

# **Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenteen kartoittaminen**

Henri Karhama

Opinnäytetyö

Toukokuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Karhama, Henri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
		Julkaisun kieli Suomi
	Sivumäärä 46	Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenteen kartoittaminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän Ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Aurinkoenergiajärjestelmien hinta on viimeisen vuosikymmenen ajan ollut laskussa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu halusi selvittää osana SÄRMÄ-hanketta aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenteen ja sen muodostumiseen vaikuttavat tekijät. SÄRMÄ, Sähkön mikrotuotannon ja älyverkkojen toimintaympäristö, -hankkeella pyritään laajentamaan liiketoimintamahdollisuuksia ja uusia toimintamalleja sähkön mikrotuotannon ympärillä. Tavoitteena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmien nykyaikainen kustannusrakenne ja löytää kustannusrakenteesta kulut, joihin vaikuttamalla saadaan järjestelmäinvestointeja kannattavammiksi. Lisäksi haluttiin tarkastella aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikaa ja kannattavuutta vallitsevilla markkinoilla.</p> <p>Kustannusrakenteen muodostumista tarkasteltiin Suomessa toteutuneiden aurinkosähköhankkeiden pohjalta ja tarkastelua varten kerättiin tutkimusaineistoa aurinkosähköjärjestelmätoimittajilta. Tutkimusaineisto esitettiin graafisesti ja siitä tarkasteltiin erityisesti järjestelmän nimellistehon vaikutusta kustannusrakenteeseen. Aineisto koostui kuudesta eri kokoisesta aurinkosähköjärjestelmästä, jotka oli rakennettu vuosina 2015-2017.</p> <p>Aineiston pohjalta voitiin todeta nimellisteholla olevan kohtuullinen vaikutus kustannusten kohdistumiseen järjestelmän eri komponenttien ja asennustyön välillä. Suurin vaihteluväli esiintyi verkkoinvertterin ja kiinnitystarvikkeiden osuudessa kokonaiskustannuksista. Tarkastellessa kohteiden kannattavuutta saatiin lopputuloksesi, että suuren kokoluokan aurinkoenergiajärjestelmä on kannattavampi investointi, kuin omakotitaloon asennettava järjestelmä. Uuden aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne on kerätyn aineiston pohjalta helposti pääteltävissä koosta riippumatta.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) aurinkopaneelit, uusiutuvat energialähteet		
Muut tiedot		

Author(s) Karhama, Henri	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 46	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Cost analysis of photovoltaic power systems</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka Hytönen, Vesa		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences		
Abstract <p>The price of solar energy systems has been falling for the last decade. JAMK University of Applied Sciences wanted to study the cost structure of photovoltaic systems and the factors affecting its formation as a part of the SÄRMÄ project. The SÄRMÄ project aims to expand business opportunities and new operating models associated to electricity production with solar energy. The goal was to determine the modern cost structure of photovoltaic systems and to identify the costs that can be reduced to make system investments more profitable. In addition, the payback period and profitability of a photovoltaic system in the prevailing market was studied.</p> <p>The formation of the cost structure was examined based on actual solar photovoltaic projects carried out in Finland and data was collected from photovoltaic systems suppliers. The data was presented graphically and examined focusing on the impact a systems nominal power has on the cost structure. The material consisted of six different photovoltaic systems built between 2015 and 2017.</p> <p>Based on the material it can be stated that the system's nominal power had a reasonable impact on the cost allocation between the different components of the system and the installation work. The most noticeable impact was seen in the network inverters' and the panel fasteners' share of the total cost. When looking at the profitability of the systems the conclusion was that a large-scale photovoltaic system is a more profitable investment than a one-family house system. The cost structure of a new photovoltaic system can be approximated based on the collected material regardless of the system size.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) solar panels, renewable energy sources		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	5
1.2	Tavoite .....	5
1.3	Rajaus .....	6
1.4	Toteutus ja tutkimusaineisto.....	7
<b>2</b>	<b>Aurinkoenergian perusteet .....</b>	<b>7</b>
2.1	Auringon säteily.....	7
2.2	Aurinkolämpö .....	8
2.3	Aurinkosähkö.....	9
2.4	Poliittiset tavoitteet.....	11
<b>3</b>	<b>Aurinkokennot .....</b>	<b>11</b>
3.1	Piikennot.....	12
3.1.1	Yksikiteinen (m-Si) .....	12
3.1.2	Monikiteinen (s-Si).....	13
3.2	Toisen sukupolven ohutkalvokennot .....	13
3.3	Kolmannen sukupolven kennot.....	13
3.4	Kiinnitystekniikat .....	14
3.4.1	Kattoasennus .....	14
3.4.2	Maa-asennus .....	15
3.4.3	Seinäasennus .....	15
<b>4</b>	<b>Aurinkosähköjärjestelmät.....</b>	<b>15</b>
4.1	Käyttökohteet.....	16
4.1.1	Aurinkosähköjärjestelmä sähköverkon piirissä .....	17
4.1.2	Sähköverkon ulkopuolinen kytkentä .....	17
4.1.3	Aurinkopaneeleiden suorakytkentä .....	17
4.2	Kotimaa.....	18

	2
4.3 Eurooppa .....	19
<b>5 Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne.....</b>	<b>19</b>
5.1 Aikakehitys .....	20
5.2 Vaikuttavat tekijät .....	21
<b>6 Suomessa toteuneita aurinkosähköhankkeita vuosina 2015-2016 .....</b>	<b>23</b>
6.1 Asuinrakennus 4,25 kWp.....	24
6.2 Pienliiketilä 7,42 kWp .....	24
6.3 Majoitusrakennus 51,5 kWp .....	25
6.4 Sähköasema 340 kWp .....	26
6.5 Liikerakennus 400 kWp .....	26
6.6 Aurinkovoimala 850 kWp .....	27
6.7 Yhteenveto ja tulokset .....	28
<b>7 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustarkastelu .....</b>	<b>32</b>
7.1 Tarkastelun kohde .....	32
7.2 Aurinkosähköpotentiaali .....	33
7.3 Tulokset .....	34
<b>8 Pohdinta.....</b>	<b>34</b>
8.1 Työn suoritus .....	34
8.2 Tuloksien arviointi .....	35
8.3 Jatkoselvitettävää.....	35
8.4 Lopuksi.....	36
<b>Lähteet .....</b>	<b>37</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>39</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintakaavio (Aurinkolämpö n.d.) .....	9
Kuvio 2. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Photovoltaic Energy Factsheet 2017) ..	10
Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän kaaviokuva (Aurinkosähkö yritykselle n.d.) .....	10
Kuvio 4. Asennettujen aurinkopaneelien kokonaisteho vuosina 2002-2016 (Snapshot of global photovoltaic markets 2017) .....	12
Kuvio 5. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva (Asentajan käsikirja n.d.).....	16
Kuvio 6. Aurinkopaneelin hyödyntäminen pienitehoisessa valaistuksessa (Aurinkolämpö n.d.) .....	18
Kuvio 7. Aurinkoenergian tuotanto Suomessa vuosina 2010-2017 (Energiateollisuus ry & VTT 2018).....	19
Kuvio 8. Aurinkopaneelien hintakehitys Euroopassa 2010-2017 (Solar Photovoltaic (PV) Market, Update 2017 2018) .....	20
Kuvio 9. Aurinkosähköjärjestelmien hyötysuhde ajan funktiona paneeliteknologia kohtaisesti (Amos n.d.).....	22
Kuvio 10. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne .....	24
Kuvio 11. Pienliiketilän aurinkosähköjärjestelmän kustannustakenne .....	25
Kuvio 12. Majoitusrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne .....	25
Kuvio 13. Sähköaseman aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne.....	26
Kuvio 14. Liikerakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne .....	27
Kuvio 15. Energialaitoksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne .....	27
Kuvio 16. Esimerkkikohteiden kustannusrakenteiden vertailu .....	28
Kuvio 17. Esimerkkikohteiden yhtenäistetyt kustannusrakenteet .....	29
Kuvio 18. Omakotitalon €/Wp lukemiin normalisoitu kustannuskehitys .....	30
Kuvio 19. Omakotitalon €/Wp lukemiin normalisoitu kustannuskehitys pois lukien tarvikekustannukset .....	31
Kuvio 20. Kohteiden kustannusrakenteiden keskiarvo .....	31

**Taulukot**

Taulukko 1. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset avaimet käteen - asennushinnat Suomessa vuonna 2016 (Ahola & Auvinen 2017b) .....	21
Taulukko 2. Tutkimusaineiston avainluvut.....	23
Taulukko 3. Kohteiden kustannukset tehoyksikköä kohden.....	29
Taulukko 4. Kuukausikohtainen energiantuoton tarkastelu.....	33

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Aurinkosähkön hyödyntäminen on kannattavaa nykYTEknologialla pohjoisemmissakin maissa, kuten esimerkiksi Suomessa. AurinkosähkÖjärjestelmiä toteutetaan aktiivisesti uudiskohteisiin sekä jo olemassa oleviin kiinteistöihin. Aurinkopaneelitekniologian kehittyessä järjestelmien kysyntä ja hyödyntäminen kannustavat rakennuttajia niin yritys- kuin kuluttajatasolla investoimaan uusiutuvaan energiaan aurinkoenergian muodossa. Näiden investointien kannalta on tärkeää hahmottaa aurinkopaneelijärjestelmän kustannuksien muodostuminen ja kehitys.

AurinkosähkÖjärjestelmän kustannusarvion paikkaansapitävyys on olennaista investoinnin kannattavuuden tarkastelussa. Vastuullinen energiankulutus ajaa kuluttajia yhä enemmän eri energiamuotoihin kuten aurinkosähkÖön ja uusiutuvan energian lisääntyminen maailmanlaajuisesti on ajanut kustannuksia alas ja lähemmäs perinteisempiä energiamuotoja. Euroopan unionin asettamat tavoitteet jäsenmailleen kannustavat valtioita tukemaan uusia investointeja. Euroopan Unionin energiastrategia pyrkii kattamaan 20% energiankulutuksesta uusiutuville energiamuodoilla vuoteen 2020 mennessä. (Uusiutuva energia Suomessa 2018.)

Jyväskylän Ammattikorkeakoulun SÄRMÄ –hanke pyrkii kartoittamaan tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia uusiutuvan energian ja sähkönmikrotuotannon aloilta. Osana hanketta haluttiin selvittää aurinkosähkÖjärjestelmien kustannusrakenteen muodostumista sekä siihen vaikuttavia tekijöitä. (Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittaman hankkeen kuvaus n.d.) Kehittyvillä aurinkosähkÖmarkkinoilla on vaikeaa ennustaa tulevaisuuden hintanäkymiä. Toteutuneilla hintatiedoilla voidaan kuitenkin tarkastella viime vuosien hintakehitystä ja pyrkiä analysoimaan, kuinka kustannusrakenne on muuttunut markkinoiden kehittyessä.

## 1.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa aurinkopaneelijärjestelmien kustannusrakenne. Opinnäytetyössä käsitellään tyypillisimmät tavat toteuttaa aurinkopaneelijär-

jestelmä ja avataan teknologian kehitystä aihealueen ympärillä. Työllä pyritään selvittämään sekä aurinkopaneelijärjestelmien kustannuksien kehitystä viime vuosikymmeninä, että tulevaisuuden kehityksen suuntaa. Työn tuloksilla selvitetään lähtökohdat ymmärtää aurinkopaneelijärjestelmän kustannuksien vaikutus hankkeen kannattavuuteen ja esimerkkejä tilanteista, joissa järjestelmää voidaan hyödyntää tehokkaasti.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää tyypillinen kustannusrakenne aurinkopaneelijärjestelmälle. Lisäksi tavoitteena on löytää tapoja kehittää kustannusrakennetta ja välttää turhia kuluja hankkeen suunnittelun jälkeisissä vaiheissa.

Opinnäytetyö käsittelee aurinkoenergiasta tuotettua sähköä esimerkkikohteiden omilla laitteistoilla ja sähköenergian hyödyntämistä osana omaa ja paikallista sähkönkulutusta. Työ ei käsittele lämpöenergian tuottamista tarkemmin tai sen käyttämistä osana kiinteistön omaa lämpöverkkoa.

Esimerkkikohteet pyritään erittelemään kustannusrakenteen mukaan kolmeen kategoriaan: omakotitaloihin, kerrostaloihin sekä suurempiin yritysratkaisuihin. Esimerkkikohteiden tulisi olla selvästi jaettavissa kustannusrakenteen perusteella näihin luokkiin ilman erillistä mainintaa. Aurinkosähköhankkeiden kulujen prosentuaalinen jakautuminen ei oletettavasti pysy vakiona minkään yksittäisen parametrin kuten aurinkopaneelien pinta-alan tai maksimitehon mukaan.

### 1.3 Rajaus

Opinnäytetyössä käsiteltiin tyypillisimmät tavat toteuttaa aurinkopaneelijärjestelmä ja avattiin teknologian kehitystä aihealueen ympärillä. Opinnäytetyön aihe rajattiin käsittelemään vain järjestelmiä, joissa hyödynnetään aurinkoenergiasta muodostettua sähköä. Aurinkolämpö- ja hybridijärjestelmät jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Tavoitteena ei ollut löytää aurinkoenergian optimaalista käyttötappaa tai löytää sille kustannustehokkaampaa vaihtoehtoa, jota voitaisiin hyödyntää älykkäissä sähköverkko ympäristöissä. Aurinkosähköjärjestelmien ajallisesta optimoinnista suoritettiin erillinen opinnäytetyön osana SÄRMÄ -hanketta.

## 1.4 Toteutus ja tutkimusaineisto

Opinnäytetyö on kvantitatiivinen tutkimus, koska se tarkastelee kuuden eri kohteen kustannusrakenteen muodostumisen avulla korrelaatiota tutkimusaineistossa esiintyvissä numeerisissa arvoissa (Vilkkä 2007, 14). Työn tavoitteena oli kartoittaa kustannusrakenteen muodostuminen erilaisissa kohteissa. Tutkimuskysymykseksi asetettiin, mikä on tyypillinen kustannusrakenne Suomesta ostettavalla aurinkosähköjärjestelmälle ja onko järjestelmän nimellisteholla merkittävää vaikutusta kustannusten jakautumiseen. Lopputuloksiksi haettiin kvantitatiivisia vastauksia kustannusrakenteen luonteesta ja luvullisista tunnusmerkeistä.

Tutkimusaineistoa kerättiin tiedustelemalla aurinkosähköjärjestelmien toimittajilta heidän toteutuneiden hankkeiden kustannuksia. Tarkasteluun pyrittiin saamaan otanta useasta järjestelmäkokoluokasta, joiden kustannusrakennetta on eritelty tarkemmin kuin pelkän kokonaiskustannuksen kautta. Kerätystä aineistosta poimittiin avainlukuja ja piirteitä, jotka suoritettuna taustatutkimuksen perusteella osoittautuivat oleellisiksi aineiston merkittävyyden kannalta. Aineisto visualisoiitiin selkeään muotoon kuvioiden ja kaavioiden avulla, jotta oleelliset kustannusrakenteen muutokset saatiin esille tutkimusaineistosta.

## 2 Aurinkoenergian perusteet

### 2.1 Auringon säteily

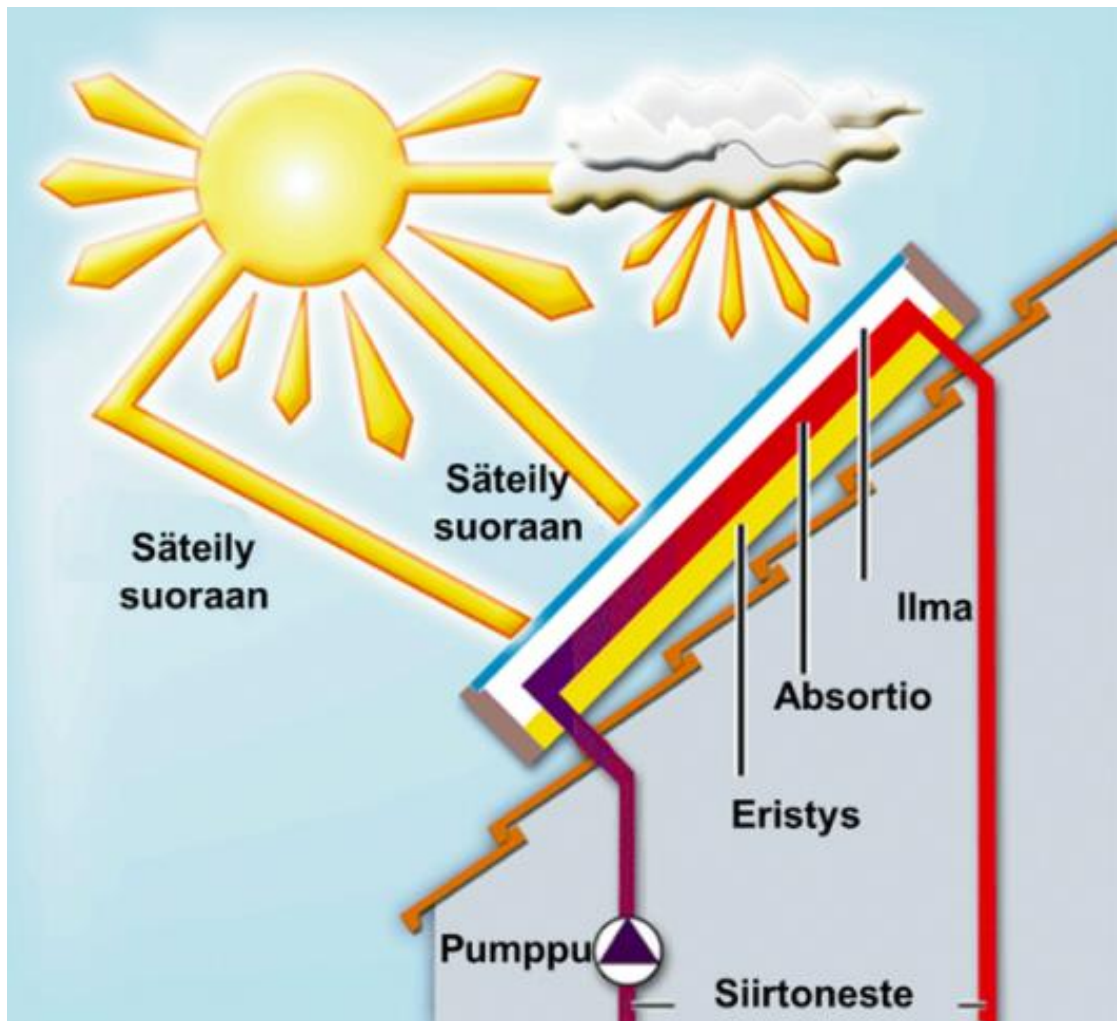
Auringon vapauttaman energian kokonaisteho on noin  $3,8 \times 10^{17}$  terawattia. Maapallon pinnalle osuu auringon säteilytehoa noin 170 000 terawattia. Säteilyn teho laskee matkalla maahan eniten ilmakehässämme, jolloin kokonaistehosta suodattuu ja heijastuu 30-40%. Näistä luvuista saadaan laskettua, että ilmakehän vaikutuksen jälkeen maapallon pinnalla neliömetrin alueelle osuvan auringon säteilyn teho on keskimäärin 1 kilowatti ilman pilvien vaikutusta. Vaihteluväli on kuitenkin suuri: lähellä päiväntasaajaa Jemenissä on säteilyteho jopa 2,7 kW, kun taas Islannin pääkaupungissa Reykjavikissa jäädään vain 800 wattiin. Ilmakehän läpi kulkeva säteily voidaan jakaa kolmeen ryhmään: suora auringonsäteily, hajasäteily ja ilmakehän vastasäteily. Suora auringonsäteily on suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä. Hajasäteily on ilmakehän

molekyyleistä ja maasta heijastunutta säteilyä. Vastasäteily on lähinnä otsonikerroksen ja hiilidioksidin takaisin heijastamaa lämpösäteilyä. Pilvisenä päivänä Suomessa 80% valosta voi olla hajasäteilyä ja kirkkaana kesäpäivänä sen osuus on 20% vaakasuoralla pinnalla. Suomessa keskimäärin puolet auringonsäteilystä on hajasäteilyä. Tekninen potentiaali aurinkoenergialle on 438 000 terawattituntia vuodessa (Tahkokorpi 2016, 12-14). Vuonna 2016 koko maailman energiankulutus oli 156 307 terawattituntia (World Consumption Statistics n.d.).

## 2.2 Aurinkolämpö

Auringon säteilystä suuri osa on lämpöenergiaa. Aurinkolämmön hyödyntämisellä on pitkä historia. Ensimmäisiä dokumentoituja tapauksia aurinkolämmön tietoisesta hyödyntämisestä on jo 4000 ennen ajanlaskumme alkua Aasiassa. Varsinainen aurinkolämmön hyödyntäminen alkoi kehittyä teollistumisen alkuvaiheilla 1700-1800-luvuilla, jolloin Kaliforniassa syntyivät ensimmäiset markkinat käyttöveden aurinkolämmittimille. (Tahkokorpi 2016, 77.)

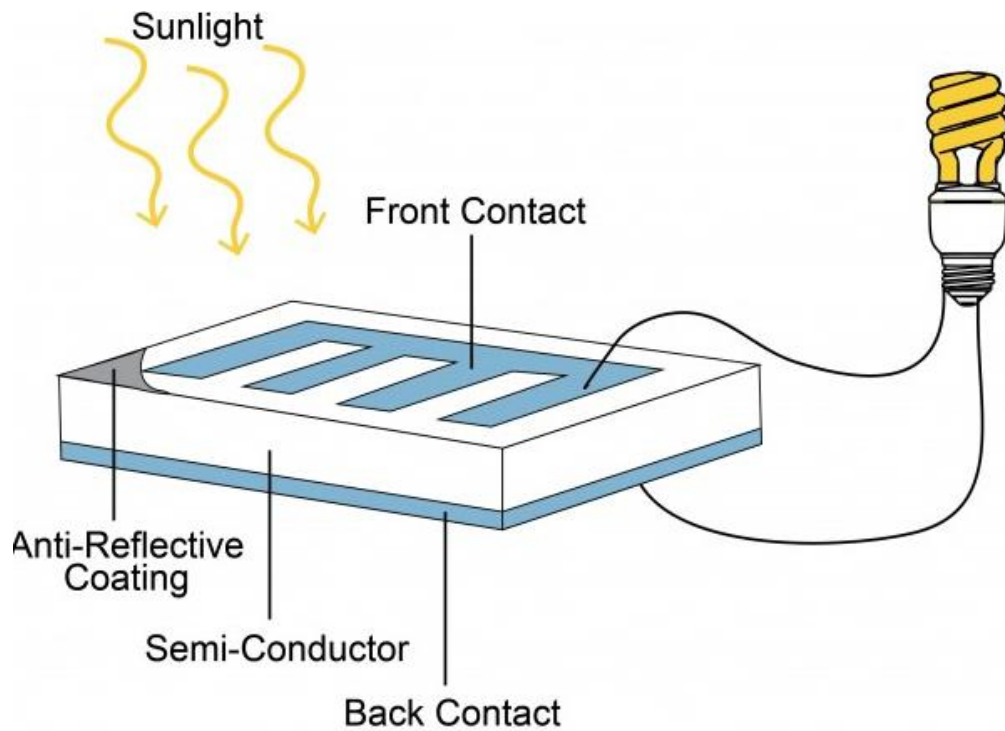
Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat yleisimmin kolmesta pääkohteesta: keruulaitteistosta, lämpövarastosta ja lämmön kulutuksesta. Yleisin tapa aktiiviseen aurinkolämmön keräämiseen on nestekiertoinen tasokeräin, kuten kuviossa 1 on esitetty. Aurinkosäteily lämmittää mustaa levyä, joka on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella ja katettu lasilla. Levyn sisällä kiertää vesi-glykoliseos, joka kiertää lämmönkeräimiltä lämpövaraston lämmönsiirtimille. Esimerkiksi omakotitalokäytössä voidaan olettaa, että 5-8 neliömetrin keräinpinta-ala kattaa noin puolet vuotuisesta lämpimän veden käytöstä. (VTT Prosessit 2004, 269.)



Kuvio 1. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintakaavio (Aurinkolämpö n.d.)

### 2.3 Aurinkosähkö

Auringon säteilyn energiaa voidaan muuttaa sähköksi aurinkokennojen avulla. Toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Kuviossa 2 havainnollistetaan aurinkokennon toimintaperiaatetta. Valon sisältämä energia on fotonien liike-energiaa, joka riippuu aallon aallonpituudesta. Kääntäen verrannollisesti pienempi aallonpituus lisää fotonin varastoitunutta energiamäärää. Korkeaenergisien fotonien osuessa atomiin se absorboituu ja luo atomiin elektroni-aukko parin. Tätä prosessia kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Aurinkokennoissa käytettävät puolijohdemateriaalit varmistavat, että fotonien vapauttamien elektronit eivät palaa välittömästi alkuperäiselle paikalleen vaan synnyttävät sähkövirran kulkiessaan kohti positiivisesti varautunutta kennon p-puolta. (Jones 2017.)



Kuvio 2. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Photovoltaic Energy Factsheet 2017)

Aurinkopaneelit voidaan kytkeä kulutuskohteeseen tai tuotettua energia voidaan varastoida akustoihin myöhempää käyttöä varten. Yleisimmät aurinkopaneelit ovat piikidekennoja. Aurinkoenergian vahvuuksia ovat muunmuassa skaalattavuus ja erilaiset investointismallit kuten leasing- ja PPA-mallit. (Tahkokorpi 2016, 131.) Suomessa oli vuonna 2015 Energiaviraston teettämän kyselyn mukaan noin kahdeksan megawattia aurinkosähköä liitettynä sähköverkkoon.



Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän kaaviokuva (Aurinkosähkö yritykselle n.d.)

## 2.4 Poliittiset tavoitteet

Euroopan unionin toimesta Suomelle asetettiin tavoitteeksi vuoteen 2020 mennessä tuottaa 38% sähkön loppukulutuksestaan uusiutuvalla energialla. Suomi saavutti tavoitteen jo vuonna 2014. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia päivitettiin vuonna 2016 ja siinä linjataan toimia, joilla Suomi pyrkii kattamaan 50% sähkön loppukulutuksestaan uusiutuvalla energialla. (Uusiutuva energia Suomessa 2018.)

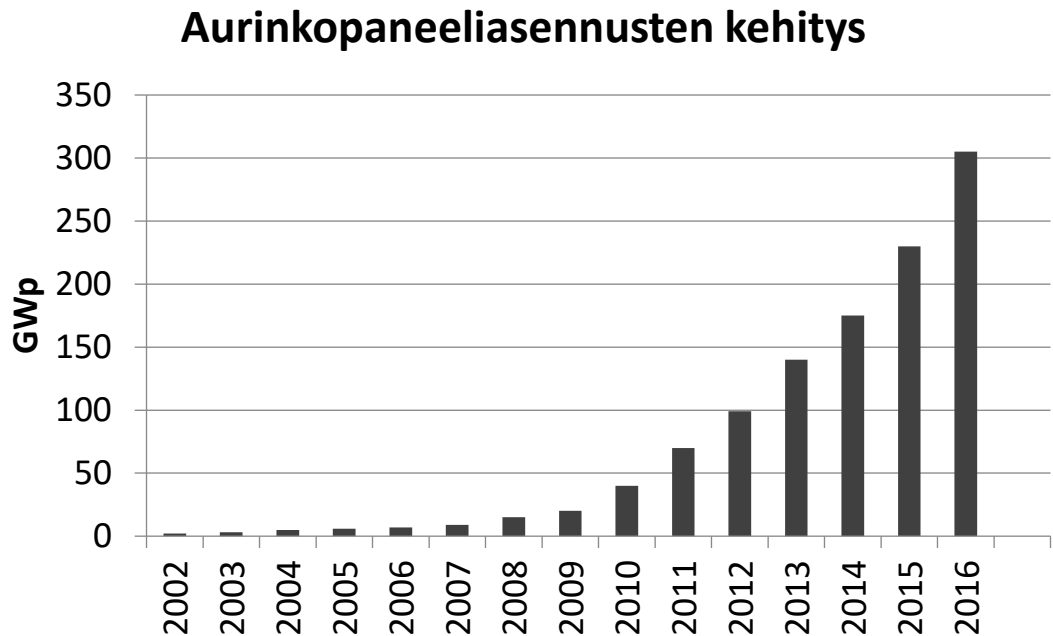
Suomessa on säädetty lakeja uusiutuvan energian tuotannon kannustamiseksi. Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta tarkoituksena on ”edistää sähkön tuottamista uusiutuvilla energialähteillä ja näiden energialähteiden kilpailukykyä sekä monipuolistaa sähkön tuotantoa ja parantaa omavaraisuutta sähkön tuotannossa.” Laissa säädetään uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tuotantotuesta. Aurinkosähkö ei toistaiseksi kuulu tämän lain soveltamisalaan. (L 30.12.2010/1396, 1-2 §.)

## 3 Aurinkokennot

Yhdysvaltalainen Charles Fritts rakensi ensimmäisen toiminnallisen aurinkokennon 1883. Frittsin aurinkokenno oli valmistettu seleenistä, eikä hyötysuhteeltaan mitenkään nykyisiä kennoja vastaava. (Meyers, G 2014.) Vuoteen 1960 mennessä ymmärrettiin puolijohdekennojen perusteoria ja ensimmäisten piistä valmistettujen aurinkokennojen hyötysyhteeksi saatiin 6%. (This Month in Physics History 2009.) Nykyteknologialla ideaaliolosuhteissa aurinkopaneelien hyötysuhteet ylittävät 30%. Kaupallisessa käytössä olevien aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 20% ja niitä voidaan integroida rakennuselementteihin ja heikommalla hyötysuhteella myös ikkunoihin. (Tahkokorpi 2016, 135.)

Aurinkokennojen asennuskapasiteetti on satakertaistunut vuosien 2001-2015 välillä. Vuoden 2015 lopussa maapallolla oli asennettuna 227 gigawattia aurinkopaneeleja. Jo 2016 loppuun mennessä oltiin ylitetty 300 gigawattia. (Snapshot of global photovoltaic markets. n.d.) Valtava kasvu ajaa jatkuvasti aurinkosähköjärjestelmien hintoja alas ja kiihdyttää investointien määrää. (Tahkokorpi 2016, 135.) Kyseinen ilmiö

havainnollistuu kuviossa 4 aurinkopaneelien määrän lisääntymisestä erityisesti vuosien 2009-2016 välillä.



Kuvio 4. Asennettujen aurinkopaneelien kokonaisteho vuosina 2002-2016 (Snapshot of global photovoltaic markets 2017)

### 3.1 Piikennot

Piikennot ovat yleisin aurinkokennotyyppi maailmassa. Ne jakautuvat yksi- ja monikiteisiin kennoihin, joista nykyisillä markkinoilla monikiteinen on vallitseva kennotyyppi. Kennot valmistetaan puhdistamalla hiekasta luonnossa esiintyvää piikidettä. Piikennon valmistaminen vaatii kaivostoimintaa piikiteen hankkimiseksi ja sen puhdistaminen on kallista. Piikentöiden valmistuksessa joudutaan materiaalia leikkaamaan sopivan muotoiseksi, jonka vuoksi valmistusprosessissa esiintyy paljon materiaalihävikkiä. (Labouret 2010, 55-81.)

#### 3.1.1 Yksikiteinen (m-Si)

Yksikiteisessä piikennossa piikiteet muodostetaan nostamalla ne sulasta piistä muodostaen pitkän tangon. Nostetusta tangosta leikataan ohuita noin 200 mikrometriä

paksuja ja 200 millimetriä halkaisijaltaan olevia kiekkoja. Leikatessa tankoa syntyy huomattavaa materiaalihukkaa juuri muodostetulle raaka-aineelle.

Yksikiteisten piikkenojen valmistusprosessi on hidas ja kallis sekä energiaintensiivinen. Tämä nostaa kennojen hintaa, mutta toisaalta se myös parantaa valmiin kennon hyötysuhdetta ja toimintavarmuutta. (Labouret 2010, 55-57.)

### 3.1.2 Monikiteinen (s-Si)

Monikiteisessä piikennossa on pieniä erillisiä kiteitä. Kidekuvion erottaa paljaalla silmällä kennon pinnalla. Monikiteistä piitä valmistetaan myös yksikiteisen kennon valmistuksessa syntyneestä hukkamateriaalista. Kide sulatetaan ja jäähdytetään hiljalleen, jolloin muodostuvista kiteistä tulee mahdollisimman isokokoisia. Tämä vaikuttaa suoraan kennon hyötysuhteeseen. Kun koko kideharkko on kiteytynyt, leikataan siitä kennoihin sopivia levyjä. Kiteiden sattumanvaraisuus huonontaa käyttövarmuutta ja hyötysuhdetta mutta on huomattavasti halvempi valmistaa. (Labouret 2010, 57.)

## 3.2 Toisen sukupolven ohutkalvokennot

Ohutkalvokennojen valmistuksessa pyritään minimoimaan materiaalihukka kiderakennetta muodostaessa. Samalla pystytään muodostamaan kiderakenne muistakin alkuaineista kuin piistä. Ohutkalvokennot ovat vain muutaman mikrometrin paksuisia ja ne soveltuvat käyttökohteisiin joissa valoa halutaan päästää kennosta läpi tai jo olemassa olevaa materiaali päällystetään osaksi aurinkosähköjärjestelmää.

Hyötysuhteeltaan ohutkalvokennot jäävät noin kymmeneen prosenttiin, mutta niissä on potentiaalia kehittyä yhä tehokkaammaksi kennomuodoksi. (Labouret 2010, 81.)

## 3.3 Kolmannen sukupolven kennot

Aurinkopaneelien kolmas sukupolvi pyrkii yhä kehittämään kahden edeltävän sukupolven puutteita ja laskemaan valmistuskustannuksia entisestään. Kolmannen sukupolven kennoteknologia ei ole vielä kaupallisissa sovelluksissa käyttökelpoinen, mutta jo nykyisellä kehitysasteella se osoittaa lupaavia tuloksia.

Kolmannen sukupolven kennotekniikoiden aurinkopaneelit ovat perovskiitti, väriaineherkistettyjä, orgaanisia tai nanoteknologisia ratkaisuja. Uusien kennoteknologioiden tutkimus on kiihtynyt viime vuosien aikana ja väriaineherkistettyjen ja perovskiitti-kennojen elinkaari on saatu kehitettyä jo useisiin vuosiin. Mikäli kehitys jatkuu yhtä lupaavana, on kolmannen sukupolven kennoteknologioita odotettavissa kuluttajamarkkinoille jo muutaman vuoden kuluessa. (Tiihonen 2017.)

### 3.4 Kiinnitystekniikat

Aurinkopaneelien kiinnitys tapahtuu pääsääntöisesti asentamalla aurinkopaneeleille teline haluttuun paikkaan, useimmiten rakennuksen katolle. Teline on joko yksi- tai kaksikerros alumiiniprofiili, jonka päälle paneelit kiristetään paikoilleen. Telineiden kiinnitys riippuu kattotyypistä ja asennuspaikasta. Jälkimmäisestä esimerkkinä tapaukset, joissa paneelit eivät sijaitse rakennuksen katolla. Aurinkopaneelien asennuksessa kattopinta-alalle pyritään välttämään kattomateriaaliin tehtäviä reikiä. (Käpylehto 2016, 160-163.)

Kiinnityksen on oltava ammattimainen ja tukeva sillä järjestelmän tulisi pysyä huoltovapaana vähintään 20 vuotta, jotta siitä saadaan haluttu taloudellinen hyöty. Lisäksi kiinnitysten tulee olla turvallisia ja luotettavia, jottei niistä aiheudu vaaraa ympäristölle tai ihmisille. (Asentajan käsikirja n.d.)

#### 3.4.1 Kattoasennus

Aurinkopaneelit voidaan asentaa mille tahansa katolle. Erilaisia kiinnitystapoja on kymmeniä ja useimmille kattotyypeille aurinkojärjestelmätoimittajilla valmiit kiinnikkeet. Esimerkiksi konesaumattuun peltikattoon voidaan vaivattomasti kiinnittää valmiit telinekiinnikkeet ilman tarvetta kattomateriaalin puhkomiselle. Tilanteissa, joissa kattoon ei rakenteellisista syistä voida tehdä reikiä tai kiinnittää paneeleja, on mahdollista asentaa paneelit tasakatolle tai todella loivalle kattopinnalle riittävän painaville telineille, joilla paneelit pysyvät myrskytuulellakin paikallaan. Kattoasennuksessa järjestelmää ei vaikean kulun takia yleensä tarvitse suojata ilkeiltä. (Kiinnitysteline n.d.)

Kattoasennuksen haittapuolina on lisääntynyt painokuorma kattorakenteelle ja erityisen kaltevilla kattopinnoilla asennuksen haasteellisuus lisää aiheutuvia työkustannuksia. (Aurinkopaneeli n.d)

### 3.4.2 Maa-asennus

Asennettaessa aurinkopaneelit maan tasalle on asennus nopeampaa ja halvempaa eikä asennuksessa tarvitse huomioida rakennusteknisiä haasteita. Maa-asennus mahdollistaa vaivattoman huollon ja paneeleita voidaan puhdistaa ilman turvavaljaita tai muita erikoisvarusteita. Maa-asennus on yleisin asennustapa erityisen isoissa aurinkovoimaloissa, joissa huollettavuuden on säilyttävä hyvänä vuodenaajasta riippumatta. (Aurinkopaneeli n.d)

Maa-asennuksen haasteina ovat alueen suojaaminen luvattomalta kululta ja ilkeillä. Lisäksi tulee ottaa huomioon pinnanmuodot sekä mahdolliset varjostumat ympäristöstä. Myös roudan vaikutus maapohjaan tulee huomioida alueilla, joilla maa jäätyy talven aikana. Pysyvästi maan tasalle asennetut aurinkopaneelit vaativat useimmiten betonielementti perustukset, jotta paneeliasennus säilyy halutussa asennuskulmassa. (Aurinkopaneeli n.d)

### 3.4.3 Seinäasennus

Aurinkopaneeleita on mahdollista kiinnittää pystysuorasti seinään mutta se vaatii usein kiinnikkeiden poraamista seinämateriaaliin. Toisaalta asennus on usein nopeampaa kuin kattoasennus, sillä jokainen kiinnike on identtinen toistensa kanssa eikä paneelien väliin tarvitse jättää tilaa huoltotöitä varten.

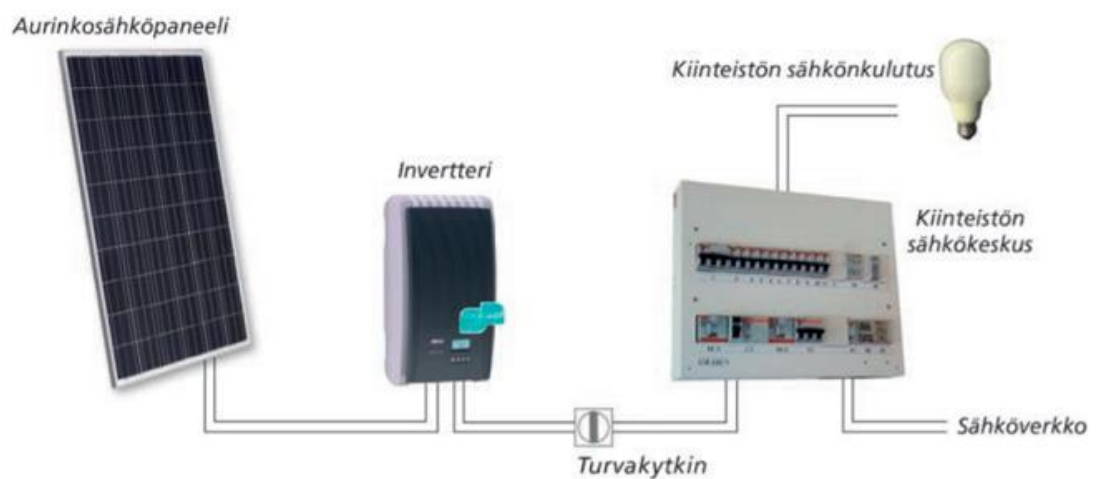
Seinäasennus kuitenkin tuottaa vuodessa vähemmän sähköenergiaa asennuskulmastaan johtuen ja seinät ovat erityisen alttiita varjostumille. Seinä asennusten huoltaminen on esimerkiksi katolle sijoitettua järjestelmää kalliimpaa sillä huoltotoimenpiteet vaativat henkilönostimen. (Aurinkoenergiaopas 2013.)

## 4 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmät koostuvat aurinkopaneelien lisäksi lukuisista oheislaitteista. Yksinkertaisimmillaan aurinkosähköjärjestelmä koostuu paneelien

lisäksi verkkoinvertteristä, joka muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi sekä turvakytkimestä, jolla järjestelmän saa kytkettyä pois päältä ja irti kuormasta. Tätä havainnollistetaan kuviossa 5. Useimmat aurinkosähköjärjestelmätoimittajat tarjoavat avaimet käteen –ratkaisuja, joissa kauppahintaan sisältyvät kaikki vaadittavat komponentit sekä asennuspalvelut. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa joka voidaan varastoida akustoihin jännitteen tasauksen jälkeen tai muuntaa invertterin avulla vaihtovirraksi.

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan kytkeä osaksi ulkopuolista sähköverkkoa tai omaksi suljetuksi systeemikseen. Kohteissa, joissa kulutusta on vähemmän kuin tuotettua sähköenergiaa, voidaan tuotantoa siirtää sähköverkon puolelle ja riippuen sähkösopimustyyppistä kyseisessä kohteessa siitä voi saada korvausta. (Käpylehto 2016, 71-74.)



Kuvio 5. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva (Asentajan käsikirja n.d.)

#### 4.1 Käyttökohteet

Aurinkosähköjärjestelmän kytkentä riippuu kyseessä olevasta käyttökohteesta. Käytännössä järjestelmä kytketään joko osaksi olemassa olevaa sähkönjakelua tai omaksi suljetuksi saarekkeeksi. (Käpylehto 2016, 42.) Tässä luvussa käydään läpi näiden kytkentätapojen olennaisimmat eroavaisuudet sekä muutama yksityiskohtaisempi käyttötarkoitus aurinkosähköjärjestelmille.

#### 4.1.1 Aurinkosähköjärjestelmä sähköverkon piirissä

Kohteissa, kuten omakotitaloissa, kerrostaloissa ja yrityskiinteistöissä joissa sähkönkulutus on ennakoitavaa ja laitteiston aiheuttama kuorma on valoisaan aikaan suurimmillaan, aurinkopaneelien tuottama sähkö kytketään perinteisesti kiinteistön sisäiseen sähköverkkoon ilman kapasiteettia varastoida tuotettua energiaa esimerkiksi akustoihin. Energian varastointi ei yleensä edellä mainituissa kohteissa tuota taloudellista hyötyä ja mikäli sähkön saannin varmuus ei tuota taloudellista hyötyä, ei varastointikapasiteetin lisäys järjestelmään ole kannattavaa. Aurinkopaneelien tuottaessa sähköenergiaa vain kiinteistön sisäisesti aurinkoenergia hyödynnetään verkkoinvertterin kautta. Kiinteistössä ja tilanteissa, joissa tuotanto ylittää kulutuksen voidaan sähköenergiaa syöttää kiinteistön ulkopuoliseen sähköverkkoon. Tällöin on tärkeää seurata mahdollisimman tarkasti tuotannon ja kulutuksen määrää, jotta ostetun sähköenergian määrä vastaa todellista tilannetta. (Käpylehto 2016, 42-44.)

#### 4.1.2 Sähköverkon ulkopuolinen kytkentä

Niin sanotuissa mökkisähköjärjestelmissä, joissa ulkopuolista sähkönjakelua ei ole saatavilla, hyödynnetään akustoja osana aurinkosähköjärjestelmää. Tämä muuttaa kytkentää ja käytettävää laitteistoa yleensä huomattavasti. Verkkoinvertterin käyttö lisää laitteistossa syntyviä häviöitä ja pääsääntöisesti pyritään käyttämään laitteistoa, jonka käyttöjännite vastaa akustoilta saatavaa jännitettä. Vastaavia kytkentöjä käytetään vapaa-ajan asuntojen lisäksi esimerkiksi veneissä, matkailuautoissa ja vaikeasti tavoitettavissa tutkimusasemissa. Sähköverkon ulkopuolisessa kytkennässä on tärkeää taata sähkön saatavuus ympäri vuorokauden ja varmistaa akustojen oikeaoppinen lataus ja kunnossapito. Akkukapasiteetti vaatii aina latausyksikön osaksi järjestelmää. Tämä takaa, ettei akkuja ladata yli sallitun jännitteen tai käytetä alhaisella varaustasolla sillä liian alhainen jännite vaurioittaa akkuja pysyvästi. Käyttäjä ei oikein mitoitettussa järjestelmässä huomaa eroavaisuuksia ulkopuolisen ja sähköverkon piirissä olevan kytkennän välillä. (Käpylehto 2016, 42-44.)

#### 4.1.3 Aurinkopaneelien suorakytkentä

Aurinkosähköä voidaan hyödyntää myös pienissä kannettavissa laitteissa. Näissä sovelluksissa aurinkopaneelin tuottama jännite tasataan haluttuun tasavirtajännitte-

seen, josta se ohjataan suoraan kuormalle mahdollisen ylivirtasuojauksen läpi. Tämänlaisia ratkaisuja käytetään lähinnä matalajännitteisissä laitteissa kuten kuvion 6 kaltaisissa LED-valaisimissa ja mobiililaitteiden latureissa. Tämä kytkentätapa on mahdollista, kun käytettävän aurinkopaneelin pinta-ala on riittävän pieni eikä se kykene tuottamaan vahingollista määrää sähkövirtaa edes suorassa auringonpaisteessa. (Käpylehto 2016, 43.)

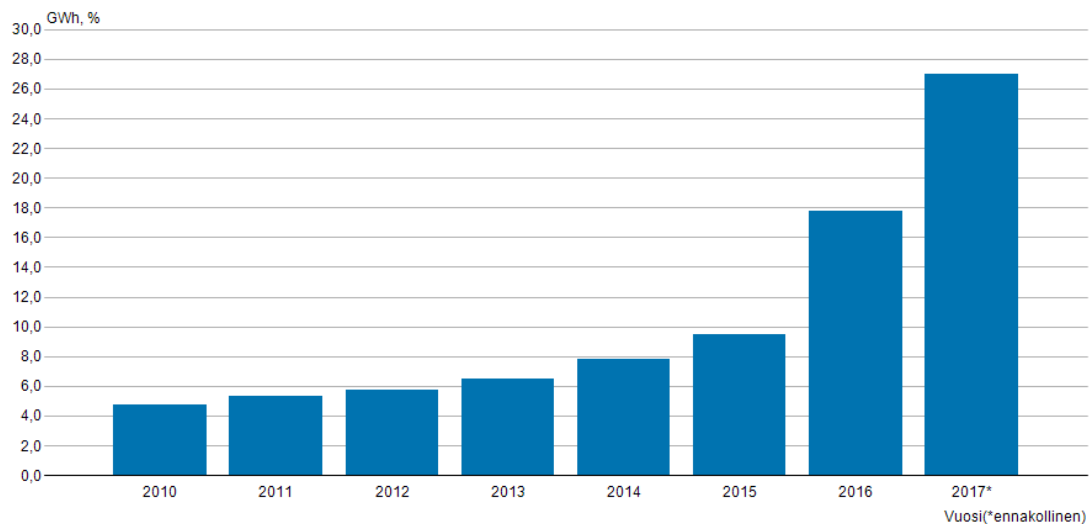


Kuvio 6. Aurinkopaneelin hyödyntäminen pienitehoisessa valaistuksessa (Aurinkolämpö n.d.)

## 4.2 Kotimaa

Aurinkosähköjärjestelmät yleistyvät kiihtyvää tahtia myös Suomessa. Energiaviraston 2015 lokakuussa teettämän kyselyn mukaan aurinkovoima on jo merkittävä tekijä sähkön pientuotannossa 5-100 kW tuotantoyksiköissä (Energiavirasto 2015).

Aurinkoenergian vuosituotanto on jatkuvassa kasvussa. Tilastokeskuksen mukaan vuosina 2010-2017 aurinkosähkön tuotanto on kasvanut keskimäärin 28,0% vuodessa. Kasvukehitystä kuvataan kuviossa 7. (Sähkön tuotannon energialähteet 2018.)



Kuvio 7. Aurinkoenergian tuotanto Suomessa vuosina 2010-2017 (Energiateollisuus ry 2018)

### 4.3 Eurooppa

Euroopan unionin alueella oli vuonna 2016 asennettuna yhteensä nimellisteholtaan noin 101 GWp aurinkosähköntuottoon tarkoitettua laitekantaa. Liitteessä 1 Euroopan Unionin valosähköbarometrissä 2017 esitetään unionin jäsenmaiden aurinkosähkön nimellisteho oranssilla ja vuoden 2016 aikana asennettu laitekanta sinisellä. Liitteen 1 kartasta havainnollistuu, kuinka Keski-Euroopan poliittiset tavoitteet ovat saaneet esimerkiksi Saksan ja Iso-Britannian erottumaan kansainvälisissä vertailuissa merkittävästi. (Photovoltaic barometer 2017, 2018.)

Vuonna 2016 Euroopan Unionin alueella aurinkosähkön tuotantokapasiteetti kasvoi 6,1 GWp, kun vuonna 2015 vastaava luku oli 7,9 GWp. Asennetun kapasiteetin lasku selittyy Aurinkosähköbarometri 2017 mukaan Unionin jäsenmaiden reaktionopeudesta kehittyviin aurinkosähkömarkkinoihin. Euroopan johtavassa aurinkosähkömaassa Saksassa vastaava kehitys oli vuonna 2016 1 476 MWp ja vuonna 2015 1 456 MWp. (Renewable Energy Sources in Figures 2017.)

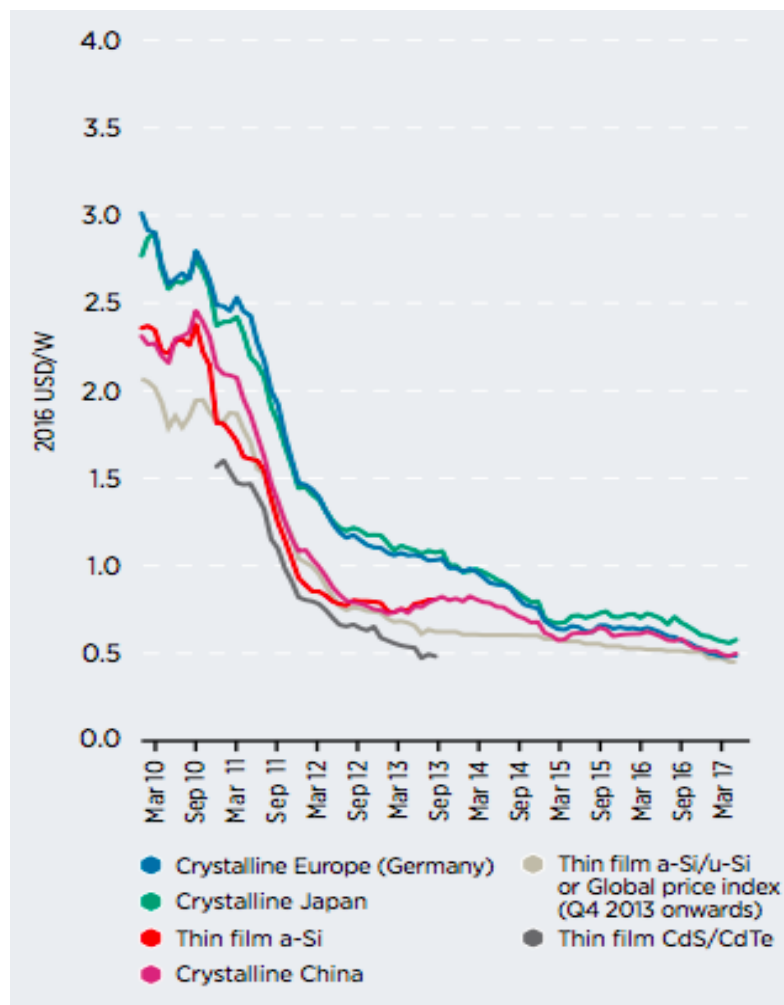
## 5 Aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

Tarkastellessa energiantuoton kannattavuutta tulee ottaa huomioon vähintään järjestelmän investointikustannukset, polttoaineen hinta sekä ylläpitokustannukset. Kokonaiskannattavuus määräytyy kuitenkin vaihtoehtoisten energiantuotantomuoto-

jen kustannuksista ja käytettävän polttoaineen saatavuudesta riippuen. Aurinkosähköjärjestelmien taloudellinen kannattavuus perustuu tehokkaiisiin investointeihin ja järjestelmän oikeaan mitoittamiseen. Järjestelmän perustamiseen ja ylläpitoon liittyvät kustannukset ovat aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden osalta se tekijä, johon järjestelmän hankkija voi realistisesti vaikuttaa eniten. (Kannattavuuslaskurit n.d.)

## 5.1 Aikakehitys

Aurinkopaneelien hinta on ollut laskussa viimeisen vuosikymmenen aikana. Kuviossa 8 on kuvattu hintakehitystä Euroopassa myydyistä aurinkosähköpaneelista valmistusmaat sekä kennotekniikat eriteltyinä USA:n dollarina per nimellistehoysikkö.



Kuvio 8. Aurinkopaneelien hintakehitys Euroopassa 2010-2017 (Solar Photovoltaic (PV) Market, Update 2017 2018)

Paneelien hankintakustannuksien laskiessa alkavat aurinkosähköjärjestelmien tuki-toiminnot ja asennuskustannukset muodostua merkittävämmäksi kulueräksi kuin aurinkopaneelit. Taulukossa 1 on kokoluokittain vuoden 2016 hintataso aurinkosähköjärjestelmille. Verrattaessa järjestelmän loppukustannuksia aurinkopaneelien ennustettuun keskihintaan vuonna 2016 on vaihteluväli paneelien osuudelle kustannuksista noin 10-50%. (Ahola & Auvinen 2017a.)

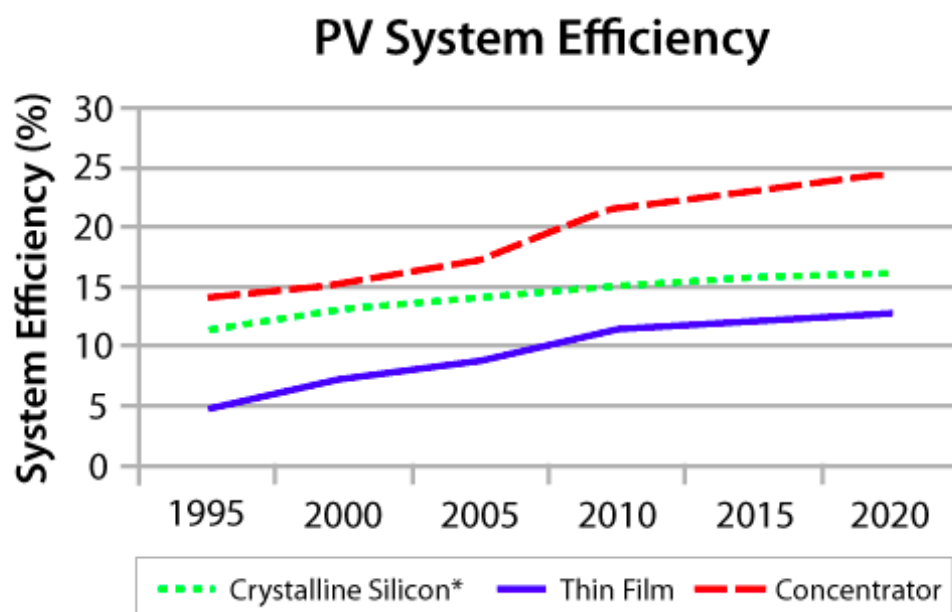
Taulukko 1. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset avaimet käteen - asennushinnat Suomessa vuonna 2016 (Ahola & Auvinen 2017b)

Koko	Järjestelmätyyppi	Hinnat €/Wp, alv 0%
Yli 1000 kW	Maa-asennus, verkkoon kytketty	1,00 - 1,20
250-1000 kW	Kattoasennus, verkkoon kytketty	0,95 – 1,30
10-249 kW	Kattoasennus, verkkoon kytketty	1,05 – 1,35
Alle 10 kW	Verkkoon kytketty	1,30 – 2,00
Yli 1 kW	Akkujärjestelmä	3,50
Alle 1 kW	Akkujärjestelmä	5,00

## 5.2 Vaikuttavat tekijät

Aurinkosähköjärjestelmä on lähtökohtaisesti mitoittettava sopimaan liitettävän kulutuskohteen sähkönkulutukseen ja saatavilla olevaan aurinkoenergian määrään. Väärin mitoitettu järjestelmä aiheuttaa investoinnin takaisinmaksuajan pitenemisen tai vaihtoehtoisesti alimitoitetusta järjestelmästä ei saada optimaalista tuottoa. Aurinkosähkökapasiteetin lisääminen ensimmäisen asennuksen jälkeen ei ole yhtä kustannustehokasta kuin kerran oikein mitoitetun järjestelmän kerta-asennus. Jälkiasennetuissa järjestelmissä kertaantuu logistiikka-, asennus- ja oheiskustannukset. Lisäksi järjestelmän sähkökomponentit ovat todennäköisesti suunniteltu pienemmälle kapasiteetille ja järjestelmän muitakin osia joudutaan vaihtamaan isomman energiantuoton seurauksena. (Ahola & Auvinen 2017a.)

Paneeliteknologiakohtainen hintakehitys on jatkunut jo useamman vuoden hyvin samankaltaisena. Yleisimpien paneeliteknologioiden hintaerojen kaventuessa on hyötysuhteella ja asennuskustannuksella suurempi merkitys ja järjestelmää suunniteltaessa nämä asiat tulee ottaa huomioon. Edullisempi kiinnitystekniikka ja kulutuskohteen ajallinen optimointi ovat osa-alueita, joilla voidaan vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän investoinnin takaisinmaksu-aikaan tehokkaasti. (Tiihonen 2017.) Järjestelmätoimittajien suosimat paneelivaihtoehdot edustavat vallitsevaa hintatasoa ja paneeliteknologia kehittyi toistaiseksi tasaisesti, kuten kuviosta 9 nähdään.



Kuvio 9. Aurinkosähköjärjestelmien hyötysuhde ajan funktiona paneeliteknologia kohtaisesti (Amos n.d.)

Aurinkosähköjärjestelmän asennuskohteesta riippuen voidaan usein valita erilaisia kiinnitysvaihtoehtoja aurinkopaneeleille. Tavallisimmat kiinnitystavat kiinteistökohteissa ovat katto- ja seinäasennukset. Erikoisemmat integroidut asennusvaihtoehdot kiinteistön eri osiin tuovat lisäkustannuksia, mutta näihin sovelluksiin liittyy usein muuta lisäarvoa kuin paneelin hinta. Esimerkiksi toimistorakennuksien seinämiin upotetut aurinkopaneelit toimivat usein osana arkkitehtuurista suunnittelua ja vaikuttavat oleellisesti rakennuksen julkisivun olemukseen. Edullisin asennustapa erityisesti suurelle määrälle aurinkopaneeleja on maa-asennus, jossa aurinkopaneelit kiinnitetään tukevalle maahan tuetuille telineille

kiinteästi haluttuun asennuskulmaan. Mitä erikoisempi ja vaikeakulkuisempi asennusalusta on, sitä suuremmaksi nousevat myös asennuksen jälkeiset huoltokustannukset. (Aurinkopaneeli n.d.)

Merkittävä tekijä kustannusrakenteen muodostumiseen on myös tuotetun energian mahdolliset käyttökohteet ja energian hallinnointi. Automaation asennus ja huolto parantavat kokonaishyötysuhdetta, mutta lisäävät järjestelmän laitteiden vaatimuksia ja alkuinvestoinnin määrää. Erilaisissa hybridijärjestelmissä voidaan aurinkosähkö liittää osaksi olemassa olevaa sähköntuotantoa ja lisätä uusiutuvilla energianlähteillä tuotetun sähköenergian määrää kiinteistön kokonaiskulutuksesta. (Ahola & Auvinen 2017b.)

## 6 Suomessa toteuneita aurinkosähköhankkeita vuosina 2015-2016

Työssä tarkasteltiin kuuden eri kokoluokan aurinkosähköjärjestelmiä ja niiden kustannusrakenteita. Neljästä kohteesta oli saatavilla yksityiskohtaiset tiedot kustannusten kohdistumisesta ja kahdesta oli käytettävissä kustannusten prosentuaalinen jakautuminen järjestelmän eri komponentteihin. Kahdessa kohteessa oli telineiden, tarvikkeiden ja asennustyön aiheuttamat kustannukset yhdistetty asennustyöksi. Tutkimusaineiston avainluvut on esitetty taulukossa 2.

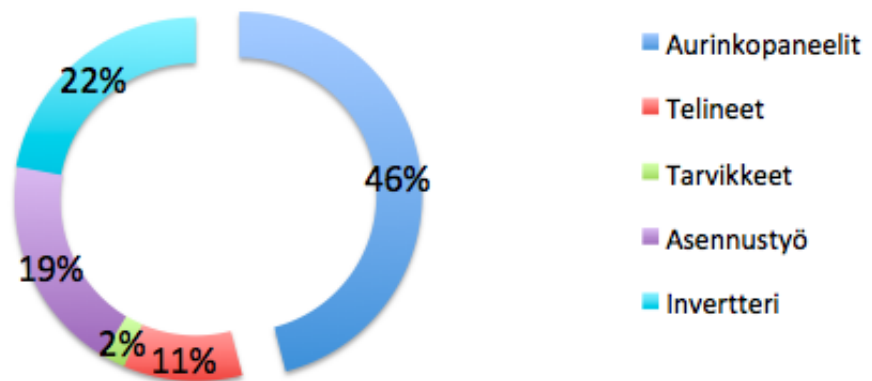
Taulukko 2. Tutkimusaineiston avainluvut

Asennuskohde	Nimellisteho kWp	Pinta-ala m <sup>2</sup>	Hinta €, alv 0%
Asuinrakennus	4,25	26	6 200
Pienliiketila	7,42	46	10 700
Majoitusrakennus	51,5	330	54 000
Sähköasema	340	2100	-
Liikerakennus	400	2474	431 000
Aurinkovoimala	850	5420	-

## 6.1 Asuinrakennus 4,25 kWp

Asuinrakennus on omakotitalo, jossa sähköä ei varastoida akustoihin ja tuotettu sähköenergia käytetään kiinteistön omaan kulutukseen. Järjestelmään on kytketty 16 kappaletta aurinkopaneeleja, jotka on kytketty yhteen paneelien nimellistehoa vastaavaan 4,5 kW verkkoinvertteriin. Paneelit on asennettu huopakattoon kiinteistön omalle katolle. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 10.

### Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

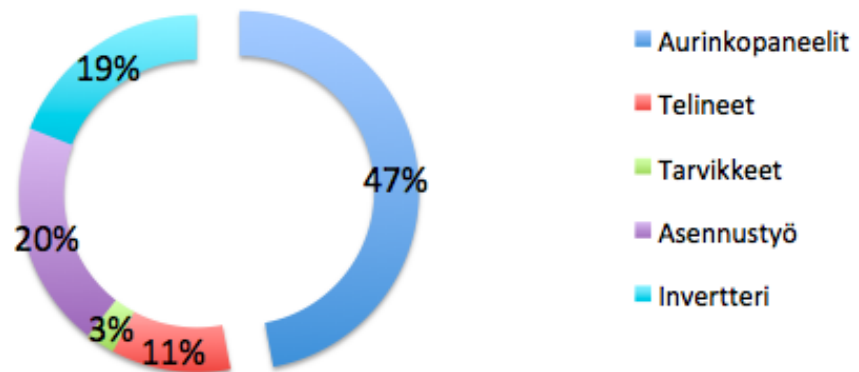


Kuvio 10. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

## 6.2 Pienliiketilä 7,42 kWp

Liiketilän yhteyteen katolle asennettu aurinkosähköjärjestelmä koostui 28 kappaletta aurinkopaneeleja. Kyseisessä kohteessa 4,5 kW verkkoinvertteri on alimitoitettu paneelien nimellistehoon nähden, mutta ympäristön vaikutus ja varjoisuus ovat voineet vaikuttaa verkkoinvertterin kokoluokan valintaan. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 11.

### Pienliiketilän aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

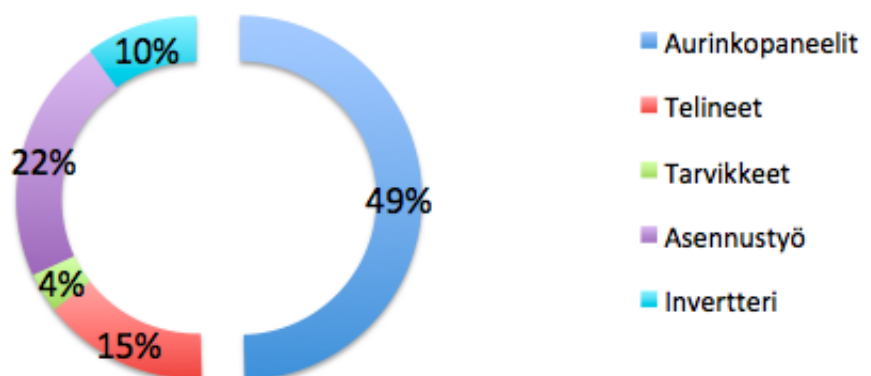


Kuvio 11. Pienliiketilän aurinkosähköjärjestelmän kustannustakenne

### 6.3 Majoitusrakennus 51,5 kWp

Keskisuuressa majoitusrakennuksessa aurinkopaneeleja on katolle sijoitettuna yhteensä 198 kappaletta. Paneelit on kytketty 50 kW verkkoinvertteriin ja tuotettu sähköenergia kulutetaan omassa kiinteistössä. Kohteessa käytetyt komponentit ovat muista kohteista poiketen keskivertoa edullisempia versioita aasialaisilta valmistajilta. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 12.

### Majoitusrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

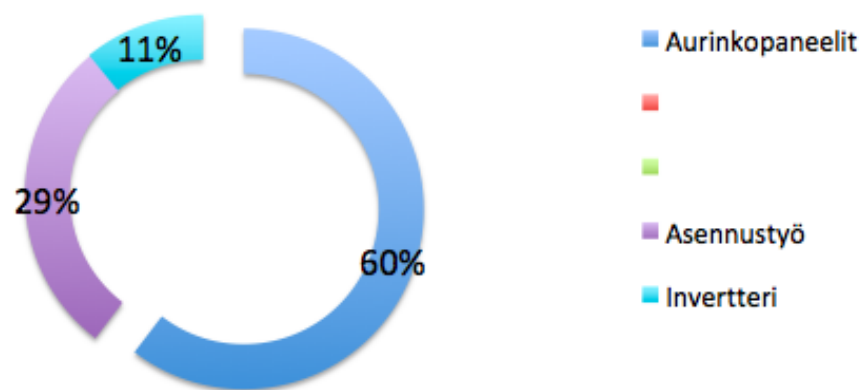


Kuvio 12. Majoitusrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

## 6.4 Sähköasema 340 kWp

Pääkaupunkiseudulle kattotelineille asennetut 1 194 aurinkopaneelia. Järjestelmässä on yhdeksän verkkoinvertteriä ja ne pystyvät syöttämään suoraan valtakunnan verkkoon tuotettua sähköenergiaa. Järjestelmän nimellisteho on 340 kW ja vuosituotto on noin 200 000 kWh. Järjestelmästä ei ole eriteltyä tietoa kustannusten jakautumisesta asennustöiden, telineiden ja muiden tarvikkeiden kesken. Nämä kustannuslajit on yhdistetty asennustyöksi. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 13.

**Sähköaseman aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne**

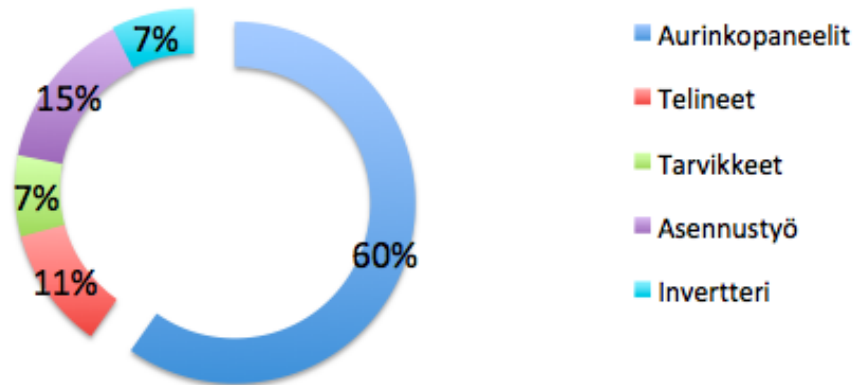


Kuvio 13. Sähköaseman aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

## 6.5 Liikerakennus 400 kWp

Suuren kokoluokan liikerakennuksen katolle on sijoitettu lähes 1 500 aurinkopaneelia, joiden kokonaisnimellisteho on 400 kWp. Kohteessa on isoille liiketiloille tunnusmainen tasainen katto, jolle aurinkopaneelit on sijoitettu erilaisten huoltoluukkujen ja ilmastointilaitteiston lomaan. Tuotettu sähköenergia hyödynnetään kiinteistön omaan kulutukseen. Erityisesti kesäaikaan, kun aurinkopaneelien tuotto on parhaimmillaan, on kyseisessä kiinteistössä runsaasti jäähdytystarvetta. Järjestelmään kuuluu seitsemän kappaletta 60 kW verkkoinvertteriä. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 14.

### Liikerakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

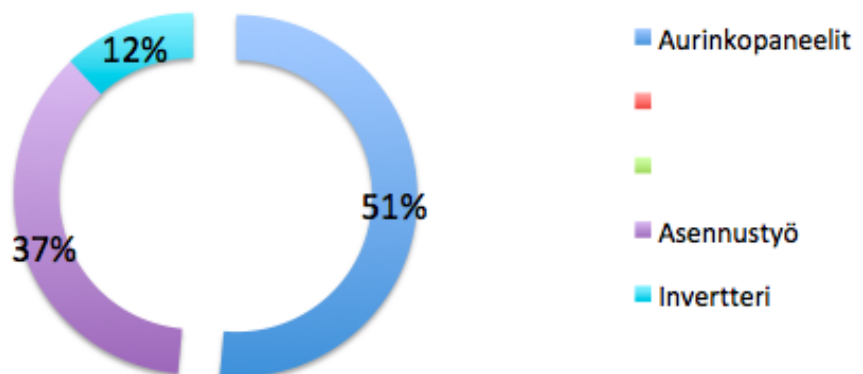


Kuvio 14. Liikerakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

### 6.6 Aurinkovoimala 850 kWp

Yksi suomen suurimmista aurinkovoimaloista koostuu 2 992 aurinkopaneelista tuottaen parhaimmillaan 850 kWp valtakunnallisen sähköverkkoon syötettävää sähköenergiaa. Paneelit on sijoitettu urheiluhallin katolle. Voimalassa on kaksi kookasta verkkoinvertteriä. Kohde on toinen kohteista, joiden teline-, tarvike- ja asennustyöt on yhdistetty pelkäksi asennustyöksi. Kustannusten prosentuaalinen jakautuminen on merkitty kuvioon 15.

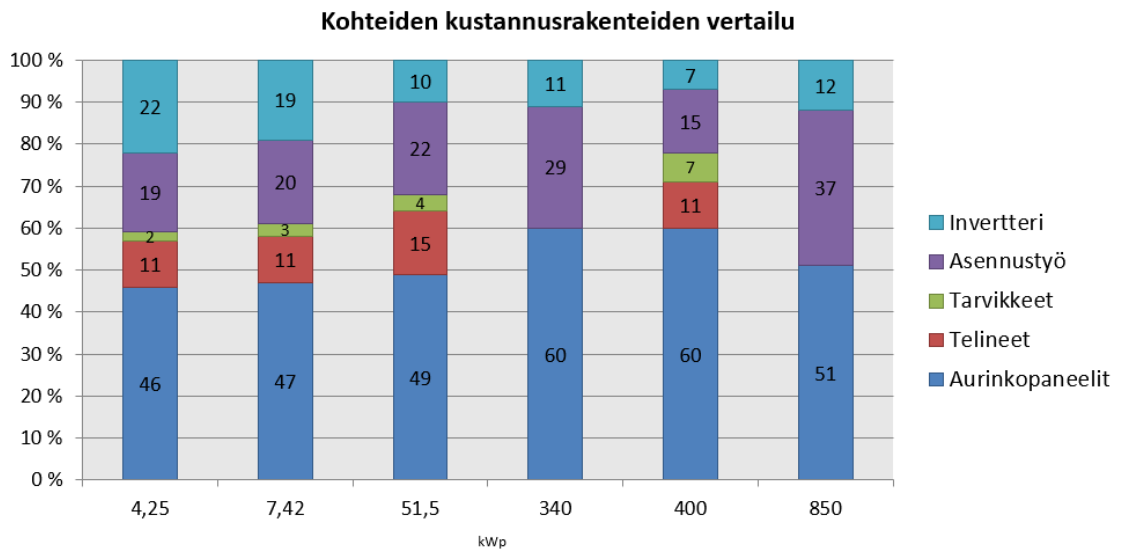
### Energialaitoksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne



Kuvio 15. Energialaitoksen aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne

## 6.7 Yhteenveto ja tulokset

Kokonaisuutena eri kokoluokkien aurinkosähköjärjestelmät eivät eroa valtavasti toisistaan, kuten kuvioista 12 ja 13 nähdään. Tuloksissa merkille pantavaa on, että nimellisteholtaan pienimmän esimerkkikohteen kustannusrakenteessa aurinkopaneelien osuus kokonaiskustannuksesta oli 46% kun toisaalta 340 kWp ja 400 kWp järjestelmissä vastaava luku oli 60%. Tämä kehitys johtuu todennäköisesti paneelikoh- taisen asennusajan laskusta kerta-asennuksissa. Isoin voimalakokonaisuus ei kuitenkaan noudata tätä trendiä aurinkopaneelien osuuden ollessa vain 51%. Kyseessä on kuitenkin oletettavasti erittäin pitkäikäiseksi ja minimaaliselle huollontarpeelle suunniteltu teollinen voimalaitos, joten asennus ja kiinnitysmekanismit todennäköisesti eroavat hieman pienemmistä laitoksista.



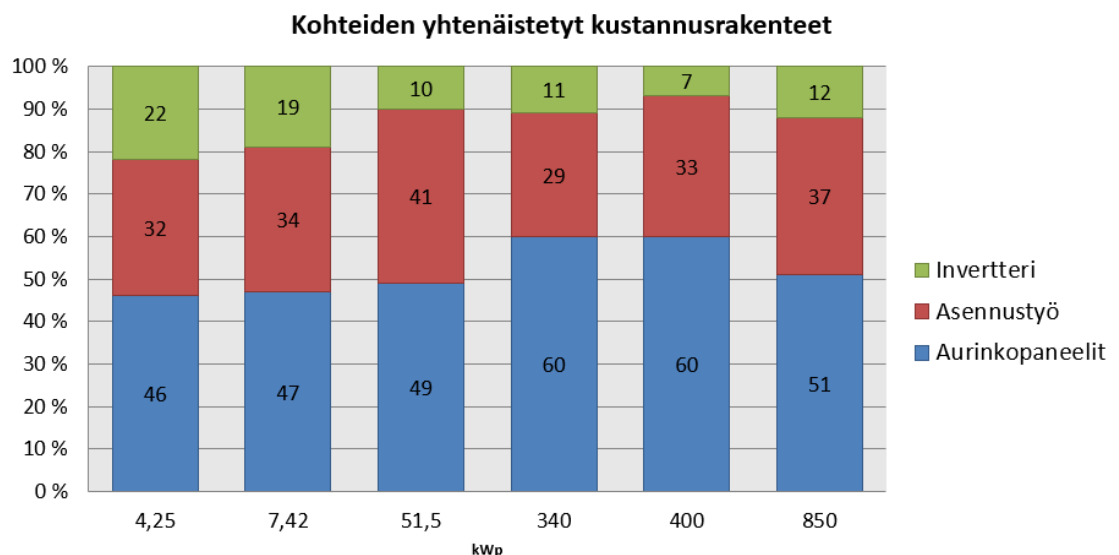
Kuvio 16. Esimerkkikohteiden kustannusrakenteiden vertailu

Neljästä kohteesta, joista tarkat hintatiedot olivat saatavilla, voidaan myös laskea euroa per nimellisteho kohteille yksikössä €/Wp. Taulukossa 3 pienin tehokustannus oli 51,5 kWp majoituskohteen järjestelmässä, joka pääsi esimerkilliseen lukemaan 1,05€/Wp. Tässä kohteessa aurinkopaneelien hinta oli 0,52 €/Wp. Vastaavasti kallein vaihtoehto oli asuinrakennuksen 4,25 kWp järjestelmä, jonka kustannus per watti oli 1,47 €/Wp ja aurinkopaneelien hinta 0,67 €/Wp. Vastaavat lukemat 7,42 kWp ja 400 kWp kohteissa olivat 1,44 €/Wp, 0,68 €/Wp ja 1,16 €/Wp, 0,75 €/Wp.

Taulukko 3. Kohteiden kustannukset tehoyksikköä kohden

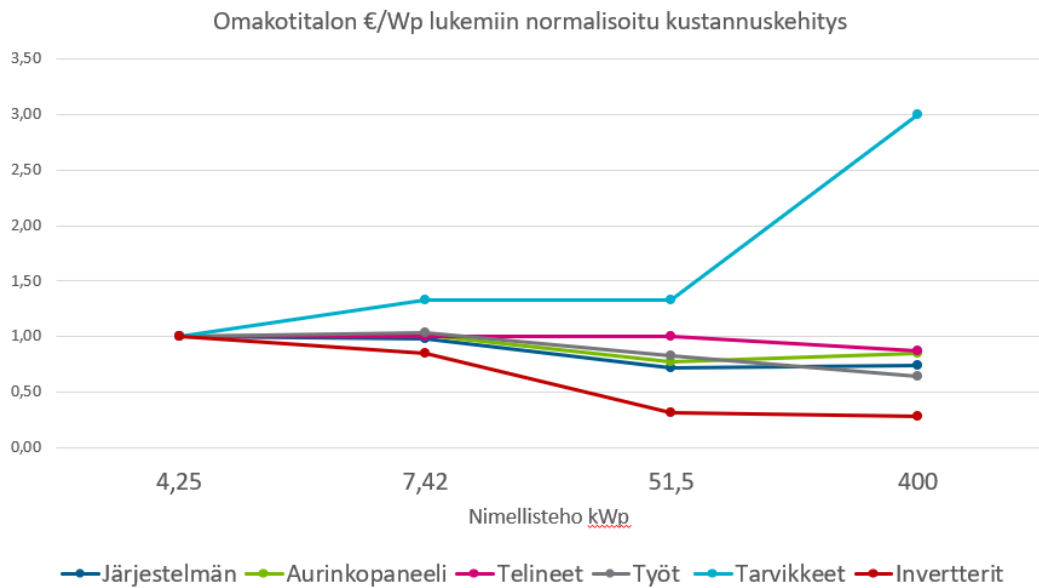
kWp	4,25	7,42	51,5	400
Koko järjestelmän €/Wp	1,47	1,44	1,05	1,08
Aurinkopaneelien €/Wp	0,67	0,68	0,52	0,57
Paneelien prosenttiosuus	45,6 %	47,2 %	49,5 %	53,2 %

Kun kustannusrakenne yhtenäistettiin siten, että kaikista kohteista yhdistettiin telineet, tarvikkeet ja asennustyö yhdeksi kustannuseräksi nähtiin, ettei yhdistetty asennustyö ole riippuvainen nimellistehosta. Tämä voi johtua siitä, että jokainen paneeli vaatii pääsääntöisesti vakiomäärän tarvikkeita ja telineitä.



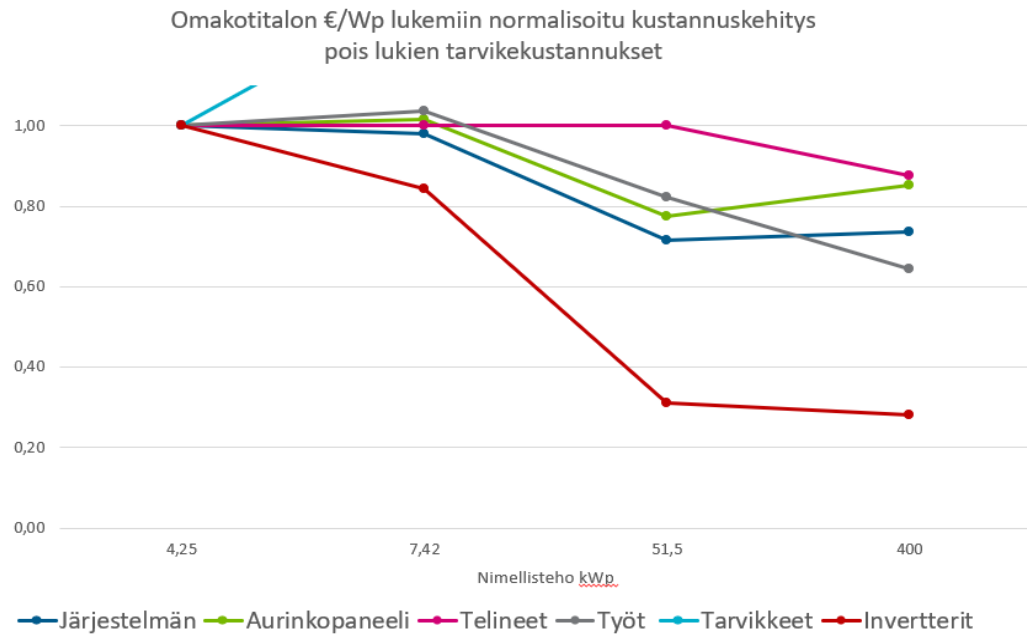
Kuvio 17. Esimerkkikohteiden yhtenäistetyt kustannusrakenteet

Kokonaiskustannusten ollessa merkittävästi erilaisia, ei hintakehitystä voitu tarkastella riittävällä tarkkuudella euromäärinä. Tarkastelua varten valittiin normaalitasoksi omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän €/Wp hinta ja muiden järjestelmien nimellistehoyksikön kustannusta verrattiin tähän taulukossa 18. Kuvaajasta nähdään miten kustannukset komponenttitasolla kehittyvät kokonaisnimellistehon kasvaessa.



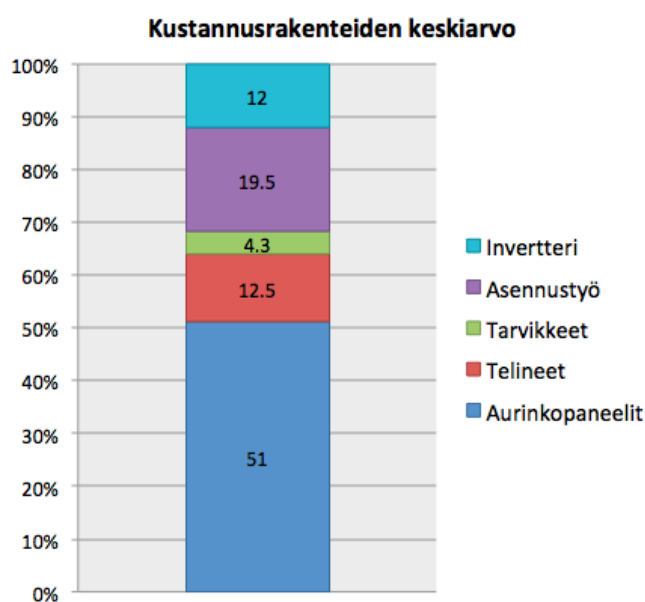
Kuvio 18. Omakotitalon €/Wp lukemiin normalisoitu kustannuskehitys

Omakotitalon kustannustasoon normalisoidussa kustannuskehityksessä tarvikkeiden osuus 400 kWp järjestelmässä nostaa Y-akselin arvot tarpeettoman suuriksi muiden kustannuksien kehityksen tarkastelua varten. Kuviossa 19 on Y-akseli rajattu 1,1 eli 10% korkeammaksi kuin omakotitalon €/Wp kustannukset. Tässä nähtiin invertterin kustannuksen laskevan lähes kolmannekseen 51,5 kWp järjestelmässä verrattuna omakotitalon kustannuksiin, kun nimellisteho noin kymmenkertaistuu. Kokonaisnimellistehon kasvaessa kehitys ei jatkunut enää yhtä merkittävänä.



Kuvio 19. Omakotitalon €/Wp lukemiin normalisoitu kustannuskehitys pois lukien tarvikkeekustannukset

Kun esimerkkikohteiden kustannusrakenteet yhdistetään keskiarvoksi kuviossa 18, nähdään miten aurinkosähköprojektin kustannukset karkeasti jakautuvat investointivaiheessa. Saatuja keskiarvoja hyödyntämällä voidaan arvioida olemassa olevan budjetin riittävyttä, kun suunnitteluvaiheessa olevalle projektille lasketaan tarjouslaskelmaa tai tehdään esisuunnittelua.



Kuvio 20. Kohteiden kustannusrakenteiden keskiarvo

Erilaisten materiaalikustannusten osuus keskiarvoisesta kustannusrakenteesta on huomattava 80,5%. Materiaalikustannusten suuresta osuudesta voi olettaa, että aurinkosähköjärjestelmien kokonaiskustannus tulevaisuudessa laskee. Erityisesti aurinkopaneelien, invertterien ja telineiden hinnoissa tapahtuu kehitystä, kun tuotantovoilymit kasvavat ja toimintatavat asennuksiin liittyen vakioituvat. Oletettavasti asennukseen vaadittavat tarvikkeet ovat melko yleisiä sähkö- ja mekaanisia komponentteja, jotka ovat jo teollisuustukkuliikkeiden valikoimissa saatavilla suhteellisen edullisesti.

Tutkimuskysymyksinä oli mikä on tyypillinen kustannusrakenne Suomesta ostettavalla aurinkosähköjärjestelmälle ja onko järjestelmän nimellisteholla merkittävää vaikutusta kustannusten jakautumiseen. Kartoituksen tuloksena saatiin kustannusrakenne, josta nähtiin järjestelmän nimellistehon vaikuttavan eri komponenttien kustannuksien jakautumiseen joko nousevasti, laskevasti tai ei ollenkaan. Kumpaankin asetettuun tutkimuskysymykseen saatiin vastaus.

## **7 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuustarkastelu**

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden tarkastelua varten on saatavilla Sitran ja ympäristöministeriön toimeksiannosta VTT:n erikoistutkijan Ismo Heimosen (2011) laatima opas, josta löytyy tarvittavat lähtötiedot ja laskentakaavat Suomen sisäiseen kannattavuuden tarkasteluun. Yhtä kohteista käytettiin määrittämään sähkönkulutuksen raja-arvot, joiden puitteissa kyseinen järjestelmä on taloudellisesti tarkasteltuna kannattava. Lisäksi vertailuarvoksi laskettiin liikerakennus -kohteen aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika.

### **7.1 Tarkastelun kohde**

Tarkastelukohteena oli omakotitalo Helsingissä, johon oli asennettu 4,24 kWp aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä koostui 26,7 neliömetristä paneelipinta-alaa ja sähkö käytetään omaan sähkön tarpeeseen. Piipohjaiset monikiteiset aurinkokennot oli suunnattu kiinteistön katolla 45 asteen kulmaan osoittamaan etelään.

## 7.2 Aurinkosähköpotentialiaali

Vuositasolla 45 asteen kallistuskulmassa olevalle 26,7 neliömetrin pinnalle Helsingissä osuu noin  $975 \text{ kWh/m}^2/\text{a} * 26,7 \text{ m}^2 * 1,2 = 31\,239 \text{ kWh}$ .

Tästä aurinkopaneelit saavat hyötysuhteestaan ja asennustavastaan riippuen kerättyä talteen tietyn osan. Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia lasketaan Heimosen oppaan mukaan kaavalla:

$$E_{s,pv,out} = E_{sol} * P_{maks} * F_{käyttö} / I_{ref}$$

jossa  $E_{sol}$  vuosittainen säteilyenergia joka kohdistuu kennoihin: 31 239 kWh.

$P_{maks}$  aurinkosähkökennojen tuottama maksimi sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa: 4,2 kW

$F_{käyttö}$  käyttötilanteen toimivuuskerroin: 0,75

$I_{ref}$  referenssisäteilytilanne: 26,7 kW

$$= 31\,239 \text{ kWh/a} * 0,16 * 26,7 \text{ m}^2 * 0,75 / 26,7 \text{ kW}$$

$$= 3\,748,7 \text{ kWh/a}$$

Kuukausikohtainen tarkastelu tapahtuu jakamalla vuotuinen tuotettu sähköenergia samassa suhteessa kuukausittain kuin auringonsäteilyenergia jakautuu.

Taulukko 4. Kuukausikohtainen energiantuoton tarkastelu

Kuukausi	kWh/m <sup>2</sup>	% Qtot	<b>Es,pv,out, kWh</b>
Tammikuu	6	0,62%	<b>23</b>
Helmikuu	22	2,26%	<b>85</b>
Maaliskuu	62	6,36%	<b>238</b>
Huhtikuu	120	12,31%	<b>461</b>
Toukokuu	166	17,03%	<b>638</b>
Kesäkuu	169	17,33%	<b>650</b>
Heinäkuu	181	18,56%	<b>696</b>
Elokuu	127	13,03%	<b>488</b>
Syyskuu	82	8,41%	<b>315</b>
Lokakuu	26	2,67%	<b>100</b>
Marraskuu	8	0,82%	<b>31</b>
Joulukuu	4	0,41%	<b>15</b>

### 7.3 Tulokset

Sähkön hinnan ollessa keskimäärin 0,12 €/kWh ja tilanteessa, jossa kaikki tuotettu energia saadaan hyödynnettyä, säästää aurinkosähköjärjestelmä vuodessa kuluttajalle  $3\,748,7 \text{ kWh/a} * 0,12 \text{ €/kWh} = 449 \text{ €/a}$ . Tällöin heinäkuussa, kun lämmitystarve on pienimmillään, tulisi keskimääräisen sähkönkulutuksen olla vähintään 935 W.

Yksinkertaistetussa nykytilanteessa järjestelmän takaisinmaksuaika on noin 18 vuotta. Mikäli otetaan huomioon mahdollisen kotitalousvähennyksen 450€ osuus tehdystä työstä, aurinkopaneelien tehohäviö -13% 25 vuoden ajalla sekä sähkönhinnan nousun ennusteeksi +2% vuodessa saadaan järjestelmän takaisinmaksuajaksi hieman alle 15 vuotta. Vastaavasti liikerakennus kohteen 400 kWp järjestelmän takaisinmaksuaika samankaltaisilla oletuksilla on hieman alle 10 vuotta.

## 8 Pohdinta

### 8.1 Työn suoritus

Tutkimusaineiston kerääminen oli opinnäytetyön hitain ja kuluttavin osuus. Tiedonkeruuseen liittyi runsaasti yhteydenottoja puhelimen ja sähköpostin välityksellä eikä vastausprosentti ollut halutulla tasolla. Yhteensä 35 kirjallisesta aineistopyynnöstä vain viisi yritystä olivat suostuvaisia keskustelemaan toteutuneiden hankkeiden kustannuksista. Tiedonhankinnan haasteista huolimatta tutkimusaineistoksi saatiin otanta aurinkosähköjärjestelmistä useasta koko luokasta, lähes toivotunlaisella kustannuserittelyllä.

Haasteeksi opinnäytetyön kirjoitusprosessissa osoittautui myös lähdeaineiston luotettavuuden arviointi. Aurinkoenergiaan liittyen löytyy paljon aineistoa, jonka ajantasaisuus ja luotettavuus vaihtelee paljon. Erityisesti erilaisten liiketoimintaa harjoittavien tahojen materiaalista löytyi paljon puolueellista tietoa aurinkopaneelien hyötysuhteesta ja kannattavuudesta. Etsimällä useamman lähdetiedon aiheeseen liittyen ja jättämällä selkeästi mainostarkoituksessa laaditut tilastot huomiotta pystyttiin kuitenkin varmentamaan tietolähteitä paikkaansa pitäviksi.

Opinnäytetyöstä tuli yleispätevä selvitys kustannusrakenteen muodostumisesta ja sitä voidaan käyttää projektien budjetoinnin apuna aurinkosähköhankkeissa ja laitevalintoja tukevana materiaalina. Kartoituksen hyödyntäminen aurinkosähköhankkeiden suunnitteluvaiheessa lisää käsitystä vallitsevasta hintatasosta ja kokonaisnimelistehon vaikutuksesta investoinnin kannattavuuteen.

Kerätty tutkimusaineisto oli yksiselitteistä ja helppolukuista. Aineiston perusteella saatiin laadittua tutkimuskysymyksiin vastaava raportti ja kartoitettua aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakenne halutulla tarkkuudella. Opinnäytetyöhön sisällytetty kustannustarkastelu tehtiin yhdelle aineistossa esiintyneelle aurinkosähköjärjestelmälle ja siitä saadut tulokset vastasivat aiempaa käsitystä aurinkosähköinvestointien kannattavuudesta.

## 8.2 Tuloksien arviointi

Tutkimusaineiston paikkansapitävyys on tutkimuksen luotettavuuden kannalta olennaista. Koska aineisto on peräisin eri yritysten toteutuneista hankkeista sekä suunnitteluvaiheessa olevien hankkeiden kustannusarvioista on aineiston tarkkuus vaihtelevaa. Aineiston luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla saatua aineistoa olemassa oleviin tutkimuksiin, kuten Lappeenrannan teknillisen yliopiston professori Jero Aholan ja Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulun kauppatieteiden tohtori Karoliina Auvisen tekemään hintakartoitukseen aurinkosähköjärjestelmien hintatasoista vuonna 2016. Tutkimusaineisto vastasi tehdyn hintakartoituksen tuloksiin ja aineistoa voitiin pitää ajantasaisena ja luotettavana.

Saatuihin tuloksiin vaikutti merkittävästi otannan pieni koko. Vähäisen tutkimusaineiston vuoksi tuloksia ei voi riittävällä varmuudella käyttää suoraan minkä tahansa kokoiseen aurinkosähköjärjestelmään. Kattavammalla otannalla olisi voitu tuottaa paremmin yleistettäviä tutkimustuloksia ja otollisemmat lähtökohdat jatkotutkimuksille.

## 8.3 Jatkoselvitettävää

Tämän opinnäytetyön tekemisen johdosta heräsi esille seikkoja, joita voisi tarkastella seuraavissa tutkimuksissa tai opinnäytetöissä. Ensinnäkin tarkastelun suorittaminen

kattavammalla tutkimusaineistolla ja otantaa kasvattamalla saadaan tämän työn tuloksia luotettavammaksi ja tuloksien hyödyntämisellä voitaisiin luoda konkreettisia säästöjä. Saman tarkastelun suorittaminen laajemmalla ja yksityiskohtaisemmalla otannalla kertoo tarkemmin kustannusrakenteen kehityksestä nimellistehon kasvassa.

Toiseksi lisäselvitystä tarvitsisi käytetty laitekanta. Tässä kartoituksessa se oli olennaisesti puuttunut tekijä ja laitevalinnat vaikuttavat erityisesti järjestelmän kokonaiskustannukseen. Selvittämällä paneelitekniikan ja valmistusmaan vaikutuksen kustannusrakenteeseen voidaan tehdä kannattavia investointeja ja tehdä onnistuneita laitevalintoja jo suunnittelu- ja esiselvitysvaiheessa.

Kolmanneksi lisäselvitystä kaipaisi kolmannen sukupolven paneelitekniikoiden hintakehitys ja yleistyminen kaupallisilla markkinoilla. Modernilla paneelitekniikalla saadaan tuotetun sähköenergian määrää kasvatettua ja, mikäli paneelien hankintahinta on kilpailukykyinen, lyhennetään takaisinmaksuaikaa.

#### 8.4 Lopuksi

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa aurinkosähköjärjestelmän kustannusrakennetta ja mallia, jota investointipäätöstä tekevä taho voi hyödyntää omissa kustannuslaskelmissaan. Osaksi opinnäytetyötä otettiin myös kannattavuustarkastelu esimerkiksi kohteesta, jotta aurinkosähköjärjestelmän taloudellisuus havainnollistuu tarkasteltavissa kohteissa. Työn tutkimusaineistoksi kerättiin Suomessa toteutuneiden aurinkosähköjärjestelmien kustannusrakenteita.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja riittävän laaja, jotta tuloksista ei muodostunut kohdistettu selvitys yhden toimijan liiketoimintamallista tai tarpeista. Aurinkosähköjärjestelmien hinnan jatkuva kehitys kannusti ajantasaisen tutkimustiedon käyttöön ja teki kirjoittamisprosessista mielenkiintoisemman. Aurinkosähkön erilaisista sovelluksista on tehty runsaasti tutkimuksia, mutta kehitystä on hyödyllistä tarkastella aktiivisesti poikkeamien havaitsemiseksi. Aiheen rajaus onnistui odotettua paremmin, eikä tutkimuksen osaksi jouduttu sisällyttämään uusia aihealueita jälkikäteen.

## Lähteet

Ahola, J & Auvinen, K. 2017a. Aurinkosähköjärjestelmien hintakartoitus: keskeisten aurinkosähköjärjestelmätoimittajien sähköposti- ja puhelinhaastattelut.

Ahola, J & Auvinen, K. 2017b. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Viitattu 22.05.2018. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>.

Amos, H. N.d. Efficiency of solar PV, then, now and future. Artikkelin Lafayette College:n sivustolla. Viitattu 12.04.2018. <https://sites.lafayette.edu/egrs352-sp14-pv/technology/history-of-pv-technology/>

Asentajan käsikirja. N.d. Asennusohje NIBE Energy System Oy:n sivuilla. Viitattu 26.09.2017. <http://www.nibe.fi/nibedocuments/21490/331823-1.pdf>.

Aurinkoenergiaopas. 2013. Finnwind Oy:n opas aurinkosähköjärjestelmän ostamisesta. Viitattu 22.05.2018. <http://www.uusiutuvaenergia.eu/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>.

Aurinkolämpö. N.d. Artikkelin Callidus Oy:n sivustolla. Viitattu 12.04.2018. <http://callidus-oy-ab.fi/fi/lammitys/ratkaisut/aurinkolampo.html>.

Aurinkopaneeli. N.d. Finnwind Oy:n artikkeli aurinkopaneelien asennuksesta. Viitattu 22.05.2018. <https://finnwind.fi/aurinkopaneeli/>

Aurinkosähkö yritykselle. N.d. Artikkelin Areva Solar:in sivustolla. Viitattu 02.03.2018. <https://www.arevasolar.fi/fi/aurinkos%C3%A4hk%C3%B6-yritykselle>.

Energiavirasto. 2015. Energianpientuotannon kysely. Viitattu 03.02.2018. <https://www.slideshare.net/FinSolar/shkn-pientuotanto-2015-energiaviraston-kysely>.

Energiavuosi 2017 - Sähkö. 2018. Energiateollisuus ry. PowerPoint -esitys Energiateollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 22.05.2018. [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2017\\_-\\_sahko.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2017_-_sahko.html).

Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) rahoittaman hankkeen kuvaus. N.d. Työ- ja elinkeinoministeriö. Viitattu 22.05.2018. <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projektkoodi=A71294>

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012 Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. VTT.

Jones, A. 2017. The Photoelectric Effect. Artikkelin ThoughtCo sivustolla. Viitattu 22.05.2018. <https://www.thoughtco.com/the-photoelectric-effect-2699352>.

Kannattavuuslaskurit. N.d. Finnwind Oy:n tuottamat aurinkoenergian kannattavuuslaskurit. Viitattu 22.05.2018. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>.

Kiinnitysteline. N.d. Asennusohjeistus Aurinkovirran sivuilla. Viitattu 26.09.2017. <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/kiinnitysteline/>

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

Labouret, A. Viloz, M. 2010. Solar Photovoltaic Energy. Paris.

Meyers, G. 2014. Artikkelin Clean Technica sivustolla. Viitattu 21.05.2018.  
<https://cleantechnica.com/2014/12/31/photovoltaic-dreaming-first-attempts-commercializing-pv/>.

Photovoltaic barometer 2017. 2018. EurObserv'ER'in tutkimus. Viitattu 24.11.2017.  
<https://www.eurobserv-er.org/photovoltaic-barometer-2017/>.

Photovoltaic Energy Factsheet. 2017. Artikkelin Michiganin yliopiston sivustolla. Viitattu 02.03.2018. <http://css.umich.edu/factsheets/photovoltaic-energy-factsheet>

Renewable Energy Sources in Figures. 2017. Saksan talousministeriön verkkojulkaisu. Viitattu 10.04.2018. [https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/renewable-energy-sources-in-figures-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/renewable-energy-sources-in-figures-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5)

Snapshot of global photovoltaic markets. 2017. Raportti IEAn sivustolla. Viitattu 19.09.2017. [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2016 1 .pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016_1_.pdf)

Solar Photovoltaic (PV) Market, Update 2017. 2018. GlobalData:n tekemä tutkimus. Viitattu 21.05.2018. <https://bester.energy/en/blog/panorama-las-energias-renovables-espana-europa-2018/>.

Sähkön tuotannon energialähteet. 2018. Tilastokeskuksen verkkojulkaisu. Viitattu: 28.3.2018.  
[http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehk/statfin\\_ene\\_015\\_fi.px/chart/chartViewColumn/?rxid=cd5e5e2b-694a-470b-b368-f78e15e3c4ca](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ene_015_fi.px/chart/chartViewColumn/?rxid=cd5e5e2b-694a-470b-b368-f78e15e3c4ca) .

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Riika: Dardedze Holografija.

This Month in Physics History. 2009. American Physical Society:n verkkojulkaisu. Viitattu 21.05.2018.  
<http://www.aps.org/publications/apsnews/200904/physicshistory.cfm>.

Tiihonen, A. 2017. Aurinkosähköä saa jo katolta – mitkä ovat seuraavat askeleet? Viitattu 20.09.2017. <http://www.skolar.fi/aurinkosahkoa-saa-jo-katolta-mitka-ovat-seuraavat-askeleet/>

Uusiutuva energia Suomessa. 2018. Motiva. Viitattu 22.05.2018.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/uusiutuva\\_energia\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa).

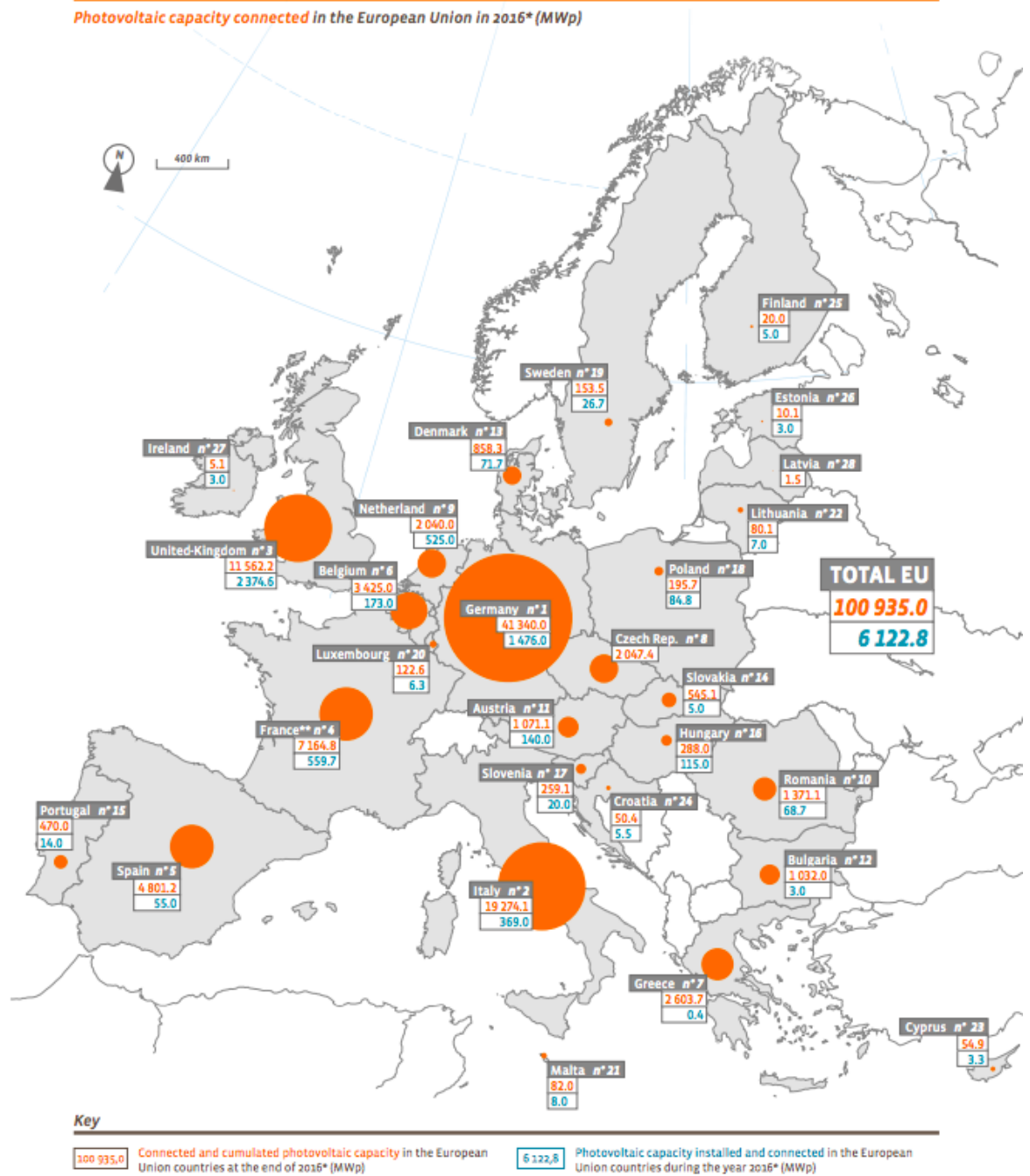
Vilkka, H. 2007. Tutki ja mittaa. Helsinki: Tammi.

World Consumption Statistics. N.d. Tilasto Enerdatan sivustolla. Viitattu 19.09.2017. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>.

VTT Prosessit. 2004. Energia Suomessa. Helsinki: Edita prima Oy.

# Liitteet

Liite 1. Asennettu aurinkosähkökapasiteetti Euroopan unionin alueella vuonna 2016.



## Liite2. Liikekeskusksen 400 kWp kustannusarvio.

Tuote	Teho Wp	Määrä kpl	Kokonaisteho Wp	Yhteensä
SolarWatt Blue 60P	270	1482	400140	229 400,26 €
Teline Renusol	270	1482	400140	55 219,32 €
Tarvikkeet	270	1482	400140	36 812,88 €
Työt, nostot		1500	400140	72 450,00 €
Invertteri kW	60	7		37 030,00 €
Pinta-ala m2		2474,94		
Järjestelmä kWp			400,14	430 912,46 €
Laskennallinen vuosituotto kWh J:kylä kulma 20° suunta etelä 0°			352 123,2	
	€/ Wp	1,077	ALV 24%	103 418,99 €
	€/ kWp	1 076,90	Hinta yhteensä	534 331,45 €

## Liite 3. Asuinrakennuksen 4,24 kWp kustannusarvio.

Tuote	Teho Wp	Määrä kpl	Kokonaisteho Wp	Yhteensä
SolarWatt Blue 60P	265	16	4240	2 866,24 €
Teline Renusol	265	16	4240	661,44 €
Tarvikkeet	265	16	4240	137,80 €
Työt, nostot		22	4240	1 201,20 €
Inverteri kW	4,5	1		1 376,70 €
Pinta-ala m2		26,72		
Järjestelmä kWp			4,24	6 243,38 €
Laskennallinen vuosituotto kWh J:kylä kulma 20° suunta etelä 0°			3 731,2	
	€/Wp	1,472	ALV 24%	1 498,41 €
	€/kWp	1 472,50	Hinta yhteensä	7 741,79 €

## Liite 4. Majoitusrakennuksen 51,5 kWp kustannusarvio.

Tuote	Teho Wp	Määrä kpl	Kokonaisteho Wp	Yhteensä
AS-6P-30	260	198	51480	26 769,60 €
Teline Renusol	260	198	51480	8 030,88 €
Tarvikkeet	260	198	51480	1 976,83 €
Työt, nostot		220	51480	11 827,20 €
Invertteri kW	50	1		5 369,00 €
Pinta-ala m2		330,66		
Järjestelmä kWp			51,48	53 973,51 €
Laskennallinen vuosituotto kWh J:kylä kulma 20° suunta etelä 0°			45 302,4	
	€/Wp	1,048	ALV 24%	12 953,64 €
	€/kWp	1 048,44	Hinta yhteensä	66 927,15 €

## Liite 5. Pienliiketilän 7,4 kWp kustannusarvio.

Tuote	Teho Wp	Määrä kpl	Kokonaisteho Wp	Yhteensä
SolarWatt Blue 60-P	265	28	7420	5 015,92 €
Teline Renusol	265	28	7420	1 157,52 €
Tarvikkeet	265	28	7420	289,38 €
Työt, nostot		40	7420	2 184,00 €
Inverteri kW	4,5	1		2 026,70 €
Pinta-ala m2		46,76		
Järjestelmä kWp			7,42	10 673,52 €
Laskennallinen vuosituotto kWh J:kylä kulma 20° suunta etelä 0°			6 529,6	
	€/Wp	1,438	ALV 24%	2 561,64 €
	€/kWp	1 438,48	Hinta yhteensä	13 235,16 €