) ja tuttavain saamat hyvät kokemukset (1; N=11). Yksi mainitsi lisäksi syyksi työn määrän vähenemisen, koska kesäaikana aurinkosähkö korvaa halkokattilalämmityksen. Kukaan ei maininnut syyksi lisäsäästöjen saamista ylijäämästä sähköä myymällä. Käytännössä piensähkön myyntitulot jäävät vuositasolla kymmeneen euroihin ja suurin hyöty aurinkovoimasta on, kun omistaja pystyy korvaamaan tuottamallaan sähköllä ostosähköä (Kokko 2014).



Kuvio 8. Ratkaisevat seikat aurinkosähköjärjestelmää hankittaessa

Kysyttäessä kuinka tyytyväisiä aurinkosähkön tuottajat ovat aurinkosähköjärjestelmiinsä kokonaisuutena, 9 (N=11) vastasi olevansa erittäin tyytyväinen. Kaksi vastaajista oli jokseenkin tyytyväinen.

Kyselyssä tiedusteltiin myös käyttäjien huonoimpia ja parhaimpia kokemuksia aurinkosähköjärjestelmiin liittyen. Muutamilla käyttäjistä oli ollut huonoja kokemuksia liittyen invertteriin. Järjestelmää asennettaessa invertterin kytkeminen ei ollut onnistunut tai vastaavasti Internetin kautta tehtävä päivitys oli ollut vaikea tehdä. Muita huonoja kokemuksia oli vuorokauden ajoille epätasaisesti jakautuva sähkön saanti. Muutamasta vastaajista harmittelivat sitä, ettei järjestelmän myyjä ollut ottanut esille releohjauksen käyttömahdollisuutta, jolloin sähkön

omaa käyttöä olisi voitu tehostaa. Yksi vastaajista oli pettynyt valtion energiapolitiikkaan, joka ei tue aurinkosähkön käyttöä.

Positiiviset kokemukset aurinkosähkölaitteistojen liittyivät taloudellisiin seikkoihin; ilmainen energian saanti (varsinkin kesällä), hyvät palautukset sähkön myynnin myötä (ei kesällä kotona, niin ylijäämää tulee) ja pienemmät sähkölaskut. Moni oli tyytyväinen siihen, kuinka huoleton ja huoltovapaa järjestelmä on ollut. Yksi vastaajista koki myös saaneensa hyvin tietoa ja taitoa aurinkosähkölaitteiden liittyen järjestelmän asentamisen myötä.

Kehittämisaikajatkukset aurinkosähkölaitteistojen osalta liittyivät monella vastaajista oman sähkön käytön tehostamiseen. Sähköä ei haluta myydä sen alhaisen hinnan vuoksi, vaan ylijäämä haluttaisiin hyödyntää esimerkiksi varaamalla se akustoon, lataamalla sähköautoa tai lämmittämällä käyttövetä. Käytännössä sähköä voi kyllä varata akkuihin, mutta akut ovat kalliita eivätkä kovin ympäristöystävällisiä, joten säilöminen ei juuri kannata (Kokko 2014). Muutamit suunnittelivat myös paneelien laittamista useampaan ilmansuuntaan sähkönsaannin tasaamiseksi. Moni vastaajista lisäisi myös paneelitehoa, mikäli sähköyhtiöltä saisi kilowatin annettua kilowattia kohti (eli nettolaskutus, ks. luku 3.4 tukimuotojen vertailusta) nykyisen myyntihinnan sijaan.

Viimeiseksi aurinkosähkön tuottajilta kysyttiin, millaisia palveluja he toivoisivat sähköyhtiöltä aurinkosähkölaitteiden liittyen. Tuottajat toivoivat parempaa hintaa myydylle sähkölle tai netotusta. Eräs vastaajista huomautti, että sähkökatkoksen aikana saatu sähköntuotto menetetään, koska sitä ei voi syöttää verkkoon ja tähän pitäisi kehittää jonkinlainen varaussysteemi. Yksi ehdotti, että sähköyhtiön pitäisi perustaa akustoja aurinkosähkölle ja yksi, että aurinkosähkön tuottajille pitäisi perustaa osakeyhtiö. Usealla vastaajista toiveet liittyivät OmaWattipalvelun kehittämiseen; palveluun haluttaisiin liittää mahdollisuus seurata myös myydyn sähkön määrää ja ohjata kiinteistön LVI-järjestelmiä.

8 Yhteenveto ja pohdinta

Aurinkosähkön tuottajat PKS:n jakelualueella saivat omaan käyttöön 50 - 90 % tuottamastaan sähköstä. Tyypillinen voimalaitos PKS:n jakelualueella on kooltaan 3 - 4,5 kWp. Se pystyy korvaamaan omalla tuotannollaan 361,80 €:n arvosta ostosähköä ja saa lisäksi myynnistä 14,30 €. Näin ollen vuoden kokonais säästö on 376,10 €. Tuottaja, joka käyttää vain 50 % tuottamastaan sähköstä, säästää 272,30 € vuodessa. Eniten aurinkosähköä tuottaneet käyttivät suuremman osan tuottamastaan sähköstä, kuin mitä pienempiä määriä tuottaneet. Pienten tuottajien tulisivin tehostaa tuottamansa sähkön käyttöä, koska taloudellisesti on kannattavampaa käyttää tuottamaansa sähköä itse kuin myydä sitä eteenpäin.

4,5 kWp:n voimalaitoksen hankintahinta (ks. taulukko 1) on 7 200 - 11 250 €. Tuottajalla, joka käyttää 90 % tuottamastaan sähköstä takaisinmaksuaika on tällöin 19 - 29 vuotta ja vastaavasti 50 % omaan käyttöön saavalla takaisinmaksuaika on 26 - 41 vuotta. Paneelien käyttöiän ollessa jopa 40 vuotta paneelit pystyvät tuottamaan rahassa takaisin sen, mikä niiden hankintaan meni. Tässä ei kuitenkaan ole huomioitu mahdollista invertterin vaihtoa, mikä toisi lisäkustannuksia ja pidentäisi takaisinmaksuaikaa. Näissä laskelmissa ei myöskään ole huomioitu mahdollisia kotitalousvähennyksiä tai muita yrityksille ja julkisille toimijoille myönnettäviä tukia (ks. luku 3.3 tuista Suomessa), jotka puolestaan lyhentävät takaisinmaksuaikaa.

Kuten todettua, tukimuotojen puutteellisuudesta ja sähkön alhaisesta hinnasta johtuen aurinkosähkön tuottaminen ei ole kotitalouksille järin kannattavaa. Kuitenkin kyselyyn osallistuneet aurinkosähkön tuottajat vaikuttivat kokonaisuudessaan tyytyväisiltä aurinkosähköjärjestelmiinsä ja osaansa aurinkosähkön pientuottajina. Asennusten jälkeen aurinkosähköjärjestelmät koettiin yleisesti helpoiksi ja huoltovapaiksi ja kehittämisajatukset liittyivät lähinnä sähkösaannin ja -käytön tehostamiseen.

Monet haastatellut olivatkin kiinnittäneet huomiota omaan energian käyttöönsä ja suunnittelivat tekevänsä lisäinvestointeja aurinkosähkön tuotannon lisäämi-

seksi. Muun muassa Grönberg (2014) on tutkimuksessaan havainnut, että aurinkopaneelien hankinta laukaisee ihmisten kiinnostuksen energiankäytön laajempaan tarkasteluun ja järjeistämiseen ja tämän tutkimuksen tulosten voidaan nähdä vahvistavan tätä ajatusta. Sähköyhtiölle annetusta palautteesta ja kehittämisideoista kävi ilmi, että tuottajat haluaisivat tehostaa omaa tuotantoaan ja luonnollisesti tehdä toiminnastaan entistä kannattavampaa. Suomi poikkeaa muista Euroopan maista siinä, ettei sillä ole aurinkosähkölle mitään suoraa tukimekanismia. Yhteiskunnallisesti mitattuna kotitalouksien aurinkosähkön tuotannon myötä syntyvät päästövähennykset jäävät niin pieniksi, että pienaurinkosähkön tukeminen kokonaishyödyn kannalta on kyseenalaista. (Kahola 2015.)

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kiinteästi asennettuihin aurinkosähköjärjestelmiin. Jatkoa ajatellen tutkimusta voisi laajentaa koskemaan myös kahden akselin seurantalaitteilla varustettuja voimalaitoksia, jolloin pystyttäisiin vertaamaan kiinteästi asennettujen ja seurantalaitteilla varustettujen voimaloiden tuottoa ja takaisinmaksuaikaa.

Lähteet

- ABB. 2016. Plant viewer.
<https://easyview.auroravision.net/easyview/index.html?entityId=3489960>. 24.4.2016.
- Aurinkoenergiaa. 2015. Aurinkoenergia.
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>. 26.4.2016.
- Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2014. Lappeenranta University of Technology. http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa. 21.5.2016.
- CO2-raportti. 2010. Ilmastouutisia. Näin aurinkoenergian hiilijalanjälki saadaan pienemmäksi. http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news_id=2715. 10.4.2016.
- Dammert, L. 2016. Aurinkoa, aurinkoa! Sähköala.fi.
http://www.sahkoala.fi/koti/aurinkoenergia_ja_tuulivoima/fi_FI/aurinkoa_aurinkoa/. 24.4.2016.
- Energiateollisuus. 2016. Sähkömarkkinat. Sähköverkko. Hajautettu pientuotanto. <http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>. 13.6.2016.
- Erat, B., Erkkilä, E., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Porvoo: Painoyhtymä Oy.
- European Commission. 2016. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. 10.3.2016.
- FINLEX 588/2013. Työ- ja elinkeinoministeriö. Sähkömarkkinalaki.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>. 12.6.2016.
- Finnwind. 2015. Finnwind Fast Sun FS-F. Painoperustainen asennusteline tasakatoille. <http://www.finnwind.fi/asennus/Finnwind-FS-F-teline.pdf>. 14.4.2016.
- FinSolar. 2016a. Aurinkoenergian tilastot ja potentiaali.
http://www.finsolar.net/?lang=fi&page_id=1150. 8.3.2016.
- FinSolar. 2016b. Aurinkoenergiainvestointien tuet.
http://www.finsolar.net/?page_id=3044&lang=fi. 11.3.2016.
- FinSolar. 2016c. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus.
http://www.finsolar.net/?page_id=1363. 19.4.2016.
- Grönberg, I. 2014. Passiivisesta sähkönkuluttajasta aktiiviseksi energiakansalaiseksi? Aurinkopaneelien yhteistilaus ja -rakentaminen Etelä-Karjalassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportit 21. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/95741/abb0c9f6-1a29-4313-9337-6295ac6e3d27.pdf?sequence=2>. 21.5.2016.
- Isosaari, K. (toim.) 2012. Mistä energiaa taloon? Omakotiasujan energia- ja ympäristöopas. TM Rakennusmaailma.
- Junttila, J. 2015. Vertaa Riston ja Wolfgangin aurinkopaneelien tuottoa ja tukia. Kuningaskuluttaja. Yle. <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/10/vertaa-riston-ja-wolfgangin-aurinkopaneelien-tuottoa-ja-tukia>. 7.4.2016.
- Kahola, M. 2015. Kotitalouksien aurinkosähkön kannattavuus Suomessa – mahdolliset tukivaihtoehdot ja niiden kustannukset. Tampereen yliopisto. Johtamiskorkeakoulu. Taloustiede. Pro Gradu-tutkielma.

- <https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/97834/GRADU-1438083274.pdf?sequence=1>. 21.5.2016.
- Kokko, O. 2014. Näin myyt aurinkosähköäsi energiayhtiölle. Taloussanomat. <http://www.taloussanomat.fi/asuminen/2014/09/08/nain-myyt-aurinkosahkoasi-energiayhtiolle/201411670/310>. 24.4.2016.
- Kärnä, M. 2016. Auringon nousu- ja laskuajat. Dimmercity Light & Sound Oy. <http://vantaaweather.info/sun.phtml?day=22&month=12&year=2010&loc=Sm9lbnN1dQ%3D%3>. 8.3.2016.
- Linnamurto, P. 2015. Kannattavuustarkastelu aurinkosähkön hyödyntämisestä kauppakeskuksessa. Savonia-Ammattikorkeakoulu.Tuotantotalouden koulutusohjelma. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95473/Linnamurto_Petri.pdf..pdf?sequence=1. 14.4.2016.
- Lovio, R. & Liuksiala, L. 2016. Tilannekatsaus aurinkoenergiamarkkinoihin. Fin-Solar-seminaari 18.2.2016. Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu. <http://www.slideshare.net/FinSolar/katsaus-aurinkoenergiamarkkinoihin-raimo-lovio-18022016>. 8.3.2016.
- Maaseutuvirasto. 2016. http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palve-lut/viljelijä/maatalouden_investointituet/Sivut/maatalouden_investointituet.aspx. 11.3.2016.
- Mielonen, M. 21.7.2015. Helsingin sanomat. Tehokkaimmankin aurinkopaneelin hyötysuhde on vain 22 prosenttia – Miksei paneeleista irtoa enempää? <http://www.hs.fi/tiede/a1437357874978>. 12.3.2016.
- Motiva Oy. 2012. Opas sähkön pientuottajille. 04/2012. http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf. 24.4.2016.
- Motiva Oy. 2014a. Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Aurinkosähköteknologiat. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. 12.3.2016.
- Motiva Oy. 2014b. Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Lupa-asiat. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat. 18.4.2016.
- Motiva Oy. 2014c. Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma. 24.4.2016.
- Motiva Oy. 2016. Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Sähkön pientuotanto. <http://vantaaweather.info/sun.phtml?day=22&month=12&year=2010&loc=Sm9lbnN1dQ%3D%3>. 22.5.2016.
- Naps Solar Systems Oy. 2016. Schenkerin rahtiterminaali. Vantaa. http://www.napssystem.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/06/CS_Schenker_FI_print.pdf. 14.4.2016.

- Nordic Green Energy. 2016. Pörssisähkön hintahistoria.
<http://www.nordicgreen.fi/tule-asiakkaaksi/hintahistoria/>. 24.4.2016.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2015. <http://www.pks.fi/yritysesittely>. 21.10.2015 .
- Pohjois-Karjalan Sähkö Oy. 2015. PKS Live -palveluun asettamasi Spot-hintaraja ylittyi. timo.nykanen@hotmail.fi. 4.8.2015.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2016a. PKS Sähkönsiirto Oy:n jakelualuekartta.
<http://www.pks.fi/jakelualuekartta>. 9.4.2016.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2016b. Sähkötarjoukset kotiin.
<http://www.pks.fi/sahkotarjoukset-kotiin>. 24.4.2016.
- Pohjois-Karjalan Sähkö. 2016c. Sähköverkkopalvelun hinnasto.
<http://www.pks.fi/pkss-hinnastot>. 24.4.2016.
- Puro, V.-M. 2016a. Aurinkosähköä Suomeen. Kuinka hankin oman aurinkosähkövoimalan. Aurinkopaneelit.
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/aurinkopaneelit/>. 11.3.2016.
- Puro, V.-M. 2016b. Aurinkosähköä Suomeen. Kuinka hankin oman aurinkosähkövoimalan. Verkkoinvertteri.
<http://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkosahkovoimala/verkkoinvertteri/>. 6.4.2016.
- Reka Kaapeli Oy. 2016a. MMJ Asennuskaapeli.
<http://www.reka.fi/asennuskaapelit/vakioasennuskaapelit/mmj-asennuskaapeli>. 24.4.2016.
- Reka Kaapeli Oy. 2016b. Voimakaapelit.
<http://www.reka.fi/voimakaapelit/kuparivoimakaapelit/mcmk-f2>. 24.4.2016.
- Rexel Finland Oy. 2016. Rexel aurinkosähköjärjestelmät. Helpot aurinkosähköratkaisut kiinteistöihin. <http://www.rexel.fi/globalassets/palvelut/rexel-aurinkoenergia-low.pdf>. 24.4.2016.
- Solarworld. 2016. Sunmodule plus.
http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads_new/produkt/sunmodule/datenblaetter/en/poly/poly_250-260_en.pdf. 12.3.2016.
- Suntekno Oy. 2010. Tietopankki. Ladattavat tiedostot. Aurinkopaneelin toimintaperiaate.
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>. 11.3.2016.
- Transfer Multisort Elektronik. 2016. Electronic Components. SOLARFLEX®-X PV1-F yksijohdinkaapelit, aurinkokennojärjestelmiä varten.
http://www.tme.eu/fi/pages/New_Product:solarflex_-x-pv1-f-yksijohdinkaapelit_-aurinkokennojarjestelmia-varten.html. 24.4.2016.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016. Energiatuki. Tuen määrä.
https://www.tem.fi/energia/energiatuki/tuen_maara. 11.3.2016.
- Valtion ympäristöhallinto. 2016. Kattojen peruslumikuorma.
<http://www.i2.ymparisto.fi/i2/kattolumikuorma.html>. 7.4.2016.
- Verohallinto. 2016. Kotitalousvähennys.
<http://www.vero.fi/fi-FI/Henkiloasiakkaat/Kotitalousvahennys>. 11.3.2016.
- Väre, V. 2015. Sähköverkkoon liitetty pientuotanto - Viraston kysely. Energiavirasto. <http://www.slideshare.net/FinSolar/shkn-pientuotanto-2015-energiaviraston-kysely>. 8.3.2016.

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

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

1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy 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 irtikytketymisajat

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

3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

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

4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkävä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

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

5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. 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 irtikytketymsajat*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					

Kysely aurinkosähkötuottajien tyytyväisyydestä järjestelmäänsä

1. Aurinkovoimalaan kytkettyjen paneelien teho kW?

- 1- 3 kW
- 3 – 4,5 kW
- 4,5 - 7kW
- yli 7 kW

2. Kuinka paljon taloutenne käytti aurinkosähköä omaan kulutukseen vuonna 2015?

- 0- 1 000 kWh
- 1 000- 2 000 kWh
- 2 000 - 3 000 kWh
- 3 000 -
4 000kWh
- 4 000-5 000kWh
- yli 5000 kWh

3. Kuinka paljon sähköä ostate taloutenne sähkön myyjältä vuodessa?

- 0- 5 000 kWh
- 5 000 - 10 000 kWh
- 10 000 - 20 000 kWh
- yli 20 000 kWh

4. Kuinka suuri on oman aurinkosähkölaitteistonne tuotannon määrä vuositasolla?

- 0- 1 000 kWh
- 1 000 - 2 000 kWh

- 2 000 - 3 000 kWh
- 3 000–
4 000kWh
- 4 000 – 5
000kWh
- yli 5000 kWh

5. Mikä tai mitkä seikat olivat kaikkein ratkaisevimpia siihen, että päätitte hankkia aurinkosähköjärjestelmän?

- Säästö energiakustannuksissa
- Lisäsäästöjen saaminen ylijäämäsähköä myymällä
- Ratkaisun ympäristöystävällisyys
- Uteliaisuus ja kokeilunhalu
- Aurinkosähkön hyvä imago
- Uusi tekniikka kiinnostaa minua aina
- Tuttavan saamat hyvät kokemukset

6. Onko talouteenne ostettava sähkö ns. Vihreää sähköä eli tuotettu uusiutuvilla energiamuodoilla?

- kyllä
- ei ole

7. Jos ei ole, niin miksi?

8. Kuinka tyytyväinen olette aurinkojärjestelmäänne kokonaisuutena?

- Erittäin tyytyväinen

- Jokseenkin tyytyväinen
- Jokseenkin tyytymätön
- Erittäin tyytymätön

9. Perusteluja edelliseen vastaukseenne? Millaisia ongelmia on ollut tai mitkä ovat olleet parhaat kokemukset?

10. Millaisia kehittämissajatuksia teille on syntynyt aurinkojärjestelmäänne liittyen?

11. Millaisia palveluja toivoisitte sähköyhtiöltänne aurinkosähkön tuottamiseen liittyen?
