

 **Tellus Functional Solar Test**

Asiakas:

Yhtyneet Kuvalehdet Oy
TM Rakennusmaailma
Maistraatinportti 1
00015 KUVALEHDET

Tutkimussopimus:

TMHuttulata220508HS.pdf

Testin tarkoitus:

Testissä selvitetään tyhjiöputkikeräinten ominaisuuksia ja keräinten soveltuvuutta omakotitalojen lämmöntarpeen tuottamiseen. Testauksessa pyritään saamaan näkyviin keräinten välisiä eroja.

Kohde:

| Tyyppi | Maahantuojaja | kokonaispinta-ala | aktiivinen pinta-ala | putkien määrä | heijastin |
|-----------|---------------------------------|---------------------|----------------------|---------------|-----------|
| WATT CPC9 | JTV-Energia Joensuu | 2,14 m ² | 1,96 m ² | 9 kpl | on |
| NN10 | Northern Nature Energy, Tyrnävä | 1,63 m ² | 1,09 m ² | 10 kpl | ei |
| RICA TP48 | Riihimäen Metallikaluste | 3,37 m ² | 2,77 m ² | 20 kpl | on |
| AHP | Alternative Solutions, Hki | 3,33 m ² | 2,03 m ² | 20 kpl | ei |



SOLAR FUNCTIONAL

Testausaika:

24.11.2008 - 31.1.2009



Testimenetelmä:

Testissä on mitattu keräimen hyötysuhdekäyrä. Hyötysuhdekäyrä selvitetään mittaamalla keräimen sisälle menevän ja ulos tulevan veden välistä lämpötilaeroa vakioituissa olosuhteissa. Mittaus tehdään neljällä eri sisäänmenolämpötilalla siten, että syntyvät lämpötilaerot vastaavat aurinkokeräinten todellista toimintaa lämmitteessään omakotitalon varaajan vettä.

Säteilyteho on ollut kaikissa testeissä vähintään 850 W/m² ja testit on tehty ilman tuulen vaikutusta. Virtausnopeudet ovat valmistajien suositusten mukaisia.

Testimenetelmän validointi:

Hyötysuhteen steady-state mittaus pohjautuu mm. standardiin EN 12975-2.

Hyötysuhdetestauksen menetelmä on laajasti käytetty aina 70-luvulta asti ja se on esitetty useissa standardeissa.

Maahantuojat ovat toimittaneet testattavan keräimen testaajalle. Keräimiä ei yksilöity testauksessa esimerkiksi sarjanumerolla, jolla keräimen valmistusajankohta tai komponenttitoimittajat tms. voitaisiin myöhemmin jäljittää.

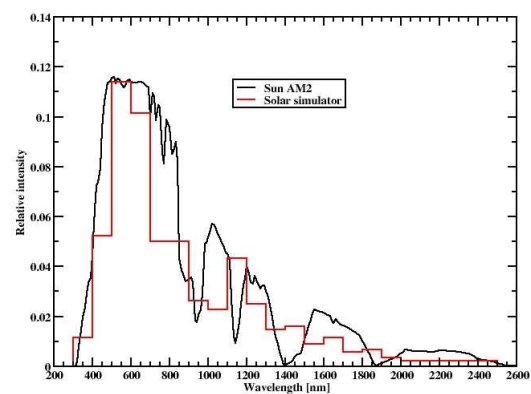
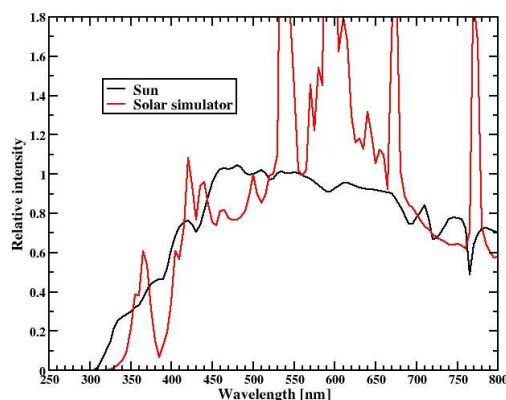
Suoritettujen toimenpiteet:

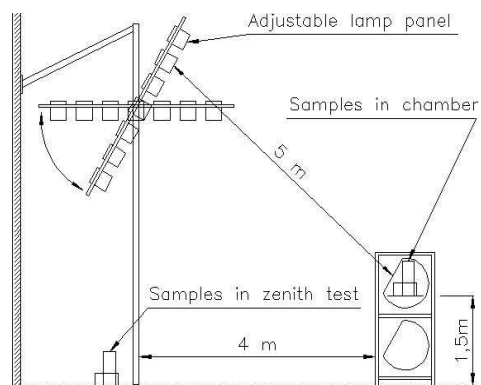
Aurinkolaboratorio

Auringonsäteilyn simulointiin käytetään monimetallihalogeenilamppuja siten, että säteilyn spektri, säteilyteho ja säteilykentän tasaisuus vastaavat luonnon aurinkoa.

| | UV [W/m ²] | Näkyvä [W/m ²] | IR [W/m ²] |
|--|------------------------|----------------------------|------------------------|
| Aurinko | 49 | 400 | 351 |
| Aurinkosimulaattori | 51 | 427 | 323 |
| Sallitut toleranssit (esim. IEC 68-2-5) | ± 30% | ± 10% | ± 20% |

Aurinkosimulaattorin ja auringon AM2 spektri on esitetty kuvassa aallonpituusalueella 300 – 800 nm. Spektrissä on muutama lampputeknologiasta johtuva karakteristinen piikki, joiden vaikutus termisessä testauksessa ei ole merkittävä. Oikealla on esitetty aurinkosimulaattorin energiajakautuma. Lampputyypit on laajasti käytössä erilaisissa solar testeissä.





Vasemmalla on kuva aurinkosimulaattorista ja oikealla on kuva normaalista testaustapahtumasta, jossa testattava näyte, tässä tapauksessa keräin, on n. 5 m päässä itse aurinkosimulaattorista.

Tyhjiöputkikeräimet testissä

Keräimet testattiin aurinkolaboratoriossa yksitellen. Keräimet asetettiin testaustelineeseen, joka oli kallistettu 55 asteen kulmaan siten, että säteily tuli keräimiin kohtisuorasti. Säteilyn teho ja tasaisuus mitattiin tarkkuuspyranometrillä 5 x 5 matriisissa jokaiselle keräimelle. Ympäristön lämpötila testien aikana oli 28-30 °C.

Keräimen hyötysuhde mitattiin neljässä sisäänmenevän veden lämpötilassa. Lämpötilat oli valittu siten, että ne kattavat sen lämpötila-alueen, jossa aurinkokeräimet tyypillisesti toimivat tuottaessaan lämpöä rakennuksen varaajaan. Keräimestä ulostulevan veden lämpötila mitattiin samanaikaisesti ja lämpötilaerosta voidaan laskea hyötysuhde. Ulostuleva vesi jäähdytettiin ja taas vakioitiin kalorimetrissä. Keräimen stabiilisuus jokaisessa mittauspisteessä tarkistettiin viiden minuutin mittausykyllä, jonka aikana keräimeen sisään- ja ulostulevan veden lämpötilojen piti pysyä vakaina. Keräimen vesikiertopiiri oli avoin ja pumppuyksikkönä käytettiin annostelupumppua.

Aurinkokeräimen hyötysuhde kuvaa keräimen kykyä muuttaa auringosta tuleva säteilyenergia lämmöksi aurinkokeräimessä. Aurinkokeräimen hyötysuhde ja siten myös tehokkuus riippuvat tuotettavan veden lämpötilasta; mitä kuumempaa vettä keräimestä halutaan sen suuremmaksi nousevat erilaiset häviöt, kuten johtumishäviöt ja säteilyhäviöt, joten keräimen hyötysuhde pienenee.

$$H = H_0 - a(T_m - T_{ymp}) - b(T_m - T_{ymp})^2$$

H_0 = hyötysuhde, kun keräimen keskimääräinen lämpötila on sama kuin ympäristön lämpötila

$a(T_m - T_{ymp})$ = kuvaa lämmön johtumishäviöitä keräimestä. Kerroin a on keräinkohtainen

$b(T_m - T_{ymp})^2$ = kuvaa lämmön säteilyhäviöitä. Kerroin b on keräinkohtainen

Usein keräimen hyötysuhteeksi ilmoitetaan tuo ensimmäinen suurin termi, esim. 80 %. Termi kuvaa karkeasti tilannetta, jossa kesäpäivänä ulkolämpötilan ollessa 20 °C keräin tuottaa varaajaan noin 25 asteista vettä. Keräin toimii hyvällä hyötysuhteella ja suurella teholla mutta lämpötilataso on käytännössä epätodellinen. Kun sama keräin tuottaa varaajaan 60 asteista vettä on sen hyötysuhde laskenut esim. 60 %:n tasolle, koska lämmennyt keräin hukkaa erilaisina lämpöhäviöinä osan tuottamastaan lämmöstä. Tyhjiöputkitekniikka pyrkii minimoimaan juuri näitä korkeasta lämpötilasta tulevia häviöitä.

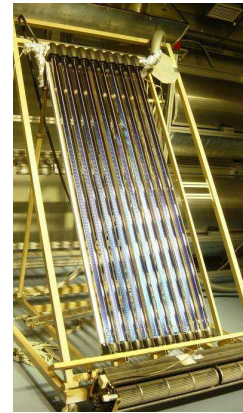
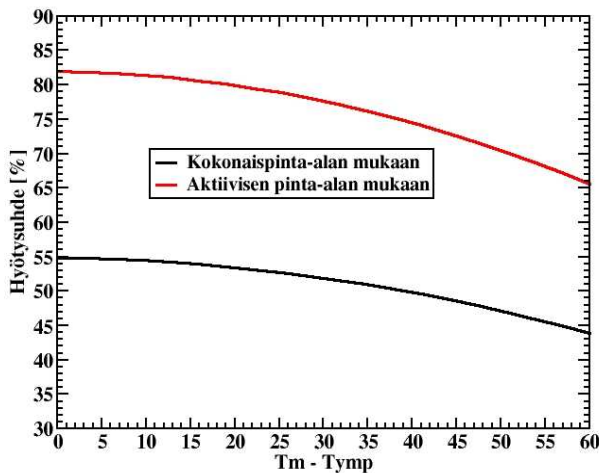
Hyötysuhteeseen vaikuttaa myös keräimen pinta-ala. Pinta-aloina voidaan käyttää *kokonaisalaa* (*cross area*), jossa on mukana myös keräimen raamit, *apertuurialaa*, joka on ns. lasiaukon pinta-ala tai *absorbaattorin* eli mustan pinnan pinta-ala. Tässä testissä on päädytty käyttämään kokonaisalan (*cross area*) lisäksi kahden viimeisimmän välimuotoa nk. *aktiivista alaa*. Aktiivinen ala on pinta-ala, jolta lämpöenergiaa kerätään talteen. Putken osalta se on putken halkaisijan ja pituuden muodostama pinta-ala kerrottuna putkien lukumäärällä. Jos keräimessä on heijastin, niin se on taustaheijastimen pinta-ala lisättynä heijastimen yli menevien tyhjiöputkien pinta-alalla. Pinta-alan valinta on oleellinen asia varsinkin verrattaessa tyhjiöputkikeräimiä tasokeräimiin. Molemmista on löydettävissä aktiivinen pinta-ala. Toisaalta kokonaisala on myös merkittävä tieto kahdesta syystä; puhekielessä keräimen pinta-alana käytetään kokonaisalaa puhuttaessa sitten taso- tai tyhjiöputkikeräimistä ja kokonaisala on pinta-ala, joka keräimen hyödyntämiseen vaaditaan. Siis pinta-ala, joka aurinkoenergialle päätetään varata.

NN10

Keräimessä on 10 kpl ulkohalkaisijaltaan 56 mm olevaa 1950 mm pitkää lasista tyhjiöputkea. Putkien sisällä on tasomainen absorptiopinta. Tyhjiöputkien takana ei ole heijastinta. Keräinpiirin tilavuusvirtaus oli 1,52 l/min. Säteilyn intensiteetti ja tasaisuus keräimen pinnalla oli $930 \pm 90 \text{ W/m}^2$.

Ulostulevan veden lämpötila pysyi mittausten aikana vakiona, kun sisäänmenevän veden lämpötila oli vakio. Seuraavassa taulukossa on esitetty mitatut, keskimääräiset arvot neljässä veden sisäänmenolämpötilassa. Hyötysuhde on taulukoitu sekä keräimen kokonaispinta-alan että aktiivisen pinta-alan mukaan. Taulukossa on myös intensiteetin arvoon 860 W/m^2 normoidut hyötysuhteen arvot.

| T_i [°C] | T_o [°C] | T_{ymp} [°C] | $T_o - T_i$ [°C] | $T_m - T_{ymp}$ [°C] | $(T_m - T_{ymp})/E$ [°C/(W/m ²)] | H [%] | H [%] (E=860 W/m ²) | H [%] (aktiivinen pinta- ala, E=860 W/m ²) |
|---------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------------|---|----------|---------------------------------------|---|
| 19,50 | 27,37 | 28,48 | 7,87 | -5,05 | -0,000542 | 54,8 | 54,8 | 81,9 |
| 42,27 | 50,05 | 27,75 | 7,78 | 18,41 | 0,0198 | 53,8 | 53,7 | 80,3 |
| 61,05 | 68,48 | 28,93 | 7,43 | 35,83 | 0,0385 | 51,0 | 50,7 | 75,8 |
| 72,75 | 79,85 | 29,23 | 7,10 | 47,07 | 0,0506 | 48,5 | 48,0 | 71,8 |



Hyötysuhdekäyrän yhtälö kokonaispinta-alan ($1,63 \text{ m}^2$) suhteen on

$$H = 54,8 - 0,0108(T_m - T_{ymp}) - 0,000287(T_m - T_{ymp})^2,$$

ja aktiivisesti hyödynnettävän pinta-alan ($1,09 \text{ m}^2$) suhteen

$$H = 81,9 - 0,0149(T_m - T_{ymp}) - 0,000429(T_m - T_{ymp})^2,$$

missä T_m on keräimeen sisäänmenevän ja ulostulevan veden lämpötilojen keskiarvo ja T_{ymp} on ympäristön lämpötila.

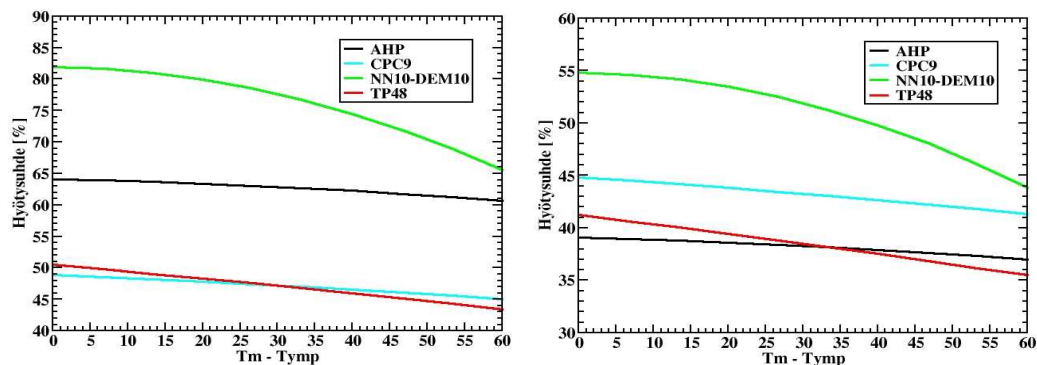
Tulokset:

Hyötysuhdemittaus

Keräimen hyötysuhde aktiivisen pinta-alan suhteen laskettuna (tumman harmaa) kuvaa parhaiten keräinten välistä teknologista eroa. Vaalean harmaa alue kuvaa keräinten välistä eroa käyttäjän sijoittaessa aurinkokeräintä rakennuksen katolle tai seinäpintaan. Käyttäessään saman pinta-alan kattoa aurinkoenergian hyödyntämiseen eri keräimet antavat tuolta alueelta oheisen taulukon (vaalean harmaa) mukaisen hyödyn.

| tyyppi | hyötysuhde akt. ala | hyötysuhde akt. ala | hyötysuhde kok. ala | hyötysuhde kok. ala | maksimiteho [W/m ²] (kokonaisala) | laitteen maksimiteho [W] |
|--------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| | $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ | $\Delta T = 45^\circ\text{C}$ | $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ | $\Delta T = 45^\circ\text{C}$ | | |
| CPC9 | 49 % | 46 % | 45 % | 42 % | 450 W/m ² | 960 W |
| NN10 | 82 % | 73 % | 55 % | 48 % | 550 W/m ² | 890 W |
| TP48 | 51 % | 45 % | 41 % | 37 % | 410 W/m ² | 1400 W |
| AHP | 64 % | 62 % | 39 % | 38 % | 390 W/m ² | 1300 W |

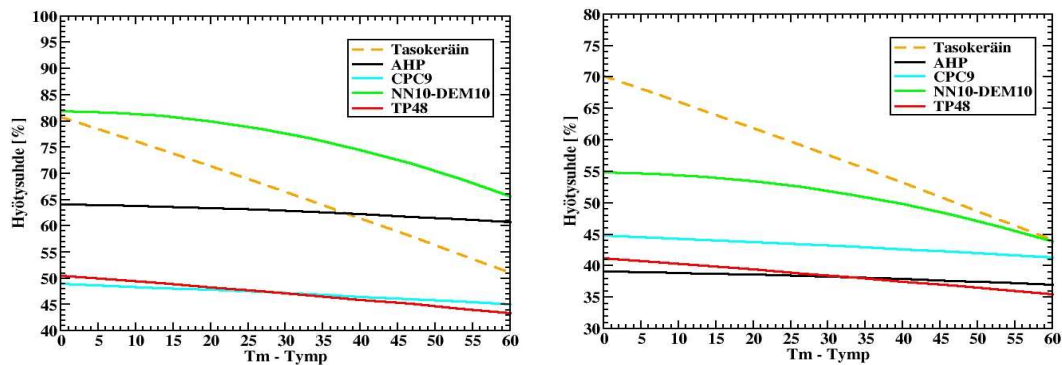
Alla vasemmalla on esitettyä testattujen keräinten hyötysuhde aktiivisen pinta-alan suhteen, ja oikealla kokonaispinta-alan suhteen. Lisäksi käyrät on suhteutettu säteilytehoon 860 W/m². Aurinkokeräimen tavanomaisin toiminta-alue on lämpötilavälillä 35-50 °C ($T_m - T_{ymp}$).



Oheiset hyötysuhdekäyrät on saatu neljän mittapisteen avulla sovittamalla niihin sopiva käyrä. Suurimmat mitatut lämpötilaerot olivat noin 45 °C. Käyrien loppupää on siis ekstrapoloitu mittaustuloksista. Tässä testauksessa tyhjiöputkikeräimien toimintaa tarkasteltiin tavanomaisen omakotikäyttäjän näkökulmasta, jolloin korkeammat lämpötilaerot eivät olleet enää relevantteja. Kesäpäivänä lämpötilaero 45 °C tarkoittaa, että keräimestä ulostuleva vesi on noin 80 asteista ja varaajan loppulämpötila on muutamia asteita matalampi.

Testitulosten vertailu tasokeräimeen ja tuulen vaikutus energiantuottoon

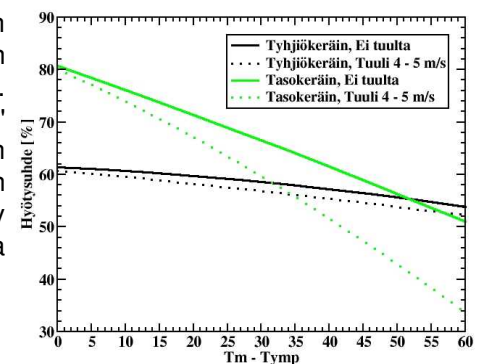
Markkinoilla käydään keskustelua tyhjiöputkikeräinten ja tasokeräinten välillä. Ohessa on edellä esitettyihin mittaustuloksiin liitetty tyypillisen tasokeräimen hyötysuhdekäyrä. Pisteiviiva edustaa tyypillistä tasokeräintä ja markkinoilla olevat keräimet vaihtelevat siis esitetyn pisteiviivan molemmiin puolin. Vasemmalla on esitetty hyötysuhteet aktiivisen ja oikealla kokonaispinta-alan suhteen.



Euroopan markkinoilla tasokeräimet ovat olleet hallitsevia ja trendi näyttää niiden valta-aseman säilyvän. Euroopassa tasokeräinten myynti vuonna 2007 oli 2,4 milj. m² ja vastaavasti tyhjiöputkikeräimien myynti oli 0,26 milj m², eli noin 10% kokonaismäärästä. Euroopan markkinat ovat siis vahvasti rakentuneet tasokeräimille. (ESTIF 2007)

Tasokeräimen hyötysuhde tyypillisellä toiminta-alueella on tyhjiöputkikeräintä tehokkaampi (kokonaispinta-ala). Aktiivisen alankin suhteen katsottuna tasokeräin on vielä keskimääräinen. Omakotisovelluksissa lämpötilataso ei nouse vielä niin korkeaksi, että tyhjiöputkikeräin antaisi oleellista hyötyä tasokeräimeen nähden. Tyypillisesti tyhjiöputkikeräimen päivittäinen käyttöaika on kuitenkin noin tunnin pidempi sekä aamupuolella että iltapuolella. Aamulla tyhjiöputkikeräin kuitenkin toimii huomommalla hyötysuhteella kun tasokeräin. Toisaalta iltapäivällä, jolloin tyhjiöputkikeräin vielä tuottaa energiaa niin saatavat energiamäärät ovat jo melko pieniä.

Tuulella ei ole suurta vaikutusta tyhjiöputkikeräinten hyötysuhteeseen. Tyhjiö estää konvektion mustan pinnan ja lasipinnan välillä ja toimii hyvänä eristeenä. Tyypilliseen tasokeräimeen, joka on 'pahimmassa' tapauksessa vielä telineasennuksessa katolla, tuulen jäädyttävä ja hyötysuhdetta pienentävä vaikutus on selvästi suurempi. Oheisessa kuvaajassa on esitetty mitattujen tyhjiöputkikeräinten keskimääräinen tulos ja vertailuna tyypillinen tasokeräin.



Huomautukset:

Mittausinstrumentit:

Lämpötila: AD590, kalibroitu 21.11.2008, on voimassa

PT100, kalibroitu 21.11.2008, on voimassa

Auringon säteily: Kipp&Zonen CM11, kalibroitu 11.6.2007, on voimassa

Hyötysuhteen mittaustarkkuus on ± 3 %. Mittaustarkkuuteen vaikuttavat lämpötilan mittauksen tarkkuus, säteilyn intensiteetin mittaustarkkuus ja keräimissä virtaavan nesteen virtauksen mittaustarkkuus. Virtausnopeuden mittausta aiheuttaa suurimman virheen lopputuloksiin, lämpötilan mittaustarkkuus on edellisistä paras.

Toimenpiteet ja raportointi ovat IEC/ISO 17025 'General requirements for the competence of testing laboratories' standardin mukaisia.

Allekirjoitus:

Littoinen,



Timo Oksa
30.1.2009

