

Jouni Rakennuskoski

Aurinkolämmityksen tekniikka ja energiatuoton laskenta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakentamisen YAMK

Talotekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

12.2.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jouni Rakennuskoski Aurinkolämmityksen tekniikka ja energiatuoton laskenta 81 sivua + 5 liitettä 12.2.2014
Tutkinto	rakentamisen YAMK
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Työn tarkoitus on tutkia ja lisätä Metrosol-aurinkoenergialaboratorion mahdollisuuksia toimia testausympäristönä. Työn keskeisiä osia ovat laskentaohjelma, jonka avulla on mahdollista vertailla aurinkokeräimien energiantuottoa sekä sen käyttöohjeet. Opinnäyte on osa Tekesin ja teollisuuden rahoittamaa hanketta Energy Efficient Control of Indoor Environment, RYM Oy.</p> <p>Työssä on huomioitu laajasti aurinkolämmitysjärjestelmä, sen tehojen laskentamallit, valmistajien ilmoittamat tekniset tiedot, lämmön varastointimenetelmät, ikääntymisen vaikutukset sekä erilaiset variaatiot järjestelmän kokoonpanossa. Laskentaohjelma perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 tarkempaan aurinkolämpöenergianlaskentaan. Menetelmä pohjautuu standardiin SFS-EN 15316-4-3. Laskentaohjelman antamia tuloksia on vertailtu kahden vastaavan kansainvälisen laskentaohjelman tuloksiin. Tuloksissa ei havaittu merkittäviä eroavaisuuksia.</p> <p>Laskentaohjelman kaikki kaavat ovat esillä, joten ohjelma soveltuu hyvin opetuskäyttöön. Ohjelma on käytettävyydeltään monipuolinen ja sen käyttömahdollisuudet sekä oppimisympäristöissä että kentällä ovat moninaiset.</p>	
Avainsanat	Aurinkolämmitys, aurinkokeräin, aurinkoenergia, aurinkoenergian varastointi, aurinkoenergian laskentaohjelma, MetroSol aurinkoenergialaboratorio, Aurinko-Opas 2012

Author Title	Jouni Rakennuskoski Solar heating technology and calculation of the energy production
Number of Pages Date	81 pages + 5 appendices 12 February 2014
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructor	Jukka Yrjölä, Principal lecturer, D.Sc. (Tech.)
<p>The purpose of this Master's thesis was to study, and increase, the possibilities of MetroSol Solar Energy Laboratory to operate as a standardized testing platform. The thesis is a part of the project "Energy Efficient Control of Indoor Environment, RYM Oy." financed by TEKES and the industry.</p> <p>For the thesis, the calculation models for determining the effectiveness of solar heating systems, technical information supplied by the manufacturer, heat storage methods, the influence of ageing and variations in the structure of the systems were studied widely. The calculation program created during the final project was based on the method for calculating solar energy presented in the Finnish National Building Code, part D5. The method was based on the standard SFS-EN 15316-4-3. The results obtained with this calculation method were compared to those obtained with two international programs. No significant differences were found.</p> <p>The thesis resulted in a counting program for the energy efficiency of solar collectors. Also, a manual for using the program was drawn up. Since all the equations are visible, the calculation program can easily be used not only by the industry but also for teaching purposes.</p>	
Keywords	Solar heating, solar collector, solar energy, storage of solar energy, calculation program for solar energy, MetroSol Solar Energy Laboratory

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Aurinkoenergia	6
2.1	Aurinko energialähteenä	6
2.2	Auringon säteily	6
3	Aurinkolämmitys	10
3.1	Aurinkolämpö	10
3.2	Passiivinen aurinkolämpöenergia	10
3.3	Aktiivinen aurinkolämpöenergia	12
4	Aurinkokeräimet	13
4.1	Aurinkokeräimien peruseräily	13
	Keskittävä keräin	13
	Ilmalla toimiva keräin	14
	Nestekiertoine keräin	14
	Tyhjiöputkikeräin	15
4.2	Muovin soveltuvuus keräimen materiaaliksi	17
4.3	Keräimien energiatuotto	18
5	Keräimien pinta-ala	21
6	Seurantalaitteet	28
7	Aurinkolämpöjärjestelmän putkisto	29
8	Lämmitysenergian varastointi	33
8.1	Lämminvesivaraaja	33
8.2	Latenttilämpöön perustuva lämmön varastointi	34
8.3	Termokemiallinen lämmön varastointi	35
9	Aurinkolämpöjärjestelmät	37
10	Ikääntymisen vaikutukset aurinkokeräimiin	39
11	MetroSol-aurinkoenergielaboratorio	43

Putkisto	43
Mittaukset ja keräimet	45
12 JR-laskentaohjelma	48
13 JR-laskentaohjelman perustiedot	50
13.1 Keräimien, varaajan ja verkoston perustiedot	50
13.2 Hyötysuhde	55
13.3 Putkiston lämpöhäviölaskenta	59
13.4 Kuukausitason laskut	60
14 Varaajan lämpöhäviöt	68
15 Laskentatuloksia	70
16 Eräitä havaintoja laskentaohjelmien vertailusta	73
16.1 Ilmainen laskentaohjelma Catch Solar Energy	73
16.2 GetSolar Professional	77
17 Pohdinta	78
18 Yhteenveto	80
Lähteet	82
Liitteet	
Liite 1. Aurinkokeräin WATT 2020 tekniset tiedot	
Liite 2. Aurinkokeräin Sunpurm NN10 tekniset tiedot	
Liite 3. Tasokeräin Savosolar FS 100-03 Full-AI tekniset tiedot	
Liite 4. Pyranometrin tekniset tiedot	
Liite 5. Vaisalan sääaseman tiedot	

Esipuhe

Esitän parhaimmat kiitokseni opinnäytteeni ohjaajalle, tekniikan tohtori Jukka Yrjölälle sekä Aurinkoenergiaprojektin tiimille tuesta ja kannustuksesta. TaM, MBA Tarja Sanila kiitän avusta työni kieliasun tarkistamisessa.

Oulussa 12.2.2014

Jouni Rakennuskoski

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja lisätä Metropolia Ammattikorkeakoulun MetroSol-aurinkoenergiaboratorion mahdollisuuksia toimia testausympäristönä. Käytännössä opinnäytteeni keskeisimpiä osia ovat laskentaohjelma, jonka avulla on mahdollista vertailla aurinkokeräimien energiantuottoa sekä ohjeet laskentaohjelman käyttämistä varten. Opinnäyte on osa Tekesin ja teollisuuden rahoittamaa hanketta Energy Efficient Control of Indoor Environment, RYM Oy. Opinnäyte liittyy MetroSol testaus- ja tutkimuslaboratorion käynnistämiseen. Työssä keskitytään ensisijaisesti aurinkolämmitykseen.

Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja ilmaston lämpenemisen estäminen vaativat suuria päästövähennyksiä. Siirtyminen kohti hiiliniukkaa yhteiskuntaa edellyttää merkittäviä muutoksia erityisesti rakennuksissa ja rakentamisessa. Kasvihuoneilmion myötä energia on tulevaisuudessa tuotettava nykyistä puhtaammin. Uusiutuvan energian osuus tässä prosessissa on merkittävä. Suomessa uusiutuvan energian käyttöön vaikuttavat niin kansalliset energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset kuin EU:ssa tehdyt päätökset ja linjaukset, esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen tähtäävä päästökauppadirektiivi (1). Keskeinen syy uusiutuvan energian lisäämiselle onkin kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Uusiutuvan energian käyttöä pyritään energia- ja ilmastostrategian tavoitteiden mukaisesti lisäämään nykyisestä. Suomen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuutta energiantuotannosta 9,5 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020. Tällöin Suomen energiankulutuksesta uusiutuvalla energialla olisi 38 prosentin osuus. Myös tutkimukseen ja tuotekehitykseen panostaminen on energiastrategian keskeinen tavoite. (1.)

Aurinkopaneelien sekä aurinkokeräimien kehityksen myötä aurinkoenergian hyödyntäminen rakennuksissa on lisääntynyt huomattavasti. Pitkästä talvesta huolimatta Suomeen tuleva auringon säteily on lähes samaa luokkaa kuin Keski-Euroopassa, jossa aurinkoenergiaa hyödynnetään paljon (2).

Kotitalouksien energiankäytöstä jopa 50 prosenttia menee lämmitykseen. Suurimman yksittäisen kustannuserän asuinrakennuksessa muodostaakin lämmitysenergian kulutus. Asuinrakennuksessa kulutettu lämmitysenergia jakaantuu lähes tasan johtumishäviöiden, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmityksen kesken. (2.)

Olen laatinut laskentaohjelman perustuen Sitran ja ympäristöministeriön toimeksianosta laadittuun Aurinko-oppaaseen 2012. Tutkimustyössäni havaitsin Aurinko-oppaassa eräitä epätarkkuuksia ja virheitä. Olen huomionnut ja oikaissut ne laskentaohjelmaa laatiessani.

Olen nimennyt laatimani laskentaohjelman nimikirjainteni mukaan nimellä JR. Toivon, että laskentaohjelmani tulee edistämään aurinkolämmityksen tutkimusta sekä opiskelijoiden aiheeseen perehtymistä. Itse koin työni erittäin inspiroivaksi ja näen aurinkoenergian hyötykäytön lisäämisen maassamme erääksi tulevien vuosien keskeisistä päämääristä. Etelä-Suomessa on käytännössä lähes samanlaiset mahdollisuudet hyödyntää aurinkoenergiaa kuin Keski-Euroopassa, jossa aurinkokeräimien käyttö on jo arkipäivää. Kotitalouksien on meilläkin mahdollista saada huomattava osa lämmitysenergiastaan kestävä kehityksen mukaisella tavalla. Opinnäytteeni olkoon omalta osaltaan edistämässä tätä tavoitetta.

2 Aurinkoenergia

2.1 Aurinko energialähteenä

Aurinko on maata lähimpänä sijaitseva tähti. Maan ja auringon välinen keski-etäisyys on noin 150 miljoonaa kilometriä. Energia syntyy ydinreaktiossa (fuusio), jossa vetyatomit yhtyvät raskaammiksi heliumatomeiksi, jolloin samalla vapautuu energiaa. Auringon pintalämpötila on noin 5900 K ja ytimen, jossa fuusioreaktiot tapahtuvat, on noin 13,6 miljoonaa K. (3, s.12.)

Maan rata auringon ympäri on elliptinen, jonka vuoksi auringon irradianssi ilmakehässä muuttuu vuoden- ja vuorokaudenaikojen mukaan. Irradianssi eli maahan tuleva säteily sisältää aallonpituuksia ultraviolettisäteilystä infrapunavaloon. Suurin osa auringon energiasta on infrapunasäteilyä, joka on näkyvää valoa lyhytaaltoisempaa. Auringosta ilmakehälle kohtisuorasti saapuvan säteilyn intensiteetti on 1370 W/m^2 . Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Ilmakehä vaikuttaa maahan tulevan säteilyn määrään. Vain murto-osa auringosta lähtevästä kokonaissäteilystä ulottuu maahan asti. (4.)

Aurinkoenergia on auringon säteilemän energian hyödyntämistä sähkö- tai lämpöenergiana. Aurinkoenergia voidaan jakaa kahteen ryhmään: suoraan ja epäsuoraan. Epäsuoraa aurinkoenergiaa ovat esimerkiksi tuuli- ja aaltoenergia. Epäsuoraksi aurinkoenergiaksi lasketaan myös puun käyttäminen lämmittämiseen, sillä puun kasvu edellyttää fotosynteesiä, jonka lähde aurinko on. Merkittävä epäsuora aurinkoenergian muoto on myös säteilystä rakenteisiin varastoituva lämpö. (5.)

Suora aurinkoenergia puolestaan on säteilyn muuttamista suoraan sähköksi tai lämmöksi. Sähköksi muuttaminen tapahtuu aurinkokennoilla ja lämmöksi muuttaminen keräimillä. Aurinkoenergia on uusiutuvaa energiaa.

2.2 Auringon säteily

Maamme pohjoisesta sijainnista johtuen auringosta tuleva säteilyn määrä vaihtelee suuresti vuoden- ja vuorokaudenajasta riippuen. Erilaisista molekyyleistä ja vesihöyrystä sekä pölystä ja saasteista koostuva ilmakehä heikentää auringonsäteiden pääsyä maan pinnalle. Tästä on sekä haittaa että hyötyä. Hyötynäkökohtaa ajatellen ilmakehä

säätelö meille haitallisen UV-säteilyn määrää. Haittapuolena on auringon säteilyn heikentyminen sen matkatessa ilmakehän läpi. Mitä pitemmän matkan auringon säteily joutuu kulkemaan ilmakehän läpi, sitä enemmän säteilyteho pienenee. Osa säteilystä ehtii absorboitua ilmakehän molekyyleihin. Tämän vuoksi auringon säteilyteho aamulla ja illalla on pienempää kuin keskipäivällä ja talvella vähäisempää kuin kesällä. (6, s.12.)

Säteilyn voimakkuus voidaan määrittellä kokeellisesti yhtälöllä 1.

$$I = 1100 \frac{W}{m^2} e^{-0,17 \sin \alpha} \quad (1)$$

jossa

I on säteilyn voimakkuus, W/m^2

α on auringon korkeuskulma horisontista, °.

Etelä-Suomessa auringon säteilyteho on suurimman osan vuodesta samaa luokkaa kuin Saksassa, jossa aurinkoenergia kattaa noin 5 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta. Suomessa haittapuolena on pitkä talvi, jolloin aurinkoenergiaa saadaan vähän. Kesällä taas vastaavasti aurinkoenergiaa saadaan paljon, mutta energian varastoiminen tulee ongelmaksi. Kuviossa 1 on vertailtu aurinkokerääjän kuukausitehoja Suomessa ja Saksassa.



Kuvio 1. Aurinkokerääjän kuukausitehot Suomessa ja Saksassa (7).

Maan pinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kahteen ryhmään: suoraan auringonsäteilyyn, joka tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä, sekä diffuusiin eli

haja-auringonsäteilyyn, joka on ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä. Aurinkoisena kesäpäivänä suoran säteilyn määrä on noin 80 prosenttia vaakasuoralle pinnalle osuvasta säteilystä. Pilvisenä päivänä 80 prosenttia valosta saattaa puolestaan olla hajasäteilyä. Keskimäärin Suomessa puolet on hajasäteilyä. Säteily mitataan yleensä vain vaakatasolla. (6, s. 12.) Suomessa vuotuinen aurinkosäteily vaakatasolla on noin 800–1000 kWh/m² maantieteellisestä sijainnista riippuen.

Säteilyn voimakkuuden lisäksi vaikutuksensa on myös laitteen suuntauksella. Aurinkolaitteen suuntauksessa on kaksi kulmaa: kallistuskulma, joka on vaakatason ja laitetason välinen kulma, sekä atsimuuttikulma. Viime mainittu määritellään siten, että suuntaus etelään on 0°, länteen +90° ja itään -90°. (6, s. 13.)

Maapallon akseli on 23,44° kallellaan, sen seurausta ovat vuodenajat. Aurinko on korkeimmillaan horisontista kesäpäivän seisauksena, jolloin deklinaatio on +23,44°. Auringon deklinaatiolla tarkoitetaan auringon kulmaa verrattuna maan ekvaattoritasoon.

Auringon deklinaatio voidaan laskea yhtälöllä 2

$$\delta = 23,44^\circ * \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (2)$$

jossa

δ on deklinaatio

23,44° on auringon säteiden kulma ekvaattoritasoon nähden kesäpäivänseisauksena

N on päivän numero alkaen ensimmäisestä tammikuuta.

tai yhtälöllä 3

$$\delta = - 23,44^\circ * \cos [\omega(d + 10)] \quad (3)$$

jossa

δ on deklinaatio

- 23,44° on auringon säteiden kulma ekvaattoritasoon nähden talvipäivänseisauksena

ω on auringon kulmanopeus

d on vuorokauden järjestysnumero vuodenvaihteesta laskien

10 on vuorokausien määrä talvipäivänseisauksesta vuodenvaihteeseen.

Maapallon kiertäminen auringon ympäri 360° kestää 365,25 vuorokautta. Kulmanopeus voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$\omega = \frac{365}{360} = 0,986^\circ / \text{vrk} \quad (4)$$

Auringon korkeus horisontista keskipäivällä saadaan yhtälöllä 5

$$\alpha_{\max} = 90^\circ - L + \delta \quad (5)$$

jossa

L on leveyspiiri

δ on deklinaatiokulma.

Helsingin korkeudella eli noin 60° leveyspiirillä auringon suurin päivittäinen arvo vaihtelee välillä

$$h_{\max} = 90 - 60 + 23^\circ,44' = 53,44^\circ$$

$$h_{\min} = 90 - 60 - 23^\circ,44' = 6,5^\circ$$

Auringon korkeuskulma saadaan yhtälöllä 6

$$\sin h = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \tau \quad (6)$$

jossa

τ on tuntikulma laskettuna etelästä $15^\circ/\text{h}$.

3 Aurinkolämmitys

3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämmitys eroaa muista lämmitysmuodoista, koska aurinkoenergian saanti on vuodenaajoista johtuen jaksollista. Talvisin, kun lämpöenergiaa tarvitaan eniten, aurinkoenergiaa on saatavana vähiten. Tästä johtuen aurinkolämpöjärjestelmä vaatii aina rinnalleen toisen lämmitysjärjestelmän.

Aurinkolämpöenergiasysteemit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: aktiivisiin ja passiivisiin. Passiiviset aurinkolämpösystemit eivät yleensä tarvitse lisälaitteita. Vastaavasti aktiivisessa aurinkolämpösystemissä käytetään erilaisia välineitä ja laitteita, kuten keräimet, putkisto ja akku. Niiden avulla auringon lämpöenergia kerätään varastoon ja sieltä myöhemmin käytettäväksi. Lisäksi on olemassa myös hybridijärjestelmä, jossa on yhdistetty sekä passiivinen ja aktiivinen aurinkoenergiajärjestelmä. Tärkeimmät aurinkolämpöjärjestelmän käyttökohteet ovat käyttöveden, rakennuksen sekä uima-altaiden lämmitys. (6, s.10.) Aurinkolämpöjärjestelmään voidaan liittää myös aurinkojäähdytys. Aurinkoavusteinen jäähdytys on mahdollista adsorptio- tai absorptiojäähdytystekniikalla. (8).

3.2 Passiivinen aurinkolämpöenergia

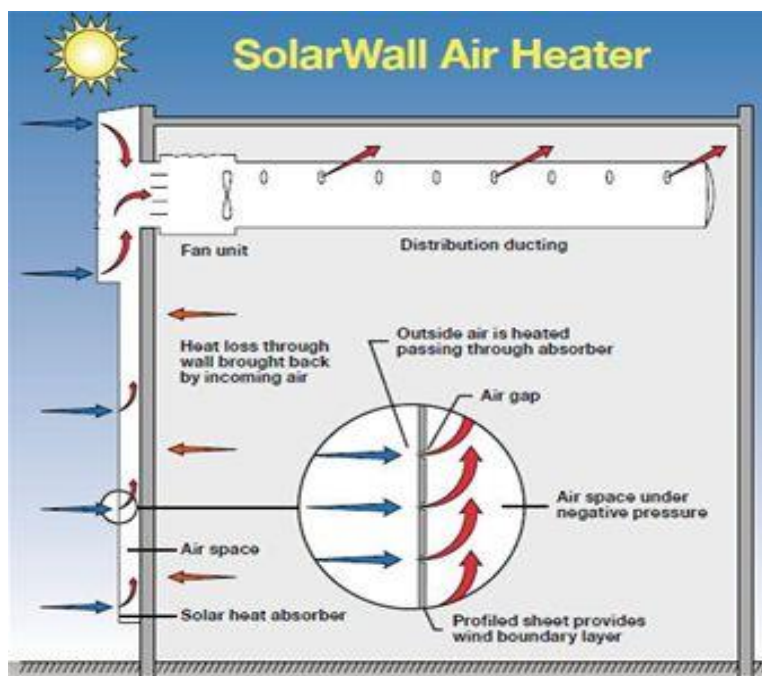
Passiivisen aurinkolämpöenergian hyödyntäminen on edullista. Aurinkolämpöenergiaa käytetään hyväksi silloin, kun rakennus kerää energiaa ja lämpö varastoituu sen rakenteisiin. Aurinkoenergian hyödyntäminen alkaa suunnitteluvaiheessa jo siitä, kuinka rakennus tulisi sijoittaa ja suunnata tontilla. Talon arkkitehtuurilla on erittäin suuri merkitys hyödynnettävissä olevan energian kannalta. Suunnittelussa on mahdollista valita hyvin lämpöä varaavia materiaaleja sekä esimerkiksi suunnata isommat ikkunat etelään ja pienet pohjoiseen. Rakennuksia suunniteltaessa on kuitenkin huomioitava yllälämpenemisen mahdollisuus kesäaikana. Tähän ratkaisuna ovat esimerkiksi markiisit ja sälekaihtimet.

Rakennuksen materiaalien merkitys on keskeinen arvioitaessa, kuinka paljon rakennus voi varastoida lämpöä ikkunoiden kautta tulevasta auringon säteilystä. Nykyisissä tutkimuksissa pääpaino lämmön varastointiteknologiassa perustuu faasin muutokseen

(Phase Change Materials, PCM) tai termokemialliseen reaktioon, jolloin terminen lämmön varastointikapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin perinteisillä menetelmillä. Tätä varastointitekniologiaa voidaan käyttää myös passiivisessa aurinkolämpöenergias-
 ssa, jolloin se on osa rakenteita. (9.)

Passiivisella aurinkolämpöenergialla voidaan vaikuttaa myös ilmanvaihdon energiankulutukseen nostamalla sisään tulevan raittiin ilman lämpötilaa. Lasittamaton rei'itetty tasokeräin kiinnitetään julkisivupintaan ja se soveltuu käytettäväksi myös kylmemmissä oloissa. Keräinten valmistaja Solar Wall lupaa keräimille jopa 80 prosentin hyötysuhteen ja 600 W/m^2 lämpöenergiaa.

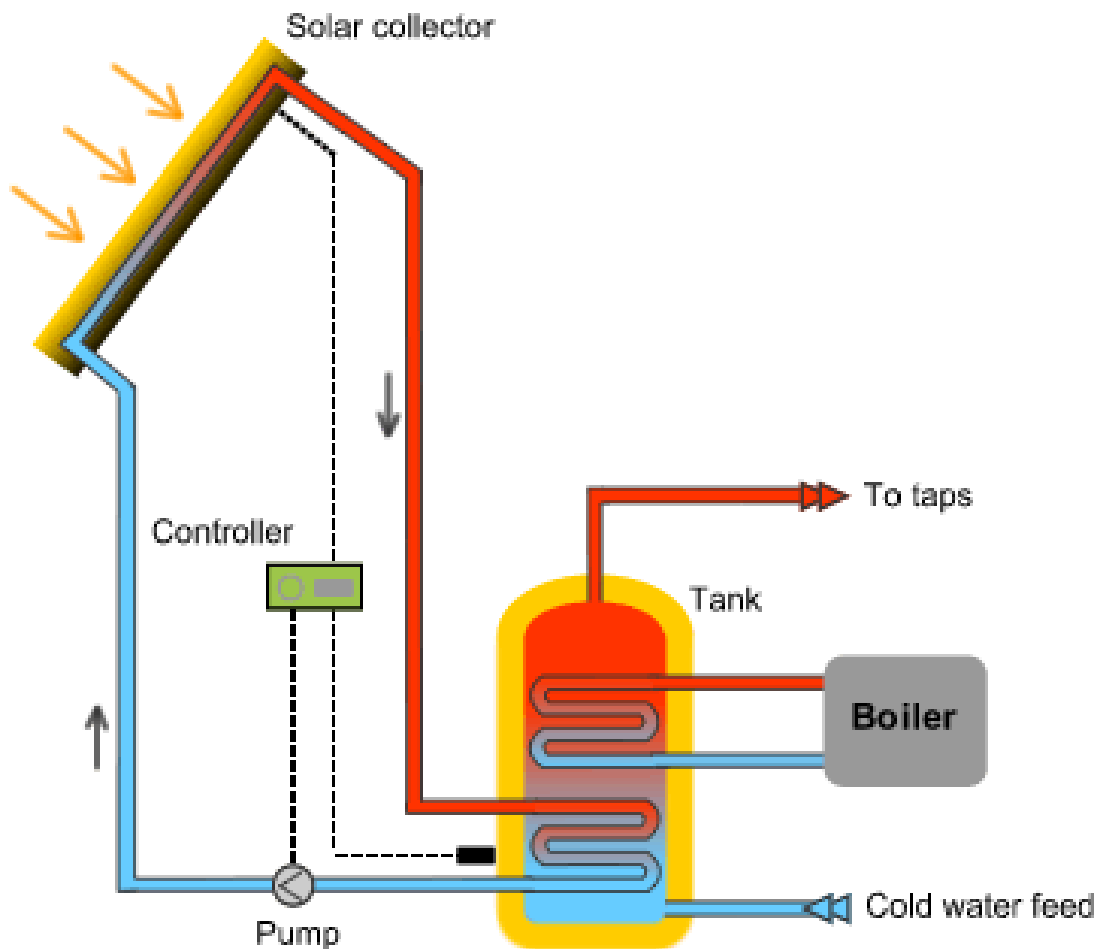
Keräin kiinnitetään julkisivuun. Auringon säteily absorboidaan metalliin, joka lämmittää takana olevaa ilmatilaa. Kuvan 10 esittämällä tavalla ilma johdetaan ilmatilasta rakennukseen, jolloin uutta korvaavaa kylmää ilmaa virtaa metallilevyssä olevien reikien kautta. (10.) Suomessa rakennettiin 1970- ja 1980-luvuilla suuri määrä kiinteistöjä, joissa käytettiin ilmastointiratkaisuna yhteiskanavapoistoa. Olisikin mielenkiintoista tietää, kuinka edellä mainitun järjestelmän voisi integroida näihin vanhoihin kiinteistöihin, joissa ilmastoinnin korvausilma tulee suoraan ulkoa ilman mitään esilämmitystä ja olisiko se taloudellisesti kannattavaa.



Kuvio 2. Lasittamattoman rei'itetyn tasokeräimen periaatekuva (10).

3.3 Aktiivinen aurinkolämpöenergia

Aktiivisessa aurinkolämpöenergiassa pyritään hyödyntämään auringon säteilyenergiaa erityisesti sitä varten rakennettujen lisälaitteiden avulla. Näitä lisälaitteita ovat muun muassa aurinkokerääjät, akku eli lämpövaraaja sekä näihin liittyvät putkistot ja säätölaitteet sekä pumppu. Aurinkolämmitysjärjestelmä pystytään liittämään kaikkiin päälämmitysmuotoihin. Kuviossa 3 esitetään kaaviokuvana aurinkolämmitysjärjestelmän periaate.



Kuvio 3. Periaatekuva aktiivisesta aurinkolämmitysjärjestelmästä (11).

4 Aurinkokeräimet

4.1 Aurinkokeräimien peruseräitteitä

Aurinkokeräimet voidaan jakaa keskittäviin, tyhjiöputki- ja tasokeräimiin, joita esitellään tässä kappaleessa tarkemmin. Kaikkien keräintyyppien tarkoitus on muuttaa auringon säteily lämmöksi. (11.) Aurinkokeräinten sijainnilla on merkitystä; yleensä ne suunnataan etelään. Erilaiset varjostukset ja heijastukset vaikuttavat niiden toimintaan, esimerkiksi vesistöistä tai lasipinnoista tulevat heijastukset voivat lisätä keräinten tehoa ja vastaavasti esimerkiksi kasvillisuudesta johtuvat varjostukset vähentää. (12).

Rannikkoalueilla on huomioitava korroosio. Jos keräin sijoitetaan alle sadan metrin päähän meren rannasta, laitteen on oltava korroosiosuojattu. Lisäksi 0,1–1 km etäisyydellä merenrannasta valmistaja suosittelee korroosiosuojattuja keräimiä. Sisävesien rantamilla ja yli kilometrin päässä merenrannasta korroosiosuojaa ei tarvita vaan voidaan käyttää standardin mukaista keräintä. (12).

Keskittävä keräin

Keskittävässä keräimessä käytetään heijastimia tai peilejä, jotka keskittävät auringonsäteilyn keräimeen. Kuviossa 4 esitellään esimerkki. Tämä järjestelmä parantaa keräimen tehokkuutta ja vähentää lämpöhäviöitä. Näitä keräimiä käytetään korkeiden lämpötilojen saavuttamiseksi, jolloin neste höyrystyy ja se ohjataan generaattoriin tuottamaan sähköä. Keskittävä keräin toimii parhaiten kirkkaalla säällä, jolloin ei ole pilviä ja aurinko pääsee säteilemään siihen suoraan. Tämantyyppisillä keräijillä saavutetaan jopa 1000 °C. Suomen oloissa tämän kerääjän hyötysuhde jää pieneksi, koska valtaosa säteilystä on hajasäteilyä, jota keskittävä keräin ei pysty niin hyvin hyödyntämään. (13.) Tämän vuoksi keskittävien keräinten määrä Suomessa on vähäinen.

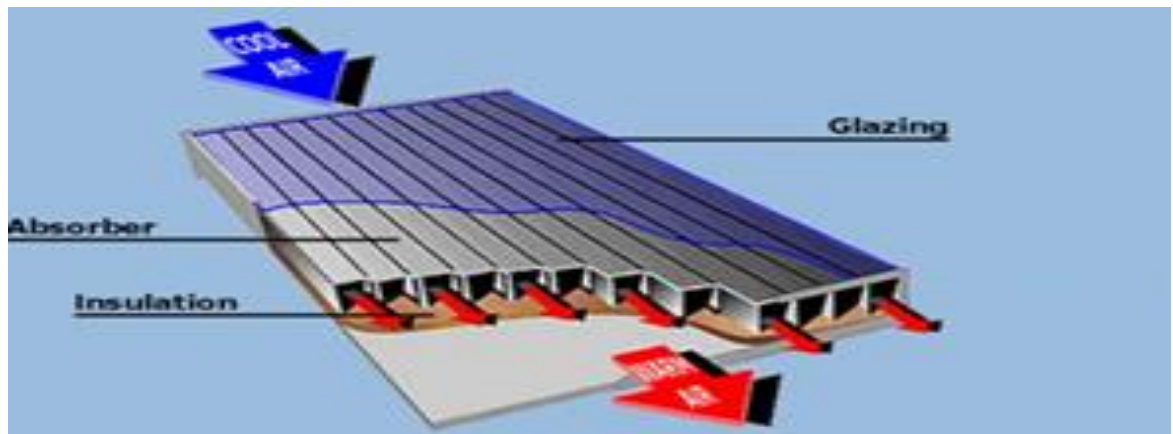


Kuvio 4. Keskittävä keräin parabolisella heijastinkaukalolla (13).

Ilmalla toimiva keräin

Ilmalla toimivassa keräimessä lämmönsiirtoaineena käytetään nesteen sijasta ilmaa. Kuviossa 5 on esitelty esimerkki ilmalla toimivasta keräimestä. Keräimet koostuvat kaukalosta, johon on asennettu lämmönkeräinelementit. Ne luovuttavat auringosta saatua lämpöenergiaa niiden alla virtaavaan ilmaan. Yksinkertaisin tapa hyödyntää keräintä on siirtää lämmitetty ilma puhaltimen avulla suoraan rakennukseen. Ilman ominaislämpökapasiteetti ja lämmönsiirtokyky ovat heikompia kuin vedellä, minkä vuoksi ilmalla toimivalta järjestelmä vaaditaan isompia kanavakokoja. Virtausnopeudet ovat samat molemmissa järjestelmissä. Ilmalla toimivan aurinkolämpöjärjestelmän voi liittää myös ilmastointijärjestelmään. (14.)

Ilmalla toimivassa järjestelmässä ei ole jäätymisvaaraa, ylikuumenemisvaaraa, vuotoa eikä korroosiovaarakaan ole niin suuri kuin nestekiertoisessa järjestelmässä. Toisaalta ilmalla toimiva järjestelmä ei sovellu niin hyvin lämpimän käyttöveden valmistukseen ja se on hankalampi säätää.



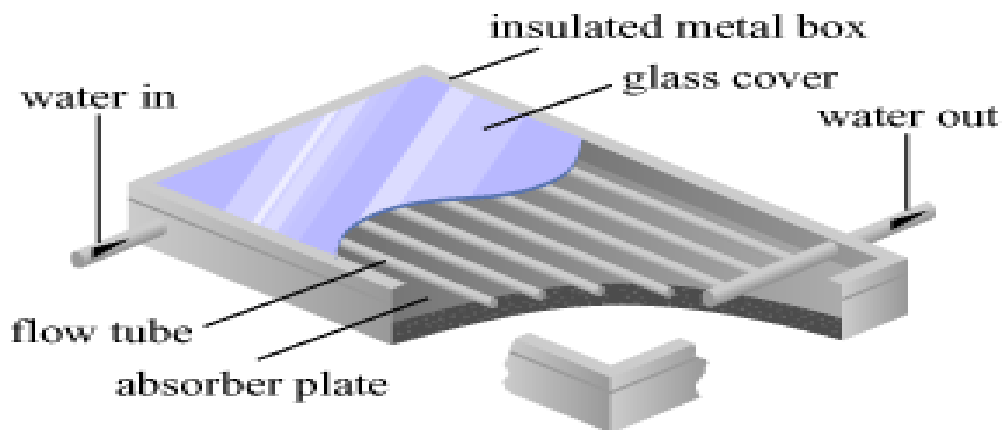
Kuvio 5. Ilmalla toimiva aurinkokeräin (14).

Nestekiertoinen keräin

Nestekiertoisessa tasokeräin koostuu rungosta, läpinäkyvästä lasi- tai muovikatteesta, absorptiopinnasta, lämmönsiirtoputkistosta, eristeistä ja lämmönsiirtonesteestä. Kuviossa 6 on esitetty esimerkki nestekiertoisesta tasokeräimestä. Lasi- tai muovikatteella on kaksi tehtävää; se sekä suojaa kerääjää sateelta, roskilta, tuulelta ja muilta ulkoisilta

haitoilta, että päästää auringon lyhytaaltoisen säteilyn läpi ja heijastaa absorptiotason heijastaman pitkäaalloisen säteilyn takaisin keräimeen. (14).

Absorptiolevy on usein kuparia tai alumiinia ja putkisto kuparia. Tasokeräimessä auringon säteily saadaan muutettua lämmöksi absorptiolevyn välityksellä, kuten kuvioista 16 ilmenee. Absorptiolevyn alapuolelle on kiinnitetty putkisto, jossa kiertää lämmönsiirtoneste. Lämpö siirtyy absorptiolevystä putkeen ja siitä nesteeseen, joka kuljettaa lämmön joko suoraan käyttöön tai lämmönvaraajaan. Yleisin lämmönsiirtoneste Suomessa on vesi-glykoliseos. Vesi-glykoliseoksen lämmönsiirto-ominaisuudet eivät ole yhtä hyvät kuin pelkällä vedellä, mutta kylmäsietokyky on selvästi parempi. Sen vuoksi sitä on suosittu Suomessa. Paras hyötysuhde saavutetaan, kun keräimen ja ulkoilman välinen lämpötilaero on pieni. (15.)



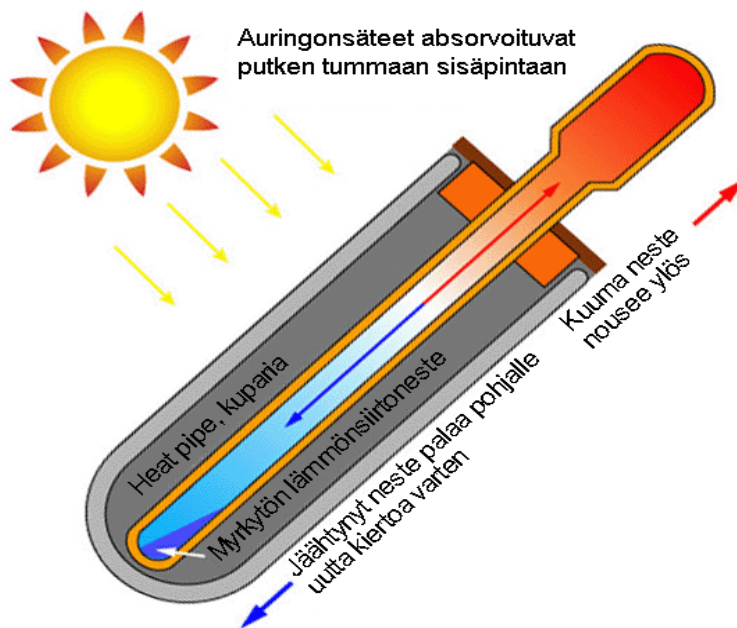
Kuvio 6. Nestekiertoinen tasokeräin (16).

Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimet koostuvat lasisista tyhjiöputkista, jakoyhteestä sekä kehikosta. Tyhjiöputkessa on kaksi sisäkkäin olevaa putkea. Niiden välissä on tyhjiö, joka toimii hyvänä lämmöneristeenä. Tämän vuoksi ne toimivat viileinäkin aikoina, kunhan vain auringon säteily pääsee tyhjiöputkeen. (17.)

Sisimmäisessä putkessa on absorptiopinta, joka muuttaa auringon säteilyn lämmöksi ja tyhjiön vuoksi lämpöhäviöt ovat olemattomat. Sisempi lasiputki on päällystetty absorptiomateriaalilla, joka absorptiokyky on 96 prosenttia. Sisemmän lasiputken sisällä on

kuparinen umpiputki, niin sanottu lämpöputki eli Heat pipe, johon lämpöenergia johtuu absorptiopinnasta höyrystäen lämpöputken sisältämän alkoholin. Lämpöputken yläosaan noussut höyrystynyt alkoholi luovuttaa lauhtumisen seurauksena lämpöenergiänsä ulkoisessa kupariputkessa virtaavaan lämmönsiirtonesteeseen. Lauhtunut alkoholi laskeutuu takaisin lämpöputken alaosaan, jossa se lämpenee uudelleen. Tyhjiöputkikeräimillä saadaan Suomen oloissa lämpöenergiaa helmikuusta marraskuuhun. Tyhjiöputkien tehoa voidaan nostaa heijastinlevyillä. (18.) Kuviossa 7 on esitelty lämpöputken toimintaperiaate.



Kuvio 7. Lämpöputken toimintaperiaate (17).

Tyhjiöputkikeräimet hyödyntävät hajasäteilyä huomattavasti paremmin, kuin tasokeräimet. Tästä tekniikasta onkin hyötyä juuri keväällä ja syksyllä. Tyhjiöputkikeräin voi tuottaa 30 prosenttia enemmän energiaa neliötä kohden kuin tasokeräin. Energian tuotto voi alkaa jo helmikuussa, ja sitä voi saada vielä marraskuussa. Tyhjiöputkijärjestelmä on kustannuksiltaan hintavampi kuin tasokeräinjärjestelmä. Kuviossa 8 on esimerkki tyhjiöputkikeräimestä.

Tyhjiöputkikeräinten asentamisessa kannattaa huomioida, että asennuskulma horisonttiin nähden on riittävän suuri: noin 60–90°. Tyhjiöputkikeräimen lämpöhäviöt ovat nimittäin niin pieniä, etteivät ne sulata tasokeräinten tavoin mahdollista lumikuormaa pääl-

tään. Lisäksi kesäisin aurinkoenergiaa on saatavana yli tarpeen. Riittävän suurella asennuskulmalla saadaan lisättyä keväällä ja syksyllä saatavia tehoja sekä pienennettyä kesäisiä tehoja. Lumen vaikutus jyrkemmässä asennuskulmassa olevaan tyhjiöputkikeräimeen jää pienemmäksi, koska lumi ei jää niin helposti kiinni keräimeen. (18.)



Kuvio 8. Tyhjiöputkikeräin (19).

4.2 Muovin soveltuvuus keräimen materiaaliksi

Euroopassa on tutkittu erilaisten muovien sopivuutta keräimiin. Muovimateriaalien ansiosta keräimien taloudellinen kilpailukyky parani, koska järjestelmien tuotantokustannuksia voitaisiin alentaa ja se puolestaan lisäisi aurinkoenergian hyödyntämisen mahdollisuuksia. Hyvänä puolena olisi, että putkistossa voisi olla pelkkää vettä, jonka lämmönsiirto kyky on vesi-glykoliseosta parempi. "Ensiöpuolen" lämmönsiirtimen voisi jättää pois, koska putkistossa ei tarvitsisi jäänestoa eikä mitään kemikaaleja tarvitsisi lisätä, jolloin lämmönsiirron hyötysuhde parani.

Toisaalta haasteeksi tulee tarpeeksi ohuen putken valmistaminen, sillä muovin lämmönsiirtokyky on kupariputkea huomattavasti heikompi, jotta lujuus ja kestävyysominaisuudet säilyisivät kilpailukykyisinä. Tällä hetkellä tulokset muovin sopivuudesta aurinkokeräimiin ovat hieman ristiriitaisia. Norjalainen aurinkoenergiatuotteita valmistava yhtiö Catch Solar Energy on ilmoittanut luopuvansa muovisista aurinkolämpöjärjestelmistä, koska muovin lämmönsiirtokyky on huono eikä kestävyys ei ollut vastaavanlaisten metalliputkistojen luokkaa. Muoviputken paksuutta on pitänyt lisätä ja tämä on li-

sännyt tuotantokustannuksia. Lisäksi muovit eivät kestä kuumuutta samalla tavoin kuin metallit. (20).

Katharina Resch on tutkimuksessaan *Polymeric Thermotropic Materials for Overheating Protection of Solar Collectors*, 2008 University of Leoben, Austria tutkinut erilaisten muovien sopivuutta aurinkokeräimiin ylikuumenemissuojan kanssa. (21).



Kuvio 9. Painovoimaisesti toimiva muoviputkikeräin (22).

Kuviossa 9 on esimerkki edullisesta ja helposti asennettavissa olevasta keräimestä, joka on suunniteltu etenkin väkirikkaille pientaloalueille kehittyvissä maissa. Keräimen materiaali on kierrätysmuovia. (22.)

4.3 Keräimien energiatuotto

Aurinkokeräimien tehojen vertailu ulkotiloissa on haastavaa, koska ilmasto-olosuhteet ja ympäristö vaikuttavat. Laboratorio-olosuhteissa vertailua tehtäessä on tärkeää käyttää standardin mukaisia parametreja, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia.

Aurinkokeräintä valittaessa tavallisen kuluttajan on mahdotonta vertailla laitteiden tehoja ja muita ominaisuuksia. Valmistajat ja myyjät käyttävät usein termejä, jotka eivät

avaudu kadunmiehelle. Esimerkiksi keräimen suuntaukseen liittyen käytetään myyntiperusteluna usein 360 asteen suuntausmahdollisuutta, joka on käytännössä useimmiten hyödytön. Keräimen arvot voidaan myös ilmoittaa monin eri tavoin ja sekin on omiaan hämmentämään. On myös varsin mahdollista, että laitteiden ilmoitetut arvot on mitattu tarkoitushakuisesti ja ne saattavat poiketa tavallisesta käytöstä huomattavastikin. (23.)

Aurinkokeräimiä testattaessa energian tuotto lasketaan standardin SFS-EN 12975-2 mukaan yhtälön 7 avulla (24, s. 43).

$$\dot{Q} = A \cdot G \cdot \left(\eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)}{G} \right) \quad (7)$$

Näkemykseni mukaan yllä oleva kaava on kuitenkin virheellinen, sillä sulkulausekkeiden viimeisen termin yksiköt eivät täsmää. Toinen keräinpinta-alaa vastaavista keräimen häviötermeistä jää siis huomioimatta, mikäli laskelmissa käytetään standardissa ilmoitettua kaavaa. Nämä häviötermit on esitetty oikeassa muodossa esimerkiksi kaavassa 14. Kaava on standardista SFS-EN 12975-2.

Seuraavassa kaavassa 8 virhe on korjattu. Laskentaohjelmassani sovelletaan tätä kaavan oikeaa muotoa ja näin ollen tulos on oikeampi, kuin standardin ilmoittamalla kaavalla laskettu.

$$\dot{Q} = A \cdot G \cdot \left(\eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_c)^2}{G} \right) \quad (8)$$

jossa

Q on aurinkokeräimen tuotto, W

A on apertureala, m²

G on auringon säteilyvoimakkuus, W/m²

η_0 on keräinpinta-alaa vastaava optinen hyötysuhde (hyötysuhdekäyrän leikkauspiste Y-akselin kanssa kun ΔT on nolla.) Standardi STS EN 12975-2

a_1 on keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin, W/m²K

a_2 on keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin, W/m²K²

t_m on keskilämpötila lämmönsiirtonesteellä, °C

t_a on ympäristön lämpötila, °C

G on 1000W/m².

Keskilämpötila lämmönsiirtonesteelle saadaan yhtälöllä 9.

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (9)$$

jossa

t_{in} on keräimeen menevän lämmönsiirtonesteen lämpötila, °C

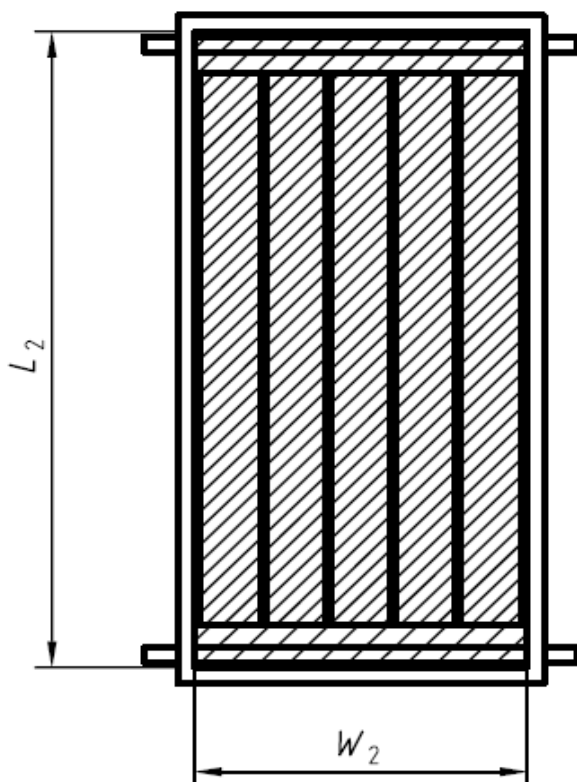
ΔT on keräimen lähtevän ja tulevan lämmönsiirtonesteen lämpötilaero, K.

5 Keräimien pinta-ala

Aurinkokerääjien pinta-alaa määritellään kolmella eri tavalla: bruttopinta-ala, aperturepinta-ala ja absorptiopinta-ala. Näillä kaikilla kolmella on oma tehtävänsä.

Bruttopinta-alan eli kokonaispinta-alan määrittelyssä käytetään aurinkokerääjän ulkomittoja. Bruttopinta-alaa käytetään tarkasteltaessa paikkaa, mihin aurinkokeräimiä ollaan asentamassa, millä tavalla ja kuinka monta niitä mahtuu. Bruttopinta-alalla ei voida vertailla eri keräinten tehokkuutta.

Aperturepinta-ala on aurinkokerääjän pinta-ala, joka ottaa auringon säteilyn vastaan. Tasokeräimissä se tarkoittaa keräimen kehikon sisämittoja eli aukkoa, josta auringon säteily pääsee keräimeen. Kuviossa 10 esitellään tasokeräimen aperturepinta-alan periaate. Koska apertureala on tehon laskennassa käytetyin aurinkokeräimen pinta-ala määritelmä, on syytä olla tarkkana, kuinka apertureala määritetään. Aurinkokeräimen pinta-alaa määriteltäessä epätarkkuus saa olla 0,3 %. (24, s. 35).



Kuvio 10. Apertureala tasokeräimessä merkitty vinoviivoitettuna (25, s. 32).

Apertuureala lasketaan tasokeräimessä yhtälöllä 10.

$$A_a = L_2 \times W_2 \quad (10)$$

jossa

A_a on apertuureala, m²

L_2 on pituus, m

W_2 on leveys, m.

Putkikeräimen apertuurepinta-alan periaate on esitetty kuviossa 11. Se lasketaan yhtälöllä 11.

$$A_a = L_2 \times d \times N \quad (11)$$

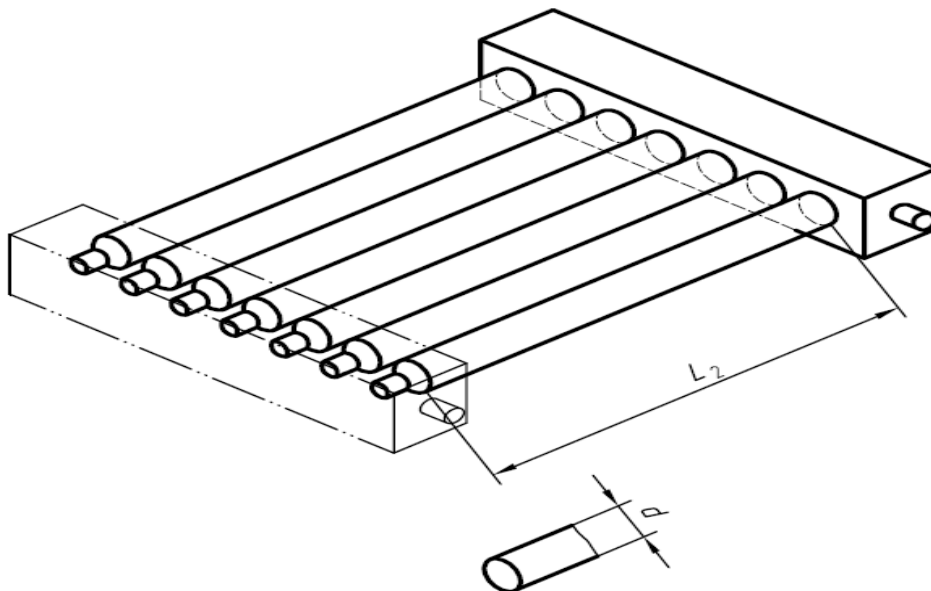
jossa

A_a on apertuureala, m²

L_2 on suojaamaton putken pituus ja varjostumattoman läpinäkyvän putken ala, m

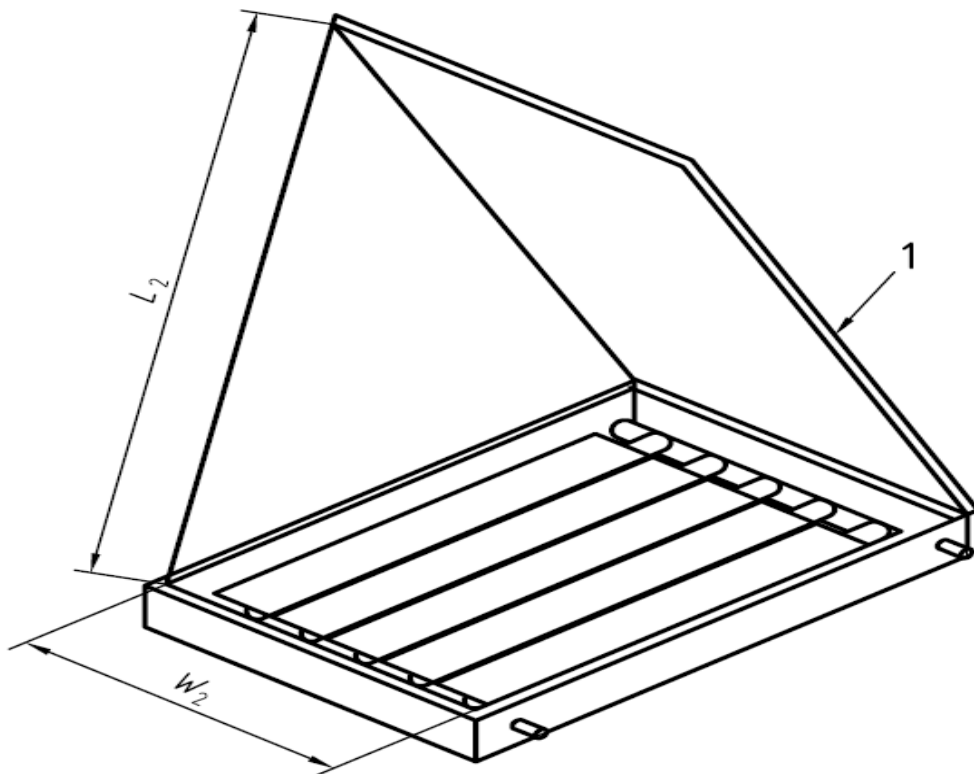
d on läpinäkyvän putken sisähalkaisija, m

N on putkien lukumäärä, kpl.



Kuvio 11. Apertuureala putkikeräimessä ilman heijastinta (25, s 33).

Heijastinlevyllä varustetun tasokeräimen aperturepinta-alan laskemisen periaate on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Apertureala heijastinlevyllä tasokeräimessä (25, s. 34).

Apertureala lasketaan yhtälöllä 12.

$$A_a = L_2 \times W_2 \quad (12)$$

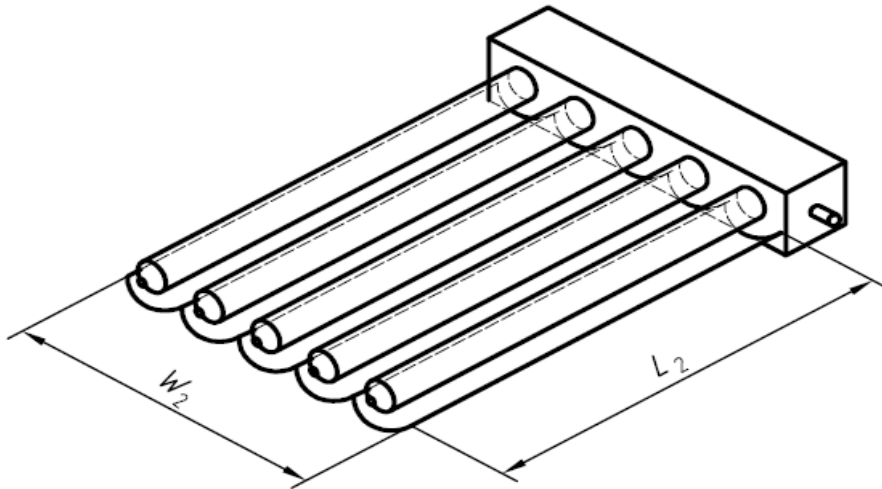
jossa

A_a on apertureala, m²

L_2 on katso kuvioista, m

W_2 on alttiina heijastukselle oleva leveys, m.

Kuviossa 13 määritellään aperturepinta-alan laskemisen periaatteet heijastinlevyllä varustetun putkikeräimen osalta.



Kuvio 13. Apertureala putkikeräimessä, jossa on heijastinlevy (25, s. 34).

Apertureala lasketaan yhtälöllä 13.

$$A_a = L_2 \times W_2 \quad (13)$$

jossa

A_a on apertureala, m^2

L_2 on heijastimelle alttiina oleva pituus, m

W_2 on heijastimelle alttiina oleva leveys, m.

Aperturealueen hetkellinen hyötysuhde lasketaan standardin ISO EN 12975-2 mukaan yhtälöllä 14 (24).

$$\eta_a = \eta_{0a} - a_{1a} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (14)$$

$$\eta_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G}$$

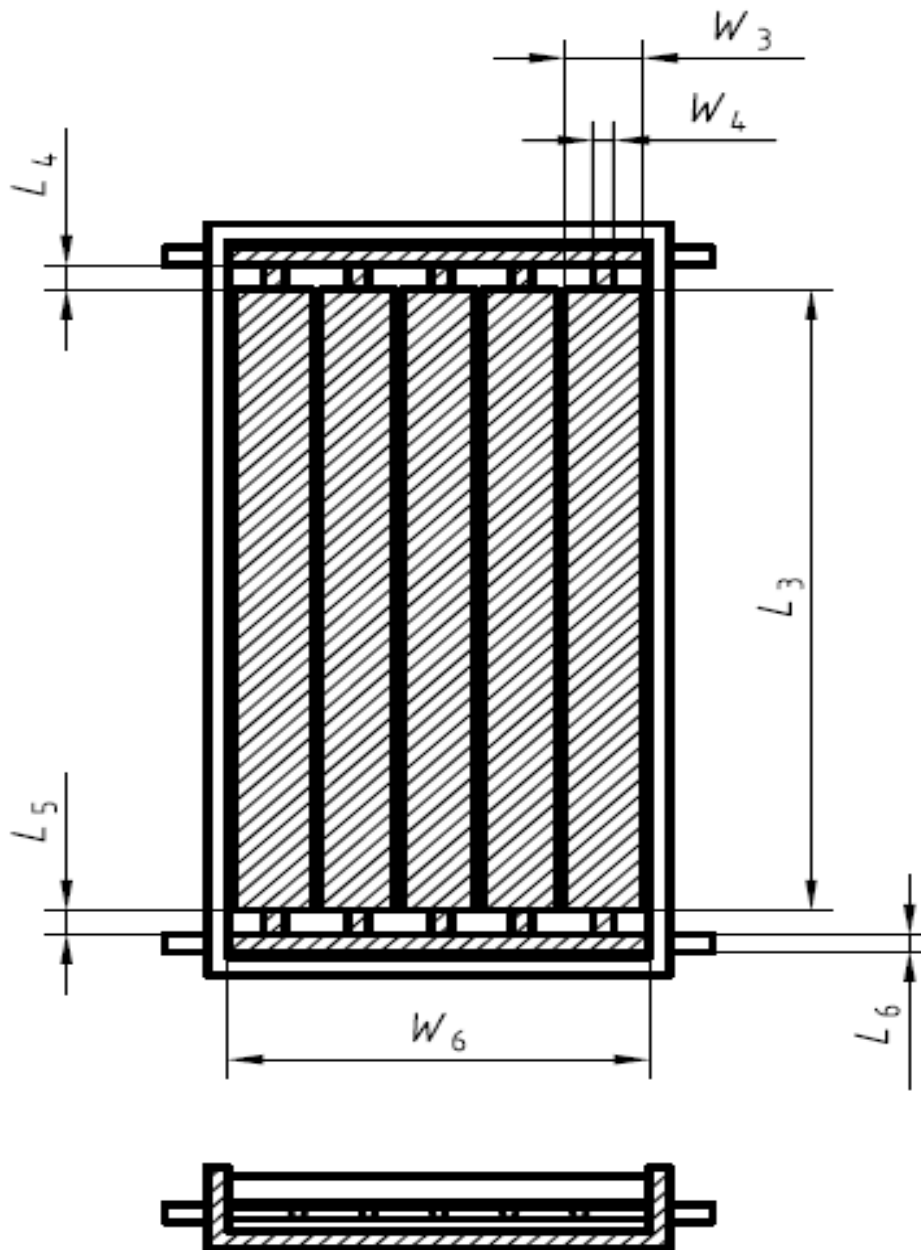
jossa

\dot{Q} on keräimen hyödyntämä teho, kWh

A_a on apertureala keräimessä, m^2

G on auringon säteilyvoimakkuus (1000 W/m^2).

Absorbtiopinta-ala on aurinkokeräimessä se pinta-ala, johon säteily absorboituu eli imeytyy ja muuttuu lämpöenergiaksi. Periaate on esitetty kuviossa 14.



Kuvio 14. Absorbtiopinta-ala tasokeräimessä (25, s. 37).

Absorbtiopinta-ala lasketaan yhtälöllä 16.

$$A_A = (Z \times L_3 \times W_3) + [Z \times W_4 \times (L_4 + L_5)] + (2 \times W_6 \times L_6) \quad (16)$$

jossa

A_A on absorbtiopinta-ala m^2 ,

Z on absorbtiolamellien lukumäärä, kpl

L_3 on absorbtiolamellien pituus, m

W_3 on absorbtiolamellien leveys, m

W_4 katso kuviosta 14

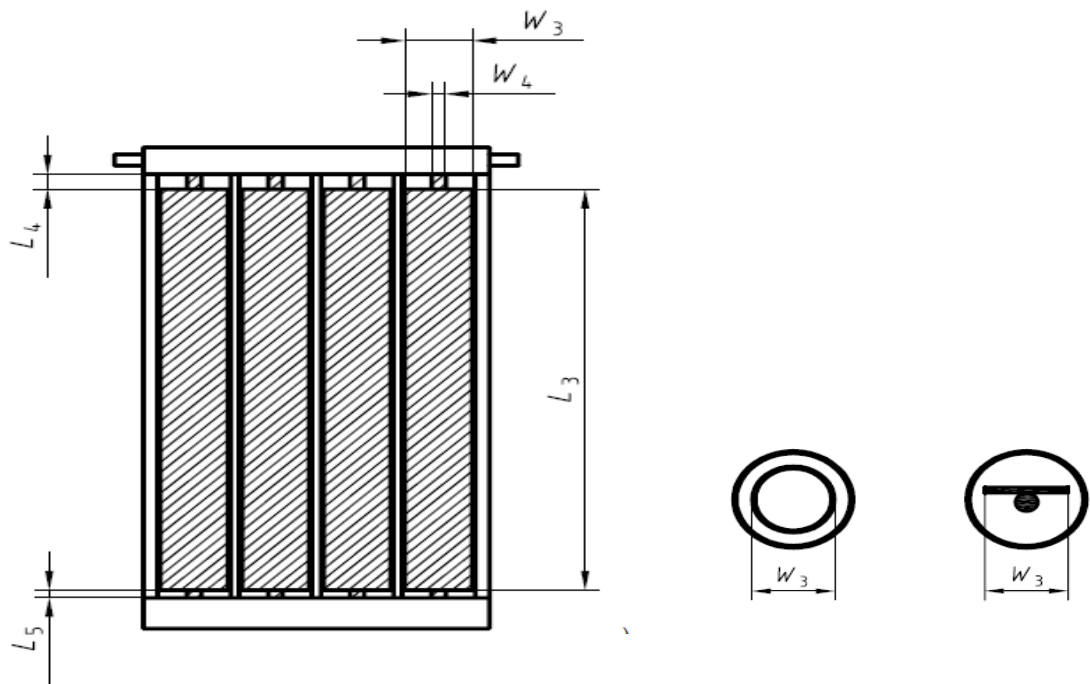
W_6 katso kuviosta 14

L_4 katso kuviosta 14

L_5 katso kuviosta 14

L_6 katso kuviosta 14.

Kuviossa 15 esitellään putkikerääjän absorptioalueen periaate.



Kuvio 15. Absorbtiopinta-alue putkikerääjässä (25, s. 38).

Absorbtiopinta-ala putkikerääjässä lasketaan yhtälöllä 17.

$$A_A = N \times (L_3 \times W_3) + N \times W_4 \times (L_4 + L_5) \quad (17)$$

jossa

A_A on absorbtioala

N on putkien lukumäärä

L_3 on absorbtiopinnan pituus

W_3 on absorbtiopinnan leveys

W_4 katso kuviosta 15

L_4 katso kuviosta 15

L_5 katso kuviosta 15.

Absorbti alueen hyötysuhde lasketaan standardin ISO EN 12975-2 mukaan yhtälöllä 18 (24).

$$\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2A} G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (18)$$

jossa

η_A on keräimen absorbtiohyötysuhde

η_{0A} on optinen hyötysuhde

a_{1A} on lämmönläpäisykerroin, W/m^2K

a_{2A} on lämmönläpäisykerroin lämpötilan muutoksessa, W/m^2K^2

t_m on keskilämpötila lämmönsiirtonesteessä, °C

t_a on ympäristön lämpötila, °C

G on auringon säteilyvoimakkuus ($1000 W/m^2$).

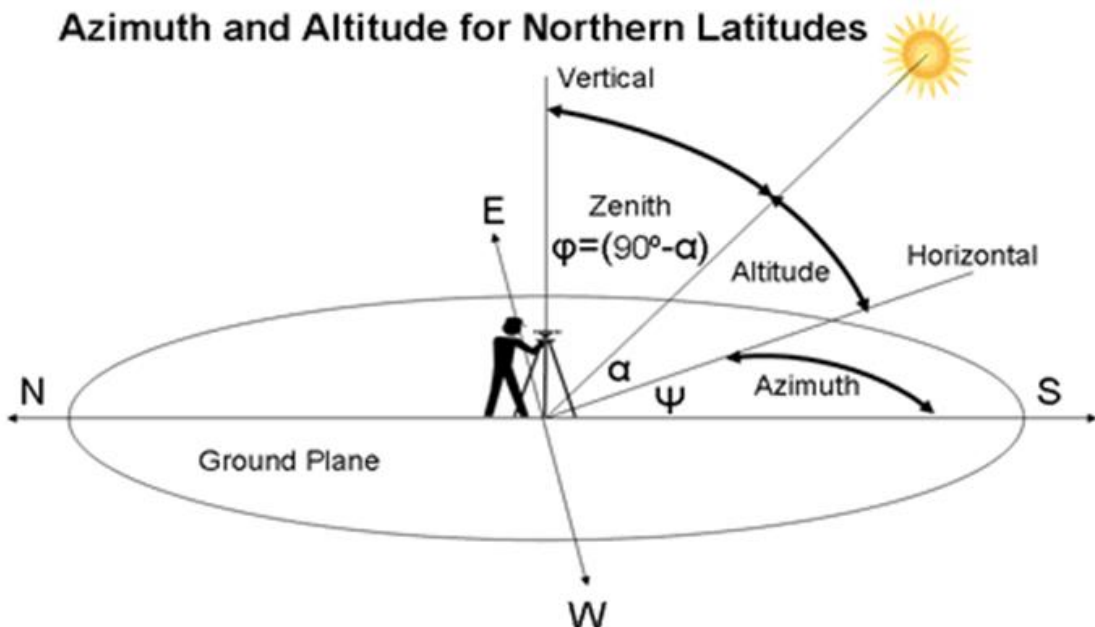
Pinta-alamääritelmät voivat vaihdella eri testauslaboratorioissa sekä eri maiden välillä. Eurooppalainen sertifikaatti Solar Keymark CEN/CENELEC perustuu standardiin EN 12976 ja on voimassa kaikissa Euroopan maissa. (26). Yhdysvalloissa puolestaan on käytössä Solar Rating & Certification Corporation (SRCC) (27). Mainitut sertifikaatteihin perustuvat testausjärjestelmät eroavat hiukan toisistaan. Se saattaa vaikuttaa testauksen lopputulokseen, eivätkä ne ole välttämättä suoraan verrannollisia. (28).

6 Seurantalaitteet

Aurinkokeräimissä käytetään yleisesti kiinteää asennusta. Se on edullisempi tapa rakentaa kuin seurantalaitteilla toimiva järjestelmä. Seurantalaitteet seuraavat auringon liikkeitä taivaalla, jotta auringon säteilyn tulokulma pysyisi mahdollisimman pienenä ja laite saisi näin hyödynnettyä auringon säteilyn optimaalisesti.

Ajatus 360°:een keräyskulmasta on käytännössä kuitenkin hyödytön. Pohjoisen suunnasta tulevaa säteilyä ei nimittäin yleensä voida hyödyntää muutenkaan, koska talon katto tulee varjostamaan keräimen ja auringon väliin. (23.)

Atsimuuttiseuranta kääntyy vain idästä länteen ja kallistuskulma pysyy samana. Yhden akselin seurantalaitteet kääntyy akselinsa ympäri. Kahden akselin seurantalaitteet säätää sekä kallistuskulmaa että atsimuuttikulmaa. Kahden akselin seurantalaitteiden avulla saadaan kerättyä eniten säteilyä. Teoreettisesti seurantalaitteiden järjestelmä voi kesäaikaan tuottaa 30–60 prosenttia enemmän energiaa kuin kiinteä aurinkoenergalaitte. Käytännössä se tuottaa noin 30 prosenttia enemmän energiaa. Seurantalaitteet tosin tarvitsevat toimiakseen energiaa sekä huoltoa. (6, s. 17.) Atsimuuttikulman ja zeniittikulman periaatteet esitellään kuviossa 16.

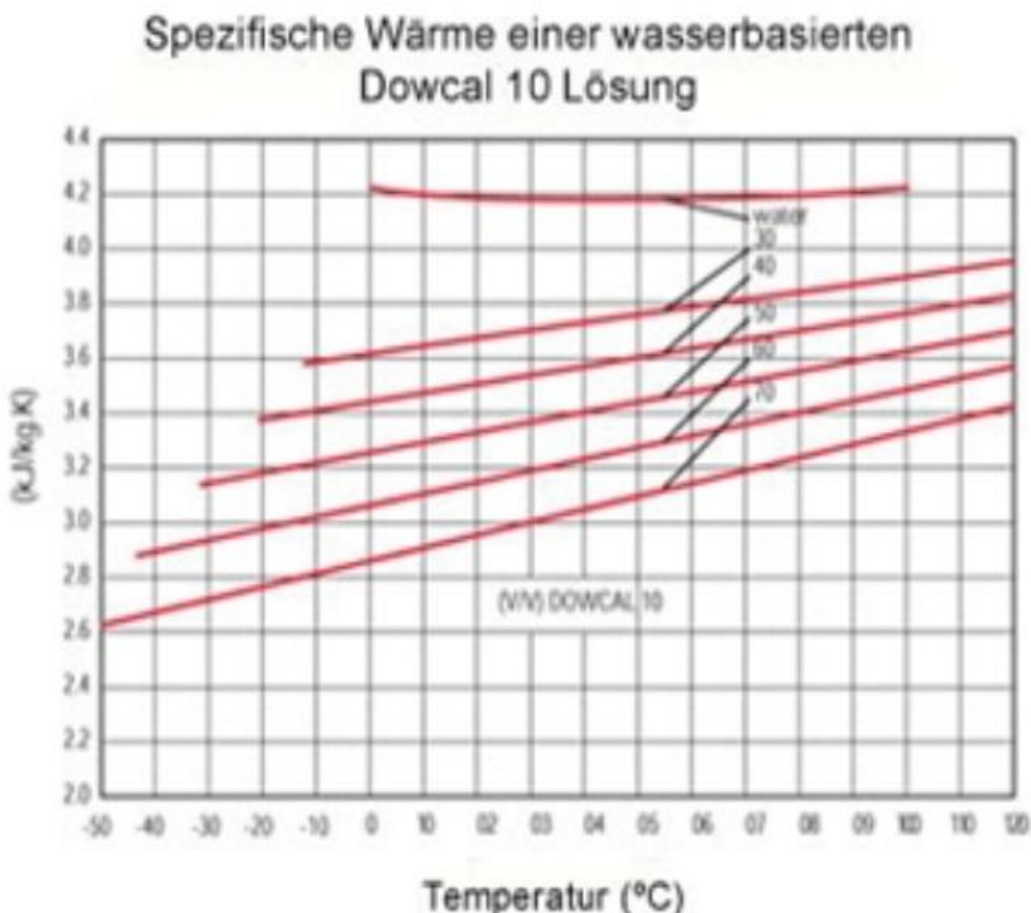


Kuvio 16. Atsimuuttikulma ja zeniittikulma (29).

7 Aurinkolämpöjärjestelmän putkisto

Aurinkokeräimen ja lämpövaraajan yhdistää putkisto, jossa kiertää lämmönsiirtoneste. Lämmönsiirtoneste kuljettaa auringosta sitoutunutta lämpöenergiaa lämpövaraajaan. Lämmönsiirto tapahtuu lämmönsiirtimen välityksellä. Varaajasta keräimeen menevään linjaan eli paluulinjaan asennetaan järjestelmän pumppu ja paisunta-astia. Putkistoon on asennettava mekaaninen vapaa kierron esto, joka estää lämpöenergian karkaamisen.

Tavallisimmin käytetty materiaali putkistossa on kupari. Putkistossa kiertävä neste on Suomessa yleensä vesi-glykoliliuosta, että se kestäisi talvisin esiintyviä matalia lämpötiloja. Glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetti on pienempi kuin pelkän veden. Vesi-glykoliseoksen viskositeetti on suurempi kuin vedellä, minkä vuoksi pumpulta vaaditaan enemmän tehoa (30). Kuviossa 17 esitetään veden ja vesi-glykoliseoksen ominaislämpökapasiteetin muutos lämpötilan muuttuessa.



Kuvio 17. Veden ja vesi-glykoliseosten ominaislämpökapasiteetit lämpötilan funktiona (30).

On tärkeää, että keruuputkisto eristetään hyvin. Tällöin vältetään turhia lämpöhäviöitä. Eristeenä käytettävän materiaalin on kestävä korkeita lämpötiloja, koska lämpötila putkistossa voi nousta yli 160 asteen. Mineraali- ja lasivillakourueristeet sekä EPDM-pohjaiset eristeet kuten Aeroflex ja SSH Armaflex HT soveltuvat hyvin putkiston eristämiseen. (23).

Rakennuksen ulkopuolelle jäävät putkistoeristeet olisi syytä suojata hyvällä pintamateriaalilla, esimerkiksi peltipinnoituksella joka kestää ulkoiset kuormitukset. Keruuputkistoa suunniteltaessa on huomioitava, että rakennuksen sisällä menevän putkiston lämpöhäviöt tulevat rakennuksen hyödyksi, kun ulkona menevän putkiston lämpöhäviöt menevät täysin hukkaan. Keruuputkistossa pitää ottaa huomioon myös kuparin lämpölaajeneminen, joka yleensä pystytään hoitamaan asianmukaisilla ja oikeaan paikkaan sijoitettavilla kannakkeilla. Pyöreän kerroksellisen putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti lasketaan standardin EN ISO 12241 mukaisesti yhtälöllä 19.

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\alpha_{i,1} \cdot \pi \cdot d_{i,1}} + \frac{1}{2 \cdot \pi} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{d_{e,j}}{d_{i,j}} + \frac{1}{\alpha_{e,n} \cdot \pi \cdot d_{e,n}} \quad (19)$$

jossa

U' on putken lämmönläpäisykerroin pituusyksikköä kohti, W/m,K

$\alpha_{i,1}$ on putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, W/m² K

$d_{i,1}$ on putken sisähalkaisija, m

λ_j on putkikerroksen, j, lämmönjohtavuus, W/m,K

$d_{e,j}$ on putkikerroksen, j, ulkohalkaisija, m

$d_{i,j}$ on putkikerroksen, j, sisähalkaisija, m

$\alpha_{e,n}$ on putken ulkopinnan lämmönsiirtokerroin, W/m² K

$d_{e,n}$ on putken ulkohalkaisija, m.

Järjestelmän tehokkuutta tarkasteltaessa on huomioitava keräinpiirissä oleva lämmönsiirtimen vaikutus järjestelmän hyötysuhteeseen. Ensiöpiirissä, joka lähtee aurinkokeräajältä ja jossa yleisesti käytetään vesi/glykoliliuosta, lämmönsiirtimen vaikutus hyötysuhteeseen lasketaan standardin EN ISO 12977-2 mukaisesti yhtälöllä 20.

$$\Delta\eta = \frac{\eta_0 A_c a_1}{(UA)_{hx}} \times 100 \% \quad (20)$$

jossa

$\Delta\eta$ on hyötysuhteen muutos

η_0 on keräinpinta-alaa vastaava optinen hyötysuhde

A_c on keräimen pinta-ala, m²

a_1 on keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin, $t_m - t_a = 0$ W/m²K

UA_{hx} on lämmönsiirtimen konduktanssi, W/K

t_m on lämmönsiirtonesteen lämpötila; $t_m = t_{ci} + t_{co} / 2$

t_a on kerääjän ympäristön lämpötila, °C

t_{ci} on lämmönsiirtonesteen tulolämpötila, °C

t_{co} on lämmönsiirtonesteen menolämpötila, °C.

Mikäli aurinkoenergialla tehdään lämmintä käyttövedtä, lämmönvaraajassa on myös toinen lämmönsiirrin. Yleisesti se on kuparikierukka, johon tulee kylmä vesi ja josta lähtee lämmin käyttövesi. Järjestelmän tehokkuutta laskettaessa on huomioitava myös tämä toinen lämmönsiirrin. Toisen lämmönsiirtimen heikentävä vaikutus järjestelmän hyötysuhteeseen lasketaan standardin EN ISO 12977-2 mukaisesti kaavalla 21.

$$\Delta\eta = (a_1 \Delta\vartheta / G_{ref}) \times 100 \% \quad (21)$$

jossa

$\Delta\eta$ on hyötysuhteen muutos

a_1 on keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin, $t_m - t_a = 0$ W/m²K

$\Delta\vartheta$ on toisiopuolen lämmönsiirtimen keskimääräinen lämpötilaero, K

G_{ref} on auringon säteilyvoimakkuus, 1000W/m².

Aurinkolämpöjärjestelmän ohjausyksikkö hoitaa järjestelmää automaattisesti. Se vertaa keräimen ja lämpövaraajan lämpötilaa ja käynnistää pumpun tarvittaessa. Uusimmissa malleissa pumpun pyörimisnopeutta muunnellaan lämpötilaeron mukaan. Tällainen järjestelmä pystyy reagoimaan paremmin sään muutoksiin. Kun aurinkolämpöä on saatavilla vähemmän, pumppu vähentää kierrosnopeutta ja virtaus lämmönsiirtonesteellä hidastuu muttei lopu kokonaan. Aurinkolämmön tuottaminen jatkuu siis vähemmällä aurinkoenergiämäärällä. Monet ohjausyksiköt pystyvät perustoimintojen lisäksi hoitamaan myös paljon muita tehtäviä, esimerkiksi energianmittauksen. (23.)

8 Lämmitysenergian varastointi

Tärkeä osa aurinkolämmitysjärjestelmää on lämmitysenergian varastointi, koska aurinkoenergiaa ei ole aina saatavilla, kun sitä tarvittaisiin. Epätasaisen aurinkoenergian saavuuden takia hyvä varastointi on edellytys tehokkaasti toimivalle aurinkolämmitysjärjestelmälle. Kuumailmakerääjän tuottaman lämpöenergian varastoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi kivipetiä.

8.1 Lämminvesivaraaja

Hyvin eristetty lämminvesivaraaja on Suomessa yleisesti käytössä. Yleisin tapa varastoida lämpöenergiaa on siirtää lämpöä suoraan aurinkokeräimestä nesteen avulla veden lämminvesivaraajaan lämmönsiirtimen kautta suljetussa piirissä. Vesi on edullista ja sitä on helposti saatavilla. Veden ominaislämpökapasiteetti on verrattain hyvä.

Suomen oloissa aurinkokeräimen putkistossa käytetään yleisesti vesi-glykoliseosta, joten varaajassa pitää olla lämmönsiirrin, ettei pakkasnesteseos pääse sekoittumaan käyttövedeen. Lämmönsiirrin asennetaan yleensä vesivaraajan alaosaan, jossa veden lämpötila on matalimmillaan. Lämminvesivaraajia on erikokoisia, mutta huolellisella suunnittelulla vältetään ylisuuren varaajan aiheuttamilta ylimääräisiltä lämpöhäviöiltä, sillä varaajan lämpöhäviö on suoraan verrannollinen varaajan vaipan pinta-alaan.

Varastoitu lämpöenergiamäärä voidaan laskea yhtälöllä 22.

$$E = m \int_{T_0}^{T_1} c_p dT \quad (22)$$

jossa

E on varastoitu lämpöenergiamäärä, kJ

m on veden massa, kg

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

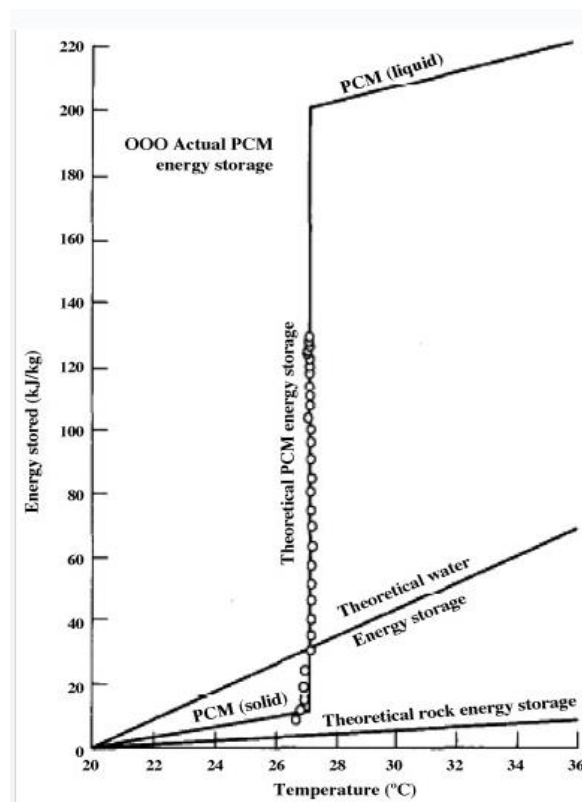
T_1 on veden lämpötila lämmityksen jälkeen, K

T_0 on veden lämpötila ennen lämmitystä, K.

8.2 Latenttilämpöön perustuva lämmön varastointi

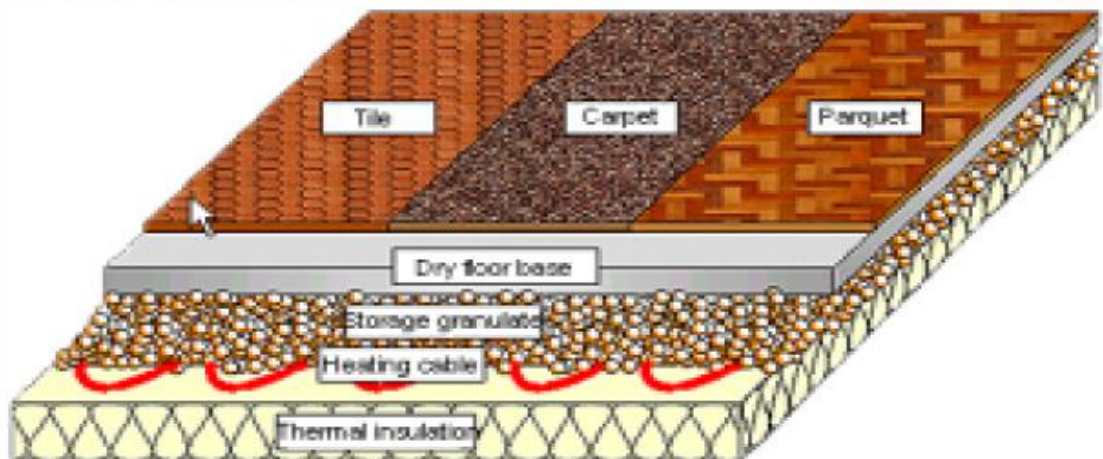
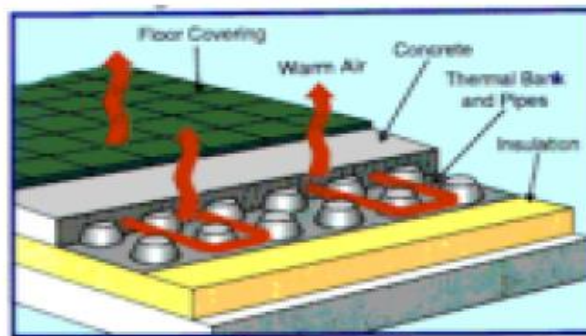
Latenttilämpöön perustuvat varaajat hyödyntävät faasin muutoksesta vapautuvaa tai sitoutuvaa energiaa eli faasimuutoksen entalpiaa. PCM (eli Phase Change Material) -varaajat hyödyntävät materiaalissa tapahtuvaa faasimuutosta. Useimmiten faasin muutos tapahtuu kiinteän ja nesteen välillä. PCM-varastoinnin avulla on mahdollista varastoida suuria lämpömääriä pienellä lämpötilaerolla, sillä faasimuutos tapahtuu vakio-*l*ämpötilassa, näin saadaan suuri varastointitiheys.

PCM-varastoissa käytetään parafiineja, suolojen hydraatteja sekä eutektisia suolahydraatteja. Ongelmana suolojen käytössä on liuoksen vanheneminen eli osittainen palautumattomuus, jolloin varasto useiden lataus- ja purkukertojen jälkeen menettää varauskykyään. Suolat aiheuttavat lisäksi korroosiota laitteistossa. Tässä mielessä rasvahapot ovat helpompikäyttöisiä kuin suolat, mutta niillä on heikompi varauskyky. PCM-varastoja käytetään lämpötila-alueella 0–100 °C energian lyhytaikaisen varastointiin osana talojen lämmitysjärjestelmää. (9.) Kuviossa 18 vertaillaan PCM-varaston, vesivaraajan ja kivivaraajan energian varastointikykyä.



Kuvio 18. Energian varastointikykyyn vertailu: PCM-varasto, vesivaraaja ja kivivaraaja, lämpötilan funktiona (31).

Kuviossa 18 näkyy, että veden ja kiven lämmönvarastointikyky on lineaarista. PCM-varaston faasimuutos alkaa tapahtua jo noin 27 asteessa, joten PCM-varasto pystyy varastoimaan paljon enemmän lämpöenergiaa itseensä, kuin vesi tai kivi. Esimerkkinä voidaan todeta, että mikäli lämminvesivaraajan sisään lisätään muovipulloissa kapseloitua PCM:ää, voidaan lämminvesivaraajan tilavuutta pienentää. Myös talojen lattialämmitysjärjestelmässä voidaan käyttää PCM:ää, kuten kuviossa 19 esitetään. Teap Energyn järjestelmässä PCM on kapseloitu, ja se soveltuu vesikiertojärjestelmään. (31.)



Kuvio 19. PCM-varasto osana lattialämmitystä (9).

8.3 Termokemiallinen lämmön varastointi

Termokemialliset lämpövarastot perustuvat sorptioprosessissa sitoutuvaan tai vapautuvaan reaktiolämpöön. Ongelmana kemialliseen reaktioenergiaan perustuvassa varastoinnissa on reaktioiden toistettavuus. Tämän vuoksi ne ovat vielä kehitysvaiheessa.

Fraunhofer ISE ja UFE ovat yhteistyössä kehittäneet silikageeliin perustuvan termokemiallisen suljetun lämpövarastoinnin aurinkolämmön kausivarastointiin. Varastointijärjestelmä koostuu suljetuista säiliöistä, jotka on täytetty silikageelillä. Jokaisessa säiliössä on lämmönsiirrin ja kondenssiveden keräilyssäiliö. Kesäaikana ladataan aurinkolämmöllä lämpövarastoa kuivaamalla silikageeliä. Geelissä oleva vesi höyrystyy (desorboituu) ja syntynyt kondenssivesi varastoidaan erilliseen tankkiin. Talvella vesi höyrystetään (adsorboidaan) ja se kiinnittyy kuivaan huokoiseen silikageeliin. Adsorptiossa vapautunut lämpöenergia voidaan hyödyntää talojen lämmitykseen. Tämän järjestelmän energiatiheys on noin 200–300 kWh/m³, kun vastaavasti veden energiatiheys on vain 58 kWh/m³. (9.)

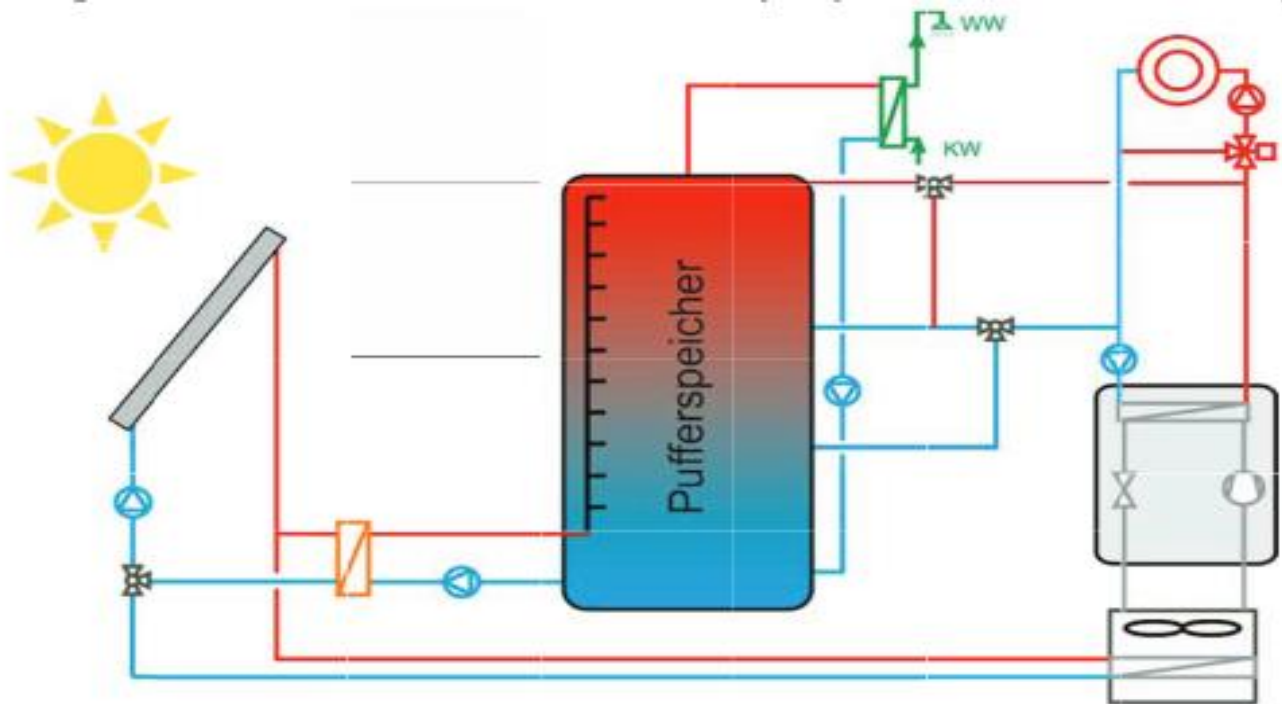
9 Aurinkolämpöjärjestelmät

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kiinteistöissä monilla eri tavoilla. Suomessa yleisin tapa on lämmittää kiinteistön lämmin käyttövesi aurinkoenergialla. Tämä johtuu siitä, että Suomessa auringon säteilyä saadaan eniten kesäaikaan, jolloin lämmitystä sinänsä ei tarvita. Lämpimän käyttöveden kulutus on kuitenkin sama kaikkina vuodenaikoina, jolloin on järkevää lämmittää ensisijaisesti lämmintä käyttövettä. Koska auringon säteilyä ei meillä ole saatavana tarpeeksi läpi vuoden, aurinkolämmitysjärjestelmä ei riitä yksin kiinteistön tarvitseman lämpöenergian tuottamiseen vaan aurinkoenergiajärjestelmä integroidaan osaksi muuta lämmitysjärjestelmää. Aurinkolämmitysjärjestelmä sopii hyvin täydentäväksi energiamuodoksi esimerkiksi öljy- ja kaasukattilan sekä lämpöpumppujen rinnalle.

Pelkästään kiinteistön lämmitykseen tehdyssä järjestelmässä aurinkokeräimistä tuotettu lämpö siirretään lämpövaraajaan lämmönsiirtimen kautta. Lämpöenergia siirtyy suoraan veteen, jota pumppu kierrättää lattialämmitysputkistossa tai lämpöpattereissa. Tässä järjestelmässä riittää yksi lämmönsiirrin. Kiinteistön lämpimän käyttöveden tekemisessä auringosta saatu lämpöenergia siirretään lämpövaraajaan lämmönsiirtimen kautta, jossa lämpö siirtyy väliaineeseen, joka on yleensä vettä. Siitä lämpöenergia siirtyy toisiopuolen lämmönsiirtimen kautta käyttöveteen. Näiden järjestelmien yhdistelmässä ensisijaisesti lämmitetään käyttövettä ja jos lämpöenergiaa jää yli se siirretään kiinteistön lämmitysjärjestelmään.

Aurinkojäähdytysjärjestelmiä on kaksi: absorptio- tai adsorptiojäähdytin. Absorptiojäähdyttimessä kaasu imeytyy nesteeseen. Adsorptiojäähdyttimessä kaasu puolestaan sitoutuu kiinteän aineen pintaan. Molemmat jäähdytysmenetelmät perustuvat lämpöenergian avulla tapahtuvaan faasimuutokseen. Absorptiojäähdyttimet tarvitsevat toimikseen korkeita 75 – 120 °C lämpötiloja ja vaativat esimerkiksi tyhjiöputkikeräimien kaltaisia keräimiä, jotka tuottavat korkeita lämpötiloja. Adsorptiojäähdytin vastaavasti toimii jo 55–70 °C lämpötiloissa ja sopii hyvin tasokerääjälle. Aurinkojäähdytyksellä voidaan jäähdyttää kiinteistöä maaliskuusta syyskuuhun. (32.)

Keski-Euroopassa tutkitaan paljon aurinkokeräimien ja lämpöpumppujen hybridijärjestelmää, jossa aurinkolämpöenergialla nostetaan lämpöpumpun COP-arvoa. Samalla saadaan lämmönsiirtonesteen keskilämpötilaa alemmaksi, jolloin aurinkokeräjä tuottaa myös alhaisemmillä auringon säteilyllä ja hyötysuhde saadaan korkeaksi. Tasokeräimessä hyötysuhde putoaa jyrkästi, kun lämpötila keräimessä nousee. (33.) Kuviossa 20 esitetään esimerkki aurinkokeräimen ja lämpöpumpun yhdistelmästä.



Kuvio 20. Aurinkokeräimen ja lämpöpumpun yhdistelmä (33).

10 Ikääntymisen vaikutukset aurinkokeräimiin

Uusiutuvan energian käytön lisääntyessä tulee markkinoille myös uudempia, monipuolisempia laitteistoja. Yleisesti aurinkokeräimien teho lasketaan uusien laitteiden mukaan, eikä tämä anna aina todellista kuvaa aurinkokeräimistä, joiden käyttöiän oletetaan olevan 15–20 vuotta ilman korjauksia ja häiriöitä.

Aurinkokeräimen täydellisemmässä arvioinnissa on huomioitava käyttöiän tuomat mahdolliset heikentymisvaikutukset laitteiston toiminnassa sekä hyötysuhteessa. Pääasiallisesti aurinkokeräimiä kuormittavat keräimen lämpötila, paine sekä ilmakehässä olevat aineet. Aurinkokeräimistä on haastavaa löytää monipuolista ja luotettavaa tutkimusta.

Keskeisemmät käyttöiän aiheuttamat ongelmat aurinkokeräimissä voisivat olla seuraavanlaisia:

Aurinkokeräimen yläpintaa eli kantta koskevia mahdollisia ongelmia

- ulkopinnalla olevat liat ja naarmut
- kondenssiveden tiivistyminen kannen sisäpuolelle
- ikääntymisen vaikutus muovipintaan
- lasin rikkoutuminen.

Absorbtioyksikössä olevia mahdollisia ongelmia

- korroosio
- korkeiden lämpötilojen aiheuttamat hapettumisreaktiot
- kosteusvauriot
- muodonmuutokset
- lämmönsiirtonesteen vuodot.

Liitoksissa olevia mahdollisia ongelmia

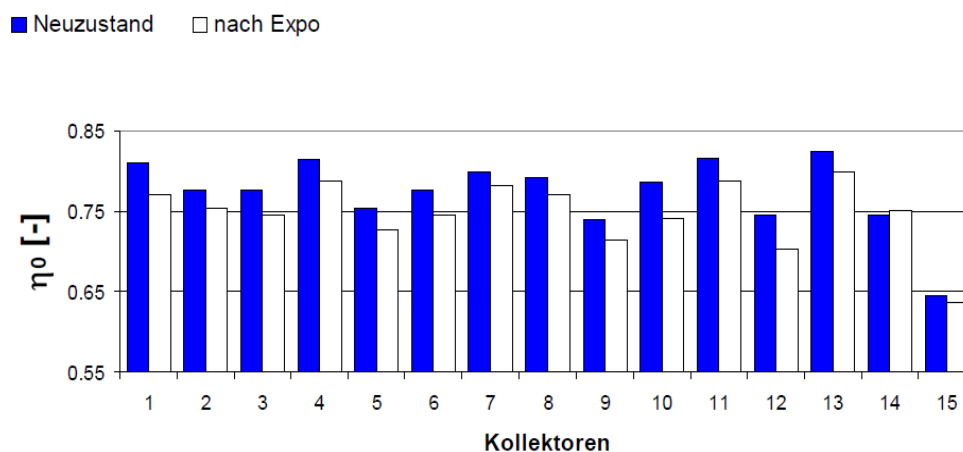
- halkeamat materiaalissa
- yläpinnan ja rungon huono istuvuus
- eristeiden muodonmuutos.

Rungossa olevia mahdollisia ongelmia

- korroosio
- hajoaminen, koskien lähinnä muoviosia.

Ranskalainen tutkimuslaitos CSTB on tutkimuksissaan arvioinut erilaisia testausmenetelmiä, joilla voidaan simuloida käyttöiän vaikutuksia aurinkokeräimiin. Testissä käytettiin TRANSYS-simulointiohjelmia. Testi oli vuoden mittainen ja laskennallisten tulosten perusteella on voitu simuloida 15–20 vuoden käyttöiän vaikutukset. (34.)

Stuttgartin yliopistossa on toteutettu käyttöiän vaikutuksia määrittelevä tutkimus, jossa on niin ikään käytetty hyväksi TRANSYS-simulointiohjelmia. Tutkimukseen valittiin viisitoista yleistä, Saksan markkinoilla olevaa aurinkokeräijää. Keräijistä kolmesta (testissä numeroitu 1–13) oli tasokeräijää ja kaksi (14 ja 15) tyhjiöputkikeräijää. Keräimet altistettiin normaaleille sääolosuhteille kolmen vuoden ajan. Tänä aikana keräimiä ei täytetty lämmönsiirtonesteellä. Tämän toimenpiteen vuoksi olosuhteet saatiin samanlaisiksi, kuin tilanteessa jossa keräimistä ei oteta käyttökelpoista lämpöä ulos ja näin saavutetaan erittäin korkeita absorptiolämpötiloja. Aurinkokeräimiä siis rasitettiin kolmen vuoden ajan normaalia rankemmin ja lämpötilojen annettiin nousta korkeisiin lukemiin. Tutkijoiden mukaan tämä vastaa viidentoista vuoden normaalia rasitusta aurinkokeräimissä. Kolmen vuoden tutkimusjakson jälkeen laitteiden tehoarvot mitattiin uudelleen ja verrattiin alkuperäisiin lukemiin. Nämä laitteiden testit on tehty EN 12975-2-standardin mukaan. Esimerkki testituloksista esitetään kuviossa 21.

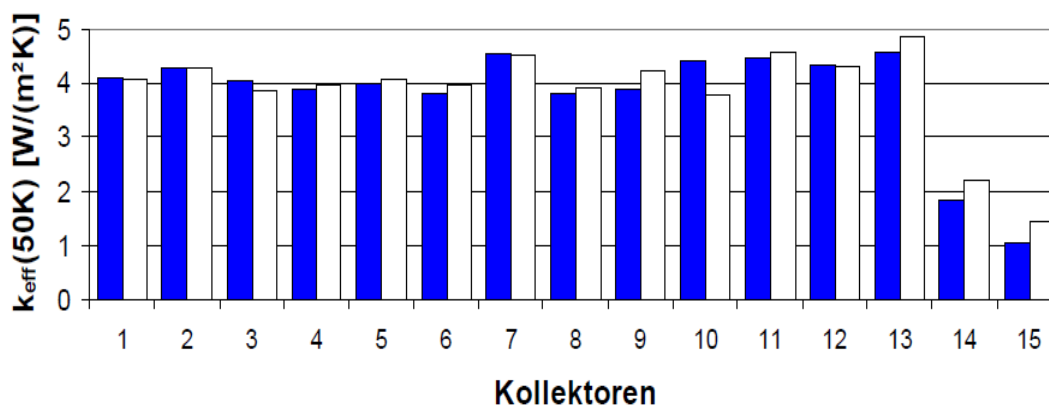


Kuvio 21. Vertailu viidentoista keräimen optisen hyötysuhteen muutoksista uutena sekä kolmen vuoden altistuksen jälkeen (35).

Kuviossa 21 tasokeräjiä ovat laitteet 1–13. Numerot 14 ja 15 on tyhjiöputkikeräjiä. Koska optinen hyötysuhde riippuu pääosin materiaalin läpäisykyvystä ja absorptiokyvystä, hyötysuhteen pieneneminen ei välttämättä johdu vain selektiivipinnoitteen vastaanottokyvystä vaan mahdollisesti myös keräimen läpinäkyvän pinnan läpäisykyvyn heikkenemisestä. Lisätutkimukset osoittivat, että pölyn kerääntyminen keräimen pintaan on usein syynä alentuneeseen läpäisykykyyn. Ongelma voidaan poistaa keräimen pinnan huolellisella puhdistamisella. Tutkimuksen aikana aurinkokeräimiä ei puhdistettu vaan pöly poistui sateen mukana. (35.)

Optisen hyötysuhteen muutos uuden ja altistetun keräimen välillä osoittaa vähenemisen olevan keskimääräisesti 2,6 prosenttia absoluuttisesti tarkasteltuna. Tyhjiöputkikeräimen numero 15 absoluuttinen optinen hyötysuhdemuutos on 0,9 prosenttia, joka on paljon keskimäärästä alhaisempi. Tyhjiöputkikeräimen numero 14 teho on noussut 0,5 prosenttia, mutta tulos on kuitenkin toleranssin rajoissa. (35.)

■ Neuzustand □ nach Expo



Kuvio 22. Lämpöhäviökerroin lämpötilan muuttuessa 50 K (35).

Kuviossa 22 näkyy tehollinen lämmönsiirtyminen, kun ulkolämpötilan ja keräimen lämpötilaero muuttuu 50 K. Kuvio osoittaa vain hyvin pieniä muutoksia.

Käyttöään vaikutukset aurinkokeräimissä laskettiin siis simulointiohjelmalla nimeltä TRANSYS. Referenssinä käytettiin tyypillistä saksalaista kotitaloutta, jossa aurinkolämmitystä käytettiin vedenlämmitysjärjestelmään. Simulaatiot toteutettiin niin, että vain keräimen tehon parametreja muutettiin. (35.)

Tutkimuksissa todettiin, että kolmen vuoden altistus korkeille lämpötiloille (eli viidentoista vuoden normaali käyttö) ei olennaisesti vähennä aurinkokeräimen tehoa (35). Tutkimustulosten perusteella on pääteltävissä, että aurinkokeräinten käyttöikä on pitkä eikä niiden huoltoon tai ylläpitotoimiin ole tarvetta.

11 MetroSol-aurinkoenergiaboratorio

MetroSol-aurinkoenergiaboratorio on rakennettu Metropolia Ammattikorkeakoulun Espoon Leppävaaran toimipisteeseen. Aurinkokeräimet on kytketty sarjaan, ja ne on asennettu kiinteistön uudemman osan katolle neljänteen kerrokseen. Aurinkokeräimet on suunnattu suoraan etelään ja niiden zenittikulmaa voidaan säätää manuaalisesti. Aurinkoenergiamittauksia suoritettaessa on säätälalla suuri merkitys, joten katolle on myös asennettu kuvion 23 mukainen Vaisalan sääasema.



Kuvio 23. Vaisalan sääasema Leppävaaran Metropolian yksikön katolla.

Putkisto

Aurinkolämpö johdetaan lämmönsiirtonesteessä, joka virtaa 22 millimetrin kupariputkistossa. Putkisto on rakennettu kierreliitoksin ja puristusliitoksin (mapress). Meno- ja paluuputkiston yhteispituus on noin 30 metriä. Ulkotiloissa putket on eristetty 25 mm Armaflex kourueristeellä, putket on myös osittain koteloitu. Sisätiloissa putket on eristetty 15 mm Armaflex kourueristeellä. Järjestelmän varoventtiilien avautusmispaine on 6 baria. Aurinkokeräimien mahdollinen zenittikulman muuttaminen vaatii putkiston ja keräimen välille joustavia putkistonosia, joista kuviossa 24 esimerkki.



Kuvio 24. Taipuisa putki.

Paluuputkistoon on asennettu manuaaliset Tacosetter 100 -linjasäätöventtiilit sekä Baureihe VMZ-merkkiset magneetti-induktiiviset virtausmittarit. Ne on suunniteltu jatkuvan virtauksen mittaamiseen. Muutokset lämpötiloissa, nesteen tiheydessä, viskositeetissa tai nesteen sähkönjohtavuudessa eivät vaikuta mittaussignaaliin.



Kuvio 25. Baureihe VMZ virtausmittarit.

Lämmönvaraajana toimii tilavuudeltaan 1,2³ Akvaterm-lämmönvaraaja. Lämmönvaraaja ja sisäpuoliset putkistot sijaitsevat samassa kerroksessa ilmanvaihtokonehuoneessa, joka on aurinkokeräimien pohjoispuolella.

Metrosol-aurinkoenergiaboratorion tarkoitus on antaa Metropolian opiskelijoille mahdollisuus tutustua ja opiskella aurinkoenergian käyttömahdollisuuksia Suomessa sekä kehittää uusia innovaatoratkaisuja aurinkoenergian hyödyntämiseen. Suunnittelussa on huomioitu, että laboratoriossa on myös etäkäyttömahdollisuus. Se tukee niin opiskelua kuin tutkimusta. Näin opiskelijoilla olisi jo valmistuttuaan kokemusta olemassa olevista sekä uusista ratkaisuista.

Mittaukset ja keräimet

Jokainen aurinkokeräin mitataan erikseen. Energiamittaus tapahtuu energiamittarilla, joka laskee aurinkokeräimen meno- ja paluuputken lämpötilaeron ja virtausmäärän sekä pakkasnesteseoksen ominaislämmöstä keräimestä lähtevän ja varaajaan taltioituvan energiamäärän. Lämmönvaraajaa voi tarvittaessa purkaa

MetroSol-aurinkoenergiaboratorioon hankittiin eri valmistajien keräimiä, jotka esitellään seuraavissa kuvioissa 26–28. Keräinmallien tekniset tiedot ovat opinnäytetyön liitteinä 1–5.



Kuvio 26. Aurinkokeräin WATT 2020, näitä on kaksi kappaletta (36).



Kuvio 27. Tyhjiöputkikeräin Sunpurm NN10. Näitä on kaksi. (37). Kuva tekijän.

Lisäksi käytössä on kaksi kappaletta Savosolar SF100-03 Full Al -laitetta. Savosolar on Mikkelissä toimiva suomalainen yhtiö, joka on perustettu 2009.



Kuvio 28. Tasokeräin Savosolar SF 100-03 (38).

Auringon säteilyä mittaa kolme pyranometriä, ne sijoitettiin siten, että yksi on vaakatasossa ja kaksi muuta samassa kulmassa, kuin aurinkokeräimet. Kuviossa 29 on MetroSol-aurinkoenergiaboratorion käytössä oleva pyranometri.



Kuvio 29. Pyranometri.

12 JR-laskentaohjelma

Yksinkertaistettu Suomen rakentamismääräyskokoelmien osan D5 esittämä laskentamenetelmä antaa mahdollisuuden arvioida aurinkolämpöjärjestelmän tuottoa, vaikka laskennan lähtötietoja tunnetaan vähän. Tämä menetelmä pohjautuu esilaskettuihin arvoihin, ja lähtötietoina käytetään niin sanotusti ”varman päälle” määriteltäviä hyötysuhde- ja häviötietoja eli niin sanottuja ”penalty value” -arvoja. Käyttöveden lämmitys aurinkoenergialla lasketaan taulukossa 1 esitetyllä rakentamismääräyskokoelman osan D5 taulukon 6.8 lukuarvoilla kertomalla taulukon antama arvo keräinten pinta-alalla ja huomioimalla suuntauksen mukainen korjauskerroin.

$$Q_{\text{aurinko}} = k * q_{\text{aurinkokeräin}} * A_{\text{aurinkokeräin}} \quad (23)$$

$q_{\text{aurinkokeräin}}$ on urinkokeräimen energiatuotto käyttövedeen keräinpinta-alaa kohti, kWh/m²,a

$A_{\text{aurinkokeräin}}$ on aurinkokeräimien kokonaispinta-ala, m²

k on keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin.

Taulukko 1. Keräimen tuottama aurinkolämpö keräinpinta-alaa kohti (6,s. 46.)

Vyöhyke/ paikkakunta	$q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/m ² , a
I / Helsinki	156
II / Jyväskylä	139
III / Sodankylä	125

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 yksinkertaistetulla menetelmällä laskettaessa aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta saa laskelmissa olla korkeintaan 40 prosenttia. Mikäli suunnitteluratkaisu eroaa merkittävästi yksinkertaistetusta laskentamenetelmästä tai halutaan saada tarkempi tulos ja sitä kautta suurempi aurinkoenergian lämmitysenergian tuotto lämpimään käyttövedeen, voidaan käyttää tarkempaa laskentamenetelmää. (39.)

Tätä opinnäytetyötä varten laadittu Excel-pohjainen JR-laskentaohjelma perustuu tarkempaan menetelmään. Aurinkolämmön osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta voi olla suurempi kuin 40 prosenttia. Tämä laskentamenetelmä vaatii enemmän

lähtötietojen selvittämistä ja matemaattista laskentaa, mutta on huomattavasti tarkempi ja antaa aurinkolämpöjärjestelmän lämmöntuotolle tarkemman lukuarvon kuin yksinkertaistettu menetelmä.

JR-laskentaohjelma perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 tarkempaan aurinkolämpöenergianlaskentaan. Menetelmä pohjautuu standardiin SFS-EN 15316-4-3.

Laskentamenetelmässä lasketaan aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden tuotannolle, aurinkoenergianjärjestelmän siirtohäviöt (39, s. 10) sekä aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiakulutus. Aurinko-opas 2012 ei havaintojeni mukaan suoraan esitä, kuinka varaajien lämpöhäviöt lasketaan ja kuinka lämpöhäviöt vaikuttavat järjestelmän toimivuuteen, vaikka sivulla 10 näin sanotaan. Standardissa SFS EN15316-4-3 sen sijaan ohjeistetaan, kuinka varaajan lämpöhäviöt voidaan ottaa huomioon. Mikäli varaajan lämpöhäviöt lasketaan ja otetaan huomioon, olisi syytä tietää, mihin tilaan nämä lämpöhäviöt menevät, ja tämä tulisi huomioida rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa. Tämän opinnäytetyön kappaleessa 14 perehdytään varaajan lämpöhäviöiden laskentaan.

Laskentaohjelmallani voidaan osoittaa aurinkokeräimien avulla saatava käyttöveden lämmityksessä hyödynnettävä energiamäärä.

13 JR-laskentaohjelman perustiedot

JR-laskentaohjelma on laadittu Helsingin sääalueelle. Mikäli ohjelmaa käytetään muualla Suomessa, säteilyenergiat ja korjauskertoimet on muutettava vastaamaan paikkakuntaa. JR-laskentaohjelman tummennetut solut sisältävät perustietoja, joita voi tarvittaessa muuttaa sen mukaan millaisesta aurinkolämmitysjärjestelmästä on kyse. Valkoiset solut ovat laskennallisia tuloksia tai määrättyjä arvoja, joiden muuttamiseen on oltava vahvat perusteet.

13.1 Keräimien, varaajan ja verkoston perustiedot

Aluksi laskentaohjelmassa tarkastetaan keräimen, varaajan ja verkoston perustiedot, joista taulukossa 2 esimerkki.

Taulukko 2. Keräimen, varaajan ja verkoston perustiedot JR-laskentaohjelmassa

	A	B	C	D	E	F	G
1	AURINKOLÄMMÖN LASKENTAOHJELMA						
2			Helsinki				
3							
4							
5							
6	Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot						
7	Keräimien aperture pinta-ala	A	8 m ²				
8	Keräimien optinen hyötysuhde	η_0	0,83	-			
9	Keräimien suuntaus/kallistus, korjauskertoin	IAM	0,97	-			
10	Keräinpiirin eristyslämmityshäviöt	U_L	3,5481	W/K			
11	Keräinpiirin lämpöhäviökertoin	U_C	3,4435	W/m ² K			
12	Keräinpiirin pumppujen teho ja käyttöaika	P&t	40	W	2000	h	
13		$W_{\text{aurinko,pumput}}$	80	kWh			
14							
15	Varaajan koko	V_{vsm}	400	L			
16	Varaajan jako lämmitys/käyttövesi apuenergian os	V_{LL}	200	L			
17	Lisälämmityksen käytettävästä riippuva kerroin	x	0,7				
18	Varaajan kertoimen valinta			laskettu			
19	Osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä	f_{apu}	0,35				
20	Varaajaan suunniteltu ominaistilavuus	V_{os}	260	dm ³ /keräin-m ²			
21	LKV tarve	qv/vrk	200				
22	LKV/keräinA (L/vrk/m ²)	L/vrk/m ²	25				
23							
24	$\eta_0 \cdot A \cdot a_1 / U \cdot A$	$\eta_0 \cdot A \cdot a_1 / U \cdot A$	6,64				
25	$\eta_0 \cdot A / \text{kulutus}$	$\eta_0 \cdot A / \text{kulutus}$	0,0332		50	l	1,66
26	Henkilömäärä	hiö	4				
27							

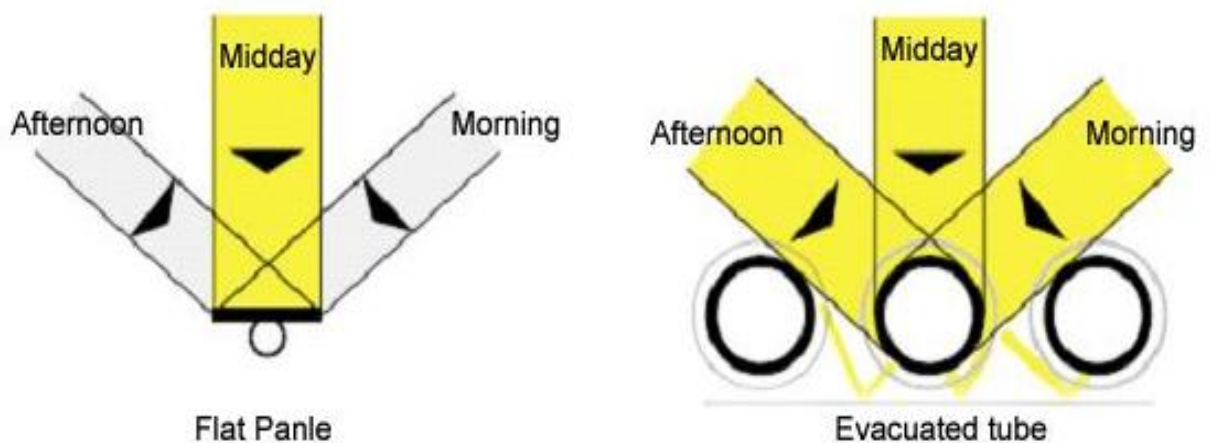
Ensimmäisenä merkitään keräimen pinta-ala soluun 7C. Tässä solussa käytetään sitä pinta-alaa, jolle hyötysuhde on määritetty (40). Käytännössä tämä tarkoittaa keräimen aperturealaa neliömetreinä.

Solussa 8C on koko aurinkokeräimen optinen hyötysuhde, joka saadaan laitteen valmistajalta.

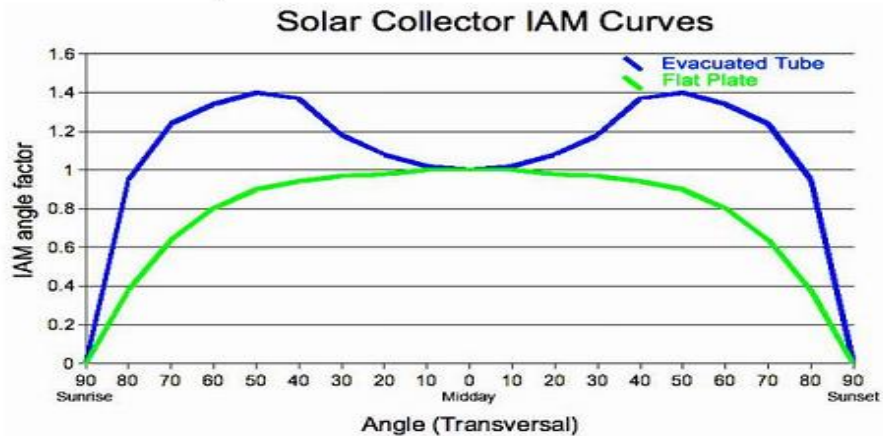
Solussa 9C valitaan keräimen suuntaus/kallistuskorjauskerroin eli IAM (Incidence Angle Modifier). Yleensä aurinkokeräimen suorituskykymittaukset on määritelty säteilyn tullessa kohtisuorassa aurinkokeräimeen. Kun säteily tulee muussa kulmassa, se aiheuttaa suorituskykyyn muutoksia. IAM huomioi auringon kulman, joka muuttuu päivän aikana sekä kulman, joka muuttuu vuoden aikana.

Arvo yksi saavutetaan, kun kerääjä on kohtisuorassa auringonsäteilyn kanssa. Tasokeräimissä IAM-arvo heikkenee aamu- ja iltapäivällä, jolloin auringonsäteet tulevat tietystä kulmassa keräimeen. Tyhjiöputkikerääjät puolestaan saattavat tänä aikana jopa ylittää arvon yksi, koska siellä voi olla heijastavia paneeleja ja myös viereisten putkien heijastukset voivat vaikuttaa suorituskykyyn.

Mikäli aurinkokeräimessä on seurantalaitte, on IAM-arvo aina yksi. Kuviossa 30 esitetään eroja säteilyn tulossa taso- ja tyhjiöputkikeräimiin ja kuviossa 31 tasokeräimen ja tyhjiöputkikeräimen IAM.



Kuvio 30. Auringon säteilyn tulo tasokeräimeen ja tyhjiöputkikeräimeen (41)



Kuvio 31. Tasokeräimen ja tyhjiöputkikeräimen IAM (41).

Kun valitsee solun 9C aktiiviseksi, ilmestyy näytölle taulukon 3 mukainen valikko, josta voi valita standardin SFS EN 15316-4-3 mukaisen kohteeseen sopivan kertoimen.

Taulukko 3. IAM valinta.

Aurinkolämmön laskentaohjelma 7 korjattu versio - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G
1	AURINKOLÄMMÖN LASKENTAOHJELMA						
2			Helsinki				
3							
4							
5							
6	Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot						
7	Keräimien aperture pinta-ala	A	8 m ²				
8	Keräimien optinen hyötysuhde	η_0	0,83				
9	Keräimien suuntaus/kallistus, korjauskertoin	IAM	0,97				
10	Keräinpiirin eristysvähiöt	U_L	3,5481				
11	Keräinpiirin lämpöhäviökertoin	U_L	3,4435				
12	Keräinpiirin pumppujen teho ja käyttöaika	P&t	40				
13		$W_{\text{aurinko,pumput}}$	80				
14							
15	Varaajan koko	V_{var}	400				
16	Varaajan jako lämmitys/käyttövesi apuenergian os	V_{L}	200				
17	Lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin	x	0,7				
18	Varaajan kertoimen valinta		laskettu				
19	Osuus varaajasta, missä apulämmitys on käytössä	f_{apu}	0,35				
20	Varaajaan suunniteltu ominaistilavuus	V_{tot}	260 dm ³ /keräin-m ²				
21	LKV tarve	q/vrk	200				
22	LKV/keräinA (L/vrk/m ²)	L/vrk/m ²	25				
23							
24	$\eta_0 \cdot A \cdot a_1 / U \cdot A$	$\eta_0 \cdot A \cdot a_1 / U \cdot A$	6,64				
25	$\eta_0 \cdot A / \text{kulutus}$	$\eta_0 \cdot A / \text{kulutus}$	0,0332	50 l			1,66
26	Henkilömäärä	hiö	4				
27							

Keräintyyppin koetauskulmakertoin
1,00 kattamattomalle keräimelle (lasiton),
0,94 lasikatteisille tasokeräimille,
0,97 tyhjiöputkikeräimille, joissa on tasomainen absorptiopinta,
1,00 tyhjiöputkikeräimille, joissa on putkimainen absorptiopinta

Solu 10C on keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin W/K. Mikäli keräinpiirin eristystasoa ei tunneta, lämpöhäviökerrointa ei lasketa tarkalla menetelmällä, vaan kaavalla 24.

$$U_L = 5 + 0,5 \cdot A \quad (24)$$

jossa

U_L on keräinpiirin lämpöhäviöt, W/K

A on keräimen aperturepinta-ala, m^2 .

Solussa 11C on laskettu keräinpiirin lämpöhäviökerroin $W/m^2 K$ standardin SFS EN 15316-4-3 kaavalla, toisin kuin Aurinko-opas 2012 määrittelee sivulla 12. Aurinko-opaassa on nähdäkseni virhe, sillä sen kaavassa ei huomioida keräinpinta-alaa vastaavaa keräimen häviökerrointa a_2 . Lisäksi keräinpinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin a_1 on kaavassa kahteen kertaan.

Aurinko-opaassa esitetty virheellinen kaava on seuraava (39, s.12).

$$U_C = a_1 + 40 a_1 + U_L/A \quad (25)$$

Oikean tuloksen antava standardin SFS EN 15316-4-3 mukainen kaava on

$$U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + U_{loop,p} / A \quad (26)$$

jossa

U_{loop} on keräinpiirin lämpöhäviökerroin, W/m^2K

a_1 on keräinpinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin, W/m^2K

a_2 on keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin, W/m^2K^2

$U_{loop,p}$ on keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin, W/K

A on keräimen aperturepinta-ala, m^2 .

Seuraavaksi valitaan järjestelmän pumpun teho ja käyntiaika. Pumpun teho määritetään solussa 12C ja se merkitään watteina.

Solussa 13C on laskettu lämmönsiirtopumpun sähköenergian kulutus vuodessa kilowattitunteina kWh.

Solussa 12E määritellään käyntiaika tunteina. Oletusarvoisesti pumpun käyttöaikana voidaan käyttää arvoa 2000 h/a, ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä. Käyttöaika on laskettu ohjelmassa siten, että se jakautuu ajallisesti kuukausittaisten säteilyenergioiden suhteessa. Pumppujen sähköenergiasta mahdollisesti talteen otettavaa energiaa ei huomioida rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa. (39.)

Seuraavana pitää valita aurinkolämmitysjärjestelmän lämpövaraajan nimellistilavuus solussa 15C.

Tämän jälkeen solussa 16C määritetään varaajan osa, jossa on yöllä käytettävä lisälämmitys.

Tämän jälkeen määritetään lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin solussa 17C. Menemällä soluun ja painamalla sitä näytölle tulee valintataulukko, josta voi valita sopivan kertoimen, kuten taulukosta 4 ilmenee.

Taulukko 4. Lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin.

	A	B	C	D	E	F	G
1	AURINKOLÄMMÖN LASKENTAOHJELMA						
2			Helsinki				
3							
4							
5							
6	Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot						
7	Keräimien aperture pinta-ala	A	8 m ²				
8	Keräimien optinen hyötysuhde	η_0	0,83 -				
9	Keräimien suuntaus/kallistus, korjauskerroin	IAM	0,97 -				
10	Keräinpiirin eristyslämpöeristys	U_L	3,5481 W/K				
11	Keräinpiirin lämpöhäviökerroin	U_C	3,4435 W/m ² K				
12	Keräinpiirin pumppujen teho ja käyttöaika	P&t	40 W		2000 h		
13		$W_{\text{aurinko.pumput}}$	80 kWh				
14							
15	Varaajan koko	V_{var}	400 L				
16	Varaajan jako lämmitys/käyttövesi apuenergian os	V_{L}	200 L				
17	Lisälämmityksen käyttötavasta riippuva kerroin	x	0,7				
18	Varaajan kertoimen valinta						
19	Osuus varaajasta, missä apuläm		1,0 jatkuvakäyttöinen, 0,7 yökäyttö, 0,3 lämmityksen käyttö häätätapauksessa				
20	Varaajaan suunniteltu ominaist		260 dm ³ /keräin-m ²				
21	LKV tarve		200				
22	LKV/keräinA (L/vrk/m ²)		25				
23							
24	$\eta_0 * A * a_1 / U * A$	$\eta_0 * A * a_1 / U * A$	6,64				
25	$\eta_0 * A / \text{kulutus}$	$\eta_0 * A / \text{kulutus}$	0,0332		50 l		1,66
26	Henkilömäärä	hiö	4				
27							

Mikäli varaajan kerrointa ei tunneta, solussa 18C sen voi valita tai vaihtoehtoisesti tässä solussa f_{apu} myös laskea. Mikäli lisälämmitystä lämmönvaraajassa ei käytetä, f_{apu} on 0. F_{apu} on osuus lämmönvaraajan tilavuudesta, missä apulämmitys on käytössä.

Tämän jälkeen merkitään soluun 25D lämpimän käyttöveden kulutus litroina vuorokaudessa henkilöä kohti. Keskimääräinen lämpimän käyttöveden kulutus vuorokaudessa henkilöä kohti Suomessa on noin 40–50 litraa.

Tämän jälkeen merkitään kiinteistössä asuvien henkilöiden määrä soluun 26C.

13.2 Hyötysuhde

Aurinkolämmitystä tarkasteltaessa ja suunniteltaessa tiedettävä, mistä hyötysuhteesta on kulloinkin kysymys. Aurinkolämmityksen laskentaohjelmaani olen rakentanut hyötysuhteen laskemista varten oman taulukon, josta taulukossa 5 esimerkki.

Taulukko 5. Hyötysuhteen laskentataulukko.

	H	I	J	K	L	M	N
1							
2		η_0	0,83	-			
3							
4		$\Delta\eta_{\text{tensiokerukka}}$	0,0166				
5		$\Delta\eta_{\text{toisokerukka}}$ valinta	laskettu				Jouni Rakennusoski: sisältää ehtokaavan
6		$\Delta\eta_{\text{toisokerukka}}$	0,02				
7		G_{ref}	1000	W/m ²			
8							
9		U_{st}	1200	W/K			
10		Δv	5	K			
11		β_1	3	W/m ² K			
12		β_2	0	W/m ² K ²			
13		η_{kierto} valinta	laskettu				
14		η_{kierto}	0,97				
15		C_{cep}	1,23252142				
16		Kylmänveden t_{pt}	5	°C			
17		θ_{hw}	40	°C			
18							

Solussa 2J on laskennan tuloksena saatu keräimen optinen hyötysuhde. Tämä arvo siirtyy soluun 8C.

Solussa 3J määritetään käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN 12975-2 avulla saatu optinen hyötysuhde, hyötysuhdekäyrän leikkauspiste y-akselin

kanssa, kun lämpötilaero on nolla. Tämä tieto, saadaan yleensä suoraan keräimen valmistajalta. Aurinkokeräimen testaamisessa hyötysuhde saadaan laskemalla käyttämällä kaavaa numero 14.

Solussa 4J on laskettu ensiöpiirin lämmönsiirtimen hyötysuhde kaavalla numero 20.

Solussa 5J määritetään, kuinka monta lämmönsiirintä on aurinkolämpöjärjestelmässä, jossa siirretään aurinkolämpöenergiaa lämpimään käyttöveteen ja siitä syntyvät lämmitysenergiansiirtohäviöt kaavaa numero 21 noudattaen. Esimerkiksi jos lämmönsiirtonesteenä käytetään propyleeniglykolia, riittää yksi välikerros käyttöveteen. Jos taas lämmönsiirtonesteenä käytetään etanolia, täytyy käyttöveteen olla kaksi välikerrosta. Solussa 6J on laskettu hyötysuhteen muutos, joka aiheutuu toisiopiirin lämmönsiirtimestä.

Solussa 7J on auringon vertailusäteilyteho standardin SFS EN 12977-2 mukaisesti (42).

Solussa 9J määritetään lämmönsiirtimen konduktanssitermi. Se on väliltä 1200–1700 W/m² K. (43, s. 212). Kaavassa on käytetty arvoa, jota käytetään niin sanotussa kupariputkierukan lämmönsiirtimessä. Arvo on laskentaohjelmassa muuttumaton. Tämän vuoksi UA_{hx} arvolla 1200 W/m² voidaan kasvattaa keräinkokoa 263 m² saakka ja UA_{hx} arvolla 1700 W/m² keräinkokoa voidaan kasvattaa 373 m² saakka. Tämä johtuu siitä, että hyötysuhteen muutoskaavassa 20 jakaja eli UA_{hx} pysyy muuttumattomana, vaikka keräinkokoa kasvatettaisiin. Tällöin häviöt näennäisesti kasvavat.

Mikäli arvoja ei ole saatavilla eikä niitä voida testata, voidaan JR-laskentaohjelmassa solussa 13J valita putkiston hyötysuhteen oletusarvo. Tällöin voidaan laskea kaikki energiantuottolaskut keräimen koosta riippumatta.

Pienissä järjestelmissä konduktanssitermin UA_{hx} standardin SFS EN 12977-3 ja SFS EN 12977-4 testatut arvot saadaan järjestelmien myyjiltä. Konduktanssitermiä määriteltäessä tulee lämpötilaksi määrittää 20°C ja keskimääräiseksi lämpötilaeroksi 10 K sekä virtaukseksi sama, mitä käytetään keräinten määrittelyssä. Suurissa järjestelmissä arvot toimittaa valmistaja. Suurissa järjestelmissä käytetään yleisesti ulkoisia lämmönsiirtimeitä. Niiden tulostiedot ovat yleensä melko luotettavia, eikä mittauksia tarvita. (42.)

Solussa 10J määritellään varaajan lämpötilan nostotarve, mikäli varaajassa on kaksi lämmönsiirrintä.

Solussa 11J määritetään keräimen lämpöhäviökerroin. Solusta löytyvät standardin SFS EN 15316-4-3 mukaiset kolme eri vaihtoehtoa, joita kansallisessa Aurinko-oppaassa 2012 ja tässä siihen perustuvassa laskentaohjelmassa käytetään, mikäli aurinkokeräimen ominaisuudet eivät ole tiedossa.

Mainitun standardin mukaan tyypilliset arvot ovat huomattavasti pienemmät, kuin Aurinko-oppaassa 2012 ja laskentaohjelmassa käytetyt. Nämä kolme eri arvoa a_1 :lle ovat taulukon 6 mukaisesti

Taulukko 6. Lämpöhäviökertoimet SFS EN 15316-4-3 mukaan (44).

Keräintyyppi	Ei testiarvoa	Tyypilliset arvot
Tyhjiöputkikeräin	3 W/m ² K	1,8W/m ² K
Tasokeräin	6 W/m ² K	3,5 W/m ² K
Lasittamaton keräin	20 W/m ² K	15 W/m ² K

Olen kuitenkin havainnut, että Aurinko-opas 2012 ilmoittaa U_c esimerkkilaskussa sivulla 29 lämpöhäviökertoimen 2,0 W/m²K a_1 :lle. Lämpöhäviökertoimena on siis käytetty 2,0 W/m²K kun testaamattomien keräimien arvona tulisi käyttää 3 W/m²K, kuten yllä oleva taulukoni osoittaa. Aurinko-oppaassa 2012 esitetyt dimensioimattomat suureet X ja Y lasketaan esimerkkilaskuissa ensin mainitulla lukemalla, ja se tuottaa suuria eroja standardinmukaiseen arvoon. Laskentaohjelmassani keräimen lämpöhäviöksi on valittavissa yllä olevan taulukossa esitetyt testaamattomat arvot solussa 11J. Vaihtoehtoisesti soluun on mahdollista syöttää myös testatut arvot.

Seuraavaksi määritetään keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin a_2 solussa 12J. Mikäli kertoimelle ei ole testattua arvoa, käytetään siinä kaikille keräintyypeille arvoa 0 W/m²K² (39).

Seuraavaksi solussa 13J valitaan lämmönsiirtonesteen putkiston hyötysuhteen oletusarvo tai laskettu arvo. Vaihtoehtoina on käyttää kansallisen Aurinko-oppaan 2012

oletusarvoa (0,8) tai arvo voidaan laskea, mikäli tuotetietoa ei ole saatavilla kaavalla 27 (39, 12). Standardin SFS EN oletusarvo on (0,6) ja tyypillinen arvo on (0,8) (44).

$$\eta_{\text{kierto}} = 1 - \Delta\eta \quad (27)$$

jossa

$\Delta\eta$ on hyötysuhteen muutos, joka saadaan kaavasta 20 ja kaavasta 21.

Soluun 14J tulee lämmönsiirtonesteen putkiston hyötysuhteen oletusarvo tai laskettu arvo.

Mikäli lämmönvaraajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta, joka on $75 \text{ dm}^3 / \text{keräin-m}^2$, niin määrittäessä aurinkojärjestelmän tuottoa, on dimensiotonta suuretta X korjattava kertoimella c_{cap} , joka ottaa huomioon varaajakapasiteetin poikkeaman.

Solussa 15J lasketaan varaajan kapasiteetin korjauskerroin c_{cap} yhtälöllä 28.

$$c_{\text{cap}} = (T_{\text{tod}} / (75 * A))^{-0,25} \quad (28)$$

Soluun 16J merkitään lämmönvaraajaan tulevan kylmän veden lämpötila. Oletusarvona käytetään 5 °C :ta, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla.

Solussa 17J on referenssilämpötilan laskennassa käytettävä arvo 40 °C standardin SFS EN 15316-4-3 mukaisesti. (44.)

13.3 Putkiston lämpöhäviölaskenta

JR-laskentaohjelmassa on mahdollista laskea myös aurinkolämpöjärjestelmän lämmönkeruuputkiston lämpöhäviöt standardin EN ISO 12241 mukaisesti kaavalla numero 19.

Taulukko 7. Aurinkolämpöjärjestelmän putkiston lämpöhäviöiden laskenta

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
18													
19			Putkiston lämpöhäviö										
20			Putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin (W/(m ² , K))					7000			Laskennallisia tietoja:		
21			Putken sisähalkaisija (m)					0,02			Putken sisähalkaisija (mm)	20	
22			Putken lämmönjohtavuus (W/(m, K))					50			Putken seinämän paksuus (mm)	1	
23			Putken ulkohalkaisija (m)					0,022			Eristen paksuus (mm)	10	
24			Eristeen sisähalkaisija (m)					0,022					
25			Eristeen lämmönjohtavuus (W/(m, K))					0,05					
26			Eristeen ulkopinnan lämmönsiirtokerroin (W/(m ² , K))					10					
27			Eristeen ulkohalkaisija (m)					0,042					
28													
29			Lämmönläpäisykerroin (W/(m, K))					0,35481					
30													
31			Putkiston pituus (m)					10					
32			Keräinpiirin eristyshäviöt U_L (W/K)					3,54807					
33													

Aurinkolämpöjärjestelmän putkiston lämpöhäviöiden laskenta aloitetaan taulukosta **Laskennallisia tietoja**. Taulukossa 7 on esimerkki tästä.

Solussa 21R merkitään putken sisähalkaisija millimetreinä.

Solussa 22R merkitään putken seinämän paksuus millimetreinä.

Solussa 23R merkitään eristeen paksuus millimetreinä. Tämän jälkeen siirrytään taulukkoon **Putkiston lämpöhäviö**.

Solussa 20N määritetään sisäpinnan lämmönsiirtokerroin W/m² K.

Solussa 22N määritetään lämmönsiirtoputkien materiaalin lämmönjohtavuus W/m K.

Seuraavaksi solussa 25N määritetään eristeen lämmönjohtavuus W/m K.

Tämän jälkeen määritetään solussa 26N eristeen ulkopinnan lämmönsiirtokerroin $W/m^2, K$, jolloin soluun 29N tulee laskutoimituksen kautta lämmönläpäisykerroin $W/m K$.

Seuraavaksi määritetään solun 31N lämmönsiirtoputkiston pituus metreinä.

Putkipituuden jälkeen tulee soluun 32N keräinpiirin eristyshäviöt ja tämä luku siirtyy taulukkoon **Keräimen, varaajan ja verkoston tiedot** soluun 10C.

Mikäli lämmönsiirtoputkiston eristystasoa ei tunneta, lämpöhäviöitä ei lasketa tällä menetelmällä ja solu 31N voidaan jättää tyhjäksi tai merkitä siihen 0. Tällöin laskentaohjelma laskee lämpöhäviöt yksinkertaistetulla menetelmällä standardin SFS EN 15316-4-3 mukaisesti yhtälöllä 24.

13.4 Kuukausitason laskut

Soluissa 36–47A on merkitty kuukaudet sekä solussa 48A koko vuosi.

Soluissa 36–47B on merkitty kuukausien keskilämpötilat Helsingin alueella ja solussa 48B on laskettu koko vuoden keskilämpötila.

Soluissa 36–47C on merkitty auringon säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle, jolloin kallistuskulma on 0° , kWh/m^2 kk (39, s 15). Solussa 48C on laskettu koko vuoden auringon säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle.

Aurinkokeräimen kallistuksella on suuri merkitys lämpötehoon. Mikäli aurinkokeräimet asennetaan suoraan katolle samassa kulmassa katon kanssa, on hyvä tietää, kuinka se vaikuttaa lämpöenergian tuottoon. Taulukossa 8 on esimerkki kallistuksen valinnasta.

JR-laskentaohjelmassa keräimen kallistus voidaan valita seuraavista vaihtoehdoista:

- 0°
- 30°
- 45°
- 60°
- 90°

Taulukko 8. Aurinkokeräimen kallistuskulman muutos

kk	kuukauden kallistuskulma	korjauskerroin	$Q_{keräin}$ kWh/m ² /kk	Säteily kallistuneille pinoille kWh/A/kk	pv/kk	h/kk
Tammikuu	-3,97	6,2	1,88	11,656	93,248	31
Helmiokuu	-4,5	22,4	1,87	41,888	335,104	28
Maaliskuu	-2,58	64,3	1,62	104,166	833,328	31
Huhtikuu	4,5	119,9	1,22	146,278	1170,224	30
Toukokuu	10,76	165,5	0,99	163,845	1310,76	31
Kesäkuu	14,23	168,6	0,89	150,054	1200,432	30
Heinäkuu	17,3	180,9	0,92	166,428	1331,424	31
Elokuu	16,05	126,7	1,07	135,569	1084,552	31
Syyskuu	10,53	82	1,32	108,24	865,92	30
Lokakuu	6,2	26,2	1,58	41,396	331,168	31
Marraskuu	0,5	8,1	1,56	12,636	101,088	30
Joulukuu	-2,19	4,4	1,00	4,4	35,2	31
Koko vuosi	5,569166667	975,2	1,17	1086,556	8692,448	365

Solussa 34D voidaan muuttaa kallistuskulmaa annetuista vaihtoehdoista. Valitsemalla solu 34D aktiiviseksi ilmestyy oikealle nuoli, jota painamalla astekulmat tulevat näkyviin ja valinnan voi tehdä. Tällöin soluihin 34-47D vaihtuvat jokaiselle kuukaudelle oikeat kertoimet kunkin kallistuskulman mukaan.

Laskentaohjelma laskee soluissa 36–47E kuukausittaisen auringonsäteilyenergian kallistetulle pinnalle kWh/m² /kk yhtälöllä 29.

$$Q_{keräin} = k * Q_{sät,0} \quad (29)$$

jossa

$Q_{sät,0}$ on vaakatasolle tuleva auringon säteilyenergia, joka on paikkakunnakohtainen, kWh/m²/kk

k on etelään suunnatun keräimen korjauskerroin, joka riippuu keräimen kallistuskulmasta, paikkakunnasta ja tarkastelujaksosta.

Mikäli aurinkokeräimeen tulee merkittäviä varjostuksia ympäristöstä, ne huomioidaan korjaamalla korjauskeroa k varjostuksen suhteellisella määrällä koko keräimen pinta-alasta. $(1 - A_{varjostus} / A_{kokonaisala})$ (39, s. 15).

Solussa 48E lasketaan koko vuoden säteilyenergian kallistetulle pinnalle, kWh/m²/a

Soluissa 36–47F on laskettu auringonsäteily kallistetulle pinnalle kerrottuna aurinkoke-
räimien pinta-alalla kuten taulukko 9 osoittaa. Solussa 48F on laskettu yhteen koko
vuoden säteilyenergia kallistetulle pinnalle kWh/A/a.

Taulukko 9. Laskentaohjelman kuukausituloksia.

pv/kk	h/kk	säteilyteho W/m ²	LKV _{kuukausi} kWh/kk	Q _{aurio, a} kWh/kk	θ _{ref}	ΔT	X	Y	Q _{otto}	Q _{otto} kWh	Q _{otto, a} kWh/kk	%	Q _{sääntö} kWh
31	744	15,66666667	359,9444444	404,43196	83,3404	87,3104	5,28122	0,1798	-46,87023423	0	0	0	404,43
28	672	62,33333333	325,1111111	365,2938833	84,04	88,54	5,35559	0,7152	117,6311428	117,6311428	117,63	32,2	247,66
31	744	140,0080645	359,9444444	404,43196	81,5056	84,0856	5,08615	1,6065	334,0120285	334,0120285	334,01	82,587941	70,41995152
30	720	203,1638889	348,3333333	391,3857678	72,16	67,66	4,09261	2,3311	432,0314524	432,0314524	391,39	100	0
31	744	220,2217742	359,9444444	404,43196	63,8968	53,1368	3,21413	2,5269	482,2321105	482,2321105	404,43	100	0
30	720	208,4083333	348,3333333	391,3857678	59,3164	45,0864	2,72718	2,3913	465,6631924	465,6631924	391,39	100	0
31	744	223,6935484	359,9444444	404,43196	55,264	37,964	2,29636	2,5667	505,8899892	505,8899892	404,43	100	0
31	744	182,2163978	359,9444444	404,43196	56,914	40,864	2,47177	2,0908	455,9013036	455,9013036	404,43	100	0
30	720	150,3333333	348,3333333	391,3857678	64,2004	53,6704	3,24641	1,7250	377,410144	377,410144	377,41	96,42919469	13,97562379
31	744	55,63978495	359,9444444	404,43196	69,916	63,716	3,85404	0,6384	137,0605576	137,0605576	137,06	33,9	267,37
30	720	17,55	348,3333333	391,3857678	77,44	76,94	4,65393	0,2014	-25,85760157	0	0	0	391,39
31	744	5,913978495	359,9444444	404,43196	80,9908	83,1808	5,03143	0,0679	-86,05124795	0	0	0	404,43
365	8760		4238,055556	4761,860175						3307,831921	2962,18	62,2	1799,68

Soluihin 36–47G on merkitty päivien lukumäärät kuukausittain, ja solussa 48G on koko
vuoden päivät. Soluissa 36–47H on kuukausien laskettu tuntimäärät, ja solussa 48H on
laskettu koko vuoden tuntimäärä.

Soluissa 36–47I on laskettu keskimääräinen säteilyteho kuukaudessa, W/m² yhtälöllä
30.

$$Q_{\text{keskim}} = Q_{\text{keräin}} * 1000 / h \quad (30)$$

jossa

Q_{keräin} on säteily kallistuneille pinnoille kWh/m², kk

h on tuntimäärä kuukaudessa.

Soluissa 36–47J on laskettu käyttöveden kuukausittainen häviötön lämmityksen tarve yhtälöllä 31.

$$LKV_{\text{häviötön}} = q_v * \delta * v_{rk/kk} * c_p * \Delta t \quad (31)$$

jossa

q_v on lämpimän käyttöveden kulutus vuorokaudessa

δ on veden tiheys kg / dm^3

$v_{rk/kk}$ on vuorokausien määrä kuukaudessa

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti $\text{kJ} / \text{kg K}$

Δt on veden lämpötilaerotus $(55-5)^\circ\text{C}$.

Solussa 48J on laskettu koko vuoden käyttöveden häviötön lämmityksen tarve, (kWh).

Aurinko-oppaan 2012 käyttöveden kuukausittaisen häviöttömän lämmityksen tarvetta määrittelevässä esimerkkilaskussa sivulla 29 on käytetty veden ominaislämpökapasiteettina $4,19 \text{ kJ} / \text{kgK}$. Kuitenkin esimerkkikaavan alapuolella olevassa taulukossa on käytetty laskuissa veden ominaislämpökapasiteettina $4,18 \text{ kJ} / \text{kgK}$.

Standardi SFS EN 15316-4-3 käyttää veden ominaislämpökapasiteettina $4180 \text{ J} / \text{kgK}$, eli $4,18 \text{ kJ} / \text{kgK}$.

Lämpimälle käyttövedelle ei käytetä kiertojohtoa, ja putkisto on eristetty perustason mukaisesti (39, s. 29).

Soluissa 36–47K on laskettu kuukausittainen lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve jakeluhäviöineen (kWh/kk) yhtälöllä 32.

$$LKV_{\text{tarve}} = LKV_{\text{häviötön}} * (1 / 0,89) \quad (32)$$

jossa

$1 / 0,89$ Rakentamismääräyskokoelma D5 taulukon 6,3 mukaisesti (45, s 41).

Solussa 48K on koko vuoden lämpimän käyttöveden lämmityksen energiantarve jakeluhäviöineen.

Soluissa 36–47L on laskettu kuukausittainen referenssilämpötila standardin SFS EN 15316-4-3 mukaisesti yhtälöllä 33.

$$\theta_{\text{ref}} = 11,6 + 1,180 \theta_{\text{hw}} + 3,86 \theta_{\text{cw}} - 1,32 \theta_e \quad (33)$$

jossa

θ_{hw} on referenssilämpötilan laskemiseen käytettävää lämpimän käyttöveden lämpötila 40°C

θ_{cw} on kylmän veden lämpötila, °C

θ_e on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila.

Soluissa 36–47N on laskettu dimensioton suure X standardin SFS EN 153165-4-3 mukaisesti yhtälöllä 34.

$$X = \frac{A \cdot U_c \eta_{\text{kierto}} \Delta T \cdot t_h c_{\text{cap}}}{Q_{\text{tarve,A}}} \quad (34)$$

jossa

A on keräimen aperturepinta-ala, m²

U_c on keräinpiirin lämpöhäviökerroin, W/m²K

η_{kierto} on keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönsiirtimien vaikutus sekä lämpöhäviöt

ΔT on referenssilämpötilaero, °C

t_h on tarkastelujakson pituus, kuukausi, h

c_{cap} on varaajakapasiteetin korjauskerroin

$Q_{\text{tarve,A}}$ on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään, kWh.

Soluissa 36–47O dimensioton suure Y standardin SFS EN 153165-4-3 mukaisesti yhtälöllä 35.

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot \eta_o \cdot \eta_{kierto} Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (35)$$

jossa

A on keräimen apertureala, m²

IAM on keräintyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin

η_o on optinen hyötysuhde

η_{kierto} on keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönsiirtimien vaikutus sekä lämpöhäviöt

$Q_{keräin}$ on auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinnalle tarkastelujaksolla

$Q_{tarve,A}$ on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmään, kWh.

Aurinko-oppaan 2012 esimerkkitaulukossa sivulla 30 nämä dimensioimattomat suureet X ja Y on laskettu siten, että kaikissa kuukausitason laskuissa on käytetty tuntimääränä 744. Se johtaa virheelliseen lopputulokseen.

Soluissa 36–47P on laskettu matemaattinen kuukausittainen aurinkoenergian tuotto yhtälöllä 36.

$$Q_{tuotto,A} = c_{tyyppi} (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (36)$$

jossa

c_{tyyppi} on varaajatyypin korjauskerroin. Kansallisessa menetelmässä aurinko-opas 2012, käytetään aina $c_{tyyppi} = 1$.

Varaajatyypistä riippuvia korjauskertoimia

a	1,029
b	-0,065
c	-0,245
d	0,0018
e	0,0215
f	0
X	dimensiomaton suure
Y	dimensiomaton suure

Näissä sarakkeissa on huomioitava, että tulos voi olla myös negatiivinen. Aurinkooppaan 2012 esimerkkikaavassa sivulla 30 on käytetty helmikuun laskennassa väärää tuntimäärää 744. Oikea tuntimäärä helmikuussa on 672.

Soluissa 36–47Q on huomioitu edellä mainitun sarakkeen negatiiviset arvot muuttamalla ne nolliksi. Solussa 48Q on vuosittainen laskennallinen energiantuotto.

Soluissa 36–47R on laskettu kuukausittainen hyödyksi saatu aurinkoenergian tuotto, ja solussa 48R on laskettu vuodessa hyödyksi saatu aurinkoenergian tuotto Excelkaavalla 38.

$$=JOS(P40<0;"0";JOS(P40>K40;K40;JOS(P40<K40;P40))) \quad (37)$$

Soluissa 36–47S on laskettu kuukausittainen prosenttiosuus käyttöveden lämmityksestä, joka on saatu aurinkolämmitysenergialla.

Solussa 48S on laskettu vuosittainen prosenttiosuus lämpimästä käyttövedestä, joka on saatu aurinkolämmitysenergialla.

Soluissa 36–47T on laskettu kuukausittainen ostoenergian tarve, ja solussa 48T on laskettu vuosittainen ostoenergian tarve.

Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun käyttötunnit ja energiankulutus.

Aurinkolämmön laskentaohjelma 7 korjattu

Kaavat Tiedot Tarkista Näytä

Rivitä teksti Yleinen Ehdot muoto

Tasaus Numero

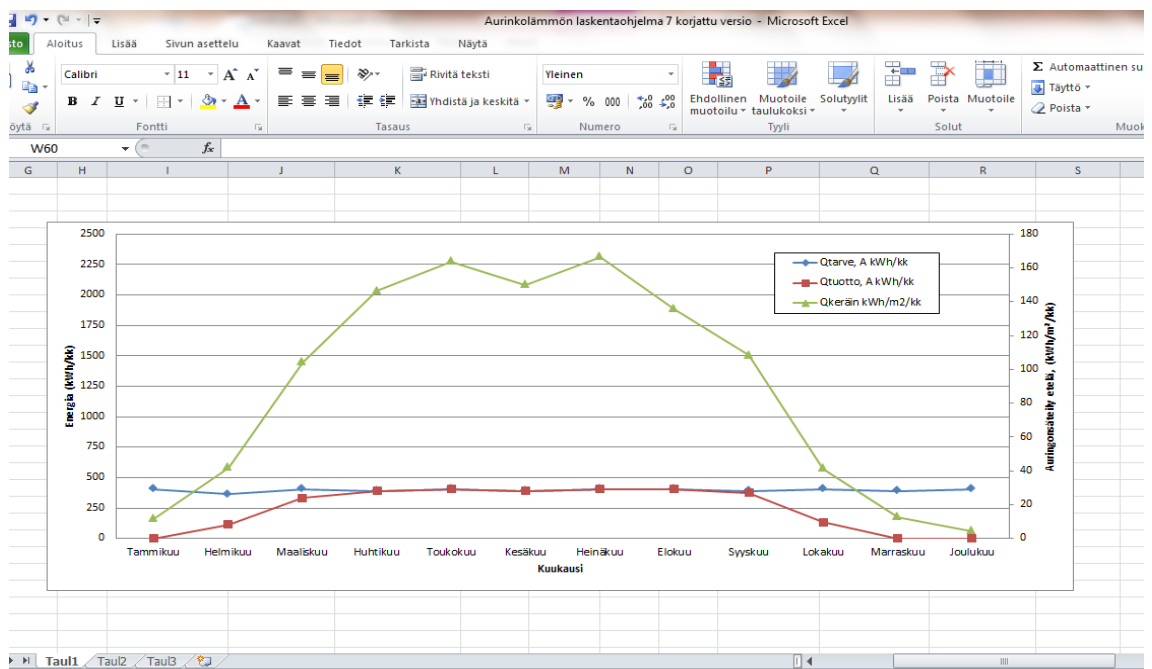
V	W	X	Y	Z
	Pumpun käyntitunnit h	Pumpun energia kWh		
	0	0		
	69,7041149	2,788164596		
	218,2202925	8,7288117		
	269,8168588	10,79267435		
	278,8107541	11,15243016		
	269,8168588	10,79267435		
	278,8107541	11,15243016		
	278,8107541	11,15243016		
	251,7499761	10,06999904		
	84,25963673	3,370385469		
	0	0		
	0	0		
	2000,0	80,0		

Jouini Rakennusoski:
Aurinkolämmityksen pumpun kuluttama energia kWh/ikk

Suomen oloissa aurinkolämmitysjärjestelmässä käytetään lähes aina kiertopumppua. Ainoastaan kesäkäyttöön kesämökeillä voidaan ajatella käytettävän painovoimaisesti toimivaa käyttöveden aurinkolämmitysjärjestelmää.

Laskentaohjelmassa soluissa 36–47W on laskettu kuukausittaiset pumpun käyttötunnit, ja solussa 48W vuosittaiset käyttötunnit. Taulukossa 10 esitetään esimerkilaskelma aurinkolämpöjärjestelmän pumpun käyttötunneista ja energiankulutuksesta.

Soluissa 36–47X on laskettu kuukausittainen pumpun kuluttama energia, ja solussa 48X on laskettu pumpun kuluttama energia vuoden aikana.



Kuvio 32. Tulokset esitettynä graafisessa muodossa.

Laskentaohjelmassa on tulokset esitetty myös graafisessa muodossa, josta kuviossa 32 on esimerkki.

14 Varaajan lämpöhäviöt

Aurinko-oppaassa 2012 ei suoraan osoiteta, kuinka varaajan häviöt lasketaan ja kuinka ne vaikuttavat järjestelmän toimivuuteen. Mikäli varaajan lämpöhäviö lasketaan, olisi VTT:n erikoistutkija Ismo Heimosen mukaan myös kuvattava, mihin tilaan häviöt menevät ja huomioitava se rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa (40). Seuraavassa esitellään standardin SFS-EN 15316-4-3 mukainen laskentatapa.

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen lämpöhäviö

$$Q_{W,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{W,sol,out,m} / Q_{W,sol,us,m}) \cdot t_m / 1\ 000 \quad (38)$$

jossa

t_m on kuukauden pituus, h

$\theta_{set\ point}$ on lämpimän käyttöveden asetusarvo, °C

$\theta_{a,avg}$ on ympäristön keskimääräinen lämpötila, °C

- jos varaaja on asennettu lämpimään tilaan $\theta_{a,avg} = 20^\circ\text{C}$
- jos varaaja on asennettu kylmään tilaan $\theta_{a,avg} = \theta_{e,avg} + (20^\circ\text{C} - \theta_{e,avg})/2$
- jos varaaja on asennettu ulos $\theta_{a,avg} = \theta_{e,avg}$

$\theta_{e,avg}$ on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila °C

$Q_{W,sol,out,m}$ on hyödyksi käytetty osuus, kWh

$Q_{W,sol,us,m}$ on lämpöhäviö käyttöveden lämmittämisen osalta, kWh.

Tilan kuukausittaiset lämpöhäviöt

$$Q_{H,sol,st,ls,m} = U_{st} \cdot (\theta_{set\ point} - \theta_{a,avg}) \cdot (Q_{H,sol,out,m} / Q_{H,sol,us,m}) \cdot t_m / 1\ 000 \quad (39)$$

jossa

$Q_{H,sol,st,ls,m}$ on tilan kuukausittainen lämpöhäviö, kWh

U_{st} on lämpöhäviökerroin, W/K

$\theta_{set\ point}$ on lämpötilan asetusarvo, keskimääräinen lämpötila tilan lämmitykseen suunnitteluolosuhteissa, kWh

$\theta_{a,avg}$ on ympäristön keskimääräinen lämpötila, °C

$Q_{H,sol,out,m}$ on aurinkolämpöjärjestelmän tuottaman lämmön käyttäminen tilan lämmittämiseen, kWh

$Q_{H,sol,us,m}$ on aurinkolämmön käyttö sovelletussa järjestelmässä, kWh

t_m on kuukauden pituus, h.

Varaajan kokonaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 40.

$$Q_{\text{sol,ls,m}} = Q_{\text{W,sol,st,ls,m}} + Q_{\text{H,sol,st,ls,m}} + Q_{\text{bu,dis,ls,m}} \quad (40)$$

jossa

$Q_{\text{sol,ls,m}}$ on kokonaislämpöhäviöt, kWh

$Q_{\text{W,sol,st,ls,m}}$ on lämpöhäviö käyttöveden lämmittämisen osalta, kWh

$Q_{\text{H,sol,st,ls,m}}$ on tilan kuukausittainen lämpöhäviö, kWh

$Q_{\text{bu,dis,ls,m}}$ on aurinkolämmitysjärjestelmän ja peruslämmitysjärjestelmän lämpöhäviöiden jakauma, kWh.

Jos varaajan lämpöhäviökerrointa ei tunneta, se voidaan laskea standardin SFS EN 15316-4-3 mukaisesti yhtälöllä 41.

$$U_{\text{st}} = 0,16 V_{\text{sol}}^{0,5} \quad (41)$$

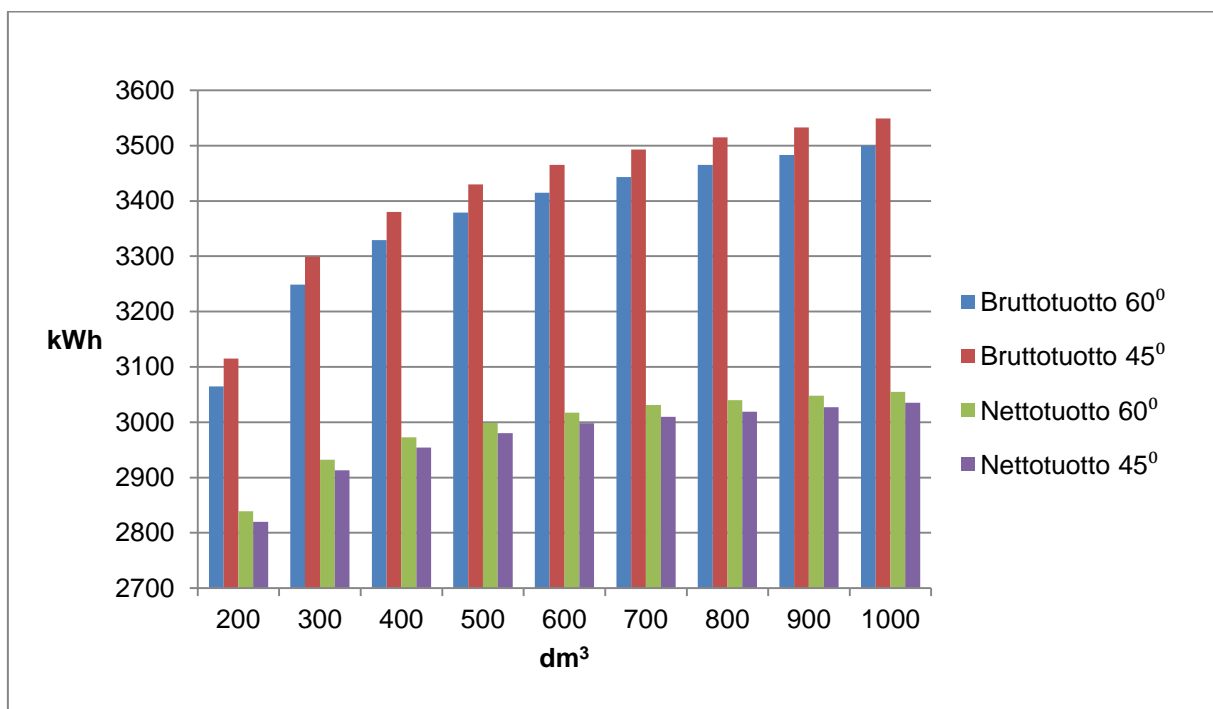
jossa

U_{st} on lämpöhäviö, W/K

V_{sol} on varaajan tilavuus, dm³.

15 Laskentatuloksia

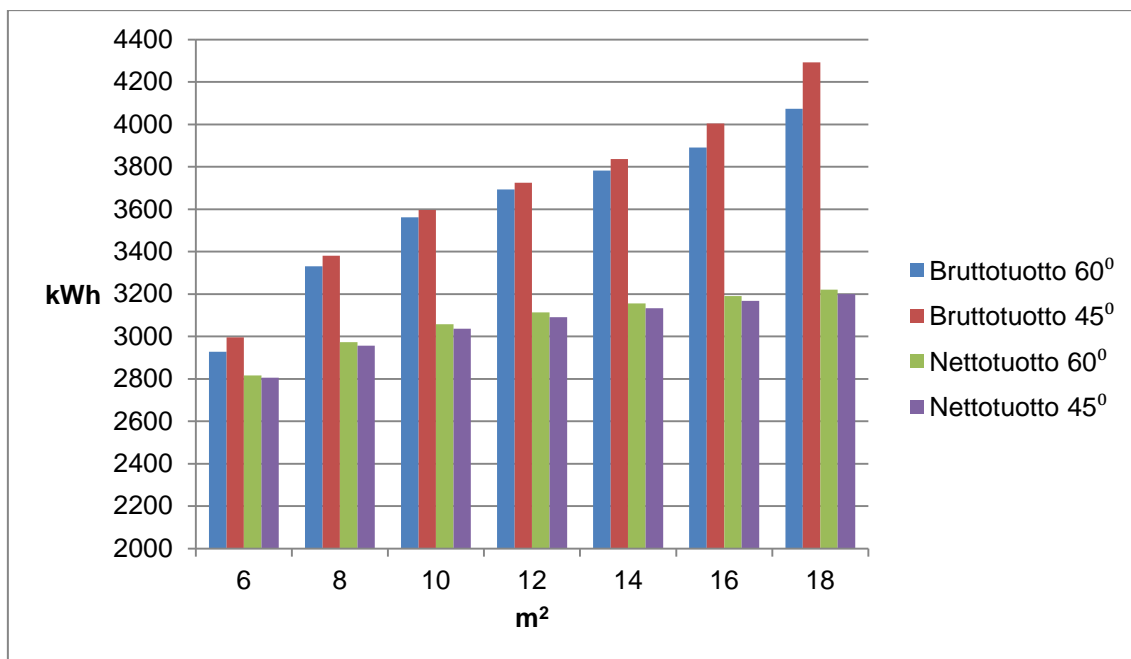
Testasin JR-laskentaohjelmaa saadakseni selville, millainen vaikutus varaajan koon kasvattamisella on energiantuottoon keräimen pinta-alan pysyessä samana. Lähtötietoina käytin seuraavia: keräimen pinta-ala 8 m^2 , keräimen optinen hyötysuhde 0,83 ja IAM 0,97. Lisäksi määrittelin putkiston pituudeksi 10 metriä ja putkistoeristeiden paksuudeksi 20 millimetriä. Talouden koko on neljä henkilöä ja lämpimän veden kulutus vuorokaudessa 50 litraa henkeä kohden. Keräimen kallistuskulmina vertailussa käytin 45:tä ja 60:tä astetta.



Kuvio 33. Varaajan koon vaikutus energiantuottoon aurinkokeräimen kulman muuttuessa.

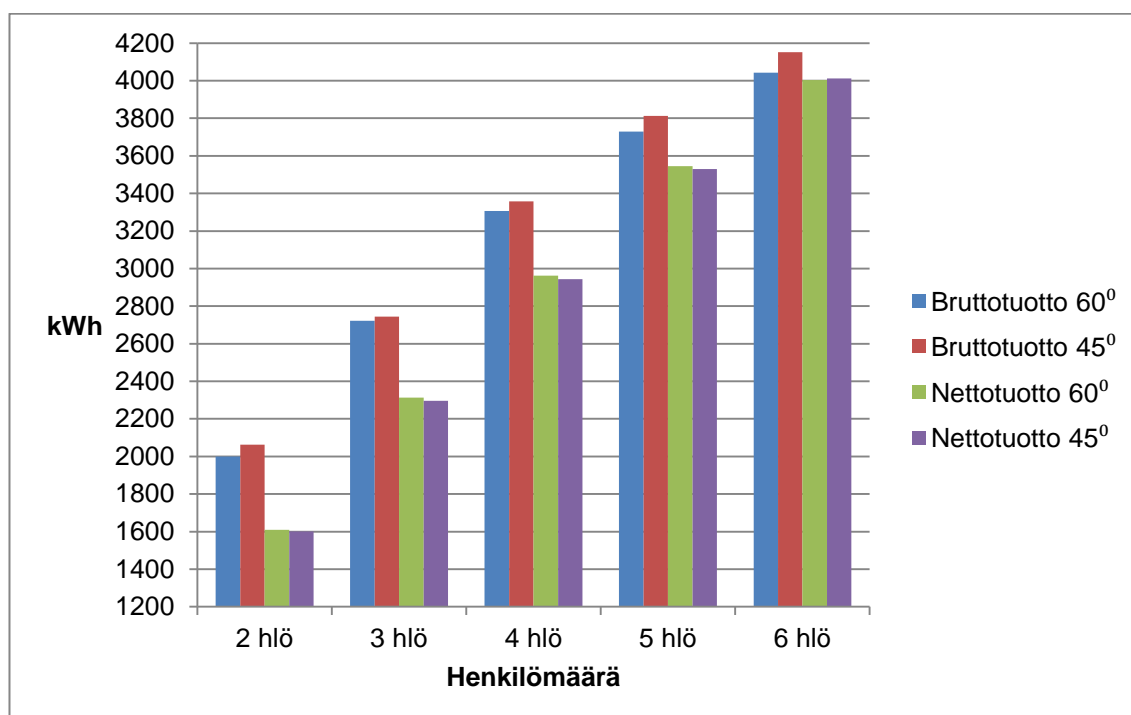
Kuviosta 33 havaitaan, että varaajan koon kasvaessa yli 500 litran energiantuotto ei enää merkittävästi kasva. Huomionarvoista on, että 45 asteen kulmassa oleva aurinkokeräin tuottaa eniten bruttoenergiaa, kun nettoenergiaa saadaan eniten keräinkulman ollessa 60 astetta.

Keräimen koon vaikutusta energiantuottoon laskin vastaavasti siten, että varaajan koko on 400 litraa. Muutoin edellä esitetyt parametrit ovat samat.



Kuvio 34. Keräimen pinta-alan vaikutus energiantuottoon keräimen kulman muuttuessa.

Kuviosta 34 on todettavissa, että keräimen koon kasvaessa yli 16 neliön energiantuotto ei enää merkittävästi kasva. Keräimen 45 asteen kallistuskulma antaa suuremman bruttotuoton, mutta nettotuotoltaan 60 asteen kallistuskulma on parempi.



Kuvio 35. Henkilömäärän vaikutus energiantuottoon.

Kuviossa 35 osoitetaan, kuinka henkilömäärän kasvu vaikuttaa energiatuottoon. Lämpimän käyttöveden kulutuksen kasvaessa myös energiantarve kasvaa. Kuviosta käy ilmi, että kahden hengen taloudessa nettotuotto keräimen kallistuskulmalla 60 on vain hiukan suurempi kuin bruttotuotto keräimen kallistuskulmalla 45. Henkilömäärän noustessa kuuteen tapahtuu taittuma. Silloin keräin kannattaa asentaa 45 asteen kulmaan, koska nettotuotto on parempi.

Lähtötietoina kuvion 35 laskelmalle on käytetty seuraavia: keräimen pinta-ala 8 m², keräimen optinen hyötysuhde 0,83 ja IAM 0,97. Putkiston pituus on 10 metriä ja putkistoeristeiden paksuus 20 millimetriä. Talouden henkilömääriä on muutettu, mutta lämpimän veden kulutus vuorokaudessa on edelleen 50 litraa henkeä kohden.

Laskelmieni valossa näyttää siis siltä, että Suomen oloissa keräinten kallistuskulmaksi kannattaa yleisesti asettaa 60 astetta silloin, kun talouden koko on pienempi kuin kuusi henkilöä. Nähdäkseni tämä tulos antaa merkittävästi uutta tietoa aurinkokeräinten ja niiden asennuskulmien valinnan tueksi. JR-laskentaohjelman avulla on mahdollista laskea aurinkokeräimen optimaalinen asennuskulma parhaimman energiatuoton saavuttamiseksi.

16 Eräitä havaintoja laskentaohjelmien vertailusta

JR-laskentaohjelman valmistuttua halusin vertailla sitä muutamiin aiemmin laadittuihin ja käytössä oleviin laskentaohjelmiin. Vertailukohteiksi valitsin yhden ilmaiseksi käytettävissä olevan kaupallisen toimijan ohjelman sekä yhden maksullisen ohjelman.

Vertailun tekee haastavaksi, että ohjelmien rakenne poikkeaa toisistaan eikä laskenta-kaavoja ole mahdollista havainnoida. Yleisenä havaintona totean, että kumpikin vertailuun valitsemistani ohjelmista on käytettävyydeltään varsin toimiva.

16.1 Ilmainen laskentaohjelma Catch Solar Energy

Norjalainen Catch Solar Energy AS valmistaa ja myy aurinkoenergiajärjestelmiä, jolle yritys nettisivuillaan kertoo hakeneensa vuonna 2012 patentit Euroopan unionissa, Venäjällä, Kiinassa, Intiassa, Etelä-Afrikassa, Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Yhtiö on laatinut nettisivuilleen ilmaisen ohjelman, jonka avulla voidaan laskea muun muassa aurinkoenergiajärjestelmän vuosituotto kWh / neliö. Ohjelma on ladattavissa osoitteesta www.catchsolar.net/pages/solar_energy_technical_solar_energy_calculation.php (20).

Oletin, että laskentaohjelmaan olisi kaupallisille toimijoille tyypilliseen tapaan määritelty kaavoja, jotka antavat asiakkaalle hieman todellista positiivisemmän kuvan aurinkoenergiajärjestelmän tehosta ja kannattavuudesta. Totesin myös, että ohjelmasta puuttuu eräitä keskeisiä parametreja, joten vertailussa on luonnollisesti huomioitava ohjelmien erilaisuus. Laskentatulokset ovat kuitenkin hämmästyttävän yhdenmuukaisia.

Norjalainen yritys käyttää laskennan perusteena valmiiksi annettuja aurinkotunteja Os- lon seudulla. Aurinkotunnit, toiselta nimeltään auringonpaistetunnit lasketaan Suomes- sa ajasta, jolloin säteilyteho on vähintään 75 prosenttia maksimitehosta. Laskentatapa karsii pilviset ajat, vaikka silloinkin aurinko saattaa aiheuttaa piikkejä säteilytehoon pil- vien raoista. Auringonpaistetuntien määrä vaihtelee vuosittain.

Norjalaisen yrityksen käyttämää laskentatapaa ei ole ilmoitettu eikä myöskään sitä, millä tavalla aurinkotunti on määritelty. Itse päädyin käyttämään vertailussa Klaukkalan sääaseman vuoden 2013 aurinkotuntien kuukausittaista maksimia eli lukemaa, jolla

ilmoitetaan kuukauden aurinkoisimman päivän auringonpaistetunnit. Vertailu esitetään kuviossa 36.

Catch Solar Energy AS ilmoittaa esimerkiksi heinäkuun aurinkotunneiksi lukeman 296,1. Tämän mukaan heidän järjestelmänsä voi käyttää auringon säteilyä hyväkseen yli yhdeksän tuntia kuukauden jokaisena päivänä. Vertailutietona käyttämälläni Klaukkalan sääasemalla heinäkuun aurinkoisimpana päivänä paistetunteja oli 9,3. Kuukausi- ja vuositasolla erot auringonpaistetuntien määrässä ovat suuria.

Calculation of solar position and clear-sky solar radiation based on Bird and Hulstrom's model, Bras model, and Ryan and Stolzenbach's model.¹

Site data and time info
latitude in decimal degrees (positive in northern hemisphere) **59.51000**

	tamm.	helm.	maal.	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joul.	Annual
Solar hours*	6,2	44,8	99,2	249,0	288,3	258,0	288,3	254,2	171,0	77,5	15,0	0,0	1 751,5
Outdoor °C	-4,0	-4,5	2,6	4,5	10,6	14,2	17,2	16,0	10,5	6,2	0,5	-2,2	
Indoor °C	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	

model parameters
barometric pressure (mb, sea level + 1013) 1013
ozone thickness of atmosphere (cm, typical 0.05 to 0.4 cm) 0,35
water vapor thickness of atmosphere (cm, typical 0.01 to 0.4 cm) 4
aerosol optical depth at 500 nm (typical 0.02 to 0.5) 0,35
aerosol optical depth at 380 nm (typical 0.1 to 0.5) 0,35
forward scattering of incoming radiation (typical 0.85) 0,85
surface albedo (typical 0.2 for land, 0.25 for vegetation, 0.9 for snow or water) **0,3**
model parameter
atmospheric turbidity factor (2=clear, 5=smoggy, default = 2) 2
model parameter
atmospheric transmission factor (0.70-0.91, default 0.8) 0,8
Azimuth angle of solar panels **0,0**
Custom roof tilt **60 °**

Tap water need **4** persons Grants **0 %** **0** NOK Current energy cost: **1,25** NOK
Size of building **200** m² Building heatloss **0,0 W/m²K** Current interest rate **3,0 %**
Annual energy increases **10 %**

Swimmingpool **0** ltr Pool temperature **25,0 °C**
Usage 0-100% **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %** **0 %**

Cooling load **0 %** This option will calculate the cooling load based on the location and temperature
Monthly cooling load **0,0** kWh

Water inlet temp: **5,0 °C** Loss in heatstore **1,0 W/m²K** Loss in pipes **3,4 W/m²K**
Water outlet temp: **35,0 °C** System max temp **85,0 °C** Length of pipes **10,0** mtr
Currency **NOK** Pipe diam **22,0** mm

* solar hours and temperatures based on actual measurements made by Norwegian Meteorological Institute
<http://metlex.met.no/wiki/Soltil>
For other locations and climate check out www.worldclimate.com
www.catchsolar.net
Solar collector efficiency **83,0 %**
$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{\Delta T}{G} - a_2 \frac{\Delta T^2}{G}$$

Kuvio 36. Catch Solar Energy AS:n laskentaohjelma, johon on syötetty Helsingin alueen maksimaurinkotunnit Klaukkalan sääaseman mukaan sekä keskimääräiset lämpötilat kuukausittain.

Syötin norjalaiseen laskentaohjelmaan parametreiksi Klaukkalan sääaseman vuodelle 2013 ilmoittamat maksimaurinkotunnit 4.12. saakka, joulukuun tunnit arvioin aiempien vuosien tilastojen perusteella <http://www.klaukkala-saa.fi/kuukausitilastot.php>. (46). Lisäksi syötin Helsingin alueen keskimääräiset lämpötilatiedot kuukausitasolla.

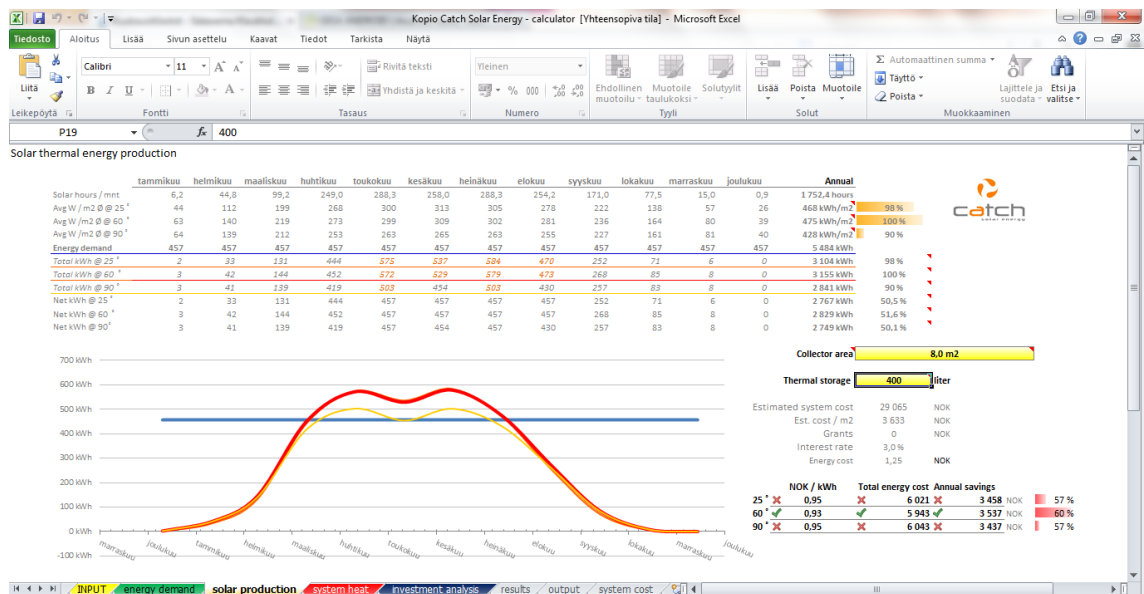
Keräimen kooksi määrittelin 8 neliötä, hyötysuhteeksi 83 prosenttia ja asukkaiden määräksi 4. Lämmönvaraajan kooksi valitsin 400 litraa. Lämpimän veden kulutus on 50 litraa vuorokaudessa henkeä kohti eli yhteensä 200 litraa. Keräimen kallistuskulmaksi valitsin 60 astetta ja lämmönsiirtoputkiston pituudeksi kymmenen metriä. Putken hal-

kaisija on 22 millimetriä. Omassa ohjelmassani eristeen paksuus on 10 millimetriä, norjalaisessa ohjelmassa eristettä ei ole mahdollista määrittellä.

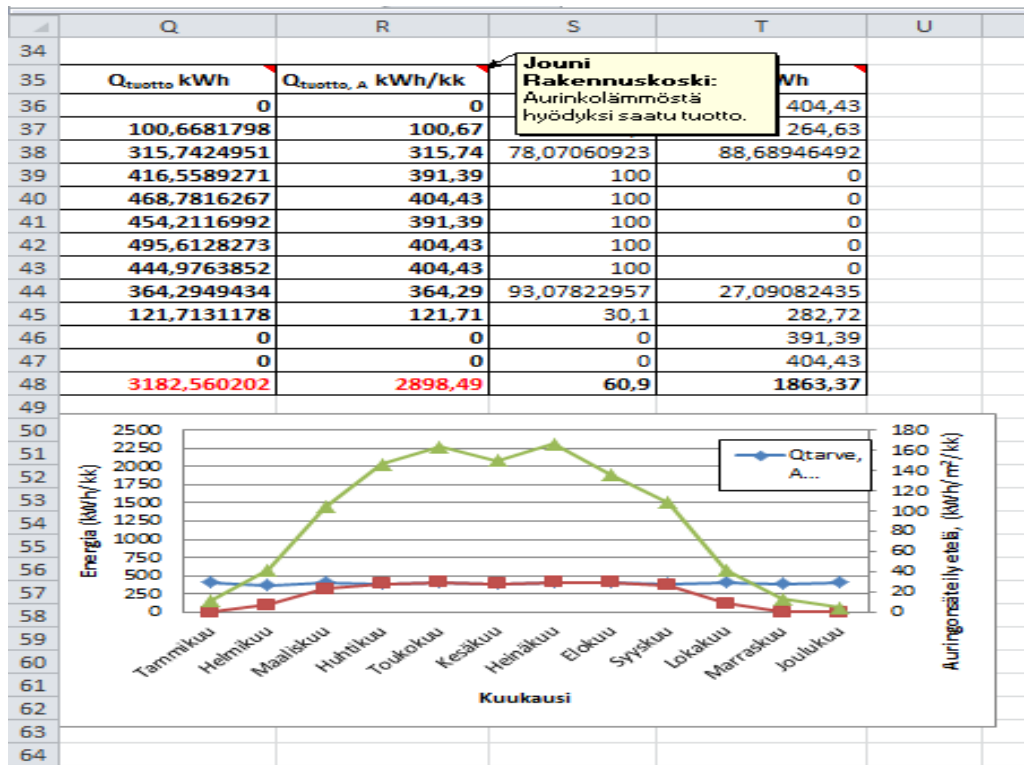
Catch Solar Energy ilmoittaa joka kuukaudelle saman energiatarpeen, vaikka kuukaudet ovat erimittaisia. Vuositasolla energiamäärä on Catch Solar Energyn mukaan 5484 kWh, kun ohjelmani mukaan energiatarve on 4761 kWh. Norjalaisen ohjelman ilmoittama määrä on siis 13 prosenttia suurempi. Norjalaisen ohjelman mukaan kiinteistössä on mahdollista käyttää hyväksi 52 prosenttia saavutetusta aurinkoenergiasta, kun oman ohjelmani mukaan Suomessa vastaava lukema on 61 prosenttia. Huomionarvoista on, että lämmitysenergiatarpeet lasketaan eri tavoilla, mikä saattaa selittää eroa tulosten välillä.

Catch Solar Energyn ohjelmassa lämmönsiirtonesteen putkiston lämpöhäviöitä tai putkiston pituuksia muuttamalla ei lopputulokseen ole mitään vaikutuksia. Vertailun vuoksi poistin molemmista ohjelmista putkiston lämpöhäviöt ja pituudet. Tällöin ohjelmani ottaa automaattisesti käyttöön Penalty Value -arvot.

Kuvioissa 37 ja 38 esitän vertailuna Catch Solar Energyn ja oman ohjelmani tulostaulukot.



Kuvio 37. Catch Solar Energy AS:n laskentaohjelman tulossivu.



Kuvio 38. Ohjelmani tulossivu.

Vuositasolla norjalaisohjelma ilmoitti saavutetuksi energiamääräksi 3155 kWh, jolloin keräinneliön vuosituotto on 394 kWh. Hyödyksi saatu energia on 2829 kWh. JR-laskentaohjelma ilmoitti samoilla parametreilla lukemaksi 3183 kWh, jolloin vuosituotto keräinneliötä kohden on 398 kWh. Hyödyksi saatu energia on ohjelmani mukaan 2898 kWh. Vertailussa on huomioitava, että ohjelmassani olen käyttänyt Aurinko-opas 2012:n antamia auringon säteilyarvoja ja -kertoimia, kun norjalaisessa ohjelmassa on käytetty aurinkotunteja. Ero bruttohyödyssä on 0,8 prosenttia ja nettohyödyssä 2,3 prosenttia.

Catch Solar Energy AS:n ohjelma on mielestäni käyttökelpoinen ja antaa kuluttajalle oikean kuvan hyödyksi käytettävissä olevasta auringon energiasta. Kuluttajan ei tosin kannata tuijottaa suoraan annettuja tuloksia, sillä lopullinen hyödyksi saatava teho riippuu monista esimerkiksi kiinteistön sijaintiin, lämmitysjärjestelmään ja paikallisiin olosuhteisiin liittyvistä seikoista, joita ei yrityksen ohjelmassa pystytä huomioimaan.

16.2 GetSolar Professional

Metropolian käyttöön on hankittu yhdysvaltalainen GetSolar-ohjelma, johon olen saanut tilaisuuden tutustua. Ohjelman esittely löytyy yrityksen kotisivuilta www.getsolar.com. Yritys on perustettu 2007, ja se ilmoittaa kotisivuillaan olevansa yksi Yhdysvaltain johtavista aurinkoenergiajärjestelmien kehittäjistä. Kotisivuilla kerrotaan myös, että Solar Energy Industries Association on aivan vastikään julkaissut Yhdysvaltain Solar Market Insight: 3Q 2013 -raportin, jonka mukaan vuonna 2013 USA:ssa on tuotettu kotitalouksien aurinkopaneelien ja -keräimien avulla 35 prosenttia enemmän aurinkosähköä kuin vuonna 2012. Tämä johtuu siitä, että kotitaloudet ovat investoineet aurinkoenergiaan selkeästi aiempaa aktiivisemmin. (47.)

Lyhyen perehtymisen perusteella GetSolar on käytettävyydeltään melko kankea ja kohdalaisen monimutkainen. GetSolarin perustietoihin syötettiin säteilytiedoksi Pohjois-Saksan Kielin tiedot, kaupunki sijaitsee 54,3 leveysasteella. Lämpötilatiedoiksi syötiin Helsingin alueen keskimääräiset kuukausilämpötilat. Muutoin parametreiksi valittiin samat arvot, kuin norjalaisohjelmaan. Kielin tietoja oli käytettävä, koska yrityksistä huolimatta ohjelma ei tehnyt laskutoimituksia siihen syötetyillä Helsingin säteilytiedoilla.

Annetuilla parametreilla GetSolar antoi tulokseksi vuositasolla 3357 kWh, jolloin keräineliö tuottaa 420 kWh vuodessa. Kuten aiemmin todettu, oma ohjelmani ilmoitti samoilla parametreilla lukemaksi 3182 kWh, jolloin vuosituotto keräineliötä kohden on 398 kWh. Taulukossa 11 esitetään laskelmien tulokset.

Taulukko 11. GetSolar-ohjelman tulostaulukko

kuukausi	auringon- tuotto [kWh]	aurinko- säteily [kWh]	jälki- lämmitys [kWh]	kv kate aste [%]	hyöty- suhde [%]
tammikuu:	99	248	288	26	40
helmikuu:	185	435	189	51	43
maaliskuu:	293	716	113	73	41
huhtikuu:	367	964	55	91	38
toukokuu:	407	1127	17	94	36
kesäkuu:	414	1117	21	99	37
heinäkuu:	408	1139	30	94	36
elokuu:	402	1089	28	93	37
syyskuu:	320	771	77	80	41
lokakuu:	269	561	136	67	48
marraskuu:	124	288	249	33	43
joulukuu:	68	174	299	18	39
yhteensä:	3357	8630	1501	70	39

17 Pohdinta

On hyvä, että maassamme on ryhdytty Metropolian MetroSol-aurinkoenergia-laboratorion kaltaisiin tutkimushankkeisiin, koska Suomi on valitettavasti hieman jälkijunassa uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottajana. Nyt on korkea aika ryhtyä systemaattisesti edistämään aurinkoenergian hyötykäyttöä.

Energialuku on nykyään pakollinen, kun kiinteistöä myydään tai vuokrataan. Energialuku eli E-luku perustuu primäärienergian kulutukseen. E-luvun edellyttämisellä on positiivinen vaikutus, koska kiinteistönomistajat ovat alkaneet miettiä energian lähteitä. Energialuvun kerroin ilmaisee, millä energiamuodolla on toimittu ja uusiutuvan energiamuodon käyttäminen pienentää E-lukua. Se rohkaisee esimerkiksi aurinkokeräimiin investoimiseen, koska aurinkoenergian kerroin on 0. Talon omistajan kannalta energialuokalla on suoraan taloudellista vaikutusta esimerkiksi jälleenmyyntiarvossa.

Energian hinta on noususuunnassa ja kustannustehokkuus vaikuttaisi olevan aurinkoenergian hyväksikäyttämisessä kilpailukykyinen. Kustannuksia arvioitaessa on toki muistettava, että vertailu ei ole yksiselitteinen vaan siinä on huomioitava esimerkiksi saneerattavassa kohteessa aiemmin käytetty lämmitysmuoto. Laskentaohjelmani mukaan neliometri aurinkokeräintä tuottaa noin 300–400 kWh vuodessa. Arvoltaan keräinpanelin tuottama energia on noin 30–40 euroa. Pientaloon sopiva 8 – 12 neliön järjestelmä maksaa kohteesta riippuen noin 2000–5000 euroa. Asennuskustannuksiin vaikuttaa esimerkiksi, jos talossa on valmiina lämmönvaraaja. Tekniikan kehittyessä hintataso luultavasti putoaa jonkun verran.

Aurinkokeräimien kehitystyö on johtanut siihen, että laitteet ovat nykyisin paitsi kustannustehokkaampia, myös ulkonäöltään sovitettavissa monenlaisiin arkkitehtonisiin kokonaisuuksiin. Ennakkoluulojen hälventyessä käy luullakseni yhä useammin niin, että sarja aurinkokeräimiä sijoitetaan kiinteistön yhteyteen.

Tutkimuksen tuloksena olen kiinnostunut erityisesti lämmön varastoitamiseen liittyvistä kysymyksistä. Varaajien kokoa voidaan pienentää ja saada lämpöhäviöiden ja materiaalikulujen pienentyessä tehokkaampi hyötysuhde, mutta tosiasia on että kesällä lämpöenergiaa kertyy liikaa ja talvella vastaavasti liian vähän. On mielenkiintoista pohtia, millaisilla ratkaisuilla voisimme lisätä ylijäämäenergian hyötykäyttöä kesäaikaan. Uima-altaiden veden lämmittäminen on aivan hyvä käyttökohde, mutta minua kiinnostavat

myös esimerkiksi erilaisten pientaloyhtymien yhteiset järjestelmät, joissa ylijäävää energiaa olisi mahdollista käyttää koko yhteisön hyväksi. Eräs käytännönläheinen ratkaisu on toki hyödyntää ylijäävä energia kosteiden tilojen lattialämmitykseen.

Kesäisin saatavaa ylimääräenergian käyttöä voitaisiin tehostaa hybridi-ilmanvaihdon poistokanavaa lämmittämällä. Vastaavasti kevättalvisin ja loppusyksystä voitaisiin sitoa poistokanavasta lämpöä lämmönsiirtonesteeseen ja nostaa sillä aurinkokeräimen sisälämpötilaa. Lämpötilan noustessa keräimen päälle mahdollisesti kertyneet lumi ja jää putoaisivat pois.

Olemme energia-asioissa vedenjakajalla ja uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen on tulevaisuutemme kannalta keskeinen kysymys. Hajautettu energiajärjestelmä vaikuttaisi olevan eräs mielenkiintoisimmista mahdollisuuksista alalla ja aurinkolämmitys sopii mainiosti osaksi sitä. Lisäksi sekä aktiivisen että passiivisen aurinkoenergian hyödyntäminen on huomioitava. Rakennusten suunnittelussa olisi laaja-alaisesti otettava huomioon alusta saakka niin arkkitehtuuri kuin LVI-suunnittelu, jotta paras mahdollinen hyöty saavutetaan.

Aurinkoenergia on puhdasta, sen käyttäminen säästää fossiilisia polttoaineita ja vähentää siten kasvihuonepäästöjä. Aurinko tuottaa lähienergiaa parhaimmillaan eikä sen käyttö tule todennäköisesti koskaan olemaan riippuvaista kansainvälisistä energiakriiseistä tai politiikasta. Aurinkokeräimet ovat käyttäjäystävällisiä ja käytännössä huoltovapaita, niiden käyttöikä on pitkä ja ne ovat hiljaisia. Aurinkoenergia on monikäyttöistä. Sen voi yhdistää olemassa oleviin lämmitysjärjestelmiin tuottamaan turvallista ja kestävä kehityksen mukaista energiaa meille ja sukupolville meidän jälkeemme.

18 Yhteenveto

Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan toimittaessa maassamme ei ole ollut mahdollista hyödyntää aurinkoenergiaa enempää kuin 40 prosenttia kiinteistön käyttöveden lämmitysenergiasta (39, s. 9). Tämä on saattanut olla pullonkaula auringon lämpöenergiaa hyödyntävien laitteiden käyttöönotossa osaksi kiinteistöjen lämmitystä, koska kustannusten suhdetta saavutettavaan hyötyyn ei ole välttämättä pidetty riittävänä. On ollut positiivista, että Ympäristöministeriön toimesta on laadittu Aurinko-opas 2012, joka mahdollistaa myös yli 40 prosentin osuuden käyttämisen.

Olen laatinut tässä opinnäytetyössä esiteltävän JR-laskentaohjelman nimenomaan Aurinko-oppaan 2012 perusteella. Saamieni tulosten mukaan Suomenkin olosuhteissa on mahdollista saada jopa yli 60 prosenttia käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiasta auringon säteilystä. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi omakotitalossa asuvan nelihenkisen perheen osalta vajeata 3000 kilowattituntia vuodessa, kuten SFS-standardeihin sekä kansallisiin parametreihin perustuva laskentaohjelmani osoittaa.

Tutustuin tutkimukseni yhteydessä myös kerääjien ikääntymistä simuloiviin tutkimuksiin ja osoittautui, että käyttöikä ei merkittävästi heikennä laitteiden tehoa. Muihin energiajärjestelmiin verrattuna aurinkokeräimet ovat pitkäikäisiä ja säilyttävät toimintakykynsä ilman mainittavia huolto- ja ylläpitotoimia.

Laskentaohjelmani on laadittu siten, että kertoimet on tarkoituksella valittu varman päälle (*”penalty value”*), jottei vahingossakaan saataisi liian hyviä tuloksia. Siitä huolimatta näyttää, että lukemien valossa käy yhä järkevämmäksi harkita aurinkokeräimien asennuttamista kiinteistöön.

Tein vertailua JR-laskentaohjelman ja kahden muun vastaavan ohjelman välillä syöttämällä parametreiksi mahdollisimman tarkasti samat lukemat. Pienistä ohjelmien rakenteisiin liittyvistä poikkeamista johtuen vertailujen perustiedoissa on eroa, koska esimerkiksi auringon paistetunnin ja säteilyarvon välinen ero ei kaikilta osin ole selkeästi määritelty ulkomaisten ohjelmien yhteydessä. Tulokset ovat kuitenkin hämmästyttävän samankaltaisia. Esimerkiksi norjalaisen Catch Solar Energy AS:n ja oman ohjelmani tuloksissa on nettohyödyn osalta eroa vain noin kaksi prosenttiyksikköä.

Tosin on muistettava, että aurinkolämmitys on aina toissijainen lämmitysmuoto ja se tarvitsee rinnalleen toisen lämmitysjärjestelmän. Näkisinkin, että tutkimustyötä tulisi aktiivisesti jatkaa siten, että hyödynnettävyydestä pyrittäisiin nostamaan esimerkiksi erilaisilla hybridijärjestelmillä, kuten vaikkapa aurinkolämmityksen ja maalämmön yhdistämisellä

JR-laskentaohjelman avulla on mahdollista laskea sopiva aurinkolämmitysratkaisu kaikenlaisiin koteihin. Parametrien muunneltavuus mahdollistaa niin olemassa olevien järjestelmien huomioimisen, kuin uusien kohteiden laskennan. Laskentaohjelma nopeuttaa aurinkokeräimien määrän ja laadun arviointia sekä tekee helpommaksi vertailla eri vaihtoehtoja.

Kaupallisista laskentaohjelmista poiketen ohjelmassani kaikki kaavat ovat näkyvissä. Se helpottaa hahmottamaan kokonaisuutta ja on hyödyksi etenkin opiskelijoille, sillä se mahdollistaa ohjelman täydentämisen ja tarkentamisen jatkossa esimerkiksi lämmön siirtimien yksityiskohtaisemmalla käsittelyllä. Lisäksi tällainen avoimen lähdekoodin esitystapa mahdollistaa laaditun laskentataulukon lisäämisen osaksi muita taulukoita. Erityisen tärkeää on mielestäni, että kaavojen avulla on helpompaa ymmärtää eri alkuarvojen merkitys lopputulokseen.

JR-laskentaohjelmassa käytettiin perustana Aurinko-oppaan 2012 ohjeistusta ja parametreja. Saatujen tulosten mukaan mukaan Suomen oloissa kallistuskulmana 60 astetta on optimaalisin nettoenergian, eli hyödynnettävissä olevan energian suhteen. Nähdäkseni tämä tulos antaa merkittävästi uutta tietoa aurinkokeräinten ja niiden asennuskulmien valinnan tueksi.

JR-laskentaohjelman avulla on mahdollista osoittaa keräinkoon ja lämmönvaraajan koon optimaalinen suhde, eli määritellä kuhunkin kiinteistöön ja asukkaiden määrään nähden tehokkain yhdistelmä. Lisäksi myös eri keräintyyppien vertailu on mahdollista. Keräimen ja varaajan välisten putkistojen lämpöhäviöt on otettu huomioon ja ohjelma laskee koko järjestelmän hyötysuhteen.

Tutkimustyössä ilmeni, että sekä SFS-standardi että Aurinko-opas 2012 sisälsivät eräitä virheitä ja epätarkkuuksia. Ne on JR-laskentaohjelmassa oikaistu.

Lähteet

- 1 Motiva. Uusiutuva energia. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia. Luettu 14.11.2012.
- 2 Motiva. Lämmönkulutus. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/lammonkulutus.
Luettu 16.11.2012.
- 3 Nevanlinna, H. 2006. Avaruussää. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa.
- 4 Ilmatieteen laitos. Ilmakehä. Verkkodokumentti.
http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc?p_p_id=abc_WAR_fmiwwwportlets&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&_abc_WAR_fmiwwwportlets_selectedInitial=l. Luettu 17.11.2012
- 5 Motiva. Aurinkoenergia. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/files/2220/AurinkoEnergia_www.pdf. Luettu 18.12.2012
- 6 Eart Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Christer, Peippo Kimmo, Peltola Seppo, Suokivi Hannu. 2008. Aurinko-opas. Porvoo. Aurinkoteknillinen yhdistys ry.
- 7 Sundial. Aurinkolämpö. Verkkodokumentti. <http://sundial.fi/aurinkolampo-suomessa>. Luettu 17.4.2013
- 8 International Sorption Heat Pump Conference. Adsorption refrigeration – an efficient way to make good use of waste heat and solar energy. Verkkodokumentti. <http://engineering.ucsb.edu/~yuen/references/rer-8.pdf> Luettu 27.8.2013
- 9 VTT. Energian varastoinnin nykytila. Verkkodokumentti.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>. Luettu 27.8.2013
- 10 Solarwall. Solar Air Heating. Verkkodokumentti.
http://solarwall.com/media/download_gallery/SolarWall_Sell_Sheet.pdf. Luettu 26.8.2013

- 11 Darling, David. Encyclopedia of alternative energy. Verkkodokumentti. http://www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_active_solar_energy_system.html. Luettu 27.8.2013
- 12 Aurinkoteknillinen yhdistys. Aurinkolämpömitoitusseminaari 9.10.2012. Verkkodokumentti. http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/2012_JVt.pdf. Luettu 22.11.2013
- 13 Ecoshift. Solar Collectors. Verkkodokumentti. <http://www.ecoshift.ca/Types-of-Solar-Collectors.html>. Luettu 27.8.2013
- 14 Basnet, A. Norwegian University of Science and Technology. Architectural integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings. Verkkodokumentti. http://www.new4old.eu/guidelines/C6_Part1_H5.html. Luettu 27.8.2013
- 15 IOSR Journal of Engineering. Solar Flat Plate Collector Analysis. Verkkodokumentti. http://www.iosrjen.org/Papers/vol2_issue2/F022207213.pdf. Luettu 28.8.2013
- 16 Solar Tribune. Solar collector. Verkkodokumentti. <http://solartribune.com/solar-flat-plate-collector/>. Luettu 28.8.2013
- 17 Aurinkopuisto.com. Vihreää energiaa lämmitykseen. Verkkodokumentti. <http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php>. Luettu 22.9.2013
- 18 Motiva. Aurinkolämpö. Verkkodokumentti. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolamp/tyhjioputkikeraimet. Luettu 28.8.2013
- 19 Northen Nature Energy. Tyhjiöputkikeräin. Verkkodokumentti. <http://www.nn-energy.fi/tuotteet/aurinkokeraimista/nn10.php>. Luettu 28.8.2013
- 20 Catch Solar. Solar collector temperature measurements. Verkkodokumentti. <http://www.catchsolar.net/> Luettu 20.9.2013

- 21 Resch, Katharina. Polymeric Thermotropic Materials for overheating Protection of Solar Collectors. 2008. University of Leoben, Austria.
- 22 Sabic Global. Durable solar water heaters that encourage renewable energy use. Verkkodokumentti. <http://www.sabic-ip.com/gep/en/LiteratureAndTools/CaseStudyDetail/himinsolarwaterheater.html>. Luettu 28.8.2013
- 23 Ympäristöenergia. Teho ja tuotto. Verkkodokumentti. <http://www.y-energia.com>. Luettu 17.9.2013
- 24 ISO EN 12975-2
- 25 ISO EN 9488-1999
- 26 CEN Keymark Scheme. Solar Keymark Certification. Verkkodokumentti. <http://www.estif.org/solarkeymarknew/index.php>. Luettu 21.8.2013
- 27 SRCC. Solar Rating & Certification Corporation. Solar collector certification program. Verkkodokumentti. <http://www.solar-rating.org/>. Luettu 21.8.2013
- 28 Apricus. Defining Collector Efficiency. Verkkodokumentti. http://www.apricus.com/html/solar_collector_efficiency.htm#UHT-NT_Srkc. Luettu 21.8.2013
- 29 The Electropaedia. Capturing solar energy. Verkkodokumentti. http://www.mpoweruk.com/solar_power.htm. Luettu 28.11.2013
- 30 Lytron. Wärme einer wasserbasierten. Verkkodokumentti. www.lytron.de/tools-technical/anwendungshinweise/glykol-kuehlsysteme. Luettu 13.9.2013
- 31 Science Direct. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Verkkodokumentti. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107001402>. Luettu 12.9.2013
- 32 Solpros. Enhancing sustainability effectively. Verkkodokumentti. <http://www.kolumbus.fi/solpros/>. Luettu 22.9.2013

- 33 Otti. Energien. Verkkodokumentti.
http://energie.otti.de/abstracts_TSE_2013_Ernst/Einreichungen.pdf. Luettu 21.9.2013
- 34 CSTB. Accelerated ageing test of solar collector. Verkkodokumentti.
<http://www.estif.org/solarkeymark/skii/results/standards-and-schemerules/D23/CSTB%20Accelerated%20ageing%20tests%20of%20solar%20collectors.pdf>. Luettu 5.9.2013
- 35 Streicher Elke, Fischer Stephen, Drück Harald, Steinhagen Hans-Müller. 2009. Proceedings of ISES world congress. University of Stuttgart, Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering
- 36 WATT. Watt 2020 S. Verkkodokumentti. <http://www.watt.pl/en/our-products/solar-collectors/flat-plate-collectors/watt-2020-s.html>. Luettu 23.9.2013
- 37 Hemeltron. Aurinkolämpö. Verkkodokumentti. <http://www.hemeltron.fi/vmchk/tyhjioputkikerain-sunpur-nn10.html>. Luettu 23.9.2013
- 38 Savosolar. Tuotteet. Verkkodokumentti. <http://www.savosolar.fi/de/suomeksi/tuotteet>. Luettu 23.9.2013
- 39 Heimonen, Ismo, Kurnitski, Jarek, Kalliomäki, Pekka. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön- ja sähköenergiatuoton laskennan opas
- 40 Heimonen, Ismo. Metropolian kysymyksiä aurinko-oppaasta. Sähköpostikeskustelu 13.6.2013
- 41 Wuxi Deco Ecoenergy Technology. IAM. Verkkodokumentti.
<http://www.wxdeco.com/English/Solar1.php>. Luettu 21.10.2013
- 42 SFS EN 12977-2
- 43 Suomen kunnallisteknillinen yhdistys. Rakennusten vesijohdot ja viemärit. 1987, julkaisu 7, Helsinki.

44 SFS EN 15316-4-3

45 Ympäristöministeriö. Rakentamismääräyskokoelma D5. Verkkodokumentti.
http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma. Luettu 14.11.2013

46 Suomen sääpalvelu. Klaukkalan kuukausitilastot. Verkkodokumentti.
<http://www.klaukkala-saa.fi/kuukausitilastot.php>. Luettu 4.12.2013

47 Getsolar. Solar Calculator. Verkkodokumentti. www.getsolar.com. Luettu 16.12.2013

Aurinkokeräin WATT 2020

Aurinkokeräin WATT 2020 tekniset tiedot

WATT 2020 S



WATT 2020 S solar collector / WATT 2020 SL solar collector - painted / WATT 2020 SRL solar collector - version to be installed in the hipped roof end

flute-plate collector	no
WATT 2020 S	01 - 3201
WATT 2020 SL - painted	01 - 3251
WATT 2020 SRL - version to be installed in the hipped roof end	01 - 3255

WATT 2020 S / 2020 SL / 2020 SRL solar collector	
Width / Height / Depth	1018/2018/90 mm
Empty collector mass	33,8 kg
transparent covering thickness	3 mm
gross collector area	2,04 m ²
absorber area	1,88 m ²
absorber	ETA PLUS – BlueTec
absorption / emission	95% / 5%
absorber connection	laser
efficiency coefficient	ETA 0 = 0,756
stream of medium flow trough the collector	1 l/min.
heat loss coefficient	3,545 W/(m ² K)
casing	aluminium
life	25 years
warranty	10 years
standards / certificates	EN 12975 / SOLAR KEYMARK

Aurinkokeräin Sunpurm NN10

Aurinkokeräin Sunpurm N10 tekniset tiedot

Tekniset tiedot	NN10
Eta0	$\eta_{D0} = 0,849^*$
Tyhjiöputkien lkm	10
Leveys (mm)	775
Korkeus (mm)	2120
Syvyys (mm)	100
Kokonaispinta-ala (m ²)	1,643
Kerälyspinta-ala (m ²)	1,012
Absorbaatiopinta-ala (m ²)	0,931*
Omapaino (kg)	24
Käyttöpaine (bar)	6
Tyhjiöputkien mitat (mm)	55/2000

Tasokeräin Savosolar FS 100-03 Full-AI

Tasokeräin Savosolar Fs 100-03 Full-AI tekniset tiedot

Technical data	
Type of construction	Flat Plate Solar Thermal Collector
Absorber type	Full AI Double Harp
External Dimensions	2057x1059x98 mm
Gross area	2057x1059 mm ² (2,18m ²)
Aperture area	2000x1001 mm ²
Absorber area	2000x1001 mm ²
Efficiency	$\eta_0=0.92$, $a_1=1.8$ (W/°C m ²), $a_2=0.036$ (W/°C ² m ²)
Stagnation temperature	176°C
Incident angle modifier	K (50°) = 0.95
Absorber coating	MEMO 3 layer selective PVD coating
Absorptance	96 % +/- 2
Emissivity	5 +/- 2%
Header tube	DS Ø 22 / DE Ø 18
Max. Operating Pressure	1000 kPa (10 bar)
Pressure drop	910 Pa @ 82 kg/h
Thermal insulation	50mm mineral wool
Glass covering	Sunarc [®] tempered solar safety AR glass
Solar transmittance of the glass / Thickness	96.1% / 3.2mm (AR)
Liquid content	1.9 liters
Weight empty	35 kg
Tilt angle	0-90° for rooftop and free standing setup

Pyranometrin tekniset tiedot

KIPP & ZONEN PYRANOMETRI CMP6

ISO 9060:1990 STANDARDIN MUKAINEN 1. LUOKAN MITTARI

Toimintalämpötila	-40 °C... +80 °C
Säteilyvoimakkuuden mittausalue	0-2000 W/m ²
Säteilyn aallonpituuden mittausväli	285...2800 nm
Herkkyyks	5-20 µV/(W/m ²)
Lämpötilariippuvuus*	< 4 % (-10 °C... +40 °C)
Vasteaika	18 s
Mittaviesti (jännite)	0-20 mV

* poikkeama mittaustuloksessa, kun ulkolämpötila muuttuu 50 K ja kun säteily pysyy vakiona



Vaisalan sääaseman tiedot

SÄÄASEMA - VAISALA WTX520

Mittaus tiedot

TUULI		
<u>Nopeus</u>	0-60 m/s	<u>Suunta</u>
Mittausalue	±3 % kun	Mittausalue
Tarkkuus	tuulenopeus 10 m/s	Tarkkuus
		Vasteaika
		250 ms

Yleiset tiedot

Säilyyslämpötila	-60-+70 °C
Syöttöjännite	5-32 VDC
Tyypillinen virtankulutus	3 mA, 12 VDC (oletusasetuksilla)
Lämmitysajännte	5-32 VDC (tai AC, enintään 30 VRMS)
Kotelo (suojaluokka)	IP65
Kotelo- ja asennussarja	IP66

SADEMÄÄRÄ

Sate
Kumulatiivinen kertymä edellisen automaattisen tai manuaalisen nolauksen jälkeen.
Lähdon erotuskyky 0,01 mm
Tarkkuus 5 %

Sateen kesto

Laskee kertymän jokaisella kymmenellä sekunnilla pisarhavainnon jälkeen.
Lähdon erotuskyky 10 s

Sateen voimakkuus

Sateen voimakkuuden keskiarvo minuutissa kymmenen sekunnin välein.

Mittausalue 0-200 mm/h
Lähdon erotuskyky 0,1 mm/h

ILMANPAINE

Mittausalue 600-1100 hPa
Tarkkuus ±0,5 hPa lämpötilassa 0-30 °C
±1 hPa lämpötilassa -52-+60 °C

ILMAN LÄMPÖTILA

Mittausalue -52-+60 °C
Tarkkuus ±0,3 °C lämpötilassa +20 °C

SUHTEELLINEN KOSTEUS

Mittausalue 0-100 % RH
Tarkkuus ±3 % RH alueella 0-90 % RH
±5 % RH alueella 90-100 % RH