

# Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Aurinkosähköjärjestelmät

Tero Ahonen  
Jero Ahola



# Energiamurroksen ennakoitut vaikutukset 2030: Aurinkosähköjärjestelmät

**Tero Ahonen**  
**Jero Ahola**

## Smart Energy Transition -hanke

[www.smartenergytransition.fi](http://www.smartenergytransition.fi)

Aalto-yliopiston julkaisusarja  
**CROSSOVER** 4/2017

© Tero Ahonen, Jero Ahola

ISBN 978-952-60-7270-8 (pdf)

ISSN-L 1799-4950

ISSN 1799-4950 (painettu)

ISSN 1799-4969 (pdf)

[www.smartenergytransition.fi](http://www.smartenergytransition.fi)

Unigrafia Oy  
Helsinki 2017

Smart Energy Transition -hanke (293405) kiittää Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvostoa hankkeen mahdollistamisesta ja tukemisesta.

**Tekijä**

Tero Ahonen &amp; Jero Ahola

**Julkaisun nimi**

Energiamurroksen ennakoitua vaikutukset 2030: Aurinkosähköjärjestelmät

**Julkaisija** Kauppakorkeakoulu**Yksikkö** Johtamisen laitos**Sarja** Aalto-yliopiston julkaisusarja CROSSOVER 4/2017**Tutkimusala** Energiatutkimus**Kieli** Suomi**Tiivistelmä**

Tämä julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen ([www.smartenergytransition.fi](http://www.smartenergytransition.fi)).

Aurinkosähkön rooli Suomen energiajärjestelmässä on vielä marginaalinen, mutta aurinkosähköjärjestelmien odotetaan yleistyvän huomattavasti lähivuosien aikana. Talvikaudesta johtuen aurinkosähköjärjestelmiä markkinoidaan Suomessa ratkaisuna energiakustannusten pienentämiseen, minkä vuoksi aurinkovoimalat rakennetaan vielä tyypillisesti esimerkiksi omakotitalon, kauppakeskuksen tai teollisuuskiinteistön katolle.

Jotta aurinkosähköjärjestelmien osuus vuotuisesta sähkönkulutuksesta voisi nousta yhteen prosenttiin vuoteen 2030 mennessä, tulisi uusien maavoimaloiden/aurinkopuistojen koko nousta megawattiluokkaan. Tämä vaatisi järjestelmien kustannustason laskua sekä yritysten investointeja teollisuusalueille rakennettaviin aurinkopuistoihin. Koska aurinkosähköjärjestelmät mitoitetaan tyypillisesti sähkönkulutuksen kompensoinnin perusteella, niiden vaikutus sähköverkon toimintaan ei oletettavasti tule samalla tavoin esille kuin Saksassa, jossa aurinkosähköjärjestelmien hetkellinen tuotanto voi muodostaa yli puolet koko maan sähköntuotannosta.

**Avainsanat** energia, älykäs energia, energiamurros, aurinko, aurinkosähkö, aurinkovoima, sähkö, sähköjärjestelmä

<b>ISBN (painettu)</b>	<b>ISBN (pdf)</b> 978-952-60-7270-8	
<b>ISSN-L</b> 1799-4950	<b>ISSN (painettu)</b> 1799-4950	<b>ISSN (pdf)</b> 1799-4969
<b>Julkaisupaikka</b> Helsinki	<b>Painopaikka</b> Helsinki	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Sivumäärä</b> 16		



## Sisällys

1 Johdanto .....	1
2 Aurinkosähkön rooli energijärjestelmässä .....	1
3 Verkkoonkytetyin aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ja -teknologiat.....	2
4 Aurinkosähkön rooli lähitulevaisuudessa.....	4
5 Aurinkosähkön merkitys Suomessa .....	5
6 Aurinkosähkön yleistymistä edistävät toimenpiteitä.....	7
7 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet sekä epävarmuudet.....	7
Yhteenveto .....	8
Lähteet .....	9

## 1 Johdanto

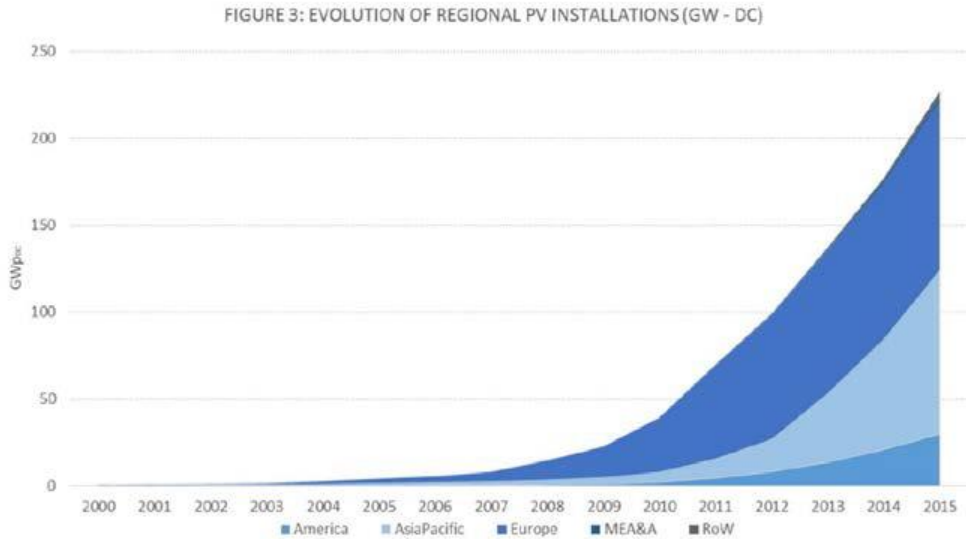
Smart Energy Transition (SET) on Suomen Akatemian rahoittama tutkimushanke, jossa tutkitaan globaalin energiamurroksen aiheuttamia vaikutuksia Suomessa. SET-hanke järjesti keväällä 2016 asiantuntijakyselyn ja -työpajan, joilla kartoitettiin energiamurroksen teknologioiden ennakoitua kehitystä ja käyttöönottoa Suomessa vuoteen 2030 mennessä. Kaksikerroksiseen kyselyyn kutsuttiin mukaan yli 250 energia-alan asiantuntijaa, siihen osallistui noin 60 henkeä, ja tulosten pohjalta kesäkuussa 2016 järjestettyyn työpajaan osallistui noin 40 henkeä. Yhtenä työpajan teemoista oli aurinkosähkö ja sen rooli Suomessa 2030-luvulla.

Seuraavassa esitellään aurinkosähkön roolia globaalisti sekä Suomessa, aurinkosähköjärjestelmien pääkomponentteja ja tulevaisuuden ratkaisuja sekä työpajakeskusteluun osallistuneiden näkemyksiä aurinkosähköä edistävästä ohjauskeinoista ja liiketoimintamahdollisuuksista.

## 2 Aurinkosähkön rooli energiajärjestelmässä

Aurinkosähköjärjestelmät mahdollistavat sähköenergian tuottamisen aurinkopaneelien avulla, jotka on tyypillisesti kytketty joko invertterin tai akun avulla sähköä kuluttaviin laitteisiin. Aurinkosähköstä on tullut globaalisti merkittävä vaihtoehto uusiutuvan energian tuottamiseksi sekä yleiseen sähköverkkoon (ns. on-grid järjestelmät) että kohteisiin, joissa ei ole sähköverkkoa (ns. off-grid järjestelmät). Esimerkiksi Saksassa aurinkosähköjärjestelmien arvioitu osuus vuotuisesta sähköenergiankulutuksesta oli vuonna 2015 n. 7 % ja Tanskassa n. 2,5 % (IEA PVPS 2016a). Aurinkosähkön sekä tuulivoiman vaikutusta energiajärjestelmän muutokseen korostaa niiden vaihteleva tuotanto, jolloin esimerkiksi aurinkosähkön hetkellinen osuus Saksan sähköntuotannosta voi suotuisina päivinä olla yli 50 %. Tämä on muuttanut sähkömarkkinoita siten, että sähkön hetkellinen markkinahinta on Saksassa ajoittain negatiivinen aurinko- ja tuulisähkön tuotannon merkittävyyden vuoksi. Aurinkosähkön osalta ajankohtaisia ratkaisuja vaihtelevan tuotannon tasoittamiseen ovatkin esimerkiksi invertteriin integroidut akku- sekä ohjausratkaisut.

Aurinkosähköjärjestelmien globaaliksi asennuskannaksi on arvioitu 227,1 gigawattia huipputehoa (GWp) vuoden 2015 lopulla, vastaten n. 1,3% (312 TWh) maailmanlaajuisesta sähkönkulutuksesta (n. 24 000 TWh, IEA PVPS 2016a). Vertailun vuoksi tuulivoiman vastaavat tunnusluvut ovat 432 GW, 840 TWh ja 3,5 % maailmanlaajuisesta sähkönkulutuksesta (GWEC 2016). Yksittäistä maista suurimpia aurinkosähköjärjestelmien käyttäjiä ovat Kiina (43,5 GWp), Saksa (39,7 GWp) sekä Japani (34,4 GWp). Kuvan 1 mukaisesti tämä asennuskanta on kehittynyt käytännössä 2010-luvun aikana siten, että vuosittaisten asennusten määrä on kasvanut n. 50 gigawattiin huipputehoa.



Kuva 1. Aurinkosähköjärjestelmien asennuskannan kehittyminen eri maanosissa (IEA PVPS 2016a).

### 3 Verkkoonkytetyin aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentit ja -teknologiat

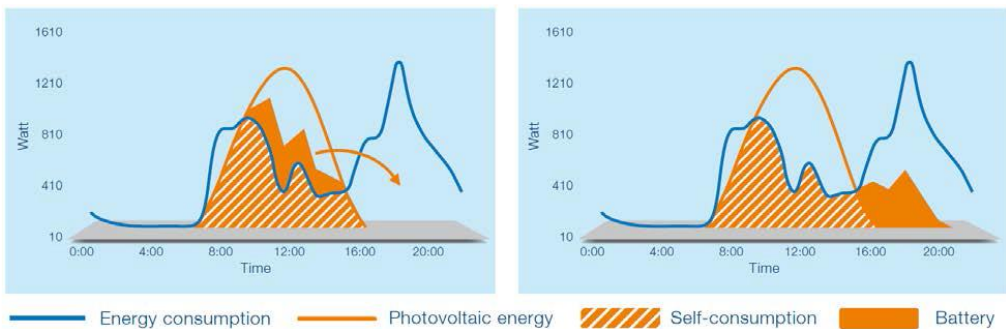
Koska aurinkosähköjärjestelmät skaalautuvat pienistä kilowatin katoille asennettavista järjestelmistä satojen kilo-megawattien maavoimaloihin, aurinkosähköstä on tullut varteenotettava vaihtoehto niin yksityishenkilöille kuin kansainvälisille energiayhtiöillekin energian tuottamiseksi. Verkkoonkytetyissä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään pääosin piistä valmistettuja yksi- ja monikidepaneeleja, joiden huipputeho on paneelin koosta ja hyötysuhteesta riippuen n. 250-300 W: näiden paneelityyppien hyötysuhteet ovat tällä hetkellä n. 14-20 % luokkaa hintatason ollessa Suomessa noin 0,8 €/Wp (IEA PVPS 2016b). Materiaalikehityksen myötä paneelitekniikoiden hyötysuhteen ja hintatason (€/Wp) odotetaan vielä parantuvan (Agora 2015), joka voi tuoda markkinoille uusia paneelityyppejä taipuisien ohutkalvopaneelien lisäksi.

Paneelien yhdistämiseksi sähköverkkoon tarvitaan liittimien sekä kaapeleiden lisäksi invertteri (tai muu vastaava laitteisto), jonka tehtävänä on muuttaa aurinkopaneelien tuottama tasajännite sähköverkon mukaiseksi vaihtojännitteeksi. Myös näissä laitteissa on nähty merkittävä teknologinen kehitys sekä tehotiheyden (kW/kg), hyötysuhteen (%) että hintatason (€/Wp) osalta viimeisen 20 vuoden aikana; nykyisten mm. Internet-liittynällä varustettujen inverttereiden hintataso on kokoluokasta riippuen noin 0,1-0,3 €/Wp (IEA PVPS 2016b).



Koska parannuspotentiaali inverttereiden hyötysuhteessa sekä hintatasossa on enää rajallinen (riippuen lähinnä tehoelektronikkakomponenttien sekä valmistusmateriaalien hinnoista), seuraava odotettava kehitysaskel inverttereissä on akkujen sekä esim. kotitalouden sähkölaitteiden ohjauksratkaisujen integroiminen niihin aurinkosähkön omakäyttöasteen parantamiseksi (Agora 2015). Suurista invertterivalmistajista sekä SMA että ABB tarjoavat inverttereilleen Internet-sivustot niiden tuotannon seurantaan, joka osaltaan mahdollistaa myös uusien ohjaukspalveluiden tarjoamisen. Lisäksi molemmilla valmistajilla on tarjolla tarvittavat mittauslaitteet voimalakohteen (esim. kotitalouden) sähkökulutuksen reaaliaikaiseen seurantaan. Pohjoismaissa laajasti käytössä olevat lämpöpumppujärjestelmät sekä lämminvesivaraajat ovat yksi esimerkki sovelluksista, joita voitaisiin ohjata aurinkoinvertterin toimesta.

Akkuratkaisujen osalta erilliset akut (esim. Tesla PowerWall, Sonnenbatterie, Varta Element jne.) sekä niin sanotut hybridi-invertterit, eli esimerkiksi 2 kWh:n litium-akulla varustetut laitteet, ovat nähtävissä seuraavana globaalina trendinä aurinkosähköjärjestelmissä. Nämä järjestelmät perustuvat edellä mainittuun sähkökulutuksen seurantaan, jonka perusteella oma tuotanto voidaan käyttää akun lataamiseen ja varastoitua energiaa esimerkiksi ilta-aikaan. Koska näiden litium-tekniikkaan perustuvien akkujärjestelmien hintataso on vielä korkea (n. 2 000 €/kWh), ne ovat ensimmäisenä yleistymässä Saksassa, jossa sähköenergian ostohinta on n. kaksinkertainen Suomeen verrattuna, akkujärjestelmien hankintaa tuetaan 30 % investointituella, ja uusiutuvien osuus energiantuotannosta aiheuttaa suuria vaihteluita sähkön tuntittason hinnassa.

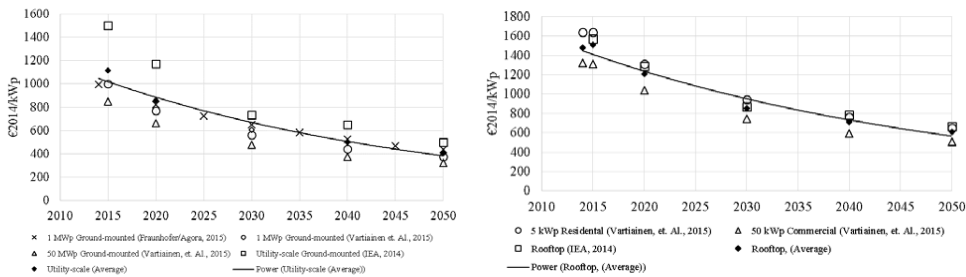


Kuva 2. Aurinkosähkön omakäyttöasteen parantaminen akkuratkaisun avulla (ABB 2016).

Useimmiten alumiinikehyksillä varustetut aurinkopaneelit asennetaan paikoilleen erillisten kiinnikkeiden tai telineiden avulla, mutta esimerkiksi kattovalmistaja Ruukilla on tarjolla Liberta Solar -niminen julkisivukasetti, jonka avulla paneelit voi asentaa seinälle tai parvekekaiteille. Tämä rakenne sekä esimerkiksi peltikaton ja ohutkalvopaneelin yhdistelmään perustuva Virte Aurinkokatto ovat esimerkkejä kehittyvistä ratkaisuista, joiden avulla aurinkopaneelit ovat integroitavissa nykyistä paremmin osaksi rakennuksia (Virte 2016).

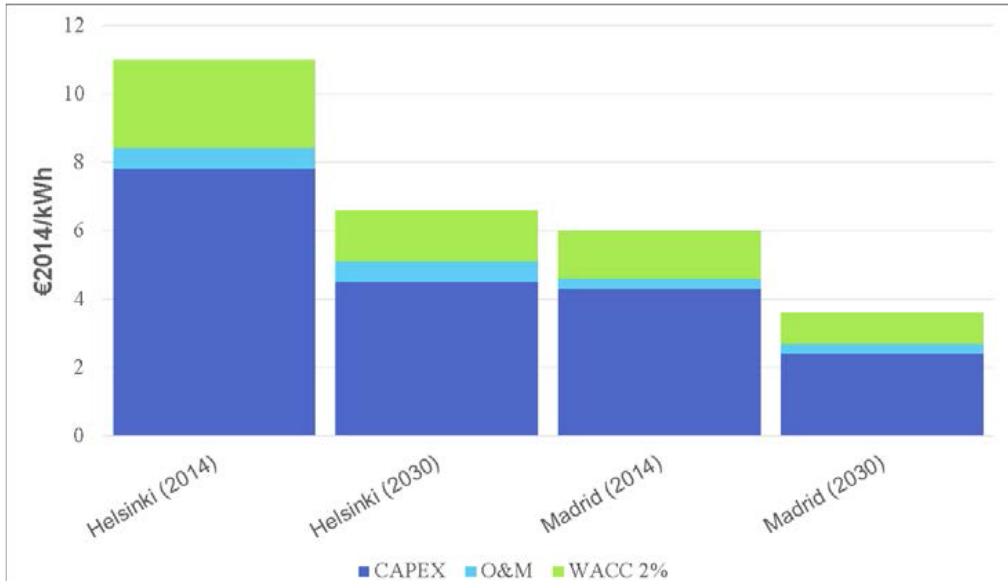
## 4 Aurinkosähkön rooli lähitulevaisuudessa

Aurinkosähkön roolin odotetaan merkittävästi kasvavan lähitulevaisuudessa pienenevien järjestelmäkustannusten sekä kehittyvien akkuratkaisujen vuoksi: kuvassa 3 esitetyn yhteenvetodon mukaisesti sekä katto- että maavoimaloiden kokonaiskustannuksien odotetaan puoliintuvan nykyisestä tasosta vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi aurinkosähkön merkittävää lisäämistä tukee globaali sähkönkulutuksen kasvu väestönkasvun ja sähköautojen yleistymisen myötä. Esimerkiksi Kiinassa ja Intiassa aurinkosähkö on jo nyt yksi valituista ratkaisuista kasvavan energiatarpeen täyttämiseksi.



Kuva 3. Yhteenveto maa- ja kattovoimaloiden järjestelmäkustannusten kehityksestä.

Koska aurinkosähkijärjestelmän kokonaishinnalla on suora vaikutus sillä tuotetun sähkön yksikkökustannuksiin (€/kWh, Levelised Cost of Electricity), SET-projektin yhteydessä on laskettu arvioita aurinkosähkön tuotantokustannuksille Euroopan pääkaupungeissa vuosina 2014 ja 2030 huomioiden yllä kuvattu kokonaiskustannuksien lasku sekä tekninen kehitys järjestelmien hyötysuhteessa. Kuvassa 4 esitettyjen tulosten mukaisesti vuonna 2030 Helsinkiin hankittavan järjestelmän tuotantokustannus on vertailukelpoinen (alle 5 c/kWh) Madridissa nyt toiminnassa olevien järjestelmien kanssa ennen tuotto-odotuksen (Weighted Average Cost of Capital) ja huoltokustannusten huomioimista tuotantokustannuksissa.



Kuva 4. Aurinkosähkön tuotantokustannukset Suomessa ja Espanjassa. WACC kuvaa järjestelmälle asetettua taloudellista tuotto-odotusta.

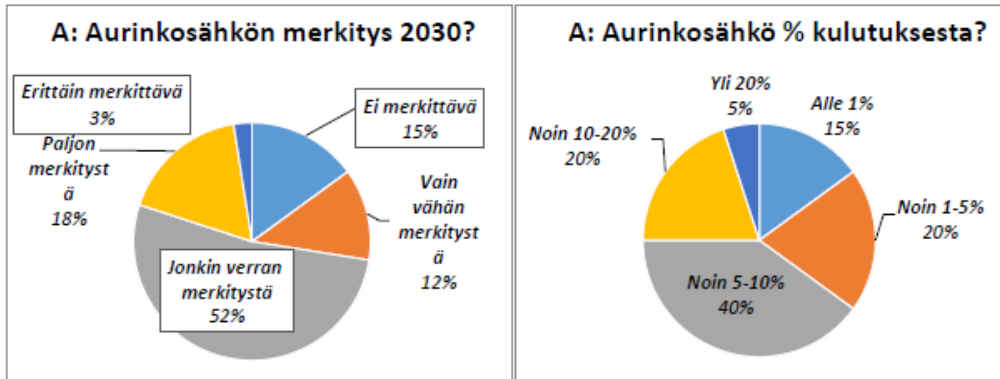
## 5 Aurinkosähkön merkitys Suomessa

Suomessa aurinkosähköjärjestelmiä on 1980-luvulta alkaen asennettu kesämökeille (arvioitu asennuskanta n. 10 MW), ja 2010-luvulla vuosittain lisääntyvässä määrin osaksi yleistä sähköverkkoa. Vuonna 2015 tehdyssä IEA:n maaraportissa on Suomen verkkoonkytkettyjen järjestelmien kapasiteetiksi arvioitu n. 10 MW ja kyseisen vuoden asennuslisäykseksi n. 5 MW. Tämän vuoden asennuslisäys tulee olemaan ainakin 5-10 MW:n luokkaa, sillä muun muassa Helsingin Kivikon (0,853 MWp), Haminan (0,72 MWp) sekä Loimaan (0,72 MWp) aurinkovoimalat on otettu käyttöön tänä vuonna ja lisäksi yksityisten sekä yritysten asennusten määrä on kaksinkertaistunut muun muassa yhteishankintatilausten kautta viime vuoteen verrattuna.

Huomionarvoista tämän vuoden asennuksissa on ensimmäisten suoraan yleiseen sähköverkkoon liitettyjen maavoimaloiden rakentaminen Suomeen, sillä aurinkosähköä käytetään pääasiassa oman energiankulutuksen kompensointiin kattovoimaloiden muodossa (esim. Vantaan Citymarket 0,503 MWp): Suomessa aurinkosähköä onkin markkinoitu mahdollisuutena energiakustannusten pienentämiseen, koska aurinkosähkön tuotantokustannukset ovat sähkön kokonaishintaa (myynti, siirto sekä verot, esim. 12 c/kWh) pienemmät. Tyypillisesti aurinkosähköjärjestelmät on mitoitettu kohteen sähkökulutuksen mukaisesti, sillä Suomessa ei ole käytössä nettomittarointia tai syöttötariffia, joka kannustaisi järjestelmien ylimitoittamiseen myyntituottojen saamiseksi (IEA PVPS 2016b).

Lisääntyvästä asennuskannasta huolimatta aurinkosähkön osuus Suomen vuotuisesta sähköenergiankulutuksesta (82,5 TWh vuonna 2015, ET 2016) on vielä marginaalinen, sillä 10 MW:n kapasiteetin vuosituotoksi voidaan arvioida n. 8 GWh. Toinen tapa kuvata aurinkosähkön roolia Suomessa on verrata asennuskannan suuruutta tuntitason tehontarpeeseen, joka on vuositasolla 10 000 MW:n luokkaa. Tällöin 1 % osuus hetkellisestä tehontarpeesta vaatisi noin 100 MWp:n asennuskantaa ja 1 % osuus vuotuisesta sähkökulutuksesta noin 1 000 MWp:n asennuskantaa Suomeen. Vertailun vuoksi Ruotsin asennuskanta vuoden 2015 lopussa oli 115,7 MWp ja Tanskan asennuskanta 783,1 MWp (IEA PVPS 2016c, d).

SET-hankkeen delfoi-kyselyn vastaajat odottavat 1 prosentin osuuden ylittyvän vuoteen 2030 mennessä Suomessa, sillä 52% vastaajista odottaa aurinkosähköllä olevan jonkinlaisen merkityksen Suomen energiajärjestelmässä. Kysyttäessä tarkempaa arviota aurinkosähkön osuudesta oli 35 % vastaajista arvioinut aurinkosähkön osuudeksi 0-5 % kulutuksesta, ja 40 % vastaajista arvioinut aurinkosähkön osuudeksi noin 5-10 % kulutuksesta (DR2, A1).



Kuva 5. Delfoi-kyselyn tuloksia aurinkosähkön merkittävyyteen liittyen.

Jotta edellä mainittu 1 % osuus tehontarpeesta voisi toteutua vuoteen 2030 mennessä, tulisi aurinkosähkön lisääntyä Suomessa vuosittain 4 prosentilla tai n. 6,5 megawatilla vuodessa, joka on jo ylittymässä tämän vuoden osalta.

Prosentin osuus vuotuisesta sähkökulutuksesta tarkoittaisi huomattavasti suurempaa asennustarvetta (32 % tai n. 71 MW vuodessa): tämän toteutuminen vaatisi käytännössä usean megawattiluokan aurinkosähköpuiston rakentamista vuodessa, joista ensimmäisiä ollaan vasta suunnittelemassa tai markkinoimassa rahoittajille (esimerkkeinä Atrian 6 megawatin aurinkosähköpuisto Nurmon tehdasalueelle sekä 8,7 megawatin Rauma Solar Park).

## 6 Aurinkosähkön yleistymistä edistävät toimenpiteitä

SET-projektin työpajassa ideoitiin toimenpiteitä, joilla voidaan edesauttaa aurinkosähkön yleistymistä Suomessa. Sääntelyn osalta esimerkiksi aluekaavoituksen sekä julkisten rakennusten suunnittelun tulisi ottaa nykyistä vahvemmin aurinkoenergian hyödyntäminen huomioon. Lisäksi jo olemassa olevien julkisten rakennusten (esim. koulut, virastot) energiankulutusdata voisi olla julkisesti saatavilla, jolloin niille voitaisiin tarjota ehdotuksia esim. aurinkosähkön tuottamasta säästöpotentiaalista. Avoin data mahdollistaisi myös esimerkiksi aurinkosähkö- ja lämpöpumpputekniikan yhteismitoituksen, jolloin aurinkosähköä hyödynnettäisiin mahdollisimman hyvin kiinteistön omassa kulutuksessa. Vastaavalla tavoin nykyisissä sähkölaskuissa voitaisiin tarjota enemmän informaatiota aurinkosähköjärjestelmän tarjoamasta säästöpotentiaalista.

Koska Suomessa ei ole tällä hetkellä käytössä netto- tai virtuaalimittarointia, aurinkosähkön yleistymisen kerros- ja rivitaloissa hyötyisi uusista mittarointiratkaisuista, jotta katolla tuotettua aurinkosähköä voitaisiin käyttää ilman ylimääräisiä siirtokustannuksia sekä taloyhtiön että yksittäisten asukkaiden toimesta. Tämä mahdollistaisi suurempien aurinkosähköjärjestelmien asentamisen edullisemmilla €/W-kustannuksilla ilman, että tuotantoa jouduttaisiin myymään yleiseen sähköverkkoon. Kysynnänjousto- sekä varastointitekniikat (akut) nähtiin myös tulevaisuuden mahdollisuuksina, joista erityisesti kysynnänjousto sekä muut ohjaustekniikat tarjoavat uusia vientimahdollisuuksia suomalaisille yrityksille.

Tukipolitiikan osalta työpajassa toivottiin vakaata ja kannustavaa toimintaympäristöä uusiutuville energijärjestelmille mahdollistaen niiden laajenemisen. Investointikustannusten osalta ehdotettiin korkeampaa (mahdollisesti tuotantomuotoon sidottua) sähköveroa, joka tekisi aurinkosähköjärjestelmistä kannattavampia keräten samalla lisätuloja valtiolle: huomionarvoisesti työpajassa ei ehdotettu syöttötariffin kaltaista tukea, koska jo nykyinen aurinkosähköjärjestelmien tulo Suomeen on tapahtunut markkinaehtoisesti (tukimekanismeina lähinnä 30% investointituki yrityksille sekä kotitalousvähennys yksityishenkilöille).

## 7 Energiamurroksen tuomat mahdollisuudet sekä epävarmuudet

Työpaja tuotti myös arvokasta tietoa sekä ajatuksia energiamurroksen tarjoamista mahdollisuuksista. Aurinkosähkö ja tuulivoima voidaan nähdä yleisellä tasolla toisiaan täydentävinä teknologioina, josta Suomessa pilottiesimerkinä toimii Haminan Mäkelänkankaan aurinkovoimala, joka on rakennettu tuulipuiston yhteyteen ja pystyy siten hyödyntämään alueen valmista infrastruktuuria. Aurinkosähkön yleistymisen Suomessa on synnyttänyt uutta yritystoimintaa, mistä esimerkkinä Green Energy Finland sekä Valoe Oyj ovat laajentamassa toimintaansa myös ulkomaille.

Tuuli- ja aurinkoenergian roolin kasvaessa myös joustavalle kulutukselle on tulossa yhä enemmän tarvetta: tähän Suomessa on jo nyt käytössä kysynnänjoustoratkaisuja, joiden avulla sähkö- ja lämpöpumppulämmitteiset kodit pystyvät hyödyntämään ne ajankohdat, jolloin sähkö on halvinta. Kysynnänjoustoratkaisut voivat osaltaan auttaa myös tehontarpeen hallinnassa, koska ne voivat hyödyntää aurinkosähköjärjestelmän tuotantoa ja toisaalta toimia osana laajempaa tehoreserviä (esimerkkinä Fortumin 70 asunnosta koostuva 100 kW:n virtuaalivoimalaitos, Fortum 2016). Energiamurroksen mahdollisia hyötyjiä voivatkin olla ICT-alan toimijat, jotka tarjoavat jo nyt valmiita ratkaisuja sähkönkulutuksen ajoittamiseen sekä ohjaimiseen.

Myös akuista keskusteltiin työpajassa, sillä ne mahdollistavat aurinkosähkön hyödyntämisen ilta-aikaan ja laajentaisivat aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta kotitalouksissa: käytännössä erillisten akkujärjestelmien hintatason pitäisi olla Suomessa alle 100 €/kWh, jotta ne olisivat taloudellisesti kannattavia myyntisähkön tämänhetkiseen kokonaishintaan verrattuna (Naumann et al. 2015). Tämän vuoksi yksi tulevaisuuden epävarmuus liittyy aurinkosähkön varastoinnin kannattavuuteen Suomessa, mikäli myyntisähkön hinta pysyy alhaisena. Mikäli sähköautot yleistyvät laajemmin Suomessa, ne ovat yksi tekninen mahdollisuus aurinkosähkön varastointiin kesäaikana. Ne voisivat myös osaltaan toimia osana yllämainittuja kysynnänjoustoratkaisuja. Toinen työpajassa sivuttu mahdollisuus on maakaasun korvaaminen bio-kaasulla sekä aurinkosähkön avulla tuotetulla synteettisellä maakaasulla.

## *Yhteenveto*

Aurinkosähkön rooli Suomen energiajärjestelmässä on vielä marginaalinen, mutta aurinkosähköjärjestelmien odotetaan yleistyvän huomattavasti lähivuosien aikana. Talvikaudesta johtuen aurinkosähköjärjestelmiä markkinoidaan Suomessa ratkaisuna energiakustannusten pienentämiseen, minkä vuoksi aurinkovoimalat rakennetaan vielä tyypillisesti esimerkiksi omakotitalon, kauppakeskuksen tai teollisuuskiinteistön katolle.

Jotta aurinkosähköjärjestelmien osuus vuotuisesta sähkönkulutuksesta voisi nousta yhteen prosenttiin vuoteen 2030 mennessä, tulisi uusien maavoimaloiden/aurinkopuistojen koko nousta megawattiluokkaan. Tämä vaatisi järjestelmien kustannustason laskua sekä yritysten investointeja teollisuusalueille rakennettaviin aurinkopuistoihin. Koska aurinkosähköjärjestelmät mitoitetaan tyypillisesti sähkönkulutuksen kompensoinnin perusteella, niiden vaikutus sähköverkon toimintaan ei oletettavasti tule samalla tavoin esille kuin Saksassa, jossa aurinkosähköjärjestelmien hetkellinen tuotanto voi muodostaa yli puolet koko maan sähköntuotannosta.

## Lähteet

ABB. 2016. REACT, Photovoltaic inverter with integrated energy storage from ABB. [https://library.e.abb.com/public/82243eb08d7245e8b984571f5059d220/ABB\\_\\_BROCHURE\\_RE-ACT\\_BCB.00134\\_EN%20Rev.A\\_28\\_04\\_2016.pdf](https://library.e.abb.com/public/82243eb08d7245e8b984571f5059d220/ABB__BROCHURE_RE-ACT_BCB.00134_EN%20Rev.A_28_04_2016.pdf)

Agora. 2015. Current and Future Costs of Photovoltaics, Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Kosten-Photovoltaik-2050/AgoraEnergiewende\\_Current\\_and\\_Future\\_Cost\\_of\\_PV\\_Feb2015\\_web.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Kosten-Photovoltaik-2050/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf)

ET. 2016. Energiatietoisuus ry, Tilastot ja julkaisut. <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut>

Fortum. 2016. Virtuaalivoimalaitos. <http://www.fortum.com/fi/konserni/tutkimus-ja-kehitys/virtuaalivoimalaitos/sivut/default.aspx>

GWEC. 2016. Global Wind Report, Annual Market Update 2015. [http://www.gwec.net/wpcontent/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015\\_LR\\_corrected.pdf](http://www.gwec.net/wpcontent/uploads/vip/GWEC-PRstats-2015_LR_corrected.pdf)

IEA. 2014. Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy 2014 Edition. [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolar-PhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolar-PhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf)

IEA PVPS. 2016a. Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2015. [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2015\\_-\\_Final\\_2\\_02.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final_2_02.pdf)

IEA PVPS. 2016b. National Survey Report of PV Power Applications in Finland 2015. [http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam\\_frontend\\_push&docID=3213](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam_frontend_push&docID=3213)

IEA PVPS. 2016c. National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2015. [http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam\\_frontend\\_push&docID=3261](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam_frontend_push&docID=3261)

IEA PVPS. 2016d. Annual Report 2015. [http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6&eID=dam\\_frontend\\_push&docID=3195](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6&eID=dam_frontend_push&docID=3195)

Nauman M., Karl R.C., Truong C.N., Jossen A., Hesse H.C. 2015. Lithium-ion battery cost analysis in PV-household application, in the proceedings of the 9th International Renewable Energy Storage Conference, Düsseldorf, Germany.

Vartiainen E., Masson G., Breyer C. 2015. PV LCOE in Europe 2015-2050, in the proceedings of the 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany

Virte. 2016. Virte Aurinkokatto. <http://www.virtesolar.fi/>

*Tätä raporttia ovat olleet valmistelemassa ja kirjoittamassa Tero Ahonen ja Jero Ahola (Lappeenranta teknillinen yliopisto). Työpajassa aurinkosähköjärjestelmien keskustelun fasilitaattoreina toimivat Karoliina Auvinen (Aalto-yliopisto) ja Päivi Laitila (Motiva), sekä kirjurina Emma Berg (Aalto-yliopisto).*



Tämä julkaisu liittyy Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan Smart Energy Transition (SET) -hankkeeseen (293405) ([www.smartenergytransition.fi](http://www.smartenergytransition.fi)). SET-hanke tutkii, miten Suomi voi hyötyä hajautetun ja vaihtelevan uusiutuvan energian ympärille nousevista murroksellisista teknologioista. Kyse on ratkaisuisista, joissa energiaa voidaan varastoida tai sen tarvetta ohjata vaihtelevan tuotannon mukaan. Näihin ratkaisuihin liittyvät olennaisesti uudet digitaaliset ratkaisut, kuten esineiden internet. Samalla murrokseen liittyy myös kehitys, jossa rakennusten ja liikenteen energian tarve pienenee, energiaomavaraisuus kasvaa, ja rakennukset ja liikennevälineet muodostavat yhä kiinteämmän osan energiajärjestelmää.



ISBN 978-952-60-7270-8 (pdf)  
 ISSN-L 1799-4950  
 ISSN 1799-4950 (painettu)  
 ISSN 1799-4969 (pdf)

**Aalto-yliopisto**  
**Kauppakorkeakoulu**  
**Johtamisen laitos**  
**[www.aalto.fi](http://www.aalto.fi)**

**KAUPPA +  
 TALOUS**

**TAIDE +  
 MUOTOILU +  
 ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +  
 TEKNOLOGIA**

**CROSSOVER**

**DOCTORAL  
 DISSERTATIONS**