



# **AURINKOENERGIAN KÄYTTÖ TAMPEREEN VUOREKSESSA**

Jarno Sarjomaa

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka  
Sähköinen talotekniikka

SARJOMAA, JARNO  
Aurinkoenergian käyttö Tampereen Vuoreksessa

Opinnäytetyö 46 sivua  
Toukokuu 2015

---

Uusiutuvan energian ja varsinkin aurinkoenergian hyödyntämistä kehitetään jatkuvasti. Auringosta saadaan sekä sähköä että lämpöä, mutta toteutunutta tuottoa ei kuitenkaan ole tarkastelukohteissa paljon seurattu tai mitattu, mikä kuitenkin olisi tärkeää järjestelmien kehittämisen kannalta. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin mittaamalla ja laskemalla, onko aurinkoenergian hyödyntäminen kannattavaa Tampereella ja ovatko valmiiksi asennetut järjestelmät toimineet oikein. Kustannuksiin ja takaisinmaksuaikoihin ei suoraan kanta tässä opinnäytetyössä.

Työssä selvitetään laskennallisesti ja olemassa olevaan mittausdataan perustuen kolmen Tampereen Vuoreksessa sijaitsevan kohteen aurinkoenergian tuottoa. Mittaustulokset olivat eri ajoilta eri tutkimuskohteissa. Pyrkimyksenä oli saada analysoitavaksi vähintään vuoden mittaustiedot, mutta kaikissa tapauksissa se ei onnistunut. Mittauksessa käytettiin kohteiden omia mittalaitteita, joten tulokset eivät ole suoraan verrattavissa keskenään. Kohteista saatu mittausdata näytetään diagrammeina niillä tarkkuuksilla, joilla mittaustiedot on asukkailta saatu. Mittausdataa verrattiin kyseisen järjestelmän laskettuun potentiaaliseen tuottoon.

Tuloksista huomataan, että aurinkoenergiajärjestelmät ovat epätäydellisiä ja hieman hankalia, tästä huolimatta ne ovat hyödyllisiä ja auttavat säästämään kohteiden osuenergiaa. Lasketut ja mitatut tuotantolukemat eivät suoraan täsmää, sillä kaikkia muuttujia ei millään saa laskuissa otettua huomioon ja myös vuosittaiset aurinkoolosuhteet vaihtelevat. Tulokset jäävätärkevän marginaalin sisään ja osoittavat, että tarkastellut järjestelmät toimivat kohtuullisen hyvin.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

SARJOMAA, JARNO  
The Use of Solar Energy in Tampere Vuores

Bachelor's thesis 46 pages  
May 2015

---

Renewable energies and especially the exploitation of solar energy are constantly being developed. The sun provides both electricity and heat. However, the actual yield is not much monitored or measured, which, however, would be important for the development of exploitation of solar energy. The purpose of this thesis is to find out by measuring and calculating whether solar energy is profitable in Tampere or not and whether the systems pre-installed, are operating properly. A number of the costs and payback periods will not take a direct stand in this thesis.

The results of the measurements taken were from different times in different object locations. The aim was to get, at least, one year of measurement data, but in all the cases it was not successful. The measurement objects had their own instruments for the measurement and the results were used as such and are not directly comparable. The measurement data is compared with a calculated potential yield of the system.

The results indicate that, although minor complications and imperfect solar energy systems are present, they are still useful and help to save purchased energy. The calculated and the measured output readings do not directly add up, because all of the variables can't be taken into account. However the results stay within reasonable margin and show that the examined systems work reasonably well.

---

Key words: renewable energy, solar energy, yield

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOENERGIA .....	7
2.1	Aurinko .....	7
2.2	Auringon säteily.....	8
2.3	Aurinkoenergian potentiaali.....	9
3	AURINKOENERGIAN AKTIIVINEN HYÖDYNTÄMINEN .....	13
3.1	Aurinkolämpö .....	13
3.1.1	Aurinkolämpöjärjestelmät.....	14
3.1.2	Aurinkolämpö Suomessa .....	16
3.2	Aurinkosähkö .....	18
3.2.1	Aurinkosähköjärjestelmät .....	18
3.2.2	Aurinkosähkö Suomessa .....	22
3.3	Hybridikeräimet .....	23
3.4	Sijointus ja suuntaus .....	26
4	AURINKOENERGIAN KÄYTTÖ VUOREKSESSA .....	28
4.1	Kohde A .....	29
4.1.1	Laskettu tuotanto .....	30
4.1.2	Mitattu tuotanto.....	31
4.1.3	Yhteenveto .....	32
4.2	Kohde G.....	33
4.2.1	Laskettu .....	34
4.2.2	Mitattu tuotanto.....	36
4.2.3	Yhteenveto .....	37
4.3	Kohde J .....	38
4.3.1	Laskettu .....	38
4.3.2	Mitattu tuotanto.....	40
4.3.3	Yhteenveto .....	41
4.4	Pohdinta .....	41
5	YHTEENVETO .....	43
	LÄHTEET.....	45

**LYHENTEET JA TERMIT**

PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System, selainpohjainen verkkotyökalu
Siroaminen	Prosessi, missä säteily muuttaa suuntaansa kohdatessaan esteen aineessa, jossa se kulkee
Irradianssi	Tehotiheys, tietylle alueelle saapuva säteilyteho $W/m^2$

## 1 JOHDANTO

Uusiutuvat energialähteet, joista varsinkin aurinkoenergia, ovat pitkään olleet iso kysymys ja kehityksen kohde. Muualla maailmassa on melko täydellisiä alueita aurinkoenergian valjastamiseen, mutta Suomessa sen toimivuutta ja kannattavuutta on aina epäilty. Aurinkopaneelien ja -keräinten teknologia kehittyy nopeaa tahtia ja hinnat laskevat, jonka vuoksi aurinkoenergian käyttö on yleistynyt myös Suomessa.

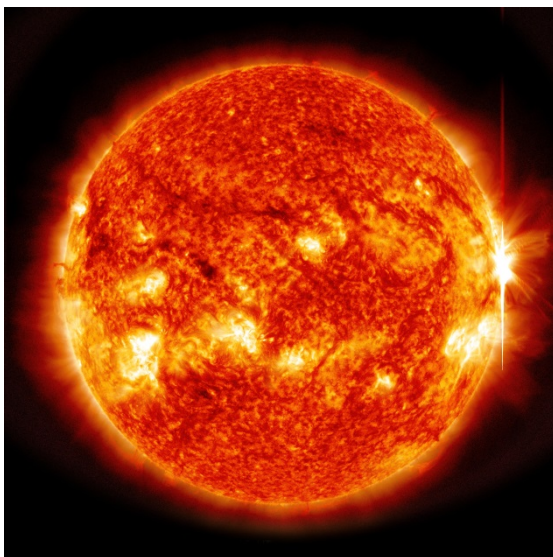
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kertoa yleisesti aurinkoenergiasta ja siitä, mistä sitä saadaan ja miten sitä voidaan hyödyntää. Toisena tarkoituksena on selvittää Tampereen Vuoreksessa olevien kolmen esimerkkikohteen aurinkoenergian hyödyntämistä ja erityisesti tuottoja. Kahdessa kohteessa hyödynnetään aurinkolämpöä ja yhdessä aurinkosähköä. Mitattuja tuottoja verrataan laskettuihin tai arvioituihin arvoihin ja mikäli suurta poikkeamaa ilmenee, pyritään selvittämään niiden syyt. Esimerkkikohteisiin viitataan kirjaimilla, jotka on annettu Tampereen ammattikorkeakoulun Vuoreksen olosuhde- ja energianseuranta hankkeessa. Muissa hankkeen julkaisuissa ja hankkeeseen liittyvissä opinnäytetöissä käytetään myös samoja kirjaintunnuksia samoista kohteista.

## 2 AURINKOENERGIA

Lähes kaikki uusiutuva energia on lähtöisin auringosta. Aurinkoenergialla tarkoitetaan energiaa, jota saadaan auringon säteilystä joko passiivisesti tai aktiivisesti käytettynä. Passiivisella aurinkoenergian käytöllä tarkoitetaan esimerkiksi auringon valoa, joka valaisee ikkunan kautta rakennusten sisätiloja. Aurinkoenergian aktiivinen käyttö puolestaan tarkoittaa aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien hyödyntämistä energian sitomiseen ja käyttämiseen.

### 2.1 Aurinko

Aurinko (kuva 1) on yksi yli sadastamiljoonasta tähdestä galaksissamme. Auringon koostumus vaihtelee ajan myötä, sillä auringossa vetyä muuttuu heliumiksi. Tällä hetkellä se koostuu noin 70 % vedystä, 28 % heliumista ja 2 % muista aineista. Auringon noin 386 miljardin megawatin teho tuotetaan fuusioreaktioina auringon ytimessä erittäin korkeassa 15,6 miljoonan kelvinin lämpötilassa ja 250 miljardin ilmanpaineen veroisessa paineessa. Joka sekunti noin 700 miljoonaa tonnia vetyä muuttuu noin 695 miljoonaksi tonniksi heliumia ja 5 miljoonaksi tonniksi energiaa gammasäteilyn muodossa. (<http://nineplanets.org>)



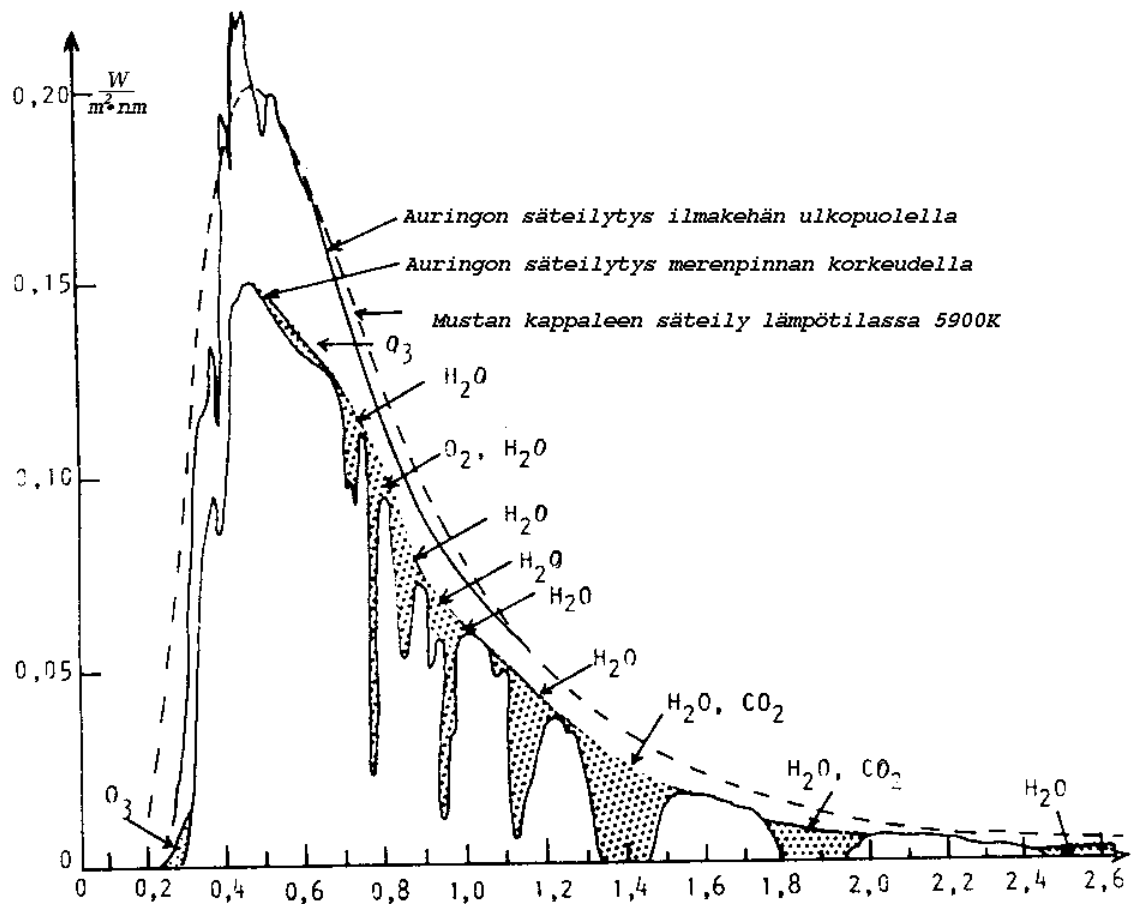
KUVA 1. Aurinko, lähes kaiken uusiutuvan energian lähde. (avaruus.fi)

## 2.2 Auringon säteily

Auringon säteily on tärkein energianlähde maapallolla. Ilman aurinkoa ja sen säteilyä elämää tuskin olisi. Kaikki auringonsäteily ei saavuta maanpintaa vaan säteily vaimenee voimakkaasti ilmakehässä. Absorboituminen ja siroaminen ilmakehän molekyyileissä vaimentavat säteilyä vähintään 30 % (<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4300/luennot/luento1.pdf>).

Auringonsäteilyn energia on jakautunut eri aallonpituuksille. Tieto siitä, miten energia on jakautunut, on tärkeää, sillä esimerkiksi aurinkokennon toiminta riippuu valon aallonpituudesta. Kuvioista 1 nähdään kuinka paljon energiaa sisältää auringon säteilyn eri aallonpituudet merenpinnantasolla eli maan pinnalla ja ilmakehän ulkopuolella. Säteilyn tehotiheys kuvaajassa (pystyakseli) on 0 ja  $2000 \text{ W/m}^2$  välillä ja säteilyn aallonpituus (vaaka-akseli) 0:sta 2600 nanometriin. Kuviossa 1 esiintyy myös mustan kappaleen säteily. Mustalla kappaleella tarkoitetaan ideaalista säteilijää, joka absorboi kaiken siihen osuvan säteilyn, eikä heijasta sitä lainkaan. Musta kappale kuvaa auringon säteilyä tässä tapauksessa 5900 K lämpötilassa eli auringon pinnan lämpötilassa, jolloin siihen voidaan verrata esimerkiksi auringonsäteilyn tehotiheyttä maanpinnalla. (<http://www.kotiposti.net/ajnieminen/mks.pdf>)





KUVIO 1. Auringon säteilytys (irradianssi) merenpinnantasolla ja avaruudessa verrattuna 5900K lämpöisen mustan kappaleen säteilyyn.

(<http://foto.hut.fi/opetus/350/k03/luento6/luento6.html>)

Auringon säteilytys -käyrän ilmakehän ulkopuolella (AM0-käyrä) tehotiheys on  $1366,1 \text{ W/m}^2$ . AM0 tarkoittaa, että auringonsäteilyn tehoa vaimentaa nolla ilmakehää. Auringon säteilytys -käyrän merenpinnan korkeudella (AM1.5) eli käytännössä myös maanpinnalla tehotiheys puolestaan on  $900 - 1000 \text{ W/m}^2$  riippuen kuinka suorassa kulmassa aurinko on vaakasuoraan tasoon nähden. AM1.5 tarkoittaa, että puolitoista ilmakehää vaimentaa auringonsäteilyn tehoa.

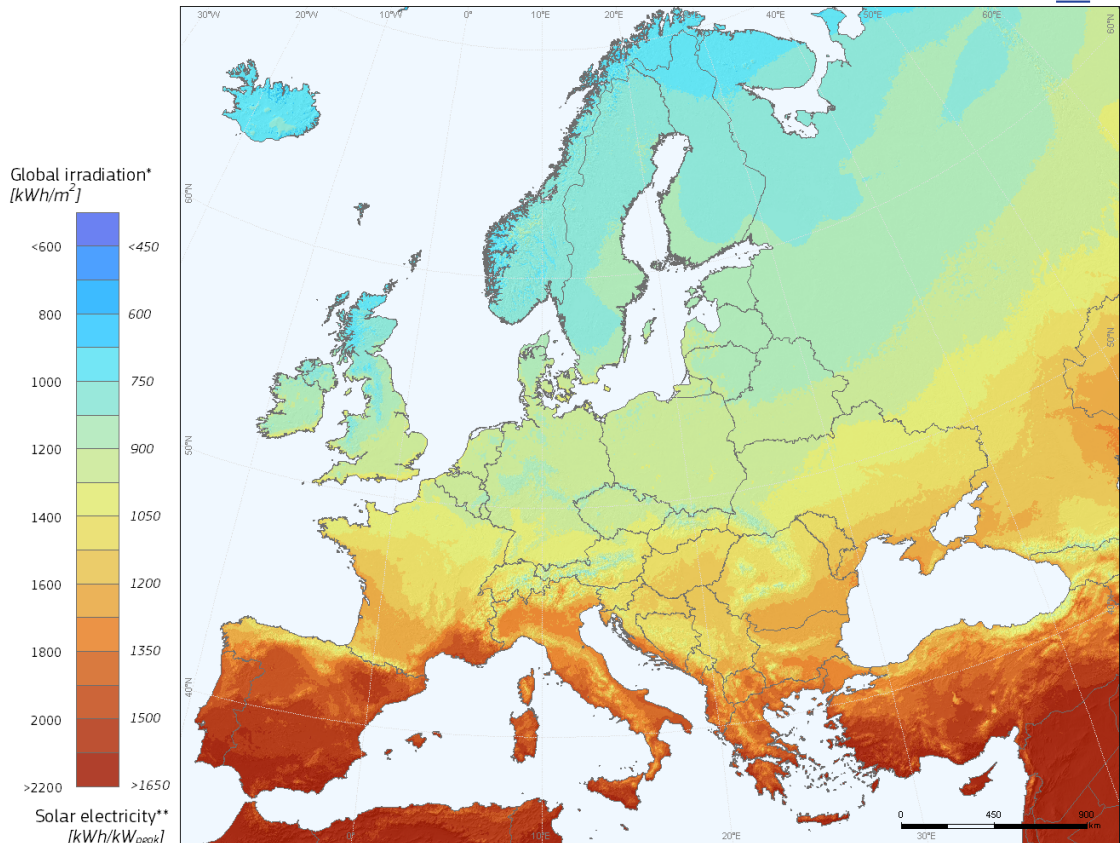
(<http://www.pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>)

### 2.3 Aurinkoenergian potentiaali

Aurinkoenergialla tarkoitetaan tässä tapauksessa auringosta saatavaa energiaa, jota otetaan talteen ja hyödynnetään aktiivisesti. Aurinkoenergia esiintyy käytössä, joko aurinkolämpönä tai aurinkosähköinä. Kuvasta 2 nähdään hyvin Euroopan aurinkoenergian potentiaali, eli kuinka paljon auringonsäteilyä pääsee millekin alueelle optimaaliseen

kulmaan etelään suunnatuille aurinkosähkömoduuleille ( $\text{kWh/m}^2$ ). Lisäksi kuvasta 2 näkee Euroopan aurinkosähkön potentiaalin. Kuvasta 3 puolestaan nähdään karkeammin koko maapallon vuotuinen säteily määrä vaakasuoralle pinnalle ( $\text{kWh/m}^2$ ).

### Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



\* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

\*\*Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined  $1\text{kW}_p$  system with a performance ratio of 0.75

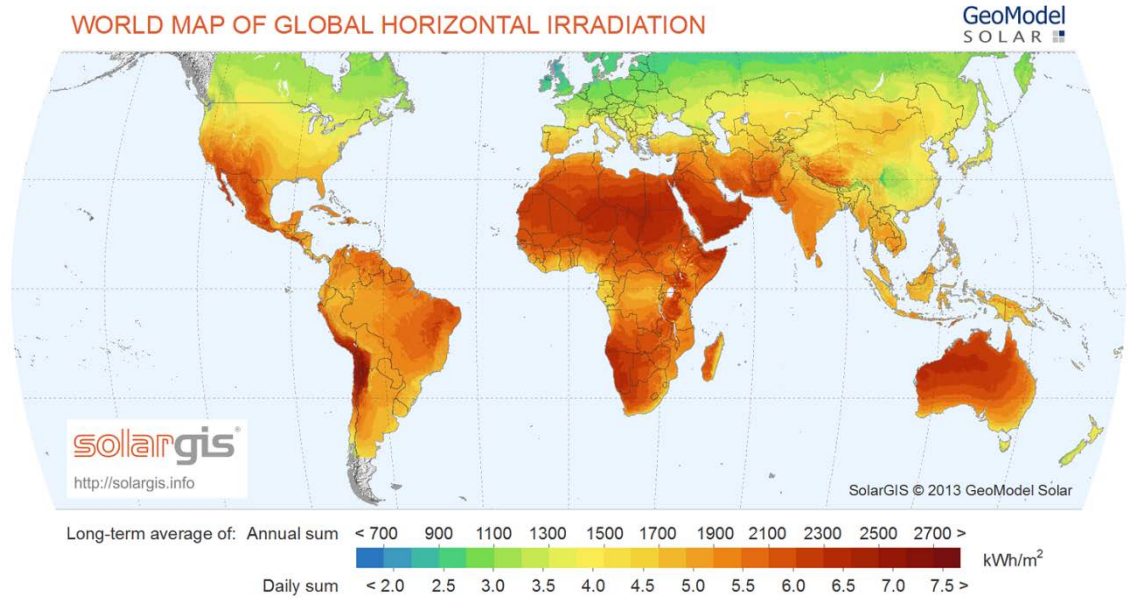
© European Union, 2012  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
EC - Joint Research Centre  
In collaboration with: CM SAF, [www.cmsaf.eu](http://www.cmsaf.eu)

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication

KUVA 2. Auringonsäteily määrä ja aurinkosähkön potentiaali Euroopassa.

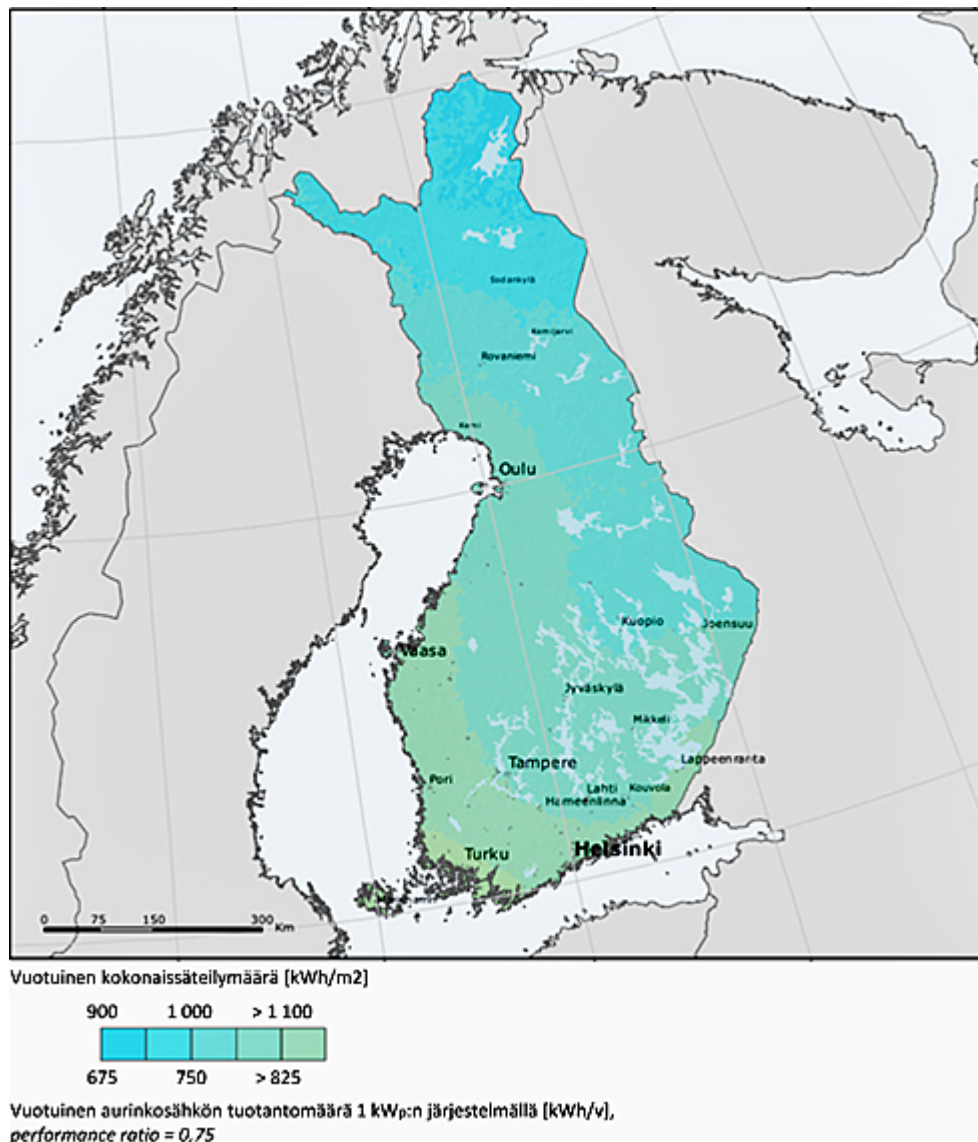
([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/PVGIS\\_EU\\_201204\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_presentation.png))



Kuva 3. Maapallon vuotuinen kokonaissäteily määrä.

([http://solargis.info/doc/\\_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png](http://solargis.info/doc/_pics/freemaps/1000px/ghi/SolarGIS-Solar-map-World-map-en.png))

Keski- ja Etelä-Suomessa aurinko säteilee vaakasuoralle pinnalle noin 950 – 1100 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa (Kuva 4.). Vuosittainen auringonpaisteen keskiarvo on Etelä- ja Keski-Suomessa 1600 – 1700 tuntia. Valtaosa paistetunneista ajoittuu maaliskuun alusta lokakuun puoleen väliin. (<http://novafuture.fi/tuotto.html>)



KUVA 4. Auringon vuotuinen kokonaissäteily määrä (kWh/m<sup>2</sup>) sekä aurinkosähkön tuotantomäärä 1 kW<sub>p</sub>:n järjestelmässä optimaaliseen kulmaan Suomessa.  
([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_FI.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_FI.png))

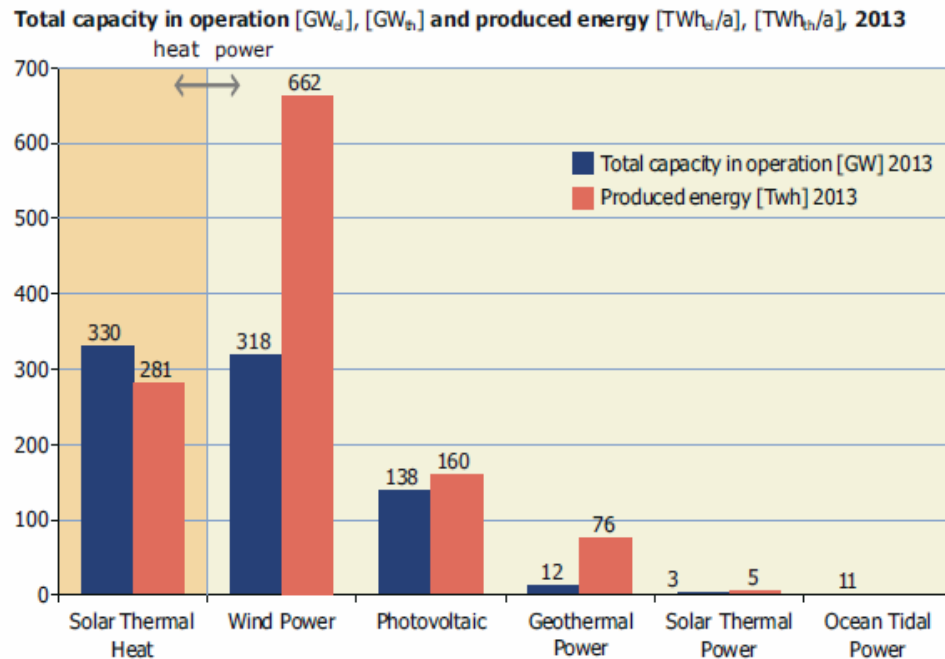
### 3 AURINKOENERGIAN AKTIIVINEN HYÖDYNTÄMINEN

Tässä luvussa kerrotaan, mitä tarkoitetaan aurinkolämmöllä ja aurinkosähköllä käytännössä, kuinka paljon niitä käytetään maailmalla ja Suomessa sekä millaisilla eri järjestelmillä niitä kerätään.

#### 3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämmöllä tarkoitetaan tässä tapauksessa energiaa, jota käytetään esimerkiksi rakennuksen tai käyttöveden lämmittämiseen aurinkolämpöjärjestelmän avulla. Aurinkolämpöä kerätään erilaisilla keräimillä kuten esimerkiksi nestekiertoisilla tasokeräimillä tai tyhjiöputkikeräimillä, ja lämpöenergia ohjataan lämmönsiirtonesteen avulla esimerkiksi lämminvesivaraajaan.

Arvioitu kokonaiskapasiteetti maapallolla toiminnassa oleville aurinkolämpöjärjestelmille vuoden 2013 loppuun mennessä on 330 GW ja keräyspinta-alaa on yhteensä 471 miljoonaa neliometriä. Tämä vastaa 281 TWh vuodessa, mikä tarkoittaa esimerkiksi 30,1 miljoonan tonnin säästöä öljyssä ja 97,4 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Kuvioista 2 nähdään käytössä olevan aurinkoenergian määrä verrattuna muihin uusiutuviin energialähteisiin vuonna 2013. (<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien1016.pdf>)

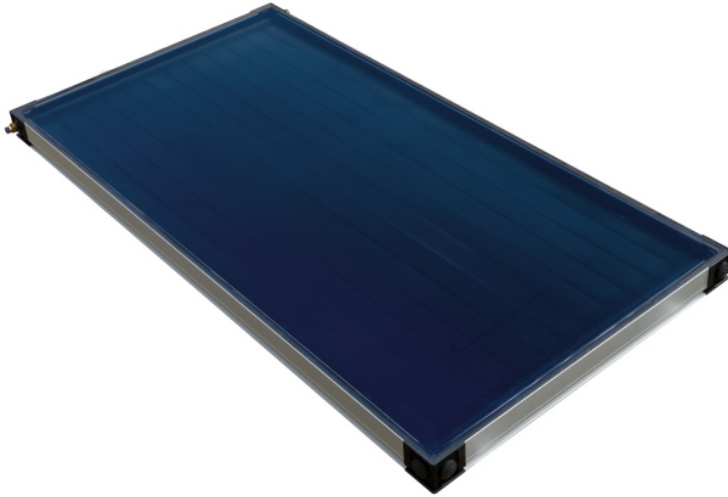


**Figure 2:** Total capacity in operation [ $GW_{el}$ ], [ $GW_{th}$ ] 2013 and annual energy generated [ $TWh_{el}$ ], [ $TWh_{th}$ ] (Sources: AEE INTEC, GWEC, EPIA, IEA PVPS, Navigant Research, Ocean Energy Systems, REN21, U.S. Geothermal Energy Association)

KUVIO 2. Uusiutuvien energianlähteiden asennusteho ja energiantuotto maailmalla vuonna 2013. (Solar Heat Worldwide 2014 Edition)

### 3.1.1 Aurinkolämpöjärjestelmät

Auringonsäteilyenergiaa muutetaan lämmöksi aurinkokeräimissä. Erilaisia keräinrakenteita on muutamia. Yleisimpiä keräinrakenteita ovat nestekiertoiset tasokeräimet (kuva 5) sekä tyhjiöputkikeräimet (kuva 6). Yleisimmin kotitalouksissa käytetään nestekiertoista tasokeräintä, jossa pumpun avulla kierrätetään vesi-glykoliseosta. Lämmennyt neste kulkee kokoomaputkien kautta lämmönvaraajaan. Varaajasta lämpö siirtyy lämmönvaihtimen kautta käyttöveteen tai talon lämmitysjärjestelmään. Aurinkolämmitystä varten lämminvesivaraajassa on oltava tilaa aurinkokeräinpiirien lämmönsiirtimille. ([http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet))



KUVA 5. Nestekiertoinen tasokeräin.

([http://www.matthiasfried.fi/lataukset/kauko\\_solar\\_tf.jpg](http://www.matthiasfried.fi/lataukset/kauko_solar_tf.jpg))

Tyhjiöputkitekniikan avulla pystytään hyödyntämään auringon hajasäteilyä. Tyhjiöputkitekniikasta voi olla hyötyä kevättalvella ja syksyllä eli vuodenaikoina, jolloin aurinko paistaa vähemmän, mutta energiaa tarvitaan enemmän. Tyhjiöputkijärjestelmän rakentaminen tulee tasokeräinjärjestelmää kalliimmaksi. Tyhjiöputket voidaan asentaa jopa täysin pystyasentoon. Näin saadaan kerättyä enemmän energiaa alkukeväällä ja loppusyksyllä, jolloin aurinko paistaa matalammalta. Tässä tapauksessa kesäaikainen energian saanti pienenee, mutta riittää yleensä kuitenkin kattamaan kulutuksen. (motiva.fi)



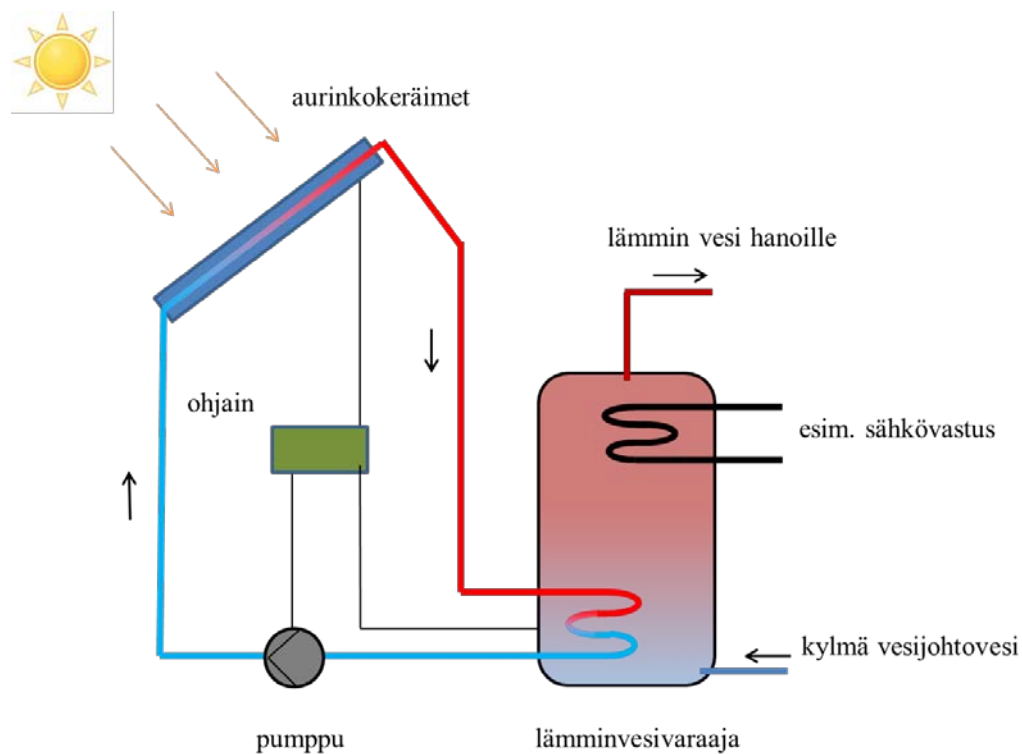
KUVA 6. Tyhjiöputkikeräin. (<http://www.nn-energy.fi/img/kolnn10.jpg>)

Eri aurinkokeräintyypeillä on erisuuruiset hyötysuhteet. Kuvan 5 nestekiertoiselle tasokeräimelle luvataan hyötysuhteeksi 92% (<http://www.matthiasfried.fi>) ja kuvan 6 tyhjiöputkikeräimelle luvataan 85% (<http://www.nn-energy.fi>). Täytyy ottaa huomioon, että näihin hyötysuhteisiin ei ole laskettu mukaan muun järjestelmän, kuten putkistojen

ja varaajan, lämpöhäviöitä. Suomessa aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhde keräimistä riippuen on noin 25 – 35 %.

([http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia))

Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat aurinkokeräimistä, lämmönsiirrosta ja lämmönjakojärjestelmästä. Aurinkolämpöjärjestelmä ei yleensä ole päälämmitysjärjestelmä, vaan tukee tehokkaampaa ja varmempaa järjestelmää, kuten kaukolämpöä tai suoraa sähkölämmitystä. Varsinkin käyttöveden lämmitystä tuetaan usein aurinkolämmöllä. Aurinkolämpö sopii hyvin yhteen öljy-, pelletti-, puu-, hake-, sähkö-, ja maalämmön kanssa. Kuvassa 7 on yksinkertaistettu aurinkolämpöjärjestelmä, joka lämmittää käyttövettä sähkövastusten kanssa.



KUVA 7. Aurinkolämpöjärjestelmä käyttöveden lämmittämiseen.

### 3.1.2 Aurinkolämpö Suomessa

Suomessa käytetään aurinkolämpöä huomattavasti enemmän kuin aurinkosähköä. Aurinkolämpöä on asennettu eri puolille Suomea kasvavissa määrin. Joitain isoja kohteita ovat mm. Porin Uimahalli 200 m<sup>2</sup> SK500N tasokeräimillä ja Ekoviikki Helsingissä (kuva 8) 145 m<sup>2</sup> aurinkolämpöjärjestelmällä. Molemmat järjestelmät ovat Sonnenkraftin aurinkolämpöjärjestelmiä. Porin uimahallissa hyödynnetään lisäksi myös aurinkosäh-



köä. Uimahalli säästää aurinkoenergian avulla saman verran energiaa kuin reilut kahdeksan omakotitaloa kuluttaa vuodessa. Rakennuksessa on myös ainutlaatuinen Nordic Solar- fasadikeräinjärjestelmä, jossa keräimet on suunniteltu kiinteäksi osaksi rakennuksen julkisivua (kuva 9). Lämpökeräimet on Porissa sijoitettu pääsisäänkäynnin julkisivuun ja pinta-alaa niillä on 80m<sup>2</sup>.



KUVA 8. Sonnenkraft aurinkolämpöjärjestelmä Helsingin Ekoviikissä.  
(<http://www.aurinkovoima.fi/fi/tuotteet/sonnenkraft-tuotteet>)



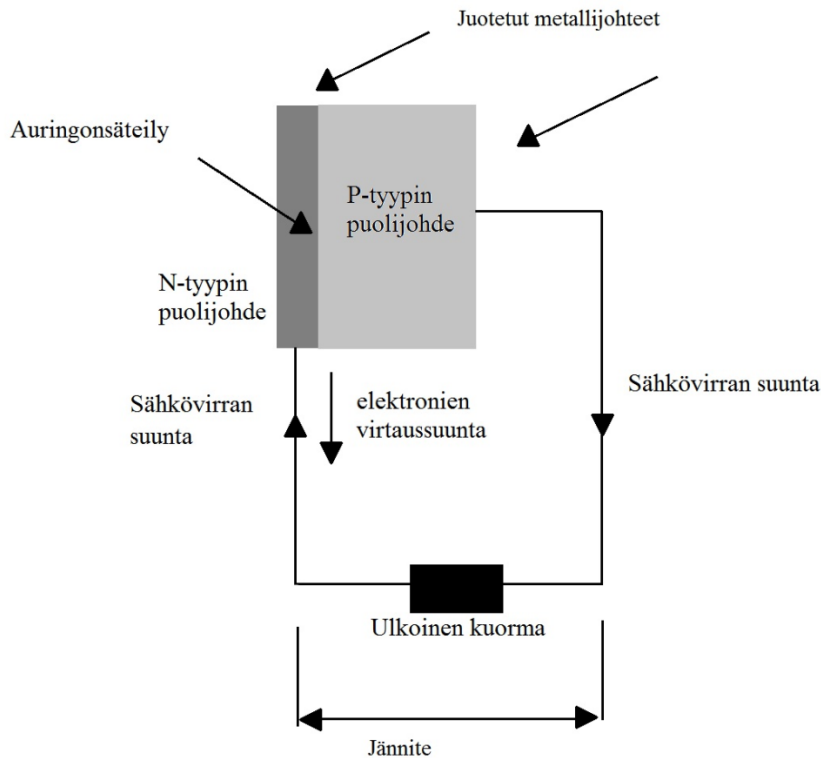
KUVA 9. Porin uimahallin julkisivun Nordic Solar -fasadikeräimiä.  
(<http://solarforum.fi/wp/wp-content/uploads/2014/06/swimhall-solar2-580x350.jpg>)

## 3.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköllä tarkoitetaan sähköä, jota tuotetaan auringon valosta aurinkopaneeleilla. Vuosien 2001 ja 2010 välisenä aikana aurinkosähkö kasvoi merkittävimmin kaikista uusiutuvista energianlähteistä, noin 45 prosenttia vuodessa. Vuonna 2012 asennettiin yli 69 GW aurinkosähköä maailmanlaajuisesti. Vuonna 2013 Eurooppaan asennettujen aurinkosähköjärjestelmien teho oli noin 78,80 GW. Saksa on ollut pitkään Euroopan johtavin valtio uusien järjestelmien asennuksessa sekä kokonaiskapasiteetissa. Vuonna 2014 Saksaan on asennettu arviolta 1,4 miljoonaa uutta aurinkosähköjärjestelmää eri puolille maata yhteensä 35,2 TWh: n edestä. (<http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien/en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>)

### 3.2.1 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmän oleellisin elementti on aurinkopaneelisto. Paneeleita on useita tyyppisiä, mutta ne toimivat samalla periaatteella. Aurinkokennojen toiminta perustuu puolijohdinhomogeneisuuksiin, jotka valosähköisen ilmiön avulla muuttavat auringonsäteilyä sähköenergiaksi. Puolijohdeeseen osuvat fotonit synnyttävät rajapinnan yli jännitteen (kuva 10). Aurinkokennon valosähköinen elementti muodostuu kahdesta yhteen liitetystä puolijohdemateriaalista, joista toinen on P-tyyppinen ja toinen N-tyyppinen. Tästä syystä yleisesti puhutaan PN-tyypin puolijohdeestä. (<http://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>)



KUVA 10. Aurinkokennon toimintaperiaate.

Aurinkopaneelin nimellisteho  $W_p$  (Watt-peak) on se teho, minkä etelään suunnattu paneeli antaa, kun auringon säteily kohtaa paneelin  $+25\text{ °C}$  asteen lämpötilassa  $35\text{ °}$  kulmassa auringon säteilytehon ollessa  $1000\text{ W/m}^2$ . Paneelin nimellisteho määritellään laboratorio-olosuhteissa vaihtelemalla paneeliin kytkettyä kuormaa. Aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan jakamalla nimellisteho ( $W_p$ ) paneelin pinta-alan ja säteilytehon ( $1000\text{ W/m}^2$ ) tulolla. (<http://www.finnwind.fi/aurinkovoima>)

Yleisesti käytössä olevista aurinkokennotekniikoista perinteinen yksikiteinen pii (c-Si) (Kuva 11) on yleisin tekniikka, mutta myös muita kalliimpi. Perinteisen tekniikan lisäksi on olemassa ohutkalvotekniikka. Ohutkalvossa yleisin käytetty materiaali on kadmiumtelluridi (CdTe) (Kuva 12). Ohutkalvopaneeleilla pystytään keräämään hajasäteilyä hiukan tehokkaammin kuin kiteisen piin paneeleilla, mutta vaikutus on vuositasolla vähäinen. Ohutkalvopaneelit päästävät enemmän valoa lävitseen, joten niillä auringonsäteilyä ei saada hyödynnettyä sähköntuotantoon yhtä hyvin kuin kiteiseen piihin perustuvilla paneeleilla.

([http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat))



KUVA 11. Yksikiteinen aurinkokenno.

(<http://kompo2010.wikispaces.com/file/view/aurinkokenno.png>)



KUVA 12. Taipuisa kadmiumtelluridi (CdTe) -moduuli, jonka hyötysuhde on 13,8 %.

(<http://phys.org/news/2011-06-efficiency-flexible-cdte-solar-cell.html>)

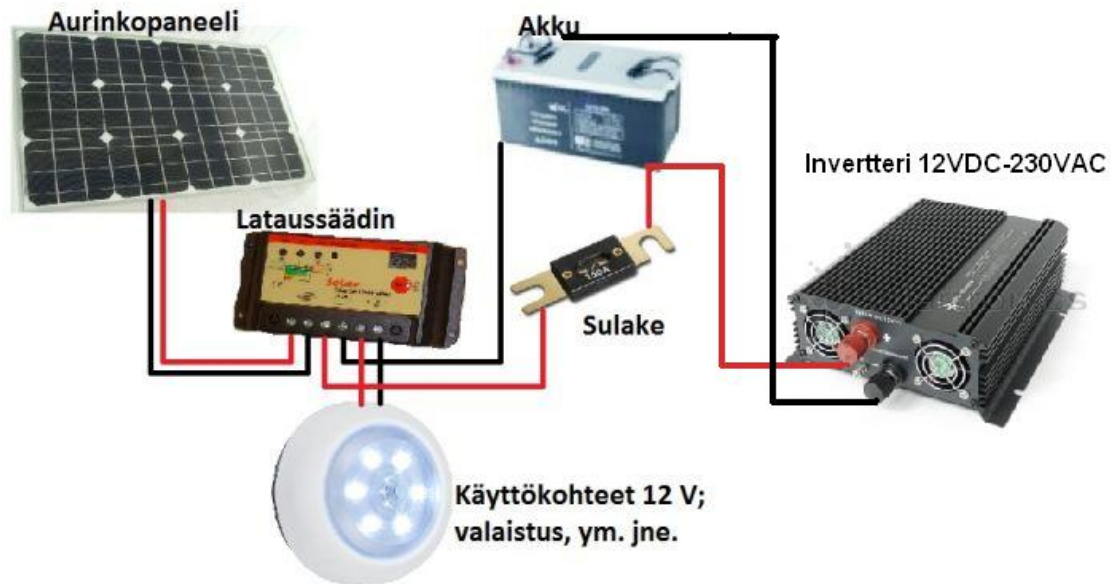
Eri materiaaleista valmistetuissa aurinkopaneeleissa on eri hyötysuhteet. Hyötysuhteet on määritetty laboratorioissa, joten todellinen hyötysuhde vaihtelee sääolojen mukaan. Perinteisten yksikiteisten piikennojen hyötysuhde on 15 – 17 %. Monikiteisten piikennojen hyötysuhde on muutaman prosenttiyksikön verran pienempi (<http://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>). Kuvan 12 kadmiumtelluridi-moduuli on uutta teknologiaa ja sen takia sillä normaalia ohutkalvokennoa parempi hyö-

tysuhde. Tavallisesti ohutkalvokennoista koottujen aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 9 – 11 %. Kun paneelit liitetään aurinkosähköjärjestelmään, niin hyötysuhde putoaa vielä entisestään. Yleisellä tasolla voidaan ajatella, että aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergian määrä putoaa järjestelmässä vielä suurin piirtein 10 %.

([http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat))

Aurinkosähköä käytetään myös satelliiteissa ja joissakin avaruusluotaimissa. Aurinkokennot joutuvat avaruudessa todella voimakkaan hiukkassäteilyn alaiseksi ja jottei niiden suorituskyky laske, täytyy aurinkokennojen olla valmistettu kestävästä materiaalista. Tällainen materiaali on esimerkiksi galliumarsenidi (GaAs), joka on todella kallista ja siksi harvinainen maanpäällisessä käytössä. Avaruusteknologian aurinkokennoista muodostettu aurinkopaneeli on tehty monikerrostekniikalla ja sillä päästään jopa 40 % hyötysuhteeseen. (<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>)

Aurinkosähköjärjestelmät koostuvat lähinnä aurinkopaneeleista sekä normaalisti kotitalouksissa invertteristä. Paneelit joko liitetään niin, että ne ovat yhteydessä sähköverkkoon tai ne voidaan yhdistää akustoihin (Kuva 13). Sähköverkkoon liittyessä asiasta pitää sopia paikallisen sähköjakelufirman kanssa. Mikäli järjestelmä varastoi aurinkosähköä akustoon, tulee järjestelmään sisällyttää myös lataussäädin, joka estää akuston ylilataantumisen ja syväpurkaantumisen. Ylimääräinen sähkö muuttuu lataussäätimessä lämmöksi. (<http://www.huoltodata.com/aurinko/perusteet.html>)



KUVA 13. Akullinen aurinkosähköjärjestelmä.

(<http://aurinkosahko.mycashflow.fi/page/7/aurinkosahkojarjestelma-12v>)

### 3.2.2 Aurinkosähkö Suomessa

Vaikka aurinkolämmön käyttö on huomattavasti yleisempää Suomessa kuin aurinkosähkön käyttö, niin silti löytyy perinteisten pientuotantojen lisäksi myös suuria kohteita, joissa aurinkosähkö on hyvin merkittävässä roolissa. Suomessa on tällä hetkellä asennettuna noin 10 MW aurinkosähköä, kun huomioon otetaan niin sähköverkkoon liitetyt kuin myös erillään toimivat voimalat. Suurimpia voimaloita ovat muun muassa Helsingissä Helen Oy: 340 kW ja ABB Oy: 181 kW ja Salossa Astrum-liikekeskus (kuva 14): 322 kW (Kuva 10). (<http://www.aurinkoenergia.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>)



KUVA 14. Astrum-liikekeskuksen 4000 m<sup>2</sup> aurinkopaneelit. (motiva.fi)

Suomi ei ole olosuhteiltaan optimaalinen aurinkoenergiaa hyödynnettäessä, sillä pilvinen ja sateinen ilmasto estävät tehokkaasti auringonvalon pääsyn paneeleille. Sen sijaan Suomen kylmempi ilma parantaa aurinkopaneelien tuottokykyä. Suomen pimeää talvea kompensoi valoisa kesä. (www.aurinkoenergiaa.fi)

Suomessa aurinkoenergia-ala on viime vuosina lähtenyt nousuun ja sen potentiaali on huomattu. Aurinkoenergiajärjestelmiä myyviä ja maahantuovia yrityksiä on maassamme lukuisia. Lisäksi alaan liittyvää teollisuutta on syntynyt Suomeen, kuten Areva Solar Oy:n perustama aurinkopaneelitehdas Astrum-keskukseen. (www.aurinkoenergiaa.fi)

### 3.3 Hybridikeräimet

Perinteisten aurinkopaneelien ja -keräinten, jotka keskittyvät keräämään vain aurinkolämpöä tai tuottamaan aurinkosähköä, lisäksi on hybridikeräimiä, jotka tuottavat sekä sähköä että lämpöä auringonsäteilystä. Hybridikeräimiä ei ole markkinoilla monia vaihtoehtoja, mutta yksi hyvä esimerkki niistä on Global Sun Engineeringin Matarenki Light keskittävä hybridikeräin (Kuva 15).

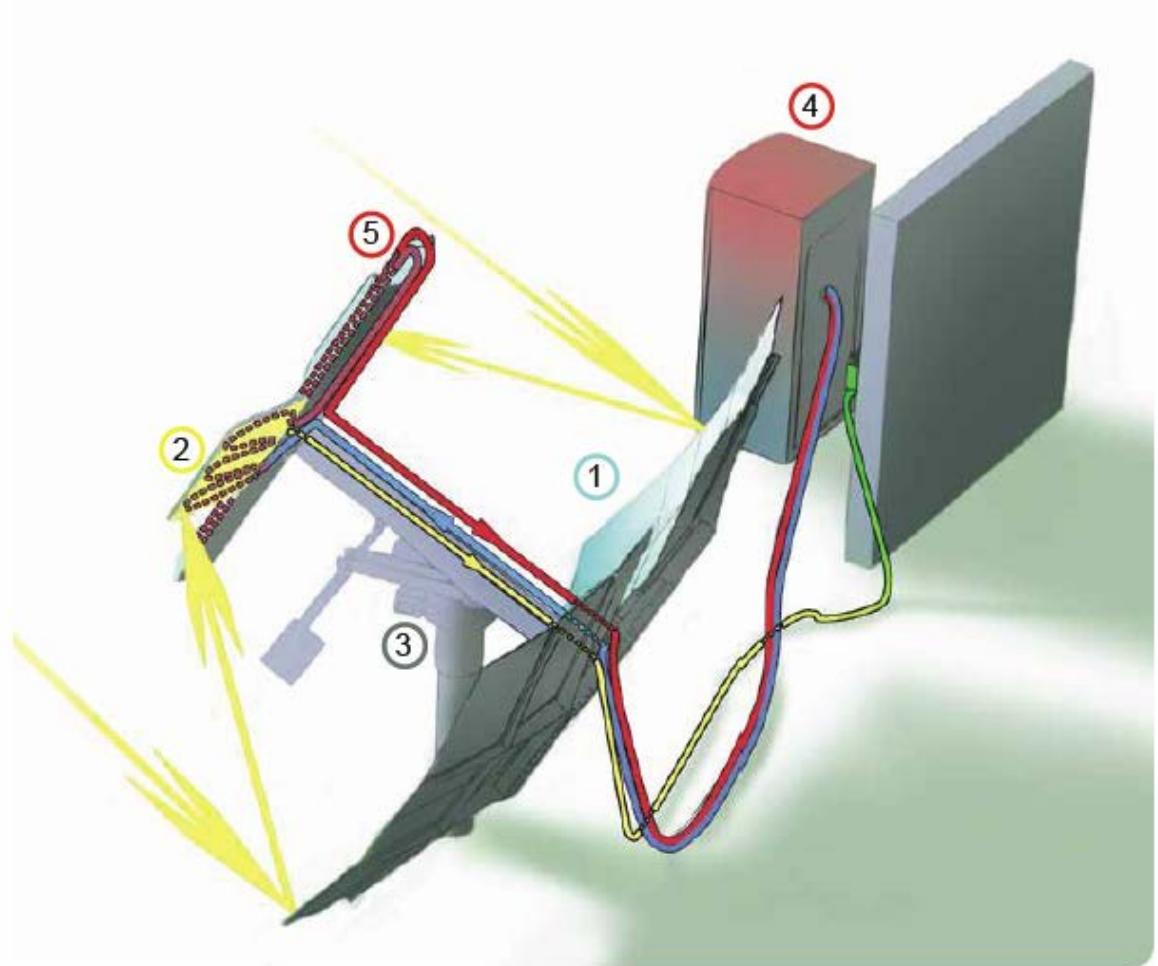


KUVA 15. Matarunki Light 5.3 hybridikeräin.

([http://www.globalsunengineering.com/images/stories/matarunkilight/hemsidesbild\\_M.L.\\_5.3.jpg](http://www.globalsunengineering.com/images/stories/matarunkilight/hemsidesbild_M.L._5.3.jpg))

Kuten kuvasta 10 huomataan, Matarunki Light keskittää auringon valoa peilaamalla sitä keräimiin, jolloin pieneltäkin alueelta saadaan moninkertaista tuottoa. Huipputeho laitteistolla on 1050 W sähköä sekä 4200 W lämpöä. Kuvasta 16 selviää Matarunki Lightin rakenne tarkemmin.





KUVA 16. Matarinki Light –hybridikeräimen rakenne.

(<http://www.gsesweden.com/images/stories/pdf/folder.pdf>)

Matarinki Light –hybridikeräimen rakenne (Kuva 16) ja osat:

- 1) **Heijastuspinta:** Keskittää tulevan auringonvalon keräimiin. Pinnat on tehty voimakkaasti heijastavasta peililasista.
- 2) **Keräin-osa:** Auringonvalo osuu aurinkokennoon, joka tuottaa auringonsäteilystä sähköä. Keskitetty auringonvalo myös kuumentaa elementtiä voimakkaasti ja se lämpö otetaan talteen jäähdytysnesteen avulla.
- 3) **Auringon seurantalaitteisto:** Laite kohdistuu automaattisesti aurinkoa kohti, jolloin auringon valosta saadaan suurin hyöty koko päivästä.
- 4) Ja 5) **Lämmitysjärjestelmä:** Säteilyenergiaa, jota ei saada sähköksi, otetaan talteen lämpönä. Kylmä vesi tai lämmönsiirtoneste tulee lämminvesivaraajasta ja absorboi lämpöä hybridikeräimestä jäähdyttäen samalla keräinmoduulia, mikä parantaa sähköntuotantoa.

(Global Sun Engineering, Matarinki Light 5.3 –esite, luettu 9.4.2015)

### 3.4 Sijoitus ja suuntaus

Jotta aurinkoenergiajärjestelmästä saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä, on tärkeää sijoittaa paneelit tai keräimet siten, että mikään ei estä auringonsäteilyn pääsyä niihin. Esimerkiksi rakennukset ja puut ovat esteitä, jotka tulee huomioida paneeleja sijoiteltaessa. Kun paneeleita asennetaan kaltevalle katolle, kannattaa paneelit asentaa lähtökohdaisesti lappeen suuntaisesti ja katon alalappeesta on jätettävä vähintään yhden paneelin pituuden verran etäisyyttä ylöspäin. Tällöin myös lumiesteille jää tarpeeksi tilaa katolla. Tasakatoille paneelit asennetaan erillisiin telineisiin, jolloin niiden ilmansuunta ja kallistuskulma voidaan valita vapaasti. Aurinkosähköpaneelien tausta tulisi jättää tuulettuvaksi.

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

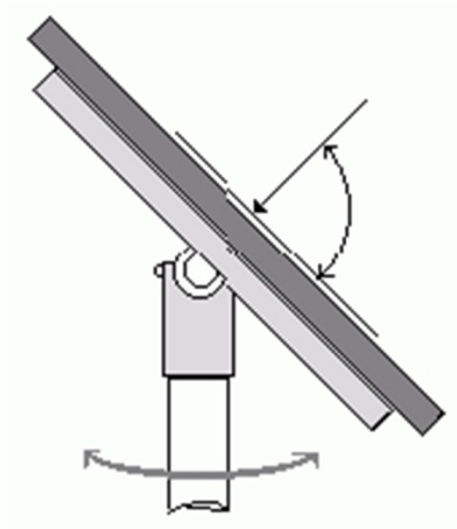
Kun aurinkopaneelit integroidaan rakennuksen seiniin tai kattorakenteisiin, ne voidaan erityisesti suurissa kiinteistöissä suunnitella visuaalisesti sopivaksi osaksi rakennuksen arkkitehtuuria tai niillä voidaan korvata muita kalliita julkisivumateriaaleja. Aurinkopaneelit voivat myös toimia vaikkapa ikkunoiden tai tankkausasemien aurinkovarjoina.

Suomessa paneelit suunnataan mahdollisuuksien mukaan etelään. Niin saadaan suurin vuosituotto eivätkä kohtuulliset poikkeamat ( $\pm 15^\circ$ ) vähennä tuottoa paljoakaan. Itään tai länteen suuntaaminen pienentää vuosituotantoa jo merkittävästi. Jos säännölliset merkittävät kulutushuiput kuitenkin ajoittuvat joko aamupäivään tai iltapäivään, lähes itään (aamupäivä) tai länteen (iltapäivä) suuntaaminen voi olla perusteltua. Tehokkain kallistuskulma on noin 35-45 astetta. Vuosituotanto pienenee hitaasti optimikulmasta poikettaessa. Kallistuskulmat  $30^\circ$  ja  $60^\circ$  tuottavat vielä miltei yhtä paljon sähköä vuodessa kuin optimikulma. Mitä pienempi kallistuskulma, sitä terävämpi tuotannon kausihuippu saavutetaan keskikesällä. Vastaavasti mitä pystympään paneelit asetetaan, sitä tasaisemmin ne tuottavat keväästä syksyyn. ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))

Aurinkopaneelit voidaan asentaa joko kiinteästi tai aurinkoa seuraaviksi (Kuva 17). Yhden kääntymisakselin avulla voidaan seurata joko auringon korkeutta tai ilmansuuntaa. Kahden akselin seurannalla paneelit voidaan suunnata aina täsmälleen aurinkoa kohti. Kahden akselin seurannalla voidaan saavuttaa olosuhteista riippuen noin puolitoistakertainen tai jopa kaksinkertainen vuosituotanto kiinteään asennukseen verrattuna. Seuran-

tajärjestelmät kuitenkin kasvattavat merkittävästi hankintahintaa ja liikkuvista osista aiheutuu vuosien varrella myös enemmän huoltokustannuksia, joten seurantajärjestelmien kannattavuus riippuukin useista tekijöistä.

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



KUVA 17. Kahden akselin seurantajärjestelmä.

(<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/VAP-%20teline%20%20ok%281%29.JPG>)

## 4 AURINKOENERGIAN KÄYTTÖ VUOREKSESSA

Tässä luvussa analysoidaan kolmen Tampereen Vuoreksessa sijaitsevan omakotitalon aurinkoenergiajärjestelmän toimintaa. Alempana mainitut kohteet ovat TAMKIn Vuores-hankkeesta. Vuoreksen olosuhde- ja energianseuranta hankkeen tarkoituksena oli tarjota mukaan ilmoittautuneille Vuoreksen asukkaille tukea ja vastauksia muun muassa energiatehokkaaseen rakentamiseen ja asumiseen ja taloteknisiin laitteisiin liittyviin kysymyksiin. TAMKIn lisäksi hankkeessa olivat mukana muun muassa Tampereen kaupungin Vuores-hanke, Ekokumppanit oy ja ECO2-hanke. Hankkeeseen osallistui 15 kappaletta vuonna 2012 valmistunutta pientaloa Tampereen Vuoreksesta ja hanke päättyi toukokuussa 2015.

TAMKIn Vuores-hankkeesta valittiin tähän työhön kolme kohdetta, joissa on ollut jonkinlaista aurinkoenergian tuotantoa ja siihen liittyvää mittausta. Kohteet pidetään nimettöminä ja kohteisiin viitataan kohdekirjaimilla asukkaiden yksityisyyden suojan vuoksi. Kustakin kohteesta on asukas toimittanut aurinkoenergian tuottotiedot Vuores-hankkeeseen. Kahdessa kohteessa hyödynnetään aurinkolämpöä ja yhdessä aurinkosähköä. Tässä luvussa kunkin kohteen mitattua energiantuottoa verrataan laskuriohjelmalla laskettuun tulokseen ja mahdollisiin eroihin pohditaan mahdollisia syitä.

Laskelmiin on käytetty PVGIS-laskentatyökalua (Kuva 18). PVGIS on Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen energian ja liikenteen instituutin tarjoama ilmainen verkkotyökalu, jolla voidaan arvioida pinnalle kohdistuvaa säteilyenergiaa sekä aurinkosähköjärjestelmän tuottoa eri kennomateriaaleilla. Ohjelma käyttää Suomen osalta kymmenen vuoden säteilykeskiarvoja vuosilta 1981 - 1990. Ohjelmaan määritetään aurinkosähköjärjestelmän maantieteellinen sijainti, kennotyyppi, nimellisteho, arvioidut tehohäviöt järjestelmässä sekä paneelien kallistus- ja suuntakulma.

The screenshot displays the PVGIS Interactive Maps interface. The top navigation bar includes logos for JRC and CM SAF, and the title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. The breadcrumb trail reads 'EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe'. A search bar is present with a search button and a 'Go to lat/lon' button. The map shows a location in Särkijärvi, Finland, with a red pin. The configuration panel on the right is titled 'Performance of Grid-connected PV' and includes the following settings:

- Radiation database: Classic PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 6.6 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 14 %
- Fixed mounting options:
  - Mounting position: Building integrated
  - Slope [0;90]: 22 °
  - Azimuth [-180;180]: -22 °
- Tracking options:
  - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
  - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
  - 2-axis tracking:
- Horizon file: Selaa... Ei valittua tiedostoa.
- Output options:
  - Show graphs:
  - Web page:
  - Show horizon:
  - Text file:
  - PDF:

A 'Calculate' button and a '[help]' link are at the bottom of the panel.

KUVA 18. Aurinkosähköjärjestelmän potentiaalın arviointi työkalu.

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

#### 4.1 Kohde A

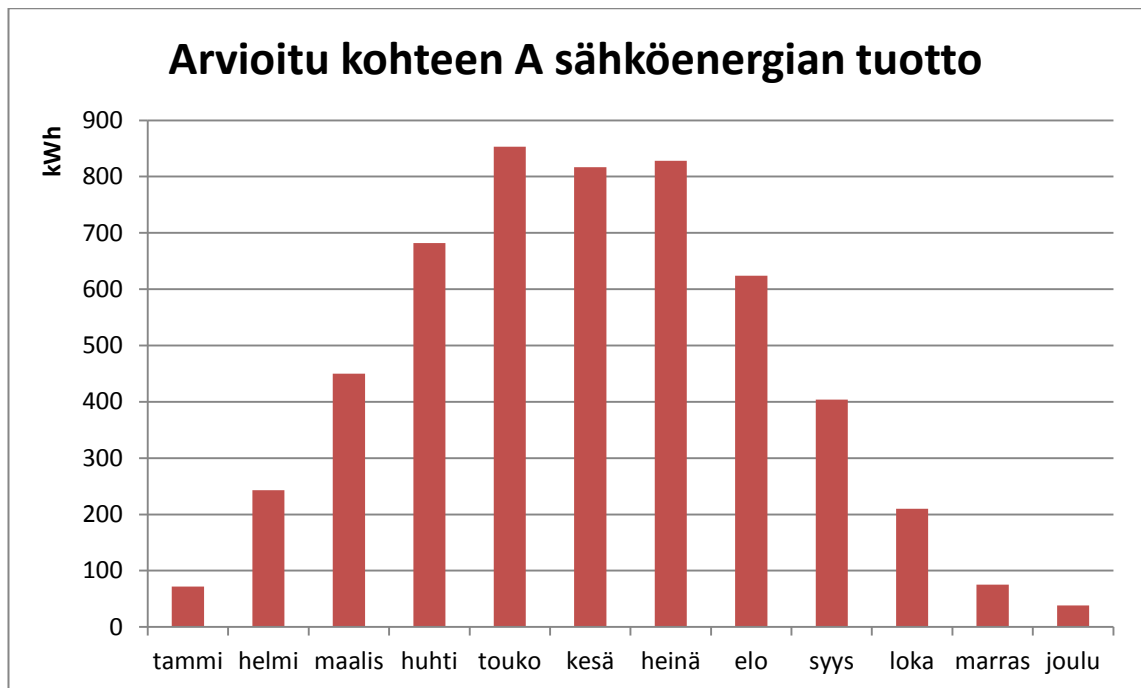
Kohde A on neljän asukkaan lähes nollaenergiatalo, jonka lämmitetty nettoala on 150 m<sup>2</sup>. Kohteen päälämmitysjärjestelmänä toimii poistoilmalämpöpumppu, ja lämmönjako tapahtuu vesikiertoisella lattialämmitysjärjestelmällä. Kohteen eteläkaakon suuntaisella katolla on aurinkopaneeleita, joiden yhteenlaskettu nimellisteho on 6,6 kW<sub>p</sub> ja kallistuskulma 22 astetta. Järjestelmään kuuluu SMA:n 8 kW kolmivaiheinvertteri. Invertterin koon ansiosta nimellistehoa mahdollisesti suuremmat huipputehon piikit saadaan myös hyödynnettyä. Paneelit on ketjutettu sarjaan kahteen ryhmään. Yhteensä paneeleita on 28 kappaletta ja ne ovat 235 W:n Solarwatt Blue 60P –monikiteisiä piipaneeleita. Yhteensä paneeleita on lähes 50 m<sup>2</sup>. Paneelit on ryhmitelty invertterin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Ryhmäkeskuksen mittarit mittaavat aurinkosähköjärjestelmän tuottaman ja jakeluverkkoon syötetyn tehon. Kohteen A aurinkosähköjärjestelmä on ylimitoitettu, jotta kiinteistön E-luku on saatu mahdollisimman pieneksi. Kesän huipputunteina suurin osa tuotetusta sähköstä syötetään valtakunnan sähköverkkoon, sillä erillistä akustoa kohteessa ei ole.

#### 4.1.1 Laskettu tuotanto

Aurinkosähkön tuoton laskemiseen käytetään edellä esiteltyä PVGIS-laskentatyökalua (Kuva 14), joka laskee annettuja parametreja käyttäen potentiaalinen aurinkosähköjärjestelmälle. Kun järjestelmän teho on 6,6 kW<sub>p</sub>, järjestelmän johtojen ja muiden häviöiden oletetaan olevan 10 %, kallistuskulmana käytetään 22 °, atsimuuttikulmana noin -20 ° eli suuntana etelän ja kaakon välissä, saadaan vuoden energiatuotannon laskennalliseksi arvioksi 5300 kWh. Taulukosta 1 nähdään kohteen A arvioitu vuoden sähköenergian tuotto ja auringonsäteily määrä neliötä kohden kuukausittain. Arvioitu sähköenergian tuotanto nähdään graafisesti kuviosta 3.

TAULUKKO 1. Vuotuinen laskennallinen säteily määrä kallistetulle ja suunnatulle tasopinnalle ja laskennallinen vuotuinen aurinkosähkön tuotto 6,6 kW<sub>p</sub>:n järjestelmällä kohteessa A.

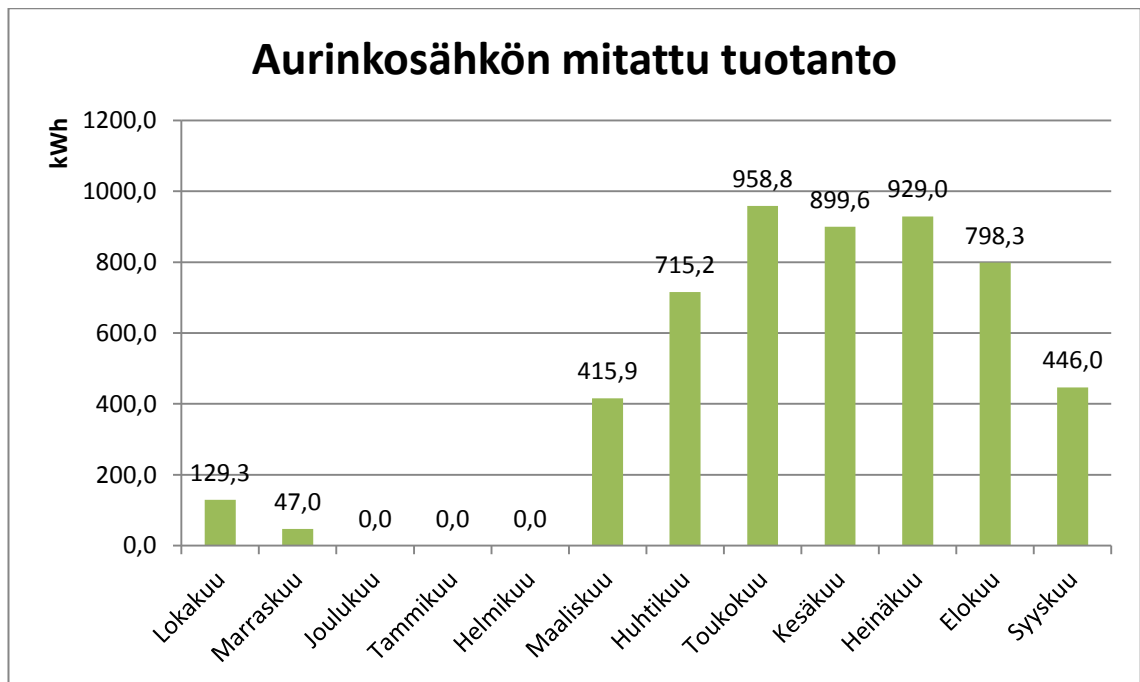
kuukausi	säteily määrä (kWh/m <sup>2</sup> )	Tuotto (kWh)
tammi	12,7	71,6
helmi	42,3	243
maalis	81,4	450
huhti	131	682
touko	173	853
kesä	169	817
heinä	173	828
elo	127	624
syys	78,3	404
loka	38,8	210
marras	13,5	75,1
joulu	6,81	38,1
<b>yhteensä</b>	<b>1046,81</b>	<b>5295,8</b>



KUVIO 3. Arvioitu vuoden aurinkosähkön tuotto kuukausittain 6,6 kW<sub>p</sub>:n järjestelmällä kohteessa A.

#### 4.1.2 Mitattu tuotanto

Kohteen A mitattu aurinkosähköntuotanto on kuvion 3 mukainen. Kuvaaja etenee aikajärjestyksessä, eli ensimmäiset mittaustulokset on tallennettu 1.10.2012. Vaikka arvion mukaan järjestelmän olisi pitänyt antaa tuottoa myös joulukuussa, tammikuussa ja helmikuussa, ei sitä tullut todennäköisesti sen takia, että paneeleita ei oltu välttämättä puhdistettu lumesta ennen maaliskuun 15. päivää.



KUVIO 4. Kohteen A aurinkosähkön mitattu tuotto. (Vuores -hanke. Kohde A aurinkopaneelien tuotto)

#### 4.1.3 Yhteenveto

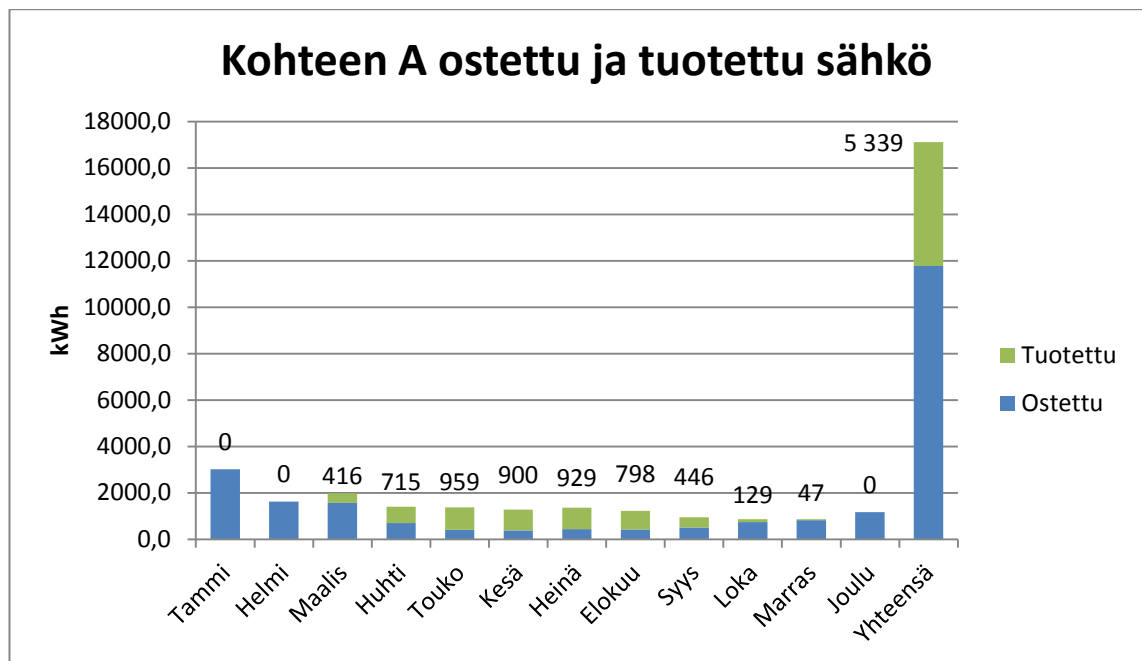
Kuviosta 5 huomataan, että aurinkosähkön laskettu ja mitattu kokonaistuotanto on suurin piirtein sama, kun vuoden 2013 yhteenlaskettu mitattu tuotto on 5339,2 kWh ja arvioitu tuotto 5295,8 kWh. Kuten kuviosta 5 voidaan todeta, tulokset eivät eroa suuresti eri kuukausinakaan silloin, kun järjestelmä on ollut kunnolla toiminnassa.



KUVIO 5. Kohteen A aurinkosähkön mitattu ja arvioitu tuotto 6,6 kW<sub>p</sub>:n järjestelmällä.



Kohteesta A saatiin Vuores-hankkeeseen sähkönkulutustiedot kohteen sähköyhtiöltä. Kuviossa 6 on esitetty kohteen sähkönkulutus ja ostetun ja tuotetun energian suhde vuonna 2013. Kuvioista 6 huomataan hyvin, että kesäkuukausina sopivan kokoinen aurinkosähköjärjestelmä riittää hyvin pitkälle talon sähköjärjestelmien ylläpitoon päivisin. Kesäkuukausina sähköyhtiöltä ostettu sähkö on suurilta osin aamuyöllä ja illalla, kun aurinkosähköä ei saada ja sähkön tarve on suuri (Vuores-hanke kohde A sähkönkulutustiedot).

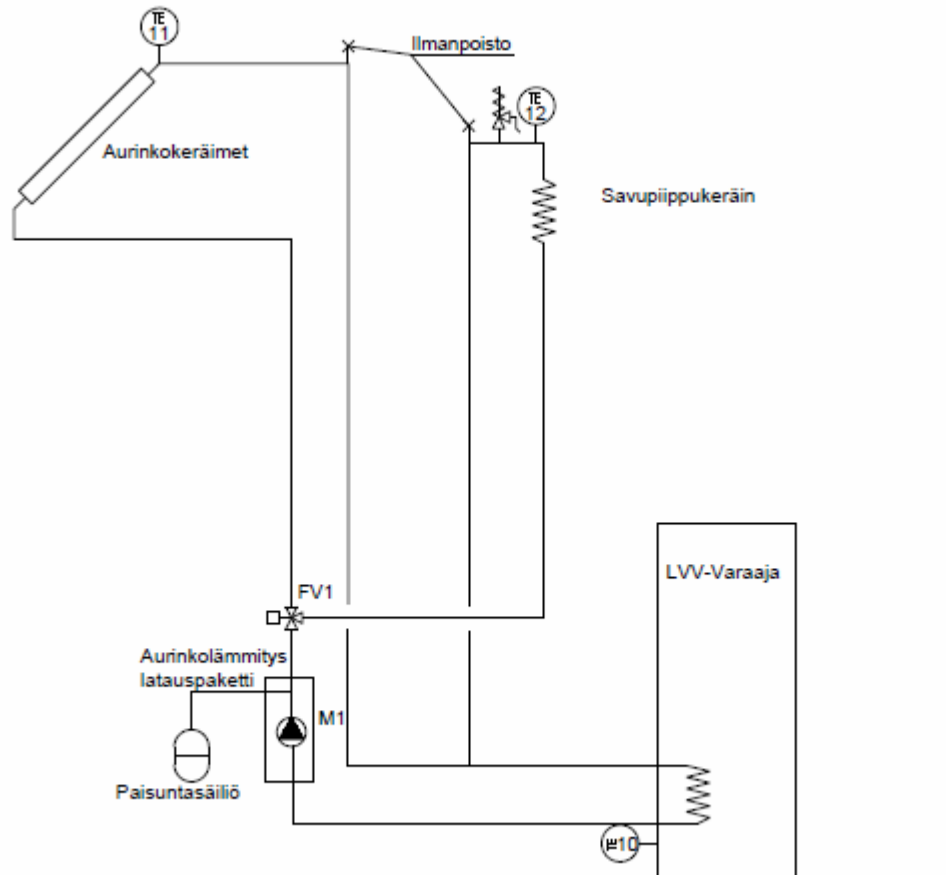


KUVIO 6. Kohteen A sähkönkulutus ja ostetun ja tuotetun sähköenergian suhde vuonna 2013.

## 4.2 Kohde G

Kohteessa G asuu neljä henkilöä, joista yksi on vuokralla yläkerrassa. Kohteessa päälämmitysmuotona toimii takka ja lämmönjakona Tulilattia Oy:n ilmakiertoinen lattialämmitys. Lämmitettyä nettoalaa on 242 m<sup>2</sup>. Käyttöveden lämmitykseen on asennettu sähkövastukset ja aurinkokeräimet. Kohteen katolle on sijoitettu kolme kappaletta Doranova Solarblue nestekiertoisia tasokeräimiä. Yhteinen pinta-ala keräimistölle on 6 m<sup>2</sup> ja apertuuripinta-ala 5,37 m<sup>2</sup>. Keräimet on asennettu kattokulman mukaisesti noin 13 asteeseen etelän suuntaiselle katolle. Tätä järjestelmää selventää lämmityksen kytkentäkaavio kuvassa 19.

Tarkkaa aurinkoenergian tuoton arviointia haittaa se, että mittariin, jolla aurinkolämmöntuottoa mitataan, tulee myös takan savupiippukeräimen tuotto (kuva 19). Tämä otetaan huomioon mahdollisimman hyvin aurinkolämmön tuottoa arvioitaessa. Toinen ikävä asia tähän järjestelmään liittyen on, että yritys, joka järjestelmän on myynyt, ei mainitse kotisivuillaan enää sanallakaan aurinkoenergiaa.



KUVA 19. Kohteen G lämmityksen kytkentäkaavio. (Vuores-hanke G lämmitys)

#### 4.2.1 Laskettu

Aurinkolämmön laskemiseksi ei suoraan löydy laskuria, mutta arvioinnissa pystytään hyödyntämään PVGIS-ohjelmaa, sillä siitä saadaan kuukausittain keskimääräiset aurin-  
gon säteilymäärät tiettyyn kulmaan ja suuntaan kallistetulle tasopinnalle. Aurinkoke-  
räimillä säteilyn määrästä voidaan muuttaa noin 25-35 prosenttia lämmöksi  
([http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia)).

Kuukausittaiset säteilymäärät on kerrottu keräinten yhteenlasketulla apertuuripinta-alalla ja saatu tulos kerrotaan vielä yllä mainitulla prosenttiarvolla. Hyötysuhdeprosentiksi valittiin 27, sillä siinä on kompensoitu itse keräinten hyötysuhteita, sekä mahdollisia järjestelmän muita häviöitä. Laskutapa nähdään myös kaavasta 1.

$$\text{kuukausittainen energia} = \text{apertuuriala} \cdot \text{kuukauden säteily määrä} / \text{m}^2 \cdot 27 \% \quad (1)$$

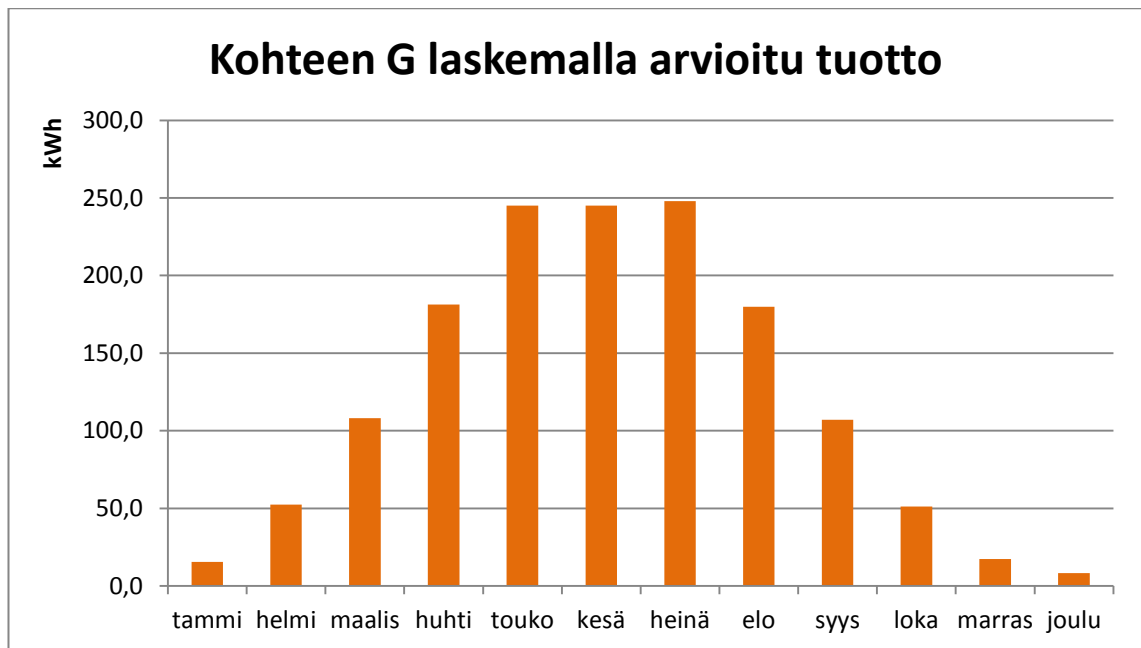
Esimerkkinä lasketaan tammikuun aurinkoenergian tuotanto kohteen G järjestelmällä käyttäen kaavaa 1:

$$5,37 \text{ m}^2 \cdot 10,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,27 = 14,6 \text{ kWh}$$

Samalla tavoin lasketaan muiden kuukausien tuotanto, jolloin saadaan taulukon 2 mukaiset tulokset. Taulukossa olevat säteilymäärät ovat PVGIS-ohjelmasta saatuja säteilymääriä ja tuotanto on niiden avulla laskettu kaavalla 1. Samat laskennalliset aurinkolämmön tuotannon energiamäärät näkyvät myös kuviossa 7.

TAULUKKO 2. Vuotuinen laskennallinen säteily määrä kallistetulle ja suunnatulle ta-  
sopinnalle ja laskennallinen vuotuinen aurinkolämmön tuotanto kohteessa G.

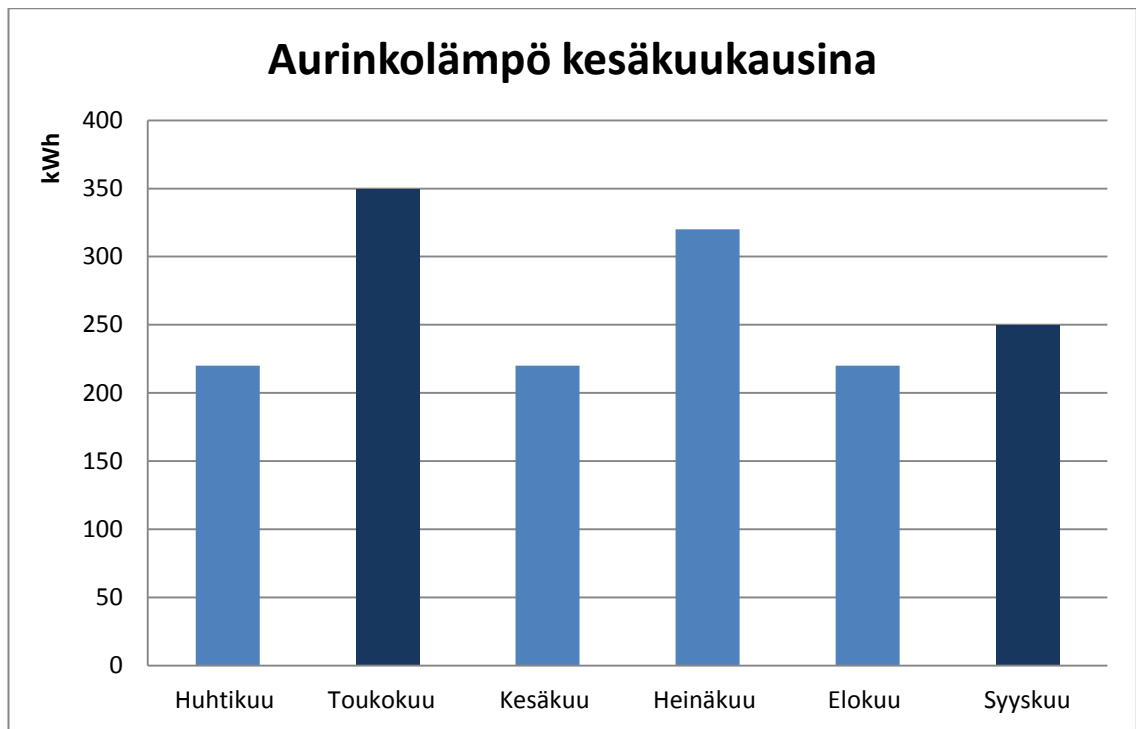
kuukausi	säteily määrä (kWh/m <sup>2</sup> )	tuotanto (kWh)
tammi	10,6	15,4
helmi	36,2	52,2
maalis	74,5	108,0
huhti	125	181,2
touko	169	245,0
kesä	169	245,0
heinä	171	247,9
elo	124	179,8
syys	73,8	107,0
loka	35,3	51,2
marras	11,9	17,3
joulu	5,63	8,2
<b>yhteensä</b>	1005,93	1458,5



KUVIO 7. Laskennallinen vuotuinen aurinkolämmön tuotanto kohteessa G.

#### 4.2.2 Mitattu tuotanto

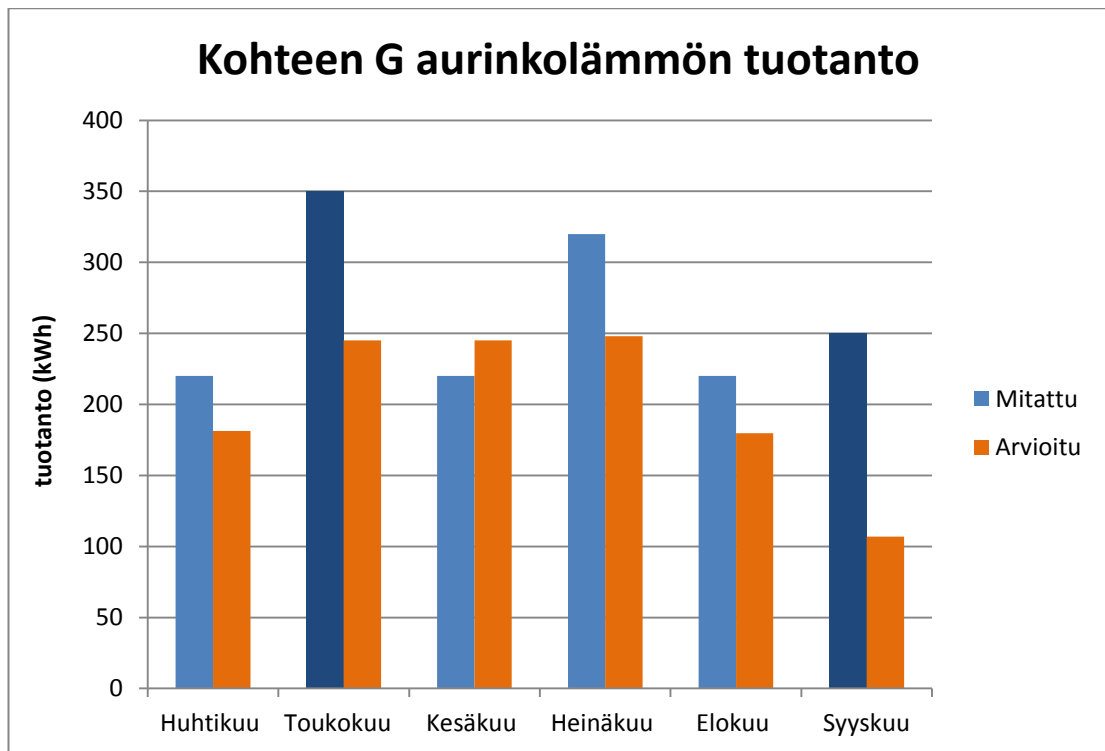
Kohteessa G arvioitu toteutunut aurinkolämmön tuotanto on kuvion 8 mukainen. Tuotto on luettu graafisesta kuvaajasta kohteen mittarista, joten aivan tarkkoja lukuja ei ole saatu. Luvut ovat vuodelta 2014. Kohteen käyttäjä arvioi, että toukokuun kohdalla on myös takkaa ollut käytössä huomattavasti. Muutoin hän ilmoittaa, että kesäaikaan takkaa ei ole elokuun loppuun mennessä käytetty ja syyskuussa ehkä joka kolmas päivä. Kuviossa 8 on toukokuun ja syyskuun tuotto esitetty tummemmalla värillä sen takia, että niissä on takkaa käytetty huomattavasti.



KUVIO 8. Kohteen G toteutunut aurinkoenergian tuotto vuoden 2014 kesäkuukausina. Tummiin palkkien aikaan on takka ollut merkittävästi käytössä (sähköpostiviesti asukkaalta 20.11.2014)

#### 4.2.3 Yhteenveto

Kuviosta 9 nähdään mitatun ja laskemalla arvioidun aurinkolämmön tuoton erot. Mitattua energiaa vuoden 2014 huhtikuusta syyskuuhun on yhteensä noin 1580 kWh. Laske-  
malla saatu aurinkolämmön tuotto samalta aikaväliltä yltää noin 1200 kilowattituntiin. Yksi suurimmista syistä mitattujen ja arvioitujen tuottojen eroihin on varmasti aurinko-  
lämpöjärjestelmän kanssa saman mittarin takana toimiva takka. Kuten asukas kertoi, on takka varmasti mukana toukokuun tuotossa. Sama asia toistuu syyskuussa. Kesäkuussa arvioitu tuotto ylittää mitatun tuoton. Kesä- ja heinäkuussa ero johtunee vuosittaisten sääolojen vaihtelusta. Tuloksista voi päätellä, että järjestelmä toimii kohtuullisen hyvin.



KUVIO 9. Kohteen G aurinkolämmön mitattu ja laskennallinen tuotto vuonna 2014.

### 4.3 Kohde J

Kohteessa J asuu kahdeksan henkilöä. Kohteessa toimii päälämmitysjärjestelmänä ilmalämpöpumppu, jolloin lämmönjakona toimii ilmanvaihto. Lämmitettävää alaa on 164 m<sup>2</sup>. Päälämmityksen tukena toimii 1,8 kW lattialämmityskaapeli sekä ilmanvaihtojärjestelmään asennettu 3 kW:n sähkövastus. Tässäkin kohteessa aurinkolämpöä käytetään käyttöveden lämmittämiseen 6 kW sähkövastusten rinnalla.

Aurinkolämpöjärjestelmä on Sundialin toimittama SF3-tyypin paketti. Tasokeräinten pinta-alaa on yhteensä 4,36 m<sup>2</sup> ja apertuurialaa on yhteensä 4 m<sup>2</sup>. Keräimet on asennettu etelän suuntaan 45 asteen kulmaan katolle. Keräimet on liitetty Jäspin 300 litran varajaan aurinkokierukkaan asennusohjeiden mukaisesti.

#### 4.3.1 Laskettu

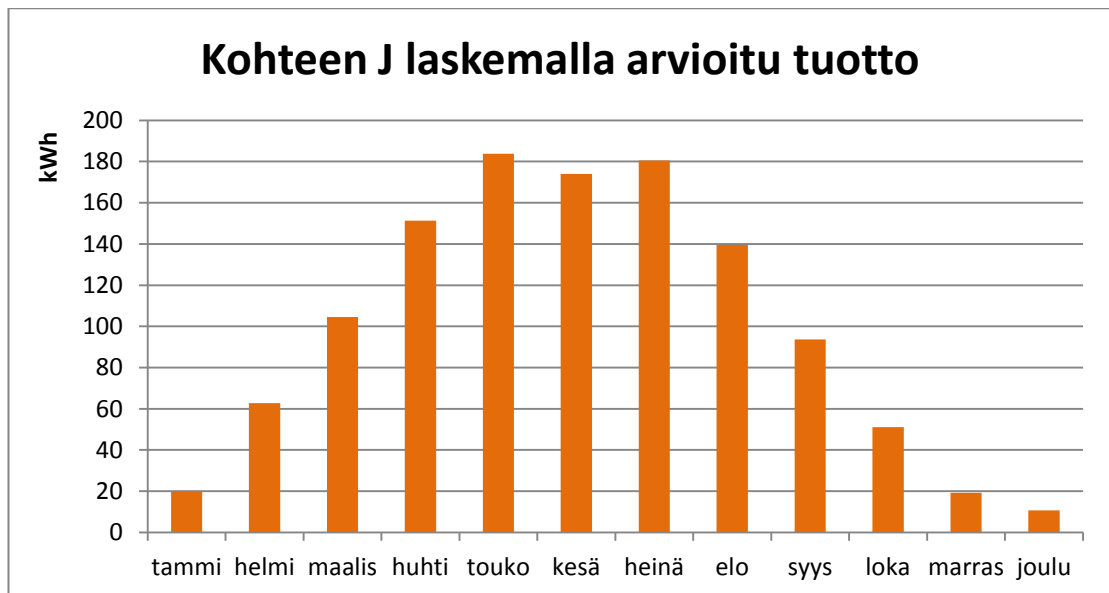
Motivan mukaan aurinkokeräimillä voidaan muuttaa noin 25-35 prosenttia säteilyn määrästä lämmöksi (Motiva. Aurinkoenergia). Säteilyn määrä on saatu PVGIS-ohjelmalla antamalla suuntaparametriksi etelä ja kallistuskulmaksi 45 astetta keräinten asennuksen mukaan. Kuukausittaiset säteilymäärät on kerrottu keräinten yhteenlasketul-

la apertuuripinta-alalla ja saatu tulos kerrotaan vielä hyötysuhdeprosentilla. Hyötysuhdeprosentiksi valittiin 27, sillä siinä on kompensoitu itse keräinten hyötysuhteita, sekä mahdollisia järjestelmän muita häviöitä. Laskutapa nähdään myös kaavasta 1. Esimerkkinä lasketaan tammikuun tuotanto järjestelmälle kaavalla 1 ja samalla tavoin lasketaan muiden kuukausien tuotanto, jolloin saadaan taulukon 3 mukaiset tulokset. Tulokset näkyvät myös kuviosta 10.

$$4,004 \text{ m}^2 \cdot 18,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,27 = 19,68 \text{ kWh}$$

TAULUKKO 3. Vuotuinen laskennallinen säteily määrä kallistetulle ja suunnatulle tasopinnalle ja laskennallinen vuotuinen aurinkolämmön tuotanto kohteessa J.

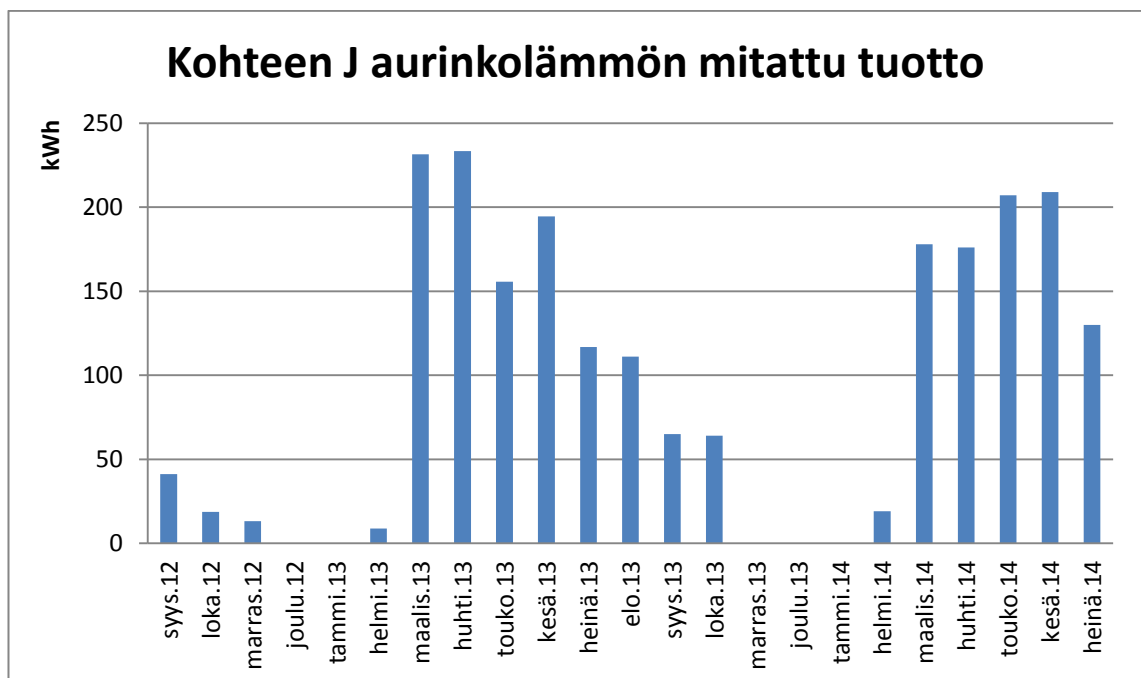
kuukausi	säteily määrä (kWh/m <sup>2</sup> )	tuotanto (kWh)
tammi	18,2	19,7
helmi	58,1	62,8
maalis	96,7	104,5
huhti	140	151,4
touko	170	183,8
kesä	161	174,1
heinä	167	180,5
elo	129	139,5
syys	86,7	93,7
loka	47,3	51,1
marras	17,8	19,2
joulu	10,0	10,8
<b>yhteensä</b>	1101,77	1191,1



KUVIO 10. laskennallinen vuotuinen aurinkolämmön tuotanto kohteessa J.

#### 4.3.2 Mitattu tuotanto

Kohteen J tuotto on otettu ylös kuukausittain kohteen käyttäjän toimesta. Tuotto saattaa sisältää pieniä epätarkkuuksia, mutta kokonaistulos on tarkka. Mittaustuloksia on vuoden 2012 syyskuusta asti vuoden 2014 heinäkuuhun. Tulokset ovat kuvion 11 mukaiset. Vuoden 2013 tuotto oli noin 1180 kWh.

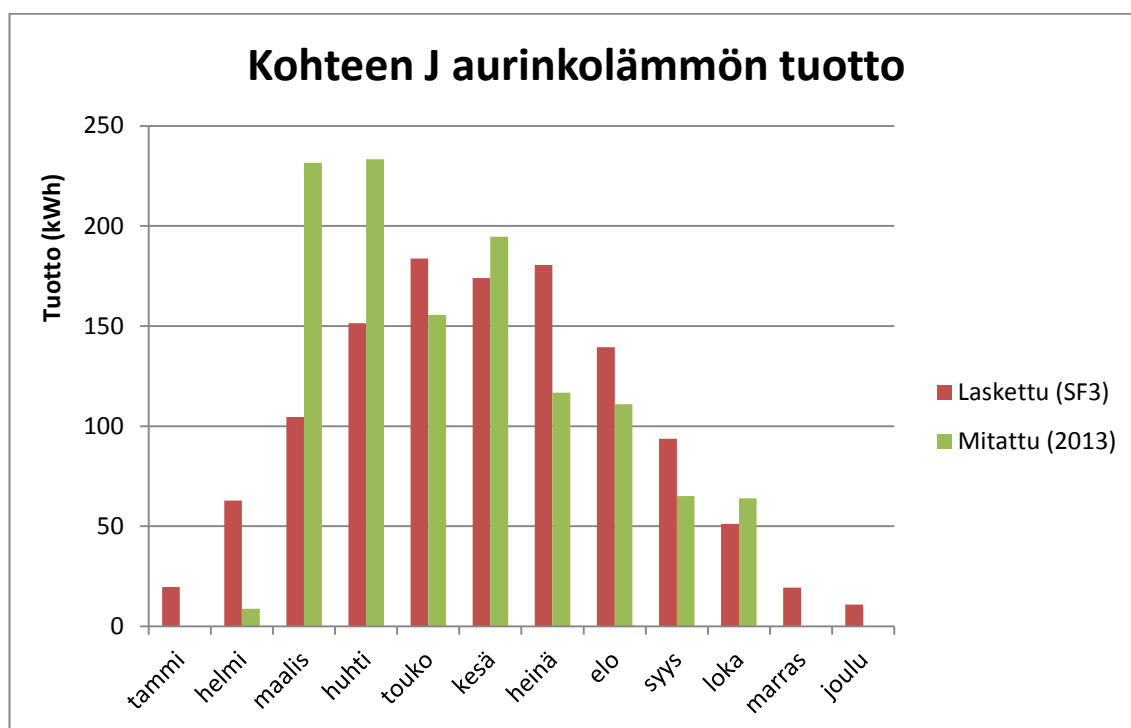


KUVIO 11. Kohteen J toteutunut aurinkolämmön tuotto. (sähköpostiviesti asukkaalta 29.9.2014)



### 4.3.3 Yhteenveto

Yhteenveto laskennallisesta ja mitatusta aurinkolämmön tuotosta näkyy kuviosta 12, johon on otettu taulukon 3 tulokset sekä kuvion 11 mittaustuloksia vuoden 2013 osalta. Kohteen J yhteenlaskettu laskennallinen aurinkoenergian tuotto on noin 1190 kWh ja vuoden 2013 mitattu tuotto oli 1180 kWh. Kuviosta 9 huomataan, että lasketut tuotot pysyvät samassa suhteessa joka kuukausi. Vaikka yhteenlasketut vuoden aurinkoenergian tuotot ovat lähes yhtä suuret, silti muutamina kuukausina on merkittäviä eroja laskennallisissa ja mitatuissa tuotoissa. Maaliskuun ja huhtikuun suurta tuottoa on vaikea selittää muutoin kuin, että joko vuonna 2013 on oikeasti ollut vain todella aurinkoinen kevät, tai mittari ei ole toiminut oikein. Ilmatieteen laitos tosin ilmoittaa vuoden 2013 olleen poikkeuksellisen lämmin vuosi, mutta auringon säteilymääriä ilmatieteen laitoksen sivuilta ei löydy. Tammikuussa, marraskuussa ja joulukuussa tuottoa ei ole, mikä johtuu todennäköisesti lumesta keräinten päällä.



KUVIO 12. Kohteen J lasketut ja mitatut aurinkolämmön tuotot.

## 4.4 Pohdinta

Kohteen G taulukon 2 arvoja voi pitää uskottavana, sillä aurinkokeräinten pinta-ala on kuitenkin  $6 \text{ m}^2$ , mikä on puolitoista kertaa niin suuri kuin esimerkiksi kohteessa J, josta

on saatu järjestelmälle tarkemmat tiedot. Kohteen G tuotto ei kuitenkaan ole suoraan suhteessa kohteen J tuottoon, sillä kohteen G aurinkokeräimet eivät ole yhtä optimaalisesti suunnattu. Tämä vähentää selvästi kohteen G aurinkolämmön tuotantoa.

Miten kohteen A toteutunut tuotanto voi olla suurempaa kuin laskettu potentiaali? Vaikka osa varmasti selittyy hieman todellisuudesta poikkeavista arvioinneista esimerkiksi järjestelmän häviöissä, on iso tekijä varmasti myös se, että vuosi 2013 on ollut oletettavasti poikkeuksellisen aurinkoinen vuosi. Ilmatieteen laitos tosin ilmoittaa vuoden 2013 olleen poikkeuksellisen lämmin vuosi, mutta auringon säteilymääriä ilmatieteen laitoksen sivuilta ei löydy. Laskentaohjelman käyttämät säteilymäärät ovat Suomen osalta puolestaan pitkän ajan keskiarvoja. Vielä eräs asia, joka myös tukee väitettä, löytyy kuviosta 11. Kuviosta 11 huomataan, että vuonna 2013 myös aurinkolämmön tuotanto on ollut laskennallista suurempaa kohteessa J verrattuna vuoteen 2014. Tässä oletetaan, että kohteen J aurinkolämpöjärjestelmä on toiminut suurin piirtein yhtä hyvin vuosina 2013 ja 2014.

## 5 YHTEENVETO

Lähes kaikki uusiutuva energia on lähtöisin auringosta. Vain geoterminen energia on uusiutuvaa energiaa, joka ei aiheudu auringosta. Ilman aurinkoa ei maapallolla olisi elämääkään. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa, jonka aktiivista hyödyntämistä kehitetään jatkuvasti. Aurinkoenergian käyttö on lisääntynyt huomattavasti koko maapallolla ja myös Suomessa. Aurinkoenergian aktiivinen käyttö lisääntyy muun muassa sen vuoksi, että keräintekniikka paranee ja järjestelmien hinnat laskevat. Myös Suomesta löytyy jo nykyään melko isoja aurinkolämpö- ja aurinkosähkökohteita.

Aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien keräinmalleja on monia. Eri malleissa ei ole huikeita eroja toisiinsa verrattuna. On myös olemassa hybridikeräimiä, jotka ottavat auringonsäteilyä talteen sekä lämpöä että sähköä. Hybridikeräin hyödyttää aurinkosähkön tuottoa, sillä lämmön kerääminen paneelista tyypillisesti jäädyttää sitä ja samalla tehostaa sähkön tuotantoa. Näiden lisäksi on keskittäviä keräimiä, jotka keskittävät auringon säteilyä peilaamalla sitä suuremmalta alueelta yhdelle keräinmoduulille ja näin moninkertaistavat säteilyenergian pienemmällä alueella. Eri keräintekniikoista riippuen keräimillä on erilaiset hyötysuhteet. Pääsääntöisesti aurinkolämpöjärjestelmällä saa noin 25 – 30 % auringon säteilyenergiasta lämpöä ja aurinkosähköjärjestelmällä noin 10 – 15 %.

Perinteiset paneelimaiset keräimet voidaan asentaa katolle, seinälle tai vaikka maahan telineille. Paneelien sijoituksessa on otettava huomioon kaikki esteet, sillä vähäinenkin varjostus saattaa heikentää energian tuotantoa suuresti. Sijoituksen lisäksi on ajateltava paneelien suuntausta. Aina optimikulmaan etelään suuntaus ei ole paras vaihtoehto, vaan pitää harkita kevään ja syksyn säteilyn määrän vaikutusta koko vuoden tuottoon ja suunnata paneelit ehkä enemmän sivulle sen mukaan. Paneeleille on myös olemassa aurinkoa seuraavia telineitä, jotka kääntävät paneelit siten, että auringonsäteilyä saadaan mahdollisimman paljon irti. Nämä kuitenkin tekevät järjestelmästä kalliimman ja lisäksi paneeleita kääntävät moottorit kuluttavat energiaa.

Vuonna 2012 järjestetyillä asuntomessuilla Tampereen Vuoreksessa oli näytteillä useita kohteita, joissa hyödynnettiin aurinkoenergiaa sähköinä tai lämpönä tai jopa molempina. Joissain kohteissa oli myös aurinkoenergian tuotannon mittausta. Tässä opinnäytetyössä

esiintyvistä kolmesta kohteesta vain yhtä kohdetta tarkasteltaessa oli tietojen saannissa enemmän ongelmia. Järjestelmä toimii, mutta järjestelmän myyjä ei enää ole aurinkoenergia-alalla. Kaikkien kohteiden aurinkoenergiajärjestelmät toimivat laskelmiin verrattuna melko hyvin. Energiantuoton laskeminen ei onnistunut täysin ongelmitta, mutta tuloksiin vaikuttaa niin moni asia, että kaikkia ei millään pysty käytössä olevilla resursseilla tarkasti laskemaan.

## LÄHTEET

Nine Planets – Solar System Tour. Tietoa auringosta

<http://nineplanets.org/sol.html>

Luettu 3.3.2015.

TTY. SMG-4300 Aurinkosähkö ja Tuulivoima. Aurinkosähkön 1. Luento

<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4300/luennot/luento1.pdf>

Luettu 28.4.2015

PVeducation.org. Standard Solar Spectra.

<http://www.pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>

Luettu 23.5.2015

Nieminen. Kotiposti.net. Mustan kappaleen säteily

<http://www.kotiposti.net/ajnieminen/mks.pdf>

Luettu 23.5.2015

Novafuture.fi Aurinkokeräin

<http://novafuture.fi/tuotto.html>

Luettu 3.3.2015

Mauthner & Weiss. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the energy supply 2012

<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien1016.pdf> Luettu 3.3.2015

Motiva.fi. Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä. Aurinkoenergia

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia)

Luettu 12.4.2015

Kallioharju. Uusiutuvat energialähteet kiinteistössä –kurssi aurinkoenergian ja aurinkosähkön perusteet\_syksy2013.pdf

Luettu 3.3.2015

Motiva.fi. Aurinkoenergia. Aurinkolämpö

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo)

Luettu 12.4.2015

Fraunhofer. Recent Facts about Photovoltaics in Germany

<http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien->

[en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf) Luettu

12.4.2015

Huoltodata. Aurinkosähkö.fi. Perusteet

<http://www.huoltodata.com/aurinko/perusteet.html>

Luettu 21.5.2015

Motiva.fi. Aurinkosähkö. Aurinkosähköteknologiat.

[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologi](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologi)

Luettu 12.4.2015

Kompo2010. komponenttien "avaus"wiki. Aurinkokenno

<http://kompo2010.wikispaces.com/Aurinkokenno>

Luettu 3.3.2015

TKK AES. New & Renewable Energy Systems Group. Photovoltaics

<http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>

Luettu 2.5.2015

Finnwind. Aurinkosähköjärjestelmät ja tuulivoimalat avaimet käteen asennettuna

<http://www.finnwind.fi/aurinkovoima>

Luettu 2.5.2015

Global Sun Engineering. Matarenki Light 5.3

<http://www.gsesweden.com/images/stories/pdf/folder.pdf>

Luettu 9.4.2015

Motiva.fi. Aurinkopaneelin asentaminen

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

Luettu 2.5.2015

PVGIS. Joint Research Centre

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

Luettu. 3.3.2015