

JOUNI HAAPANIEMI

DI, Nuorempi tutkija, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

VILLE TIKKA

DI, Nuorempi tutkija, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

JUHA HAAKANA

TkT, Tutkijatohtori, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

JUKKA LASSILA

TkT, Tutkijaopettaja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

JARMO PARTANEN

Professori, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

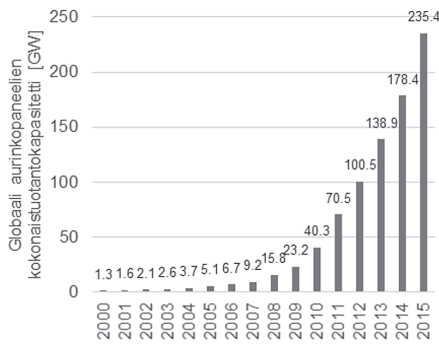
Aurinkosähkön mahdollisuudet maaseudulla

Ihmisten viimeaikaisen ympäristötietoisuuden lisääntymisen johdosta kiinnostus aurinkosähköjärjestelmiä kohtaan on lisääntynyt merkittävästi. Tämä on alkanut näkyä myös pohjoisilla-alueilla, kuten Suomessa. Arvioimme tässä artikkelissa aurinkosähkötutannon potentiaalia suomalaisen maaseutu-ympäristön näkökulmasta. Vaikka aurinkogosta saatavaa energiaa voidaan hyödyntää ja hyödynnetään eri muodoissa (aurinkosähkö, aurinkolämpö, vesivoima, tuulivoima, biopohjainen energia, aaltoenergia), keskitymme tässä artikkelissa aurinkosähkön hyödyntämismahdollisuuksiin Suomen maaseutualueilla. Tutkimus perustuu pääosin julkisiin, vapaasti saatavissa oleviin tietoaisteihin, kuten karttamateriaaleista laskettuihin kattopinta-aloihin. Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että maaseutu-ympäristö on aurinkosähkötutannolle suotuisa ympäristö.

Avainsanat: aurinkosähkö, energian varastointi, energiatehokkuus, älykäs sähköverkko

Maapallon ilmasto on muuttunut vuosittuhansien saatossa hyvinkin voimakkaasti. Viimeisten vuosikymmenten kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen on kiihdyttänyt lyhyen aikavälin muutosnopeutta dramaattisesti, mikä on lisännyt ilmastotietoisuutta ja vaikuttanut energiapolitiikkaan, yhteiskunnalliseen päätöksentekoon ja jossain määrin yksilöiden toimintaan.

Ilmastonmuutos uhkaa nostaa maapallon lämpötiloja ja merenpintaa sulattamalla napajäätiiköitä, minkä seurauksena kasvihuonekaasupäästöihin on alettu kiinnittää enemmän huomiota (Ilmasto-opas). Suomen ilmastopoliittisia toimia ohjaa pääasiassa EU:n ilmastopoliittikka (Ympäristöministeriö 2013), joka pohjautuu pääosin YK:n ilmastopoliittikkaan (YK 1994) sekä Kioton pöytäkirjaan (YK 2005). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteeksi on asetettu EU:ssa vuoteen 2020 mennessä 20 % ja vuoteen 2030 mennessä 40 % vuoden 1990 tasosta. (Ympäristöministeriö 2013). Vuonna 2030 EU:n tasolla kulutetusta energiasta vähintään 27 % tulee olla



Kuva 1. Aurinkosähköjärjestelmien kokonaiskapasiteetin kehitys maailmanlaajuisesti vuosien 2000 ja 2015 välisenä aikana. Vuoden 2015 lukema on arvio. (EPIA 2014, SPE 2015, IHS Technology 2015.)

tuotettu uusiutuvalla energialla. (Eurooppa-neuvosto 2014: 5). Suomen nykyinen hallitus on kirjannut energiapolitiittiseksi tavoitteiksi muun muassa hiilen käytöstä luopumisen energiantuotannossa, uusiutuvan energian käytön lisäämisen 2020-luvulla yli 50 % ja omavaraisuuden kasvattamisen yli 55 prosenttiin (TEM 2015). Uusiutuvalla energiantuotannolle on siis ilmastonuojelun näkökulmasta tarvetta. Aurinkosähkö voisi olla uusiutuvan energian näkökulmasta hyvin potentiaalinen vaihtoehto.

Aurinkosähkö on ympäristöystävällinen ja kustannustehokas tapa tuottaa sähköenergiaa lähellä energian loppukäyttöä. Aurinkoenergian käytön kasvattamista puoltavat tällä hetkellä sekä ilmastolliset tavoitteet että kehittyvä tuotantoteknologia, jonka hinta on laskenut merkittävästi viime vuosien aikana. Esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän hinta on puolittunut muutamassa vuodessa. Kun kotitalouskokuoloikan järjestelmä maksoi Saksassa vuonna 2010 noin 3000 €/kWp, hinta on nykyisin alle puolet siitä (Fraunhofer 2015: 9). Suomessa järjestelmien hinnat ovat hieman tätä korkeampia.

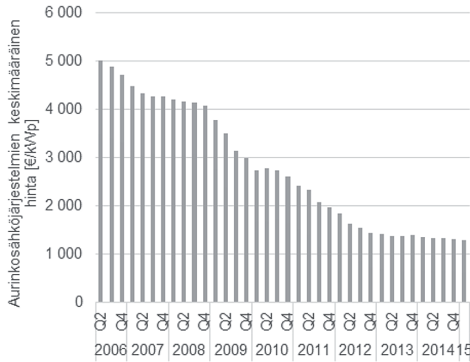
Tässä artikkelissa kuvaamme aurinkosähkön laajamittaisia käyttömahdollisuuksia hyödyntäen julkisia tietoaineistoja muun muassa asuinrakennusten sijainneista, kattopinta-aloista sekä rakennusten ilmansuunnista. Tutkimuksemme osoittaa, että maaseudun aurinkosähköpotentiaali on Suomessa merkittävä. Tulokset edesauttavat myös

sähkönjakeluinfrastruktuurin kustannustehokkaampaa toteutusta tulevaisuudessa, kun aurinkosähkön tuotantopotentiaali on kotitalouskohtaisesti määritettävissä. Tämä hyödyttää kaikkia sähkökäyttäjiä.

Taustaa aurinkosähköstä ja sen yleistyisestä

Aurinkosähkön suosio on kasvanut huomattavalla vauhdilla viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kuvassa 1. on esitetty maailmalla vuosien 2000–2015 välisenä aikana asennettujen aurinkosähkövoimaloiden määrä kumulatiivisena kertymänä. Tilanteesta viime vuosien aikana kertoo hyvin se, että aurinkosähkötuotannon toteutuneet asennusmäärät ovat lopulta ylittäneet lähestulkoon kaikki ennusteet (Metayer ym. 2015).

Viimeisen kymmenen vuoden aikana asennettujen aurinkosähkövoimaloiden kapasiteetti on kasvanut monikymmenkertaiseksi, ja vuoden 2015 lopussa niiden kokonaiskapasiteetti oli jo yli 200 GW. Viime vuosina asennettu kapasiteetti on ollut noin 30–40 GW/vuosi, mikä vastaa suuruudeltaan noin kaksinkertaisesti Suomen sähkönkulutuksen huipputehoa. Voimakkaan suosion kasvun taustalla ovat olleet erityisesti erilaiset kansalliset tukimekanismit, joilla aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta on parannettu. Kysynnän kasvu on mahdollistanut aurinkosähköjärjestelmien tuotantomäärien kasvun ja järjestelmien merkittävän teknisen kehityksen, jotka ovat johtaneet aurinkosähköjärjestelmien yksikköhintojen laskuun. Järjestelmän hinta on pudonnut vuoden 2006 hintatasosta (noin 5000 €/kW) noin neljännekseen, niin että aurinkosähköjärjestelmien hintataso oli vuonna 2015 Saksassa noin 1300 €/kW (Kuva 2). Keskimääräinen vuotuinen hinnanalasku on ollut 14 % vuodesta 2006 lähtien. Aurinkosähköjärjestelmän kokonaishinta muodostuu varsinaisista aurinkopaneeleista, aurinkosähköjärjestelmään kuuluvasta tehoelektroniikasta sekä laitteiston kattoasennuksesta. Hinnoina ei ole mukana tukia, vaan ne kuvastavat sitä hintaa, jonka järjestelmän asentaminen pientalouksiin on keskimäärin todellisuudessa maksanut.



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmien (10–100 kWp) hintakehitys Saksassa vuosien 2006 ja 2015 välillä (Fraunhofer 2015: 9).

Pitkällä aikavälillä aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys on noudattanut niin sanottua oppimiskäyrää, jonka mukaan maailmalla asennetun kokonaiskapasiteetin kaksinkertaistuessa aurinkopaneelien hinta on laskenut 20 %. Hintakehitys on ollut oppimiskäyrän mukainen viimeisten 34 vuoden ajan (Fraunhofer 2015: 10). Samantyyppistä oppimiskäyrää on noudattanut myös Li-Ion akkujärjestelmien kehitys (Nykvist & Nilsson 2015).

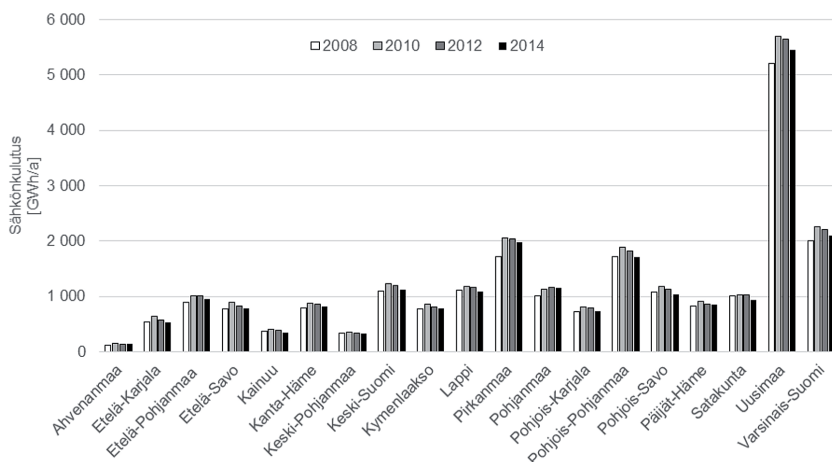
Aurinkosähkön hyödyntämisen ja kustannuste-hokkuuden arvioimisen taustalle tarvitaan kattavat tiedot sähköenergian nykyisestä käytöstä. Tilas-tojen mukaan asumisen ja maatalouden sähkönkul-

lutuksen osuus on vaihdellut välillä 22–24 TWh/a vuosina 2007–2014, mikä vastaa noin 27 % Suomen kokonaissähkökulutuksesta. Tämä kulutus vastaa noin 1,1 miljoonan sähkölämmiteisen omakotitalon vuosittaista sähkökulutusta.

Maakunnittain sähkökulutuksessa on eroja, esimerkiksi Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Päijät-Hämeen ja Pohjois-Pohjanmaa erottuvat muuhun maahan verrattuna suuremman asukasmäärän vuoksi (Kuva 3). Vaikka maakuntien välillä on merkittäviäkin eroja, on asumisen ja maatalouden sähkökulutus asukasta kohti samalla tasolla (4–5 MWh/a) lähes kaikissa maakunnissa. Maakunnista vain Etelä-Savo, Lappi ja Pohjanmaa erottuvat väestöön nähden hieman suuremmilla kulutuksilla. Tähän voi vaikuttaa muun muassa matkailu ja loma-asutus kyseisissä maakunnissa. Niillä onkin myönteinen vaikutus aurinkosähkön omakäyttöasteeseen, koska loma-asunnoilla käytetään sähköä usein juuri aurinkosähkön kannalta otolliseen aikaan, kesällä.

Aurinkosähkön mahdollisuudet Suomessa ja Suomen maaseudulla

Aurinkosähkön parhaat tuotantoedellytykset ovat luonnollisesti siellä, missä aurinko paistaa kirkkaimmin ja vuotuinen valosäteily määrä (irradianssi) on suurin. Euroopassa parhaat edellytykset



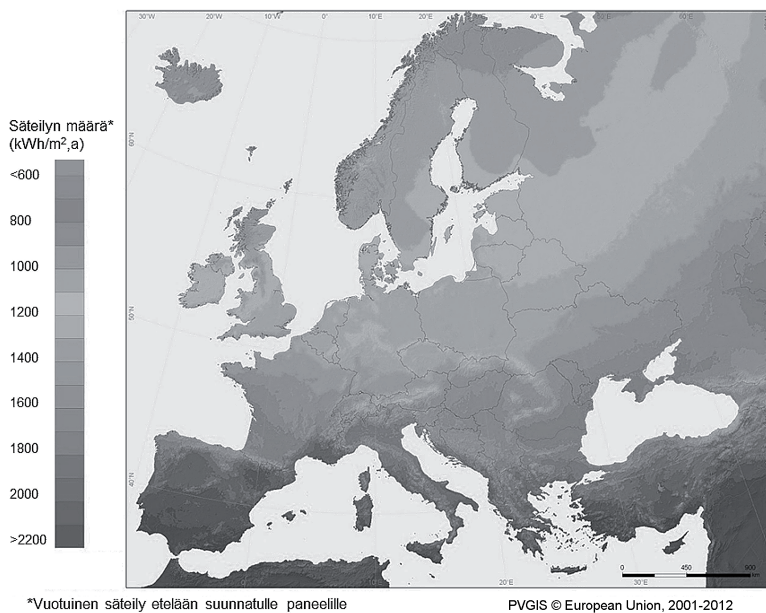
Kuva 3 Asumisen ja maatalouden sähkökulutuksen kehittyminen viime vuosina maakunnittain. (Energiateollisuus 2015.)

tähän ovat eteläisessä osassa Eurooppaa. Ero vuotuisessa säteilymäärässä eteläisen Euroopan, esimerkiksi Espanja, ja Pohjois-Euroopan, esimerkiksi Suomen Lapin välillä on yli kaksinkertainen (Kuva 4). Suomen korkeudella yhdelle neliölle tulevan aurinkosäteilyn teho on aurinkoisena päivänä noin 1000 W. Nykyisin markkinoilla olevat aurinkopaneelit mahdollistavat maksimissaan noin 120–160 W:n tuotantotehon yhdelle paneelineliömetrille, kun otetaan paneelien hyötysuhteen lisäksi huomioon myös muut järjestelmässä tapahtuvat häviöt. Asennetun paneelikapasiteetin hyötysuhde on tällöin 12–17 %. Tällä tavoin yhden kilowatin huipputehon saavuttaminen edellyttää noin 6–7 m² edestä paneeleita. Eteläisessä Suomessa vuotuinen säteilymäärä on tasolla, joka mahdollistaa noin 800–900 kWh:n tuotannon jokaista asennettua kilowattia kohden. Suomen pohjoisosissa vuotuinen tuotanto kilowattia kohden on puolestaan runsaat 700 kWh. Pohjoisissa oloissa matala lämpötila parantaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta ja tasoiittaa tuotantoeroa verrattuna eteläisempiin asennuksiin (Dubey ym 2013).

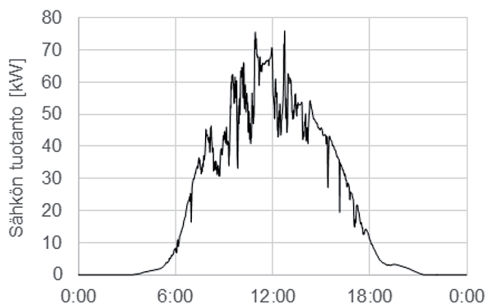
Järjestelmän asennusympäristö ja -tapa vaikuttavat todelliseen sähköntuotantokykyyn. Kotitalousympäristössä aurinkosähköjärjestelmä (paneelit) asennetaan useimmissa tapauksissa kattorakenteisiin, jolloin kattorakenne (lapeellinen tai tasakatto), lappeen kulma ja rakennuksen aseoituminen itä-länsi -suunnassa vaikuttavat sähkön tuotantokykyyn. Tämän lisäksi mahdolliset varjostukset, kuten rakennusta ympäröivä puusto ja katolla olevat rakenteet (esim. hormit ja antennit), voivat vaikuttaa tuotantomääriin. Sähköntuotanto keskittyy pääosin päiväaikaan ja pilvisyydellä on merkittävä vaikutus voimalan sähköntuotantoon (Kuva 5). Tuotannon vaihtelu voi olla hyvin nopeaa yksittäistä tuotantolaitosta tarkasteltaessa.

Aurinkoenergian tuet Suomessa

Suomessa on mahdollista hakea investointitukea uusiutuviin energialähteisiin ja energiatehokkuuteen liittyviin investointeihin maksimissaan 40 % investoinnin arvosta. Tukea voidaan myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille muun



Kuva 4. Vuotuinen auringon säteilymäärä Euroopassa. (Šúri ym. 2007, Huld ym. 2012.)



Kuva 5. Aurinkovoimalan sähköntuotantokäyrä puolipilvisenä kesäpäivänä.

muussa sellaisiin hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä. Tyypillinen aurinkosähköjärjestelmien tuki oli Motivan (2015) mukaan vuonna 2015 ollut 30 %. Tämän suuruinen tuki pienentää laitteiston hankintakustannuksia merkittävästi kohentaa järjestelmän kannattavuutta. Lisäksi maatalouden harjoittamiseen on mahdollista hakea erillistä maatalouden investointitukea, jota voidaan myöntää 40 % uusiutuvan energian tuotantolaitteiston hyväksytävistä kustannuksista (Maaseutuvirasto 2016). Maataloudelle kohdennettuja tukia hallinnoi Maaseutuvirasto.

Kotitalouksien on mahdollista saada kotitalousvähenystä aurinkosähköjärjestelmän arvonlisäverollisesta työn kustannuksesta. Kotitalousvähenyksen osuus on 45 % työn osuudesta vuonna 2016 (Verottaja 2016). Lisäksi kotitalouksien on ollut mahdollista hakea Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskuksen (ARA) myöntämää harkinnan varaista energia-avustusta enintään 25 % investointikustannuksista. Tuen myöntämistä rajoittavat kuitenkin ruokakunnan tulot (ARA 2016).

Aurinkosähköpotentiaali maaseudulla – menetelmäkuvaus

Tässä artikkelissa esitetty aurinkosähköpotentiaalinarviointi perustuu maaseudulla sijaitsevien kattopinta-alojen hyödyntämiseen aurinkosähköntuotannossa. Olemme käyttäneet tutkimuksemme

julkisesti vapaasti saatavissa olevia tausta-aineistoja. Seuraavassa on kuvattu tarkasteluprosessia yksityiskohtaisemmin.

Kattopinta-alojen määrittäminen

Tarkastelu on rajoitettu kattorakenteisiin. Aurinkopaneeleita voidaan asentaa myös maantasoon erillisille telineille, mutta tässä tutkimuksessa muut kuin kattoasennukset on jätetty tarkastelujen ulkopuolelle. Rakennustiedot kattopinta-alojen ja asennusilmasuuntien määrittämistä varten on haettu Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta (Maanmittauslaitos 2016a). Maastotietokanta sisältää muun muassa rakennuksien koordinaattitiedot, rakennustyyppin sekä kerros määrän. Rakennukset on jaettu tietokannassa luokkiin: asuinrakennukset, liike- tai julkiset rakennukset, lomarakennukset, teolliset rakennukset, kirkot ja kirkolliset rakennukset ja muut rakennukset (Maanmittauslaitos 2016c). Tässä tutkimuksessa ovat mukana asuinrakennusten lisäksi luokan ”muut” rakennukset, joka sisältää esimerkiksi pihapiirien varastorakennukset, ladot ja navetat.

Yhteensä aineistossa on hieman yli 5 miljoonaa rakennusta, joista asuinrakennuksia on 1,3 miljoonaa. Aineistossa ei ole tietoa katon tyypistä (harjakatto, tasakatto jne.). Tarkasteluissa on oletettu, että kaikki katot ovat harjakattoja ja että katon eteläisempi lape olisi hyödynnettävissä aurinkosähkön tuotannossa. Tarkasteluissa ei ole myöskään huomioitu mahdollisia varjostuksia (puut, muut rakenteet). Näillä voi olla yksittäisissä tapauksissa merkittävä vaikutus sähkön tuotantoon ja sitä kautta järjestelmän taloudelliseen kannattavuuteen.

Rakennusten pinta-ala ja katon lappeen suunta on määritetty rakennusten kulmapisteiden avulla. Jokaisesta rakennuksesta on määritetty pisin sivu vierekkäisten kulmapisteiden perusteella, minkä perusteella harjakaton lappeen on oletettu olevan rakennuksen pisimmän sivun kanssa kohtisuorassa. Kattojen kaltevuuden suhdelukuna on käytetty 1:3, jolloin katon kaltevuus on noin 18°. Tämän oletuksen seurauksena todellinen kattopinta-ala on

noin 5 % suurempi kuin vaakatasoisen katon pinta-ala.

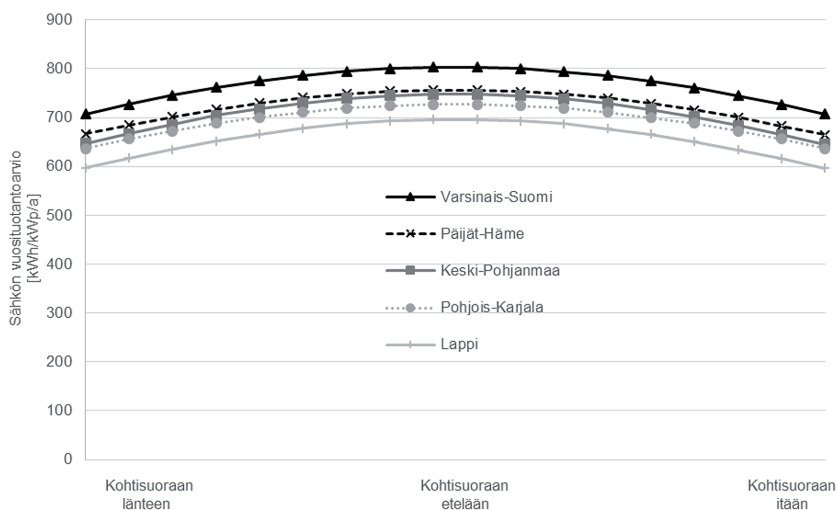
Tutkimuksessa rakennukset on jaettu maakunnittain ja kunnittain. Maaseudun rakennukset on erotettu muista rakennuksista Maanmittauslaitoksen tarjoaman aineiston taajamajaon perusteella. Kaikkien Suomessa olevien rakennusten kattojen vaakatasoinen yhteispinta-ala on noin 660 miljoonaa m². Tästä asuinrakennuksien osuus on 230 miljoonaa m². Taajamien ulkopuolella rakennuksia on kaikkiaan 392 miljoonaa m², joista asuinrakennuksia 87 miljoonaa m². Tämän tutkimuksen pääpaino on erityisesti haja-asutusalueiden aurinkosähkötuotannon potentiaalın arvioimisessa, ja siksi huomio keskittyy taajamien ulkopuoliseen rakennuskantaan.

Vuosittaisen aurinkosähkön tuotantokapasiteetin arviointi

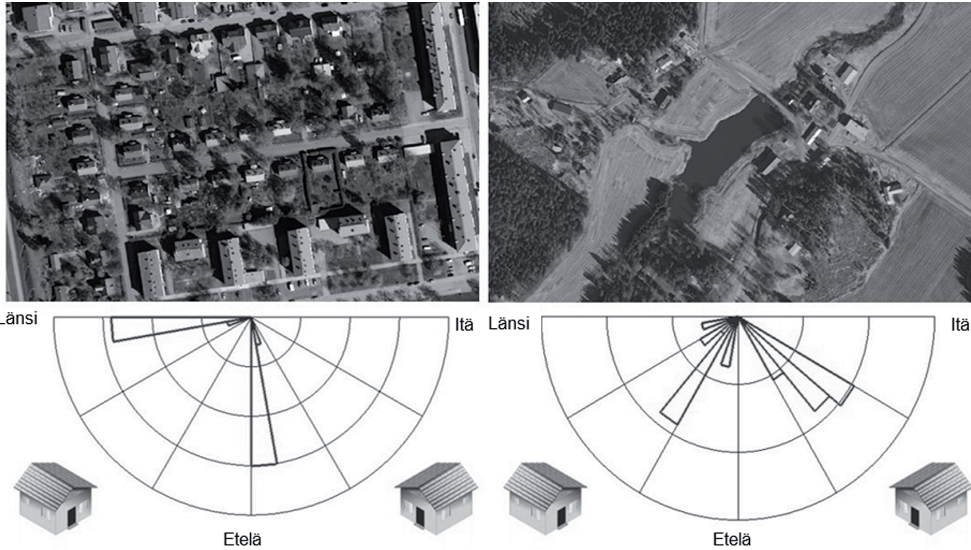
Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti riippuu voimakkaasti järjestelmän maantieteellisestä sijainnista. Etelässä aurinko paistaa voimakkaammin kuin pohjoisessa. Maakuntien yleiset aurinkosäteilymäärät ja sitä kautta tuotantoennusteet erisuuntaisille katoille on määritetty Euroopan komission tarjoamasta internet-palvelusta (JRC 2016). Palvelu antaa sijainti- ja asennustapatietojen perusteella

vuoden tuotantoennusteen asennettua paneelien huipputehoa kohden. Tarkastelussa on oletettu kaikki paneelit asennettavaksi katon lappeen myötäisesti, eli noin 18° kallistukseen. Kuvassa 6. on esitettyä tuotantoennusteet 1 kW:n paneelijärjestelmälle eri ilmansuuntiin oleville katoille asennettuna viiden maakunnan alueella.

Maakuntien välillä on eroja aurinkosähkön tuotantoarvioissa, ja asennussuunnalla on merkittävä vaikutus tuotantoennusteeseen (Kuva 6). Esimerkiksi täysin etelään suunnattu paneeli mahdollistaa noin 14 % suuremman vuosituotannon verrattuna täysin itään tai länteen suunnattuun paneeliin. Lapin ja Varsinais-Suomen välillä ero on vuosituotannossa noin 15 %. Mikäli paneelit asennetaan suurempaan kallistuskulmaan, asennussuunnan merkitys kasvaa. Asennussuunta ei kuitenkaan suoraan sanele järjestelmän taloudellista kannattavuutta, vaikka kohtisuoraan etelään asennettu järjestelmä tuottaisikin suurimman kokonaiskilowattituntimäärän. Etelästä poikkeava asennussuunta vaikuttaa tuotantoprofiiliin, ja tällä voi olla myönteinen vaikutus tuotetun sähkön omakäyttöasteeseen. Mikäli sähkönkäyttö ajoittuu taloudessa enemmän iltapäivään kuin keskipäivään, länteen suunnatun aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähkön omakäyttöaste voi olla hyvinkin korkea.



Kuva 6. Tarkastelussa käytetty vuosituotantoennuste viidessä eri maakunnassa 1 kW:n aurinkosähköjärjestelmälle eri ilmansuuntiin asennettuna.



Kuva 7. Esimerkkikuva eräiltä asuinalueilta eri ilmansuuntiin olevien rakennusten kattojen kokonaismäärästä. Vasemmanpuoleisessa ilmakuvassa ja jakaumassa kaupunkialue ja oikeanpuoleisessa maaseutualue. Sisältää Maanmittauslaitoksen ortoilmakuva 12/2010 ja 12/2012 aineistoa. (Maanmittauslaitos 2016b)

Aurinkopaneelien suunnan vaikutus tuotantoon

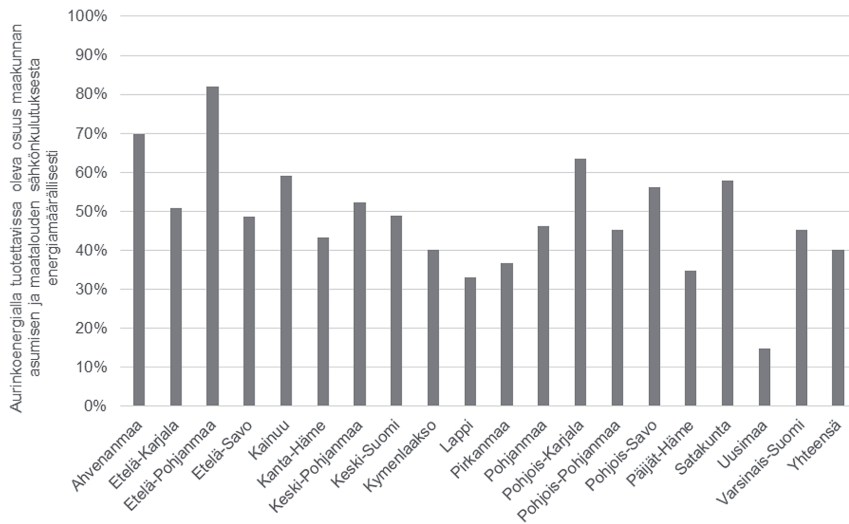
Yhteen koottujen rakennustietojen perusteella voidaan todeta, että rakennusten ilmansuunnat jakaantuvat maakunnittain melko tasaisesti. Kuitenkin joitakin poikkeuksia löytyy. Esimerkiksi Ahvenanmaalla yli 80 %:ssa rakennuksista katot on suunnattu suoraan etelään ja itään/länteen.

Kaupunkialueella rakennukset asettuvat korttelin teiden suuntaisesti kaavoitusta noudattaen, kun taas maaseudulla rakennukset voivat jakautua pienelläkin alueella tasaisemmin eri ilmansuuntiin (Kuva 7). Maaseudulla yksittäisellä sähkökäyttäjällä voi olla todennäköisemmin enemmän isoja piharakennuksia, jotka tarjoavat kattoasennuksille useita eri vaihtoehtoja. Harvempaan asutuilla alueilla on myös epätodennäköisempää, että esimerkiksi lähialueen rakennukset tai pihapuut varjostaisivat omaa kattoa.

Tuotantopotentiaali

Olemme määritelleet aurinkosähkön tuotantopotentiaalit kaikille aineistossa oleville rakennuksille. Maaseudun aurinkotuotantopotentiaali on tarkastelussa määritetty maaseudun asuinrakennusten sekä niiden välittömässä läheisyydessä (maksimissaan 100 metrin etäisyydellä asuinrakennuksesta) sijaitsevien rakennusten mukaan.

Maaseudulla on merkittävä potentiaali aurinkosähkön tuotantoon (Kuva 8). Tämä selittyy maaseutuympäristön suurella rakennusmäärällä ja kattopinta-alalla. Korkein osuus maaseudulla tuotetulle aurinkosähkölle voitaisiin saavuttaa Etelä-Pohjanmaalla, jossa se voisi suurimmillaan kattaa energiamäärällisesti noin 80 % maakunnan asumisen ja maatalouden vuotuisesta sähkönkulutuksesta. Asumisen ja maatalouden sähkönkulutus ajoittuu kuitenkin enimmäkseen talviaikaan, joten tuotantoa ei pystyttäisi tässä määrin suoraan käyttämään asumisen ja maatalouden kulutukseen. Pienimmillään maaseudulla tuotetun sähkön osuus on Uudellamaalla, jossa osuus on noin 15 %. Uudenmaan matala osuus selittyy sillä, että



Kuva 8. Maaseudun asuinrakennuksissa ja niiden läheisyydessä olevien muiden rakennusten katoille asennettavien aurinkosähköjärjestelmien sähköntuotantopotentiaalın suhteessa maakunnan sähkökäyttöön (asuminen ja maatalous).

maakunnassa on suhteessa paljon kaupungeissa asuvaa väestöä.

On kuitenkin huomattava, että esittämillämme aurinkoenergian kymmenien prosenttien tuotantopotentiaaleilla suhteessa sähkön kulutukseen on hyvin todennäköistä, että läheskään kaikkea tuotetusta aurinkosähköstä ei pystyttäisi käyttämään paikallisesti, vaan merkittävä osa tuotetusta sähköstä siirrettäisiin käytettäväksi muualla. Tällä voi olla sähköjaketuverkkoihin merkittäviä vaikutuksia.

Maaseudun ja taajamien sähköntuotantopotentiaaleissa on merkittävä ero. Maaseudun asuinrakennusten ja niiden läheisyydessä olevien rakennusten aurinkosähköpotentiaali on suurempi kuin maakunnan kaikkien asuinrakennuksien yhteenlaskettu potentiaali. Ilmiö on havaittavissa lähes kaikissa maakunnissa. Käytännössä ainoastaan Uudellamaalla, jossa asutus ja rakennuskanta ovat keskittyneet voimakkaasti taajamiin, maakunnan kaikkien asuinrakennusten lukumäärä ylittää selvästi maaseudun rakennusmäärän. Maaseudun muiden rakennusten käytettävyydessä voi kuitenkin olla joitakin käytännön rajoitteita, mutta tästä huolimatta maaseutuympäristössä aurinkosähkön asennuspotentiaali on hyvin merkittävä.

Sähkön käyttö – tuotanto omaan käyttöön vai takaisin verkkoon?

Suomessa sähkön kulutuksen huippu (n. 15 000 MW) saavutetaan talviaikaan. Sähkön tarve on suuri myös kevät- ja kesäaikaan, jolloin aurinkosähkön tuottamismahdollisuudet ovat paremmat. Vuorokausitasolla tarkasteltuna sähkökäytölle on tyypillistä, että kulutuksen huippu ajoittuu iltapäivään ja alkuiltaan, jolloin myös aurinkosähköntuotanto voisi olla merkittävää.

Yksittäisen sähkökäyttäjän kohdalla kuormitus voi vaihdella hetimitään merkittävästi, jolloin syntyy helposti tilanne, että osa tuotetusta sähköstä joudutaan syöttämään ylijäämäsihtöön sähköverkkoon. Tällöin merkittävä osa omatuotetun sähkön kustannushyödyistä voi jäädä saamatta. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että aurinkosähkön pientuotannon taloudellinen kannattavuus on sitä korkeampi, mitä paremmin tuotettu sähkö voidaan hyödyntää itse. Tuotettu aurinkosähkö vähentää verkosta otettavan sähkön määrää pienentäen tällöin sähkön siirron kustannusta sekä myös sähköenergiasta maksettavaa sähköveroä.

Jotta tuotettu sähkö voitaisiin käyttää suurelta osin omassa kulutuksessa, kuormitusprofiilin ja aurinkosähkön tuotantoprofiilin pitää olla mahdollisimman yhtenäiset. Toinen vaihtoehto sähkön tuotannon omakäytön lisäämiseksi on varastoida tuotettua energiaa esimerkiksi akkuihin, jolloin päiväaikaan tuotettu ja varastoitu energia voidaan käyttää myöhempänä ajankohtana. Toisaalta sähköenergiaa voidaan jo nyt varastoida ilman akkuja esimerkiksi lämpönä lämminvesi- tai käyttövesivaraajiin. Tavanomaisesti vesivaraajia lämmitetään 2-aikatariffihjauksen piirissä yöaikaan.

Omatuotannon kustannushyödyt

Omatuotetun sähkön kustannushyöty sähkön loppukäyttäjälle muodostuu ostosähkön, sähkön siirron ja sähköveron kustannussäästöistä. Jos kaikki tuotettu sähkö voidaan hyödyntää itse, asiakkaan saama hyöty on sähkön kokonaishinta kerrottuna käytetyllä energialla. Sähköenergian kokonaishinta, jos perusmaksuja ei huomioida, on tyypillisesti toistaiseksi voimassa olevalla yksiaika-sähköllä noin 11–13 snt/kWh, josta sähkönmyyntisopimuksen osuus on noin 50 %, sähkönsiirron noin 30 % ja sähköveron osuus noin 20 % (Energiavirasto 2016). Sähkönmyyntisopimus, paikallisen verkkoyhtiön hinnoitteluvallinnat ja asiakkaan valitsema tariffityyppi (yksi- tai kaksiaikatariffi) vaikuttavat kuitenkin paljon asiakkaan todelliseen sähköenergian kokonaishintaan.

Aurinkosähkön tuotantokustannus on 7,1 snt/kWh realistisella 25 vuoden pitoajalla (Paavola 2012, Linnamurto 2015), kun järjestelmän yksikkökustannus on 1500 €/kWp ja vuotuinen tuotettu sähköenergia on 850 kWh/kWp,a. Tuotantokustannus on kilpailukykyinen verrattaessa kotitaloussähkön reilun 10 snt/kWh ostohintaan. Tuotantokustannus asettuu samalle tasolle kuin esimerkiksi Auvinen ja Jalas (2016) esittävät.

Sähköyhtiöt korvaavat vaihtelevin periaattein verkkoon takaisin syötettyä sähköä (niin sanottua ylijäämä sähköä), mutta korvaus on yleensä pieni verrattuna kotitalousasiakkaiden maksamaan sähkön kokonaishintaan. Tyypillinen korvausmalli on, että sähköyhtiö ostaa asiakkaan tuottaman sähköenergian sähkön pörssi hinnalla, josta on

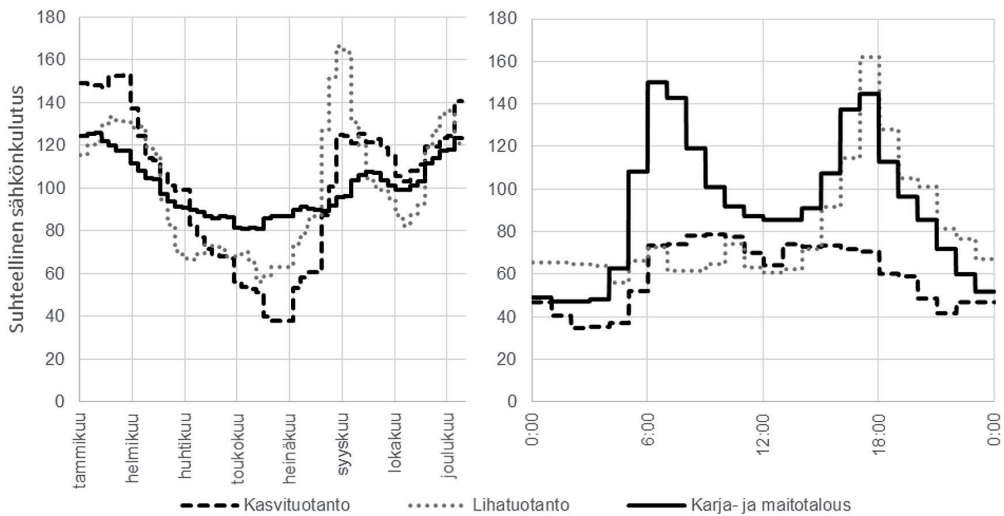
vähennetty sähköyhtiön välityspalkkio. Kun sähkön pörssi hintojen keskiarvo vuonna 2014 oli 3,6 snt/kWh ja vuonna 2015 3,0 snt/kWh (Nordpool 2015), voidaan todeta sähkön verkkoon myynnistä saatavien hyötyjen olevan varsin pienet verrattuna omaan käyttöön tuotetun sähkön kustannushyötyihin. Asiakkaan kannalta edullisinta olisikin, jos verkkoon syötetyn sähkön voisi vähentää muuna aikana kulutetusta sähköstä, jolloin asiakas saisi täysimääräisen kustannushyödyn myös verkkoon syötetystä sähköstä. Tällöin puhutaan ns. nettolaskutuksesta (Lähienergialiitto 2014).

Maaseudun sähkön käytön erityispiirteitä

Maaseudulla merkittävä osa sähköenergiasta käytetään maatalouteen. Maatilojen sähkönkulutus riippuu vahvasti siitä, minkälaista maataloutta tilalla on. Esimerkiksi maitotiloilla suurimmat sähkön kulutuskohteet ovat lypsylaitteisto, vedenlämmitys ja maidon jäähditys (Rajaniemi 2014). Sianlihan tuotannossa merkittävimpiä energiankäyttökohteita ovat lämmitys ja ilmanvaihto (Mikkola 2014: 3). Viljaa tuottavilla tiloilla sähkönkulutuksen kannalta merkittävä tekijä voi olla syksyinen viljan kuivaaminen.

Eri maatalouden tyypeille (maidon tuotanto, lihan tuotanto ja viljan tuotanto) on määritetty keskimääräiset sähkönkulutuskäyrät kokonaiselle vuodelle ja yhdelle elokuun arkipäivälle (Kuva 9). Jakaumat sisältävät myös sähkölämmitteisen asumisen kulutuksen mautiloilla. Kulutuskäyrät on julkaissut 1990-luvun alussa Sähkölaitosyhdistys (nykyisin Sähköenergialiitto SENER) (Suomen Sähkölaitosyhdistys 1992).

Eri maataloudenalojen sähkönkulutuksen tyyppikäyristä havaitaan, että vuorokausivaihtelut ovat suuret. Kulutuksesta on havaittavissa tietyt rutiinit, jotka vaikuttavat sekä maatilojen kausittaiseen että päivittäiseen sähkön käyttöön. Kausivaihtelu on erityisen voimakasta viljatiljoilla, joilla on elo- syyskuussa voimakas, viljan kuivauksesta johtuva piikki sähkön kulutuksessa. Päivittäisessä sähkönkäytössä voidaan havaita, että maidontuottajilla aamulypsy aiheuttaa kulutuspiikin aamulla kello 6:n aikoihin



Kuva 9. Sähkönkulutuksen jakautuminen keskimääräisesti erilaisilla maataloilla sisältäen sähkölämmitteisen asumisen sähkönkulutuksen. Esitetyt arvot ovat vasemmanpuoleisessa kuvassa viikkokeskiarvoja ja oikeanpuoleisessa kesäpäivän tuntikeskiarvoja. (Suomen Sähkölaitosyhdistys 1992.)

ja iltalypsy vastaavasti kulutuspiikin kello 16:n aikoihin. Muina aikoina kulutus on vähäisempää.

Kuormituskäyrien perusteella maidon- ja lihan tuottajien voisi olla järkevää asentaa aurinkopaneelit enemmän ilta-aurinkoon päin. On kuitenkin huomioitava, että sähkönkulutuksen tyypikuormituskäyrä kuvaa keskimääräistä käyttäjää kyseisessä asiakasryhmässä. Yksittäisen sähkönkäyttäjän kuormitusprofiili voi poiketa merkittävästikin asiakasryhmän keskimääräisistä kuormitusprofileista. Nykyisin asiakkaiden sähkönkulutusta mitataan etäluettavilla AMR-mittareilla (*Automatic Meter Reading*), ja asiakas saa paikalliselta verkkoyhtiöltä tiedon toteutuneesta kulutuksesta tuntitasolla. Tätä tietoa voidaan hyödyntää aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisessa.

Tulevaisuuden aurinkosähköpotentiaali

Aurinkoenergian yleistymisellä voi tulevaisuudessa olla vaikutuksia sähkön kulutustottumuksien kehittymiseen. Yksi merkittävä kehitysuunta aurinkosähkön hyödynnettävyyden kehittämisessä ovat sähköenergiavarastot. Energianvarastointitek-

nologia on kehittynyt aurinkosähköjärjestelmien rinnalla nopeasti, mutta toistaiseksi sen kustannukset eivät ole soveltuneet sähköenergian varastointiin sähköverkoissa. Tähän on kuitenkin tulossa muutos tulevina vuosina, jolloin myös aurinkoenergian omakäyttömahdollisuudet kohentuvat merkittävästi. Energian varastoinnin kehittymisellä voi olla myös merkittäviä vaikutuksia sähkön toimitusvarmuuden kohentumiseen maaseutuymppäristössä.

Edullisen aurinkoenergian avulla myös erilaiset maatalouden sähkö- ja hybridityökoneet voisivat yleistyä. Sopivien sähköenergian varastointiratkaisujen kanssa uusiutuvaa tuotantoa voitaisiin hyödyntää myös työkonetyössä. Työkoneiden sähkö- ja hybridiratkaisujen yleistymistä tukevat myös työkoneiden dieselmoottorien päästörajotukset (Euroopan komissio 2014). Maatalouden työkoneiden lisäksi metsätyökoneiden akuissa voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti hyödyntää aurinkoenergiaa.

Yhteiskunnalliset vaikutukset

Aurinkosähkön tuotannon yleistymisellä on yhteiskunnallisesti monenlaisia vaikutuksia. Vaikutuksia voidaan havaita esimerkiksi energiaomavaraisuuden muutoksessa sekä yksilötasolla että valtakunnallisesti, kansantaloudellisesta näkökulmasta työllisyydessä ja sähkönjakelun toimitusvarmuuden paranemisessa.

Energiaomavaraisuuden kasvattaminen

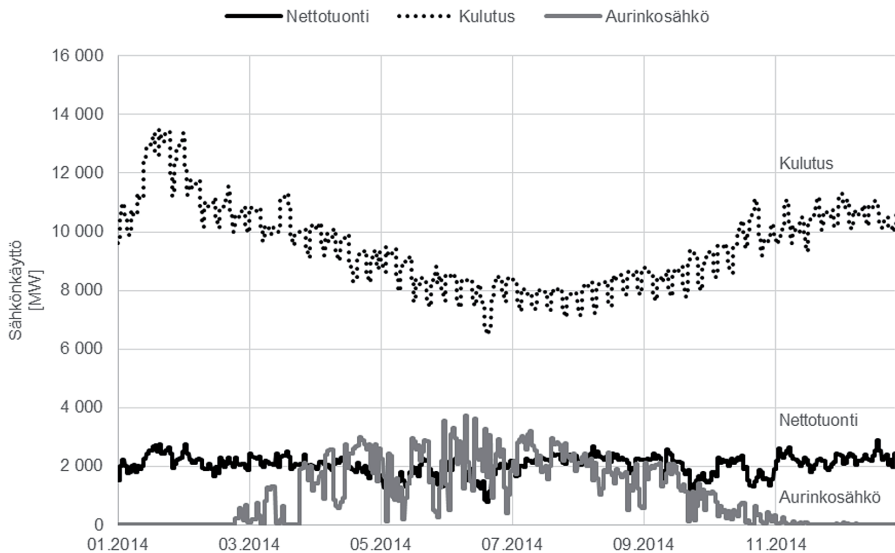
Aurinkosähkön yleistymisen kasvattaisi energiaomavaraisuutta sekä yksilön tasolla että valtakunnallisesti. Nykyisin Suomi on suuren osan ajasta sähkön nettotuojia. Esimerkiksi vuonna 2014 Suomeen tuotiin yhteensä noin 21 TWh sähköenergiaa. Samana vuonna sähköä vietiin ulkomaille noin 4 TWh (Energiateollisuus 2015c). Kuvassa 10. on esitetty sähkönkulutus ja nettotuonti Suomessa vuonna 2014 sekä arvio aurinkosähkön tuotantopotentiaalista toteutettuina kattoasennuksina. Tuotantopotentiaalinen arviointi perustuu Lappeenrannan teknillisen yliopistolla asennetun suurehkon aurinkosähköjärjestelmän

toteutuneisiin tuotantomääriin. Toteutuneet aurinkoenergian tuotantomäärät on skaalattu vastaamaan maaseudun tuotantopotentiaalia.

Suomi on ollut sähkön nettotuojia tasaisesti ympäri vuoden. Aurinkosähkön avulla tuontia voitaisiin vähentää merkittävästi maaliskuun alun ja lokakuun lopun välisenä aikana ja kesäaikaan tuonti voitaisiin parhaassa tapauksessa korvata kokonaan aurinkosähköllä. Vesivoimaa voitaisiin myös mahdollisesti säästää vastaamaan myöhempään kulutus- ja sääätarpeeseen varsinkin kuivempina vuosina. Toisaalta aurinkosähkön vaihtelevuus aiheuttaa myös tarvetta säätövoimalle, joka merkittävässä osin on vesivoimaa.

Uusiutuvaa energiaa ja kestävä kehitystä ruokkivan tietoisuuden ja osaamisen lisääntyminen kyläyhteisöissä

Iiro Grönberg havaitsi Pro gradu -tutkielmassaan, että osa aurinkopaneeleita hankkineista kuluttajista kiinnostui muuttamaan kulutustaan aurinkosähköntuotantoa vastaavaksi. Tämän lisäksi kiinnostus energia-asioihin lisääntyi, vaikkakin



Kuva 10. Suomen sähkönkulutus, ja -nettotuonti vuonna 2014 päiväkeskiarvoina (Energiateollisuus 2015b) sekä ennuste aurinkosähkön maaseudun potentiaalista.

suurimmat intressit aurinkopaneelien hankkimiseen olivat taloudellisia (Grönberg 2014).

Aurinkosähköjärjestelmien yleistymisellä voi olla myönteisiä vaikutuksia maaseudun työllistämismahdollisuuksiin. Työvoimaa tarvitaan esimerkiksi aurinkopaneelien asennuksessa ja suunnittelussa sekä järjestelmän sähköteknisissä kytkennöissä. Nykyisin aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja asentaminen työllistävät Suomessa noin 20–30 henkilötyövuotta asennettua megawattia kohden. Maissa, joissa asentamisesta on tullut jo vakiintuneempaa, työllistävyys on noin 10–20 henkilötyövuotta/MW. Työllistämisaikutusta kotimaassa vähentää se, että kotitalouksiin asennettavien järjestelmien komponentit valmistetaan pääosin ulkomailla. (Gaia Consulting Oy 2014: 4)

Sähkön toimitusvarmuuden paraneminen

Sähkön toimitusvarmuus ja siihen liittyvät ongelmat nousevat aika ajoin otsikoihin erityisesti maaseutuympäristössä. Syynä tähän on nykyisen sähköjakelujärjestelmän haavoittuvuus metsäisessä ympäristössä. Aurinkosähkö, joka tuotetaan lähellä sähköenergian loppukäyttöä, parantaa sähkön saatavuutta. Tämä vaatii toki muutakin teknologiaa kuin pelkkää sähköntuotantokapasiteettia, mutta ilmentää yhtä aurinkosähkön mahdollisuuksista. Maaseudulla sijaitsevat aurinkosähköjärjestelmät ovat toimitusvarmuuden kannalta oikeassa paikassa, sillä sähköverkon häiriöt ilmenevät tyypillisesti maaseutuympäristössä, jossa sähköjohdot ovat ilmajohtorakenteisia ja myrskyille alttiita (Haakana 2013: 61-74). Kun sähköjakelu keskeytyy, asiakkaat voisivat käyttää sähköä aurinkotuotannon avulla suuren osan päivästä ainakin kesäaikaan ja energian paikallisen varastoinnin yleistyessä myös muina vuorokaudenaikoina. Nykyisin saatavilla olevat aurinkosähköjärjestelmien kytkentälaitteet eli verkkovaihtosuuntaajat eivät kuitenkaan mahdollista niin sanottua saarekekäyttöä, joka on edellytys sähkökatkon aikaiselle sähköntuotannolle ja -käytölle. Kiinteistön saarekekäytön mahdollistamiseksi järjestelmässä on käytettävä tarkoitukseen sovel-

tuvaa verkkovaihtosuuntaajaa, joka on kytketty energianhallintajärjestelmään ja tarvittaessa sähköenergiavarastoon. Saarekekäytöstä on käytännön kokemuksia muun muassa Lappeenrannan teknillisen yliopiston ja Järvi-Suomen Energian yhteistyönä rakentamasta pienjännitteisestä tasasähkönjakelujärjestelmästä, jossa on akkuenergiavarasto (Nuutinen 2015: 79-90).

Yhteenveto

Maaseudun rakennettu ympäristö muodostaa Suomessa merkittävän potentiaalin aurinkosähkön tuotannolle. Merkittävyttä kuvaa hyvin se, että useissa maakunnissa asumisen ja maatalouden sähköenergian kulutuksesta voitaisiin kattaa jopa puolet vuotuisesta energiamäärästä itse tuotetulla aurinkosähköllä. Tulee kuitenkin huomata, että ilman energianvarastointia asumiseen ja maatalouteen ei käytännössä pystyttäisi käyttämään läheskään kaikkea itse tuotettua energiaa. Kesäaikaan aurinkosähkötuotanto voisi olla kulutusta suurempi, kun aurinkosähköä on saatavilla enemmän. Tuotannon omakäyttöaste voi vaihdella tapauskohtaisesti hyvinkin paljon, koska kulutusprofiilit ovat yksilöllisiä. Toisaalta tuotetun sähkön omakäyttöastetta voidaan kasvattaa merkittävästi sähköenergian tai lämpöenergian varastoinnilla ja tarkoitukseen sopivalla energianhallintajärjestelmällä. On myös huomionarvoista, että tiukentuvat päästövaatimukset aiheuttavat paineita maatalouskoneiden uusimiselle ja luovat näin pohjaa hybridiyökonille ja mahdolliselle sähkön kysynnän kasvamiselle. Sähkön ylijäämätuotantoa voitaneenkin tulevaisuudessa hyödyntää myös työkonien voimanlähteenä. Maaseutu on laajan rakennusinfrastruktuurin takia aurinkosähkön tuotantopotentiaalin näkökulmasta monissa tapauksissa taajama-alueita suosiollisempi. Maalaismiljöössä on usein suurehkoja rakennuksia, kuten työkonesuojia, talleja tai navettoja. Kattoasennukset voidaan usein tehdä kevyillä tukirakenteilla aurinkojärjestelmien maa-asennuksiin verrattuna.

Aurinkosähköjärjestelmät tarjoavat tulevaisuudessa mielenkiintoisen mahdollisuuden myös sähkön toimitusvarmuuden kehittämiseen. Sähkön kuluttajan kokemien sähkökatkojen

määrää voidaan pienentää hyödyntämällä aurinkosähköjärjestelmien tuotantoa yksittäisten talouksien tai pienien kyläyhteisöjen piirissä. Nykyinen aurinkosähköjärjestelmien asennustapa ja

tekniikka eivät tosin vielä anna huomioida toimitusvarmuuden parantamismahdollisuuksia täysimittaisesti, mutta mahdollisuuksia tutkitaan tiiviisti Suomessa ja maailmalla.



Aurinkopaneeleja katon etelälapeella haja-asutusalueella sijaitsevassa uudiskohteessa.

Kuva: Antti Kosonen.

Lähteet:

Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskuksen (ARA) 2016. Pientalojen harkinnanvarainen energia-avustus. Saatavissa: http://www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ ja_energiaavustukset/Pientalojen_harkinnanvarainen_energiaavustus. [Viitattu 22.6.2016]

Auvinen, Karoliina ja Mikko Jalas 2016. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Aalto-yliopisto. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/kannattavuus/aurinkoenergia-on-kannattavaa-suomessa-kiinteistoihin-sijoitettuna-energiالاhteena/>. [Viitattu 22.6.2016]

Dubey, Swapnil, Jatin Narotam Sarvaiya & Bharath Seshadri. 2013. Temperature dependent photovoltaic (pv) efficiency and its effect on pv production in the world – a review. Energy Procedia 33: 311–321. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000829>. [Viitattu 11.3.2016]

Energiateollisuus 2015a. Sähkön käyttö ja käyttäjämäärät maakunnittain. Saatavissa: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkonkulutus/sahkon-kaytto-maakunnittain>. [Viitattu 11.3.2016]

- Energiateollisuus 2015b, Sähkön tuntidata 2014. Saatavissa: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkon-tuntidata>. [Viitattu 11.3.2016]
- Energiateollisuus 2015c. Sähkön tuotanto, tuonti ja vienti. Saatavissa: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkontuotanto/sahkon-tuotanto-tuonti-ja-vienti>. [Viitattu 11.3.2016]
- Euroopan komissio 2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus liikkuviin työkoneisiin tarkoitettujen polttomoottoreiden päästöarvoihin ja tyypiphyväksyntään liittyvistä vaatimuksista. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:60e6a946-44c6-11e4-a0cb-01aa75ed71a1.0017.03/DOC_1&format=PDF. [Viitattu 11.3.2016]
- Eurooppa-neuvosto 2014. EUCO 169/14, Saatavissa: http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/fin/145409.pdf. [Viitattu 15.3.2016]
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA) 2014. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014–2018. Saatavissa: http://www.cleanenergybusinesscouncil.com/site/resources/files/reports/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf. [Viitattu 15.3.2016]
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, (ISE) 2015. Recent Facts about Photovoltaics in Germany Photovoltaics report, 1725.112.2015. Saatavissa: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien/en-studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf> [Viitattu 11.3.2016]
- Gaia Consulting Oy 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi – loppuraportti. Saatavissa: https://www.tem.fi/files/41148/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyky_-_loppuraportti_-_final_%28ID_15372%29.pdf. [Viitattu 11.3.2016]
- Grönberg, Iiro 2014. Passiivisesta sähkönkuluttajasta aktiiviseksi energiakansalaiseksi? Aurinkopaneelien yhteistilaus ja –rakentaminen Etelä-Karjalassa, Pro gradu –tutkielma Helsingin yliopisto. Saatavissa: <http://docplayer.fi/2078790-Pro-gradu-tutkielma-alue-tiede-suunnittelumaantiede.html>. [Viitattu 11.3.2016]
- Haakana, Juha 2013. Impact of reliability of supply on long-term development approaches to electricity distribution networks (Sähkönjakelun luotettavuuden vaikutus sähköverkkojen pitkän aikavälin kehittämiseen). Akateeminen väitöskirja, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 547.
- Huld, Thomas, Richard W. Müller, & Attilio Gambardella, 2012. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. Solar Energy, 86, 1803–1815.
- IHS Technology 2015. Top Solar Power Industry Trends for 2015. Saatavissa: https://www.ihs.com/pdf/Top-Solar-Power-Industry-Trends-for-2015_213963110915583632.pdf. [Viitattu 2.6.2016]
- The Joint Research Centre (JRC) 2016. European Commission, Photovoltaic Geographical Information System. Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. [Viitattu 11.3.2016]
- Linnamurto, Petri 2015. Kannattavuustarkastelu aurinkosähkön hyödyntämisestä kauppakeskuksessa. Opinnäytetyö, Savonia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95473/Linnamurto_Petri.pdf.pdf?sequence=1. [Viitattu 22.6.2016]
- Lähienergialiitto 2014. Lähienergialiiton lausunto TEM:n nettolaskutuselvytykseen. Saatavissa: <http://www.lahienergia.org/julkaisut/lahienergialiiton-lausunto-temn-nettolaskutuselvytykseen/>. [Viitattu 15.3.2016]
- Maanmittauslaitos 2016a. Maastotietokanta. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata/hankinta>. [Viitattu 11.3.2016]
- Maanmittauslaitos 2016b. Ilmakuvat. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata/hankinta>. [Viitattu 11.3.2016]
- Maanmittauslaitos 2016c. Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/maastotietokohteet.pdf> [Viitattu 11.3.2016]
- Maaseutuvirasto 2016. Maatalouden investointituet. Saatavissa: http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/viljelijaa/maatalouden_investointituet/Sivut/maatalouden_investointituet.aspx [Viitattu 20.6.2016]
- Metayer, Matthieu, Christian Breyer & Hans – Josef Fell 2015. The projections for the future and quality in the past of the World Energy Outlook for solar PV and other renewable energy technologies. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/281939932_The_projections_for_the_future_and_quality_in_the_past_of_the_World_Energy_Outlook_for_solar_PV_and_other_renewable_energy_technologies. [Viitattu 29.1.2016]
- Mikkola, Hannu 2014. Sianlihan tuotannon energiankulutus ja –säästö. Saatavissa: http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/74/Sianlihan_tuotannon_energiankulutus_ja_-_s%C3%A4%C3%A4st%C3%B6_netti.pdf. [Viitattu 11.3.2016]

- Motiva 2015. Investointituet uusiutuvalle energialle. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle. [Viitattu 16.6.2016]
- Nordpool 2015. Elpot hinnat 2014 & 2015. Saatavissa: <http://www.nordpoolspot.com/historical-market-data/>. [Viitattu 15.3.2016]
- Nuutinen, Pasi 2015. Power Electronic Converters in Low-Voltage Direct Current Distribution – Analysis and Implementation (Tehoelektroniset suuntaajat tasasähköjohdossa – analyysi ja toteutus). Akateeminen väitöskirja, Lappeenranta teknillinen yliopisto, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 677.
- Nykvist, Björn & Måns Nilsson 2015. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, Nature Climate Change, Julkaisu n.o. 5. 329–332.
- Paavola, Minna 2012. Verkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien potentiaali Tampereella. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: http://www.hermiagroup.fi/@Bin/1425839/Diplomityo_Paavola_painettuversio.pdf. [Viitattu 22.6.2016]
- Rajaniemi, Mari 2014. Lypsykarjatilojen energiankulutus ja energiankäytön tehostaminen Energiasuunnittelijakoulutus 10.12.2014. Saatavissa: <http://www.mavi.fi/fi/tuet-ja-palvelut/neuvoja/Documents/Energiankulutus%20maidontuotannossa.pdf>. [Viitattu 11.3.2016]
- Suomen Sähkölaitosyhdistys ry (SLY) 1992. Kuormitustutkimus 1992. 172 s.
- Solar Power Europe (SPE) 2015. Global Market Outlook for Solar Power 2015–2019. Saatavissa: <http://resources.solarbusinesshub.com/images/reports/104.pdf>. [Viitattu 15.3.2016]
- Šúri, Marcel, Thomas A Huld., Ewan D. Dunlop, & Heinz A. Ossensbrink, 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy, 81, 1295–1305, Saatavissa: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. [Viitattu 12.8.2016]
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) 2015. Energia- ja ilmastotavoitteet strategian taustalla, Saatavissa: https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/karkihankkeet_ ja_ohjelmat/energia- ja_ilmastostrategia_2016/energia- ja_ilmastotavoitteet. [Viitattu 11.3.2016]
- Verottaja 2016. Kotitalousvähennys. Saatavissa: <http://www.vero.fi/fi-FI/Henkiloasiakkaat/Kotitalousvahennys>. [Viitattu 22.6.2016]
- Yhdistyneet Kansakunnat (YK) 1994. Ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimus, 61/1994. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940061/19940061_2. [Viitattu 11.3.2016]
- Yhdistyneet Kansakunnat (YK) 2005. Ilmastonmuutosta koskevan Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirja, 13/2005. Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2. [Viitattu 11.3.2016]
- Ympäristöministeriö 2013. Euroopan Unionin ilmastopolitiikka. Saatavissa: www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ ja_ ilma/ Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_ unionin_ ilmastopolitiikka. [Viitattu 11.3.2016]

Julkaisemattomat lähteet

Energiavirasto 2016. Sähkön hintatilastot, sähköpostitse saadut hintatiedot.