

Mikko Heino

LabVolt-sarjan aurinkolämmön harjoitusjärjestelmä sekä aurinkolämpöjärjestelmät Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

28.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mikko Heino LabVolt-sarjan aurinkolämmön harjoitusjärjestelmä sekä aurinkolämpöjärjestelmät Suomessa 48 sivua + 1 liitettä 28.5.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI,tuotantopainoitteinen
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen projekti-insinööri Harri Hahkala
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena on esitellä lämmönkeräysmenetelmiä yleisellä tasolla, käydä läpi erilaisia keräintyypejä ja erilaisia aurinkolämpöjärjestelmiä sekä perehtyä Metropoliaa varten Feston LabVolt-sarjan aurinkolämmön harjoitusjärjestelmään. Työn käynnistävänä tarkoituksena oli käyttökokemusten kerääminen harjoitusjärjestelmästä ammattikorkeakoulu Metropolialle sekä harjoitustöiden työohjeiden laatiminen tulevaa opetuskäyttöä varten.</p> <p>Tässä insinöörityössä esittelen Solar thermal energy systems -kirjan koejärjestelyt, kokeiden aurinkolämpöjärjestelmät sekä analysoin niiden käyttömahdollisuuksia Suomessa. Lopuksi esittelen kokeista saadut mittaustulokset. Harjoitusjärjestelmään perehtyminen tapahtui järjestelmän mukana tulleiden harjoitustöiden perusteella. Aurinkolämmön teoriaan perehtyminen tapahtui erinäisten kirjallisten lähteiden perusteella. Niiden perusteella on esitelty erilaiset aurinkokeräimet, aurinkolämpöjärjestelmät ja niiden käyttömahdollisuudet Suomessa.</p> <p>Harjoitusjärjestelmä soveltuu sellaisenaan opetuskäyttöön, ja sen avulla onkin hyvä tutustua aurinkolämpöön. Sillä pääsee helposti tutustumaan aurinkolämmityksessä käytettäviin komponentteihin ja toimintaperiaatteisiin. Tehtyjen töiden perusteella aurinkolämpöjärjestelmät eivät kuitenkaan anna aivan täyttä kuvaa Suomessa käytössä olevista aurinkolämpöjärjestelmistä.</p> <p>Insinöörityöstä saa kattavan kuvan erilaisista aurinkokeräimistä ja niiden käyttömahdollisuuksista ja tulevaisuuden näkymistä Suomessa. Näiden lisäksi Metropolia ammattikorkeakoulu saa työohjeet aurinkolämmön harjoitusjärjestelmästä opetuskäyttöä varten.</p>	
Avainsanat	aurinkolämpö, aurinkokeräimet, aurinkolämpöjärjestelmät, aurinkolämmön harjoitusjärjestelmä

Author Title	Mikko Heino LabVolt series solar thermal energy training system and solar thermal energy systems in Finland
Number of Pages Date	48 pages + 1 appendices 28 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production orientation
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Harri Hahkala, Project Engineer
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to present different solar thermal energy systems, solar energy collection methods and different solar collectors in Finland. Furthermore, one of the main objectives was to introduce the Festo's solar thermal training system and create instructions for it for future teaching purposes for Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>The training system was studied by performing training exercises in the training material for the Festo system. General information regarding solar thermal energy was gathered from relevant literature and internet based sources.</p> <p>The training exercises showed that the training system is a useful tool for teaching solar thermal energy in general. The components or solar thermal systems were easy to learn and comprehend by performing the training exercises. However, the solar thermal systems presented in the exercises do not fully reflect the different thermal systems that are used in Finland.</p> <p>This bachelor's thesis can be used to provide a cross-section of the various solar thermal energy forms in Finland. The instructions for the training system are also given to the Metropolia University of Applied Sciences.</p>	
Keywords	solar thermal training system, solar collectors, solar thermal energy, solar thermal collections methods

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Passiivinen lämmönkeräys	3
2.2	Aktiivinen keräys	5
2.3	Auringosta saatavan energian ongelmat	5
3	Aurinkolämpöjärjestelmä	6
3.1	Aurinkokeräimet	8
3.2	Nestekiertoinen järjestelmä	8
3.2.1	Tyhjiöputkikeräimet	9
3.2.2	Tasokeräimet	11
3.2.3	Tyhjiöputkikeräimen ja tasokeräimen erot	12
3.3	Ilmakeräimet	13
3.3.1	Katetut ilmakeräimet	14
3.3.2	Kattamattomat ilmakeräimet	15
3.3.3	Ilmakeräimen edut	15
3.3.4	Ilmakeräimen ongelmat	15
3.4	Aurinkokeräimen asennus	15
4	Aurinkolämpöjärjestelmät Suomessa	18
4.1	Aurinkokaukolämpölaitokset Suomessa ja Tanskassa	19
4.2	Teolliset aurinkolämpölaitokset	21
4.3	Yksityiset aurinkolämpöjärjestelmät	21
4.3.1	Pientalo suoralla sähkölämmityksellä	21
4.3.2	Pientalo vesikiertoisella lämmityksellä	21
4.3.3	Pientalo maalämpöpumpulla	22
4.3.4	Pientalo kaukolämpöverkossa	22
4.4	Savo-Solar Oy	23
4.5	Aurinkolämpöjärjestelmien tulevaisuus	24
4.5.1	Pienet järjestelmät	25
4.5.2	Suuret tuotantolaitokset	25

5	Harjoitusjärjestelmä	26
5.1	Harjoitusjärjestelmän esittely	26
5.1.1	Introduction to solar thermal energy -kirja	27
5.1.2	Solar thermal energy systems -kirja	28
5.1.3	Multi-loop systems -kirja	28
5.2	Harjoitustöiden esittely	28
6	Koejärjestelmien ja kokeiden tulosten esittely	28
6.1	Työ 1	30
6.1.1	Järjestelmän hyödyt	30
6.1.2	Järjestelmän ongelmat	31
6.1.3	Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin	31
6.1.4	Tulosten esittely	31
6.2	Työ 2	33
6.2.1	Järjestelmän hyödyt	34
6.2.2	Järjestelmän ongelmat	34
6.2.3	Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin	35
6.2.4	Tulosten esittely	35
6.3	Työ 3	37
6.3.1	Järjestelmän hyödyt	38
6.3.2	Järjestelmän ongelmat	38
6.3.3	Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin	39
6.3.4	Tulosten esittely	39
6.4	Työ 4	41
6.4.1	Järjestelmän hyödyt	42
6.4.2	Järjestelmän ongelmat	42
6.4.3	Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin	42
6.4.4	Tulosten esittely	43
7	Yhteenveto	45
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Rinnakkaislämmön kytkentä K1 mukaan	

Lyhenteet

°C	Celsiusaste
€	Euro
CO ²	Hiilidioksidi
K	Kelvin
kPa	Kilopascal
m ³	Kuutiometri
l/min	Litraa minuutissa
MWh	Megawattitunti
µm	Mikrometri
m ²	Neliometri
%	Prosentti
W	Watti

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on esitellä lämmönkeräysmenetelmiä yleisellä tasolla, käydä läpi erilaisia keräintyyppisiä ja erilaisia aurinkolämpöjärjestelmiä sekä perehtyä ammattikorkeakoulu Metropoliaa varten Feston LabVolt-sarjan aurinkolämmön harjoitusjärjestelmään. Työn käynnistävänä tarkoituksena oli käyttökokemusten kerääminen harjoitusjärjestelmästä Metropolialle sekä harjoitustöiden työohjeiden laatiminen tulevaa opetuskäyttöä varten.

Ammattikorkeakoulu Metropolian hankkimaan harjoitusjärjestelmään perehtyminen tapahtui järjestelmän mukana tulleiden harjoitustöiden perusteella. Nämä kokeet tein yhdessä opiskelija Marko Taposen kanssa. Myös hän teki harjoitusjärjestelmästä oman insinööriyönsä, joka on nimeltään *EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteiston käyttöönotto ja käyttökokemukset*. Kokeet jaettiin kahteen osaan kummankin opiskelijan kesken. Tässä insinööriyössä esittelen Solar thermal energy systems -kirjan koejärjestelyt, kokeiden aurinkolämpöjärjestelmät sekä analysoin niiden käyttömahdollisuuksia Suomessa. Lopuksi esittelen kokeista saadut mittaustulokset. Edellä mainittujen lisäksi esittelen lyhyesti vielä suomalaisen Savo-Solar-yrityksen, joka rakentaa aurinkokeräimiä ja esittelen Tanskan suurimman aurinkokaukolämpölaitoksen.

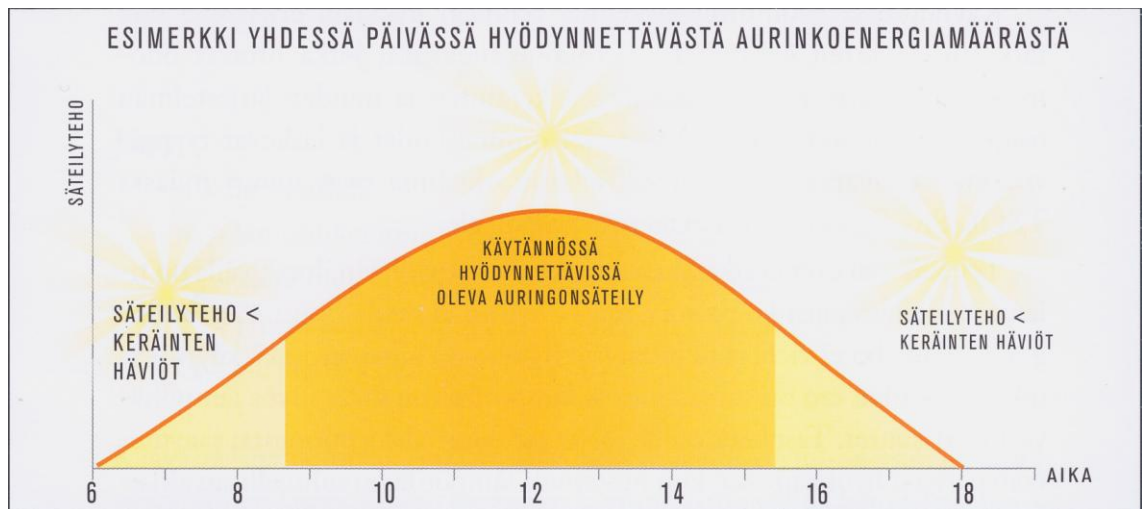
Itse harjoitusjärjestelmä koostuu tasokeräimestä, varastosäiliöstä, pumpuista ja muista aurinkolämpöjärjestelmistä tarvittavista komponenteista. Järjestelmien kytkentä tapahtuu erimittaisilla letkuilla, jotka ovat varustettu puutarhaletkun tyyppisillä kytkennöillä. Asennusten ja komponenttien vaihtaminen tapahtuu siis hyvin yksinkertaisesti. Aurinгон korvikkeena järjestelmässä käytetään työmaavalaisimia. Lämmönsiirtonesteinä käytetään normaalisti vettä, mutta haluttaessa järjestelmässä voidaan myös käyttää pakkasnesteitä.

Harjoitusjärjestelmällä voidaan kokeilla erilaisia aurinkolämpöpiirikytkentöjä erinäisiin käyttötarkoituksiin. Harjoiteltavat järjestelmät vaihtelevat yksinkertaisista yhden kierto-
piirin järjestelmistä useamman piirin monimutkaisempiin aurinkolämpöjärjestelmiin. Järjestelmien lämmitysvaihtoehdot vaihtelevat käyttöveden lämmityksestä lattialämmitykseen, lämminilmapuhaltimeen tai näiden kombinaatioon.

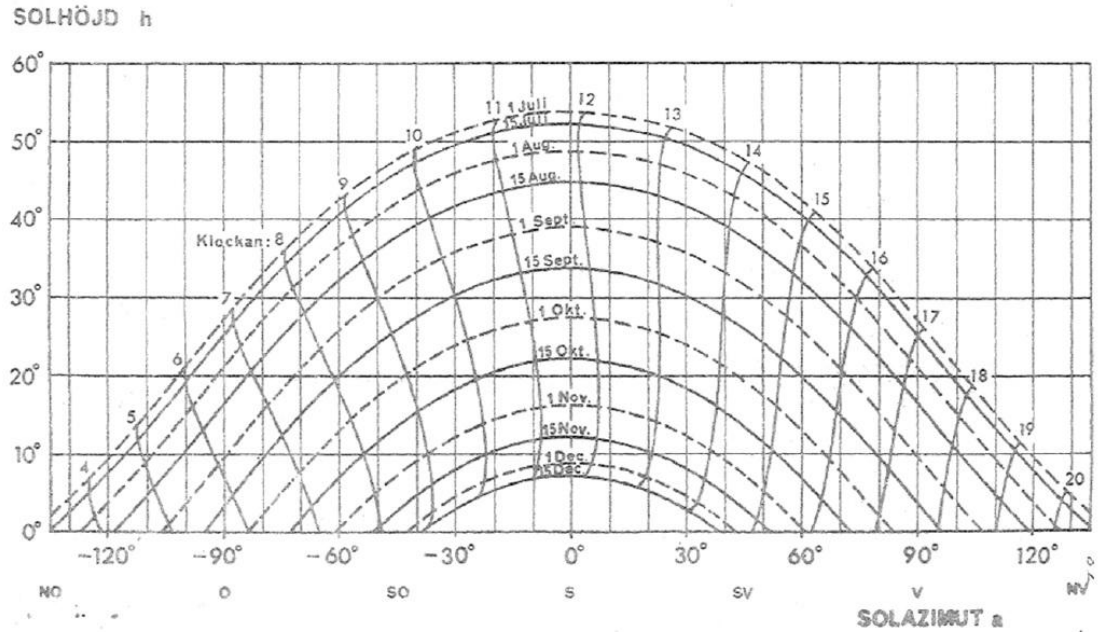
2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on uusiutuvaa ja ilmaista, eikä se myöskään aiheuta päästöjä ilmakehään. Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää sekä sähkönä että lämpönä. Auringon säteilyä onkin saatavilla ympäri vuoden, mutta Suomen sijainnista johtuen auringon säteilyä voidaan hyödyntää tehokkaimmin vain kesällä. Talvella auringon säteilyä saadaan huomattavasti vähemmän. Suomessa lämmitysenergiaa kulutetaan kuitenkin eniten juuri talvella, ja siksi energiantarve ja saatavuus ovat epäsuhdassa toisiinsa nähden.

Kuvassa 1 on esitelty yhdessä päivässä saatavan auringon säteilyn saatavuuden jakaantuminen, kun keräin on suunnattu etelään. Kuten kuvasta nähdään, kerättävissä olevan tehokkaasti hyödynnettävän säteilyn ”keräysikkuna” on hyvinkin kapea. Tämä johtuu siitä että aamulla ja illalla auringon säteilyteho on alhainen. Lisäksi suuret lämpötilaerot vaikuttavat aurinkokeräimen hyötysuhteeseen heikentävästi. Kuvassa 2 on esitelty auringon säteilykulmat. Siinä näkyy, miten eri ilmansuunnat vaikuttavat aurinkonsäteilyyn eri kuukausina.



Kuva 1. Hyödynnettävissä olevan auringon säteilyn jakautuminen yhdelle päivälle, kun keräin on suunnattu etelään [1, s. 96].



Kuva 2. Auringon säteilykulmat [13, s. 17].

Suomi saa kuitenkin riittävän määrän auringon säteilyä, jotta sitä on kannattavaa hyödyntää lämmön- tai sähköntuotannossa. Esimerkiksi Helsinki saa vuodessa auringon säteilyä noin $1\,000\text{ kWh/m}^2$. Suomi saa siis hyvin lähelle saman verran säteilyä kuin esimerkiksi Pohjois-Saksa. Auringon energiaa voidaan kerätä kahdella eri tavalla. Näitä ovat passiivinen ja aktiivinen keräys. [1; 2; 3; 13.]

2.1 Passiivinen lämmönkeräys

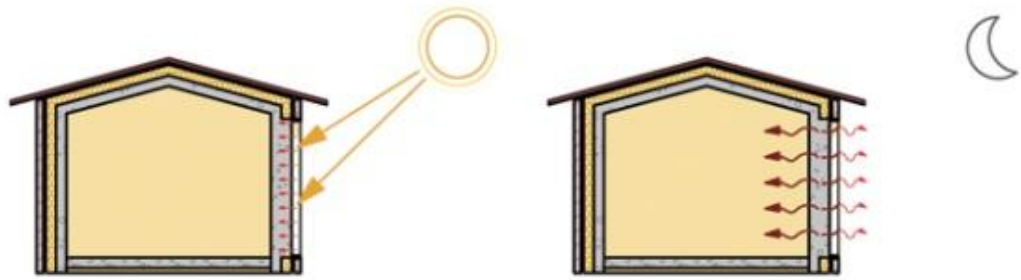
Passiivinen lämmönkeräys voi tapahtua kaikessa yksinkertaisuudessaan siten, että esimerkiksi auringon annetaan vain paistaa talvella rakennukseen sisälle. Yleensä kuitenkin auringon energiaa varastoidaan varaavaan massaun. Varaavana massana voi toimia lattia, seinä tai vaikkapa katto. Massasta lämpö siirtyy huonetiloihin. Passiivisen lämmönkeräyksen tärkein tekijä onkin juuri lämmönsiirto ilman mekaanista apua. Joskus kuitenkin voidaan lämmönsiirron avustukseen käyttää esimerkiksi puhallinta. Tällainen järjestelmä on nimeltään yhdistetty järjestelmä. Järjestelmässä on silloin osia sekä passiivisesta että aktiivisesta lämmönkeräyksestä.

Passiivinen lämmönkeräyskään ei toimi ilman säätöä. Säätonä voidaan esimerkiksi käyttää verhoja, kaihtimia, ikkunoita tai ovia. Näiden avulla voidaan hallita, säätää tai

jopa tarvittaessa pysäyttää auringon lämpöenergia. Talvella lämmön karkaamista ikkunoista voitaisiin estää vaikkapa eristetyillä ikkunaluukuilla.

Passiivinen lämmitys vaatii kuitenkin tarkkaa suunnittelua, jotta vältetään kesäisin yli-
lämmöltä. Yliämpöä voidaan kuitenkin estää esimerkiksi sulkemalla verhot tai kaihtimet
ikkunasta. Myös itse varaava massa pitää olla tarkasti suunniteltu. Varaavan massan
pitää kylminä vuodenaikoina pystyä varaamaan vähintään yhden vuorokauden verran
lämpöä. Myös itse massan sijoittelussa pitää olla tarkka. Massa pitäisi olla myös sijoit-
tettu siten, että se pystyy lämmittämään ensisijaisesti sellaisia tiloja, jotka tarvitsevat
eniten lämpöä. Hyvin toimiakseen passiivinen lämmitys vaatii suuria ikkunapinta-aloja,
ja ikkunoiden pitäisikin olla vähintään 40–60 % julkisivun pinta-alasta [1, s. 62]. Ikku-
noiden ilmansuunta on myös tärkeä huomioida. Optimitilanteessa ilmansuuntana on
etelä, mutta valmiiseen rakennukseen asennettaessa tällaista tekijää ei tietenkään voi-
da huomioida.

Auringon energiaa voidaan hyödyntää myös epäsuorasti. Esimerkiksi Trombe-seinässä
ikkunan takana on heti lämpöä varastoiva tumma seinämassa. Se varastoi siihen läm-
pöä ja luovuttaa sitä näin tarpeen mukaan johtumalla tai ilman välityksellä. Materiaalina
Trombe-seinässä voi olla betoni, tiili tai vaikkapa luonnonkivi. Haluttu lämmönsiirron
aikaviive vaikuttaa sekä materiaaliin että seinän paksuuteen. Lämmönsiirron aikaviive
huonetilaan voi Trombe-seinässä olla jopa 12 tuntia [1, s. 64]. Joskus aikaviivettä ei ole
ollenkaan, jolloin lämpö siirtyy välittömästi huonetilaan. Järjestelmä on hyvin yksinker-
tainen, ja säteilyn absorboituminen on Trombe-seinässä hyvällä tasolla. Trombe-seinän
ongelmana on kuitenkin se, että suurin osa lämmöstä pääsee karkaamaan lasin läpi
[23, s. 86]. Lämmön vapautumistakaan ei järjestelmässä voida säädellä muuten kuin
seinän mitoitusvaiheessa. [1; 2; 23.] Kuvassa 3 näkyy Trombe-seinän toiminta päivällä
ja yöllä.



Kuva 3. Trombe-seinä [23, s. 83].

2.2 Aktiivinen keräys

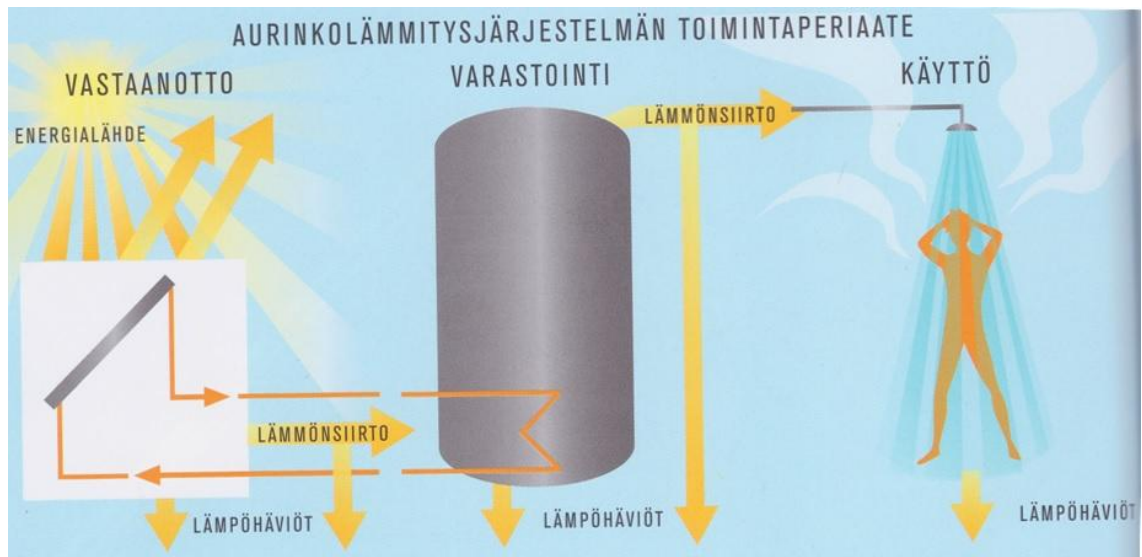
Aktiivinen keräys tapahtuu joko aurinkopaneelilla tai aurinkokeräimellä. Aurinkopaneelilla saadaan sähköä ja aurinkokeräimellä saadaan talteen lämpöä. Aurinkokeräimen tulee Suomessa hyödyntää hyvin tehokkaasti auringon hajasäteilyä sillä Suomessa saatavasta säteilystä, hajasäteilyllä on hyvin suuri osuus. Hajasäteilyn osuus on noin 40–50 % kaikesta säteilystä [2, s. 194]. [1; 2.]

2.3 Auringosta saatavan energian ongelmat

Aurinkoenergialla on kuitenkin omat ongelmansa. Aurinkoenergia vaatii auringon paistetta ja kun aurinko ei paista, ei järjestelmästä ole mitään hyötyä. Säättä on hyvin vaikea ennustaa, ja siksi saatavan energian määrästä ei voi olla varma kovinkaan pitkälle tulevaisuuteen. Siksi auringosta saatavaa energiaa on vaikeaa kohdentaa juuri silloin kun sitä tarvitaan. Tähän ovat avuksi kuitenkin erilaiset varastointijärjestelmät. Sähköä voidaan varastoida akkuihin ja lämpöä suuriin lämminvesivaraajiin tai maaperään. Talvella on pitkiä aikoja, kun aurinko ei paista, ja vaikka aurinko paistaisikin, se paistaa niin matalalta, että siitä ei saada kovin suuria määriä energiaa. Näiden lisäksi taivaalta satava lumi aiheuttaa ongelmia. Se peittää keräimet ja estää näin energian keräämistä. Näistä syistä johtuen aurinkokeräimiä ei käytetä omina järjestelminään vaan niin sanottuina hybridijärjestelminä, jolloin ne tuottavat lisää energiaa jonkun muun lämmöntuottojärjestelmän rinnalla. [1; 4.]

3 Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu kolmesta pääosasta. Näitä ovat lämmönkeruujärjestelmä, lämpövarasto ja lämmönkulutus. Lämpöä siirretään näiden kolmen tekijän välillä tarpeen mukaisesti. Kuvassa 4 aurinkolämpöjärjestelmän toiminta esitellään kaaviomaisessa muodossa.



Kuva 4. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate [1, s. 78].

Lämpöä kerätään talteen aurinkokeräimellä. Aurinkokeräin on järjestelmä, joka hyödynittää auringon säteilyenergiaa ja muuttaa sitä lämmöksi. Lämpöä siirretään varastoon tai käyttöön lämmönsiirtonesteellä. Yleensä lämmön siirtämiseksi keräimestä käytetään lämmönsiirtonestettä, mutta myös ilmaa voidaan käyttää. Lämmönsiirtonesteinä voidaan käyttää vettä, jos järjestelmää käytetään vain kesällä. Tällöin ei tarvitse huolehtia lämmönsiirtonesteen jääytymisestä. Yleensä kuitenkin käytetään pakkasnesteitä, kuten esimerkiksi veden ja propyleeniglykolin seosta. Hyvä esimerkki tästä on Tyfocor L -pakkasneste, jota voidaan käyttää esimerkiksi seossuhteessa 40–50 % pakkasnestettä, jolloin loput seoksesta on vettä.

Aurinkokeräimet jaetaan toimintaperusteestaan riippuen kahteen eri kategoriaan eli nestekiertoisiin keräimiin tai ilmakeräimiin. Kuvassa 5 eritellään eri aurinkokeräimet omiin kategorioihinsa, ja niiden alta löytyvät omat keräinmallit.



Kuva 5. Aurinkokeräinten tyypit [Muokattu lähteen 6 kuvasta].

Aurinkolämpöjärjestelmää voidaan käyttää sekä rakennuksen että käyttöveden lämmitykseen. Harjun [2, s. 197] mukaan aurinkolämpöjärjestelmällä kannattaisi lämmittää Suomen ilmastossa nimenomaan molempia edellä mainittuja järjestelmiä. Hyvin yleistä on kuitenkin se, että lämmitetään vain jompaakumpaa järjestelmää. Tällöin yleisin vaihtoehto on käyttöveden lämmitys tai märkätilojen lattialämmitys.

Kiinteistöstä riippuen aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan saada paljonkin säästöä lämmitysenergiassa. Aurinkolämmöllä voitaisiin tuottaa jopa 5–25 % rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergiasta [2, s. 197]. Koska aurinkolämpöjärjestelmä ei kuitenkaan voi lämmittää rakennusta yksinään, käytetään sitä vain lisälämmöntuottojärjestelmänä. Esimerkiksi pellettilämmitysjärjestelmässä voidaan aurinkolämmöllä vähentää pellettien kulutusta ja näin vähentää varsinaisen lämmöntuottojärjestelmän kustannuksia. Tällaista kahden eri lämmöntuotantotavan yhdistelmää kutsutaan hybridilämmitysjärjestelmäksi.

Aurinkolämpöjärjestelmässä pitää varastoida lämpöä, koska lämpöä ei yleensä voida hyödyntää heti keräyksen jälkeen. Yleensäkin lämmön tuotto ja kulutus tapahtuvat eri aikoina. Varastona käytetään usein suurta lämminvesivaraajaa, jolloin lämpöä saadaan kerättyä talteen mahdollisimman paljon. Tämä johtuu siitä, että kulutusta ei voida tarkkaan ennustaa. Toisin sanoen on siis mahdotonta arvioida minuuttien tarkkuudella, koska esimerkiksi käyttövedettä tarvitaan. Päivittäisellä tasolla kulutusta voidaan kuitenkin ennustaa. Esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 antaa ohjear-

voksi 50–60 litraa/henkilö rakennuksen päivittäiselle käyttöveden kulutukselle. Järjestelmän lämmönkeruu riippuu kuitenkin myös säästä. Lämpöä kerätään talteen silloin, kun auringonsäteilyä on paljon saatavilla. [1; 2; 4; 5; 6; 24.]

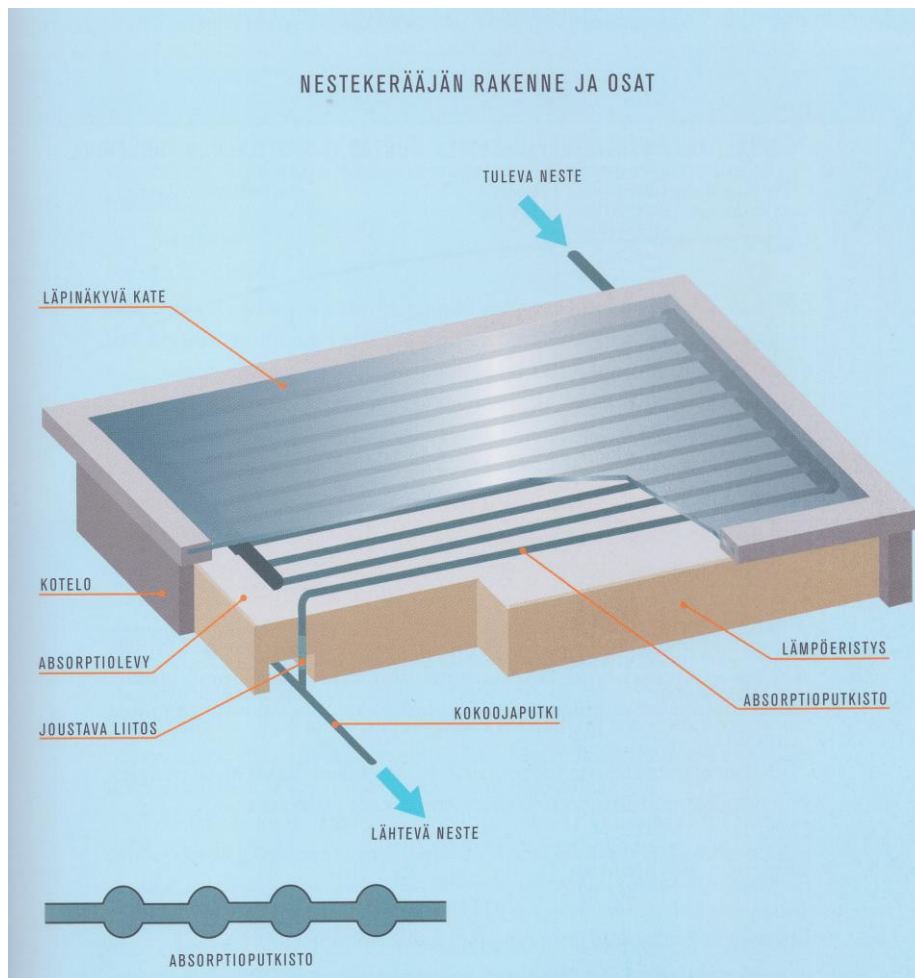
3.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräin kerää auringon säteilyä keräjäelementillä. Keräyselementin pinta absorboi auringon säteilyenergiaa ja kuumenee juuri tästä syystä. Näin saadaan muutettua auringon säteilyenergia lämmöksi. Keräimestä lämpö siirretään varastoon eli yleensä lämminvesivaraajaan. Tavallisesti aurinkokeräimet asennetaan Suomessa katolle tai joskus jopa seinälle.

Aurinkokeräimen tehokkuudelle tärkeitä tekijöitä ovat auringonsäteilyn absorbointiominaisuudet, katteen ominaisuudet, mahdollisimman tehokas lämmönsiirto, keräimen ja ulkoilman välinen hyvä eristys, keräimen sijainti ja asennuskulma. Myös ulkoiset tekijät, kuten vaikkapa sää voivat vaikuttaa aurinkokeräimien tehokkuuteen. Niiden hyötysuhteet ovat yleensä noin 35–85 %. Tyhjiöputkikeräimissä hyötysuhde 35–85 % ja tasokeräimissä puolestaan 35–74 % [15, s. 13]. Hyötysuhteet vaihtelevat tietysti myös järjestelmän ominaisuuksien ja komponenttien perusteella. [1; 2; 3; 4; 5; 15.]

3.2 Nestekiertoinen järjestelmä

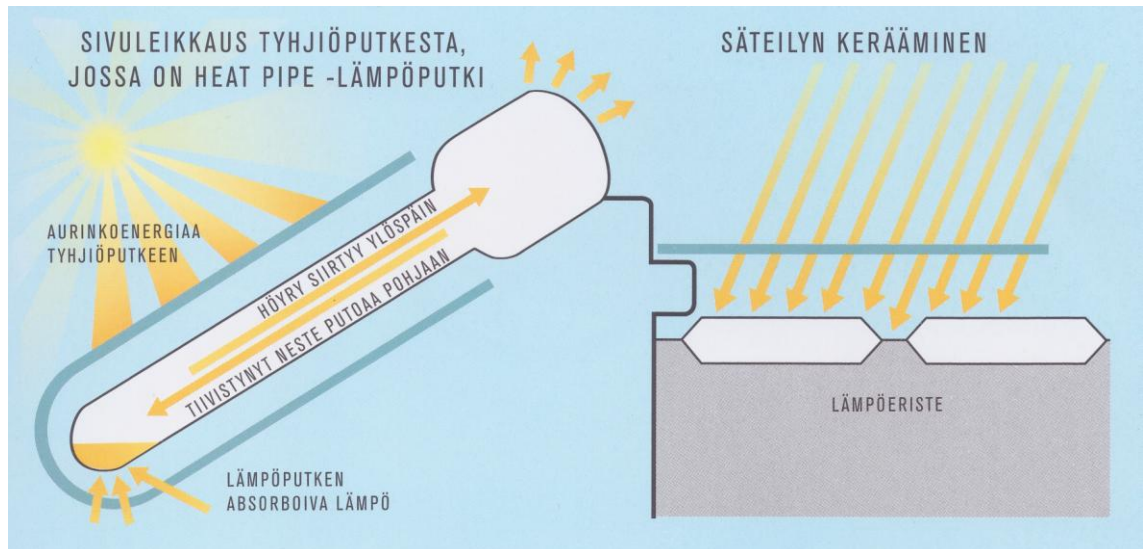
Nestekiertoinen järjestelmä toimii lämmönsiirtonesteellä. Neste siirtää keräimestä saatavan lämmön eteenpäin. Nestekiertoiset järjestelmät voidaan jakaa kahteen osaan eli tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin. Kuvassa 6 on esitetty nestekiertoisen tasokeräimen rakenne. [1.]



Kuva 6. Nestekiertoinen kerääjä [1, s. 85].

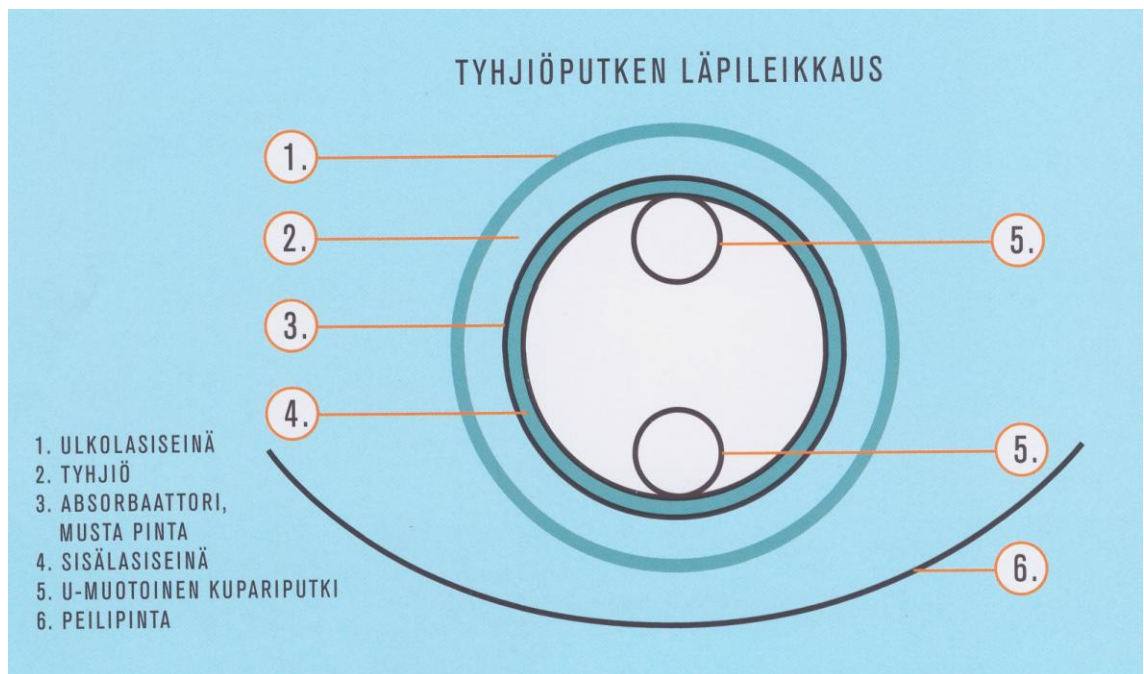
3.2.1 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimet voidaan myös jakaa kahteen osaan. Tyhjiöputkeen, jossa lämmön- siirtoneste kiertää U-muotoisessa putkessa lämpöä absorboivan pinnan alla, sekä tyhjiöputkeen, jossa on erillinen suljettu lämpöputki. Tällaista kutsutaan ns. Heat Pipe -järjestelmäksi. Siinä putken sisällä oleva neste höyrystyy ja siirtää näin lämmön keräimestä eteenpäin. Heat Pipe -järjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 7 ja U-muotoisen putken rakenne on puolestaan esitetty kuvassa 8.



Kuva 7. Heat Pipe -lämpöputki [1, s. 81].

Tyhjiöputkea voidaan käyttää myös auringonsäteilyä keskittävässä järjestelmissä. Siinä koverilla peilipinnoilla saadaan lisättyä järjestelmän absorptiopintaan osuvaa auringon säteilyn määrää. Näin saadaan parannettua järjestelmän tehokkuutta. Keskittävä keräin ei kuitenkaan pysty hyödyntämään auringon hajasäteilyä. [1; 2.]

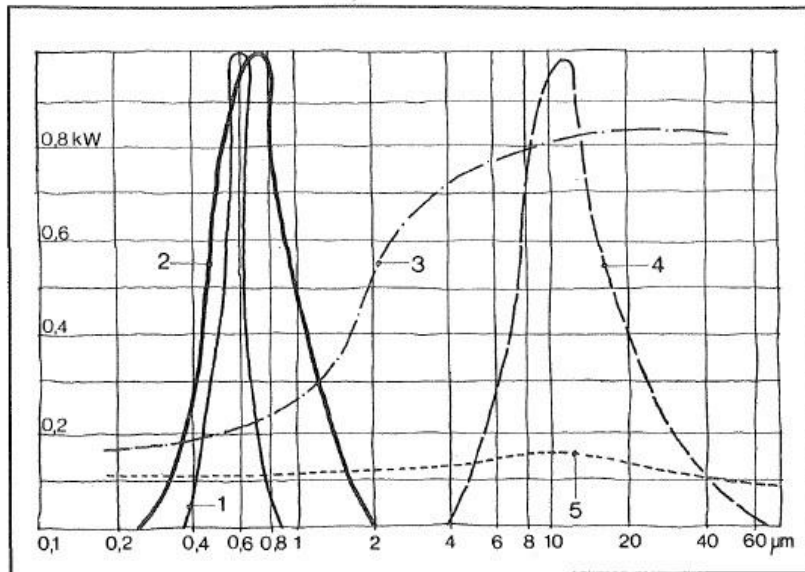


Kuva 8. Tyhjiöputken läpileikkaus, jossa on U-muotoinen putki [1, s. 82].

3.2.2 Tasokeräimet

Tasokeräin kerää auringon säteilyä lähes koko pinta-alallaan. Tasokeräin kerääkin erityisen hyvin juuri hajasäteilyä [2, s. 194]. Lämmön keräys tapahtuu tummalla kerääjäelementillä. Kun kerääjä absorboi auringon säteilyä, se kuumenee. Tällä tavoin järjestelmä muuttaa auringon säteilyn lämpöenergiaksi. Lämpö siirtyy keräimen pinnasta mustapintaiseen putkistoon ja siinä virtaavaan lämmönsiirtonesteeseen. Tasokeräimien lämmönkeruuelementti valmistetaan yleensä metallista, mutta nykyään voidaan käyttää myös hyvin lämpöä kestäviä muoveja [1, s. 84].

Tasokeräimet jaetaan kahteen kategoriaan, jotka ovat katetut ja kattamattomat tasokeräimet. Yleisempiä näistä kuitenkin ovat katetut tasokeräimet. Katetuissa tasokeräimissä käytetään nykyään lähes aina selektiivisiä pintoja. Selektiiviset pinnat voivat olla vaikka mustakromi- tai mustanikkelipintoja, jotka ovat valmistettu elektrolyyttisesti. Selektiivinen pinta absorboi tehokkaasti lyhytaaltoista säteilyä (aallonpituus 0,3–2 μm) ja säteilee huonosti pitkäaaltoista säteilyä (aallonpituus 4–25 μm). Tällöin se estää keräinelementistä heijastuvaa säteilyä karkaamasta keräimestä. Samalla se parantaa keräimen hyötysuhdetta. Kuvassa 9 näkyy normaalin lasin ja selektiivisen lasin heijastusspektrit. Joissakin järjestelmissä käytetään kattamatonta tasokeräintä. Tämä onnistuu, jos halutaan tuottaa lämpöenergiaa matalassa lämpötilassa. Tällaista järjestelmää voitaisiin käyttää esimerkiksi uima-altaan lämmitykseen. Kattamattomassa tasokeräimessä voitaisiin myös käyttää muovisia keruuelementtejä, koska käyttölämpötilat eivät nouse kovin korkeiksi.



Kuva 56 Eri säteilymuotojen spektrit, normaalin ja selektiivisen lasin heijastusspektrit.

- 1 Näkyvän valon spektri
- 2 Auringonsäteilyn spektri
- 3 Selektiivisen lasin heijastusspektri
- 4 Lämpösäteilyn spektri
- 5 Normaalin lasin heijastusspektri

Kuva 9. Eri säteilymuotojen spektrit, normaalin ja selektiivisen lasin heijastusspektrit [26, s. 79].

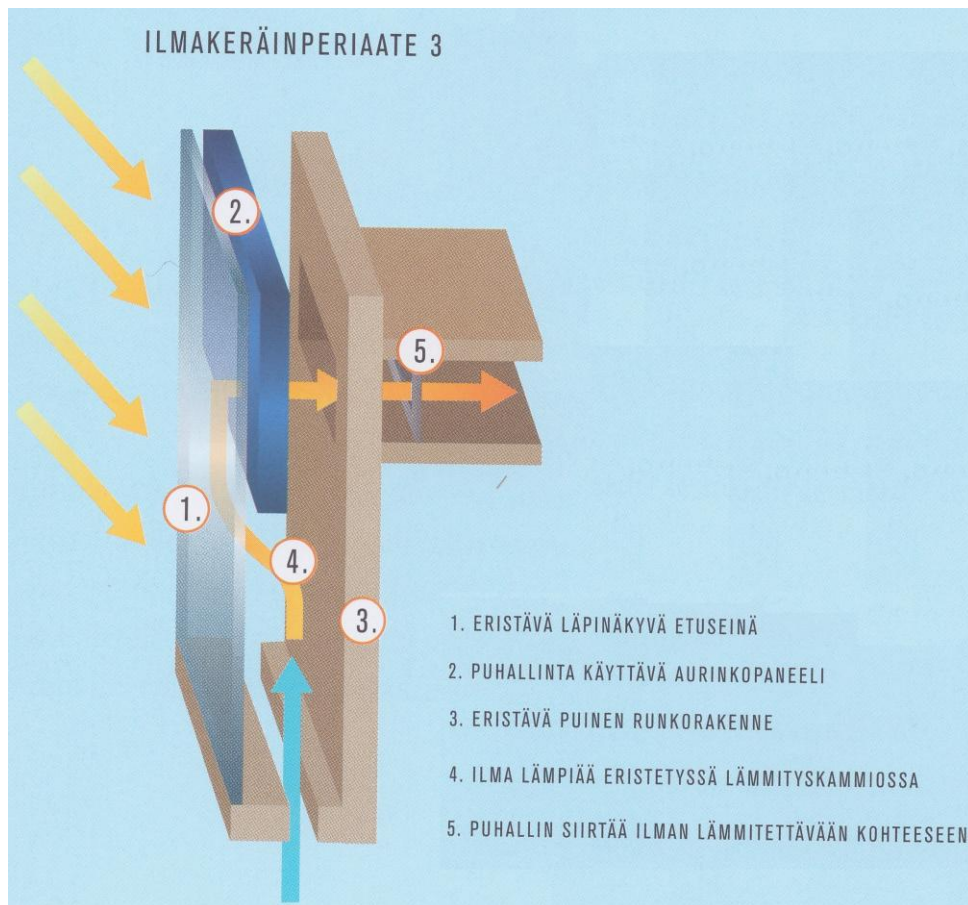
Parhaalla tehokkuudella tasokeräin toimii, kun sen valmistuksessa on huomioitu hyvä lämmöneristävyys, varmistettu hyvät säteilyn absorptiominaisuudet selektiivilasikatteella sekä kun on huomioitu mahdollisimman suuri lämmönsiirtokyky. Etenkin lämmöneristystä tasokeräimissä tarvitaan, sillä ulkoilman ja tuulen viilentävä vaikutus heikentää keräimen tehokkuutta. [1; 2; 4; 13.]

3.2.3 Tyhjiöputkikeräimen ja tasokeräimen erot

Tyhjiöputkijärjestelmässä auringon lämpöä keräävä pinta on putkimaisessa muodossa. Tasokeräimessä keräävä pinta taas on suuri "levy". Tyhjiöputkessa oleva tyhjiö eristää tehokkaasti lämmön karkaamista. Tämä parantaa lämmönkeruun tehokkuutta kylmässä säässä, ja siksi tyhjiöputkikeräin toimiikin talvella paremmin hyvän lämmöntuottokynsä takia kuin tasokeräin [1, s. 84]. Kesällä näiden kahden järjestelmän lämmön tuoton välillä ei kuitenkaan ole mitään merkittävää eroa. [1.]

3.3 Ilmakeräimet

Ilmakeräimet käyttävät lämmönsiirtoaineenaan ilmaa. Se ei kuitenkaan siirrä lämpöä yhtä tehokkaasti kuin vesi. Jos ilmalla haluttaisiin siirtää sama lämpömäärä kuin vedellä, tarvittaisiin tällöin 4 000-kertainen määrä ilmaa veteen verrattuna [1, s. 90]. Tämä johtaa sekä suurempiin kanavakokoihin että pinta-alaltaan laajempiin absorptioelementteihin.



Kuva 10. Ilmakeräimen toimintaperiaate [1, s. 89].

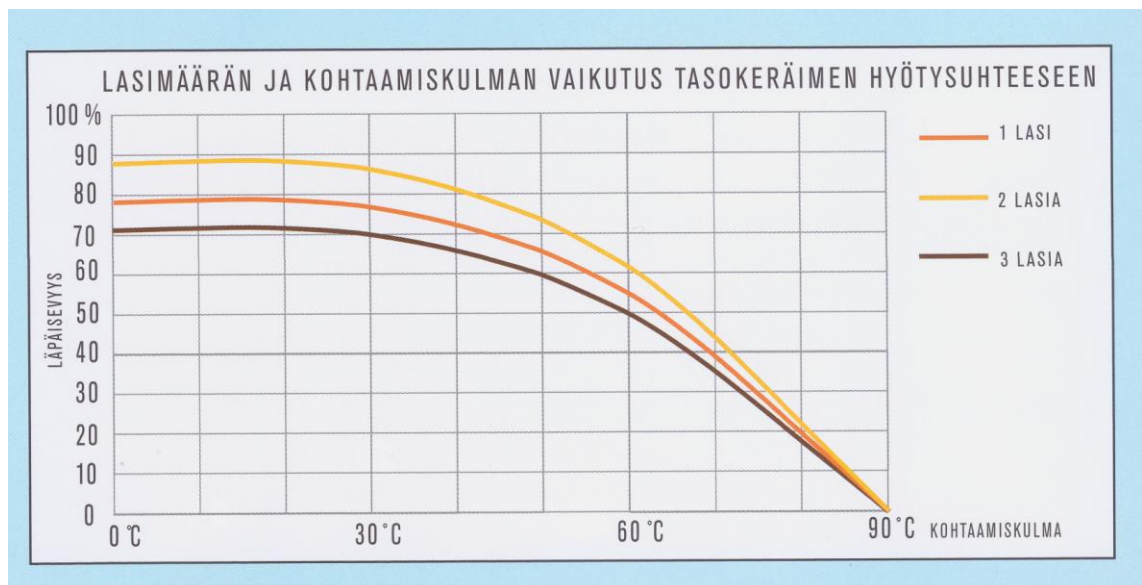
Ilmakeräimet jaetaan kahteen kategoriaan eli kattamattomiin ja katettuihin ilmakeräimiin. Yleensä ilmakeräimet varustetaan kateella. Yleisin ilmakeräinenmalli on tehdasvalmisteinen laite, joka on suoraan asennusvalmis. Joskus kuitenkin tehdään rakennukseen integroituja ilmakeräimiä. Tällöin ilmakeräimet voivat olla asennettuja esimerkiksi joko katolle tai koko julkisivulle. Tällöin rakennuksen vaippa toimii lämmöneristeenä ilmakeräimelle. Tällaisessa ratkaisussa ilmakeräimen lämpöhäviöt rakennuksen

sisäänpäin ovat pieniä. [1; 7.] Kuvassa 10 esitellään seinään asennetun katetun ilmakehäkeräimen toimintaperiaate.

3.3.1 Katetut ilmakehäkeräimet

Katetut ilmakehäkeräimet varustetaan läpinäkyvällä kateella, ja katemateriaali voi tällöin olla joko muovia tai erikoislasi. Tavallisimmin käytetään juuri erikoislasiakatteita. Näillä erikoislaseilla, esimerkiksi selektiivilaseilla, on paremmat säteilyn läpäisyominaisuudet, mutta samalla ne ovat myös kalliimpia. Muovi on halvempaa ja kevyempää, mutta samalla se naarmuuntuu ja likaantuu helpommin kuin erikoislasi. Lisäksi muovi tarvitsee lämpölaajenemisen takia suurempaa liikkumistilaa kuin erikoislasi. Katetun ilmakehäkeräimen hyötysuhde riippuu ratkaisevasti katemateriaalin ominaisuuksista.

Kate vähentää ilmakehäkeräimen lämpöhäviöitä ympäristöön. Yleensä katetut ilmakehäkeräimet varustetaan yhdellä katekerroksella. Joissakin tilanteissa voidaan käyttää useampia kerroksia, mutta ne nostavat samalla järjestelmän hintaa [1, s. 90]. Useammilla kerroksilla saavutetaan parempaa lämmöneristävyyttä, mutta samalla ne vähentävät keräyspinnalle osuvan säteilyenergian määrää. [1; 7.] Kuvassa 11 on näytetty lasimäärän vaikutus valon läpäisevyyteen tietyissä kohtaamiskulmissa.



Kuva 11. Lasimäärän ja kohtaamiskulman vaikutus valon läpäisevyyteen eri kohtaamiskulmissa [1, s. 92].

3.3.2 Kattamattomat ilmakeräimet

Kattamattomassa ilmakeräimessä ei ole lämpöeristävää katetta. Tällainen järjestelmä on halvempi, mutta samalla se ei pysty keräämään lämpöä yhtä tehokkaasti kuin katettu ilmakeräin. Kattamattomassa ilmakeräimessä lämpöhäviöt ovat suuret, koska ilmakeräimen lämpötila on paljon ympäristöään lämpimämpi. [1; 7.]

3.3.3 Ilmakeräimen edut

Ilmalla on kuitenkin monia etuja veteen verrattuna. Ilma ei jäädy kuten vesi, eikä siinä tule samanlaisia yllälämpenemisongelmia. Ilma myös lämpenee vettä nopeammin. Ilma on lämmönsiirtoaineena hyvin turvallista, sillä siinä ei ole ympäristölle haitallisia kemikaaleja. Vuodon sattuessa ilma ei aiheuta rakenteellisia ongelmia, kuten vesivuotojen yhteydessä usein tapahtuu. Ilmakiertoiset järjestelmät ovat suhteellisen yksinkertaisia rakentaa, ja lämpövarastot ovat halpoja. Lämpövarastona voidaan käyttää rakennuksen omia rakenteita, esimerkiksi seiniä ja välipohjia. [1; 7.]

3.3.4 Ilmakeräimen ongelmat

Ilmakeräimillä on kuitenkin omat haittansa. Ne ovat vaikeampia säätää kuin nestekiertoiset järjestelmät. Ilmalla on myös alhaisempi lämpökapasiteetti kuin nesteillä. Lämpökapasiteetti kuvaa lämpöenergian sitoutumista lämpötilaeroa kohti. Ilmakeräimet eivät myöskään sovellu yhtä hyvin lämpimän veden tai uima-altaiden lämmitykseen. [1; 7.]

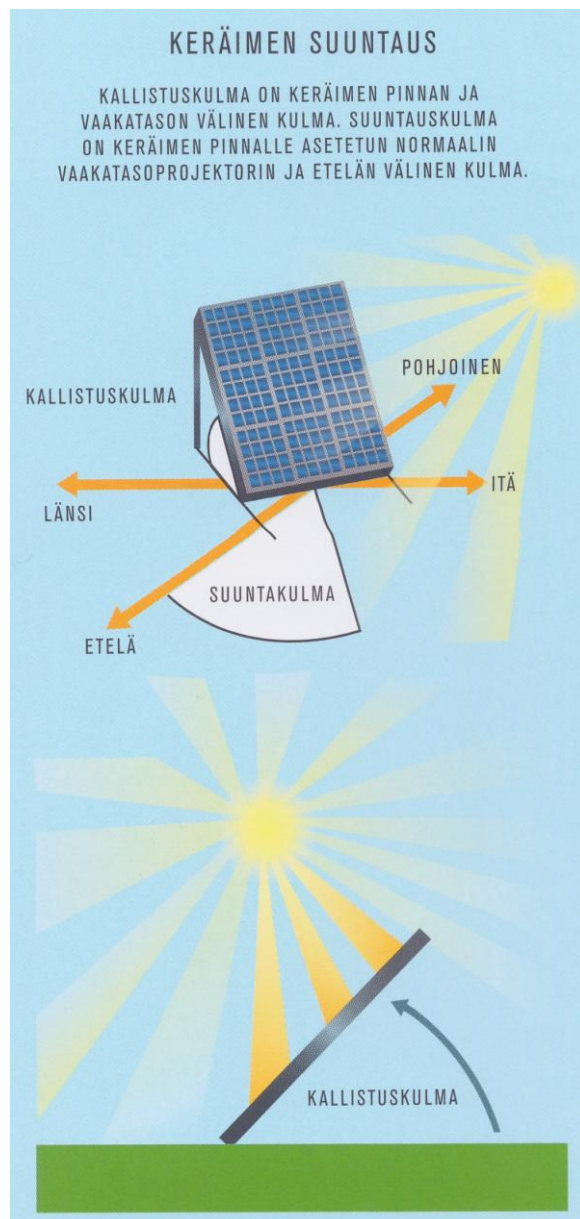
3.4 Aurinkokeräimen asennus

Asennuspaikka on hyvin tärkeää aurinkokeräimen toiminnan kannalta. Paikan valoisuus tai jopa tuulisuus vaikuttaa järjestelmän tehokkuuteen. Keräin toimii sitä tehokkaammin, mitä suuremmin aurinko siihen paistaa. Myös tuulisuus lisää lämpöhäviöitä, sillä se viilentää aurinkokeräimen pintaa. Tästä johtuen keräimet kannattaisikin asentaa niin että aurinkokeräimet välttyisivät kylmiltä pohjoistuulilta ja turhalta varjostukselta [1, s. 97].

Aurinkokeräintä ympäröivän tontin olosuhteista riippuen keräimen voi asentaa moneen paikkaan. Paras paikka aurinkokeräimelle on mahdollisimman valoisa paikka. Tämä on

yleensä katto tai joskus rakennuksen seinä. Jos esimerkiksi rakennusta ympäröivät puut tai muut rakennukset varjostavat, asennuspaikka voi sijaita etäällä rakennuksesta omalla telineellään.

Aurinkokeräimen asennuksessa on kaksi huomioitavaa tekijää. Näitä ovat kallistuskulma sekä suuntakulma. Suuntakulma määrittää asennussuunnan ilmansuuntiin nähden ja kalliskulma määrittää asennuskulman aurinkoon nähden. Kuvassa 12 näytetään keräimen suuntauksen eri vaihtoehdot.



Kuva 12. Keräimen suuntaukseen vaikuttavat tekijät [1, s. 99].

Suomessa paras suuntakulma aurinkokeräimelle on yleensä etelä. Myös kaakkoon tai lounaaseen asennetulla aurinkokeräimellä saadaan kelvollinen lopputulos. Asennukseen vaikuttaa luonnollisesti myös se, asennetaanko aurinkokeräimet uuteen vai vanhaan rakennukseen. Uuden rakennuksen suunnittelussa voidaan optimoida rakennuksen rakennussuunnat ilmansuuntiin nähden optimaalisesti aurinkokeräimiä varten. Vanhemmissa rakennuksissa ei voida tällaista optimointia tehdä ja näin aurinkokeräimet voidaan joutua asentamaan huonompiin suuntakulmiin.

Koska aurinko ei pysy taivaankannella paikallaan, joudutaan kallistuskulmassa tekemään kompromisseja. Talvella eteläisen Suomen olosuhteissa auringon korkeuskulma on keskipäivällä vain 7 astetta. Kesällä auringon korkeuskulma on kuitenkin jo korkeimmillaan 53 astetta. Korkeuskulmat vaihtelevat paljonkin rakennuksen maantieteellisen sijainnin perusteella. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa nämä korkeuskulmat ovat täysin erilaiset. Jos järjestelmässä halutaan painottaa kevään ja syksyn lämmön tuottoa, pitää keräimet olla tällöin suunnattuna etelään ja asennettuna 60 asteen kallistuskulmaan. Mikäli tavoitellaan erinomaista tuottoa kesäisin, pitäisi keräimet olla suunnattuna kaakon-lounaan suuntaan ja asennettuna 30 asteen kallistuskulmaan. Parhaaseen vuosituottoon päästäisiin kaakon-lounaan suuntaan asennetuilla keräimillä ja 45 asteen kallistuskulmalla [28]. Yksi mielenkiintoinen ratkaisu edellä esitettyyn ongelmaan on auringon sijainnin mukaan kääntyvät aurinkokeräimet. Aurinkokeräimet on tällöin asennettu telineisiin, joissa ne vaihtavat asentoaan aina auringon mukaan. Tällöin ne ovat aina optimaalisessa asennossa. Tällaisella asennuksella voitaisiin parantaa aurinkokeräinten tehoa kymmenillä prosenteilla [27]. Tämän kaltaiset asennukset ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia. Lisäksi niiden korkeammat huoltokustannukset ja luonteva sijoittaminen rakennuksiin tuottaa ongelmia. Suurissa aurinkopaneeliasennuksissa näkee kuitenkin joskus tällaisiakin ratkaisuja.

Suomen lumiset ja jäiset olosuhteet tuovat oman lisämausteensa aurinkokeräinten asennukseen. Aurinkokeräimen toimintaa helpottaa talvella se, että asennuskulma olisi mahdollisimman jyrkkä. Tällöin lumi liukuisi helpommin Aurinkokeräimen pinnalta pois. Tämän lisäksi aurinkokeräimet pitää olla asennettu tarpeeksi korkealle, jotta lumi pääsee katolla liukumaan helposti keräimen alapuolelta pois. Jos lunta ei poisteta, se voi jäättyä aurinkokeräimen pinnalle, mikä taas tuottaa ongelmia. Yksi vaihtoehto lumenpoistamiselle on, että aurinkokeräin asennetaan helposti lähestyttävään paikkaan. Tällöin lumi päästään poistamaan manuaalisesti aurinkokeräimen päältä. Viime vuosina eteläisessä Suomessa on ollut monia vähälumisia talvia. Vähälumiset talvet tulevat

lisääntymään ilmastonmuutoksen takia. Siksi voikin olla, että lumen aiheuttavat ongelmat tulevat vähentymään tulevaisuudessa. [1; 4; 5; 27; 28.]

4 Aurinkolämpöjärjestelmät Suomessa

Aurinkolämpöjärjestelmät soveltuvat sekä yksityisiin talouksiin että suuriin julkisiin lämmöntuotantolaitoksiin. Aurinkolämpöjärjestelmät ovat yleensä ns. hybridijärjestelmiä, jolloin ne toimivat yhdessä muiden lämmöntuotantotapojen rinnalla.

Suomessa aurinkolämpöjärjestelmiä ei ole vielä kovinkaan montaa. Vuonna 2014 koko Suomessa niitä oli vain hieman yli 1 000 kappaletta. Näistäkin osa oli useita vuosikymmeniä vanhoja. Lisäksi Suomessa olevien aurinkokeräimien pinta-alat ovat hyvin pieniä verrattuna vaikkapa Tanskaan, joka kuuluu aurinkolämmön suurmaihiin.

Suomen oloissa aurinkolämpöjärjestelmät soveltuvat parhaiten pienessä mitassa käyttöveden, kosteiden tilojen tai pienten uima-altaiden lämmitykseen kesällä. Aurinkolämpöjärjestelmiä voidaan hyödyntää suuremmassa mitassa sellaisiin kiinteistöihin, joissa lämmönkulutus on suurta kesälläkin. Useimmissa tapauksissa tämä tarkoittaa käyttöveden lämmittämistä. Tällaisia kohteita voisivat olla esimerkiksi uimahallit tai pesulat. Vuosittaisessa käyttöveden lämmöntuotannossa voidaan päästä 0,4 MWh/keräin-m² lukemiin. Uima-altaan lämmityksessä voitaisiin taas päästä lukemiin 0,5 MWh/keräin-m² [8, s. 25].

Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Näitä ovat yksityiset aurinkolämpöjärjestelmät, teolliset aurinkolämpöjärjestelmät ja aurinkokaukolämpölaitokset. Jako eri kategorioihin tapahtuu puolestaan aurinkokeräimien pinta-alan perusteella. Yksityiset aurinkolämpöjärjestelmät ovat pinta-alaltaan 1–50 m². Teolliset aurinkolämpöjärjestelmät ovat kooltaan 50–500 m² kokoisia. Aurinkokaukolämpölaitokset ovat kooltaan yli 500 m². [1; 8.] Kuvassa 13 on esitelty erilaisten aurinkolämpöjärjestelmien tuotantohintoja.

Järjestelmän koko keräin-m ²	Laitteiston ja asennuksen hankintahinta €/keräin-m ²	Ylläpitokulut % alkuinvestoinnista /keräin-m ²	Aurinkolämmön tuotantohinta €/MWh, kun tuotto 0,4 MWh/m ²	Aurinkolämmön tuotantohinta €/MWh, kun tuotto 0,5 MWh/m ²
Pienet järjestelmät 4 – 20 keräinneliötä	500 – 1000 €/keräinneliö	10 %, 50 – 100 €/keräinneliö	46 – 92 €/MWh	37 – 73 €/MWh
Keskikokoiset järjestelmät 20 – 100 keräinneliötä	500 – 750 €/keräinneliö	8 %, 40 – 60 €/keräinneliö	45 – 68 €/MWh	36 – 54 €/MWh
Suuret järjestelmät 100 – 1000 keräinneliötä	400 – 500 €/keräinneliö	5 %, noin 20 – 25 €/keräinneliö	35 – 44 €/MWh	28 – 35 €/MWh
Teolliset järjestelmät, 15 000 keräinneliötä	280 – 340 €/keräinneliö	Noin 20 €/keräinneliö	–	20 – 24 €/MWh

Kuva 13. FinSolar-hankkeen taulukko aurinkolämmön tuotantohinnoista [8, s. 23].

4.1 Aurinkokaukolämpölaitokset Suomessa ja Tanskassa

Suomessa ei ole vielä tehty suuria aurinkokaukolämpölaitoksia kaupalliseen käyttöön. Suomessa olevat laitokset ovat vielä kokeiluasteella. Vaikka Suomessa onkin pitkä talvi, ei sen silti pitäisi estää näiden laitosten kannattavaa rakentamista. Esimerkiksi Tanskan suurimman aurinkokaukolämpölaitoksen keräimien pinta-ala on noin 150 000 neliometriä [8, s. 22]. Tällaiset järjestelmät ovat tyypiltään hybridilämpöjärjestelmä. Niiden lämmöntuottotapoina voivat olla aurinkokeräimien lisäksi esimerkiksi bioenergian käyttö ja lämpöpumput.

Suuret järjestelmät tuottavat tehokkaasti lämpöä aurinkokeräimien avulla. Siksi näissä suurissa laitoksissa jopa puolet laitosten vuosittaisesta lämmöntarpeesta voidaan saada suoraan auringosta. Tämä kuitenkin onnistuu vain kausivarastoinnin avulla, jolloin lämpöä varastoidaan lämmityskautta varten. Tanskassa onkin kaksi erilaista mitoitus-tapaa tällaisten laitosten aurinkokeräinkentille ja lämpövarastoille [19]. Ensimmäisessä mallissa aurinkokeräimien ja lämpövaraston avulla voidaan tuottaa noin 20 % vuosittaisesta lämmöntarpeesta kaukolämpöverkossa. Tällaisissa järjestelmissä aurinkokeräin-kenttien koot ovat noin 2 000–20 000 m² ja lämpövarasto on tilavuudeltaan 4 000–10 000 m³. Toisessa vaihtoehdossa mitoitetaan aurinkokeräimet ja lämpövarasto tuot-

tamaan noin 50–60 % vuosittaisesta lämmöntarpeesta. Tällöin aurinkokeräinkenttien pinta-ala on noin 20 000–70 000 m² ja lämpövarastojen koot 50 000–200 000 m³. Tällaisten järjestelmien aurinkolämmönkustannukset ovat noin 30–40 €/MWh. Pienissä laitoksissa kustannukset ovat tietenkin tätä suurempia. Jotta kuitenkin tällaisiin lukemiin päästäisiin, tämä vaatii tarkkaa suunnittelua ja järjestelmien optimointia. [1; 7; 19.]

Tanskaan rakennetaan jatkuvalla tahdilla uusia aurinkokaukolämpölaitoksia, jotka ovat toimintatavaltaan hybridijärjestelmiä. Ne tuottavat lämpönsä erilaisten järjestelmien kuten aurinkolämmön, maalämmön ja lämpöpumppujen avulla. Silkeborgin kuntaan onkin nyt rakennettu maailman suurin aurinkolämpölaitos [20]. Urakassa remontoitiin vanhaa kaasukombivoimalaitosta ja samalla lämpöä alettiin tuottaa myös aurinkolämmöllä. Silkeborgin laitos valmistui vuoden 2016 lopussa, ja pelkästään aurinkolämpölaitoksen rakentaminen maksoi 230 miljoonaa Tanskan kruunua [22]. Kuvassa 14 näkyy Silkeborgin aurinkolämpölaitos.



Kuva 14. Silkeborgin aurinkolämpölaitos [22].

Laitoksen aurinkokeräimien pinta-ala on yhteensä noin 156 700 m², ja se pystyy tuottamaan lämpöä vuosittaisella tasolla jopa 80 000 MWh [20]. Aurinkokeräinten huipputeho laitoksessa on arvioitu olevan noin 110 MW. Laitos tuottaa aurinkolämmön lisäksi lämpöpumpuilla, kaasukäyttöisellä kombivoimalaitoksella. Lämpölaitoksella voidaankin tuottaa 20 % vuosittaisesta Silkeborgin taajaman lämmöntarpeesta.

Silkeborgin lämpölaitoksessa on lisäksi yhteensä neljä kappaletta 16 000 m³ lämpövarastoja. Näin lämpövarastojen kooksi tulee yhteensä 64 000 m³. Lämpövarastoja käytetään lähinnä kesällä kolmen kuukauden ajan lämmön varastointiin. Remontin jälkeen laitoksen lämmöntuotantokustannukset alenivat aiemmasta noin 20 % [22]. [19; 20; 21; 22.]

4.2 Teolliset aurinkolämpölaitokset

Suomessa ei ole teollisia aurinkolämpölaitoksia vielä kovinkaan montaa. Tämän kokoisia järjestelmiä voitaisiin kuitenkin käyttää esimerkiksi pesuloissa, panimoissa tai uimahalleissa. Parhaiten tällaiset järjestelmät sopisivat sellaisille yritykselle, jotka käyttävät matalalämpöisiä nesteitä suuria määriä. Tämän kokoista järjestelmää käytetään esimerkiksi 2011 valmistuneessa Porin uimahallissa. Siinä on 200 m² aurinkolämpökeräimiä katolla sekä 80 m² kuparijulkisivusta on kattamatonta lämpöä keräävää pintalaa. [1; 8.]

4.3 Yksityiset aurinkolämpöjärjestelmät

Pientaloissa on paljon potentiaalisia kohteita, joihin aurinkolämpöjärjestelmiä voitaisiin soveltaa tehokkaasti. Pientaloissa aurinkolämmöllä kannattaisi lämmittää käyttövedtä, kosteiden tilojen lattialämmitystä tai uima-allasta. Huoneiden lämmitykseen aurinkolämpö ei kuitenkaan sovellu kovinkaan tehokkaasti. Suurin lämmöntarve on talvella, mutta silloin ei saada tarpeeksi lämpöä auringosta. Jotta lämpöä voitaisiin hyödyntää talvella, pitäisi rakentaa suuri lämpövarasto, johon lämpöä voitaisiin varastoida kesällä. Joissakin tilanteissa aurinkolämpöä voidaan kuitenkin osittain käyttää rakennusten lämmitykseen. [1; 8.]

4.3.1 Pientalo suoralla sähkölämmityksellä

Koska talon varsinainen lämmitys tapahtuu suoralla sähköllä esimerkiksi sähköradiatoreilla, ainoaksi taloudellisesti kannattavaksi lämmitysvaihtoehdoksi muodostuu käyttöveden lämmitys. Aurinkolämpö lämmittäisi varaajan vettä, jolloin varaajaa ei enää tarvitse lämmittää sähköllä. Näin saadaan säästöä sähkön kulutuksen osalta. [1; 8.]

4.3.2 Pientalo vesikiertoisella lämmityksellä

Vesikiertoisella lämmityksellä varustettuja pientaloja on monenlaisia. Vaihtoehdot ovat esimerkiksi öljylämmitteiset, vesikiertoiset sähkölämmitteiset talot sekä biomassalla lämpiävät talot. Biomassalla lämpiävä talo voi olla lämmitetty esimerkiksi hakkeella tai puulla.

Vesikiertoisista taloista löytyy paljon potentiaalisia kohteita aurinkolämmön soveltamiseen. Suomessa on edelleen 200 000 öljyllä lämmitettävää taloa sekä 100 000 vesikiertoista sähkölämmitteistä taloa [8, s. 24]. Tällaisissa taloissa on valmiina tarvittavat komponentit, kuten esimerkiksi lämmönsiirrin, pumppuyksikkö ja lämmitysputkisto, joita tarvittaisiin myös aurinkolämmön hyödyntämisessä. Tällaisissa sovelluksissa talojen lämmityksen yhteyteen on asennettu suuri lämminvesivaraaja. Talojen lämmitysjärjestelmät lämmittävät varaajassa olevaa vettä ja varaajasta vesi siirtyy itse rakennuksen lämmitykseen. Aurinkolämpö kytkeytyy samaan varaajaan, jolloin varaajassa oleva vesi lämpenee aurinkolämmön avulla. Näin saadaan säästöjä öljyn, hakkeen tai sähkönkulutuksen osalta. [1; 8.]

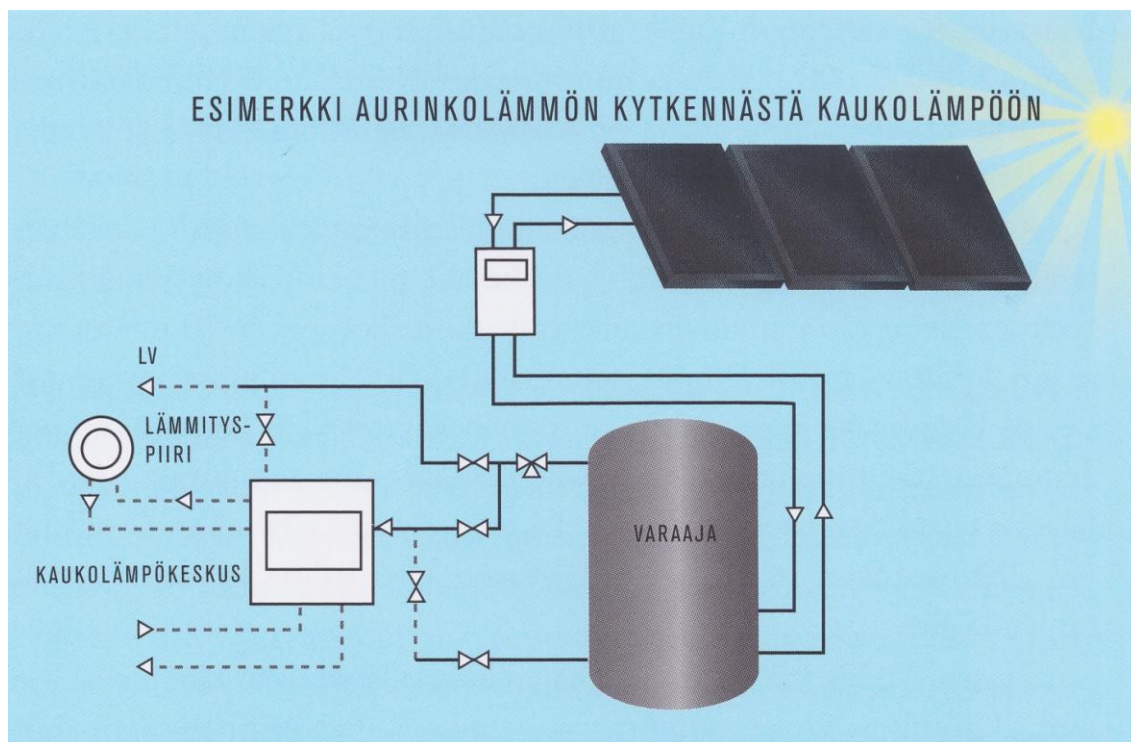
4.3.3 Pientalo maalämpöpumpulla

Aurinkolämpö toimii hyvin maalämpöpumpun kanssa. Esimerkiksi jos aurinkokeräimen keräämää lämpöä pumpataan lämpökaivolle, muuttuvat kaivon olosuhteet paljon paremmaksi pumpun kannalta. Maaperä lämpenee eikä enää jäädy yhtä helposti. Se siis käytännössä toimii kausivarastona, jolloin lämpöä pumpataan varastoon kesällä ja kerätään sieltä lämmityskaudella. Lämpökaivon olosuhteiden paraneminen kasvattaa pumpun käyttöikää sekä parantaa maalämpöpumpun vuosihyötysuhdetta ja antotehoa. [1; 8.]

4.3.4 Pientalo kaukolämpöverkossa

Kaukolämpöverkossa olevassa talossa voidaan myös hyödyntää aurinkolämpöä. Aurinkolämmöllä voidaan esilämmittää lämmintä käyttövettä 30-asteiseksi. Tämän jälkeen kaukolämpö lämmittää veden 55-asteiseksi. Näin saadaan säästöä kaukolämmön kulutuksessa. Kuvassa 15 on esitelty aurinkokeräimen kytkentä, kun se on yhdistetty kaukolämpöverkkoon.

Liitteessä 1 on esitetty K1:n eli rakennusten kaukolämmityksen määräysten ja ohjeiden mukainen kytkentä [29, s. 89] kyseiselle järjestelmälle. K1:ssä mainitaan myös sen että tämänkaltaisissa asennuksissa pitää kiinnittää huomiota siihen, ettei kaukolämpöveden jäähtymä huonone merkittävästi. [1; 8; 29.]



Kuva 15. Aurinkolämpöjärjestelmän kytkentä kaukolämpöverkkoon [1, s. 125].

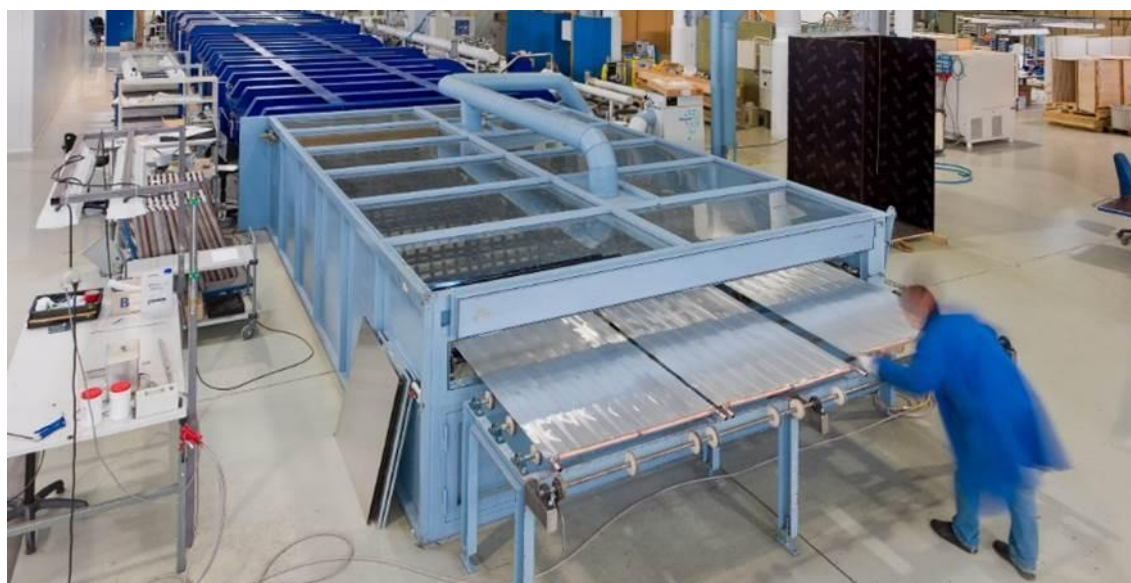
4.4 Savo-Solar Oy

Savo-Solar Oy on suomalainen yritys, joka valmistaa aurinkokeräimiä. Yritys pystyy tekemään maailman suurimpia valmiiksi kasattuja selektiivisellä pinnoitteella valmistettuja aurinkokeräimiä, jotka voivat olla pinta-alaltaan jopa noin 15 m². Savo-Solar Oy sijaitsee Mikkelissä, ja se on perustettu vuonna 2010.

Savo-Solar Oy:n henkilökuntaan kuului vuonna 2016 42 ihmistä, ja yhtiön liikevaihto oli yhteensä 5,4 miljoonaa euroa. Kasvua oli tullut edellisestä vuodesta jopa 164 %. Yrityksen liikevaihdosta jopa 90 % tulee viennistä. Yrityksen päämarkkina-alueena on ollut Tanska, mutta luonnollisesti myös Suomeen myydään jonkin verran aurinkokeräimiä. Savo-Solar Oy myy parhaimpina vuosina Suomeen noin 4 000 m² aurinkokeräimiä. Tällaisen määrän heidän tehtaansa pystyisi valmistamaan muutamassa päivässä. [8, s. 22.] Kuvassa 16 esitellään Savo-Solar Oy:n aurinkokeräimien valmistusta.

Yritys mainostaa aurinkokeräimiään markkinoiden tehokkaimpina. Solar Simulator on mitannut [25] yrityksen tasokeräimen hyötysuhdetta. Se on saanut tuloksekseen maksimihyötysuhteeksi 89 %. Savo-Solar Oy:n erikoisuutena on patentoitu tyhjiöpinnoitus-

menetelmä. Aurinkokeräimen absorptiorakenne on tällöin pinnoitettu yhtenä kappaleena. Tämä tekniikka parantaa aurinkokeräimien hyötysuhdetta ja lämmönsiirto-ominaisuuksia. Savo-Solar Oy:n kehittämä MEMO-nanopinnoite on kolmikerroksinen. Yrityksen mukaan pinnoitteen absorbanssi on 96 % ja emissiviteetti 5 %. Absorbanssiluku kuvaa valon imeytymistä aineeseen. Emissiviteetti taas tarkoittaa lasipinnalle ominaista tapaa säteillä pitkäaaltoista, silmin näkymätöntä lämpösäteilyä, jonka aallonpituus on suurempi kuin 2 500 nanometriä. Suurin emissiviteetti on mustalla kappaleella ($e=1$) ja pienin kiillotetulla hopeapinnalla ($e= 0,02$) [18]. Yritys lupaa tälle pinnoitteelle markkinoiden parhaat korroosion ja lämpötilojen kesto-ominaisuudet. [1; 8; 16; 17; 18; 25.]



Kuva 16. Kuva Savo-Solar Oy:n aurinkokeräimien valmistuksesta [16].

4.5 Aurinkolämpöjärjestelmien tulevaisuus

Maailmassa on yli 50 miljoonaa aurinkolämpöjärjestelmää, jotka tuottavat lämmintä käyttövettä [1, s. 79]. Erityisen paljon niitä on etenkin Kiinassa, Turkissa sekä Etelä-Euroopan lämpimissä maissa. Tämä johtuu siitä, että aurinkoenergia on hyvin tehokas lämmöntuotantomuoto, kunhan auringon säteilyä on runsaasti saatavilla. Pitkällä aikavälillä myös Suomen ilmasto muuttuu aurinkolämmön kannalta entistä suotuisampaan suuntaan ilmastonmuutoksen takia. Vaikka auringon rata ei muutu, tulevat lämpötilat Suomessa nousemaan. Tämä edesauttaa aurinkokeräinten toimintaa.

Ilmastollisten tekijöiden lisäksi aurinkolämpöjärjestelmien hinnat tulevat jatkuvasti alas-päin. Pilkahduksia tulevaisuuteen -julkaisun [30, s. 24] mukaan asennetun aurinkoenergian hinta on laskenut viimeisen 30 vuoden aikana noin seitsemän prosentin vuosivauhdilla. Tämän lisäksi viime vuosina hinta on laskenut vieläkin nopeammin. Julkaisun mukaan on mahdollista, että vuonna 2040 aurinkoenergian tuottaminen maksaisi vain alle sentin kilowattituntia kohden. Tämän lisäksi myös aurinkokeräinten hyötysuhteet paranevat jatkuvasti. Siksi aurinkolämpöjärjestelmistä tuleekin vuosien mitaan koko ajan kannattavampia. Aurinkolämpöjärjestelmien elinkaarikustannukset ovat kuitenkin halpoja. Käytännössä lähes kaikki kustannukset tulevat juuri itse alkuinvestoinnista.

Energian tuotantoa ja käyttöä tullaan tulevaisuudessa jatkuvasti ohjaamaan hiilineutraaleiden tuotantomuotojen suuntaan. Aurinkolämpöjärjestelmät luultavasti yleistyvät tulevaisuudessa, kunhan hinta laskee taloudellisesti kannattavalle tasolle. Nopeisiin muutoksiin voitaisiin päästä varsin nopeastikin, jos valtio tai kaupungit tukisivat nykyistä enemmän ympäristöystävällisiä lämmöntuotantomuotoja. [1; 30.]

4.5.1 Pienet järjestelmät

Tulevaisuudessa aurinkolämpöjärjestelmien osuus tulee varmasti kasvamaan myös suomalaisissa pientaloissa ja julkisissa rakennuksissa. Vaikka tulevat rakennukset ovat hyvin energiatehokkaita ja niiden energiakulutus vähäistä, voisi aurinkolämmöstä saada hyvinkin kannattavan lämmitysvaihtoehdon esimerkiksi maalämpöön yhdistettynä. Tällöin kesäinen ylituotanto voitaisiin varastoida talvea varten lämpökaivoon.

4.5.2 Suuret tuotantolaitokset

Suurten kaukolämpölaitosten rakentamista haittaa halvan katto- tai maapinta-alan saatavuus. Jotta aurinkolämmöstä saataisiin kannattavaa verrattuna muihin lämmöntuotantotapoihin, pitäisi järjestelmän pystytysalue saada mahdollisimman halvalla. Tanskassa suurten aurinkolämpölaitosten rakentamista on helpottanut suotuista lainsäädäntö sekä uusiutuvien energiamuotojen tukeminen. Tanskassa esimerkiksi verotetaan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Esimerkiksi kivihiiilen CO₂-vero on 29 €/tonnilta [19]. Tällaisten toimenpiteiden tuominen Suomeen helpottaisi myös varmasti aurinkolämpölaitosten rakentamista.

Suomessa on myös muihin maihin verrattuna halvat energian hinnat. Se ei tee aurinkolämmöstä yhtä kiinnostavaa investointikohdetta kuin muissa maissa. Energian hinnat ovat kuitenkin aina jatkuvassa nousussa, joten kiinnostus aurinkolämpölaitosten rakentamiseen tulee varmasti tulevaisuudessa kasvamaan taloudellisten tekijöiden osuessa kohdalleen. Ehkä joskus lähitulevaisuudessa Suomessakin on samankokoisia aurinkokaukolämpölaitoksia kuin Tanskassa. Tanska ei kuitenkaan saa kuin muutaman prosentin verran enemmän säteilyenergiaa kuin Suomi [20]. Siksi auringon säteilyn määrä ei ainakaan pitäisi olla esteenä suurten aurinkolämpölaitosten rakentamiselle. [8; 19; 20.]

5 Harjoitusjärjestelmä

5.1 Harjoitusjärjestelmän esittely

Harjoitusjärjestelmä on Festo-nimisen yrityksen valmistama LabVolt-sarjan aurinkolämpöjärjestelmä. Tällä järjestelmällä voidaan tutustua aurinkolämpöön ja siinä käytettäviin komponentteihin. Kuvassa 17 on esitetty itse harjoitusjärjestelmä ja siinä mukana olevat laitteet.

Harjoitusjärjestelmällä voidaan kokeilla erilaisia aurinkolämpöpiirejä erinäisiin käyttötarkoituksiin. Harjoiteltavat järjestelmät vaihtelevat yksinkertaisista yhden kiertopiirin järjestelmistä useamman piirin monimutkaisempiin aurinkolämpöjärjestelmiin. Järjestelmien lämmitysvaihtoehdot vaihtelevat käyttöveden lämmityksestä, lattialämmitykseen, lämminilmapuhaltimeen tai näiden kombinaatioon.



Kuva 17. Kuva harjoitusjärjestelmästä [9].

Harjoitusjärjestelmä koostuu tasokeräimestä, varastosäiliöstä, pumpuista ja muista aurinkolämpöjärjestelmissä tarvittavista komponenteista, kuten paisunta-astioista, erilaisista mittareista ja antureista sekä lämmityskomponenteista. Järjestelmien kytkentä tapahtuu erimittaisilla letkuilla, jotka ovat varustettu puutarhaletkun tyyppisillä kytkennöillä. Asennusten ja komponenttien vaihtaminen tapahtuu siis hyvin yksinkertaisesti. Auringon korvikkeena järjestelmässä käytetään työmaavalaisimia. Lämmönsiirtonesteinä käytetään vettä, mutta haluttaessa voidaan käyttää myös pakkasnesteitä.

Järjestelmän mukana tuli kolme kirjaa, joissa esitellään harjoitusjärjestelmää, siinä tarvittavia komponentteja ja harjoituskokeita.

5.1.1 Introduction to solar thermal energy -kirja

Kirja toimii alustuksena koko järjestelmän käyttöönottoon. Siinä kerrotaan aurinkolämmöstä yleisellä tasolla, järjestelmän komponenteista sekä toimintatavoista. Kirjassa on tämän lisäksi helpohkoja kirjallisia tehtäviä aurinkolämpöön liittyen. Kysymyksissä tarkastellaan monenlaisia perusasioita aurinkolämpöön liittyen, kuten auringon säteilyn saatavuutta, aurinkokeräimestä saatavan energian määrää, tarvittavan energian määrää ja lasketaan esimerkkitaloon tarvittavien aurinkokeräimien lukumäärä. [10.]

5.1.2 Solar thermal energy systems -kirja

Kirja toimii ohjeena harjoitustöiden tekemiseen. Tässä kirjassa käsitellään yhden kiertopiirin hyvin yksinkertaisten aurinkolämpöjärjestelmien koejärjestelyjä. Koejärjestelyjen lisäksi kirjassa on teoriaosuus kustakin koejärjestelmästä ja sen käyttömahdollisuuksista. Kokeiden jälkeiset kysymykset käsittelevät itse koejärjestelmää. [11.]

5.1.3 Multi-loop systems -kirja

Tämäkin kirja toimii ohjeena kokeiden tekemiseen. Tässä kirjassa käsitellään useamman kiertopiirin aurinkolämpöjärjestelmiä ja näiden koejärjestelyä. Kirja on sisällöltään hyvin samankaltainen kuin edellisenkin koejärjestelyistä kertova kirja. Kirja koostuu itse kokeista, niihin liittyvästä teoriasta sekä loppukysymyksistä. Kysymykset ovat samoja kuin edellisen kirjan kysymykset. [12.]

5.2 Harjoitustöiden esittely

Eri harjoitustöissä tarkastellaan lämmönsiirtoa järjestelmässä lämpötilojen avulla. Lämpötilat mitataan kokeiden alussa, 15 minuutin kohdalla sekä lopuksi 30 minuutin kohdalla. Viimeiset mittaukset tehdään työmaavalojen ollessa päällä. Näiden mittausten aikana ohjauspaneelin automatiikka ohjaa pumppua lämpötilojen perusteella.

Kokeet alkavat järjestelmän komponenttien asennuksella ohjeiden mukaisesti, ilmanpoistolla järjestelmästä ja lopuksi itse koemittausten aloituksella. Mittaustulosten kirjaamisen jälkeen ohjeissa on monenlaisia kysymyksiä. Kysymyksissä pitää esimerkiksi kertoa järjestelmän toimintaperiaatteet, lämmönsiirtokomponentit sekä järjestelmän mahdollinen käyttökohde.

6 Koejärjestelmien ja kokeiden tulosten esittely

Ennen kokeiden aloitusta vaihtelimme muutamaa eri asetusta ohjuspaneelistä. Näillä vaihdoksilla saimme järjestelmän toimimaan paremmin. Vaihdoimme käynnistyslämpötilaeron asetusarvon DT 0, arvosta 6 K arvoon 4 K. Lisäksi muutimme nominaalisen

lämpötilaeron asetusarvon DT S, arvosta 10 K arvoon 5 K. Näitä arvoja käytimme kaikissa kokeissa.

Kokeiden alussa meillä oli myös ongelmia pumppujen kanssa. Ongelmat johtuivat siitä, että järjestelmän pumppujen ohjaus toimii lämpötilaerojen perusteella. Kun aurinkokeräimeen tulee kylmää vettä, pumput pysähtyvät, jotta vesi voisi keräimessä lämmetä. Veden lämmittyä tarpeeksi pumppu käynnistyy uudelleen. Mikäli varastosäiliössä on paljon todella kylmää vettä, keräimen vesi jäähtyy aina uudelleen ja uudelleen. Koska pumput ovat pitkiä aikoja pysähdyksissä, ei tarvittavia mittaustuloksia voitu kirjata talteen. Tähän ongelmaan auttoi neljän 500 watin lampun käyttäminen, alkuperäisen kahden sijaan. Tällöin lämpeneminen tapahtui riittävän nopeasti.

Joissakin koejärjestelmissä pumpun ohjaus tapahtui ohjauspaneelin säätönupilla. Kun asetuslämpötila on tavoitettu, pumppu pysähtyy. Ohjeissa kerrottiin, että tavoitelämpötilaksi pitäisi laittaa noin 3–6 astetta ympäristön lämpötilaa korkeammaksi. Totesimme kuitenkin kokeiden aikana, että tämä lämpötila tulee kahdellakin lampulla joissain koejärjestelyissä hyvin nopeasti vastaan. Lämpötila tavoitettiin itse asiassa niin nopeasti, että viimeisiä mittaustuloksia ei voitu kirjata, koska pumppu oli jo pysähtynyt. Näistä syistä johtuen käytimme kaikissa kyseisissä kokeissa asetusarvona 40 asteen lämpötilaa.

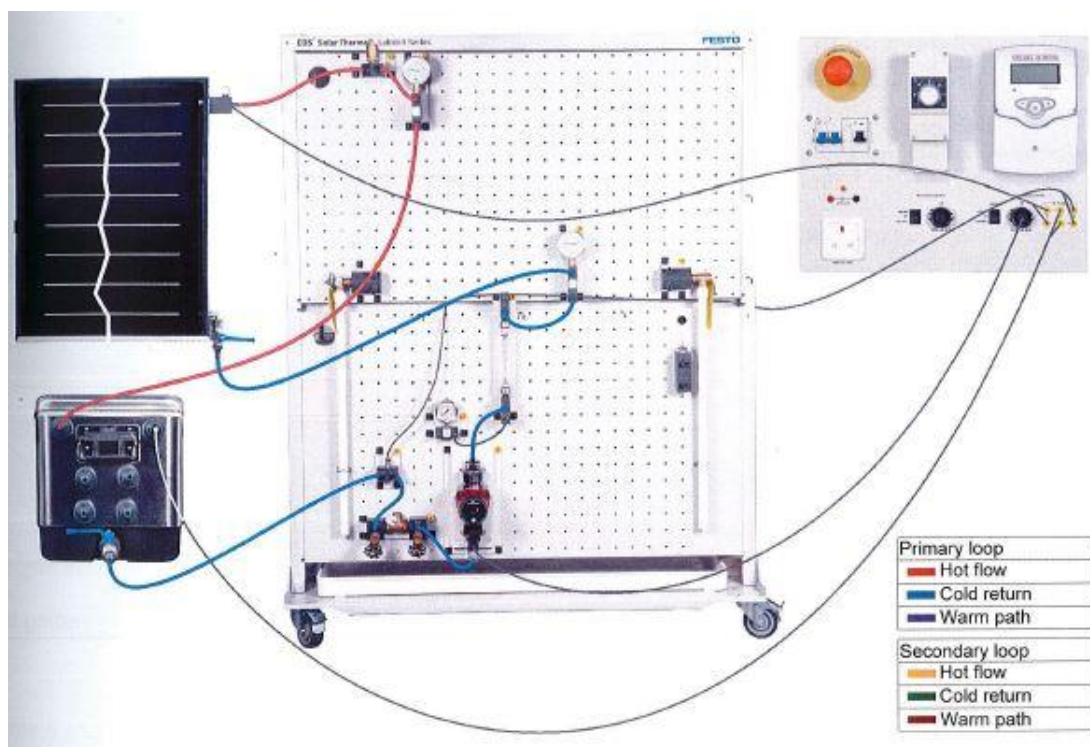
Joissain koejärjestelmissä olisi kuitenkin voitu tulla toimeen kahdellakin lampulla, koska järjestelmän vesi lämpeni todella nopeasti haluttuihin asetusarvoihin. Jotta kokeissa saatiin vertailtavia tuloksia, käytettiin kaikissa kokeissa kuitenkin neljää lampua.

Kokeissa saatujen mittauslämpötilojen muutokset vaihtelevat koejärjestelmittäin, järjestelmän vesitulavuuden sekä lämmönvaihdon tehokkuuden perusteella. Virtausnopeuden ja virtausmittarin tulokset vaihtelevat kokeissa paljon, koska pumppu pyörii lämpötilaohjauksen perusteella. Paine ja virtausnopeudet saattavat vaihdella paljonkin kunkin koejärjestelmän sisällä. Tällöin virtausnopeuksien ja paineiden analysointi numeerisella tasolla ei ole järkevää. [14.]

6.1 Työ 1

Koejärjestelmä on yhden kiertopiirin avonainen suora veden lämmitysjärjestelmä. Lämmitys- ja käytettävän veden piirit eivät ole erotettuja, kuten normaalissa suljetun piirin järjestelmässä. Järjestelmä lämmittää suoraan varastosäiliön vettä.

Järjestelmän aurinkokeräimessä lämmennyt vesi siirtyy suoraan ilman erillistä lämmönvaihinta varastosäiliöön. Varastosäiliön pohjalta vesi siirretään takaisin aurinkokeräimelle lämmitettäväksi. Kuvassa 18 on esitetty koejärjestelmän komponenttien ja letkujen asennukset.



Kuva 18. Koejärjestelmän asennus [11, s. 13].

6.1.1 Järjestelmän hyödyt

Järjestelmä on hyvin tehokas ja nopeasti kiertävä järjestelmä. Vesi kiertää nopeasti koko järjestelmän läpi, mikä vähentää jäätymisriskiä lyhyiden pakkasjaksojen aikana.

6.1.2 Järjestelmän ongelmat

Koska järjestelmän kiertopiiri ei ole erotettu käyttövedestä, järjestelmässä ei voida käyttää pakkasnesteit. Siksi järjestelmä voi jäätymä mikä rajoittaa kyseisen järjestelmän käyttöä kylmissä ilmastoissa. Samasta syystä järjestelmää ei voida käyttää ympärivuotisessa käytössä. Järjestelmä soveltuu siis vain lämpimien olosuhteiden käyttöön.

6.1.3 Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Järjestelmä on hyvin yksinkertainen ja siksi suhteellisen edullinen rakentaa. Järjestelmä ei kuitenkaan ole aivan käyttöön soveltuva, sillä siitä puuttuu useita tarvittavia komponentteja. Näitä ovat esimerkiksi paisunta-astiat ja varoventtiilit. Järjestelmä ei siis ole suoraan käyttöön sopiva puuttuvien komponenttien takia, mutta toimii aurinkolämpöön tutustumisessa.

Tarvittavien komponenttien lisäyksellä järjestelmää voitaisiin käyttää kesällä esimerkiksi käyttöveden tai uima-altaiden lämmitykseen. Pakkasten lähestyessä järjestelmä pitäisi kuitenkin tyhjentää jäätymisen välttämiseksi. Tämä tuo käyttöön lisävaivaa Suomen olosuhteissa. Järjestelmä toimisi varsin tehokkaasti kesällä, mutta syksyllä ja keväällä järjestelmän tuottama lämpö ei välttämättä riitä. Siksi järjestelmää ei voida käyttää Suomen oloissa yksinään, vaan se vaatii rinnalleen jonkun toisen lämmitystavan kuten sähkön.

Muutokset huomioiden järjestelmä voisi olla toimiva kesämökeillä. Tällöin käyttöön saataisiin tarvittava määrä lämmintä käyttövettä. Kun mökki laitetaan talviteloille, voitaisiin järjestelmä samalla tyhjentää. Tällöin välttyään pakkasen aiheuttamilta vaurioilta.

6.1.4 Tulosten esittely

Taulukoissa 1 ja 2 on esitelty sekä koejärjestelyjen alkutiedot että kokeissa mitatut lopputulokset.

Taulukko 1. Koejärjestelyn alkutiedot.

Nimi	Arvo	Yksikkö	Selite
500 w lamppu	4	kpl	Alkuperäisessä järjestelyssä 2 kpl
DT 0	4,5	K	Käynnistyslämpötila
Alkuperäinen DT 0	6	K	Käynnistyslämpötila
DT S	5	K	Nominaalinen lämpötilaero
Alkuperäinen DT S	10	K	Nominaalinen lämpötilaero
Koejärjestely	5	nro	-

Taulukko 2. Koejärjestelystä saadut tulokset.

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpunteho	35	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	2,6	3	3,2	l/min
PI-1 (Paine)	38	32	30	kPa
Ti (Keräimen sisäänmeno)	22	22	23	°C
Ti (Ulostulo keräimestä)	24	26	27	°C
TE-S1 (Col)	27,3	34	37,5	°C
TE-S2 (TST)	25,7	27,9	30,5	°C
TE-S4 (TRF)	25,9	27,8	30,7	°C

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilaa aurinkokeräimessä. Anturin mukaan veden lämpötila kokeen alkaessa oli noin 27,3 astetta. Lamppujen ollessa päällä oli 15 minuutin kohdalla tapahtunut huomattava hyppäys lämpötilassa. Lämpötila oli noussut 34 asteeseen lämpötilan nousun tällöin ollessa melkein seitsemän astetta. 30 minuutin kohdalla lämpötilan nousu on tasoittunut. Sillä tällöin lämpötila on aurinkokeräimessä noussut vain 37,5 asteeseen. Lämpötilan nousun ollessa tällöin edelliseen mittaukseen verrattuna noin kolme astetta. Koko kokeen aikana lämpötila nousi yhteensä 10,2 astetta.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varastosäiliön pinnassa. Kokeen alussa lämpötila oli 25,7 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut 27,9 asteeseen, ja 30 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut puolestaan 30,5 asteeseen. Lämpötilan nousu 15 minuutin kohdalla oli 2,2 astetta ja 30 minuutin kohdalla 2,6 astetta. Lämpötila nousi kokeen aikana hyvin tasaisesti, ja kokonaislämpötilan nousu kokeen aikana oli kaiken kaikkiaan 4,8 astetta.

TE-S4-anturi mittaa veden lämpötilaa säiliöstä tulevan veden ulostulossa. Kokeen alussa lämpötila oli 25,9 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli 27,8 astetta ja 30

minuutin kohdalla 30,7 astetta. Lämpötilan nousu oli siis hyvin tasaista. Lämpötilat ovat myös hyvin lähellä varastosäiliön pinnan anturin lukemia. Lämpötilan nousu kokeen aikana oli yhteensä 4,8 astetta.

TE-S2- ja TE-S4-anturien tulosten perusteella voidaan todeta, että säiliön vesi on lämmennyt kokonaan, sillä lämpötilat ovat varastonsäiliön pinnassa ja säiliöstä pois menevässä vedessä hyvin lähelle samoja.

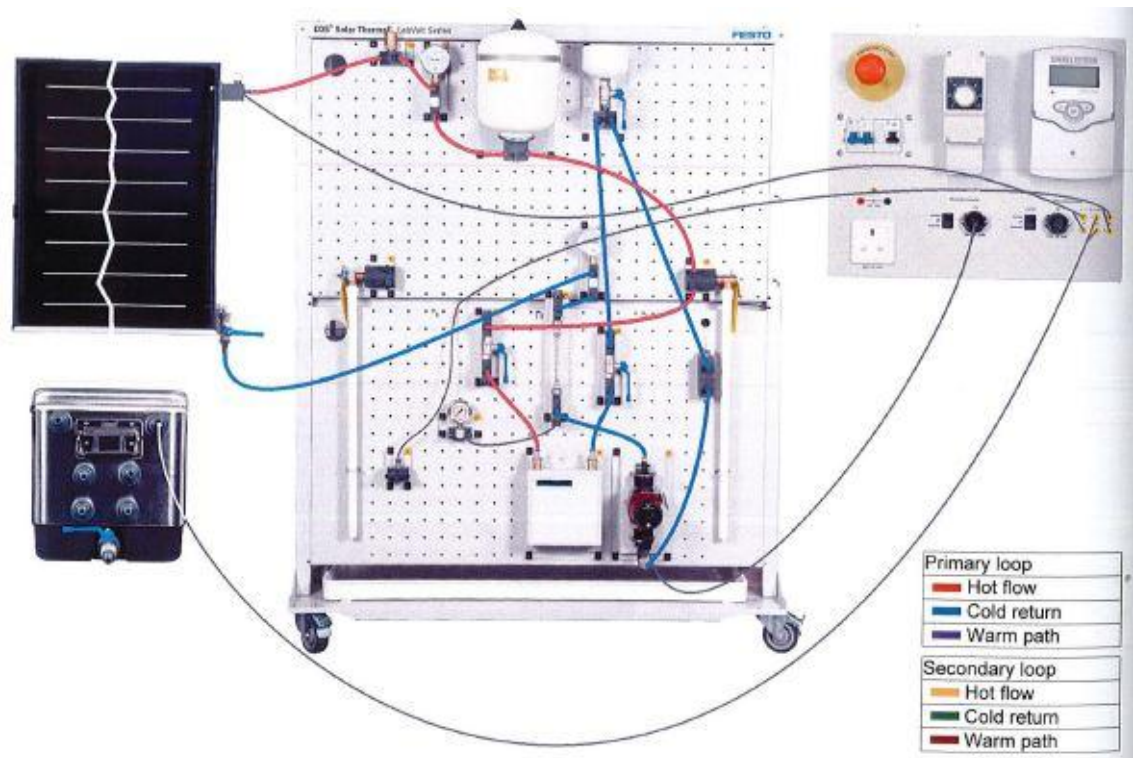
Analogiset TI-mittarit mittaavat aurinkokeräimestä ulostulevan veden lämpötilaa sekä aurinkokeräimeen sisään menevän veden lämpötilaa. Aurinkokeräimeen sisään menevän veden lämpömittarin lukemat ovat yllättävän tasaisia koko mittauksen ajan. Kokeen alussa lämpötila oli 22 astetta ja lopussa 23 astetta. Näin lämpötilan nousu kokeen aikana oli vain yksi aste. Aurinkokeräimestä ulos tulevan veden lämpötila on kokeen alussa 24 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut 26 asteeseen ja 30 minuutin kohdalla se oli 27 astetta. Lämpötila nousi nopeasti heti 15 minuutin kohdalla, mutta 30 minuutin kohdalla lämpötilan nousua oli tapahtunut vain yhden asteen verran. Kokeen aikana lämpötila nousi yhteensä vain kolmen asteen verran.

Analogisten lämpötilamittarien tulokset ovat hyvin yllättäviä. Ne eivät vastaa lainkaan digitaalisten mittarien tuloksia. Erityisen yllättävä on sisään menevän veden lämpötilamittari, jonka lämpötila ei nouse juuri ollenkaan koko mittauksen aikana. Aurinkokeräimen ulostulon mittarin lämpötila nousee suhteellisen tasaisesti. Sekään ei kuitenkaan vastaa digitaalisten mittareiden tuloksia, sillä kokeen lopussa ulostulolämpötila olisi 27 astetta, mutta itse varastossa lämpötila olisikin jo 30 astetta. Osa mittareiden tuloksista voi johtua siitä, että lämpöhäviöt voivat olla suuret järjestelmän letkuissa, minkä takia lukemat eroaisivat. Suurin syy on kuitenkin analogisten mittarien mittavirhe verrattuna digitaalisiin antureihin. Myös pienet virheet tulosten kirjauksessa voivat vaikuttaa tuloksiin.

6.2 Työ 2

Koejärjestelmä on yhden suljetun kiertopiirin tilan lämmitysjärjestelmä. Järjestelmässä lämmitys voi tapahtua joko lattia- tai lämminilmapuhaltimella.

Järjestelmän aurinkokeräimessä lämmentynyt vesi siirtyy suoraan lämmityselementille. Lämmityksessä jäähtynyt vesi siirtyy takaisin aurinkokeräimelle lämmitystä varten. Järjestelmässä ei siis ole erillistä lämpövarastoa. Kuvassa 19 on esitetty koejärjestelmän komponenttien ja letkujen asennukset.



Kuva 19. Koejärjestelmän asennus [11, s. 38].

6.2.1 Järjestelmän hyödyt

Suora lämmitystapa on järjestelmässä tehokasta. Käytetään vain lämmityskauden lämmöntarpeeseen.

6.2.2 Järjestelmän ongelmat

Järjestelmä vaatii pakkasnestettä, jotta järjestelmä ei jäädy pakkasilla. Pakkasnesteet ovat kuitenkin ympäristölle haitallisia, jolloin vuototilanteissa voi aiheutua ongelmia. Järjestelmä on myös herkkä ylikuumentumiseen, siksi se ei sovellu erittäin kuumiin ilmastoihin.

6.2.3 Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Järjestelmä on sellaisenaan hankala Suomen olosuhteissa. Suomessa lämmityskausi koostuu kylmästä talvesta sekä keväästä ja syksystä. Talvella kyseinen lämmitysjärjestelmä ei tuottaisi tarpeeksi lämpöä koko rakennuksen lämmitystarpeeseen. Siksi järjestelmä ei voi toimia ilman sitä tukevia lämmitysmuotoja. Keväällä ja syksyllä järjestelmästä voisi saada riittävän määrän lämpöä.

Jotta järjestelmästä saadaan tarpeeksi lämpöä, se vaatii hyvin tehokkaita aurinkokeräimiä ja suurta keräinpinta-alaa. Lisäksi aurinkokeräinten kallistuskulmat täytyy olla optimoituna halutun lämmitysjankohdan olosuhteisiin. Lattialämmityksessä järjestelmä on hyvin hankala mahdollisen ylikuumenemisen takia. Radiaattorilämmityksessä se ei ole yhtä suuri ongelma.

Järjestelmän toimivuutta voisi parantaa todella suuren lämpövaraston käytöllä. Tällöin tarvittavaa lämpöä voitaisiin kerätä talteen lämpimimpinä kuukausina. Se vaatisi kuitenkin paljon tilaa. Maalämpökaivoon yhdistettynä järjestelmä voisi olla hyvä. Tällöin lämpöä saataisiin varastoitua maaperään. Tällöin saataisiin myös talven lämmitystarpeet täytettyä.

Kokeen esittämässä muodossa järjestelmä ei ole kuitenkaan soveltuva järjestelmä Suomeen. Yksittäisten tilojen lämmitykseen, kuten esimerkiksi kosteiden tilojen lämmitykseen, se voisi olla soveltuva. Kokonaisen rakennuksen lämmitykseen se ei sovellu. Järjestelmällä saataisiin kuitenkin jonkin verran säästöjä vähentämällä rakennuksen varsinaisen lämmitysjärjestelmän lämmitystarvetta.

6.2.4 Tulosten esittely

Taulukoissa 3 ja 4 on esitelty sekä koejärjestelyjen alkutiedot sekä kokeissa mitatut lopputulokset.

Taulukko 3. Koejärjestelyn alkutiedot.

Nimi	Arvo	Yksikkö	Selite
500 w lamppu	4	kpl	Alkuperäisessä järjestelyssä 2 kpl
DT 0	4,5	K	Käynnistyslämpötila
Alkuperäinen DT 0	6	K	Käynnistyslämpötila
DT S	5	K	Nominaalinen lämpötilaero
Alkuperäinen DT S	10	K	Nominaalinen lämpötilaero
Ympäristön lämpötila	22	°C	-
Asetus lämpötila	40	°C	-
Koejärjestely	20	nro	-

Taulukko 4. Koejärjestelystä saadut tulokset

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpunteho	31	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	1,6	2,5	-	l/min
PI-1 (Paine)	23	52	-	kPa
Ti (Keräimen sisäänmeno)	19	23	37	°C
Ti (Ulostulo keräimestä)	19	26	38	°C
TE-S1 (Col)	26	67,5	66	°C
TE-S2 (TST)	24,7	24,7	24,7	°C
TE-S4 (TRF)	23,8	23,2	23,1	°C
Lattialämmitys	70/72	78/80	82/84	°C
Lämminilmapuhallin	-	-	-	°C

Kokeen alkaessa ympäristön lämpötila oli noin 22 astetta, ja lämpötilan asetuslämpötilaksi oli säädetty 40 astetta. Kun lämpötila on saavutettu, pumppu pysähtyy.

Kokeessa ei ole käytössä antureita TE-S2 ja TE-S4, joten niiden mittaustuloksia ei tarvitse huomioida tässä koejärjestelmässä.

TE-S1-anturi mittaa aurinkokeräimessä olevan veden lämpötilaa. Lämpötilat nousivat kokeessa todella paljon. Kokeen alussa lämpötila oli 26 astetta, mutta jo 15 minuutin kohdalla lämpötila oli 67,5 astetta. 30 minuutin kohdalla lämpötila ei enää noussut vaan oli laskenut 66 asteeseen.

Analogiset mittarit näyttivät myös tässä kokeessa hyvin erilaisia tuloksia digitaalisiin antureihin verrattuna. Keräimen veden sisäänmenolämpötila oli kokeen alussa 19 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut 23 asteeseen ja 30 minuutin kohdalla

se olikin jo 37 astetta. Keräimen ulostulolämpömittarin arvot olivat hyvin lähellä sisämenolämpötiloja. Kokeen alussa lämpötila oli 19 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli 26 astetta ja 30 minuutin kohdalla 38 astetta.

Lattialämmityselementin lämpötilat nousivat samassa suhteessa muihin järjestelmän lämpötiloihin verrattuna. Kokeen alussa lämpötilat olivat 70–72 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötilat olivat nousset jo 78–80 asteeseen ja 30 minuutin kohdalla lämpötilat olivat 82–84 astetta.

Suuret lämpötilaerot analogisten ja digitaalisten lämpömittareiden välillä epäilyttävät. Näin iso lämpötilaero ei voi johtua vain lämpöhäviöistä, normaalista mittausvirheestä tai mittarien tarkkuudesta. Lämpötilaero voisi esimerkiksi johtua mittarien kalibroinnista. Tällöin joko analogiset tai digitaaliset mittarit näyttävät vääriä tuloksia.

Virtausnopeutta ja painetta ei ole viimeisessä mittauksessa merkitty. Tämä johtuu siitä että pumppu ei enää tuossa vaiheessa pyörinyt, koska järjestelmän lämpötilat olivat saavuttaneet asetusravonsa. Lämpötilat nousivat järjestelmässä verrattain nopeasti. Tämä johtui kaikesta siitä, että järjestelmän tilavuus oli hyvin pieni, koska käytössä ei ollut varastosäiliötä. Pienestä järjestelmän tilavuudesta johtuen koejärjestelmä olisi varmasti toiminut ihan hyvin myös kahdella 500 watin lampulla.

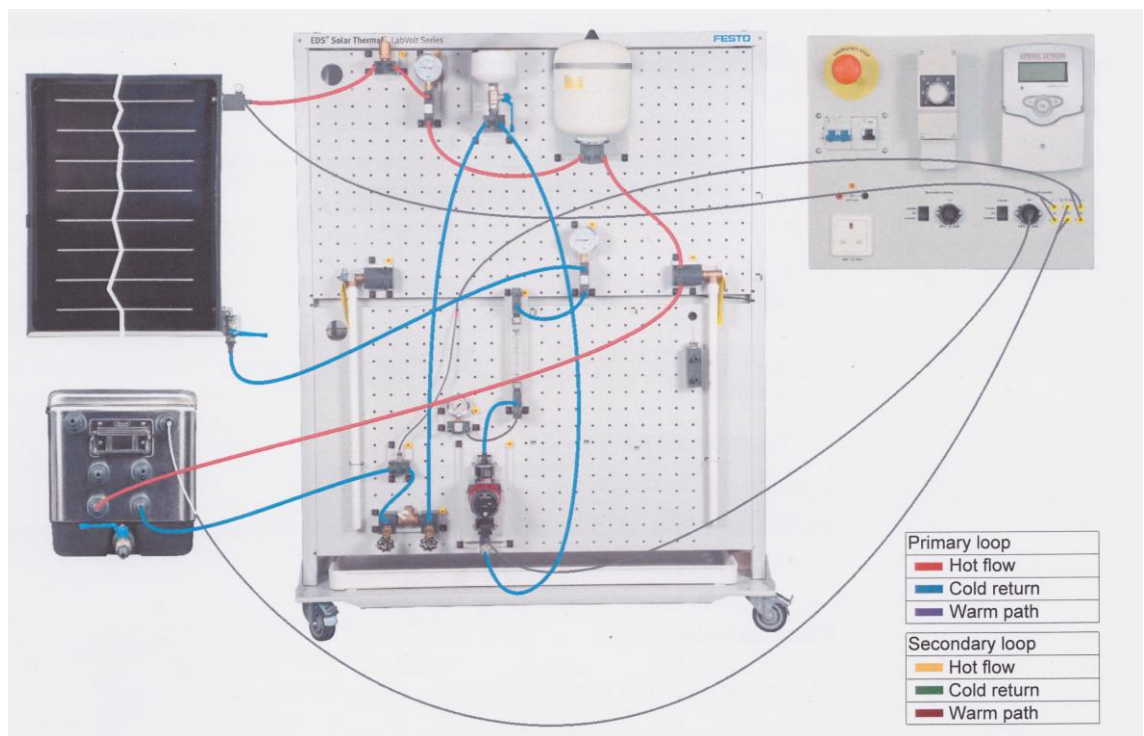
6.3 Työ 3

Koejärjestelmä on yhden suljetun kiertopiirin veden lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla. Lämmönvaihto tapahtui varastosäiliön sisällä olevan kuparikierukan avulla. Järjestelmä vastaa normaalia lämminvesivaraajan lämmitystä.

Järjestelmän aurinkokeräinpiirissä lämmennyt vesi kiertää varastosäiliön läpi lämmönvaihdinkierukassa. Näin se lämmittää varaston vettä. Kierukassa jäähtynyt vesi kiertää takaisin aurinkokeräimeen lämmitettäväksi. Varastosäiliön ja keruupiirin nesteet eivät siis sekoitu kyseisessä järjestelmässä.

Järjestelmä on hyvin samankaltainen ensimmäisen työn kanssa. Se on vain huomattavasti todenmukaisempi, koska siinä on tarvittavat komponentit kuten paisunta-astiat ja varoventtiilit mukana. Tämä myös lisää hieman järjestelmän tilavuutta verrattuna en-

simmäiseen koejärjestelmään. Kuvassa 20 on esitetty koejärjestelmän komponenttien ja letkujen asennukset.



Kuva 20. Koejärjestelmän asennus [11, s. 63].

6.3.1 Järjestelmän hyödyt

Järjestelmä on tehokas ja suhteellisen yksinkertainen. Keräinpiiri ei myöskään jäädy, jos aurinkokeräimessä käytetään pakkasnestettä. Tämä järjestelmä siis soveltuu kylmiinkin olosuhteisiin.

6.3.2 Järjestelmän ongelmat

Järjestelmän ongelmaksi on nähtävä investointikustannusten kasvu, sillä järjestelmä ei toimi ilman lämmönvaihdinta lämmönvesivaraajassa. Joissain tilanteissa järjestelmä voi lisäksi ylikuumentua, mutta järjestelmän oikealla mitoituksella ylikuumentumisongelmat vähenevät.

6.3.3 Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Järjestelmä soveltuu Suomen oloissa oikein hyvin esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen kesällä. Järjestelmä ei kuitenkaan toimi yksinään, sillä se vaatii kylmemmiksi kuu-kausiksi lisälämmitystä. Tämä voi tapahtua esimerkiksi suoralla sähkölämmityksellä. Järjestelmä soveltuu kutakuinkin sellaisenaan esimerkiksi asuin- tai lomakiinteistön käyttöveden lämmitykseen. Järjestelmällä saadaan kuitenkin vähennettyä vuosittaisia käyttöveden lämmityksen kustannuksia.

6.3.4 Tulosten esittely

Taulukoissa 5 ja 6 on esitelty sekä koejärjestelyjen alkutiedot sekä kokeissa mitatut lopputulokset.

Taulukko 5. Koejärjestelyn alkutiedot.

Nimi	Arvo	Yksikkö	Selite
500 w lamppu	4	kpl	Alkuperäisessä järjestelyssä 2 kpl
DT 0	4,5	K	Käynnistyslämpötila
Alkuperäinen DT 0	6	K	Käynnistyslämpötila
DT S	5	K	Nominaalinen lämpötilaero
Alkuperäinen DT S	10	K	Nominaalinen lämpötilaero
Koejärjestely	39	nro	-

Taulukko 6. Koejärjestelystä saadut tulokset.

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpunteho	36	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	2,5	2,5	2,5	l/min
PI-1 (Paine)	44	50	53	kPa
Ti (Keräimen sisäänmeno)	16	20	23	°C
Ti (Ulostulo keräimestä)	18	22	25	°C
TE-S1 (Col)	23,5	32	35,2	°C
TE-S2 (TST)	16,5	19,3	22,1	°C
TE-S4 (TRF)	21,1	27,7	30,6	°C

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilaa aurinkokeräimessä. Keräimen veden lämpötilan nousu toteuttaa aikaisemmissa kokeissa havaittuja piirteitä. Esimerkiksi heti lampujen päälle laittamisen jälkeen lämpötila nousee rajusti, mutta sen jälkeen lämpötilan nousu

on verrattain tasaisempaa. Kokeen alussa lämpötila oli 23,5 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut nopeasti 32 asteeseen ja 30 minuutin kohdalle tultaessa lämpötilan nousu olikin jo tasoittunut ja lämpötila ollessa tällöin 35,2 astetta. Lämpötila nousi kokeen aikana yhteensä 11,7 astetta.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varastosäiliön pinnassa. Kokeen aikana veden lämpötila varastosäiliössä nousi hyvin tasaisesti. Kokeen alussa lämpötila oli 16,5 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut 2,8 asteella, jolloin veden lämpötilaksi muodostui 19,3 astetta. 30 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut edelleen hyvin tasaisesti 2,8 asteella, jolloin kokeen lopussa lämpötila oli 22,1 astetta. Kokeen aikana lämpötilan nousu oli yhteensä 5,6 astetta.

TE-S4-anturi mittaa veden lämpötilaa varastosäiliön lämmönvaihto kierukan jälkeen. Se siis kertoo, kuinka paljon veden lämpötila on laskenut varastosäiliön lämmityksen jälkeen. Kokeen alussa lämpötila oli 21,1 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli 27,7 astetta ja 30 minuutin kohdalla 30,6 astetta. Veden lämpötila nousi alkuun nopeasti, mutta nousu tasoittui kuitenkin nopeasti. Kokonaislämmön nousu oli 9,4 astetta. Kun vertaillaan lämpötiloja aurinkokeräimeltä tulevan veden lämpötiloihin, nähdään, kuinka paljon lämpöenergiaa kokeessa on siirtynyt varastosäiliön veteen. Kussakin mittauskohdassa lämpötila on hieman vajaa viisi astetta matalampi kuin aurinkokeräimeltä tulevan veden lämpötila.

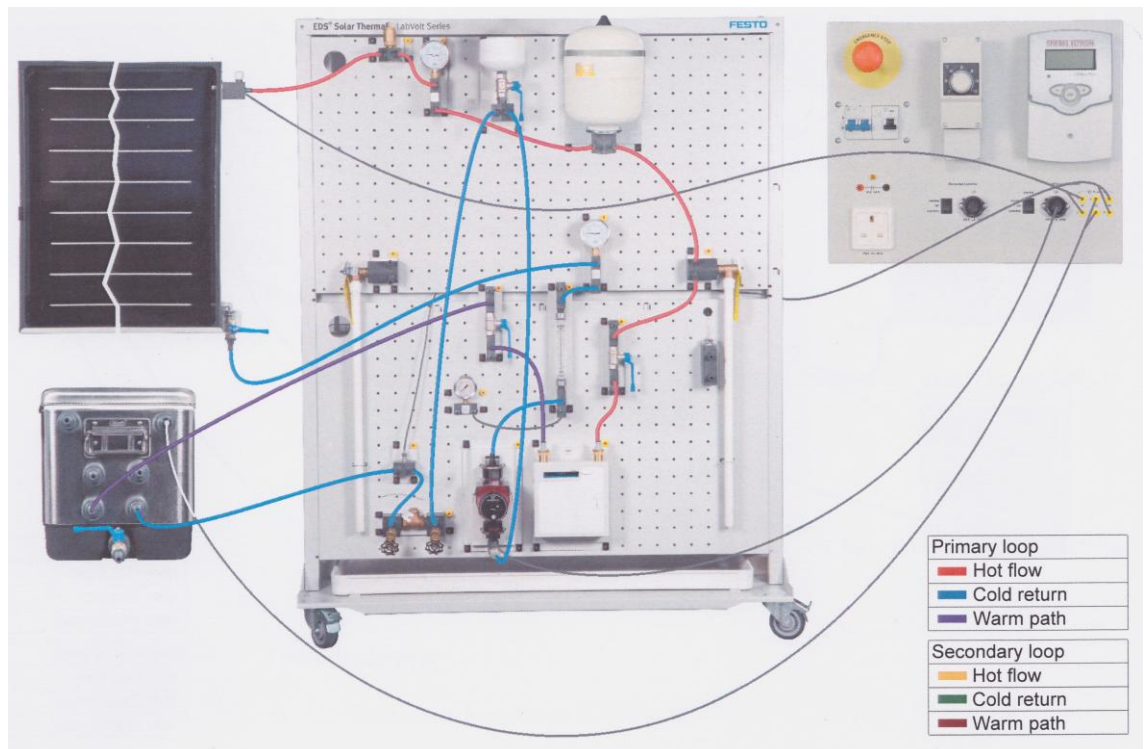
Analogisten lämpömittarien mukaan lämpötilat nousevat tasaisesti niin keräimen sisään menevässä vedessä kuin sieltä pois tulevassakin vedessä. Kokeen alussa sisään menevän veden lämpötila oli 16 astetta, 15 minuutin kohdalla 20 astetta ja 30 minuutin kohdalla 23 astetta. Aurinkokeräimeltä pois menevän veden lämpötila oli kokeen alussa 18 astetta, 15 minuutin kohdalla 22 astetta ja 30 minuutin kohdalla 25 astetta. Molemmissa mittauskohdissa lämpötilan nousu oli seitsemän astetta.

Analogisten mittarien tulokset ovat kuitenkin hyvin erilaisia digitaalisten antureiden tuloksiin verrattuna. Tämä aiheuttaa samanlaisia kysymyksiä, kuin edellisten kokeiden tulosten käsittelyssäkin on käyty läpi.

6.4 Työ 4

Koejärjestelmä on yhden suljetun kiertopiirin yhdistelmäjärjestelmä, jossa on sekä käyttöveden että huonetilan lämmitys.

Aurinkokeräimessä lämmennyt vesi kiertää tilan lämmitysjärjestelmään. Se on koejärjestelystä riippuen joko lämminilmapuhallin- tai lattialämmitys. Lämmitysjärjestelmän jälkeen vesi kiertää varastosäiliön lämmönvaihinkierukkaan. Siellä se lämmittää varastosäiliön vettä. Lopuksi vesi kiertää takaisin aurinkokeräimelle, jossa se lämpenee uudelleen. Kuvassa 21 on esitetty koejärjestelmän komponenttien ja letkujen asennukset.



Kuva 21. Koejärjestelmän asennus [11, s. 91].

6.4.1 Järjestelmän hyödyt

Järjestelmässä on tehokas lämmönsiirto, koska aurinkokeräimessä lämmennyt vesi siirtyy suoraan lämmityskäyttöön. Koska varastosäiliön ja lämmönkeruupiirin nesteet ovat erillään, voidaan järjestelmässä käyttää myös pakkasnesteitä. Tämän takia järjestelmä soveltuu myös kylmään ilmastoon.

6.4.2 Järjestelmän ongelmat

Järjestelmä vaatii suurta keräinpinta-alaa ja tehokkaita aurinkokeräimiä, jotta järjestelmässä saadaan kerättyä tarpeeksi lämpöä sekä rakennuksen että käyttöveden lämmitystä varten. Tämä lisää puolestaan järjestelmän investointikustannuksia.

Järjestelmää ei myöskään kannata käyttää öisin, sillä nesteiden kierto öisin viilentää turhaan rakennusta sekä käyttövettä. Tämä johtuu siitä, että öisin järjestelmä ei voi kerätä talteen auringon lämpöenergiaa. Lisäksi joskus kesän kuumissa olosuhteissa järjestelmä voisi ylikuumeta. Tämä voi tuottaa ongelmia etenkin, jos käytettävä lämmitystapa on lattialämpö. Lattialämmitysjärjestelmä nimittäin kärsii liian korkeista lämpötiloista.

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi järjestelmä ei voi yksinään lämmittää koko rakennusta etenkin talvisin. Siksi järjestelmän lisäksi vaaditaan toinen lämmitystapa. Näin ollen myös investointikustannukset nousevat.

6.4.3 Soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Järjestelmä on hankala Suomen olosuhteisiin. Suomessa lämmityskausi on kuitenkin pitkä, ja talvella ei ole mahdollista saada tarpeeksi lämmitysenergiaa auringosta. Siksi järjestelmän lisäksi pitäisi investoida johonkin toiseen lämmitysjärjestelmään.

Järjestelmän järkevän toimivuuden kannalta tarvittaisiin suurta keräinpinta-alaa sekä todella suurta lämpövarastoa. Kesällä lämmöt voivat järjestelmissä kuitenkin nousta korkeiksi, ja lattialämmitysjärjestelmän lämpötilat voivat nousta kyseisen koejärjestelmän kytkennöillä liian korkeaksi. Radiaattorilämmityksessä järjestelmä toimisi huomattavasti paremmin.

Ympärivuotisessa käytössä järjestelmällä saataisiin tarvittavaa lisälämpöä keväisin ja syksyisin. Tämä onnistuu, kunhan aurinkokeräinten kallistuskulmat on optimoitu tällaista käyttöä varten. Järjestelmä soveltuu hyvin myös käyttöveden lämmitykseen, mutta silloin järjestelmän pitää olla mitoitettu oikein. Tällöin lämpöä riittää myös käyttöveden lämmitykseen, varsinaisen rakennuksen lämmityksen lisäksi.

Järjestelmä olisi paljon käyttökelpoisempi, jos järjestelmän lämmönkeruu ja itse lämmityspiiri olisivat erillään. Lämmönvaihto tapahtuisi erillisen lämmönvaihtimen kautta. Tällöin keruupiirin korkeista lämpötiloista ei tarvitsisi huolehtia yhtä paljon kuin nykyisen kaltaisessa järjestelmässä. Järjestelmän lämmityskäyttöön tarvittavien vesivirtojen säätökin olisi järkevämpää.

Järjestelmä soveltuisi parhaiten vain yksittäisten tilojen lämmitykseen sekä käyttöveden lämmitykseen. Koko rakennusta lämmittäessä keräinpinta-alat voivat nousta liian suuriksi. Lisäksi investointikustannukset voivat karata tällöin käsistä, jolloin koko järjestelmän kannattavuus muuttuu kyseenalaiseksi. Parhaiten järjestelmä soveltuisi esimerkiksi käyttöveden ja märkätilojen lämmitykseen radiaattoreilla. Järjestelmän käytöstä aiheutuvat säästöt tulisivat käyttöveden ja rakennuksen lämmitystarpeen vähentymisen ansiosta.

6.4.4 Tulosten esittely

Taulukoissa 7 ja 8 on esitelty sekä koejärjestelyjen alkutiedot sekä kokeissa mitatut lopputulokset.

Taulukko 7. Koejärjestelyn alkutiedot.

Nimi	Arvo	Yksikkö	Selite
500 w lamppu	4	kpl	Alkuperäisessä järjestelyssä 2 kpl
DT 0	4,5	K	Käynnistyslämpötila
Alkuperäinen DT 0	6	K	Käynnistyslämpötila
DT S	5	K	Nominaalinen lämpötilaero
Alkuperäinen DT S	10	K	Nominaalinen lämpötilaero
Koejärjestely	62	nro	-

Taulukko 8. Koejärjestelystä saadut tulokset.

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpunteho	35	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	1,7	1,5	1,5	l/min
PI-1 (Paine)	28	28	32	kPa
Ti (Keräimen sisäänmeno)	18	23	26	°C
Ti (Ulostulo keräimestä)	19	27	30	°C
TE-S1 (Col)	25,4	37,2	39,8	°C
TE-S2 (TST)	23,3	24,9	27,5	°C
TE-S4 (TRF)	23,4	31,3	34,5	°C
Lattialämmitys	70/72	74/76	80/82	°C
Lämminilmapuhallin	-	-	-	°C

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilaa keräimessä. Keräimen veden lämpötila kokeen alussa on 25,4 astetta. Lamppujen ollessa päällä 15 minuutin ajan oli veden lämpötila noussut yli 11,8 astetta päätyen 37,2 asteeseen. Tämän jälkeen vesi lämpeni enää vain parilla asteella päätyen 39,8 asteeseen. Lämpötila nousi kokeen aikana keräimessä yhteensä 14,4 astetta.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varastosäiliön pinnassa. Varastosäiliön veden lämpötila nousi kohtuullisen tasaisesti kokeen aikana. Kokeen alussa lämpötila oli 23,3 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli 24,9 astetta ja 30 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut jo 27,5 asteeseen. Lämpötila oli noussut kokeessa yhteensä 4,2 astetta. Veden lämpötila oli ensimmäisessä mittausajankohdissa noussut hieman vajaalla kahdella asteella ja toisessa hieman yli kahdella asteella.

TE-S4-anturi mittaa veden lämpötilaa varastosäiliön lämmönvaihtokierukan jälkeen. Lämpötilan hyppäykset ovat hyvin samankaltaiset kuin keräimessäkin. Kokeen alussa lämpötila oli 23,4 astetta, 15 minuutin kohdalla lämpötila oli noussut reilusti 31,3 asteeseen ja kokeen lopussa 30 minuutin kohdalla lämpötilan nousu oli tasaantunut 34,5 asteeseen. Aluksi lämpötila oli noussut 7,9 astetta ja lopuksi enää 3,2 asteella. Lämpötilan nousu oli näin ollen kokeen aikana 11,1 astetta.

Analogisissa TI-mittareissa lämpötilojen nousu oli aluksi nopeaa, mutta lopuksi se tasaantui verrattain samantapaisesti kuin antureilla TE-S1 ja TE-S4. Keräimen sisäänmenolämpötila oli 18 astetta, 15 minuutin kohdalla se oli 23 astetta ja 30 minuutin kohdalla 26 astetta. Lämpötila nousi aluksi viidellä asteella ja lopuksi enää vain kolmella

asteella. Näin ollen lämpötilojen nousu oli yhteensä kahdeksan astetta. Keräimeltä ulostulevan veden lämpötila noudatti samaa kaavaa. Aluksi lämpötila oli 19 astetta, kokeen edetessä se nousi 27 asteeseen ja kokeen lopussa se oli 30 astetta. Lämpötilojen nousut olivat kahdeksan astetta ja kolme astetta, jolloin lämmön nousuksi tuli yhteensä 11 astetta.

Lämpötilan nousu analogisissa mittareissa on hyvin samansuuntainen kuin digitaalisissa antureissakin. Mittareiden antamat lukemat eivät kuitenkaan vastaa digitaalisia, vaikka lämpötilojen pitäisi olla hyvin lähellä toisiaan.

Lattialämmityselementin lämpötila nousi hieman eri tavalla muihin verrattuna. Se ei vastannut täysin muiden antureiden ja mittareiden lämmön nousua. Virhe tuloksissa ei kuitenkaan ole kovin suuri. Lämpötila oli alussa 70–72 astetta, 15 minuutin kohdalla 74–76 astetta ja lopussa 80–82 astetta. Aluksi lämpötila nousi noin neljällä asteella ja lopuksi kuudella asteella. Lämpötilan mittaus on kuitenkin elementissä hyvin summittainen, joten poikkeamat tuloksissa johtuvat varmastikin siitä.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on esitellä lämmönkeräysmenetelmiä yleisellä tasolla, käydä läpi erilaisia keräintyyppejä, erilaisia aurinkolämpöjärjestelmiä sekä perehtyä ammattikorkeakoulu Metropoliaa varten Feston LabVolt-sarjan aurinkolämmön harjoitusjärjestelmään. Työn käynnistävänä tarkoituksena oli käyttökokemusten kerääminen harjoitusjärjestelmästä Metropolia ammattikorkeakoululle sekä harjoitustöiden työohjeiden teko tulevaa opetuskäyttöä varten. Metropolian hankkimaan harjoitusjärjestelmään perehtyminen tapahtui järjestelmän mukana tulleiden harjoitustöiden perusteella.

Aurinkoenergia on uusiutuvaa ja ilmaista. Auringonsäteilyä voidaan Suomessa hyödyntää tehokkaimmin kesällä Suomen ilmastosta johtuen. Suomi saa kuitenkin tarpeeksi aurinkoenergiaa, jotta sitä on kannattavaa hyödyntää sähkön tai lämmöntuotantoon. Suomessa aurinkokeräimien pitää kuitenkin kerätä erityisen hyvin auringon hajasäteilyä, koska hajasäteilyn osuus Suomessa on noin 40–50 % kaikesta säteilystä.

Lämpöä voidaan kerätä kahdella eri tavalla eli passiivisesti ja aktiivisesti. Passiivisessa lämmönsiirrossa lämpöä siirretään ilman mekaanista apua. Siinä auringon lämpöä voi-

daan varata varaavaan massaan, esimerkiksi seinään, josta lämpö vapautuu lämmitettävään tilaan. Hyvin toimiakseen passiivinen lämmitys kuitenkin vaatii suuria ikkuna pinta-aloja, joiden osuus pitäisi olla vähintään 40–60 % julkisivun pinta-alasta. Aktiivinen lämmönkeräys puolestaan tapahtuu aurinkokeräimillä.

Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat kolmesta eri osa-alueesta. Näitä ovat lämmönkeruu, lämpövarasto ja lämmönkulutus. Lämpöä siirretään tarpeen mukaan näiden järjestelmien välillä. Suomessa aurinkolämpöjärjestelmillä lämmitetään yleensä käyttövettä, mutta myös huonetilojen lämmitys on mahdollista. Aurinkolämmöllä voitaisiin tuottaa rakennuksesta riippuen jopa 5–25 % vuosittaisesta lämmitysenergiasta. Aurinkolämpöjärjestelmillä on kuitenkin omat heikkoutensa. Toimiakseen se vaatii auringon paistetta ja siksi lämmönkeruuta on vaikeaa kohdentaa. Tähän ongelmaan auttavat lämpövarastot, jolloin lämpöä voidaan varastoida vaikka maaperään tai lämminvesivaraajaan. Lisäksi Suomen ilmastolliset tekijät, kuten kylmä talvi ja lumiset olosuhteet, ovat ongelmallisia.

Aurinkokeräimet voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan jakaa kahteen eri kategoriaan eli nestekiertoisiin ja ilmakiertoisiin järjestelmiin. Nestekiertoiset järjestelmät voidaan jakaa tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin ja niiden alla oleviin omiin kategoriaihinsa. Ilmakeräimet voidaan jakaa katettuihin ja kattamattomiin keräimiin. Aurinkokeräin kerää auringonsäteilyä keräjäelementillään. Tällöin keräyselementin pinta absorboi auringonsäteilyenergiaa ja muuttaa sitä lämmöksi. Aurinkokeräimien hyötysuhteet ovat 35–85 % välillä järjestelmän ominaisuuksista riippuen.

Aurinkokeräinten asennukseen vaikuttaa kaksi eri tekijää. Näitä ovat suuntakulma ja kallistuskulma. Suuntakulma määrittää aurinkokeräimen asennuskulman ilmansuuntiin nähden ja kallistuskulma keräimen asennuskulman aurinkoon nähden. Keräimen asennuksissa joudutaan tekemään kompromisseja näiden välillä, jotta päästään haluttuun lopputulokseen. Parhaaseen kevään ja syksyn lämmöntuotantoon tähdätessä, pitää keräimet asentaa etelän suuntaan ja 60 asteen kallistuskulmaan. Kesän erinomaista tuottoa tavoitellessa keräimet pitäisi suunnata kaakon–lounaan suuntaan 30 asteen kallistuskulmalla. Parasta vuosituottoa tavoitellessa keräimet pitää olla asennettuna kaakon–lounaan suuntaan 45 asteen kallistuskulmalla. Aurinkokeräimet yleensä asennetaan katolle, mutta joskus ne voidaan asentaa myös seinälle tai omalle telineelle.

Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan jakaa pinta-alansa perusteella kolmeen eri luokkaan eli yksityisiin aurinkolämpöjärjestelmiin, teollisiin aurinkolämpöjärjestelmiin ja aurinkokaukolämpölaitoksiin. Yksityiset aurinkokaukolämpöjärjestelmät ovat kooltaan 1–50 m². Teolliset aurinkolämpöjärjestelmät ovat kooltaan 50–500 m². Aurinkokaukolämpölaitokset ovat kooltaan yli 500 m². Suomessa aurinkolämpöjärjestelmiä ei ole vielä kovinkaan monta sillä vuonna 2014 niitä oli hieman yli 1 000 kappaletta. Aurinkolämpöjärjestelmät soveltuisivat Suomessakin sekä niin yksityisiin että aurinkokaukolämpöjärjestelmiin. Aurinkokaukolämpölaitokset ovat Suomessa vielä kokeiluasteella, mutta teollisia järjestelmiä on esimerkiksi Porin uimahallissa. Pientaloissa aurinkolämpöjärjestelmillä voitaisiin saada aikaan huomattavia säästöjä varsinaisen lämmitysjärjestelmän kustannuksissa. Tämä onnistuu niin sähkö-, öljy- kuin myös bioenergiälämmitteisissä taloissa.

Viime vuosina on alkanut näkyä poliittinen pyrkimys hiilineutraaliin energiantuotantoon. Tämän lisäksi asennetun aurinkoenergian hinta on laskenut seitsemän prosentin vuosivauhdilla viimeisen 30 vuoden aikana. Myös keräimien hyötysuhteet ovat samalla parantuneet jatkuvasti. Nämä tekijät johtavat aurinkokeräinten kilpailukyvyn jatkuvaan paranemiseen. Tulevaisuudessa tämä varmasti johtaa siihen että aurinkolämpöjärjestelmät yleistyvät kunhan poliittiset ja taloudelliset tekijät kohtaavat sopivasti.

Harjoitusjärjestelmä on Festo-nimisen yrityksen valmistama LabVolt-sarjan aurinkolämpöjärjestelmä. Siinä voidaan kokeilla erilaisia aurinkolämpöpiirejä. Tehdyt kokeet olivat hyvin yksinkertaisia yhden kiertopiirin järjestelmiä. Lämmitysvaihtoehdot vaihtelivat käyttöveden lämmityksestä, lattialämmitykseen, lämminilmapuhalttimeen tai näiden kombinaatioon.

Tehtyjen töiden aurinkolämpöjärjestelmien suora käyttökelpoisuus vaihteli hyvin paljon. Osa järjestelmistä oli sellaisia, joita Suomessa ei normaalisti käytetä. Tämä johtuu siitä, että näistä järjestelmistä puuttui aurinkolämpöjärjestelmissä tarvittavia komponentteja, kuten varoventtiilit tai paisunta-astiat. Yksi kokeissa testattu käyttöveden lämmitykseen tarkoitettu järjestelmä oli sellainen, jonka voisi Suomessa ottaa käyttöön lähes sellaisenaan. Yksi töistä oli puolestaan hyvin kaukana suomalaisesta järjestelmästä, sillä siinä aurinkokeräimen kuuma vesi kiertää suoraan lattialämmitykseen ilman lämmönvaihdinta. Tällainen asennus tuottaisi ongelmia lattialämmityksessä. Kaikille järjestelmille kuitenkin löytyisi käyttökohde Suomessa pienten muutosten jälkeen.

Harjoitusjärjestelmä soveltuu sellaisenaan opetuskäyttöön, ja sillä onkin hyvä tutustua aurinkolämpöön. Sillä pääsee lisäksi tutustumaan helposti aurinkolämmityksessä käytettäviin komponentteihin ja toimintaperiaatteisiin. Tehtyjen töiden perusteella aurinkolämpöjärjestelmät eivät kuitenkaan anna aivan täyttä kuvaa Suomessa käytössä olevista aurinkolämpöjärjestelmistä.

Lähteet

- 1 Erat Bruno, Hänninen Pekka, Jodat Timo, Koivukoski Joni, Stenberg, Johanna. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- 2 Harju, Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Anjalankoski: Solarpalvelut Oy.
- 3 Aurinkoenergia Suomessa. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy <<https://www.slideshare.net/MotivaOy/aurinkoenergia-suomessa>>. Luettu 28.2.2017.
- 4 Laitinen, Jussi. 2010. Pieni suuri energiakirja. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- 5 Aurinko opas – 04 Aktiivinen aurinkoenergia, aurinkokeräimet. 2017. Verkkodokumentti. Aurinkoteknillinen yhdistys Ry. <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=168>. Luettu 28.2.2017.
- 6 Aurinkolämpöjärjestelmät. 2010. Verkkodokumentti. Motiva Oy <http://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat>. Luettu 20.3.2017.
- 7 Ilmakeräimet. 2010. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet>. Luettu 13.3.2017.
- 8 Kärkkäinen, Minna. 2016. Pitääkö aurinkolämpö ottaa vakavasti?. Talotekniikka 7/2016, s. 22–25.
- 9 EDS Solar thermal description. 2015. Verkkodokumentti. Festo. <https://www.labvolt.com/solutions/6_electricity_and_new_energy/19-46121-10_eds_solar_thermal>. Luettu 22.3.2017.
- 10 Introduction to solar thermal energy. 2016. Festo.
- 11 Solar thermal energy systems. 2016. Festo.
- 12 Multi-loop systems. 2016. Festo.
- 13 Innanen, Seppo. 2017. Aurinkoenergia: Energiatuotanto. PDF–dokumentti. Opetusmateriaali.

- 14 Operation and installation: Solar controller - Som 6 Plus. Verkkodokumentti. Stiebel Eltron. <http://www.solar-components.com/install_som6plus.pdf>. Luettu 5.4.2017.
- 15 Nikkilä, Jarkko, Paavola, Jaakko, Pöyhönen, Jussi. 2007. Aurinkokennotyyppien ja aurinkokeräinten vertailu. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminaarit07/aurinkokennot_ja_keraimet.pdf>. Luettu 6.4.2017.
- 16 Savo-Solar teknologia. 2017. Verkkosivusto. Savo-Solar Oy. <<http://www.savosolar.fi/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/teknologia>>. Luettu 12.4.2017.
- 17 Kallio, Jaana. 2017. Savo-Solar aloittaa yt-neuvottelut – 35 työpaikkaa vaarassa Mikkelissä. Yle-uutinen. <<http://yle.fi/uutiset/3-9453579>>. Luettu 12.4.2017.
- 18 Lasisanastoa. 2017. Verkkosivusto. Seloy Oy. <<http://www.seloy.fi/lasisanasto>>. Luettu 12.4.2017.
- 19 Tanskan kaukolämpöyhtiöt panostavat hajautettuun uusiutuvaan energiaa. 2017. Verkkosivusto. Smart energy transition. <<http://smartenergytransition.fi/fi/tanskan-kaukolampoyhtiöt-panostavat-hajautettuun-uusiutuvaan-energiaan/>>. Luettu 12.4.2017.
- 20 Lampila, Jouko. 2016. Tanskanmaalle maailman suurin aurinkolämpölaite. Energiatalous-uutinen. <<http://www.energiatalous.fi/?p=683>>. Luettu 12.4.2017.
- 21 Auvinen, Karolina. 2016. Tanskan kaukolämpöyhtiöt panostavat hajautettuun uusiutuvaan energiaan. Energiatalous-uutinen. <<http://www.energiatalous.fi/?p=516>>. Luettu 12.4.2017.
- 22 World largest solar heating plant in Silkeborg. 2017. Verkkosivusto. State of Green. <<https://stateofgreen.com/en/profiles/ramboll/solutions/world-largest-solar-heating-plant-in-silkeborg>>. Luettu 12.4.2017.
- 23 Silomaa, Timo. 2011. Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen. PDF-dokumentti. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. <<http://www.ara.fi/download/noname/%7B98BC0BA6-9434-4B9A-8598-EEEEB49338262%7D/40324>>.
- 24 Pakkasneste. 2017. Verkkosivusto. Energiakauppa. <http://www.energiakauppa.com/epages/energiakauppa.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014082005/Categories/Aurinkolaempoe/Pakkasneste>. Luettu 14.4.2017.
- 25 Solar collector, flat plate collector. 2011. Verkkosivusto. Solar Simulator. <<http://www.solarsimulator.com/en/sosifi-library/solar-collector-flat-plate-collector-2/>>. Luettu 14.4.2017.

- 26 Erat, Bruno, Erkkilä, Vesa, Nyman, Christer, Peippo, Kimmo, Peltola, Seppo, Suokivi, Hannu. 2006. Aurinko-opas – Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry.
- 27 Eskelinen, Päivi, Kemiläinen, Marjut. 2012. Aurinko lämmitteää veden ja lattian. Tampereen teknillinen yliopisto Rajapinta artikkeli. <<http://www.tut.fi/rajapinta/artikkelit/2012/4/aurinko-lammittaa-veden-ja-lattian>>. Luettu 14.4.2017.
- 28 Jodat, Timo. Energiantuotanto uusiutuvilla energianlähteillä. Metropolian YAMK-luento.
- 29 K1 Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet. 2013. PDF–dokumentti. Energiateollisuus. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/filebank/630-julkaisuk1_2013_rakennustenkaukolammitys.pdf>.
- 30 Pilkahduksia tulevaisuuteen – digitalisaation ja robotisaation mahdollisuudet. 2016. PDF – dokumentti. Valtiovarainministeriö. <<http://vm.fi/documents/10623/3507992/Pilkahduksia+tulevaisuuteen+%E2%80%93+digitalisaation+ja+robotisaation+mahdollisuudet+-raportti/e7154bd3-910a-4f99-89ee-4f9299043d3c>>.

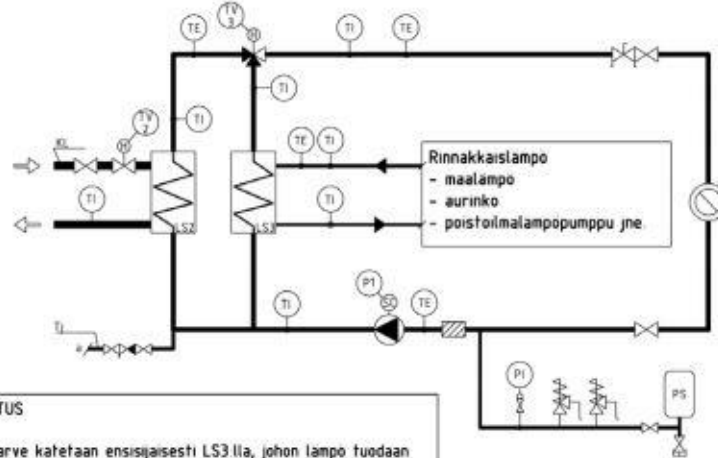
Rinnakkaislämmön kytkentä K1 mukaan

89

Energiateollisuus ry
Lämmönkäyttötoimikunta

ESIMERKKIKYTKENTÄ 7
(Rinnakkaislämmön kytkentä)

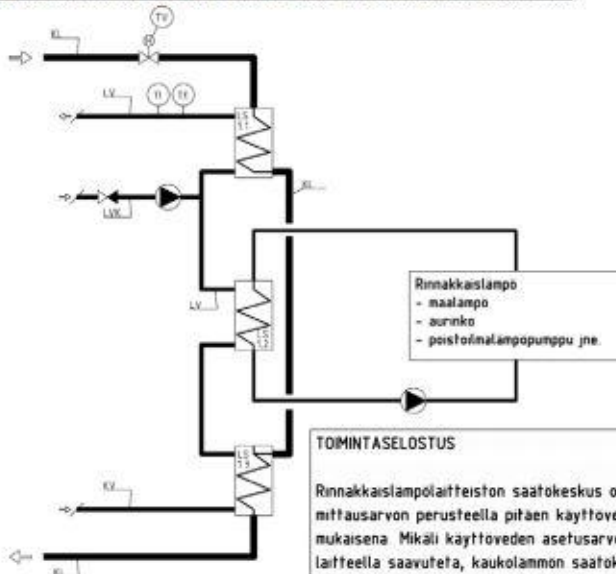
Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tiloien lämmitykseen



TOIMINTASELOSTUS

Lämmitystehontarve katetaan ensisijaisesti LS3:llä, johon lämpö tuodaan kiinteiskohtaisesta lämmönlähteestä (esim. aurinkokeräimet, poistoilmatai maalämpöpumppu). Mikäli lämmitysverkkoon lähtevän veden lämpötila ei pysy haluttuna, lisälämmöntarve otetaan kaukolämmöstä (LS2). Särtilmen LS2 mitoituksessa on otettava huomioon, että sen pitää tuottaa lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa korkeampaa lämpötilaa.

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



TOIMINTASELOSTUS

Rinnakkaislämpölaitteiston säätökeskus ohjaa säätölaitteistoa lämpötila-anturin TE mittausarvon perusteella pitäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusravon mukaisena. Mikäli käyttöveden asetusravon mukaista lämpötilaa ei rinnakkaislämmityslaitteella saavuteta, kaukolämmön säätökeskus ohjaa säätöventtiiliä TV käyttöveden lämpötilan tuntoelimen TE mittausarvon perusteella pitäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusravon mukaisena. Ohjearvo 58°C.

