

Teemu Lahikainen

AURINKOLÄMMÖN
HYÖDYNTÄMINEN LVI-
JÄRJESTELMISSÄ

Ohje aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluun

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Marraskuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

| | | |
|---|--|-------------------|
|  <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p> | <p>Opinnäytetyön päivämäärä</p> <p>28.11.2013</p> | |
| <p>Tekijä(t)</p> <p>Teemu Lahikainen</p> | <p>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</p> <p>Talotekniikan koulutusohjelma</p> | |
| <p>Nimeke</p> <p>Aurinkolämmön hyödyntäminen lvi-järjestelmissä, ohje aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluun</p> | | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Insinööriyön tarkoituksena oli aurinkolämmön suunnitteluohjeen laatiminen. Suunnitteluohjeessa on selvitetty aurinko-lämpöjärjestelmän suunnitteluun tarvittavat tiedot sekä suunnittelussa käytettävä aurinkokeräinkentän ja energian tuoton mitoituslaskutoimitukset. Ohje on tehty, jotta aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu helpottuisi. Pääpaino työssä on aurinkokeräinkentän tuoton sekä keräinkentän pinta-alan mitoituksessa.</p> <p>Työssä selvitettiin ensin perusteoria aurinkolämmöstä, minkä jälkeen syvennyttiin aurinkolämpöjärjestelmän mitoitukseen. Työn tekemiseen tarvittavat tiedot on hankittu kirjallisuuslähteistä sekä alan asiantuntijoilta Suomesta ja Saksasta.</p> <p>Työn painopiste oli F-chart -menetelmässä ja sen käytössä. Menetelmää käytettäessä saadaan laskettua melko tarkasti kiinteistön aurinkolämpöjärjestelmän energian tuotto eri keräinpinta-aloille. F-chart-menetelmä on käyttökelpoinen normaalisovelluksissa, joissa aurinkoenergiaa käytetään käyttöveden ja/tai lämmitysveden lämmittämiseen. Työssä käytettävä mitoitusmenetelmä ei ole käyttökelpoinen korkeiden lämpötilojen sovelluksissa.</p> <p>Aurinkolämpö ja sen erilaiset sovellukset ovat todella laaja-alaisia, ja Suomessa melko huonosti tunnettuja. Tulevaisuudessa aurinkolämpöä tullaan hyödyntämään huomattavasti enemmän myös Suomessa, joten tietoa aurinkolämmöstä tarvitaan lisää ja lisätutkimuksiin Suomen kielellä on tarvetta.</p> | | |
| <p>Asiasanat (avainsanat)</p> <p>Aurinkolämpö, LVI-suunnittelu, aurinko, F-chart, aurinkokeräin</p> | | |
| <p>Sivumäärä</p> <p>38</p> | <p>Kieli</p> <p>Suomi</p> | <p>URN</p> |
| <p>Huomautus (huomautukset liitteistä)</p> | | |
| <p>Ohjaavan opettajan nimi</p> <p>Heikki Salomaa</p> | <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja</p> <p>Granlund Lahti Oy</p> | |

DESCRIPTION

| | | |
|--|---|--|
|  MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences | | Date of the bachelor's thesis 28.11.2013 |
| Author(s) Teemu Lahikainen | Degree programme and option Building services engineering | |
| Name of the bachelor's thesis Use of solar energy in HVAC-systems, guide for designing a solar thermal system | | |
| Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to create a planning guide for solar thermal systems where the designer can find all the information that is needed and also the calculations which can be used to determine the area of solar collectors needed. This guide was made because it will help the designer when he is planning a solar thermal system. The main focus in this thesis is calculations needed to determine the energy that can be gathered from solar energy and also the area of solar collectors needed for a heating system.</p> <p>In first part of this thesis there is some basic information from the sun and solar thermal systems. In second part of this thesis there is knowledge about how to design a solar heating system. Theories in this thesis are from literature, and also from experts who are working in this field of studies.</p> <p>The main focus of this thesis was in usage of F-chart method. This method can be used to calculate the energy gained for different areas of solar collectors. F-chart method is useful when working with normal systems, where the system is used to gain energy for heating of domestic hot water and/or heating the heating water. This method is not very usable in systems where high temperatures are used.</p> <p>Solar thermal heating is quite large area of studies and it's relatively uncommon in Finland. In the future there will be built more systems to Finland that use solar energy. This leads to that more information about solar thermal systems is needed in Finland.</p> | | |
| Subject headings, (keywords) Solar thermal system, HVAC-desinging, solar, F-chart, solar collector | | |
| Pages 38 | Language Finnish | URN |
| Remarks, notes on appendices | | |
| Tutor Heikki Salomaa | Bachelor's thesis assigned by Granlund Lahti Oy | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 1 |
| 2 | AURINGOSTA SAATAVA ENERGIA | 2 |
| 2.1 | Auringon säteily | 2 |
| 2.1.1 | Auringon säteily Suomessa | 3 |
| 2.2 | Auringon säteilyn hyödyntäminen lämmityksessä | 4 |
| 2.3 | Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate | 4 |
| 3 | AURINKOKERÄIMET | 6 |
| 3.1 | Ilmakiertoinen aurinkokeräin | 6 |
| 3.2 | Nestekiertoinen aurinkokeräin | 7 |
| 3.3 | Tasokeräin | 7 |
| 3.4 | Tyhjiöputkikeräin | 8 |
| 3.4.1 | Heat pipe | 9 |
| 3.4.2 | Lämmönsiirto | 9 |
| 3.5 | Keräintyyppien vertailu..... | 10 |
| 3.6 | Aurinkokeräimen ylikuumentuminen ja stagnaatiolämpötila | 11 |
| 4 | AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS..... | 13 |
| 4.1 | Suunnittelun alkutiedot | 13 |
| 4.2 | Aurinkoenergian saannin varmistus | 14 |
| 4.3 | Keräimen sijainti | 14 |
| 4.4 | Keräimen kallistuskulma..... | 15 |
| 4.4.1 | Maksimaalinen tuotto kesällä..... | 16 |
| 4.4.2 | Koko vuoden tuoton painottaminen | 16 |
| 4.4.3 | Kevään tuoton vahvistus | 16 |
| 4.5 | Mitoitus käyttäen f-chart metodia | 16 |
| 4.6 | Varaajan mitoitus | 21 |
| 4.7 | Virtaamien valinta, pumpun ja siirtimen mitoitus | 21 |
| 4.7.1 | Pumppu..... | 22 |
| 4.7.2 | Lämmönsiirrin | 22 |
| 4.7.3 | Keräimen tuottama lämpötilaero | 25 |
| 4.8 | Yhdysputkisto | 25 |
| 4.9 | Keräimen kytkennät | 26 |
| 4.10 | Varolaitteiden mitoitus..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 4.10.1 Paisunta-astian mitoitus..... | 27 |
| 4.10.2 Varoventtiilin valinta..... | 29 |
| 4.11 Pumpun ohjaus..... | 30 |
| 4.12 Järjestelmän takaisinmaksuaika | 32 |
| 4.13 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus simulointiohjelmalla..... | 33 |
| 5 YHTEENVETO JA POHDINTA..... | 34 |
| LÄHTEET | 37 |

SANASTO

| | |
|--------------------------------|---|
| EPDM | EPDM-eriste koostuu eteeni- propeeni- ja dieeni-monomeereistä, EPDM-kumia käytetään monissa kohteissa hyvän kemiallisen- ja lämmönkestävyytensä vuoksi. |
| Aurinkokeräimen ylimitoitus | Ylimitoitettulla aurinkolämpöjärjestelmällä tarkoitetaan sellaista aurinkolämpöjärjestelmää, joka tuottaa (kesällä) enemmän lämpöenergiaa, kuin sitä pystytään hyödyntämään. |
| Keräinkenttä | Keräinalue, jossa useita keräimiä on liitetty yhteen. |
| Hajasäteily | Säteilyä, joka ei tule suoraan auringosta, vaan heijastuu epäsuorasti kohteeseen. |
| Stagnaatiolämpötila | Keräimen maksimilämpötila auringon paisteella silloin, kun neste ei virtaa. (Virtaukseton ja häviötön lämpötila) Lämpötila, jolloin keräimen lämpöhäviö ulkoilmaan on sama kuin keräimen tuottama lämpöenergia. |
| Keräimen menopuoli | Keräimelle menevä lämmönkeruupiirin viileämpi puoli. |
| Keräimen paluupuoli | Keräimeltä varaajaan palaava lämmönkeruupiirin kuumempi puoli. |
| Lämmönvaihtimen korjauskerroin | Lämmönvaihtimen korjauskerroin on sovelluskohtainen kerroin. Normaalisovelluksissa vastavirtalämmönsiirtimillä korjauskerroin on noin 1. |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä suunnitteluohje, jonka avulla nestekier-
toisen aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu helpottuisi. Tarkoituksena on myös, että
kaikki suunnitteluun tarvittava tieto löytyisi samasta paikasta. Tähän opinnäytetyöhön
sisältyvät keräinpinta-alan mitoitus, varaajan mitoitus, putkien sekä paisunta- ja
varolaitteiden mitoitus, erilaisten käyttösovellusten esittäminen sekä se, kuinka järjes-
telmää ohjataan.

Aurinkolämpöjärjestelmän suunnitteluohjeen tekemiseen tarvitaan paljon taustatietoja
aiheen ympäriltä. Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa käydään läpi teoriaa, joka liit-
tyy aurinkolämpöjärjestelmiin. Opinnäytetyön toisessa osassa keskitytään aurinko-
lämpöjärjestelmän suunnitteluun tarvittaviin tietoihin sekä mitoitukseen.

Tavoite työssä on luoda kattava suunnitteluohje, joka sekä nopeuttaa että selkeyttää
suunnittelijan työtä, kun ollaan suunnittelemassa aurinkolämpöjärjestelmää.

Tulevaisuudessa aurinkolämpöjärjestelmät yleistyvät, koska auringosta saatava ener-
gia on ympäristöystävällistä. Energian hinta on jatkuvasti nousussa, joten aurinkoläm-
pöjärjestelmät tarjoavat ratkaisun pienentää energialaskua.

2 AURINGOSTA SAATAVA ENERGIA

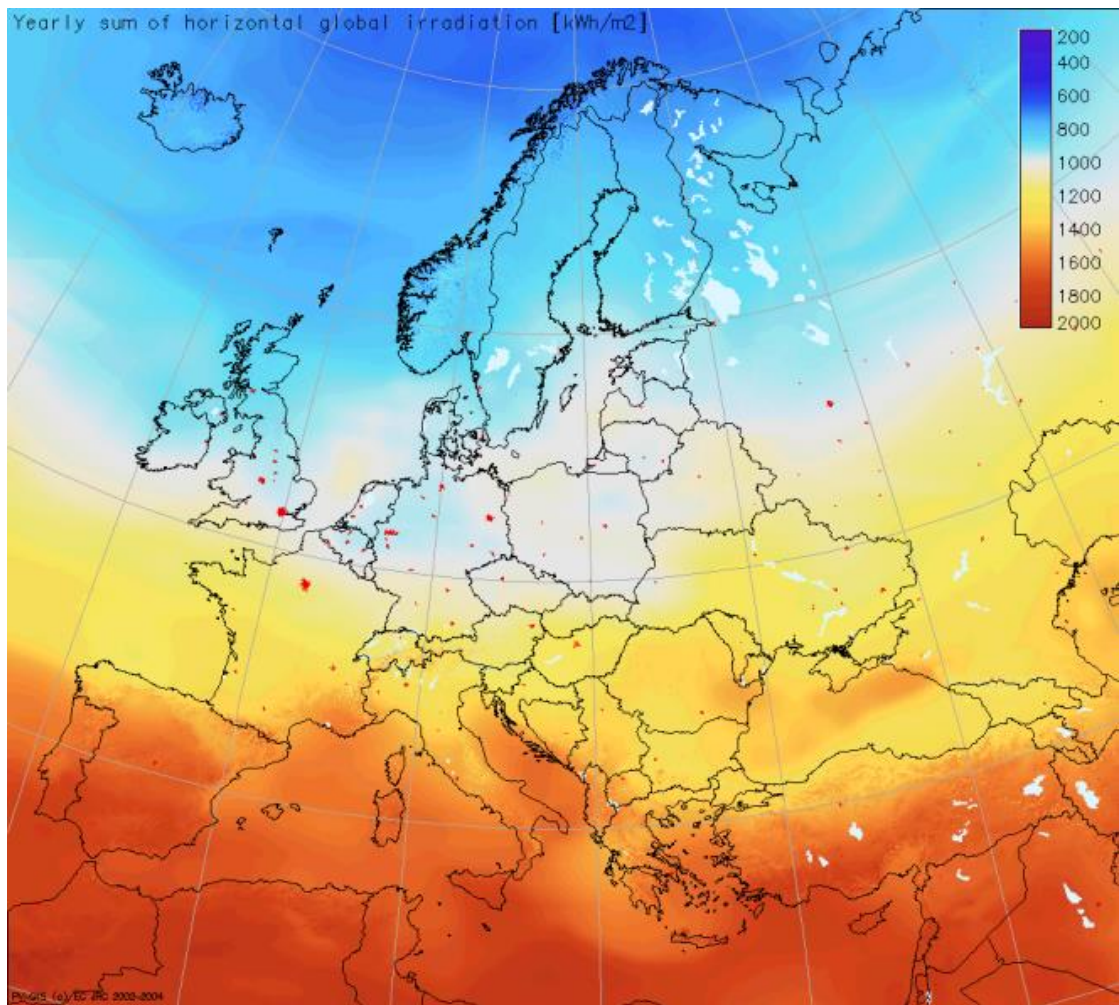
Aurinko on halkaisijaltaan $1,39 \times 10^9$ metrinen kaasupallo, jonka kuori koostuu pääosin vedystä sekä heliumista. Muita auringon kuoren aineita ovat natrium, rauta, kalsium, magnesium, nikkeli, barium, kupari, typpi ja hiili. Aurinko tuottaa suuren määrän energiaa, kun 2 vetyatomia ydintä, 2 neutronia ja 2 protonia yhtyvät heliumatomin ytimeksi. Tätä energian saantimuotoa kutsutaan fuusioreaktioksi. Auringon fuusioreaktioiden tuottama teho on noin $3,8 \times 10^{23}$ kW. Maapallolle aurinko säteilee noin $1,7 \times 10^{14}$ kW:n teholla. /2./

Ilmakehän rajalla (ulkopuolella) olevalle pinta-alaltaan 1 m^2 kokoiselle pinnalle säteilevän auringon teho on 1,35–1,39 kW, tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Tehoa, joka kohtaa maanpinnan, kutsutaan välittömäksi aurinkovakioksi. Välitön aurinkovakio on päivällä noin 0,8-1,0 kW/ m^2 . /2./

2.1 Auringon säteily

Säteilyn määrä vaihtelee leveyspiirin, vuodenajan ja vuorokaudenajan mukaan. Lisäksi vesihöyrystä sekä molekyyleistä koostuva ilmakehä heikentää suuresti maan päälle saapuvan säteilyn määrää. Maanpinnalle tulee kolmea erilaista säteilyä: suoraa auringon säteilyä, diffuusista auringon säteilyä (hajasäteily) sekä ilmakehän vastasäteilyä. Suora auringonsäteily on suoraan ilmakehän läpi tulevaa säteilyä.

Hajasäteily on ilmakehän partikkeleiden heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä. Vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle, tätä kutsutaan vastasäteilyksi. Nykyään paljon keskustelua aikaan saanut kasvihuoneilmiö saa aikaan vastasäteilyä. Kuvassa 1 on esitetty Euroopassa vaakasuoralle pinnalle osuva säteily (kWh/m²) /2./



KUVA 1. Vuosittainen auringon säteily Euroopassa [kWh/m²] /14/

2.1.1 Auringon säteily Suomessa

Suomessa aurinko paistaa parhaiten huhtikuusta syyskuuhun, joten Suomessa käytettävät sovellukset ovat yleensä sellaisia, joissa tarvitaan lämpötehoa tähän aikaan vuodesta. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkolämmön pääkäyttö Suomessa on lämpimän käyttöveden lämmittäminen. Aurinkolämpöä voidaan käyttää myös päälämmitysjärjestelmän tukemiseen, mutta varsinaista lämmitysjärjestelmää ei kannata mitoittaa kokonaan aurinkoenergialle, koska silloin keräinpinta-alat sekä varaajan koko kasvavat suhteettoman suuriksi. Vaakatasoon saatava vuosittainen energiamäärä on Etelä-Suomessa noin 1000kWh/m² ja Keski-Suomessa noin 900 kWh/m². Aurinkokeräimeen osuvaan säteilyyn vaikuttaa keräimen suuntauskulma. /2./

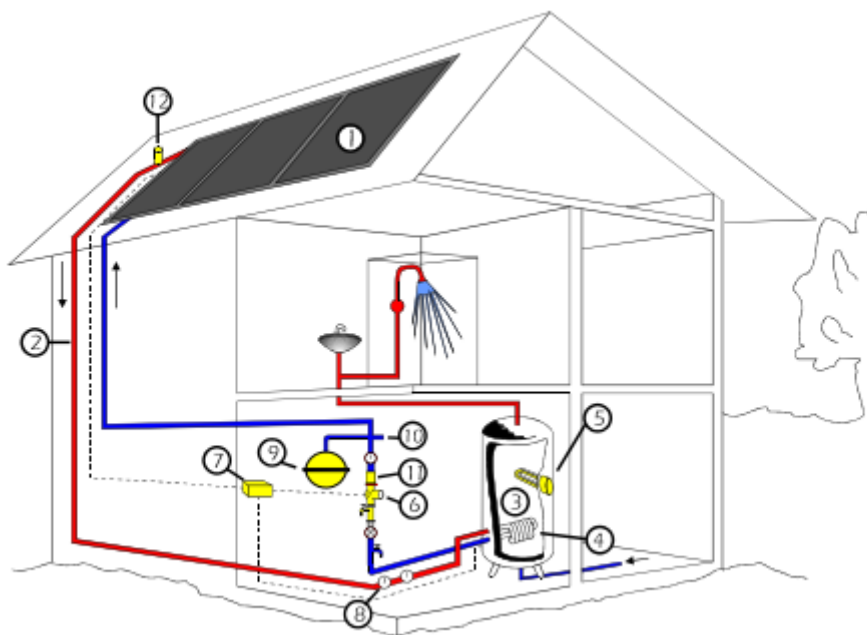
2.2 Auringon säteilyn hyödyntäminen lämmityksessä

Passiivisessa aurinkolämmityksessä rakennus varastoi auringon säteilystä lämpöenergiaa rakenteisiin auringon paistaessa ja täten luovuttaa auringon lämmön sisätiloihin. Kaikki rakennukset varastoivat aurinkoenergiaa, mutta energian varastoinnin määrä vaihtelee huomattavasti rakennuksen sijoituksen, muodon, suuntauksen, ikkunoiden koon, sijainnin sekä käytettyjen materiaalien mukaan. /2./

Tässä opinnäytetyössä keskitytään aurinkoenergian aktiiviseen hyödyntämiseen. Aktiivisessa aurinkolämmityksessä aurinkoenergiaa käytetään suoraan hyödyksi, kun taas lähes kaikissa muissa lämmitysjärjestelmissä auringon energia on varastoitunut pitkässä biologisessa prosessissa toiseen muotoon, kuten öljyyn, hiileen, maakaasuksi tai orgaaniseksi aineeksi fotosynteesin kautta. Myös maalämpöpumppu ottaa pääosan energiastaan maahan varastoituneesta auringon energiasta. /2./

2.3 Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkolämmitysjärjestelmään kuuluu useita komponentteja sekä laitteita. Keskeisimmät järjestelmän osat ovat aurinkokeräin, pumppuyksikkö, varaaja, putkisto, säätösäiliö, paisunta-astia sekä lämmönvaihdin. Komponentit on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Nestekiertoinen aurinkolämpöjärjestelmä /8/

Aurinkokeräimessä (1) auringon säteily muunnetaan lämmöksi. Lämpö siirretään lämmönsiirtonesteen avulla lämmitysvaraajaan (3). Lämmitysvaraajassa auringolla tuotettu lämpö siirretään lämmönvaihtimen (4) kautta lämmitysvaraajassa olevaan veteen. Lämpönsä luovutettua jäähtynyt lämmönsiirtoneste siirretään pumpun avulla takaisin aurinkokeräimeen.

Säätöyksikkö (7) pitää huolen siitä, että pumppu pumpkaa lämmönsiirtonesteen keräimelle silloin, kun aurinkokeräimen lämpötila on korkeampi kuin lämmitysvaraajan lämpötila. Paisunta-astialla (9) kompensoidaan lämpötilan mukaan vaihtuvaa lämmönsiirtonesteen tilavuutta. Varoventtiili (10) asennetaan myös järjestelmään, jotta mahdollinen ylipaine saadaan purettua pois järjestelmästä. Järjestelmään kuuluu myös yksisuuntaventtiili (11), joka estää sen, ettei lämmitysvaraajan lämmin vesi pääse painovoimaisesti kulkemaan aurinkokeräimelle silloin, kun pumppu ei ole toiminnassa. Lisäksi järjestelmän korkeimpaan kohtaan asennetaan ilmausventtiili (12), jotta järjestelmässä oleva ilma saadaan poistettua järjestelmästä. /8./

3 AURINKOKERÄIMET

Aurinkokeräin muuttaa vastaanotetun auringon säteilyn lämmöksi, joka siirretään väliaineen mukana lämpövaraajaan tai otetaan suoraan käyttöön. Lämmönsiirron väliaineena käytetään nestettä tai ilmaa. Aurinkokeräimiä on olemassa sekä nestekiertoisia että ilmakiertoisia. Nestekiertoiset aurinkokeräimet voidaan jakaa vielä kolmeen eri päätyyppiin: uima-allaskeräimiin, tasokeräimiin sekä tyhjiöputkikeräimiin. Tässä opinnäytetyössä keskitytään aurinkolämpöjärjestelmiin, joissa käytetään nestekiertoisia aurinkokeräimiä. /5./

Eri keräimet soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Korkean lämpötilan sovelluksissa käytetään yleensä tyhjiöputkikeräimiä. Käyttöveden ja lämmityksen tukemiseen käytetään yleisesti selektiivisiä tasokeräimiä. Uima-altaan lämmitykseen kesäisin käytetään edullisia uima-allaskeräimiä. Ilman lämmittämiseen ja rakenteiden kuivattamiseen käytetään ilmakeräintä. /3./

3.1 Ilmakiertoinen aurinkokeräin

Ilmakeräin käyttää ilmaa lämmönsiirtoaineena. Ilmakeräimellä lämmönsiirto sekä lämmönvastaanotto kyky ovat heikompia kuin nestekiertoisella keräimellä. Ilman avulla siirrettäessä samaa lämpömäärää kuin nesteen avulla tarvitaan n. 4000 kertaa suurempi tilavuusvirta, joten tämä edellyttää ilmakeräimellä suuria kanavakokoja, sillä virtausnopeudet ovat samat käytettäessä nestekeräintä ja ilmakeräintä. /2./

Ilman hyödyt verrattuna nesteeseen:

- Ilma ei jäädy.
- Ilman kanssa ei ilmene yllä lämpenemisongelmia.
- Vuodot eivät vahingoita muita rakenteita.
- Ilman lämpeneminen on suhteellisesti nopeampaa.
- Ei ole ongelmia korroosion kanssa.
- Keräimet ovat helpompia rakentaa.

Ilman haitat verrattuna nesteeseen:

- Lämpökapasiteetti on alhainen.

- Säädettävyys on vaikeampaa.
- Soveltuu huonommin nesteiden lämmittämiseen (esim. käyttövesi).

3.2 Nestekiertoinen aurinkokeräin

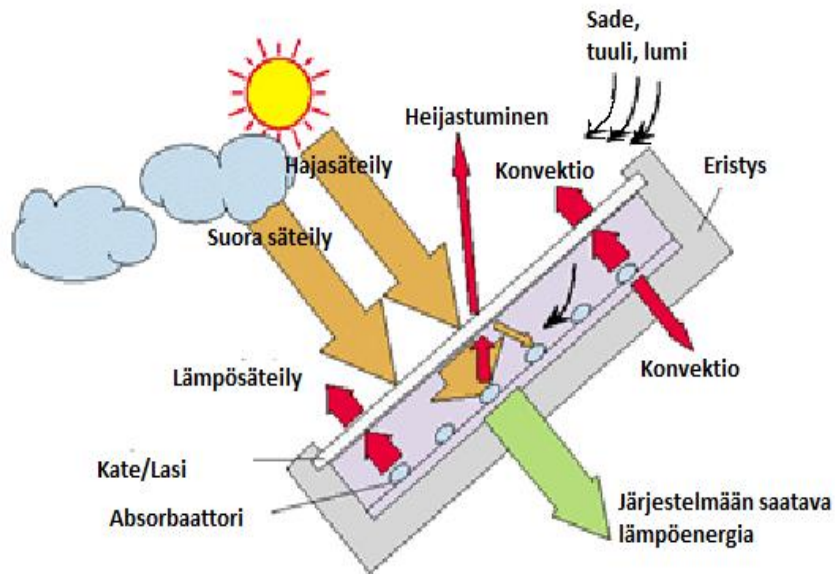
Nestekiertoisessa keräimessä lämpö siirtyy absorbaattorista nesteeseen. Lämmönsiirrin eli absorbaattori on yleensä rakenteeltaan kaksinkertainen levy tai tiheä yhteen liitetty putkisto. Absorbaattorissa on hitsaamalla tai paineella aikaansaatu kanavisto tai sen päälle on tehty putkisto. /2./

Kanavisto/putkisto on kytketty rinnan, jotta neste jakaantuu tasaisesti keräimen ala- ja yläreunassa meneviin putkiin. Absorbaattorin ylä- ja alareunassa putkisto yhdistyy kokoojaputkiin, näillä putkilla elementit liitetään yhteen. Myös sarjaan kytketty kanavisto on mahdollinen, jolloin neste kiertää absorbaattoria yhdessä pitkässä putkessa. Putket valmistetaan lähes aina kuparista, mutta absorbaattorilevy voi olla myös alumiinia. /2./

Vesi on paras lämmönsiirtoneste, mutta sitä voidaan käyttää vain järjestelmissä, joissa jäätyminen on estetty. Ympäri vuoden käytettävissä keräimissä lämmönsiirtonesteinä voidaan käyttää esimerkiksi vesi-propyleeni-glykoliseosta tai vesi-etyleeni-glykoliseosta. Nämä nesteet alentavat jäätympistettä ja nostavat kiehumispistettä, mutta veteen verrattuna näiden nesteiden lämmönsiirto-ominaisuudet sekä pumpattavuus ovat heikompia. /2./

3.3 Tasokeräin

Tasokeräin on eniten käytetty aurinkokeräintyyppi ympäri maailmaa asuinrakennusten lämpimän käyttöveden tai lämmitysveden lämmittämiseen. Tasokeräimet ovat edullisempia kuin tyhjiöputkikeräimet, mutta hyötysuhde jää yleensä hieman pienemmäksi. Tasokeräimet ovat kestäviä ja tehokkaita, sekä niiden tuottama toimintalämpötila ylittää jopa +100 °C lämpötilaan. Suuri etu käytettäessä tasokeräintä on sen toiminta talviolosuhteissa, koska lämpimämmän pintalämpötilan avulla lumi sulaa keräimen pinnalta pois tehokkaammin (verrattuna tyhjiöputkikeräimeen) /9./



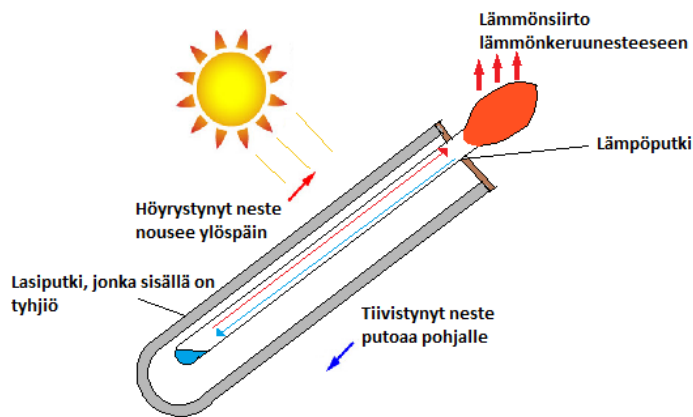
KUVA 4. Tasokeräimen periaatekuva /13/

Tasokeräiin koostuu neljästä osasta: absorbaattori, kate, kotelo ja eristys. Tasokeräimen rakenne näkyy kuvassa 4. Absorbaattori on tummasti pinnoitettu materiaali, usein esimerkiksi kuparipelti, putket sijaitsevat tämän kuparilevyn alla tai päällä valmistustavasta riippuen. Absorbaattoripinnoite on selektiivinen, joka tarkoittaa sitä, että auringonsäteet ”imeytetään” absorbaattoriin ja muutetaan lämmöksi (absorptio: α on noin 94-96%) . Vain pieni osa energiasta palaa takaisin ympäristöön (emissio ϵ on noin 4-6%). Selektiivisyydestä on suuri hyöty varsinkin matalissa ulkolämpötiloissa silloin, kun auringon säteet tulevat heikosti absorbaattoriin. /1./

Läpinäkyvä kate on olennainen osa tasokeräimessä, koska kate alentaa keräimen lämpöhäviöitä huomattavasti. Katteen ominaisuudet vaikuttavat paljon keräimen hyötysuhteeseen. Esimerkiksi liian paksu kate voi aiheuttaa tehon menetyksiä aurinkokeräimessä. /2./

3.4 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimessä ilma on poistettu lähes kokonaan. Ilman poistosta johtuen konvektion osuus laskee jyrkästi, joten hyötysuhde on parempi korkeissa toimintalämpötiloissa verrattuna tasokeräimeen. Tyhjiön ansiosta tyhjiöputkikeräimellä voidaan saavuttaa korkeampia lämpötiloja kuin tasokeräimellä Tyhjiöputki kuvassa 5. /2./



KUVA 5. Heat pipe Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputki voi olla rakenteeltaan joko yksilasinen tai kaksilasinen.

Tyhjiöputken absorbaattoripintaan tulevaa säteilyä voidaan lisätä koverilla heijastavilla pinnoilla. Tällaista keräintä kutsutaan keskittäväksi keräimeksi.

3.4.1 Heat pipe

Lämpöputkessa (heat pipe) on helposti höyrystyvä neste, joka muodostaa oman lämpöpiirin. Neste höyrystyy tyhjiöputkessa, minkä jälkeen höyry nousee lämpöputken yläosaan, jossa höyry luovuttaa lämpönsä keräimen yläosassa liikkuvaan lämmönsiirtonesteeseen. Lämpönsä luovutettua aine lauhtuu ja palaa takaisin nestemäiseen olomuotoon, jolloin se valuu takaisin putken pohjalle. Lämpöputkityyppinen lämmönsiirtoliitos on kuiva liitos, joka tekee mahdolliseksi keräimen yksittäisten tyhjiöputkien helpon vaihtamisen. /2./

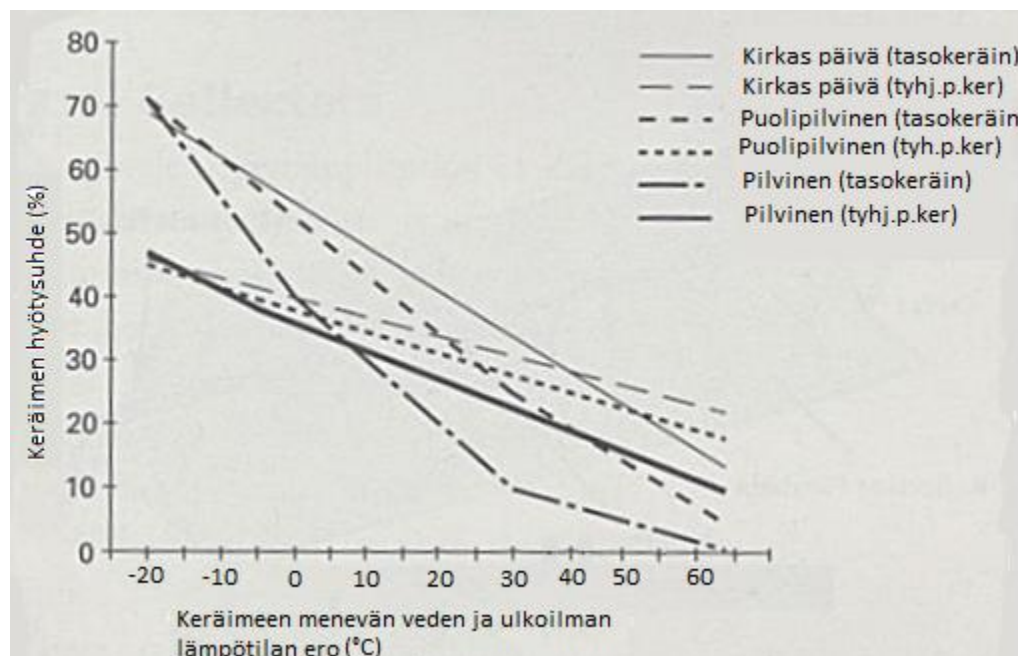
3.4.2 Lämmönsiirto

Lämmönsiirto tyhjiöputkesta lämmönsiirtonesteeseen voi tapahtua joko läpivirtausperiaatteella tai lämpöputken avulla. Tyhjiöputkikeräimissä, jotka toimivat läpivirtausperiaatteella, neste virtaa joko sisäkkäin olevista putkista muodostetussa koaksiaaliputkessa tai u:n muotoisessa putkessa. /2./

3.5 Keräintyyppien vertailu

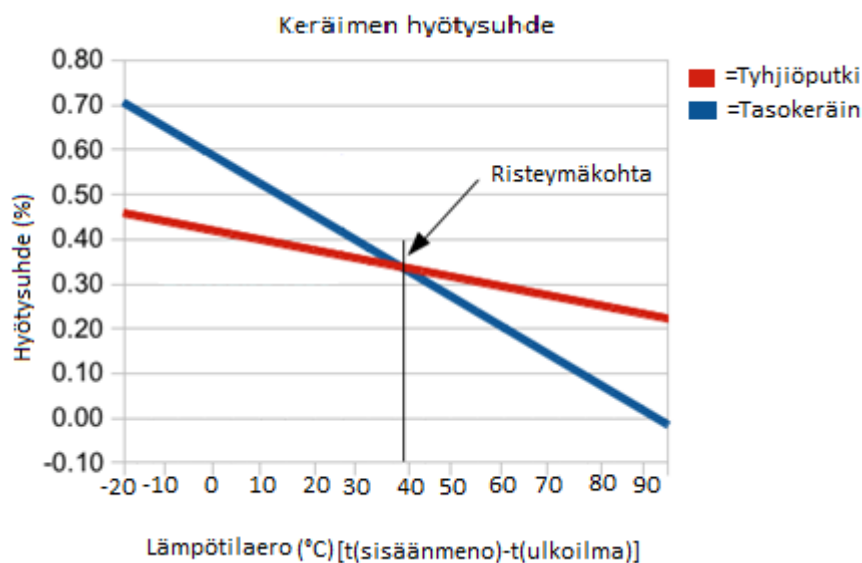
Tyhjiöputkikeräimiä käytettäessä on syytä huomioida muutama asia. Ensinnäkin korkeamman lämpötilan takia järjestelmä voi ylikuumentua helpommin verrattuna tasokeräimeen. Lisäksi tyhjiöputket on valmistettu hehkutetusta lasista, joka särkyi huomattavasti helpommin verrattuna karkaistuun lasiin. Talvella ongelmana tyhjiöputkikeräimissä on se, että alhaisemman pintalämpötilansa johdosta keräimen päälle satava lumi ei sulaa helposti, joten talvella lumi voi estää keräimen toiminnan pitkänkin aikaa, ellei sitä puhdisteta lumesta. Lasin hauraudesta johtuen lumen kaapiminen pois voi rikkoa tyhjiöputkia. Heat pipe tyyppistä tyhjiöputkikeräintä ei suositella asennettavaksi alle 30° kulmaan, koska tällöin kondensoitua kylmäainetta ei pääse välttämättä takaisin lämpöputken pohjalle. /5./

Jos järjestelmältä halutaan korkeampia lämpötiloja, niin silloin tyhjiöputkikeräin on parempi valinta, koska hyvän eristeensä (tyhjiön) ansiosta tyhjiöputkilla päästään korkeampiin toimintalämpötiloihin kuin tasokeräimellä. Myös pilvisellä kelillä tyhjiöputkikeräimellä saadaan tuotettua enemmän lämpöenergiaa kuin tasokeräimellä. Tasokeräimen ja tyhjiöputkikeräimen toiminta pilvisinä päivinä on esitetty kuvassa 7. /5./



KUVA 7 Keräinten hyötysuhteet pilvisellä säällä /5/

Yleisesti puhutaan, että tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde olisi parempi verrattuna tasokeräimen hyötysuhteeseen. Tyhjiöputkikeräimessä olevan tyhjiön avulla se on eristetty paremmin, mutta normaaleissa toimintalämpötiloissa tasokeräimen hyötysuhde on korkeampi verrattuna tyhjiöputkikeräimeen. Tyhjiöputkikeräin toimii tasokeräintä paremmalla hyötysuhteella vasta, kun keräimeen menevän nesteen ja ulkoilman lämpötilaero ylittää 40 °C lämpötilan. Tämän johdosta talvella tyhjiöputkikeräin toimii paremmalla hyötysuhteella kuin tasokeräin, mutta kesällä tasokeräimen hyötysuhde on parempi. Hyötysuhteet on esitetty kuvassa 8. /5./



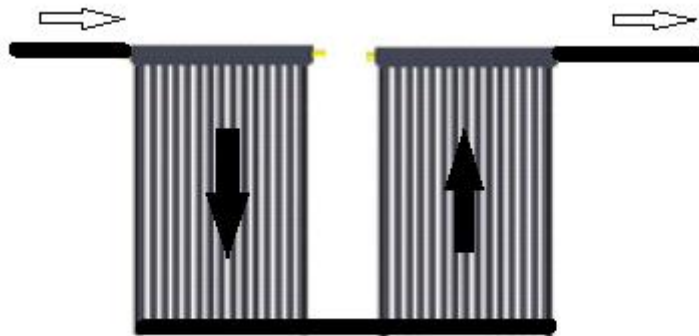
KUVA 8. Tasokeräimen ja tyhjiökeräimen hyötysuhdekäyrä /5/

3.6 Aurinkokeräimen ylikuumentuminen ja stagnaatiolämpötila

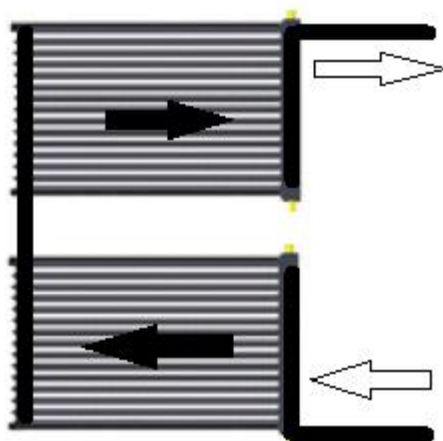
Aurinkolämpöjärjestelmän ylikuumentuminen tapahtuu silloin, kun aurinkokeräin tuottaa enemmän energiaa kuin sitä pystytään hyödyksi käyttämään. Tämä tapahtuu silloin, kun lämmitysvaraajan lämpötila saavuttaa sille asetetun maksimiarvon, esimerkiksi 80 °C. Tällöin säädin sammuttaa kiertopumpun. Keräin saavuttaa nopeasti stagnaatiolämpötilan, ja jos ylikuumentumiseen ei ole varauduttu, niin keräimessä oleva neste alkaa kiehua. Stagnaatiolämpötilalla tarkoitetaan keräimen maksimilämpötilaa silloin, kun neste on pysähtyneenä keräimessä ja keräimen lämpöhäviö on yhtä suuri kuin keräimen tuotto. Stagnaatiolämpötila aurinkokeräimessä asettuu 150°C ja 300°C välille. Näissä lämpötiloissa paine keräimessä kasvaa suuresti, ja keräimen sisällä oleva neste alkaa kiehua. /1./

Kiehumisen haittojen estämiseksi paras keino on suunnitella putkisto siten, että keräimissä oleva neste pääsee helposti takaisin paisunta-astiaan. Esimerkiksi jos putket on suunniteltu kuvassa 9 näkyvällä tavalla, neste jää loukkuun keräimen pohjalle ja neste jatkaa kiehumista siihen asti, kunnes kaikki neste on haihtunut pois. Tässä tapauksessa järjestelmän paine nousee todella korkeaksi. Putkisto pääsee valuttamaan nesteen paisunta-astiaan, kun putkisto sekä aurinkokeräimet järjestellään toisella tavalla, kuten kuvassa 10 on esitetty. Kun neste alkaa kiehua, höyrykuplat nousevat ylös ja järjestelmän nouseva paine pakottaa nesteen paisunta-astiaan, tällöin keräin tyhjenee nesteestä ja haitallista paineen nousua ja liiallista nesteen kiehumista ei tapahdu. /1./

Paisunta-astian koko tulee olla mitoitettu siten, että kaikki laajentunut neste mahtuu paisunta-astiaan. Venttiilit tulee olla asennettuina siten, että ylikuumennut neste pääsee paisunta-astiaan sekä meno- että paluupuolelta. Kiertopumppu on oltava sijoitettuna järjestelmän kylmälle menopuolelle siten, että imupuoli on aina yhteydessä nesteeseen. /1./



KUVA 9 Aurinkokeräinten kiehumisen kannalta huono asennustapa



KUVA 10 Kiehumisen eston kannalta paras asennustapa

4 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Tässä suunnitteluohjeessa käydään läpi aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelua pienissä sekä suurissa lvi-järjestelmissä. Suomessa aurinkolämpöjärjestelmä suunnitellaan yleensä käyttöveden lämmittämiseen, koska kylmänä vuodenaikana auringosta saatava energiamäärä on pientä verrattuna kesällä saatavaan energiamäärään. Kesällä aurinkoenergialla voidaan lämmittää jopa 100 % lämpimästä käyttövedestä, mutta tämä edellyttää mitoituksen täydellistä onnistumista. Aurinkolämpöjärjestelmä sopii myös matalalämpöjärjestelmien käyttötueksi,

4.1 Suunnittelun alkutiedot

Suomessa aurinkoenergialla ei voida tuottaa läheskään kaikkea energiaa, jota tarvitaan rakennuksen lämmittämiseen, koska talvella tarvitaan suurin osa lämmitysenergiasta. Siksi aurinkolämmitysjärjestelmä suunnitellaan päälämmitysjärjestelmän tueksi, sekä käyttöveden lämmitykseen. Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu käyttöveden lämmitykseen perustuu tiedossa olevaan lämpimän käyttöveden kulutukseen sekä tiedossa olevaan lämmitysenergian tarpeeseen, jos järjestelmää suunnitellaan käytettäväksi myös lämmityksen tukemiseksi. Jos lämpimän käyttöveden kulutusta ei tunneta, se on osattava arvioida. /2;8./

Järjestelmän mitoituksessa ja suunnittelussa tarvittavat tiedot:

- Lämpimän käyttöveden tarve
- Päälämmitysjärjestelmän toiminta
- Varaajatilavuus
- Komponenttien sijoittaminen
- Keräintyyppin valinta
- Keräimen suuntaus
- Keräimen kallistuskulma
- Keräinpinta-alan ja virtausnopeuden mitoittaminen
- Lämmönvaihtimen valinta
- Putkilinjojen mitoittaminen
- Pumpun valinta
- Säätimen valinta.

4.2 Aurinkoenergian saannin varmistus

Aurinkoenergian hyödyntämisen lähtökohtana on, että auringon säteet saadaan osu-
maan aurinkokeräimeen. Aurinkoenergian kerääminen onnistuu parhaiten silloin, kun
aurinkokeräin on sijoitettuna siten, että siihen osuu auringon säteilyä jokaisena kuu-
kautena. Käytännössä tällainen ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä muut rakennelmat,
puut, mäet, tms. varjostavat aurinkokeräintä erityisesti silloin, kun aurinko paistaa
matalalta.

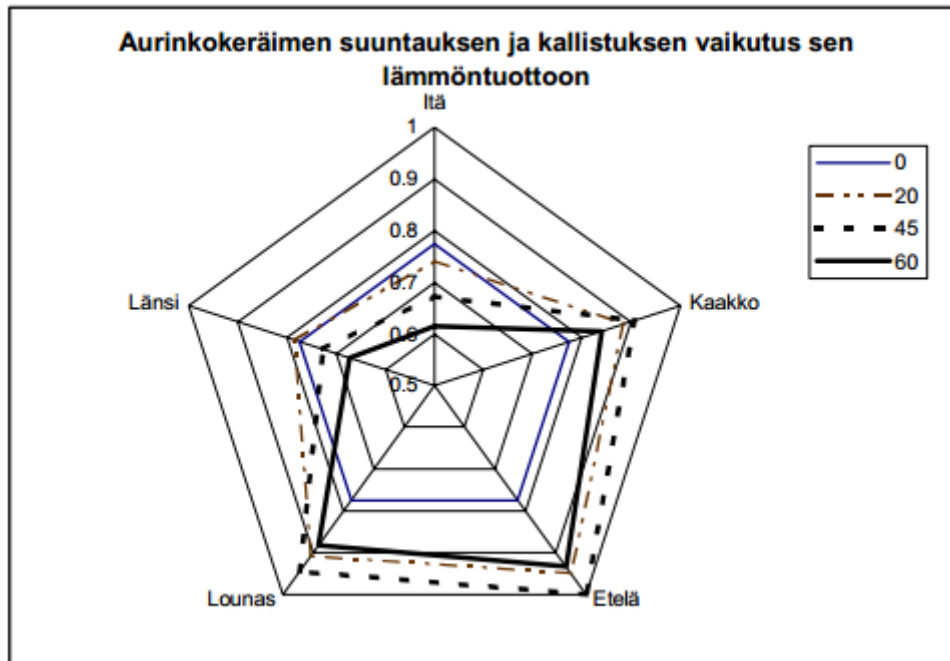
Osittainen varjostus ei estä aurinkokeräintä toimimasta, mutta se alentaa sen hyö-
tysuhdetta. Aurinkoenergian saantimahdollisuus riippuu vapaasta paistekulmasta. Va-
paan paistekulman vaikutus aurinkoenergian saantiin on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Auringon vapaa paistekulma Etelä-Suomessa /2/

| Vapaa auringon paistekulma | Aikaväli, jolloin aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää | Suhteellinen aurinkoenergian saantimahdollisuus |
|-------------------------------|--|--|
| 85° | 1.1-31.12 | 100 % |
| 80° | 22.1-21.11 | n. 91% |
| 75° | 9.2-1.11 | n. 83% |
| 70° | 24.2-18.10 | n. 77% |
| 65° | 7.3-5.10 | n. 68% |
| 60° | 20.3-22.9 | n. 59% |
| 55° | 3.4-9.9 | n. 51% |
| 50° | 16.4-26.8 | n. 42% |

4.3 Keräimen sijainti

Keräimen sijoitusta pohdittaessa tärkeintä on luonnollisesti valita paikka, johon auri-
gon säteet osuvat pisimpään. Parhaaksi todettu asennussuunta on etelään päin. Myös
kaakon ja lounaan välinen asennus on todettu hyväksi. Lounaan ja kaakon väliseen
sijoitukseen päädytään yleensä esimerkiksi silloin, kun etelänpuoleisessa asennuksessa
auringon säteiden tielle osuu jokin este, esimerkiksi rakennus. Suuntaepikeama $\pm 45^\circ$
etelästä heikentää aurinkokeräimen vuosituottoa noin 10%. Itään ja länteen päin sijoi-
tusta olisi hyvä välttää, koska tällaisella sijoituksella keräimiä voidaan hyödyntää vain
kesäaikaan. /2./



KUVA 12. Aurinkokeräimen suuntauksen ja kallistuksen vaikutus lämmöntuottoon vuositasolla /8/

4.4 Keräimen kallistuskulma

Keräimen paras kallistuskulma riippuu käytettävästä järjestelmästä sekä siitä, halutaanko painottaa esimerkiksi koko vuoden tuottoa vai panostetaanko kesällä maksimaaliseen tuottoon. Keräimen suuntauksen ja kallistuksen vaikutus lämmöntuottoon on esitetty kuvassa 12. Kuvassa on neljä eri kallistuskulmaa (0°, 20°, 45°, 60°), joiden avulla voidaan katsoa korjauskerroin erilaisille keräimen suuntauksille. Asennuskulman valintaan haasteita Suomessa tuovat myös talvinen lumi ja jäätyminen. Kulma on valittava siten, että lumi ja jää eivät haittaavassa määrin kerry siihen varsinkin, jos keräimestä halutaan saada energiaa talteen myös talvella. Keräimen asennuskulmaan vaikuttaa myös rakennuksen kattotyyppe. Usein varsinkin pientaloissa optimaaliseen tulokseen päästään, kun asennetaan keräimet katon suuntaisesti. Muussa tapauksessa katolle on tehtävä erilaisia tukirakenteita ja keräintelineitä, jotka kasvattavat kustannuksia. /2;5./

4.4.1 Maksimaalinen tuotto kesällä

Loiva asennuskulma on paras, jos järjestelmän suunnittelussa halutaan panostaa kesäkauden energian tuottoon. Loivalla asennuskulmalla tarkoitetaan noin 30° kulmaa. Loivaa asennuskulmaa käytettäessä keräimen suuntaus voi olla myös kaakkoon tai lounaaseen ilman suurta hyödyksi saatavan tehon menetystä. /2./

4.4.2 Koko vuoden tuoton painottaminen

Keräimen asennuskulma tulisi olla noin 45° , jos keräimen tuotto halutaan optimoida siten, että se tuottaa energiaa läpi vuoden. Pohjoisessa voidaan käyttää hieman suurempaa ja etelässä hieman pienempää kulmaa. /2./

4.4.3 Kevään tuoton vahvistus

Kevättalven tuottoa vahvistettaessa keräimen kulma kannattaa nostaa pystymmäksi noin 60° kulmaan. Pohjois-Suomessa asennuskulmaa voidaan vielä jyrkentää siten, että kulma olisi noin $70\text{--}80$ astetta. Jyrkän asennuskulman käyttö pienentää kesällä hyödyksi saatavaa energiaa, mutta toisaalta mahdollistaa keräinalan ylimitoituksen. Ylimitoitus voidaan tehdä ilman suurta ylikuumenemisriskiä kesällä. /2./

4.5 Mitoitus käyttäen F-chart metodia

Tässä kappaleessa käydään läpi aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelua käyttäen F-chart metodia. Tällä menetelmällä voidaan laskea vuosittainen aurinkoenergialla tuotettu energiamäärä järjestelmissä, joissa menolämpötila on noin 20°C , joten se soveltuu hyvin käytettäväksi normaalisovelluksien suunnitteluun. F-chart metodi on kehitetty S.A. Kleinin ja W.A. Beckmanin toimesta Yhdysvalloissa Wisconsinin yliopistossa.

F-chart metodilla voidaan arvioida se osuus käyttöveden sekä lämmityksen lämpöenergiasta, joka voidaan tuottaa aurinkoenergialla. Tärkein suunnittelutieto tätä metodia käytettäessä on keräinpinta-ala. Seuraavaksi tärkeimmät tiedot ovat keräimen tyyppi, varaajan tilavuus, virtaamat sekä lämmönvaihtimen tyyppi. F-chart metodi on kehitetty kolmea erilaista järjestelmäratkaisua varten. Metodia käytetään, kun suunnit-

tellaan, että aurinkokeräintä käytetään lämmityksessä, lämmityksessä sekä lämpimän käyttöveden tuottamisessa sekä kun tuotetaan pelkkää lämmintä käyttövettä. /1./

Laskeminen aloitetaan laskemalla X- sekä Y- arvot, joita käyttäen lasketaan aurinkolämmön osuus kuukausittaisesta lämpöenergian tarpeesta tilojen ja käyttöveden lämmitykseen.

$$X = \frac{Ac * F' r * Ul * (T_{ref} - T_a) * \Delta t}{L} \quad (1)$$

$$Y = \frac{Ac * F' r * (\tau \alpha) * Ht * N}{L} \quad (2)$$

Merkkien selitykset

A_c = Keräinpinta-ala (m^2)

$F' r$ = Keräimen lämmönvaihtimen hyötysuhdekerroin

U_l = Keräimen häviökerroin ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Δt = Kuukauden sekunnit

T_a = Kuukauden keskilämpötila ($^\circ C$)

T_{ref} = Empiirisesti johdettu referenssilämpötila ($100 \text{ } ^\circ C$)

L = Kuukausittainen lämpöenergia lämmitykselle sekä lämpimälle käyttövedelle (J)

H_t = Kuukausittainen keskiarvo säteilystä joka osuu keräimeen (J/m^2)

N = Päivien lukumäärä kuukaudessa

$(\tau \alpha)$ = Optinen hyötysuhde

Kaavassa numero 3 lasketaan aurinkolämmön vuosittainen osuus kokonaisenergiasta

$$\mathcal{F} = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (3)$$

f_i , = kuukausittainen osuus lämmityksen, sekä käyttöveden lämmittämisen kokonaisenergiasta, joka tuotetaan aurinkoenergialla.

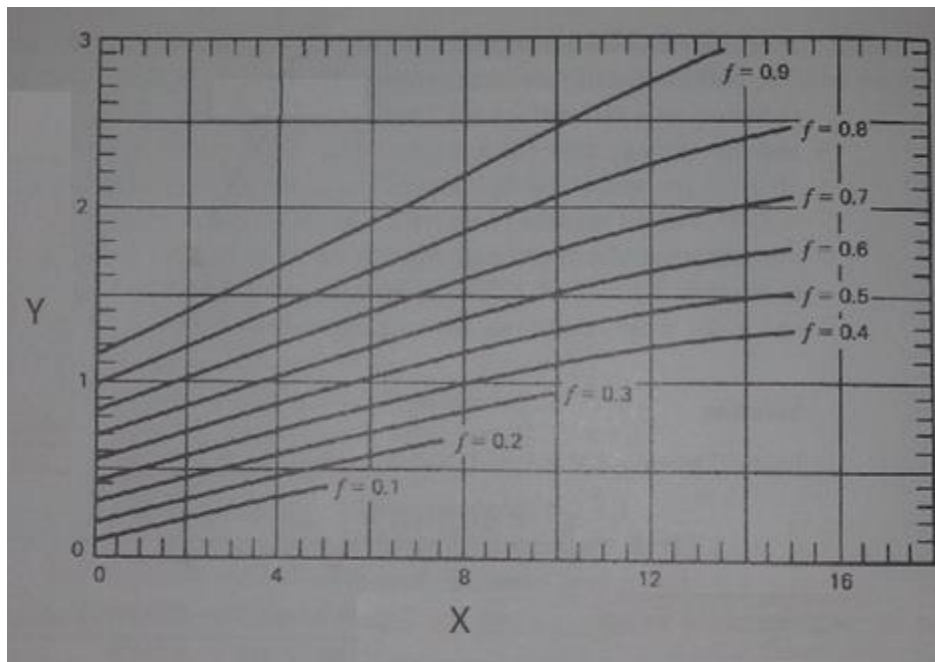
L_i = Lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava kokonaisenergia.

\mathcal{F} = Aurinkolämmön vuosittainen osuus kokonaisenergiasta.

Aurinkolämmön osuus kuukausittaisesta lämpöenergian tarpeesta tilojen ja käyttöveden lämmitykseen (f) voidaan laskea seuraavalla kaavalla numero 4. Kaavassa tarvittavat arvot X ja Y voidaan laskea kaavoilla 1 ja 2.

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (4)$$

Kaava numero 4 antaa kerroinluvun siitä, kuinka monta prosenttia lämpöenergiatarpeesta voidaan tuottaa aurinkoenergialla. Vaikka tuloksena voidaan saada arvoja, jotka ovat suurempia kuin 1, ei niitä tule huomioida laskussa, vaan arvoksi on valittava 1, koska muuten järjestelmän energiantuotto lasketaan liian suureksi.



KUVA 13. F-Chart /2/

Aurinkoenergian osuus vuosittaisesta lämpöenergiasta määritellään toistamalla kaavojen 1,2 ja 4 laskutoimitukset jokaiselle kuukaudelle ja summaamalla saadut tulokset kaavaan numero 3 (\mathcal{F}).

Vuosittaisen tuoton kannalta aurinkokeräimiltä hyödyksi saatava teho ei muutu paljoa, kunhan varaajan tilavuus on vähintään 50 litraa/m². F-chart metodi on kehitetty käytettäväksi, kun varaajatilavuutena käytetään arvoa 75 litraa/m². Järjestelmän tehokkuus voidaan kuitenkin laskea varaajatilavuuksille välillä 37,5-300 litraa/m². Tämä voidaan tehdä laskemalla kaavasta numero 4 tai katsomalla kuvasta numero 14.

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{Varaajan tilavuus}}{\text{Standardi varaajatilavuus} \left(\frac{75l}{m^2} \right)} \right)^{-0,25} \quad (5)$$

Esimerkki kun $X = 1,56$ $Y=0,41$ ja käytetään varaajan tilavuutena 150l/m²
Kaavassa X_c tarkoittaa uudelle varaajatilavuudelle korjattua X :n arvoa.

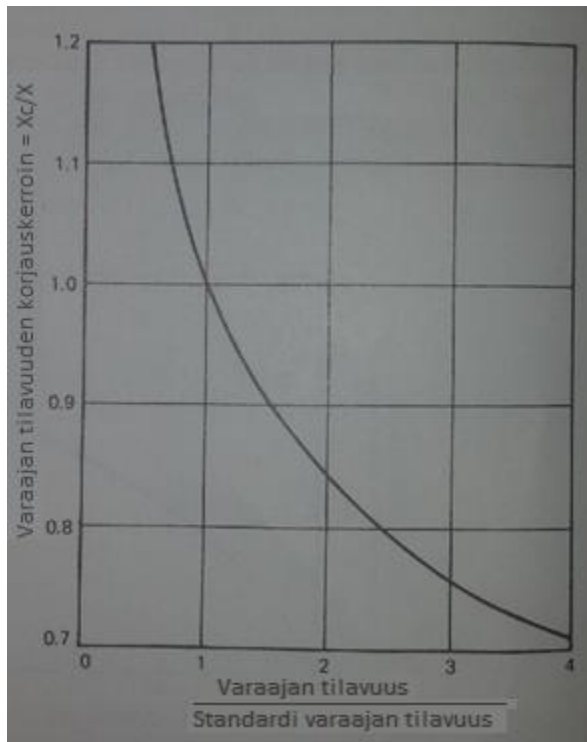
$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{150l/m^2}{75l/m^2} \right)^{-0,25} = \frac{X_c}{X} = 0,84$$

Tässä tapauksessa korjattu X :n arvo X_c sekä Y :n arvo on

$$X_c = 0,84 \times 1,56 = 1,31$$

$$Y_c = 0,84 \times 0,41 = 0,35$$

Uusilla X :n ja Y :n arvoilla lasketaan F-chart menetelmä uusiksi, jolloin saadaan korjattu arvo aurinkoenergian tuotolle.



KUVA 14 Varaajan tilavuuden vaikutus järjestelmän tuottoon /1/

4.5.1 Esimerkkilaskelma

Aurinkolämpöjärjestelmä suunnitellaan Mikkeliin. Aurinkokeräintyyppinä käytetään tasokeräintä. Valmistajan antamien tietojen mukaan optinen hyötysuhde on 0,854 ja lämmönläpäisykerroin on 3,37 (W/m² °C). Keräin asennetaan etelän suuntaan kaltevuuskulmalle 60°. Tälle kulmalle keskimääräinen säteily toukokuussa on 5560 Wh/m²/d. Kuukauden keskilämpötila on 9,5 °C. Järjestelmän lämmityksen sekä käyttöveden tarvitsema energiantarve on 3240 kWh toukokuussa. Lämmönvaihtimen korjauskertoimenä käytetään arvoa 0,97. Tulokset lasketaan kahdelle eri keräin pinta-alalle (20m² ja 30m²)

$$X_{30m}^2 = 2,04$$

$$Y_{30m}^2 = 1,22$$

$$X_{20m}^2 = 1,36$$

$$Y_{20m}^2 = 0,81$$

X:n ja Y:n arvoja käyttäen lasketaan aurinkolämmön osuus kuukausittaisesta lämpöenergian tarpeesta tilojen ja käyttöveden lämmitykseen. Laskenta tehdään käyttäen kaavaa numero 4.

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3$$

$$f_{30} = 0,8$$

$$f_{20} = 0,6$$

Tästä jo huomaamme, että keräinpinta-alalla 30m² voidaan tuottaa noin 80 % energiamäärästä, joka tarvitaan lämmityksen ja käyttöveden lämmitykseen toukokuussa. Keräinpinta-alalla 20m² päästään noin 60% tuottoon kokonaislämmitysenergiasta. Toukokuun energiantuotto 30m² pinta-alalla on noin 2610 kWh. Pienemmällä 20m² pinta-alalla päästään noin 1950 kWh tuottoon.

4.6 Varaajan mitoitus

Lämpöenergiaa saadaan järjestelmään vain päiväsaikaan, ja pilvisellä säällä vain osa auringon energiasta saadaan valjastettua käyttöön. Tästä johtuen aurinkolämpöjärjestelmään on suunniteltava myös energiavaraaja. Varaajan tyypin valinta riippuu siitä, halutaanko järjestelmällä tuottaa vain lämmintä käyttövettä vai halutaanko järjestelmän tuottavan lämmitysenergiaa myös lämmityksen tukemiseksi. /6./

Halutulla tavalla toimivaa järjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon, että varaajan tyypin on oltava sellainen, että lämpötilakerrostuminen on mahdollista, jotta varaajan yläosan vesi olisi sopivan lämpöistä käyttövedeksi. On otettava myös huomioon, etteivät lataus ja purkukytkenät sekoita lämpötilakerrostumia. /2./

Optimaaliseksi havaittu varaajatilavuus on noin 50- 100 litraa keräinneliötä kohti, joten keräinpinta-alan ollessa 30m² varaajan tilavuus valitaan 1500 litran ja 3000 litran väliltä. Alempaa arvoa varaajatilavuudesta voidaan käyttää silloin, kun varaajaa puretaan runsaasti aurinkoisina päivinä sekä kun käytetään tasokeräimiä ja kun keräinten suuntaus ei ole etelään päin. Ylempää arvoa käytetään silloin, kun käytetään tyhjiöputkikeräimiä ja keräimen kulma on noin 45 astetta tai kun aurinkolämpöä halutaan käyttää myös rakennuksen lämmittämiseen. /2./

4.7 Virtaamien valinta, pumpun ja siirtimen mitoitus

Nestekiertoisissa aurinkolämpöjärjestelmissä on olemassa sekä high flow-, että low flow- järjestelmiä. High flow virtauksella virtauksena käytetään noin 40-80l/h/m² (0,01-0,02 l/m²s), low flow virtausta käytettäessä virtaus valitaan väliltä 7-25l/h/m² (0,002-0,007 l/m²/s). Virtausta valittaessa tulee huomioida järjestelmän koko. Keräinpinta-alan ollessa yli 20m² suositellaan käytettäväksi alhaisempaa virtaamaa (low-flow). Alhaisempia virtaamia käytettäessä saadaan aikaiseksi se, että nesteen lämpötila nousee enemmän verrattuna suurempiin virtauksiin. Pienempää virtaamaa käyttämällä voidaan järjestelmään asentaa pienemmät putket, sekä pienempi pumppu. Myös pumppauskustannukset laskevat, kun käytetään alhaista virtaamaa. Suuremman virtaaman etuna voidaan pitää sitä, että lämpöhäviöt ulkoilmaan ovat pienempiä johtuen pienemmästä lämpötilaerosta nesteen ja ulkoilman välillä. /1./

4.7.1 Pumppu

Keräinpiirin kiertopumpun on kestettävä keräinpiirin mahdollisesti korkeita lämpötiloja. Pumppu asennetaan keräinpiirin viileämmälle menopuolelle, mutta jopa siellä lämpötila saattaa hetkellisesti nousta 130 °C asteeseen. Luonnollisesti pumpun on myös kestettävä käytettävää lämmönsiirtonestettä. /4./

Low flow systeemiä ja ulkoista lämmönsiirrintä käytettäessä on otettava huomioon, että lämpötilat kiertopumpussa voivat olla jatkuvasti melko korkeita, jopa 90- 100 °C, sekä hetkelliset lämpötilat voivat olla noin 130 °C. Tästä johtuen lämmön aiheuttama rasitus pumpulle on huomattavasti kovempi verrattuna siihen, että käytettäisiin suurempaa virtausta (High Flow). /4./

4.7.2 Lämmönsiirrin

Jotta aurinkokeräimessä lämmönkeruunesteeseen siirtynyt lämpö saadaan siirrettyä lämminvesivaraajaan, tarvitaan lämmönsiirrin lämminvesivaraajan nesteen sekä aurinkopiirin nesteen välille. Lämmönsiirtimet voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin lämmönsiirtimiin.

Ulkoisia lämmönsiirtimiä on olemassa sekä putki- että levylämmönsiirtimiä. Lämmönsiirto toiseen nesteeseen tapahtuu yleensä vastavirtauksella. Ulkoisissa lämmönsiirtimissä on yleensä eristetty kuori.

Ulkoisen lämmönsiirtimeen hyötyjä ovat:

- Lämmönsiirtokyky on parempi kuin sisäisessä lämmönsiirtimessä.
- Kalkin muodostuminen ei vaikuta suuresti toimintaan.
- Useita lämpövaraajia voidaan ladata yhdellä lämmönsiirtimellä.

Ulkoisen lämmönsiirtimeen haittoja ovat:

- Hinta on kalliimpi verrattuna sisäiseen lämmönsiirtimeen.
- Yleensä tarvitaan pumppu lämminvesivaraajan ja lämmönsiirtimeen välille.

Ulkoisia lämmönsiirtimiä käytetään yleensä suuremmissa järjestelmissä. Näissä suuremmissa järjestelmissä lämmönsiirrin voi ladata useata lämminvesivaraajaa, joten kustannukset ovat alhaisemmat verrattuna siihen, että asennettaisiin monta sisäistä lämmönsiirrintä. /5./

Lämmönsiirtimeen toiminta edellyttää lämpötilaeroa liitäntöjen välillä. Keräinpiirin tulisi toimia alhaisimmalla mahdollisella lämpötilalla suuremmissa keräinkentissä, koska suuri lämpötilaero lisää lämpöhäviöitä. Lämmönsiirrin on mitoitettava tarpeeksi suureksi pienimmälle lämpötilaerolle ja täten pienimmälle lämpöhäviölle.

Hyvää mitoitusta lämmönsiirtimelle ei ole vaikea saavuttaa normaalissa järjestelmässä, sillä pumput tuottavat halutun virtauksen molemmilla sekä ensiö- että toisio puolilla. /5./

Aurinkoisena päivänä Suomessa keräimeen osuva säteilyteho on noin (800W/m²). Normaleissa toimintaolosuhteissa voidaan keräimen nettotehona käyttää 500W/m², ja tätä tehoa voidaan käyttää laskettaessa lämmönsiirtimeen tehoa. Low flow- virtaamaa käytettäessä (15 l/h,m²) lämpötilaero keräimen meno- ja paluupuolen välillä on noin 35°C. Lämmönsiirtimeen toisiopuolella lämpötilaerona voidaan käyttää noin 30°C. Mitoituslämpötilat low flowlle ja normaalille virtaukselle on esitetty taulukossa 2.

Ensiöpuolella tarkoitetaan keräimen puoleista osaa ja toisiopuolella varaajalle menevää osaa.

TAULUKKO 2. Mitoitusparametrit lämmönsiirtimelle /5/

| | Low flow | | High flow | |
|--|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Ensiö | Toisio | Ensiö | Toisio |
| Keräimen teho keräinpinta-alaa kohden | Noin 500W/m ² | | | |
| Virtaama | 15l/h,m ² | 15l/h,m ² | 45l/h,m ² | 45l/h,m ² |
| Neste | Glykoli/ vesi | Vesi | Glykoli/ vesi | Vesi |
| Lämmönsiirtimen sisään menevän veden lämpötila | 67-75 °C | 30°C | 56-58°C | 40°C |
| Lämmönsiirtimen ulostulon nesteen lämpötila | 33°C | 60-68°C | 44°C | 50-52°C |
| Painehäviö | Max 100kPa | | | |

$$\dot{Q} = q_v \times c_p \times \rho \times \Delta T \quad (6)$$

\dot{Q} = Lämmönsiirtimen teho, kW

q_v = Varaajalta tulevan veden virtaama, tai aurinkokeräimeltä tuleva virtaama dm³/s

c_p = Ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

ρ = Nesteen tiheys, kg/m³

ΔT = Lämpötilaero, K

4.7.3 Keräimen tuottama lämpötilaero

Aurinkokeräimessä lämmitettävän nesteen lämpötilan nousuun vaikuttavat auringon säteilyn määrä, keräimen hyötysuhde, lämmönsiirtonesteen virtaus sekä käytettävä lämmönsiirtoneste. Esimerkiksi auringon säteilytehon keräimelle ollessa $1000\text{W}/\text{m}^2$ sekä keräimen hyötysuhteen ollessa 60% tehoksi tulee $600\text{W}/\text{m}^2$. Lämmönsiirtonesteinä käytetään 40% jäätyminenestoliuosta. Tämän liuoksen ominaislämpökapasiteetti on $3,7\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$. Virtauksena käytetään high flow virtausta $40\text{l}/\text{h},\text{m}^2$. /4./

$$\Delta T = \frac{600\text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)}{\frac{40\text{kg}}{3600\text{s}\cdot\text{m}^2} \cdot \frac{3700\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 14,6\text{K} \quad (8)$$

4.8 Yhdysputkisto

Aurinkolämmitysjärjestelmän aurinkokeräimet kytketään lämmitysvaraajaan hyvin eristetyin yhdysputkiston kautta. Putken koko riippuu aurinkokeräinten pinta-alasta.

Putkiston lämpöhäviöiden kannalta on tärkeää, että se on eristetty. Yhdysputkiston tulisi olla mahdollisimman lyhyt, koska lämpöhäviöt putkistossa kasvavat putken pituuden mukaan. Putkiston pituus riippuu siitä, kuinka kaukana aurinkokeräimet ovat varaajatilasta. Tästä syystä aurinkokeräimet kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle varaajatilaa. Yhdysputkiston meno- ja paluuputkien yhteenlaskettu pituus on tyyppillisesti noin 10-20m. /8./

Yhdysputkiston menoputkeen asennetaan järjestelmän tekniikka, kuten pumppu, varoventtiili sekä paisunta-astia. Paluuputkeen komponenteiksi tulevat vain lämpömittari sekä yksisuuntaventtiili estämään haitallinen vapaakierto. Aurinkolämpöjärjestelmän korkeimpaan kohtaan asennetaan lämmönkestävä ilmausventtiili.

Putkimateriaalina aurinkolämpöjärjestelmissä käytetään yleisesti kupariputkea. Mutta myös rst-putkea sekä mustaa teräsputkea voidaan käyttää, tosin mustaa teräsputkea käytetään harvakseltaan. Putkien eristäminen on erittäin tärkeää. Eristemateriaalin on kestettävä lämpöä hyvin, koska aurinkolämpöjärjestelmän lämpötilat saattavat kesällä nousta jopa yli 160°C lämpötiloihin. Parhaiten eristysmateriaaliksi sopivat mineraali- ja lasivillakourueristeet sekä EPDM-pohjaiset eristeet. /3./

Putkilinjassa käytettävä putkikoko riippuu aurinkolämpöjärjestelmän keräinten määrästä sekä putkilinjan pituudesta. Kupariputkea käytettäessä mitoitusnopeutena käytetään 0,5 m/s. Taulukossa 3 on esitetty suuntaa antava ohjetaulukko putkikoon mitoitukseen aurinkolämpöjärjestelmissä. Taulukko esittää suurimman mahdollisen keräinkentän kolmelle eri virtaukselle putkiston pituuden ollessa noin 15m.

TAULUKKO 3. Kupariputken koot eri keräinpinta-aloille

| Virtaama | Putkikoko (mm) $d_u \times s$ | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 15x1 | 18x1 | 22x1 | 28x1,5 | 35x1,5 | 42x1,5 | 54x2 |
| 50 l/m ² | 5 m ² | 9 m ² | 16 m ² | 27 m ² | 50 m ² | 70 m ² | 120 m ² |
| 30 l/m ² | 8 m ² | 16 m ² | 26 m ² | 45 m ² | 80 m ² | 120 m ² | 200 m ² |
| 15 l/m ² | 16 m ² | 32 m ² | 50 m ² | 90 m ² | 160 m ² | 240 m ² | 400 m ² |

4.9 Keräimen kytkennät

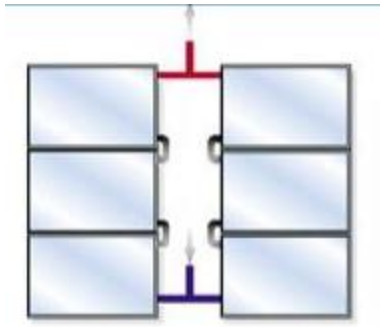
Aurinkokeräimet voidaan kytkeä tavallisesti kolmella erilaisella tavalla. Kytkentätavalla on oleellinen merkitys siihen, kuinka järjestelmä tulee toimimaan. Oleellista näissä kytkennöissä on se, että nestevirtaus pysyy samana kaikissa keräimissä.

Sarjaankytkennässä keräinten virtaus on luonnollisesti sama kaikissa keräimissä. Sarjaankytkennän haittana voidaan pitää sitä, että suuremmissa aurinkokeräinjärjestelmissä virtausvastus kasvaa, joten myös pumppauskustannukset nousevat. Sarjaankytkentä on esitetty kuvassa 15. /3./



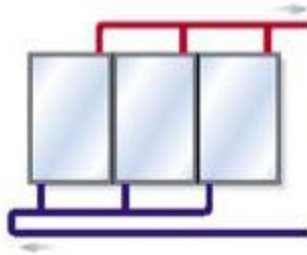
KUVA 15 Aurinkokeräimen sarjankytkentä /3/

Sarja- ja rinnakkaisytkennän yhdistelmää käytetään yleensä suurissa keräinkentissä ja järjestelmissä, joissa käytetään kahta keräinkenttää. Tässä kytkennässä on oleellista, että keräinkentät ovat samankokoisia sekä putkien on oltava yhtä pitkiä. Sarja- ja rinnakkaisytkentä on esitetty kuvassa 16. /3./



KUVA 16 Aurinkokeräinten sarja- ja rinnakkaiskytkentä /3/

Rinnakkaiskytkentää käytettäessä virtausvastus on kaikkein pienin, joten pumppu kuluttaa vähemmän energiaa. Tässä kytkennässä on erittäin tärkeää, että kaikkien keräinten meno- ja paluuputkilinjat ovat samanpituiset, jotta virtaus pysyisi kaikissa keräimissä samana. Rinnakkaiskytkentä on esitetty kuvassa 17. /3./



KUVA 17 Aurinkokeräinten rinnankytkentä /3/

4.10 Varolaitteiden mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän turvallisuusstandardit ovat raportoitu Euroopan teollisuusnormiin (European industrial norm) EN 12975, EN 12975 sekä ISO 9806 standardissa. Varolaitteita tarvitaan järjestelmässä estämään haitallisen paineen nousun aiheuttamat vahinkotilanteet. On tärkeää, että varolaitteet on mitoitettu sekä asennettu oikein, jotta varolaitteet toimisivat kunnollisesti.

4.10.1 Paisunta-astian mitoitus

Aurinkolämpöjärjestelmän paisunta-astian tilavuus lasketaan kaavoilla 9...14. Kaavoissa käytetään absoluuttisia painearvoja. Ilmanpaine $p_i=100\text{kPa}$. Absoluuttiset paineet on esitetty suurella kirjaimella (P) ja suhteelliset paineet pienellä kirjaimella (p). /11./

Paisunta-astian esipaine lasketaan kaavan 13 mukaan. Aurinkolämpöjärjestelmän esipaine lasketaan eri tavalla kuin muissa järjestelmissä, koska paisunta-astia, painemittari ja varoventtiili sijoitetaan pumpun painepuolelle. Tästä seuraa se, että keräinten painetaso saadaan säädettyä oikealle tasolle. Järjestelmän kiertopumppu sijoitetaan viileämmälle menopuolelle, koska matalampi nesteen lämpötila sopii paremmin pumpulle. Järjestelmän ylikuumentuessa keräimissä oleva neste alkaa kiehua ja keräimissä nouseva paine työntää nesteen paisunta-astiaan. Tästä syystä paisunta-astia mitoitetaan siten, että neste pääsee ylikuumentumisen aikana höyryn paineen työntämänä ”pakenemaan” paisunta-astiaan. /11./

Paisunta-astian mitoitukseen tarvittavat tiedot ovat:

- Verkoston kokonaisnestetilavuus V_0 , dm^3
- Aurinkokeräinten kokonaisvesitulavuus V_k , dm^3
- Verkoston maksimilämpötila mitoitustilanteessa, $^{\circ}\text{C}$
- Korkeusero ylimmän laitteen sekä paisunta-astian pohjan alareunan välillä, p_{st} kPa
- Suurin käyttöpaine p_{rak} , kPa

$$H_{brutto} = 1 - \frac{Pe}{P_{max}} = 1 - \frac{(pe+100)}{(p_{max}+100)} \quad (9)$$

$$H_{vara} = 1 - \frac{Pe}{P_{min}} = 1 - \frac{(Pe+100)}{(P_{min}+100)} \quad (10)$$

$$H_{netto} = H_{brutto} - H_{vara} \quad (11)$$

$$K_{mit} = \frac{1}{H_{netto}} \quad (12)$$

$$P_e = P_{st} + \text{pyörästys seuraavaan tasoon } 10\text{kPa: } p_{in} + p_p + p_{hö} \quad (13)$$

$$V = A \times K_{mit} \times V_0 + 1,1 \times V_k \times K_{mit} \quad (14)$$

H_{brutto} = Paisunta-astian bruttonestetilavuus, suhdeluku

H_{vara} = Paisunta-astian häiriö/vuotovara nestetilavuus, suhdeluku

K_{mit} = Paisunta-astian mitoituserroin

H_{netto} = Paisunta-astian nettonestetilavuus

P_e = Paisunta-astian absoluuttinen esipaine, kPa

P_{min} = Absoluuttinen vähimmäiskäyttöpaine ($P_e + 50$ kPa), kPa

P_{max} = Absoluuttinen enimmäiskäyttöpaine (seuraavista pienempi: $P_{sv} - 50$ kPa tai $0,9 \times P_{sv}$), kPa

| | |
|----------|--|
| P_{sv} | = Varoventtiilin absoluuttinen avautumispaine, kPa |
| P_{st} | = Verkoston staattinen paine, kPa |
| p_p | = Pumpun nostokorkeus, kPa suhteellinen paine |
| $p_{hö}$ | = Liuoksen höyrypaine, kPa suhteellinen paine |
| V | = Paisunta-astian tilavuus, dm^3 |
| V_0 | = Järjestelmän kokonaisnestetilavuus |
| V_k | = Aurinkokeräinten nestetilavuus, dm^3 |
| A | = Nesteen lämpölaajenemiskerroin, % |

4.10.2 Varoventtiilin valinta

Jokaiselle keräinkentälle tarvitaan oma varoventtiili. Näin voidaan käyttää muita keräinkenttiä silloin, kun yhdelle keräinkentälle ollaan tekemässä huoltotoimenpiteitä. On pidettävä huolta siitä, että varoventtiileitä ei voida sulkea pois käytöstä. Varoventtiilin on oltava ominaisuuksiltaan sellainen, että se kestää aurinkolämpöjärjestelmän korkeita lämpötiloja. Varoventtiilien ulospuhallusnesteet on ohjattava astiaan, josta neste voidaan kerätä talteen. Keräysastian on oltava myös korkeita lämpötiloja kestävä. Varoventtiilin on oltava oikean kokoinen, jotta se pystyy ulospuhaltamaan kaiken järjestelmän tuottaman ulospuhallustehon. Varoventtiilin on oltava järjestelmän ”heikoin” kohta, joten avautumispaine valitaan järjestelmän heikoimman komponentin mukaan. Taulukossa 4 on esitetty varoventtiilien koot. /4./

TAULUKKO 4 Varoventtiilin koko /4/

| Venttiilin koko (sisähalkaisija mm) | Keräinpinta-ala (m^2) |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 15mm | 50 m^2 |
| 20mm | 100 m^2 |
| 25mm | 200 m^2 |
| 32mm | 350 m^2 |
| 40mm | 600 m^2 |

4.11 Pumpun ohjaus

Aurinkolämpöjärjestelmän pumpun ohjaus on välttämätöntä, jotta pumppu on käynnissä silloin, kun järjestelmän optimaalinen toiminta sitä vaatii. Esimerkiksi pumpun käydessä yöaikaan varaajassa lämmennyt vesi viilenee, koska aurinkokeräin on yöaikaan viileänä. Pumpun automaatio on toteutettava niin, että pumppu sammuu silloin, kun aurinkokeräimeltä ei voida ottaa hyödyksi lämpöenergiaa. Tämä saadaan aikaan lämpötilaerosäätimellä. Pumpun ohjaus on hoidettava myös siten, että pumppu pysähtyy silloin, kun varaajan maksimilämpötila on saavutettu. Yleisesti järjestelmässä käytetään pumppua, jota ohjataan säätimellä, joka ottaa huomioon järjestelmän tarpeet. /5./

Lämpötilaerosäädin käyttää antureita, jotka mittaavat lämpötilaa kahdesta eri paikasta. Ensimmäinen anturi T_{si} (kuvassa 18) mittaa lämpövaraajan keskilämpötilaa, ja toinen anturi T_c asetetaan mittaamaan aurinkokeräimen lämpötilaa. Aurinkokeräimen lämpötila-anturi asennetaan keräimen kuumalle (meno) puolelle. Säädin vertailee lämpötilaa varaajalta sekä keräimeltä. Kun lämpötila keräimessä on 6- 10 °C korkeampi kuin varaajassa, käynnistää säädin pumppu. Pumppu käy siihen asti, kunnes keräimen ja varaajan välinen lämpötilaero on suunnitellulla tasolla esimerkiksi 3- 4 °C (taulukko 5). Moderni lämpötilaerosäädin käyttää pientä mikroprosessoria, jolla se analysoi tiedot, joita lämpötila-anturit lähettävät. Logiikkaohjattua sirua käytetään säätimessä päättämään pumpun käynnistykset ja pysäytykset. Koska mikroprosessori ja pumppu käyttävät eri jännitettä, tarvitaan pumpun käynnistämisen ja pysäytyksen toteuttamiseksi releitä. Rele kuuluu säätimeen. /5./

Monissa säätimessä on lisäksi tila, jossa säädin käynnistää pumpun silloin, kun keräimen pinnalla oleva jää tai lumi halutaan sulattaa. Tässä tilassa pumppu käynnistyy ja lämminvesivaraajassa olevaa vettä käytetään keräimen sulattamiseen. /5./

TAULUKKO 5 Lämpötilaerosäätimen tyypilliset arvot /4/

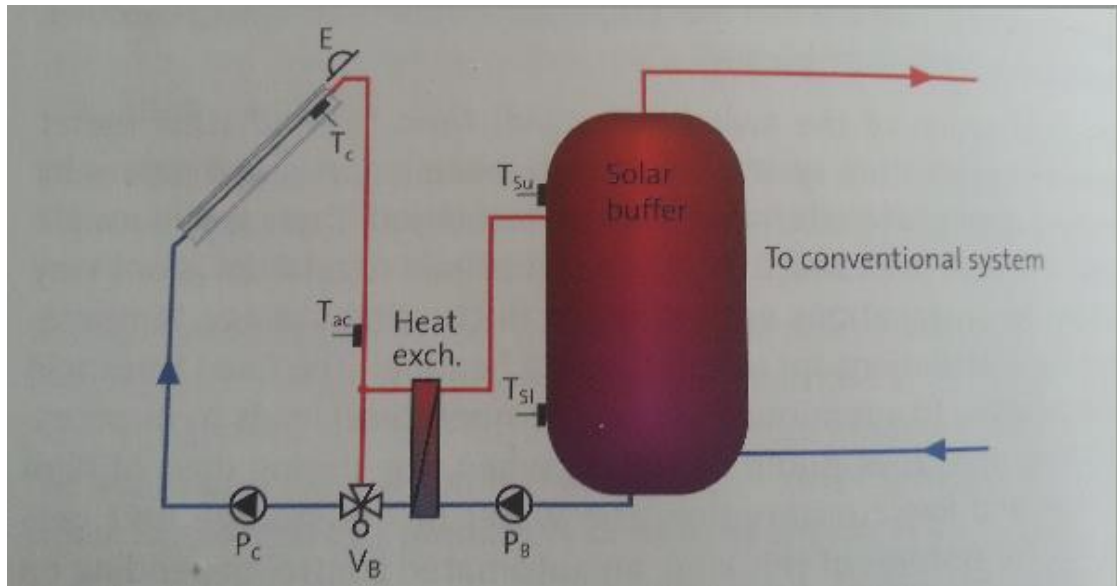
| Tyypillisiä arvoja lämpötilaerosäätimelle: | |
|--|--------------|
| Lämpötilaero käynnistykselle: | Noin 6-10 K |
| Lämpötilaero pysäytykselle: | Noin 3-4 K |
| Lyhyin pumpun käyntiaika: | Noin 3-5 min |

Lämpötilaerosäädössä voi ilmetä ongelmia, jos keräimen ja varaajan välillä oleva putki on pitkä (varsinkin jos putki on ulkona tai kylmässä tilassa). Järjestelmä saattaa nopeasti sammuttaa pumpun, koska ulkona olevissa putkissa oleva mahdollisesti erittäin kylmä vesi pumpataan keräimeen. Kylmän veden virrattaessa keräimeen, putoaa keräimen lämpötila erittäin nopeasti verrattuna normaaliin tilanteeseen, jossa varaajalta tuleva vesi on lämmintä. Tämä ongelma voi ilmentyä silloin, kun pumpun lyhyintä käyntiaikaa ei voida säätää tai silloin, kun käyntiaika on valittu liian pieneksi. Tämän ongelman tapahtuessa lämmin vesi varaajalta siirretään kylmään menoputkeen jäähtymään ennen seuraavaa pumpun käynnistymistä. Tämä tilanne saattaa tapahtua muutamana kerran, ennen kuin järjestelmän toiminta vakiintuu normaaliksi. /4./

Lämpiminä kesäöinä voi tapahtua myös ei-toivottuja pumpun käynnistymisiä silloin kun aurinko ei paista, lämpötilaero keräimen ja varaajan välillä voi aiheuttaa pumpun käynnistymisen. Tämä yöllinen pumpun käynnistyminen voidaan estää asettamalla säätimeen kellonaika, jolloin pumppu ei voi käynnistyä (esimerkiksi 21:00-06:00) /4./

Järjestelmissä, joissa käytetään ulkoista lämmönsiirrintä, on kaksi erillistä pumppuohjattua piiriä (ks. kuva 18). Toisessa piirissä kierrätetään aurinkokeräinpiirin neste ja toisessa neste varaajalta. Keräimen puoleisen piirin ohjaus hoidetaan pääpiirteittäin samalla tavalla kuin sisäisen lämmönsiirtimen kanssa. Eroa ohjaukseen tuo se, että tässä tapauksessa joudutaan myös ohjaamaan latauspiirin pumppua (P_B). Latauspiirin pumppu pysähtyy, kun lämpötilaero antureiden (T_{ac} ja T_{si}) välillä laskee alle kolmen asteen. Kolmitieventtiilin (V_B) päätarkoituksena on suojella lämmönsiirtimen toisella puolella olevaa vettä jäätymiseltä. Kylmänä talviyönä keräinpiirin nesteen lämpötila voi olla jopa -20°C . Keräinpiirin pumppu käynnistyy, kun aurinko lämmittää aurinkokeräimessä olevan nesteen, mutta putkissa oleva neste on vielä kylmää. Kylmä neste

putkista pumpataan lämmönsiirtimeen. Tämä johtaa siihen, että lämmönsiirtimen toisella puolella oleva vesi jäätyy, kun kylmä (esim. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) keräinpiirin neste pumpataan lämmönsiirtimelle. Tästä syystä kolmitieohitusventtiili on auki aina, kun $T_{ac} < 4^{\circ}\text{C}$, ja se suljetaan, kun lämpötila anturissa T_{ac} on noussut tarpeeksi korkeaksi. /4./



KUVA 18 Ohjaus ulkoisen lämmönsiirtimen kanssa /4/

4.12 Järjestelmän takaisinmaksuaika

Laiteinvestoinnit sekä aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika ovat asiakkaan kannalta yleisesti kiinnostavia. Järjestelmän investointikustannuksiin kuuluvat aurinkokeräimet, lämminvesivaraaja, pumppuryhmä, säätölaitteet, putket, lämmönsiirrin sekä muut laitteet, jotka on asennettava järjestelmään (venttiilit, varolaitteet, keräimen tukirakenteet). Asennuksen hinta on myös otettava investointikustannuksissa huomioon. /1./

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan aikaa, jolloin järjestelmällä tuotetun energian aiheuttama säästö hinta ylittää investointikustannukset. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa on otettava huomioon päälämmitysjärjestelmän käyttämän energiamuodon hinta. Aurinkolämpöjärjestelmän teoreettinen käyttöikä on noin 20–25 vuotta. Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla numero 15. Takaisinmaksuajassa otetaan huomioon järjestelmän kustannukset sekä energian hinnan nousu. /1./

$$Taka\text{isinmaksuaika} = \frac{\ln\left[\frac{C_s * i_f}{FL * C_{f1}} + 1\right]}{\ln(1 + i_f)} \quad (15)$$

FL = Aurinkokeräimien avulla säästetty energiamäärä

C_{f1} = Nykyinen energian hinta

i_f = Arvioitu energian hinnan kehitysprosentti

C_s = Aurinkokeräinjärjestelmän investointikustannus

Esimerkki: Lasketaan takaisinmaksuaika aurinkolämpöjärjestelmälle, jonka investointikustannus on 15000€, järjestelmä tuottaa 47 % käyttöveden vuosittaisesta energiantarpeesta. Käyttöveden kokonaisenergian tarve on 42000 kWh. Ensimmäisen vuoden kaukolämmön energiahinta on 4,8 senttiä/kWh ja energian hinnan oletetaan nousevan 6 % vuodessa.

$$Taka\text{isinmaksuaika} = \frac{\ln\left[\frac{15000 * 0,06}{0,47 * 42000 * 0,048} + 1\right]}{\ln(1 + 0,06)} = 11,5 \text{ Vuotta}$$

4.13 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus simulointiohjelmalla.

Tarkka aurinkolämpöjärjestelmän mitoittaminen perustuu siihen, että suunnittelukohteen energiakulutus tunnetaan tai, että se osataan tarkasti arvioida. Simulointiohjelmat käyttävät pitkäaikaisia säätilastoja, joiden avulla voidaan arvioida tulevat sääolosuhteet. Aurinkokeräimen ominaisuudet on myös tiedettävä tarkasti. Mitoitusohjelmaan annetaan tiedot aurinkolämpöjärjestelmästä, jonka jälkeen ohjelma simuloi järjestelmän toiminnan läpi mallivuoden. Suunnitteluohjelman avulla voidaan myös vertailla, kuinka erilaiset ratkaisut vaikuttavat järjestelmän tuottoon. /1./

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Suurin ongelma aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa on keräinpinta-alan ja aurinkoenergialla hyödyksi saatavan energian laskeminen. Tähän ongelmaan ratkaisu löytyi f-chart menetelmästä, joka on käyttökelpoinen normaalisovellusten suunnittelussa. Menetelmällä lasketut energiamäärät poikkeavat vain muutamilla prosenteilla simulaatiotuloksiin verrattuna. Suunniteltaessa muita kuin normaalisovelluksia voidaan f-chart menetelmällä saada vääriä tuloksia, ja tällöin järjestelmä ei välttämättä toimi halutulla tavalla.

Menetelmä on kehitetty sovelluksiin, joissa nestevaraajan koko on 37,5-300l yhden neliömetrin keräinpinta-alaa kohden, joten näiden kokojen ulkopuolella oltaessa F-chart menetelmä ei anna täysin luotettavia tietoja. F-chart menetelmää ei myöskään tulisi käyttää esimerkiksi silloin, kun mitoitetaan järjestelmää, jossa ei käytetä varaajaa ollenkaan.

F-chart menetelmällä ei voida ennustaa tulevan järjestelmän toimintaa tai tehokkuutta, sillä järjestelmän toimintaa voivat häiritä mm. vääränlaiset asennukset tai keräimelle osuva varjo. F-chart menetelmää käytettäessä laskuissa otetaan huomioon keskimääräiset kuukausittaiset säteilyn määrät ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat, mutta säteilyn määrissä ei huomioida paikallisia sääolosuhteita. Esimerkiksi sumuherkillä alueilla sumu heikentää järjestelmän tuottoa.

F-chart menetelmää käytettäessä saadaan melko hyvä arvio saatavasta energiamäärästä, mutta on muistettava, että menetelmällä ei saada laskettua pumppujen, säätimien ym. sähköisten laitteiden energiankulutusta, joten niiden kuluttamat energiamäärät on muistettava ottaa erillisinä huomioon järjestelmää suunniteltaessa ja kannattavuutta arvioitaessa. F-chart mitoitus ei ole simulaatio, joten varsinkin vaativissa aurinkolämpöjärjestelmissä se on hyvä mitoituskeino hanke- ja luonnossuunnittelussa, mutta varsinaisen toteutussuunnittelun tueksi olisi syytä käyttää simulaatio-ohjelmaa.

Opinnäytetyössä esitetty takaisinmaksuajan laskutoimitus on teoreettinen. Laskutoimituksessa ei ole huomioitu mahdollista keräimen hyötysuhteen heikentymistä tai laitteiston huoltokustannuksia. Totuudenmukaisempaa takaisinmaksuaikaa laskettaessa on otettava huomioon iän tuoma hyötysuhteen heikkeneminen sekä laitteiston huolto-

kustannukset. Hyötysuhteen heikkeneminen voidaan ottaa mukaan laskuun esimerkiksi määrittelemällä sille kerroin, jolla aurinkoenergian avulla säästetty energiamäärä kerrotaan. Huoltokustannukset voidaan ottaa mukaan laskuun esimerkiksi laskemalla ensin huoltokustannukset tarkasteltavalta ajankohdalta ja lisäämällä ne investointikustannuksiin.

Opinnäytetyön tekemisen aloitin alkutalvesta 2013, ja työn idea tuli entiseltä työnantajaltani Granlund Lahti Oy:ltä. Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti alkava vaihtovuosi Saksassa, sillä Saksa on aurinkolämmön edelläkävijämaa. Saksassa vietettyyn opiskelijavaihtoon liittyi projektityö, jonka aiheena oli aurinkolämpö. Aurinkolämpöprojektista sain hyvät perustiedot aurinkolämmöstä ja tietojen avulla oli helppoa lähteä työstämään opinnäytetyötä. Mitoitukseen liittyvää teoretietoa etsiessäni huomasin, että Suomessa ei aiheesta ole paljoa kirjallista tietoa. Suomenkielisestä kirjallisuudesta löytyvä teoria soveltui käytettäväksi vain pienissä sovelluksissa. Suomen kielellä löytyvä tieto oli lähinnä tällaista nyrkkisääntötyyppistä, joten päätin siirtyä etsimään paremmin aiheeseen sopivaa teoretietoa englanninkielisestä kirjallisuudesta, josta löysin tarvittavat teoretiedot opinnäytetyön tekemiseen. Opinnäyteprosessin aikana haastattelin myös muutamaa aurinkolämmön asiantuntijaa Suomessa ja Saksassa. Tein myös yritysvierailun Mikkelissä toimivaan aurinkolämpöyritykseen, joka valmistaa aurinkokeräimiä.

Opinnäytetyön tekeminen sujui hyvin, ja saatujen tietojen perusteella tein aurinkolämmitysjärjestelmän suunnittelun avuksi Exceliin mitoitusaulukon, joka on hyvin käyttökelpoinen luonnos- ja toteutussuunnitteluvaiheessa. Opinnäytetyöprosessi opetti todella paljon aurinkolämmöstä sekä sen hyödyntämisestä. Opinnäytetyössä olisi ollut mielenkiintoista myös vertailla jotain jo olemassa olevaa järjestelmää tai suunnitteilla olevaa järjestelmää omiin mitoitus tuloksiin, jolloin opinnäytetyössä olevia mitoitus tietoja olisi päässyt testaamaan myös käytännössä.

Aurinkolämpöjärjestelmät tulevat yleistymään Suomessa tulevaisuudessa, sillä uusiutuvat ja ympäristöystävälliset energiantuotantomuodot kasvattavat suosiotaan jatkuvasti. Myös alati tiukentuvat energianormit ajavat kohti entistä päästöttömämpiä ratkaisuja. Aurinkolämpö ja sen hyödyntäminen on Suomessa vielä suhteellisen tuntematonta, ja aiheesta löytyy vain vähän kirjallisuutta, joten aiheesta olisi hyvä saada lisää tietoa myös suomen kielellä, joten lisätutkimuksiin aiheesta on tarvetta. Mahdollisia

lisätutkimuksia voisivat olla esimerkiksi aurinkolämmön hyödyntäminen teollisissa prosesseissa, toimivan auinkolämpöjärjestelmän tuoton vertaus lasku- ja simulaatiomenetelmiin, aurinkolämmön kausivarastointi ja sen soveltuvuus Suomeen.

LÄHTEET

/1/ Duffie, John. Solar engineering of thermal processes. University of Wisconsin-Madison. 2006.

/2/ Erat Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Christer, Peippo Kimmo, Peltola Seppo, Suokivi Hannu. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. 2008.

/3/ Jodat, Timo. Ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestelmäopas 2011. PDF-julkaisu. www.y-energia.com. Ei päivitystietoa. Luettu 20.01.2013.

/4/ Dr. Felix.A.Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schnauss. Solar thermal systems, successful planning and construction. 2002.

/5/ Ramlow, Bob. Solar Water Heating. New Society publishers.
Real Goods Solar living source book. 2009.

/6/ Roth solar –järjestelmä. PDF-julkaisu.
http://www.roth-nordic.fi/fi/files/Roth_Solar.pdf. Ei päivitystietoa. Luettu 15.02.2013.

/7/ Schaeffer, John. Real Goods Solar Living Source Book--Special 30th Anniversary Edition. 2007.

/8/ EU-projekti / Solpros Ay. Aurinkojärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. WWW-julkaisu. <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>. Julkaistu toukokuussa 2000. Ei päivitystietoa. Luettu 01.02.2013.

/9/ Viessmann Planning guide 2012 . PDF-julkaisu.
www.viessmann.com. Päivitetty 12.01.2013 Luettu 12.01.2013.

/10/ Ympäristöenergia Oy:n aurinkolämpöinfo. WWW-julkaisu.
<http://www.y-energia.com/aurinkolampo/aurinkolampo.html>. Ei päivitystietoa. Luettu 03.01.2013

/10/RT kortti L10194 Aurinkolämmitys.

/11/RT kortti L10472 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus.

/12/ Get solar professional simulointiohjelman demoversio.

/13/ Solar thermal water heating Technology Fundamentals. WWW-julkaisu
<http://www.volker-quaschning.de/articles/fundamentals4/index.php>. Ei päivitystietoa.
Luettu 10.9.2013.

/14/ European Comission; Joint research center: institute for energy and transport.
Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology
WWW-julkaisu <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>. Päivitetty 10.2.2013
Luettu 24.11.2012.

