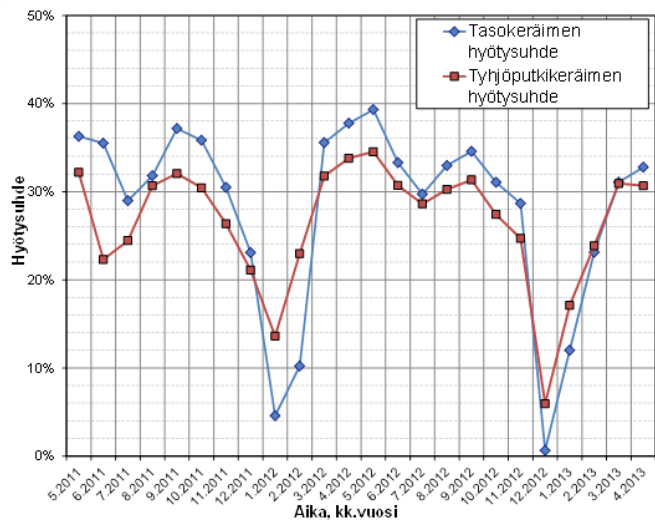
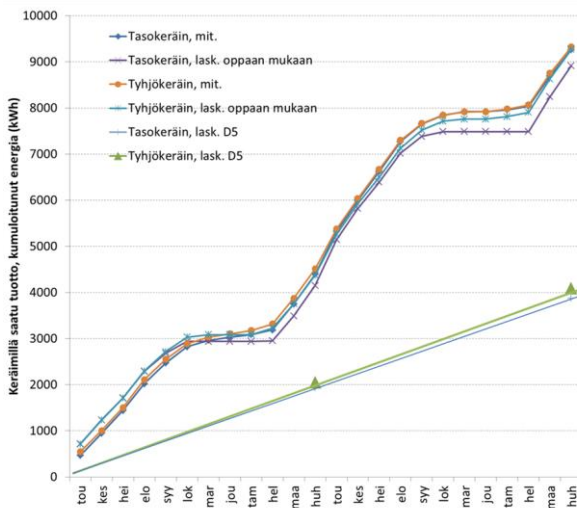


Asuinkerrostalon optimaalinen käyttöveden aurinkolämpöjärjestelmä – MeraSun

Tutkimuksessa vertailtiin kahta erityyppistä aurinkokeräintä; tyhjiöputki- ja tasokeräintä. Tasokeräimiä oli 6 kpl (kokonaispinta-ala 12,4 m²) ja tyhjiöputkikeräimiä 8 kpl (kokonaispinta-ala on 13,1 m²). Molemmilla keräintyypeillä suuntaus oli etelään ja kallistuskulma 45°.

Tasokeräimen kuukausitason hyötysuhde oli suurimman osan ajasta noin 5 % parempi kuin tyhjiöputkikeräimen. Vuosittaisessa energiantuotossa erot olivat pieniä, mittausten perusteella aurinkolämmöllä voitiin tuottaa 39 - 44 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden lämmön tarpeesta. Kohteessa lämpimän käyttöveden kulutus oli tavanomaista pienempi 36 dm³/vrk/henk. Erityisesti kesällä kulutus oli pientä, näin ollen kohteen aurinkolämmön hyödyntäminen oli tavanomaista pienempää. Keräin- ja varaajamitoitus kohteessa oli tehty siten, että taso- ja tyhjiöputkikeräinpiirit tuottavat lähes saman energiamäärän. Tasaisemmalla kulutuksella ja optimoimalla mitoitusta aurinkolämmön osuus nousee yli puoleen käyttöveden lämmöntarpeesta.



Laskelmien perusteella keräinpinta-alan kasvaessa tietyn rajan yli, pinta-alan suurentaminen ei enää ole kannattavaa. Mitoituksen perusteena ei ole ainoastaan pinta-ala vaan keräimen pinta-alan ja hyötysuhteen tulo sekä varaajan koko. Jotta auringon ilmaisenergia on hyödynnettävissä, täytyy olla myös tarvetta rakennuksen lämmitykseen tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

Dynaaminen laskentamalli validointiin mitattujen tulosten perusteella. Dynaamisten laskelmien perusteella aurinkokeräimen vuosituotto ei ollut erityisen herkkä keräimen kulman asennolle. Keräimen kallistuskulman ollessa välillä 30...70°, ei vuosituotoissa ollut merkittäviä eroja.

Varaaja tulisi mitoittaa vastaamaan suunniteltua vuorokautista kulutusta. Liian pieni varaajamitoitus johtaa varaajan lämpötilojen nousuun yli maksimi lämpötilatason ja tämän jälkeen energiaa ei enää pystytä lataamaan varaajaan. Liian suuri varaajamitoitus johtaa siihen, että lämpötilataso ei nouse riittävän korkeaksi ja käyttövesi joudutaan jälkilämmittämään.

Kun aurinkokeräimen ja varaajan kokoa suurennettiin ja kun käyttöveden kulutus oli tasaista koko vuonna, saatiin katettua yli puolet lämpimän käyttöveden tarpeesta. Ympäristöministeriön aurinko-oppaan (vastaa SFS EN standardia) menetelmällä saadut laskentatulokset vastasivat mitattuja tuloksia, sitä vastoin D5 yksinkertaistettu laskenta aliarvioi aurinkolämmön tuottoa.

Tämän tutkimuksen perusteella taso- ja tyhjiöputkikeräimien mittaustulosten erot voidaan tiivistää seuraavaan taulukkoon.

	Tasokeräin 6 kpl, kokonaispinta-ala 12,4 m ²	Tyhjiöputkikeräin 8 kpl, kokonaispinta-ala 13,1 m ²
Tuoton hyötysuhde	max 40 %, vuosihyötysuhde 32 %	max 34 %, vuosihyötysuhde 30%
Vuotuinen energiantuotto	393 kWh/keräin-m ² eli yhteensä 4 981 kWh (69 kWh vähemmän kuin 1.vuotena).	366 kWh/keräin-m ² eli yhteensä 4 811 kWh (309 kWh enemmän kuin 1. vuotena).
Aurinkolämmön osuus käyttöveden energiantarpeesta	44 %	
Keräimen hinta	270 €/m ² (kokonaispinta-alaa kohden)	320 €/m ² (kokonaispinta-alaa kohden)
Talvi	Lumi kertyy pinnalle	Ei lumen kertymistä
Huolto		Kiertoneste (glykoli) kiehui ja kristallisoitui mittausten aikana.

Aurinkolämmön elinkaarikustannuksia arvioitiin huomioimalla kustannustarkastelussa järjestelmän investointikustannukset, järjestelmällä saavutettu energiansäästö ja huomioimalla huolto- ja ylläpitokustannukset elinkaaren aikana. Laskelmissa huomioitiin myös energia hinta, vuotuinen hinnannousu ja korkokanta. Laskelmien mukaan investointi maksetaan energiansäästöillä 8-13 vuodessa, kun energian hinnaksi oletetaan 0,10–0,15 €/kWh. Suuremman alkuinvestoinnin järjestelmillä saavutetaan suurempi vuotuinen energiansäästö, mutta esimerkkijärjestelmien takaisinmaksuajoissa ei ollut oleellista eroa.

Tutkimuksen on tehnyt VTT Tekesin ja Rakennusliike Reponen Oy:n rahoittamana. Konseptin kehitystyöhön ovat aktiivisesti osallistuneet Rakennusliike Reponen toimitusjohtaja Mika Airaksela sekä Kaukora Oy:n tekninen johtaja Rami Aaltonen.

Lisätietoja:

Rakennusliike Reponen Oy
Toimitusjohtaja
Mika Airaksela
gsm. 0500 703 113

Kaukora Oy
Tekninen johtaja
Rami Aaltonen
gsm. 040 845 5345

VTT
Tutkimusprofessori
Miimu Airaksinen
gsm. 040 770 4832

Asuinkerrostalon optimaalinen käyttöveden aurinkolämpöjärjestelmä – MeraSun

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkasteltiin asuinkerrostaloon integroituja aurinkolämpöjärjestelmiä. Tarkasteltavat järjestelmät olivat tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin. Tutkimuksessa seurattiin keräimien tuottoa kaksi vuotta mittauksin. Lisäksi kehitettiin dynaaminen malli keräimistä, joka validoitiin mittaustuloksin. Laskennallisten mallien avulla tarkasteltiin aurinkopaneelin koon, hyötysuhteen, kulman ja varaajan vaikutusta mitoitukseen. Tutkimuksessa vertailtiin myös SFS EN standardiin perustuvan Ympäristöministeriön aurinko-oppaan ja karkeamman määräyskokoelman D5 mukaista tulosta sekä verrattiin niitä mitattuun tulokseen.

Tasokeräimen kuukausitason hyötysuhde oli suurimman osan ajasta noin 5 % parempi kuin tyhjiökeräimen. Hyötysuhde laskettiin kokonaispinta-alaa kohden. Vuosittaisessa energiantuotossa erot olivat pieniä, mittausten perusteella aurinkolämmöllä voitiin tuottaa vuodesta riippuen 39 – 44 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden tarpeesta. Kohteessa lämpimän käyttöveden kulutus oli tavanomaista pienempi 36 dm³/vrk/henk. Erityisesti kesällä kulutus oli pientä, näin ollen kohteen aurinkolämmön hyödyntäminen oli tavanomaista pienempää. Laskennalliset tarkastelut osoittivat, että mikäli kulutus olisi tasaisempaa, mitatun järjestelmän tuotto kasvaisi 2-3 prosenttiyksikköä. Keräin- ja varaajamitoitus kohteessa oli tehty siten, että taso- ja tyhjiökeräinpiirit tuottavat lähes saman energiamäärän. Tasaisemmalla kulutuksella ja optimoimalla mitoitusta aurinkolämmön osuus nousee yli puoleen käyttöveden lämmöntarpeesta.

Laskelmien perusteella keräinpinta-alan kasvaessa tietyn rajan yli, pinta-alan suurentaminen ei enää ole kannattavaa. Mitoituksen perusteena ei ole ainoastaan pinta-ala vaan keräimen pinta-alan ja hyötysuhteen tulo sekä varaajan koko. Jotta auringon ilmaisenergia on hyödynnettävissä, täytyy olla myös tarvetta rakennuksen lämmitykseen tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

Dynaaminen laskentamalli validointiin mitattujen tulosten perusteella. Dynaamisten laskelmien perusteella aurinkokeräimen vuosituotto ei ollut erityisen herkkä keräimen kulman asennolle. Keräimen kallistuskulman ollessa välillä 30...70°, ei vuosituotoissa ollut merkittäviä eroja.

Varaaja tulisi mitoittaa vastaamaan suunniteltua vuorokautista kulutusta. Liian pieni varaajamitoitus johtaa varaajan lämpötilojen nousuun yli maksimi lämpötilatason ja tämän jälkeen energiaa ei enää pystytty lataamaan varaajaan. Liian suuri varaajamitoitus johtaa siihen, että lämpötilataso ei nouse riittävän korkeaksi ja käyttövesi joudutaan jälkilämmittämään.

Kun aurinkokeräimen ja varaajan kokoa suurennettiin ja kun käyttöveden kulutus oli tasaista koko vuonna, saatiin katettua yli puolet lämpimän käyttöveden tarpeesta. Ympäristöministeriön aurinko-oppaan (vastaa SFS EN standardia) menetelmällä saadut laskentatulokset vastasivat mitattuja tuloksia, sitä vastoin D5 yksinkertaistettu laskenta aliarvioi aurinkolämmön tuottoa.

Aurinkolämmön elinkaarikustannuksia arvioitiin huomioimalla kustannustarkastelussa järjestelmän investointikustannukset, järjestelmällä saavutettu energiansäästö ja huomioimalla huolto- ja ylläpitokustannukset elinkaaren aikana. Laskelmassa huomioitiin myös energia hinta, vuotuinen hinnannousu ja korkokanta. Laskelmien mukaan investointi maksetaan energiansäästöillä 8-13 vuodessa, kun energian hinnaksi oletetaan 0,10-0,15 €/kWh. Suuremman alkuinvestoinnin järjestelmillä saavutetaan suurempi vuotuinen energiansäästö, mutta esimerkkijärjestelmien takaisinmaksuajoissa ei ollut oleellista eroa.

Tutkimus on tehty Tekesin ja Rakennusliike Reponen Oy:n rahoittamana. Konseptin kehitystyöhön ovat aktiivisesti osallistuneet Rakennusliike Reponen toimitusjohtaja Mika Airaksela sekä Kaukora Oy:n tekninen johtaja Rami Aaltonen.

Johdanto

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia ovat kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 20 prosentilla, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta sekä ohjeellisena energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä.

EU:n tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Suomelle asetettu tavoite on 38 %, kun uusiutuvan energian osuus vuonna 2005 oli 28,5 prosenttia. Tavoite edellyttää uusiutuvan energian lisäämistä 38 terawattitunnilla.

Valtioneuvoston ilmasto- ja energiastrategiassa 2008 Suomen strategiseksi tavoitteeksi asetettiin energian loppukulutuksen kasvun pysäyttäminen ja kääntäminen laskuun niin, että energian loppukulutus vuonna 2020 olisi noin 310 TWh eli likimain nykyisen suuruinen.

Tämä vuoksi sekä rakennusten energiatehokkuus, että uusiutuvien energiavaihtoehtojen kartoittaminen sekä rakennus- että aluekohtaisesti on tullut yhä tärkeämmäksi. Tässä tutkimuksessa on keskitetty tarkastelemaan aurinkolämmön hyödyntämistä käyttöveden lämmittämiseen asuinkerrostalossa sekä mittauksin että laskennallisin tarkasteluin. Tarkasteluissa vertailtiin eri laskentamenetelmien tuloksia mitattuun tulokseen.

Mittaukset

Mitattava rakennus

Mitattava kohde on asuinkerrostalo, jossa on asuntoja 19 kappaletta. Suurin osa huoneistoista on kaksioita, mutta rakennuksessa on myös suurempia huoneistoja (4 h+k+s). Lähes kaikissa asunnoissa on oma sauna. Rakennuksessa on lisäksi toimistokäytössä oleva yksi iso huoneisto. Seurantamittausten aikana talossa oli keskimäärin 28 asukasta. Rakennuksen kerrosala oli 1 481 m² ja tilavuus 4 443 m³.

Rakennus on pääosin betonirakenteinen. Ulkoseinät ovat tehdasvalmisteisia betonielementtejä, joissa on lämmöneristeenä 160 mm mineraalivillaa. Ulkoseinien lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on 0,23 W/m²K. Yläpohjan lämmönläpäisykerroin on 0,16 W/m²K. Alapohjan lämmönläpäisykerroin on 0,16 - 0,20 W/m²K.

Kiinteistön päälämmöntuottomuoto on kaukolämpö. Kaukolämmöllä katetaan lämpimän käyttöveden valmistuksen, lattialämmityksen sekä ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen lämmöntarpeet.

Kohteessa lämpimän käyttöveden keskimääräinen kulutus oli tavanomaista pienempi 36 dm³/vrk/henk. Erityisesti kesällä kulutus oli pientä, näin ollen kohteen aurinkolämmön hyödyntäminen oli tavanomaista pienempää.

Kaukolämmön lisäksi kiinteistöön on jälkikäteen asennettu aurinkolämpöjärjestelmä, jolla tuotetaan lämmintä käyttövettä. Aurinkolämmöllä lämmitetty vesi kulkeutuu alkuperäisen kaukolämmönsiirtimen kautta käyttäjille lämpimäksi käyttövedeksi. Tarvittaessa lämmin käyttövesi siis tuotetaan joko osittain tai kokonaan kaukolämmöllä, mikäli aurinkolämpöä ei ole käytettävissä. Lämpimän käyttöveden kierron käyttämä lämpöenergia katetaan kaukolämmöllä.

Aurinkolämpöjärjestelmä

Kohteessa oli kaksi erillistä keräinkokonaisuutta; tasokeräin (6 kpl, keräimen kokonaispinta-ala 12,4 m²) ja tyhjöputkikeräin (8 kpl, keräimen kokonaispinta-ala on 13,1 m²). Molemmilla keräintyypeillä suuntaus oli etelään ja kallistuskulma 45°. Molemmilla keräimillä oli oma 700 litran lämminvesivaraajansa, jonne ne varastoivat tuotetun lämpöenergian. Järjestelmän tuottama lämmin vesi otetaan varaajan yläosasta, jonne on kerrostunut varaajan lämpimin vesi.

Seurantamittaukset aurinkolämpöjärjestelmille tehtiin vuosien 2011 - 2013 aikana. Mittauksissa sovellettiin standardien SFS-EN 12975-2:2006 ja SFS-EN 12977-3 periaatteita soveltuvin osin.



Kuva 1 Mitatut tasokeräimet (vasen kuva) ja tyhjiökeräimet (oikea kuva) kohteessa.

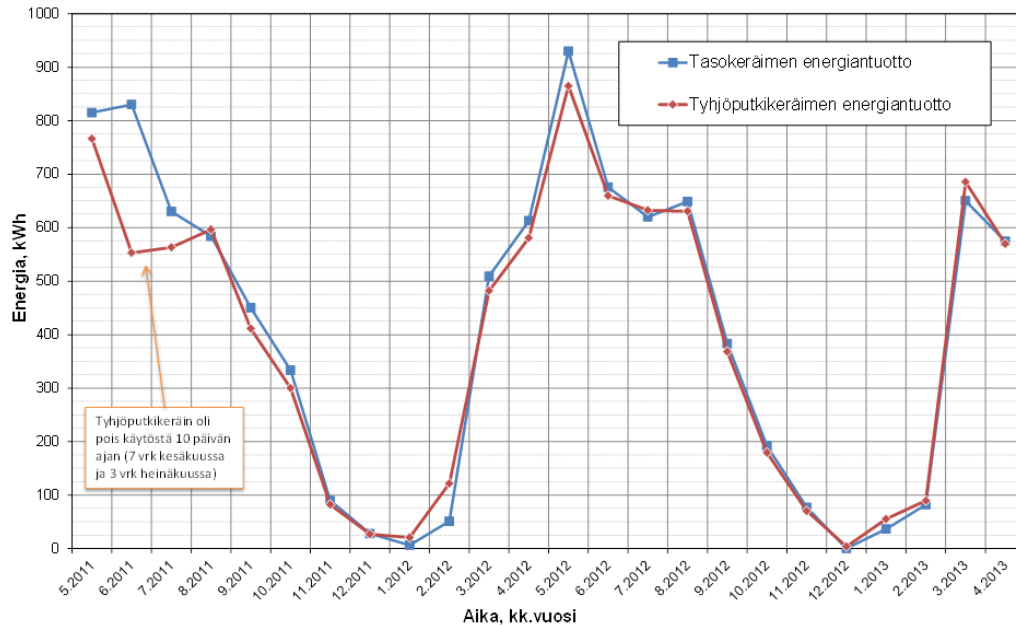
Mittaustulokset

Kohteessa lämpimän käyttöveden kulutus oli tavanomaista pienempi 36 dm³/vrk/henk. Erityisesti kesällä kulutus oli pientä, näin ollen kohteen aurinkolämmönhyödyntäminen oli tavanomaista pienempää, sillä aurinkolämpöä ei tässä kohteessa käytetty muuta kuin käyttöveden lämmittämiseen.

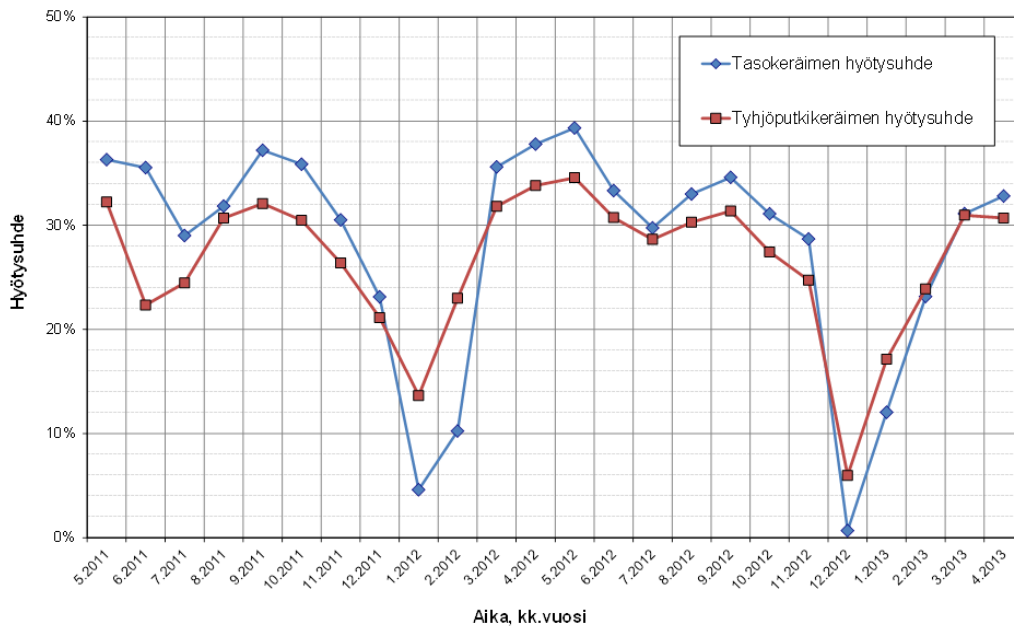
Kesällä tasokeräimet tuottavat hieman enemmän kuin tyhjiöputkikeräimet. Myös keväisin ja syksyisin tasokeräin on aavistuksen parempi lämpöenergiaantuottaja (Kuva 2). Vastaava tilanne nähdään myös hyötysuhteissa (Kuva 3). Hyötysuhde on laskettu jakamalla keräimiltä varajaan syötetty aurinkoenergia keräinpinnalle tulleella aurinkoenergialla kuukausittain.

Tyhjiöputkikeräimet tuottavat paremmin talvella kuin tasokeräimet, koska tyhjiöputki eristää hyvin. Tällöin pienikin säteilyteho riittää nostamaan liuoksen lämpötilan niin korkeaksi, että sitä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmityksessä. Talvella saatava energiamäärä on kuitenkin pieni verrattuna kesäajan tuottoon. Tyhjiöputkikeräimien päälle ei kertynyt juuri ollenkaan lunta talvella, mutta tasokeräimien päälle sen sijaan kertyi hieman lunta.

Varaajat ovat lämpötilojen osalta hyvin samankaltaisia keskenään. Molemmat varaajat ovat toivotusti hyvin lämpötilakerrostuneita.



Kuva 2 Kuukausittaiset keräintuotot kahden kk vuoden seurannan ajalta.



Kuva 3 Kuukausittaiset aurinkokeräinten hyötysuhteet kahden vuoden seurannan ajalta.

Toisen vuoden aikana aurinkolämpöä saatiin keräimistä yhteensä 9 682 kWh (ensimmäisenä vuonna 9 443 kWh). Tasokeräimillä tuotto oli 393 kWh/keräin-m² eli yhteensä 4 981 kWh (69 kWh vähemmän kuin ensimmäisenä vuotena). Tyhjöputkikeräimillä tuotto oli 366 kWh/keräin-m² eli yhteensä 4 811 kWh (309 kWh enemmän kuin ensimmäisenä vuotena).

Toisena seurantavuotena käyttöveden lämmitykseen kului energiaa 20 106 kWh, josta katettiin aurinkolämmöllä 8 928 kWh eli 44 % (ensimmäisenä vuonna 8 246 kWh ja 39 %).

Laskennalliset tarkastelut

Tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisilla menetelmin aurinkokeräimen koon, kulman ja varaajan koon vaikutusta energiantuottoon. Laskennassa käytettiin sekä dynaamisia että kuukausitason menetelmiä. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin rakentamismääräyskokoelman D5 menetelmää Ympäristöministeriön aurinko-oppaan menetelmään.

Aurinko-oppaan laskentamenetelmä perustuu EN standardiin SFS EN 15316-4-3:2007 ”Rakennusten lämmitysjärjestelmä, järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta, osa 4-3:Lämmönjakojärjestelmien lämmöntuottolaitteet, aurinkolämpölaitteistot”. Menetelmä perustuu f-chart menetelmään.

Aurinkokeräimen koon, kulman ja varaajan mitoitus

Aurinkolämmön hyödyntämismahdollisuuksia selvitettiin tapauslaskelmilla varioimalla keräimen pinta-alaa, hyötysuhdetta (perushyötysuhde ja hyötysuhdekäyrän muoto), varaajan kokoa ja lämpimän käyttöveden lämmön tarpeen määrää.

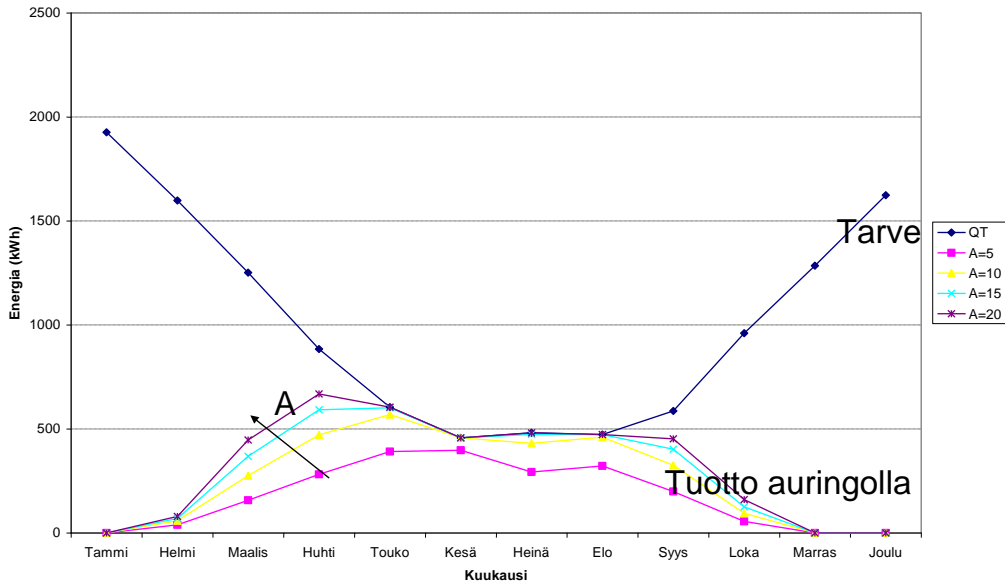
Aurinkokeräimen kokoon liittyvät laskelmat tehtiin SFS EN standardin mukaisesti kuukausimenetelmällä ja keräimen kulman ja varaajan mitoitukset dynaamisella TRNSYS mallilla. Trnsys-malli validoitiin mittaustulosten perusteella.

Aurinkokeräimen koko

Laskelmien perusteella keräinpinta-alan kasvaessa tietyn rajan yli, pinta-alan suurentaminen ei enää ole kannattavaa, kuva 4. Keräimen hyötysuhteen kasvattaminen parantaa energiantuottoa suoraan hyötysuhteen osoittaman määrän. Mitoitusperuste ei ole ainoastaan pinta-ala vaan keräimen pinta-

alan ja hyötysuhteen tulo. Näin ollen huonompaa hyötysuhdetta voi kompensoida keräinpinta-alaa kasvattamalla. Samalla on kuitenkin huomattava, että aurinkolämmöntuottoa ei kannata kasvattaa, jos ei ole kulutusta. Mitoitus on siis aina suhteutettava tarpeeseen.

Keräimen koko 5 – 10 – 15 – 20 m²



Kuva 4. Keräimen kokonaispinta-alan vaikutus aurinkoenergialla tuotettuun energiaan suhteessa lämmön tarpeeseen.

Lisäksi laskelmat osoittivat, että tasainen peruskuorma (eli tässä tapauksessa lämpimän käyttöveden kulutus) määrittää optimimitoituksen. Jos peruskuormaa ei ole, ei myöskään energiaa tarvita. Lämpimän käyttöveden lisäksi aurinkolämpöä voidaan myös hyödyntää märkätilojen lämmityksessä. Laskelmien mukaan auringon hyödyntäminen tilojen lämmittämiseen on varsin pientä, lähinnä maaliskuu-toukokuussa sekä syyskuussa lämmöntarve ja aurinkoenergian tuotto kohtaavat.

Keräimen kulman vaikutus

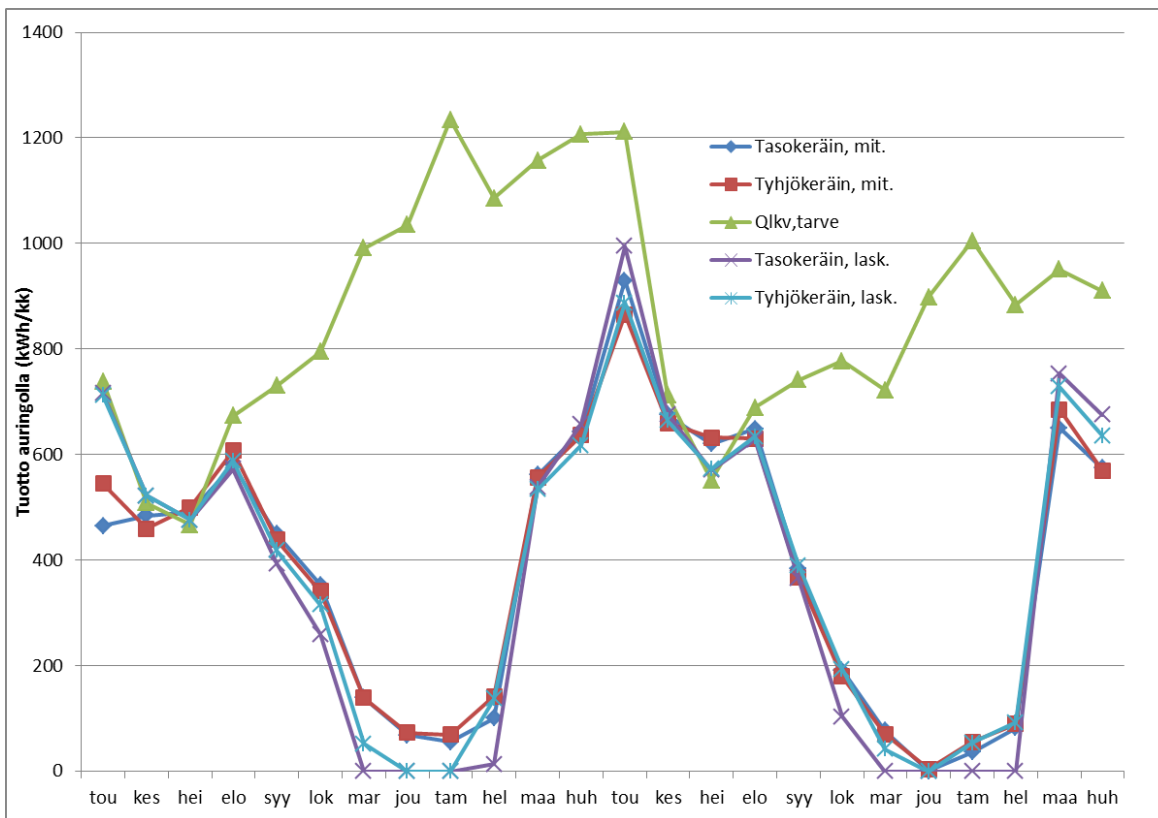
Dynaamisten laskelmien perusteella etelään suunnatun aurinkokeräimen tuotto ei ollut erityisen herkkä keräimen kallistuskulman suhteen. Keräimen kallistuskulman ollessa välillä 30...70°, ei tuotoissa ollut merkittäviä eroja.

Varaajan koko

Varaaja tulisi mitoittaa vastaamaan suunniteltua vuorokautista kulutusta. Varaaja voidaan mitoittaa jonkin verran suuremmaksi kuin mitä vuorokautinen kulutus vaatisi. Liian pieni varaajamitoitus johtaa varaajan lämpötilojen nousuun yli maksimi lämpötilatason ja tämän jälkeen energiaa ei enää pystytä lataamaan varaajaan. Liian suuri varaajamitoitus johtaa siihen, että lämpötilataso ei nouse riittävän korkeaksi ja käyttövesi joudutaan jälkilämmittämään.

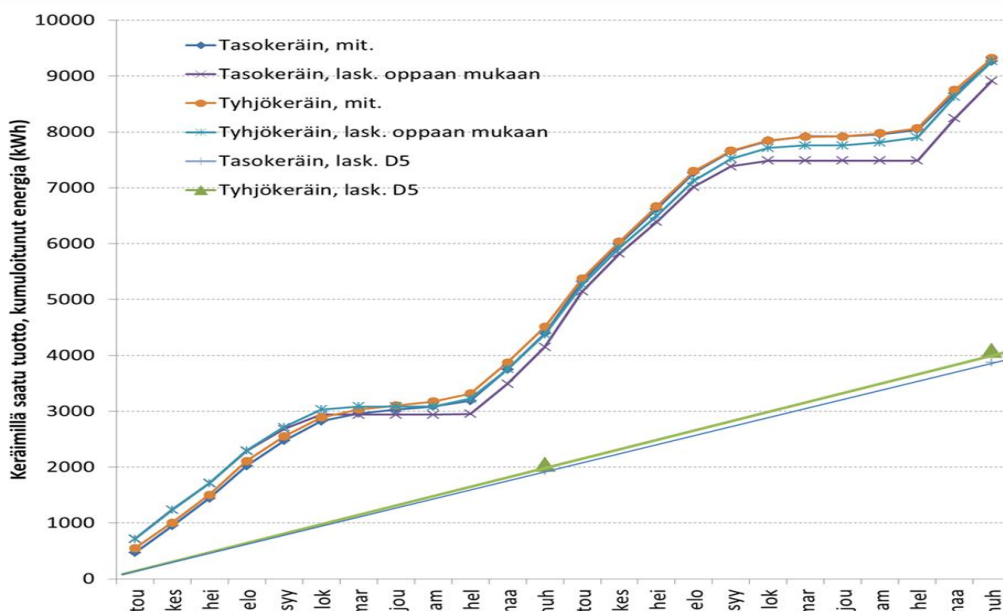
Mittausten ja laskennallisen tarkastelun vertailu

Mitattuja tuloksia verrattiin laskennallisiin tuloksiin. Tyhjiö- ja tasokeräimien mitatut tulokset eivät kovin oleellisesti poikkea toisistaan. Laskenta tehtiin SFS EN standardin mukaisesti Etelä-Suomeen, joka vastaa Ympäristöministeriön aurinko-oppaan menetelmää. Mitattu ja laskettu tulos vastasivat kuukausitasolla hyvin toisiaan, kuva 5.



Kuva 5 Taso- ja tyhjiökeräimen mitattu ja laskettu kuukausittainen energiatuotto, sekä lämpimän käyttöveden kuukausittainen tarve.

Ympäristöministeriön aurinko-oppaan (SFS-EN standardin mukainen) menetelmää verrattiin lisäksi rakentamismääräyskokoelman D5 karkeaan estimaattiin aurinkoenergiatuotosta. D5 karkeampi menetelmä antaa selkeästi varovaisen kuvan aurinkoenergiatuotosta, kuva 6.



Kuva 6 Taso- ja tyhjiökeräimen mitattu ja aurinko-oppaan menetelmällä laskettu kuukausittainen energiatuotto Etelä-Suomessa, sekä rakentamismääräyskokoelman D5 karkea estimaatin mukaisesti laskettu tuotto.

Mitatussa kohteessa havaittiin, että kesän aikana käyttöveden kulutus pieneni huomattavasti enemmän kuin tyypillisessä kerrostalokohteessa. Laskennallisesti tarkasteltiin, mikä olisi keräinten

tuotto, mikäli käyttöveden määrällinen kulutus oli joka kuukautena yhtä suuri. Laskelmien mukaan kohteen mitatulla kulutusprofiililla tasokeräimen tuotto oli 43 % ja tyhjöputkikeräimien tuotto 45 % lämpimän käyttöveden lämmön tarpeesta. Mikäli kulutus olisi tasainen läpi vuoden, tuotto parani hieman. Tasokeräimien tuotto olisi 46 % ja tyhjöputkikeräimien tuotto 47 % lämmön tarpeesta.

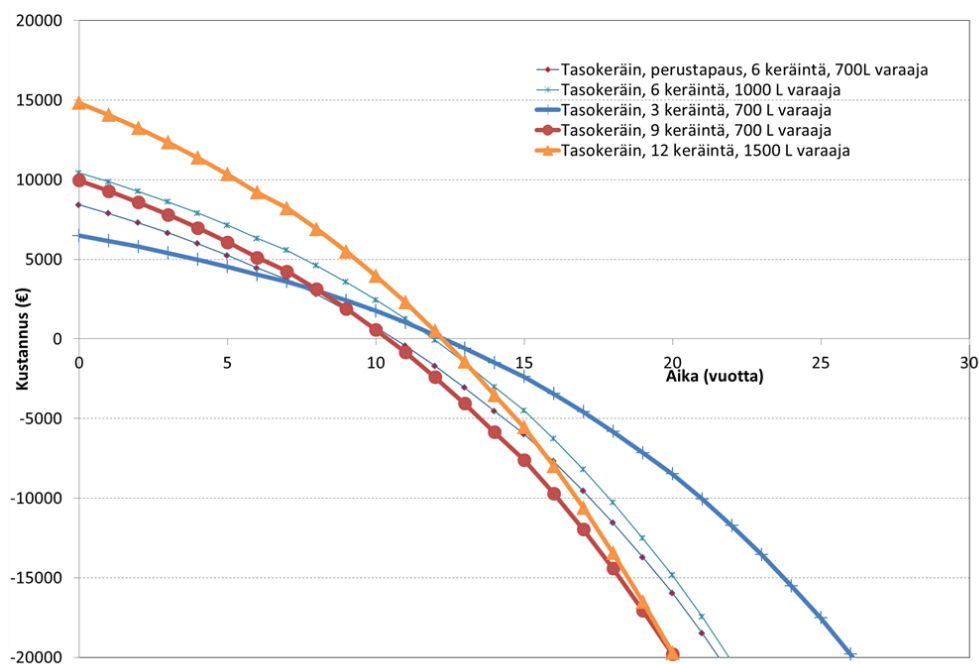
Alkuperäinen laskelma oli tehty käyttäen laskelmassa kuukausittain mitattuja käyttöveden kulutuksia (m^3/kk). Koska kesäkuukausina kyseisessä kohteessa veden kulutus oli keskimääräistä pienempää, tehtiin lisätarkastelu, missä verrattiin kahta tapausta: 1) tuottoa mitatun kulutuksen tapauksessa ja 2) tuottoa olettaen kulutus (m^3/kk) tasaisesti jakautuneeksi vuoden aikana. Molemmissa tapauksissa lämpimän käyttöveden kulutus vuoden aikana oli yhtä suuri.

Tasokeräimen mitattu tuotto oli kahden vuoden aikana oli 8918 kWh eli 43,1 % lämpimän käyttöveden lämmön tarpeesta. Mikäli lämpimän käyttöveden kulutus olisi tasaista (eikä siis kesäkuukausina tulisi kulutuksen pienenemistä), tuotto olisi 9651 kWh eli 46 % tarpeesta. Tyhjöputkelle laskettu tuotto kasvaa vastaavasti 9269 kWh:sta 9915 kWh:iin eli 44,8 %:sta 47,2 %:iin.

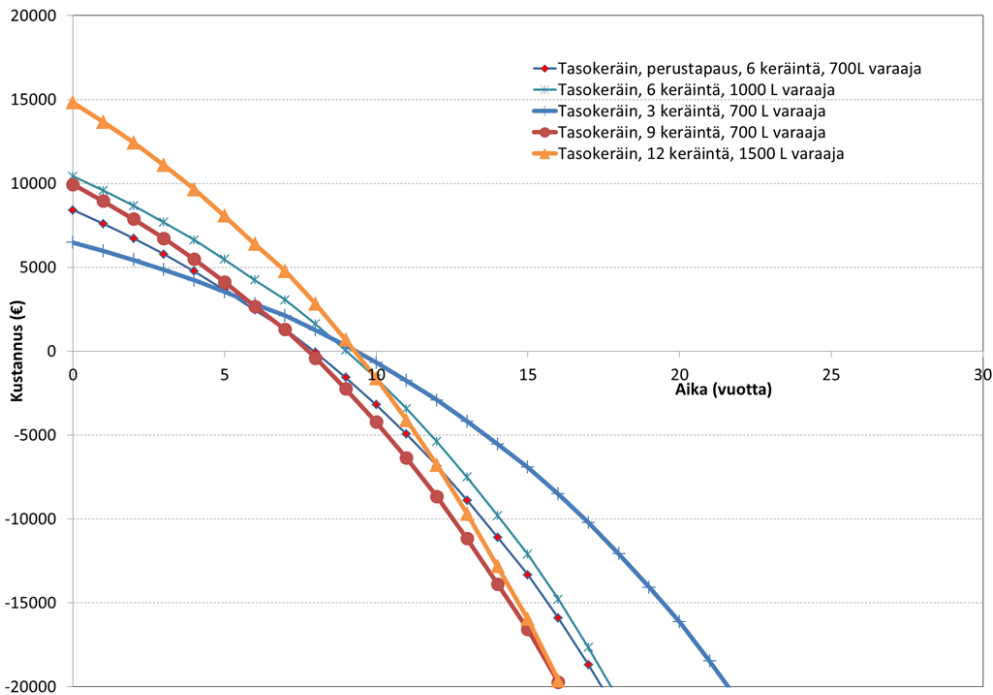
Kun laskelmissa tasokeräimien määrä lisättiin 6 kpl:stä 7 kpl:n ja varaajan koko kasvoi 700 L \rightarrow 1000L, tasokeräimen tuotto oli 50,5 % lämpimän käyttöveden kulutuksesta. Mikäli tasokeräimiä oli 8 kpl ja varaaja edelleen 1000 L, pystyttiin kattamaan 52,6 % lämpimän käyttöveden tarpeesta.

Investointikustannus- ja säästötarkastelut

Aurinkolämmön elinkaarikustannuksia arvioitiin huomioimalla kustannustarkastelussa järjestelmän investointikustannukset, järjestelmällä saavutettu energiansäästö ja huomioimalla huolto- ja ylläpitokustannukset elinkaaren aikana. Laskelmassa huomioitiin myös energia hinta, vuotuinen hinnannousu ja korkokanta. Kuvasta 7 huomataan, että investointi maksetaan energiansäästöillä 10-13 vuodessa, kun energian hinnaksi oletetaan 0,10 €/kWh. Kuvassa 8 on esitetty vastaavat tulokset energian hinnalla 0,15 €/kWh, jolloin investointi maksetaan 8-10 vuodessa. Suuremman alkuinvestoinnin järjestelmillä saavutetaan suurempi vuotuinen energiansäästö, mutta esimerkkijärjestelmien takaisinmaksuajoissa ei ole oleellista eroa.



Kuva 7. Alkuinvestointi maksetaan takaisin energiansäästöillä. Laskelmissa oletettu energian hinta 0.1 €/kWh, reaalikorko 0 % ja vuotuinen energian hinnannousu 8 %.



Kuva 8. Alkuinvestointi maksetaan takaisin energiansäästöllä. Laskelmissa oletettu energian hinta 0.15 €/kWh, reaalikorko 0 % ja vuotuinen energian hinnannousu 8 %.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Mittauksin voitiin todeta, että aurinkolämmöllä katettiin 39 - 44 % vuotuisesta käyttöveden lämmityksestä. Tasokeräimen kuukausitason hyötysuhde oli suurimman osan ajasta noin 5 % parempi kuin tyhjiokeräimen. Vuosittaisessa energiantuotossa erot olivat pieniä, mittausten perusteella aurinkolämmöllä voitiin tuottaa 39 – 44 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden tarpeesta. Kohteessa lämpimän käyttöveden kulutus oli tavanomaista pienempi 36 dm³/vrk/henk. Erityisesti kesällä kulutus oli pientä, näin ollen kohteen aurinkolämmönhyödyntäminen oli tavanomaista pienempää. Keräin- ja varaajamitoitus kohteessa oli tehty siten, että taso- ja tyhjiokeräinpiirit tuottavat lähes saman energiamäärän. Tasaisemmalla kulutuksella ja optimoimalla mitoitusta aurinkolämmön osuus nousee yli puoleen käyttöveden lämmöntarpeesta.

Laskelmien perusteella keräinpinta-alan kasvaessa tietyn rajan yli, pinta-alan suurentaminen ei enää ole kannattavaa. Mitoituksen perusteena ei ole ainoastaan pinta-ala vaan keräimen pinta-alan ja hyötysuhteen tulo sekä varaajan koko. Jotta auringon ilmaisenergia on hyödynnettävissä, täytyy olla myös tarvetta rakennuksen lämmitykseen tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen.

Dynaaminen laskentamalli validointiin mitattujen tulosten perusteella. Dynaamisten laskelmien perusteella aurinkokeräimen tuotto ei ollut erityisen herkkä keräimen kulman asennolle. Keräimen kallistuskulman ollessa välillä 30...70°, ei tuotoissa ollut merkittäviä eroja.

Varaaja tulisi mitoittaa vastaamaan suunniteltua vuorokautista kulutusta. Liian pieni varaajamitoitus johtaa varaajan lämpötilojen nousuun yli maksimi lämpötilatason ja tämän jälkeen energiaa ei enää pystytä lataamaan varaajaan. Liian suuri varaajamitoitus johtaa siihen, että lämpötilataso ei nouse riittävän korkeaksi ja käyttövesi joudutaan jälkilämmittämään.

Kun aurinkokeräimen ja varaajan kokoa suurennettiin ja kun käyttöveden kulutus oli tasaista koko vuonna, saatiin katettua yli puolet lämpimän käyttöveden tarpeesta. Ympäristöministeriön aurinkooppaan (vastaa SFS EN standardia) menetelmällä saadut laskentatulokset vastasivat mitattuja tuloksia, sitä vastoin D5 yksinkertaistettu laskenta aliarvioi aurinkolämmön tuottoa.

Aurinkolämmön elinkaarikustannuksia arvioitiin huomioimalla kustannustarkastelussa järjestelmän investointikustannukset, järjestelmällä saavutettu energiansäästö ja huomioimalla huolto- ja ylläpitokustannukset elinkaaren aikana. Laskelmissa huomioitiin myös energia hinta, vuotuinen hinnannousu ja korkokanta. Laskelmien mukaan investointi maksetaan energiansäästöillä 8-13 vuodessa, kun energian hinnaksi oletetaan 0,10-0,15 €/kWh. Suuremman alkuinvestoinnin järjestelmillä saavutetaan suurempi vuotuinen energiansäästö, mutta esimerkkijärjestelmien takaisinmaksuajoissa ei ollut oleellista eroa.