

Lari Tapaninen

# Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus ja vianmääritys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

10.3.2015

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Lari Tapaninen Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus ja vianmääritys 61 sivua + 2 liitettä 10.3.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä projekti-insinööri Harri Hahkala
<p>Insinöörityössä tavoitteena oli koota ja tuottaa tietoa aurinkolämpöenergiajärjestelmien tarkastukseen ja vianmääritykseen. Raportti pohjautuu osittain työskentelyyn Metropolian Ammattikorkeakoulu Oy:n Leppävaaran toimipisteen MetroSol-aurinkoenergiaboratorion rakentamis- ja käyttöönottovaiheissa sekä tekijän saavuttamiin tutkimustuloksiin RYM Oy:n Sisäympäristötutkimusohjelman Metropolian osuudessa.</p> <p>Projekti alkoi aiheen kirjallisella tutkimuksella, jonka perusteella työssä kuvataan aurinkojärjestelmän osat ja toiminta. Tässä opinnäytetyössä esitetyt tarkastukset ja toimenpiteet on osittain saatu Metropolian aurinkoenergian mittaus- ja tutkimuslaboratorion avulla. Lisäksi työssä käytettiin hyväksi myös useita aurinkolämpöenergiaan ja lämmitysjärjestelmiin liittyviä aineistoja.</p> <p>Insinöörityön lopputuloksena saatiin aikaiseksi toimenpidelista aurinkolämpöjärjestelmän tarkastusta ja vianmääritystä varten. Projektissa tehtyjen tarkastuksien ja selvityksien perusteella tuotetun työkalun avulla voidaan suorittaa järjestelmällisesti aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus ja vianmääritys. Vianmääritys tehtiin vuokaavioperiaatteella, jossa esitetään ongelma ja sen korjaamiseen toimenpiteet.</p> <p>Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastukseen ja vianmääritykseen voi esimerkiksi omakotitalo tai kiinteistön omistaja saada apua tämän opinnäytetyön tuloksena syntyneestä toimenpidelistä.</p>	
Avainsanat	aurinkoenergia, aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus- ja vianmääritys

Author Title	Lari Tapaninen Solar thermal system inspection and troubleshooting
Number of Pages Date	61 pages + 2 appendices 10.3.2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Harri Hahkala, Project engineer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to explore and produce an inspection and a troubleshooting list for solar thermal energy systems. The thesis is a part of the project called "Energy Efficient Control of Indoor Environment, RYM Oy." financed by TEKES and the industry.</p> <p>The project started with an extensive literary research about solar thermal energy and solar thermal energy systems. After the necessary knowledge had been gathered, the actual research began. Some of study was based on the short term project on MetroSol solar research laboratory. In addition, a variety literature of different solar thermal energy and heating systems materials was widely studied.</p> <p>The thesis resulted in an inspection and a troubleshooting list for a system that uses solar thermal energy. Since the thesis is released all the owners of the solar thermal energy system are free to use the list for inspection and troubleshooting purposes.</p>	
Keywords	solar energy, solar heating system inspection and troubleshooting

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Aurinko	2
2.2	Auringon säteily	2
2.3	Auringon säteily Suomessa	5
3	Aurinkokeräin	7
3.1	Aurinkokeräimen energiatuotto	8
3.2	Tasokeräimet	10
3.2.1	Nestekiertoinen keräin	11
3.2.2	Ilmakiertoinen keräin	11
3.3	Tyhjiöputkikeräin	13
3.3.1	U-pipe-tyhjiöputkikeräin	14
3.3.2	Heat-pipe-tyhjiöputkikeräin	15
4	Aurinkolämpöjärjestelmät	16
4.1	Aurinkokeräimet	17
4.1.1	Aurinkokeräimien pinta-alan mitoitus	18
4.1.2	Aurinkokeräimien sijoitus	18
4.1.3	Aurinkokeräimien suuntaus	18
4.1.4	Aurinkokeräimien asennuksen kaltevuuskulman valinta	18
4.1.5	Aurinkokeräimien kytkentätavat	20
4.1.6	Aurinkokeräimien sisäiset virtausreitit	22
4.2	Putkisto	23
4.2.1	Putkimateriaalit ja osat	24
4.2.2	Putkiston koko	24
4.2.3	Putkiston eristys	28
4.3	Säätölaitteet ja venttiilit	30
4.3.1	Ohjausyksikkö	30
4.3.2	Pumppuyksikkö	31
4.3.3	Sulku- ja säätöventtiilit	32
4.3.4	Ilmanpoisto	32
4.4	Lämpövaraaja	34
4.5	Lämmönsiirrin	35

4.5.1	Sisäinen lämmönsiirrin	35
4.5.2	Ulkoinen lämmönsiirrin	37
4.6	Paisuntasäiliö ja varolaitteet	38
4.6.1	Paisuntasäiliö	38
4.6.2	Varolaitteet	39
4.7	Lämmönsiirtoneste	40
5	MetroSol-aurinkoenergialaboratorio	40
5.1	Aurinkosähköjärjestelmä	41
5.2	Aurinkolämpöjärjestelmä	41
5.2.1	Aurinkokeräimet	41
5.2.2	Putkisto	44
5.2.3	Lämpövaraaja ja aurinkokierukka	44
5.2.4	Kiertovesipumppu	44
5.2.5	Pyranometri	45
5.2.6	Sääasema	46
5.2.7	Virtausmittari	47
5.3	Schneider SmartStruxure v1.4	48
6	Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus	48
6.1	Keräimet ja lämpövaraaja	49
6.2	Putkisto	50
6.3	Säätölaitteet ja -venttiilit	51
6.4	Lämmönsiirrin	52
6.5	Paisuntasäiliö ja varolaitteet	52
7	Vianmääritys	53
7.1	Keräinpiirin lämpötila	53
7.2	Aurinkokeräinverkoston paine	55
7.3	Aurinkokeruupiirin kiertopumppu	56
7.4	Lämpövaraajan lämpötila	56
7.5	Putkisto	57
8	Yhteenveto	58
	Lähteet	59
	Liitteet	
	Liite 1. MetroSol-aurinkolämpöjärjestelmän kytkentä- ja säätökaavio	
	Liite 2. MetroSol-aurinkosähköjärjestelmän järjestelmäkaavio	

## **Esipuhe**

Suuren kiitoksen opinnäytetyöni etenemisestä ja tuesta sen tekemisen aikana minulta saa MetroSol-aurinkoenergiaprojektin vetäjä projekti-insinööri Harri Hahkala, yliopettaja Jukka Yrjölä sekä kurssitoverini Jussi Åman.

Järvenpäässä 10.3.2015

Lari Tapaninen

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa työkalu aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus- ja vianmääritystoimenpiteitä varten. Tämä opinnäytetyö liittyy Metropolia Ammattikorkeakoulun osuuteen Tekesin ja teollisuuden rahoittamaa hanketta Energy Efficient Control of Indoor Environment, RYM Oy.

Opinnäytetyön aihe valikoitui siitä syystä, että nykyään aurinkoenergialla on suuri merkitys rakennuksissa. Tästä huolimatta aurinkoenergiajärjestelmiä on tehty hyvin vähän, ja niiden käyttöön ei ole saatavilla selviä käyttöohjeita. Opinnäytetyön tuloksena syntyvästä työkalusta on tarkoitus tehdä sellainen, jota esimerkiksi omakotitalo- ja kiinteistönomistajat kykenevät sitä käyttämään hyödyksi.

Opinnäytetyön tutkimuksessa käytettiin monien alan kirjallisuuslähteiden lisäksi omakohtaisia kokemuksia sekä itse opittuja asioita alasta. Ensikosketukseni alaan sain jo vuonna 2013, jolloin pääsin työharjoitteluun kesäloman ajaksi Metropolian Ammattikorkeakoulun Leppävaaran toimipisteeseen rakennettuun MetroSol-aurinkoenergialaboratorioon.

Opinnäytetyö käsittelee ainoastaan tasomaisilla ja tyhjiöputkikeräimillä varustettuja aurinkolämpöjärjestelmiä. Aurinkosähköpaneelit ja keskittävät aurinkokeräimet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

## 2 Aurinkoenergia

### 2.1 Aurinko

Aurinko on maapalloa lähinnä oleva tähti. Sen halkaisija on 109,1 kertaa maapallon halkaisija ja massa 332 946 kertaa suurempi kuin maapallon massa, tunnusluvut ovat näin ollen noin 1 392 000 km ja  $1,99 \times 10^{30}$  kg [1]. Auringon keskimääräinen etäisyys maapallosta on 149 600 000 km ja auringosta lähtevä valo saavuttaa maan ajassa 8 min 18 s [2].

Auringon tuottama energia syntyy fuusioreaktiossa, jossa kaksi vetyatomia yhdistyy yhdeksi heliumatomiksi. Tässä reaktiossa vapautuu erittäin suuri määrä energiaa [1]. Vapautuvan energian määrä yhden heliumkilogramman muodostuessa vedystä vastaa energiaa, joka saataisiin 27 000 tonnista kivihiltä eli 180 miljoonaa kilowattituntia. Fuusioreaktio vaatii onnistuakseen korkean lämpötilan, noin 10 miljoonaa C° [2]. Maapallolla kaikki käyttämämme energia lukuun ottamatta ydin- ja geotermistä energiaa on lähtöisin auringosta.

Auringossa tapahtuvassa fuusioreaktiossa vapautuvan energian määrä on niin suuri, että se tuottaa auringolle  $3,8 \times 10^{23}$  kW:n kokonaistehon. Auringosta maan pinnalle tästä määrästä tulee noin  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Tämä teho vastaa noin 20 000 kertaa sitä tehoa, jota vuosittain käytetään maapallon teollisuuteen ja lämmitykseen. [2.]

### 2.2 Auringon säteily

Auringossa tapahtuvan fuusioreaktion vapautuvasta energiasta maapallon ilmakehän ulkopuolella kohtisuoraan säteilyä vastassa olevalle pinnalle saapuu auringonsäteilyä keskimäärin  $1368 \text{ W/m}^2$ . Tätä lukuarvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Säteily on suurimmillaan tammikuussa noin  $1410 \text{ W/m}^2$  ja pienimmillään kesäkuussa noin  $1320 \text{ W/m}^2$  [3]. Säteilytehon vaihtelu johtuu maapallon ja auringon etäisyyden muutoksesta sekä paikallisesta ilmastosta. Säteilyn määrä vähenee 60 prosenttiin alkuperäisestä määrästä ennen säteilyn osumista maapallon pinnalle [2].

Ilmakehä vaikuttaa säteilyn laatuun monella tavalla. Säteilyn jakautuminen on esitetty kuvassa 1. Ilmakehän läpi maan pinnalle tulee kolmea erilaista säteilytyyppiä. Suora au-



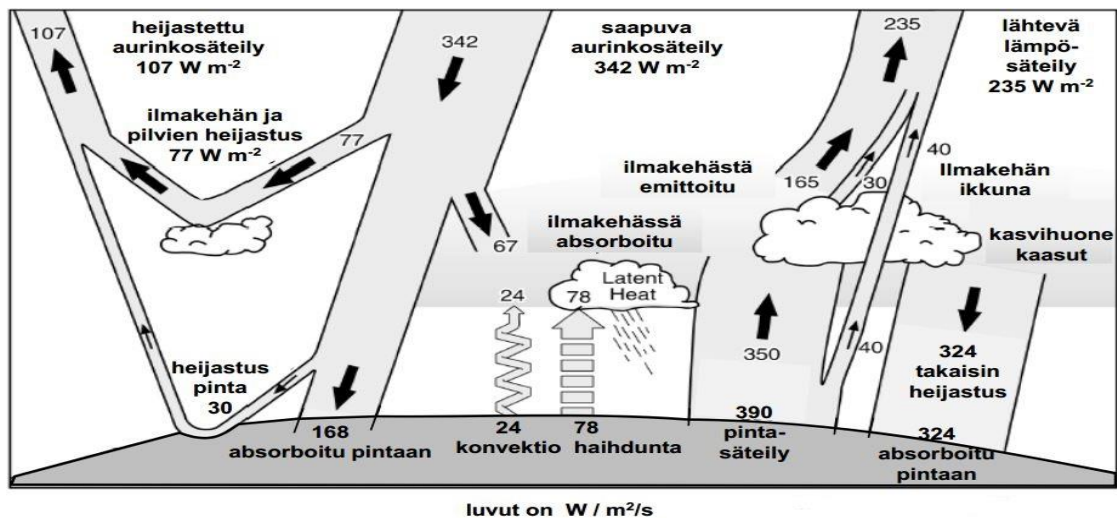
rinkosäteily on suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä. Hajasäteily eli diffuusinen aurinkosäteily on ilmakehässä olevista pilvistä ja erilaisista molekyyleistä heijastunutta säteilyä. Ilmakehässä olevat vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. Tätä kutsutaan vastasäteilyksi, jota kutsutaan kasvihuonevaikutukseksi. Näiden kolmen säteilyn summa ei vielä kerro, kuinka paljon tietyn pinnan hyväksi jäävä säteily todellisuudessa on.

Pinnalle jäävä kokonaisteho voidaan laskea yhtälöllä 1:

$$I = I_A + I_D + I_V - I_U \quad (1)$$

jossa

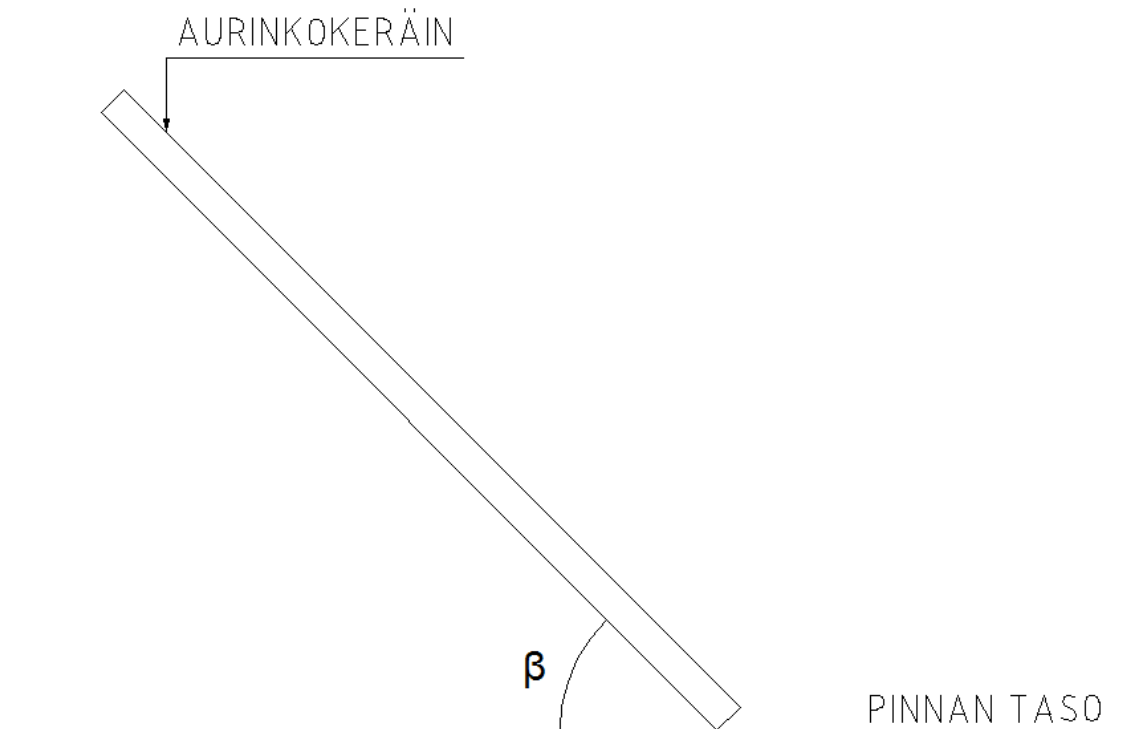
$I_A$	suora aurinkosäteily	
$I_D$	hajasäteily eli diffuusinen aurinkosäteily	
$I_V$	ilmakehän vastasäteily	
$I_U$	maan lähettämä säteily	[2]



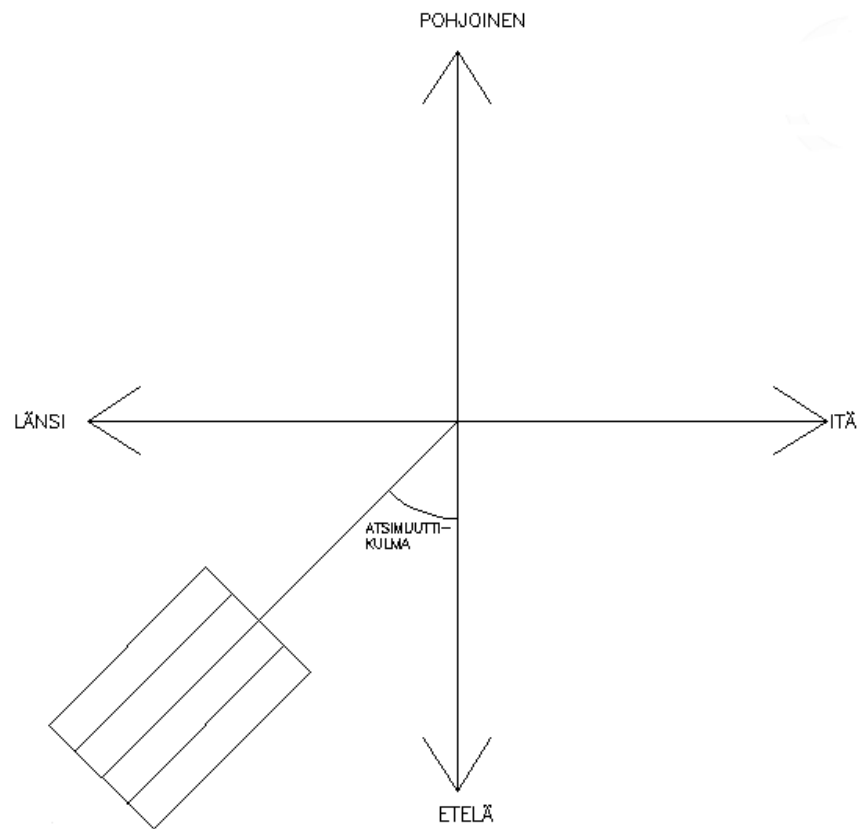
Kuva 1. Auringonsäteilyn käyttäytyminen ilmakehässä [5, muokattu].

Säteilylajien osuus kokonaissäteilystä riippuu vahvasti kokonaissäteilyn määrästä. Kokonaissäteilyn ollessa suuri on hajasäteilyn osuus suhteessa kokonaissäteilyyn verrattain pieni. Kokonaissäteilyn ollessa pieni on hajasäteilyn osuus verrattain suuri [5]. Kirkkaana kesäpäivänä suoran säteilyn osuus on noin 80 prosenttia. Pilvisenä päivänä suora auringonsäteily jää arviolta 20 prosenttiin. Suomessa vuosittaisesta kokonaissäteilystä keskimäärin 50 prosenttia on hajasäteilyä [2].

Auringosta saatavaan säteily määrään vaikuttaa vahvasti kyseisen pinnan suuntauksesta aurinkoon nähden. Suuntaukseen liittyy kaksi eri kulmaa. Nämä ovat kallistuskulma ja atsimuuttikulma. Kallistuskulmalla tarkoitetaan sitä kulmaa, joka on vaakatason ja pinnan välinen kulma. Atsimuuttikulmalla tarkoitetaan tason poikkeamaa etelän suunnasta itään (-) tai länteen (+) päin eli sitä, missä asemassa pinta on etelään nähden [2]. Näitä kahta kulmaa on havainnollistettu kuvissa 2 ja 3.



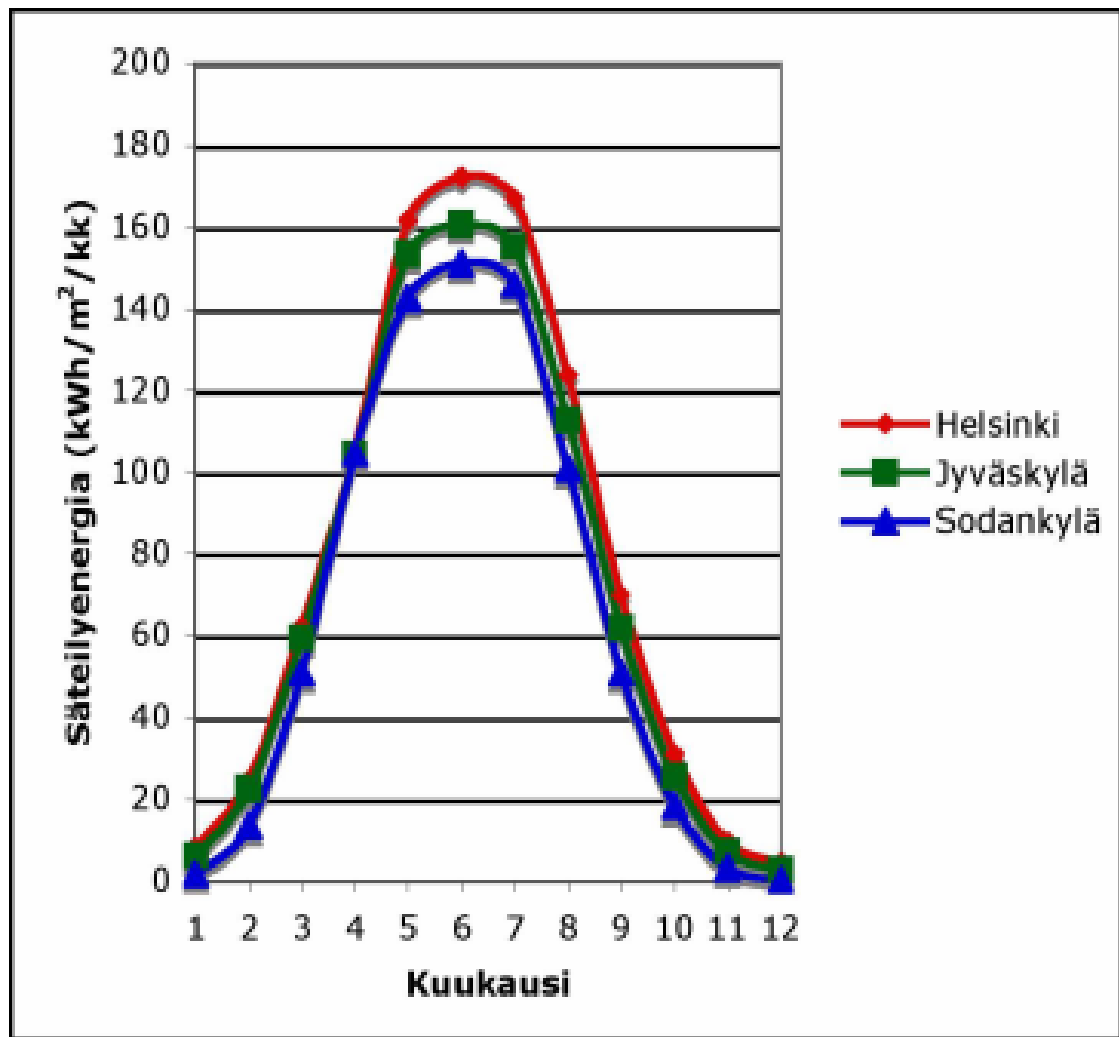
Kuva 2. Havainnollistava kuva tason kallistuskulmasta, symboli  $\beta$  [6, muokattu].



Kuva 3. Havainnollistava kuva atsimuuttikulmasta [2, muokattu].

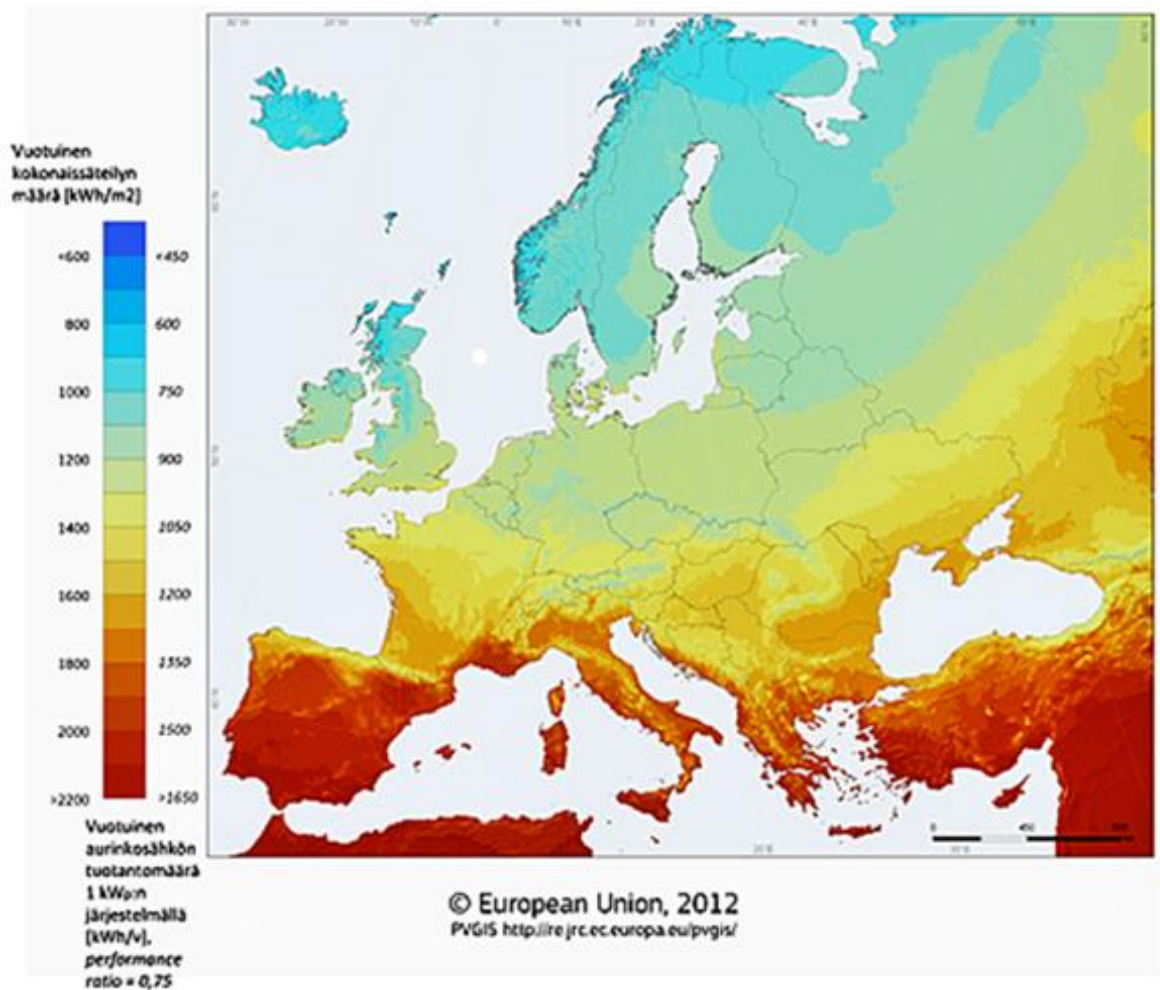
### 2.3 Auringon säteily Suomessa

Keskimääräinen vuotuinen auringonsäteily vaakatasolle Etelä-Suomessa on keskimäärin  $1000 \text{ kWh/m}^2$  ja Keski-Suomessa keskimäärin  $900 \text{ kWh/m}^2$ . Aurinkoenergian hyötykäytölle otollisinta aikaa on huhtikuusta syyskuuhun. Talven aikana ei juurikaan saada aurinkoenergiaa hyödyksi [2]. Kuvassa 4 on esitetty kuukausittainen auringon säteilyenergian määrä vaakatasolle yhtä neliometriä kohden Helsingin, Jyväskylän ja Sodankylän kaupungeissa vuosina 1971–2000 [3].



Kuva 4. Auringonsäteilyn määrä kolmella eri havaintokaupungissa vuosina 1971–2000 [3].

Vuositasolla tarkasteltuna Suomen leveyspiirillä auringon säteily on keskimäärin sama kuin Keski-Euroopassa. Päiväntasaajan alueella vuosittainen säteily määrä on keskimäärin kaksinkertainen Suomen vastaavaan arvoon nähden. Tämä on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Auringon vuotuinen auringonsäteily Euroopassa [7, muokattu].

### 3 Aurinkokeräin

Aurinkokeräin on laite, joka kerää auringon säteilyä muuttaen sen lämmöksi [8]. Aurinkokeräimet jaetaan taso- ja tyhjiöputki- sekä keskittäviin keräimiin. Keskittävillä keräimillä tarkoitetaan eräänlaista taso- tai tyhjiöputkikeräimistä tehtyä sovellusta, jossa peileillä tai muilla heijastavilla pinoilla kohdistetaan auringonsäteily keräimen pinnalle. Tässä työssä rajataan keskittävät keräimet tarkastelun ulkopuolelle.

Aurinkokeräimen hyötysuhde on parhaimmillaan, kun keräimen meno- ja paluueden keskilämpötilan ja vallitsevan ympäristön lämpötilaero on mahdollisimman pieni [9].

### 3.1 Aurinkokeräimen energiatuotto

Keräimiä vertailtaessa tulee varmistua siitä, että keräimet ovat saaneet Solar Keymark -sertifikaatin. Tämä takaa sen, että keräin on testattu SFS-EN 12975 -normin [10] mukaisesti ja läpäissyt tämän testin.

Kyseisen sertifikaatin yhteydessä mainitaan keräimen teknisiä tietoja, joita voidaan käyttää vertailtaessa eri keräimien tehoja. Saksalaiset ja sveitsiläiset tutkimuslaitokset kuten esim. SPF Rapperswil, ISE Fraunhofer ja ISFH Hameln, varmistavat, täyttävätkö aurinkokeräimet EU-normin DIN EN 12975 [11]. Kuvassa 6 on esitetty erään keräimen sertifikaatti.

Sertifikaattia varten mitataan seuraavat asiat

- keräimen optinen hyötysuhde,  $\eta_0$
- lineaarisen lämmönläpäisykerroin,  $k_1$
- toisen potenssin lämmönläpäisykerroin,  $k_2$ .

Näiden mittaustulosten lisäksi tehokäyrän laskemiseen tarvitaan

- aurinkosäteilyn teho,  $W/m^2$
- keräimen läpi kulkevan lämmönsiirtonesteen meno- ja paluulämpötilan keskiarvon ja ympäristön välinen lämpötilaero.

Keräimiä testattaessa energiantuotto lasketaan standardin SFS-EN 12975-2 määrittämällä yhtälöllä. Kyseisessä yhtälössä kuitenkin esiintyy virhe, jonka Jouni Rakennuskoski insinöörityössään havaitsi: sulkulausekkeiden viimeisen termin yksiköt eivät täsmää. Rakennuskoski korjasi painovirheen yhtälöön 2.

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

jossa

$Q$	aurinkokeräimen tuotto, W
$A$	apertuureala, $m^2$
$G$	auringon säteilyvoimakkuus, $W/m^2$
$\eta_0$	optinen hyötysuhde standardin SF-EN 12975-2 mukaan
$a_1$	eräinpinta-alaa vastaava lämpöhäviökerroin, $W/m^2K$

$a_2$	keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin, W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	
$t_m$	lämmönsiirtonesteen keskilämpötila keräimessä, °C	
$t_a$	ympäristön lämpötila, °C	
G	1000 W/m <sup>2</sup>	[10;12]

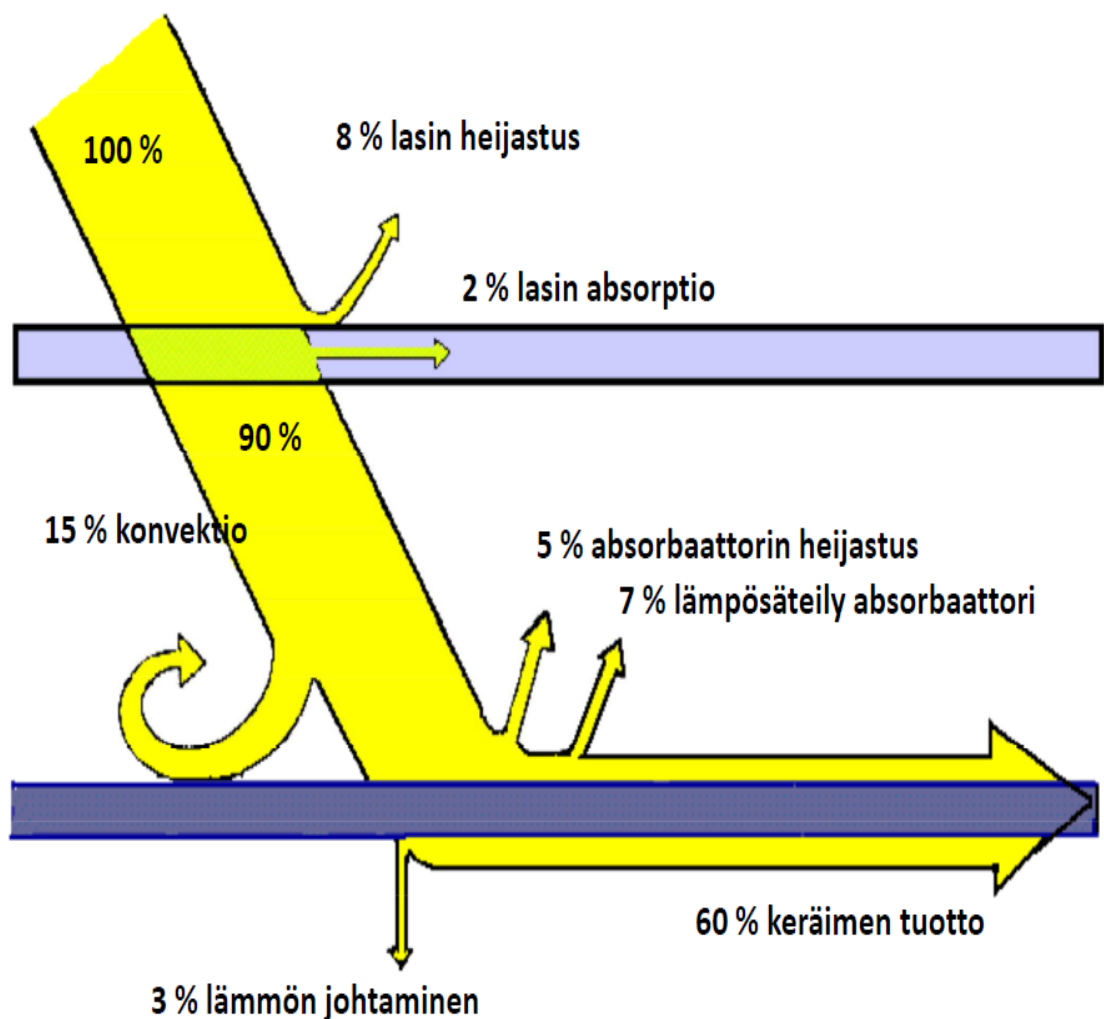
Tässä työssä rajataan keräimen energiantuoton laskeminen pois, joten tarvittavien termien ja arvojen määrittäystä ei esittelyä tarkemmin tehdä.



Kuva 6. Esimerkki myönnetystä Solar Keymark -sertifikaatista keräimille WATT2020S, WATT2020SL ja WATT2020SRL [13].

### 3.2 Tasokeräimet

Tasokeräimet olivat ensimmäisiä aurinkolämpökeräimiä, joita käytettiin aurinkoenergian hyödyntämiseen [14]. Keräimessä olevan tumman keräinelementin avulla säteilyä kerätään talteen keräinelementin eli absorbaattorin avulla. Keräimen tumma pinta absorboi auringonsäteilyä ja kuumenee eli tapahtuu valosäteilyn muuttumista lämpösäteilyksi. Tasokeräimet voidaan jakaa lämmönsiirtotavan mukaan neste- ja ilmakiertoisiin tasokeräimiin [2]. Kuvassa 7 on esitetty tasokeräimessä tapahtuvat energiavirrat.

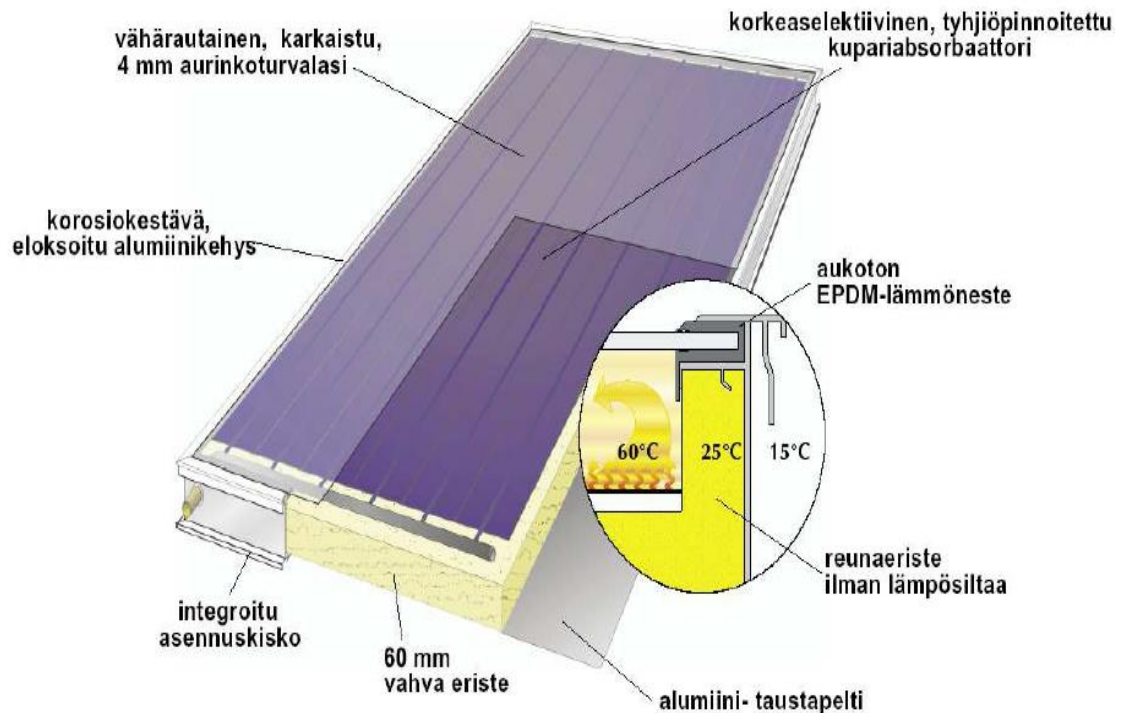


Kuva 7. Tasokeräimessä tapahtuvat energiavirrat [11].



### 3.2.1 Nestekiertoinen keräin

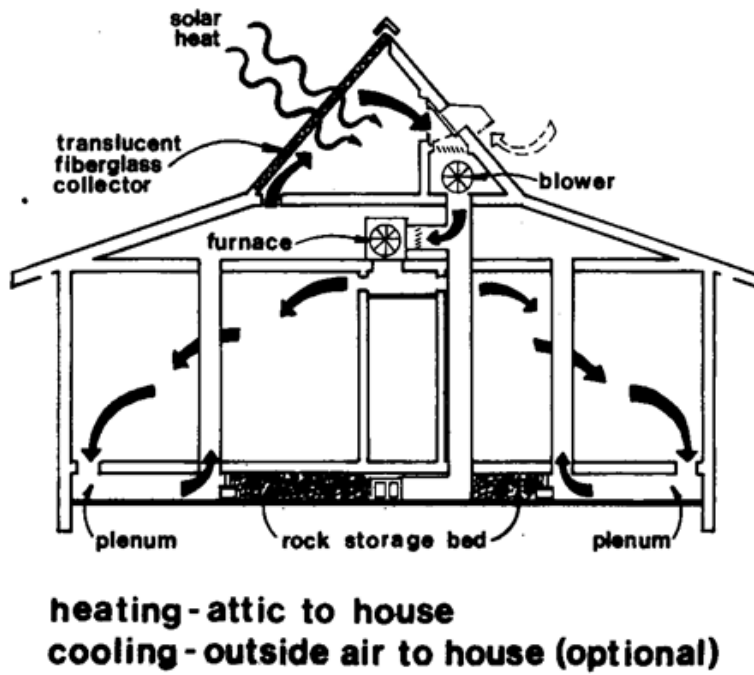
Nestekiertoinen keräin on tasomainen keräin, joka koostuu rungosta, muovi- tai lasikatteesta, lämpöä imevästä absorptiopinnasta, lämmönsiirtolevyistä ja putkistosta sekä eristeistä. Keräimeen absorboitunut lämpö siirtyy keräimessä kulkevaan lämmönsiirtonesteeseen. Kuvassa 8 on esitetty tyypillisen nestekiertoisen tasokeräimen rakenne.



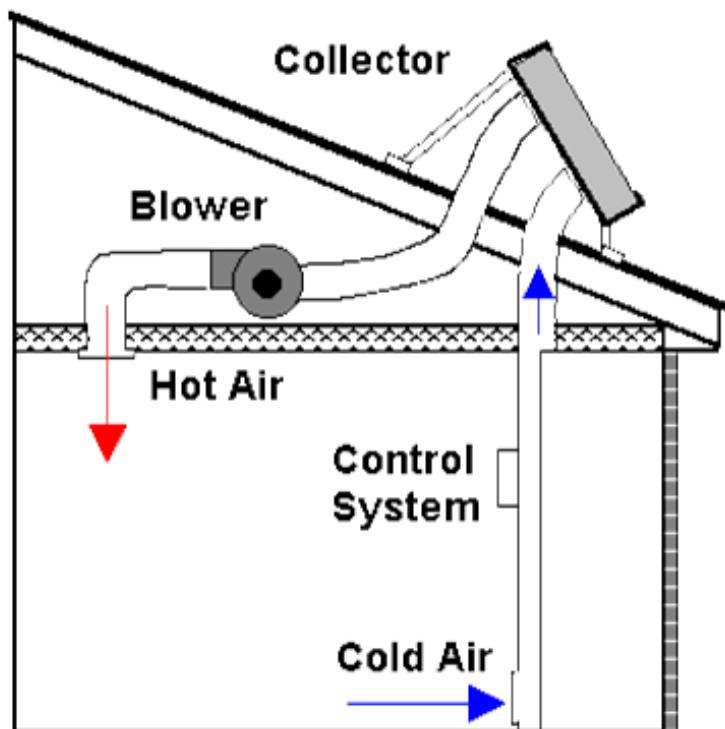
Kuva 8. Periaatekuva eräästä nestekiertoisesta tasokeräimestä [11].

### 3.2.2 Ilmakiertoinen keräin

Ilmakiertoinen keräin nesteen sijaan käyttää ilmaa lämmönsiirtoon. Ilmakiertoisessa keräimessä periaatteena on lämmittää keräimen läpi kulkeva ulkoilma ja johtaa lämmitetty ilma sisätiloihin puhaltimen avulla. Ilmakeräintä voi käyttää myös esimerkiksi hybridijärjestelmän osana ilmanvaihtokoneen ulkoilman esilämmittimenä tai käyttämällä ilmakeräintä lämmittävänä kiertoilmakojeena. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty ilmanvaihdon ulkoilman esilämmittimenä ja kiertoilmakojeena toimivien ilmakeräimien periaatteet.



Kuva 9. Ilmanvaihdon ulkoilman esilämmittimenä toimivan nestekeräimen periaate [15].



Kuva 10. Kiertoilmakojeena toimiva ilmakeräimen periaate [15].

Ilmakeräimien etuna nestekiertoisiin keräimiin verrattuna voidaan pitää sitä, että niissä ei ole jäätyksen, ylikuumentumisen, vuotojen tai korroosion vaaraa. Huonona puoleena voidaan pitää ilman pienempää ominaislämpökapasiteettia verrattuna lämmönsiirtonesteisiin sekä ilman ja kiinteän pinnan huonompaa lämmönsiirtokerrointa verrattuna nesteen ja kiinteän pinnan lämmönsiirtokerrotimeen.

### 3.3 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimissä on kahden lasin välissä tyhjiö, joka toimii erittäin hyvänä lämmöneristeenä [16]. Tyhjiöputki on esitetty kuvassa 11. Tyhjiöputkikeräin hyödyntää hajasäteilyn paremmin tasokeräimiin verrattuna. Tästä on hyötyä vuodenaikoina, jolloin auringonpaiste on vähäistä. [17.]

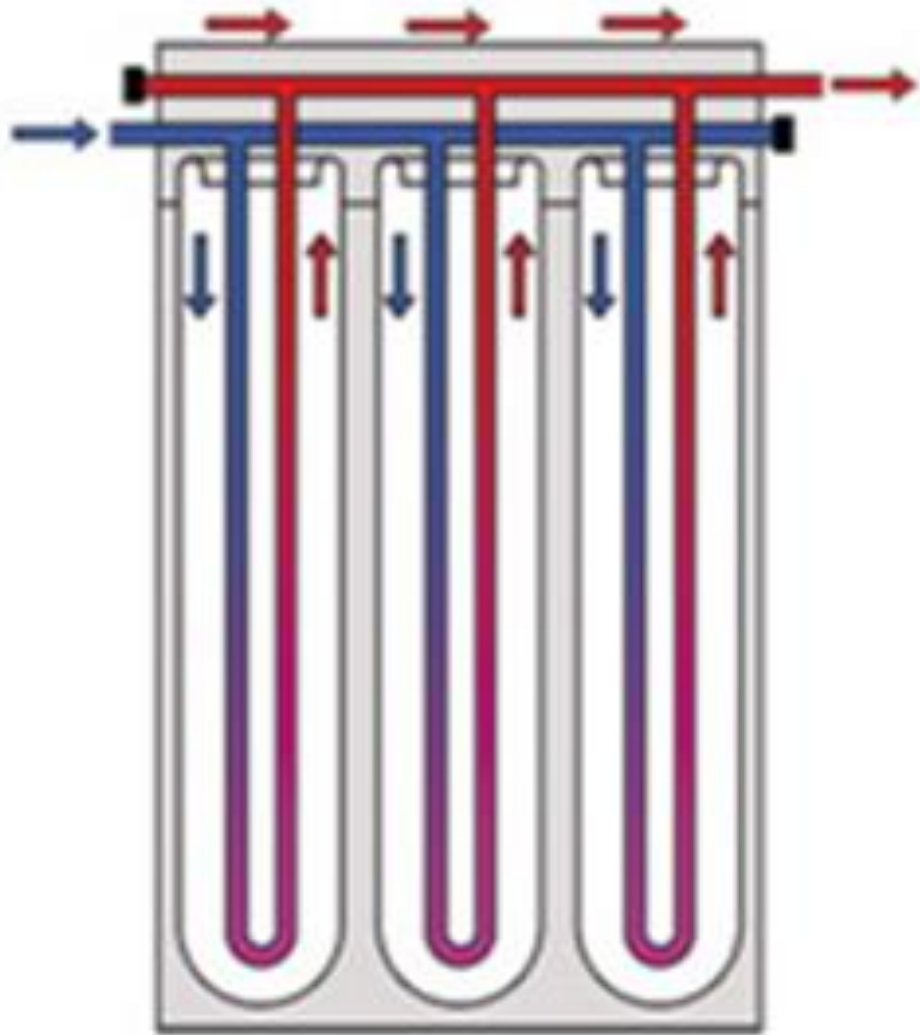
Tyhjiöputket voidaan jakaa kahteen erilaiseen sovellukseen. Nämä ovat U-pipe- ja heat-pipe-tyhjiöputkikeräimet.



Kuva 11. Tyhjiöputkikeräin [18].

### 3.3.1 U-pipe-tyhjiöputkikeräin

Auringon säteilyenergia muuntuu tyhjiöputkikeräimen lasiputkien sisällä lämmöksi absorptiolevyjen välityksellä putkiston kautta lämmönsiirtonesteeseen [16]. Tyhjiöksi imetty lasiputki toimii erittäin hyvänä lämmöneristeenä. Keräimessä on valmistajasta riippuen eri määrä lasiputkia ja lämmönsiirtonesteen kiertolenkkejä. Kuvassa 12 on esitetty U-pipe-tyhjiöputkikeräimen periaate.

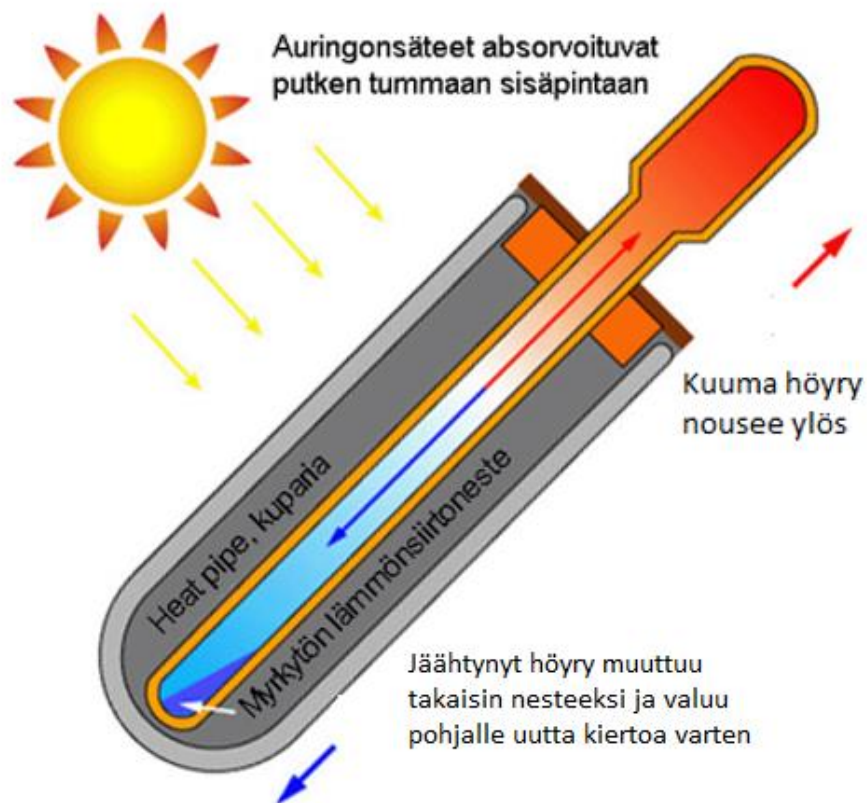


Kuva 12. U-pipe-tyhjiöputkikeräimen periaate [19].

### 3.3.2 Heat-pipe-tyhjiöputkikeräin

Heat pipe -keräin koostuu kahdesta sisäkkäin olevasta lasiputkesta. Sisemmän lasiputken päällä on tumma lämpöä absorboiva kalvo. Lasiputkien välillä on tyhjiö, joka toimii hyvänä lämmöneristeenä.

Sisemmän putken tummasta kalvosta lämpö siirtyy alumiinilevyn välityksellä suljettuun heat pipe -putkeen, jonka sisällä on herkästi höyrystyvää nestettä. Höyrystynyt neste nousee putken yläpäähän, jossa on laajennus. Laajennusosa toimii lämmönsiirtimenä. Höyry tiivistyy laajennuksessa takaisin nesteeksi ja luovuttaa lämmön keräimen yläpäässä kulkevaan lämmönsiirtonesteeseen. Keräimen jäähtynyt ja lämpöä luovuttanut neste valuu takaisin heat pipe -putken pohjalle ja kierto alkaa alusta. [20.] Kuvassa 13 on esitetty heat-pipe-tyhjiöputkikeräimen periaate.



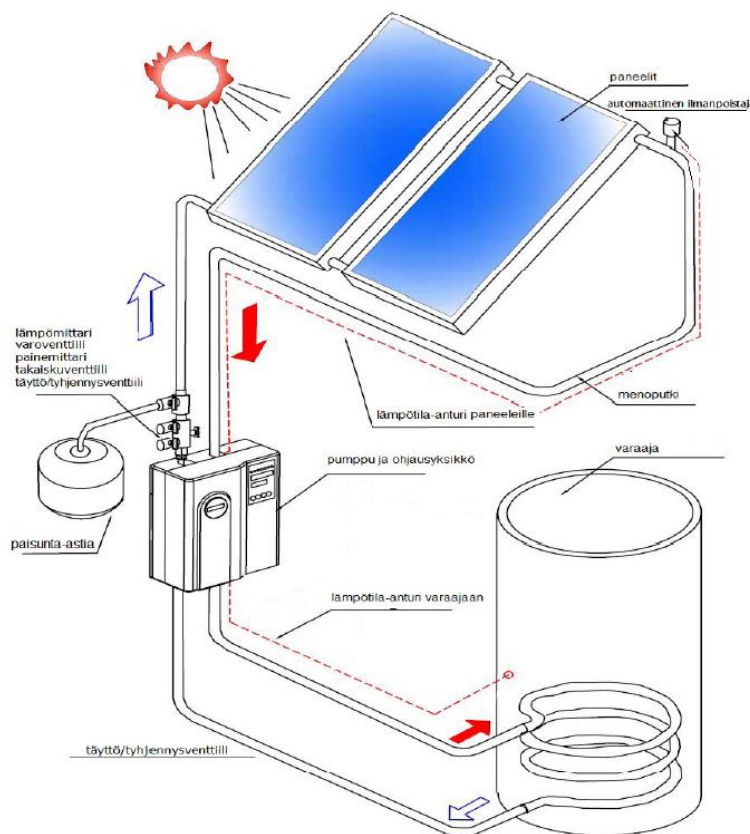
Kuva 13. Heat-pipe-tyhjiöputkikeräimen periaate [21, muokattu].

## 4 Aurinkolämpöjärjestelmät

Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan jakaa passiivisiin ja aktiivisiin riippuen järjestelmän toimintatavasta.

Passiivisessa aurinkolämpöjärjestelmässä hyödynnetään auringonenergiaa ilman mekaanisia laitteita hallitsemalla rakennuksen sisään tulevan auringonsäteilyn määrää. Rakennuksen sisään tulevaa auringonsäteilyä voidaan vähentää passiivisesti käyttäen esimerkiksi kaihtimia, verhoja tai ikkunoiden katteita [2]. Tässä työssä rajataan passiivinen aurinkoenergia tarkastelun ulkopuolelle.

Aktiivinen aurinkolämpöjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, putkistosta ja putkiosista sekä niiden eristyksistä, pumppu- ja ohjausyksiköstä sekä niihin liittyvistä venttiileistä, lämpövaraajasta, paisuntasäiliöstä ja varolaitteista. Aktiivisen aurinkoenergiajärjestelmän periaate on esitetty kuvassa 14.

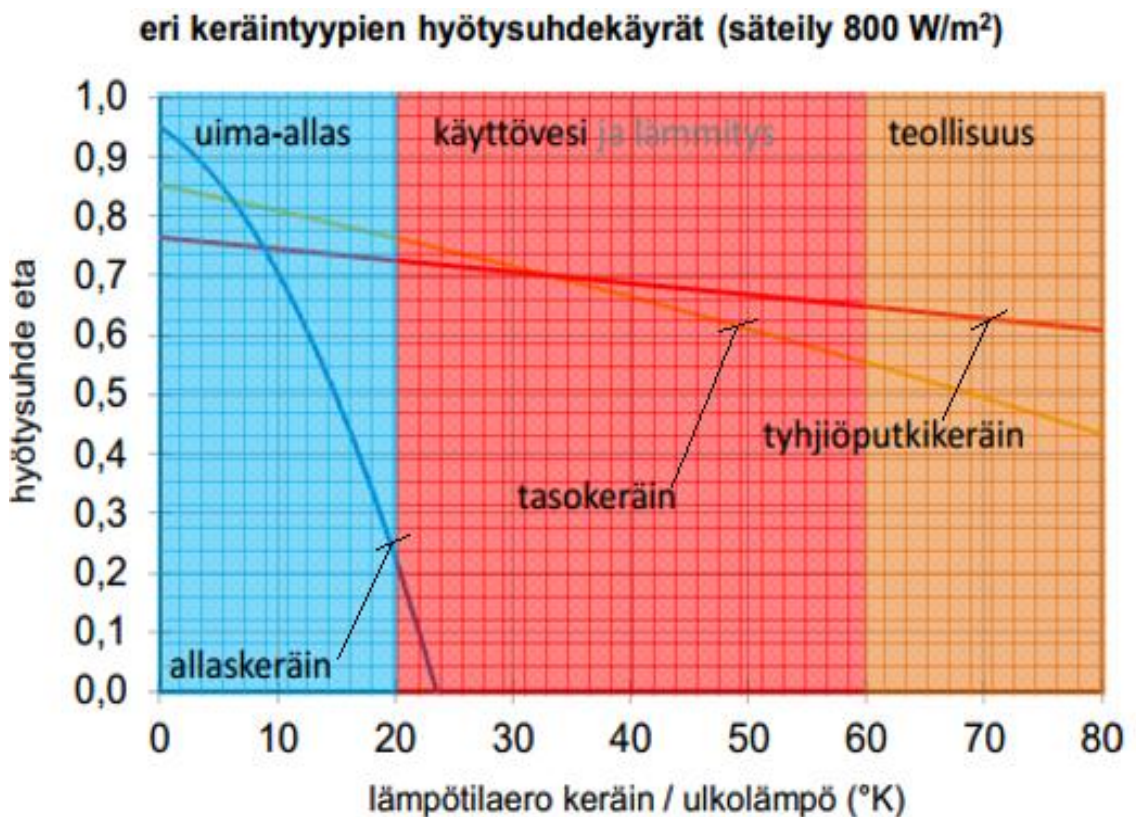


Kuva 14. Aktiivisen aurinkolämpöjärjestelmän periaatekuva [22].

Aurinkolämpöjärjestelmän oikea mitoitus on tärkeää, jotta käyttäjä saa siitä tavoittelemansa hyödyn. Mitoitus perustuu keräinpinta-alan sovittamisesta rakennuksen varaajan kokoon, lämmönsiirtimen tyyppiin ja rakennuksen muuhun lämmitysjärjestelmään. [23.]

#### 4.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet valitaan käyttökohteeseen sopivaksi. Mikäli vaaditaan korkeita toimintalämpötiloja, kuten teollisuuden erilaiset prosessit, tyhjiöputkikeräimet soveltuvat parhaiten. Mikäli keräimillä tuotettua energiaa halutaan käyttää hyödyksi käyttöveden lämmitykseen tai tukea rakennuksen lämmitystä esimerkiksi märkätilojen lattialämmityksessä, tasokeräimet ovat usein paras vaihtoehto. Jos tavoitteena on lämmittää uima-allasta keuhkaisin, kannattaa valita kyseiseen tarkoitukseen tehty edullinen uima-allaskeräin. Haluttaessa lämmittää ilmaa esimerkiksi kesämökin rakenteiden kuivaukseen, on ilmakeräin järkevin vaihtoehto. [11.] Kuvassa 15 on esitetty keräintyypeille soveltuvat sovellukset.



Kuva 15. Aurinkokeräimien erilaisia sovelluksia [11, muokattu].

#### 4.1.1 Aurinkokeräimien pinta-alan mitoitus

Aurinkokeräimien pinta-alaa mitoittaessa tulee huomioida käytettävä kohteen asettamat vaatimukset. Lähteen 11 mukaan käyttövettä lämmitettäessä keräinpinta-alaa henkilöä kohden tarvitaan noin 1,2–1,5 m<sup>2</sup>, joka vastaa 1,3–2,7 kWh/henkilö päiväkulutusta. Mikäli halutaan käyttää aurinkolämpöä lattialämmityksessä, keräimien pinta-ala on noin 0,5 m<sup>2</sup> keräinpinta-ala/m<sup>2</sup> kosteiden tilojen pinta-ala.

#### 4.1.2 Aurinkokeräimien sijoitus

Aurinkokeräimet tulisi sijoittaa mahdollisimman aurinkoiseen paikkaan kuten esimerkiksi talon katolle, seinälle tai pihatasolle, kuitenkin niin, että auringonsäteily pääsee keräimelle mahdollisimman esteettömästi koko päivän ajan. Keräimien ja varaajan etäisyyden tulee olla mahdollisimman lyhyt. [2.]

Keräimiä voidaan integroida kuulumaan osaksi rakennuksen ulkovaippaa kuten toimimaan osana kattoa. Näin tehtäessä niillä on auringonsäteilyenergian talteen ottamisen lisäksi tehtävänä toimia rakennuksen tuulen- ja vedenpitävänä elementtinä. [2.]

#### 4.1.3 Aurinkokeräimien suuntaus

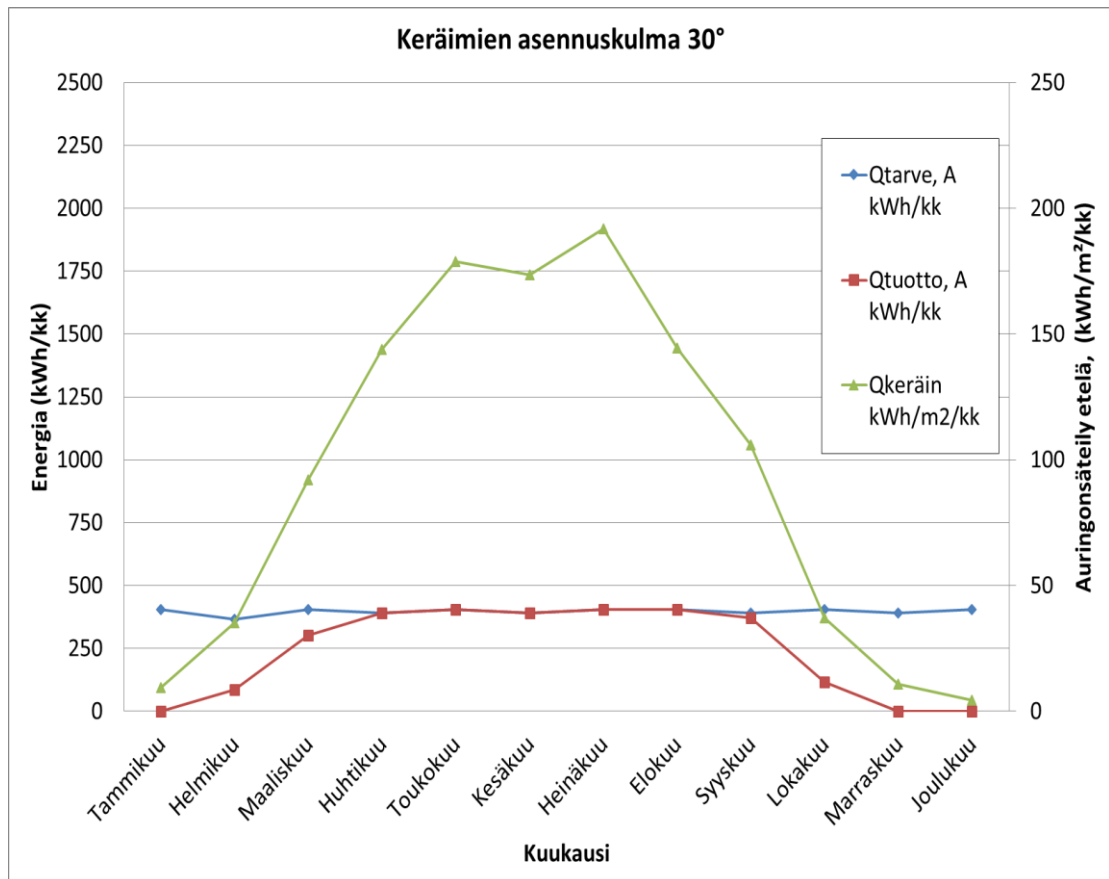
Parhaimpana asennussuunta yleensä pidetään etelää [2]. Kaakon ja lounaan suuntaan asennetut keräimet toimivat vielä ihan hyvin. Itään tai länteen suuntaus tulisi välttää, koska silloin keräimiä voidaan tehokkaasti hyödyntää ainoastaan kesäisin [11].

#### 4.1.4 Aurinkokeräimien asennuksen kaltevuuskulman valinta

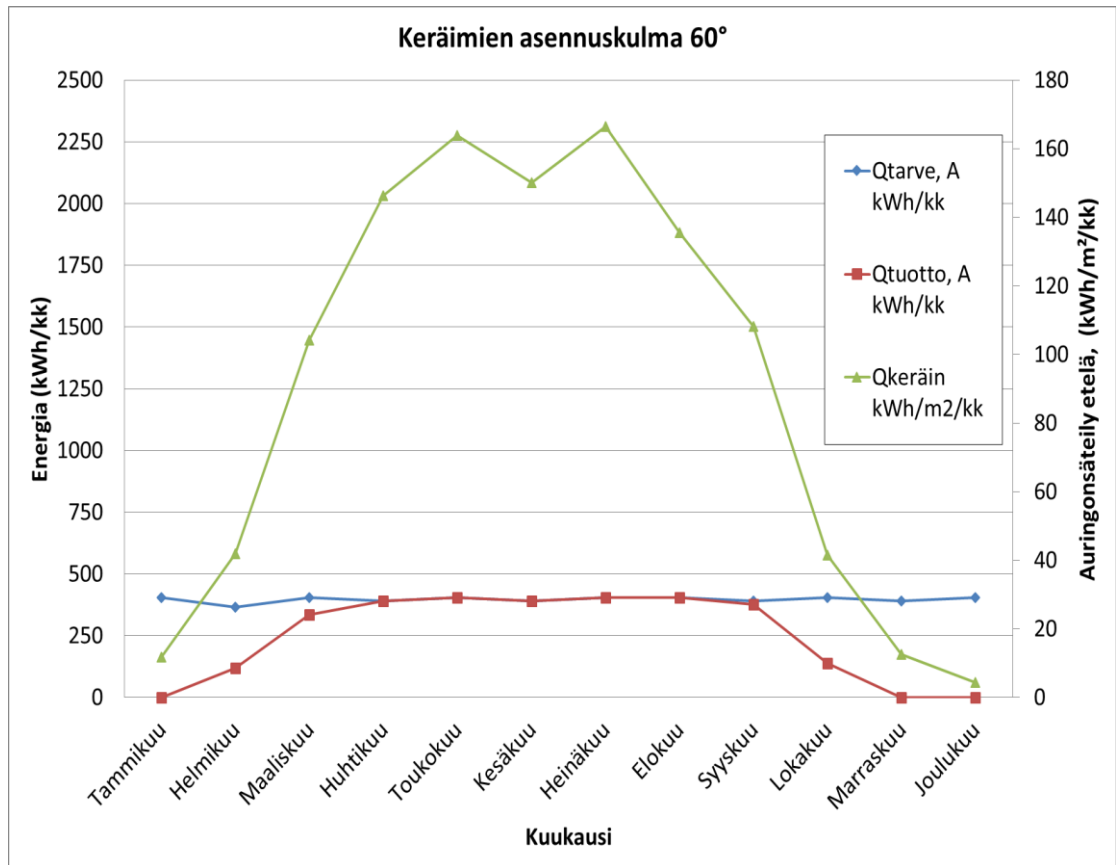
Aurinkokeräimien asennuksen kaltevuuskulma valinta tulisi tehdä 30–60 asteen väliltä, jotta energiantuotto olisi optimaalista. 30 asteen kallistuskulma tuottaa keskikesäisin eniten energiaa ja 60 asteen kallistuskulma tuottaa energiaa aikaisemmin keväällä ja pidemmälle syksyyn. Parhainta lämmöntuottoa haettaessa suositusasennuskulma on 45–60 astetta, jolloin energiaa saadaan aikaisin keväällä sekä myöhään syksyllä ja käytännössä myös riittävästi kesällä. [22.]



Kuvissa 16 ja 17 on esitetty keräimen eri asennuskulmien laskennallinen vaikutus energiantuottoon. Kuvaajat on tehty Rakennuskosken insinööriyön tuloksena syntyneellä laskentaohjelmalla. Edellä mainituissa kuvista voidaan huomata, että maaliskuussa 60°:n asennuskulmalla saadaan suurempi tuotto kuin 30°:n asennuskulmalla. Näihin tuotto-odotuksiin toki vaikuttaa myös käyttäjäprofiili, mutta käytännössä aina 60°:n asennuskulma on paras. Käyttäjäprofiilin vaikutusta ei tässä työssä käydä tämän tarkemmin läpi.



Kuva 16. Keräimen asennuskulma 30° [12].



Kuva 17. Keräimen asennuskulma 60° [12].

Suomessa asennuskulmaa valittaessa tulee kiinnittää huomiota talvisiin olosuhteisiin. Keräimet kannattaa asentaa sellaiseen kulmaan, että lumi ei pysy hyvin keräimen päällä tai paikkaan, johon on helppo päästä puhdistamaan keräimen pintaan jäänyttä lunta pois. [2].

Jos keräin asennetaan käyttäen hyvin jyrkkää asennuskulmaa eli noin 60–80 astetta pienenee lämmöntuotto erityisesti kesäaikaan, jolloin aurinko paistaa korkealta ja sen kiertorata on pitkä idästä länteen. Tämän hyötynä voidaan pitää sitä, että kesäaikaan keräimen ylikuumenemisriski pienenee huomattavasti. [2.]

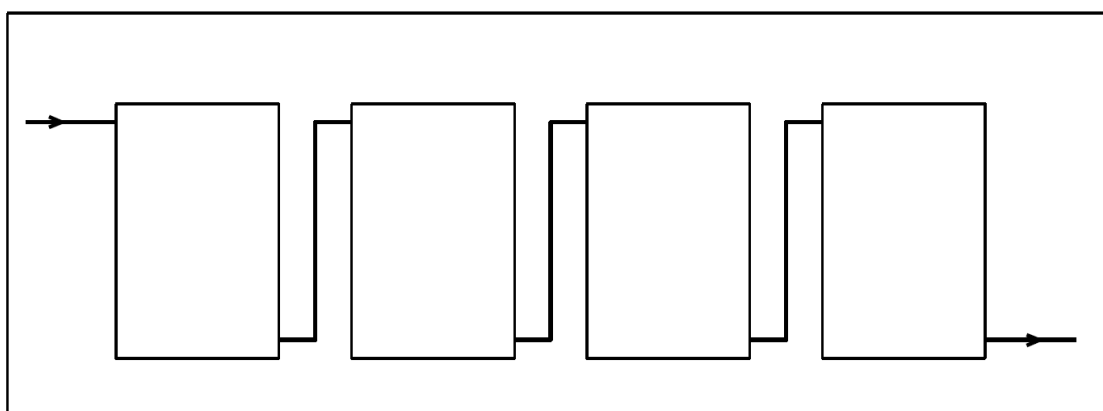
#### 4.1.5 Aurinkokeräimien kytkentätavat

Aurinkokeräimet voidaan kytkeä keskenään käyttäen joko sarja- tai rinnankytkentäperiaatetta. Nämä periaatteet ovat esittynä kuvissa 18 ja 19.

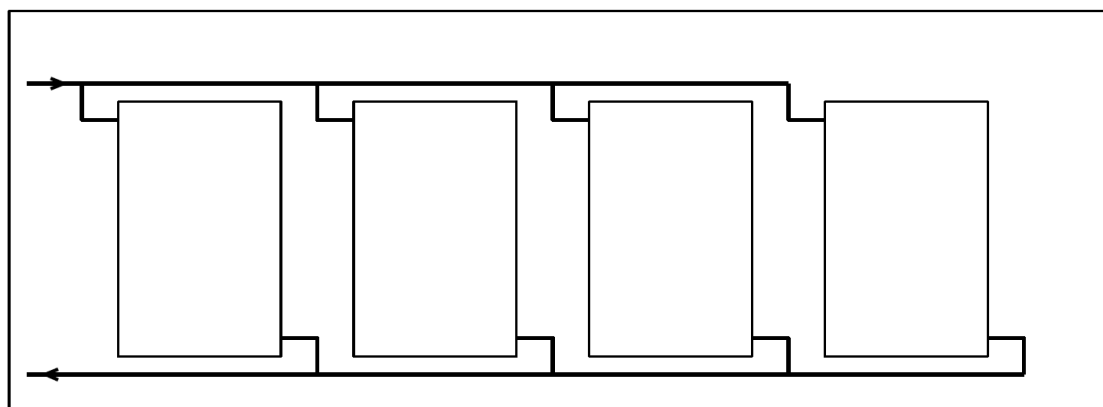
Rinnankytkennässä jokaiseen yksittäiseen keräimeen menee saman lämpöistä lämmönsiirtonestettä, jolloin jokaisella keräimellä on sama hyötysuhde.

Sarjankytkennässä lämmönsiirtonesteen mentyä sarjassa ensimmäisen keräimen läpi lämpötila on kasvanut. Näin ollen seuraavassa keräimessä hyötysuhde on matalampi [9].

Toisaalta lämmönsiirtonesteen virtaaman ollessa molemmissa kytkennöissä samansuuruisen on sarjankytkennässä suurempi kitkapainehäviö. Kitkapainehäviö käydään tarkemmin läpi alajaksossa 4.2.2 Putkiston koko.

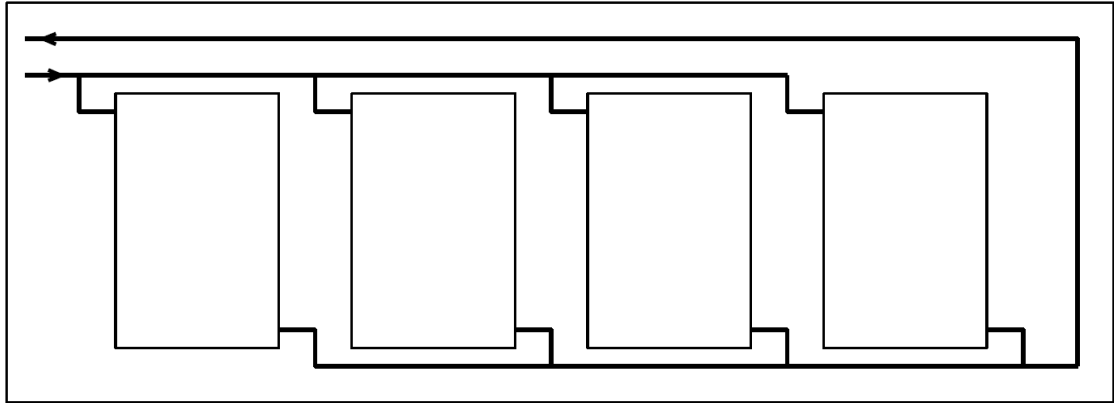


Kuva 18. Sarjakytkentä [22, muokattu].



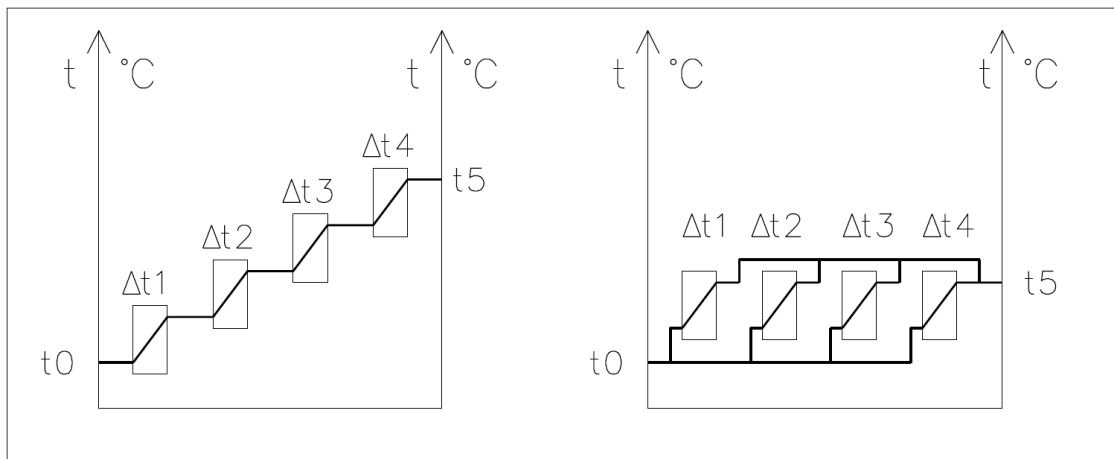
Kuva 19. Rinnankytkentä [22, muokattu].

Rinnankytkennän yksi hyvin suosittu sovellus eri LVI-järjestelmissä on Tichelmann-kytkentä, jota sanotaan käännetyn paluun kytkennäksi. Siinä kytkennässä järjestelmän jokaisen keräimen kautta kulkevan virtausreitit painehäviö on luonnostaan lähes sama. Tichelmann-kytkentä on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Tichelmann-kytkentä [11, muokattu].

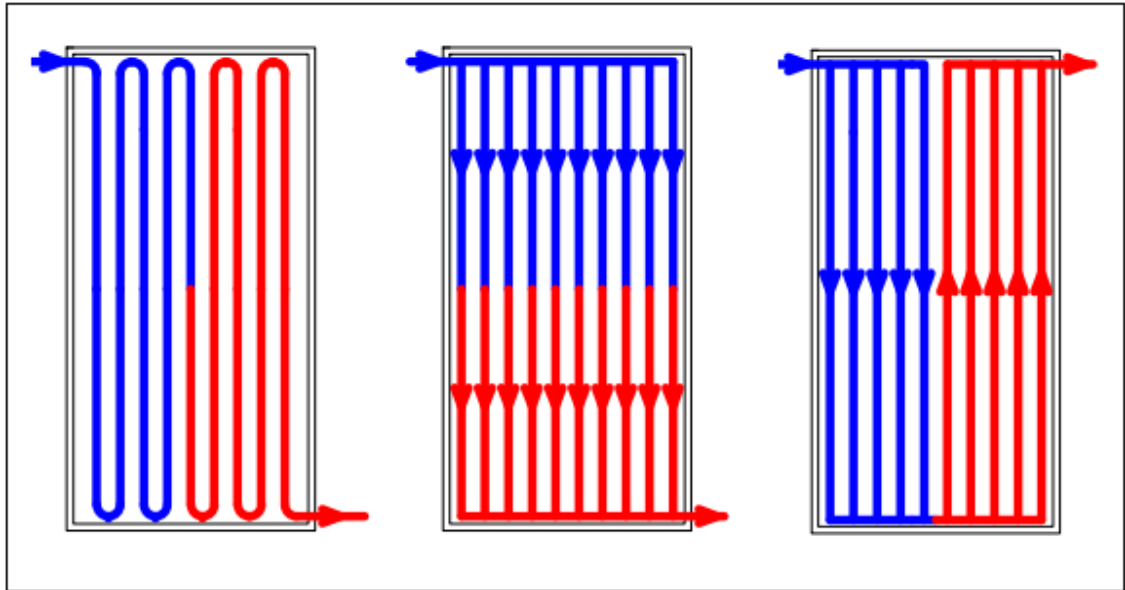
Riippuen siitä, mitä tavoitellaan, valitaan joko rinnan- tai sarjakytkentä. Sarjakytkennällä saadaan kuumempaa liuosta, mutta putkiston painehäviö ja keräimien hyötysuhde on matalampi verraten rinnankytkentään. Sarja- ja rinnankytkentöjen lämpötilatasojen periaatteellinen käyttäytyminen on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Lämpötilatasot sarja- ja rinnankytkentätavoilla [9].

#### 4.1.6 Aurinkokeräimien sisäiset virtausreitit

Keräimien sisäiset virtausreitit ovat erilaiset valmistajasta riippuen. Näitä erilaisia ovat ainakin Meander-, harp- ja double harp -kytkennät. Kuvassa 22 on esitetty edellä mainittujen kolmen erilaisen virtausreitin periaatteet.



Kuva 22. Meander-, harp- ja double harp -kytkennät vasemmalta oikealle [23].

Meander-kytkennässä painehäviö on suurin, mutta kerääjästä saadaan lämpimintä liuosta. Keskimmaisessä harp-kytkennässä painehäviö on pienin ja liuos lämpenee vähiten. Double harp -kytkentä on kummankin piirteen osalta edellisten välimuoto.

#### 4.2 Putkisto

Aurinkokeräin ja lämpövaraaja yhdistetään hyvin eristettyjen putkilinjojen avulla. Keräimistä varaajaan menevä putki on menoputki ja varaajasta keräimiin menevä putki on paluuputki. Paluuputkeen asennetaan tarvittavat sulku- ja säätöventtiilit, pumppu- ja ohjauksikkö, paisuntasäiliö ja varolaitteet. Putkistoon tulee asentaa lämmönsiirtonesteeseen vapaan kierron esto. Tämä estää lämmön kulkeutumista takaisin keräimiin ja ympäristöön. [11.]

Mikäli järjestelmässä on pitkiä suoria putkilinjoja, tulee putken lämpölaajeneminen ottaa huomioon. Kupariputken laajeneminen on  $0,017 \text{ mm/m} \times K$  eli metrin pituinen kupariputken pituus muuttuu 100 asteen lämpötilaerolla 1,7 millimetriä. Putkistoon voi olla tarpeen asentaa laajenemiskaari, joka tasaa lämpölaajenemista. Käytettäessä joustavia rst-haitariputkiosia putken laajenemisen estämiseksi ei tarvitse tehdä toimenpiteitä. [11.]

#### 4.2.1 Putkimateriaalit ja osat

Perinteisesti käytetään kupariputkea, mutta myös rst-haitariputkea voi käyttää. Mustaa teräsputkea käytetään vain harvoin. Muoviputket eivät missään tapauksessa sovellu käytettäväksi aurinkolämpöjärjestelmässä, koska ne eivät kestä häiriötilanteiden lämpötiloja [11]. Aurinkolämpöjärjestelmässä voi esiintyä häiriötilanteissa jopa yli +150 °C:n lämpötiloja, esimerkiksi kun kiinteistössä on sähkökatkos [22]. Kaikkien käytettävien putkiosien ja materiaalien tulee kestää normaalin toiminnan ja häiriötilanteen aikaisia lämpötiloja.

#### 4.2.2 Putkiston koko

Putkiston kokoon vaikuttavat aurinkolämpöjärjestelmän koko sekä varaajan ja keräimien välinen etäisyys [11]. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty kahden eri mitoitusohjeen mukaiset putkikoot. Taulukko 1 esittää suurimman mahdollisen keräinkentän sekä noin 15 metrin yhteisputkilinjan meno- ja paluuputken pituuden ollessa 7,5 metriä. Taulukko 2 esittää putken halkaisijan putkiston pituuden ja keräinalan muuttuessa eikä ota kantaa lämmön siirtonesteen tilavuusvirtaan.

Taulukko 1. Suurin keräinala eri putkikoilla ja ominaisvirtaamilla [11, muokattu].

Cu-putki		15 x 1 mm	18 x 1 mm	22 x 1 mm	28 x 1,5 mm	35 x 1,5 mm
$50 \frac{l}{m^2 h}$	Keräinala [m <sup>2</sup> ]	5	9	16	27	50
	Virtausnopeus [m/s]	0,52	0,62	0,71	0,76	0,86
$30 \frac{l}{m^2 h}$	Keräinala [m <sup>2</sup> ]	8	16	26	45	80
	Virtausnopeus [m/s]	0,31	0,37	0,42	0,46	0,52

Taulukko 2. Keräimien putkilinjan koko [22].

Keräinala, m <sup>2</sup>	Putkiston pituus ≤ 20 metriä	Putkiston pituus 20–35 metriä
4–8	18 x 1 mm	18 x 1 mm
8–12	18 x 1 mm	22 x 1 mm
12–16	22 x 1 mm	22 x 1 mm

Mitä pienempi on putkikoko ja suurempi on virtausnopeus, sitä pienemmät lämpöhäviöt syntyvät aineen virratessa putkistossa ja keräimissä, mutta pumpun paineenkorotus on verrattain korkea. Vastakohtana suurempi putkikoko ja pienempi virtausnopeus vähentävät pumpun paineenkorotuksen tarvetta, mutta vastaavasti kasvattavat nesteen virtauksessa syntyviä lämpöhäviöitä. Putkistoa mitoittaessa tulee aina tapauskohtaisesti valita oikea putkikoko putkistossa syntyvän virtauksen kitkavastuksen eli pumpun paineenkorotuksen ja lämpöhäviöiden väliltä.

Kitkavastuksen aiheuttama painehäviö suorassa putkessa lasketaan yhtälöllä 3.

$$\Delta p_{\lambda} = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (3)$$

jossa

$\Delta p_{\lambda}$	kitkapainehäviö, kPa	
$\lambda$	kitkavastuskerroin	
$l$	putken pituus, m	
$d$	putken sisähalkaisija, m	
$\rho$	virtaavan aineen tiheys, kg/m <sup>3</sup>	
$v$	virtausnopeus, m/s	[24]

Lähes kaikissa LVI-tekniikan putkivirtauksissa on kyse turbulenttisesta virtauksesta, joten putkikoon vaikutus kitkapainehäviöön voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$\Delta p_{\lambda} \sim \frac{l}{d^5} \quad (4)$$

Yhtälö 5 pätee, kun seuraavat oletukset ovat voimassa:

- sama virtaava aine samassa lämpötilassa
  - ainevirta on sama
  - putkijohdon pituus sama
  - kitkavastuskerroin on riippumaton sisähalkaisijasta  $d$
- [24]

Turbulenttisessa putkivirtauksessa samalla ainevirralla ja putkikoolla kitkavastukset ovat kääntäen verrannollisia sisähalkaisijan viidenteen potenssiin [24]. Esimerkiksi putken sisähalkaisijan puolittuessa kitkapainehäviöt ovat 32 kertaa suuremmat. [24.] Kuvassa 23 on esitetty esimerkki putkikoon vaikutuksesta kitkapainehäviöön.



Kuva 23. Putkikoon vaikutus kitkavastukseen, kun edellä mainitut ehdot täyttyvät [24].

Lämmönsiirtonesteen virtausnopeuden vaikutus voidaan laskea yhtälön 6 avulla.

Ensiksi täytyy laskea nesteen lämpökapasiteettivirta yhtälöllä 5.

$$\dot{C} = \rho * v * A * c_p \quad (5)$$

jossa

$\dot{C}$	virtaavan nesteen lämpökapasiteettivirta, W/°C
$\rho$	virtaavan aineen tiheys, kg/m <sup>3</sup>
$v$	virtausnopeus, m/s
$A$	putken virtauspoikkipinta-ala, m <sup>2</sup>
$c_p$	virtaavan aineen ominaislämpökapasiteetti, J/kg°C

$$t_{n2} - t_u = (t_{n1} - t_u) * e^{-\frac{v'L}{\dot{C}}} \quad (6)$$

jossa

$dt$	nesteen jäähtymä putkiosuudella, °C
------	-------------------------------------



$t_{n2}$	nesteen lämpötila lopussa, °C
$t_u$	vallitseva ympäristön lämpötila, °C
$t_{n1}$	nesteen lämpötila alussa, °C
$U'$	putken lämmönläpäisykerroin, W/m°C
$L$	putkiosuuden pituus, m

Sieventämällä yhtälö 6 saadaan nesteen loppulämpötilalle arvo yhtälöllä 7.

$$t_{n2} = (t_{n1} - t_u) * e^{-\frac{U'L}{c}} + t_u \quad (7)$$

Tämän jälkeen lasketaan eristämättömän putken lämmönläpäisykerroin  $U'$  yhtälöllä 8.

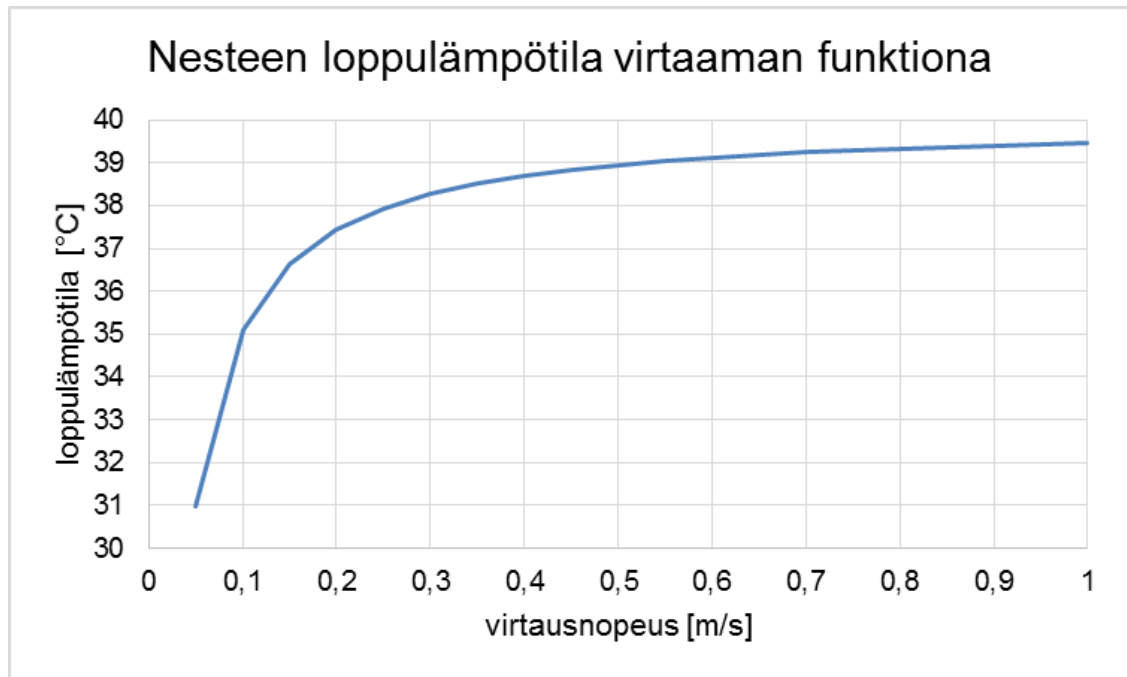
$$U' = \frac{1}{\frac{1}{a_s \pi d_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_{putki}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{a_u \pi d_2}} \quad (8)$$

missä

$a_s$	sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> °C	
$d_1$	putken sisähalkaisija, mm	
$d_2$	putken ulkohalkaisija	
$\lambda_{putki}$	putken lämmönjohtavuus, W/m°C	
$a_u$	ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> °C	[25]

Kuvassa 24 on esitetty esimerkkikuvaaja virtausnopeuden vaikutus nesteen loppulämpötilaan, kun käytetään seuraavia arvoja:

- nesteen lämpötila putkiosuuden alussa 40 °C
- vallitseva ympäristön lämpötila 10 °C
- virtaavaan nesteen tiheys 1020 kg/m<sup>3</sup> (propyleeniglykoli)
- virtaavan nesteen ominaislämpökapasiteetti 3800 J/kg°C (propyleeniglykoli)
- Cu15-putki, jonka ulkohalkaisija on 15 mm ja seinämävahvuus 1 mm
- kuparin lämmönjohtavuus 380 W/m°C
- putkipituus 20 m
- virtausnopeudet 0,1–1,0 m/s
- $U' = 0,47$  W/m°C, kun  $a_s=2500$  W/m<sup>2</sup>°C,  $a_u=10$  W/m<sup>2</sup>°C



Kuva 24. Virtausnopeuden vaikutus nesteen lämpötilan laskuun putkiosuudella.

Kuvasta 24 nähdään, että virtausnopeuden laskiessa nesteen loppulämpötila laskee. Esimerkiksi virtausnopeuden laskiessa arvosta 1,0 m/s arvoon 0,1 m/s nesteen loppulämpötila laskee vastaavasti 39,5 °C:sta 31,0 °C:seen. Putken eristyksen vaikutus lämmönläpäisykerroimeen esitetään tarkemmin alajaksossa 4.2.3.

#### 4.2.3 Putkiston eristys

Putket tulee eristää erittäin hyvin. Eristeen materiaali tulee valita sellaiseksi, että se kestää yli 160 °C:n lämpötiloja ja auringon UV-säteilyä. Tällaisia eristeitä ovat esimerkiksi EPDM-kumipohjaiset eristeet kuten Armaflex HT, tai vuorivillakourut, kuten Paroc alucoat. Nämä tuotteet kestävät korkeita lämpötiloja. On myös olemassa valmiiksi eristettyjä putkia kuten Lunarflex, jossa eristeen sisällä on valmiiksi lämpöanturin johdot. Ulkotiloissa olevat putkistojen eristeet tulisi suojata esimerkiksi pellityksellä. Tämä suojaa lumelta ja jäältä sekä esimerkiksi linnuilta tai jyrсийöiltä. [22.]

Eristetyn putken lämmönläpäisykerroin  $U'$  saadaan laskettua yhtälöllä 9.

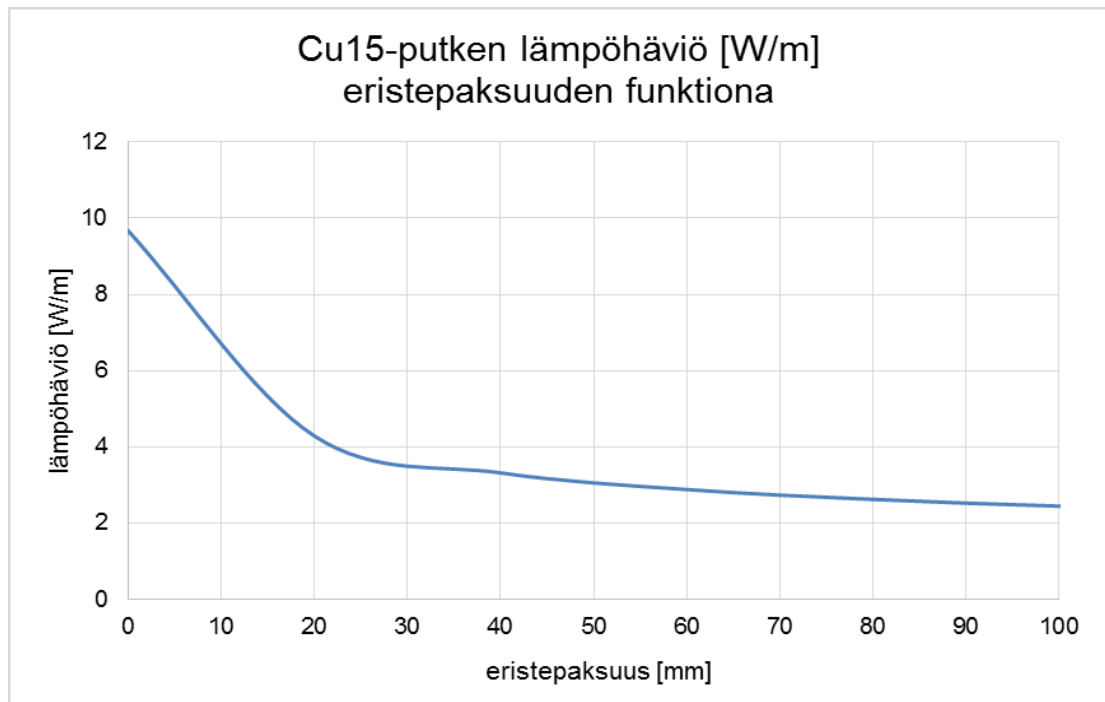
$$U' = \frac{1}{\frac{1}{a_s \pi d_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_{putki}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi \lambda_{eriste}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{a_u \pi d_2}} \quad (9)$$

jossa

$U'$	putken lämpöhäviökerroin, W/m	
$a_s$	sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> °C	
$d_1$	putken sisähalkaisija, mm	
$d$	putken ulkohalkaisija, mm	
$d_3$	putken ja eristeen yhteinen ulkohalkaisija, mm	
$\lambda_{putki}$	putkimateriaalin lämmönjohtavuus, W/m°C	
$\lambda_{eriste}$	eristemateriaalin lämmönjohtavuus, W/m°C	
$a_u$	ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin, W/m <sup>2</sup> °C	[25]

Kuvassa 25 on esitetty esimerkkikuvaaja eristepaksuuden vaikutuksesta nesteen loppulämpötilaan, kun käytetään seuraavia arvoja:

- Cu15 -putki, jonka ulkohalkaisija on 15 mm ja seinämävahvuus 1 mm
- $a_s = 2500 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ,  $a_u = 10 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- kupariputken lämmönjohtavuus  $380 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- eristeen lämmönjohtavuus  $0,038 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- vallitseva ympäristön lämpötila  $10 \text{ °C}$
- nesteen lämpötila putkiosuuden alussa  $40 \text{ °C}$ .



Kuva 25. Putkessa tapahtuva lämpöhäviö eristepaksuuden funktiona putkimetriä kohden.

Kuvasta 25 huomataan, että putken eristepaksuuden ollessa pieni on lämpöhäviö verrattain suuri, mutta tietyn eristepaksuuden saavuttaessa eristepaksuuden lisääminen ei enää vaikuta lämpöhäviöön merkittävästi. Tämä kohta on esimerkkitapauksessa noin 20 millimetrin eristepaksuuden kohdalla. Kuvassa esiintyvä notkahdus 30 ja 40 mm:n eristepaksuuden välillä johtuu kuvaajasta. Todellisuudessa sitä ei tapahdu.

### 4.3 Säätolaitteet ja venttiilit

#### 4.3.1 Ohjausyksikkö

Aurinkolämpöjärjestelmään ohjataan ja valvotaan siihen kuuluvalla ohjausyksiköllä. Ohjaus voi perustua mitattuun lämpötilaeroon, virtausmuutokseen tai ajastettuun toimintoon. Ohjausyksikkö vertaa keräimen ja varaajan lämpötilaa ja käynnistää pumpun lämpötilaeron mukaan. [11.]

Nykyään pumpun kiertonopeutta muunnellaan lähes aina lämpötilaeron mukaisesti. Jotkut kehittyneimmät ohjausyksiköt kykenevät reagoimaan sään vaihteluihin. Tällaisten ohjausyksiköiden kanssa auringon mennessä pilveen pumppu vähentää automaattisesti virtausta, jolloin lämpöä saadaan edelleen tuotettua toisin kuin vanhoilla on/off-kytkimillä ohjatuilla järjestelmillä. [11.]

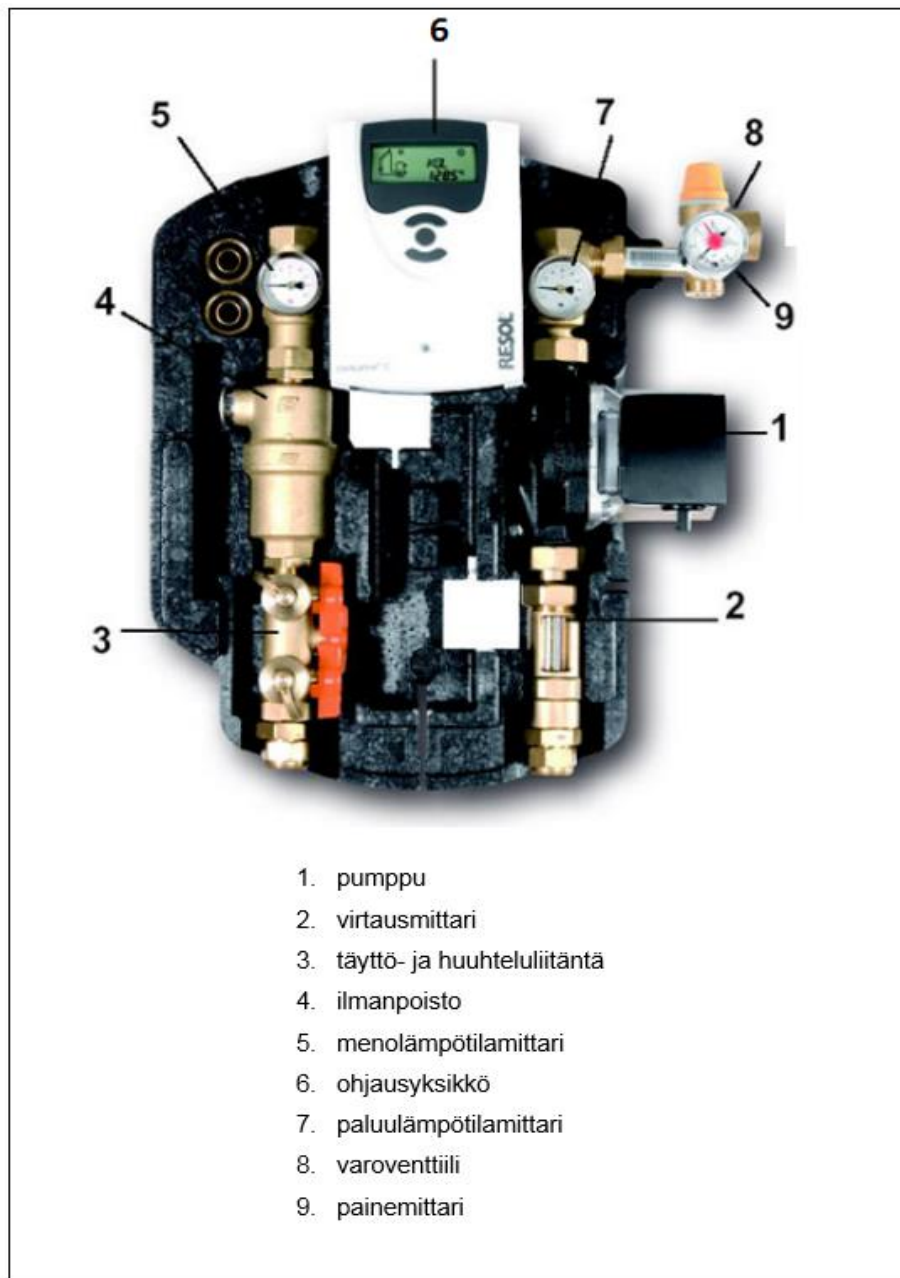
Erään valmistajan ohjausyksikön malli on esittynä kuvassa 26.



Kuva 26. Aurinkolämpöjärjestelmän Resol-merkinen ohjausyksikkö [11].

#### 4.3.2 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikkö on aurinkolämpöjärjestelmän laitteiston osa, joka koostuu kiertovesipumpusta, sulku- ja takaiskuventtiilit, varoventtiilin sekä paine- ja lämpömittareista. Lämpöhäviön minimoimiseksi pumppuyksikkö tulee olla eristetty. Meno- ja paluulämpötilaa sekä järjestelmän painetta mitataan pumppuyksikön laitteilla. Lämmönsiirtonesteen virtausnopeutta voidaan säätää pumppuyksikköön kuuluvalla virtausmittarilla. [11.] Erään valmistajan pumppuyksikön malli on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Aurinkolämpöjärjestelmän Resol-merkkinen pumppuyksikkö [11, muokattu].

### 4.3.3 Sulku- ja säätöventtiilit

Sulkuventtiilit tulee asentaa aina huoltoa vaativan laitteen molemmin puolin. Tällainen laite on esimerkiksi kiertovesipumppu. Linjasäätöventtiilit asennetaan aina jokaista keräinkenttää kohden matalamman lämpötilatason puolelle, eli tässä tapauksessa paluupuolelle eli varaajasta keräimille menevään putkeen. Tällä tavalla ei turhaan rasiteta suurilla lämpötiloilla venttiileitä. Venttiilit tulee asentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti niin, että venttiilin asento on oikea. Tämä on erityisen tärkeää, jos käytetään kolmitieventtiileitä. Kolmitieventtiileitä on joko sekoittavia tai jakavia. Jos esimerkiksi sekoittavan kolmitieventtiilin asentaa jakavaksi, voi venttiili rikkoutua ennenaikaisesti.

### 4.3.4 Ilmanpoisto

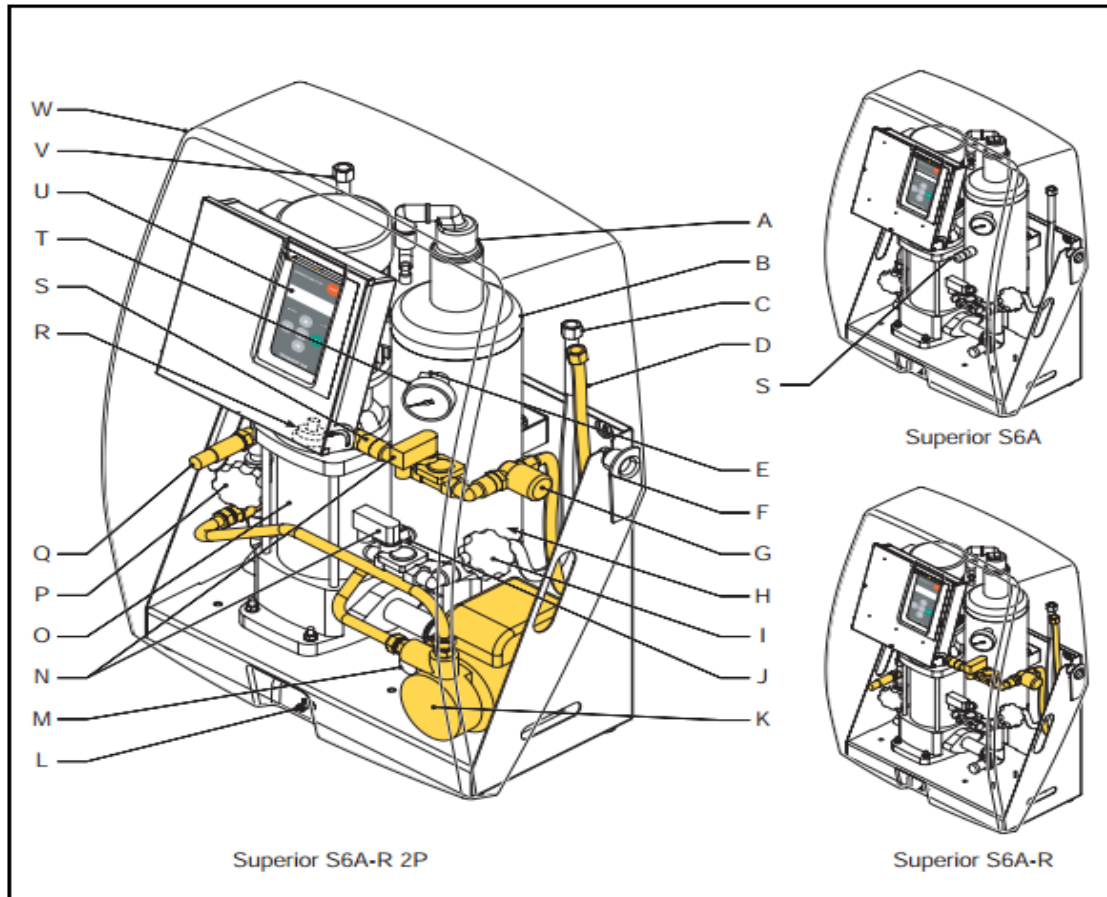
Putkisto suositellaan asennettavaksi lämpövaraajan viettäväksi, jotta järjestelmän ilmaus olisi helppoa. Putkilinjan alimpaan osaan tulee asentaa letkuventtiilit sulkuventtiileineen järjestelmän täyttämistä, huuhtelemista ja tyhjennystä varten. Ilmanpoistoon voidaan käyttää joko ilmanpoistoveniileitä tai automaattisia alipaineilmanpoistimia. Ilmanpoistoveniilit ovat hyvä vaihtoehto pienempiin järjestelmiin kuten omakotitaloihin. Automaattinen alipaineilmanpoistimet soveltuvat parhaiten suurien järjestelmien ilmanpoistoon.

Käytettäessä ilmanpoistoveniiliä putkiston korkeimpaan kohtaan asennetaan vähintään keräimen toimintalämpötiloja kestävä ilmanpoistoveniili [11]. Ilmanpoistoveniiliin ja verkoston väliin tulee asentaa sulkuventtiili, jotta mahdollinen huolto- ja vaihtotoimenpide onnistuu helposti. Kuvassa 28 on esitetty perinteinen ilmanpoistoveniili.



Kuva 28. Ilmanpoistoveniili [26].

Automaattinen alipaineilmanpoistin toimii yleensä käyttäjän määrittelemän aikaohjelman mukaan. Kuvassa 29 on esitetty Spirotech-merkkinen automaattinen ilmanpoistin. Alipaineilmanpoistin tuottaa alipaineen laitteessa olevaan ilmanpoistoastiaan (B). Tämän saa aikaan nesteeseen liuenneen ilman vapautumisen. Vapautunut ilma poistuvat laitteesta automaattisen ilmanpoistimen (A) kautta. [27.]



- |   |   |   |                                      |
|---|---|---|--------------------------------------|
| A | Automaattinen ilmanpoistin                | O | Pääpumppu                            |
| B | Ilmanpoistoastia                          | P | Säädettävä poistoventtiili           |
| C | Imuletku                                  | Q | Paineanturi                          |
| D | Täyttöliitäntä (tyypit S6A-R ja S6A-R 2P) | R | SmartSwitch (ohjausyksikön pohjassa) |
| E | Painemittarin sulkuri                     | S | Painekytin                           |
| F | Kannen kiinnitysosa                       | T | Painemittari                         |
| G | Vesimittari                               | U | Ohjausyksikkö                        |
| H | Pinnankorkeuskytkin (laitteen pohjassa)   | V | Poistoletku                          |
| I | Säädettävä imuventtiili                   | W | Kansi                                |
| J | Lämpötila-anturi                          |   |                                      |
| K | Varapumppu (tyyppiä S6A-R 2P varten)      |   |                                      |
| L | Kannen kiinnitysruuvi                     |   |                                      |
| M | Tyhjennysyhde (astian alla)               |   |                                      |
| N | Magneettiventtiili                        |   |                                      |

Kuva 29. Superior S6A-R 2P -alipaineilmanpoistin [27].

Ilmanpoistoventtiiliin tai automaattisen alipaineilmanpoistimen tulee soveltua aurinkolämpöpöjärjestelmän vaativiin olosuhteisiin eli sen pitää kestää matalien ja korkeiden lämpötilojen lisäksi korkeaa painetta.

#### 4.4 Lämpövaraaja

Lämpövaraajaan ladataan aurinkokeräimen tuottamaa lämpöenergiaa. Varaaja mahdollistaa kerätyn energian käytön silloin, kun energialle on tarvetta. Tällä tavalla turvataan lämmön saanti myös pilvisinä peräkkäisinä päivinä [11]. Kuvassa 30 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmään soveltuva lämpövaraaja.

Yleensä käytetään pystymallisia varaajia, jotta varaajassa syntyisi lämpötilakerrostumia. Erään mitoitusohjeen mukaan lämpövaraajan tilavuuden tulisi olla vähintään 500 litraa ja varaajatilavuutta tulee olla 100 litraa/m<sup>2</sup> keräin-alaa kohden. [28.]

Tavoiteltaessa parasta vuosituottoa tulisi lämmönsiirrin asentaa varaajassa alimmaiseksi. Tämän lisäksi käyttöveden esilämmityssiirrin nostaa selvästi järjestelmän tuottoa verrattaessa tilanteeseen, jossa varaajan yläosassa olisi vain yksi kierukkaputkilämmönsiirrin lämpimälle käyttövedelle. [29.] Lämmönsiirtimet käydään tarkemmin läpi alajaksossa 4.5 Lämmönsiirrin.



Kuva 30. Aurinkoenergiavaraaja AKVA SOLAR 500 [30].



## 4.5 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirrin voi olla joko varaajan sisällä tai ulkopuolella. Ulkoisella lämmönsiirtimellä varustettu järjestelmä on investoinneiltaan kalliimpi johtuen hankittavien lisälaitteiden määrästä. [27.]

Mitoittaessa lämmönsiirrintä sen valinta tulee tehdä pyytäen laitevalmistajalta koneajo, joka perustuu seuraaviin tietoihin:

- käytettävä lämmönsiirtoneste ja prosenttiosuus
- nestevirrat ja lämpötilatasot
- vaadittu lämmönsiirtoteho.

### 4.5.1 Sisäinen lämmönsiirrin

Varaajan sisäisenä lämmönsiirtimenä yleensä käytetään kierukkaputkilämmönsiirrintä, jota voidaan joissakin yhteyksissä puhua myös nimellä aurinkokierukka. Tässä työssä käytetään tästä eteenpäin aurinkokierukkaa kuvaamaan kierukkaputkilämmönsiirrintä. Aurinkokierukoita voivat olla joko tehdasvalmisteisia kampakuparikierukoita tai itse tehtyjä sileäputkikierukoita.

Tehdasvalmiin aurinkokierukan yleisin käytetty materiaali on kupari, mutta myös rst-kierukoita voidaan käyttää. Kuparin lämmönsiirto-ominaisuudet ovat rst-materiaalia paremmat, joten kierukan lämmönsiirtopinta-ala on kuparia käytettäessä pienempi [30]. Aurinkokierukka mitoitetaan niin, että kierukan pinta-ala on noin 20–25 prosenttia keräimien pinta-alasta. Taulukossa 3 on esitetty kampakuparikierukan mitoitus ja kuvassa 31 on esitetty kampakuparikierukka.

Taulukko 3. Akvaterm-kompakuparikierukan mitoituslasku [30].

MALLI [kW]	PINTA-ALA [m <sup>2</sup> ]	KERÄIMIEN MAX PINTA-ALA [m <sup>2</sup> ]
LK35	2,16	10
LK45	2,8	14
LK60	4,3	24
LK80	6,5	32
LK100	7,4	43
LK120	8,6	54
LK140	12,9	64
LK160	15,1	75
LK180	17,3	85
LK200	19,4	95
LK220	21,6	105

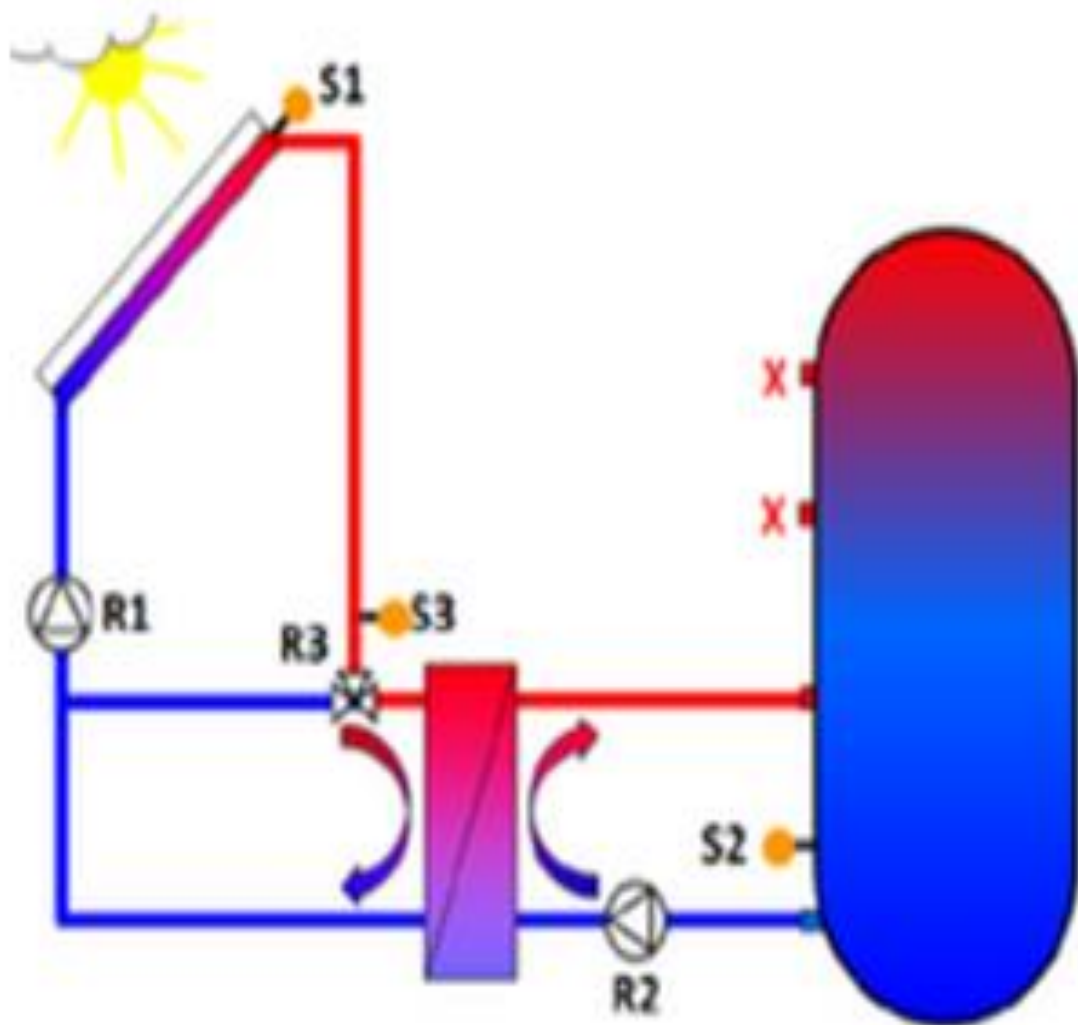


Kuva 31. Kompakuparikierukka [11].

Sileäputkikierukka on periaatteessa samanlainen kuin kompakuparikierukka, mutta se on käytännössä itserakentajien käyttämä sovellus. Sileäputkikierukassa ei ole kompakuparikierukalle ominaisia lämmönsiirtoripoja, jotka lisäävät lämmönsiirtoa kierukan ulkopinnalla. Sileäputkikierukkaa käytettäessä mitoitus on noin 0,25 m<sup>2</sup> kierukan lämmönsiirtopinta-alaa yhtä keräineliötä kohden. Sileäputkikierukan halkaisija on yleensä 18 mm, ja sen lämmönsiirtopinta-ala metriä kohden on noin 0,0565 m<sup>2</sup>. Esimerkiksi 10 m<sup>2</sup>:n keräinpinta-alalle tarvitaan kierukkapinta-alaa 2,5 m<sup>2</sup>. Tällöin kierukka varten tarvitaan suoraa putkea noin 44 metriä. [11.]

#### 4.5.2 Ulkoinen lämmönsiirrin

Ulkoinen lämmönsiirrin sijaitsee varaajan ulkopuolella. Sen periaatteena on siirtää lämpöä keruupiiristä varaajaan putkistojen välissä olevan lämmönsiirtimen avulla. Ulkoisella lämmönsiirtimellä päästään parhaaseen varaajaan lämpötilakerrostumiin, koska silloin voidaan hallita lämmönsiirtimen molemmin puolin vesivirtoja ja näin ollen saadaan optimoitua lämmönsiirron kannalta paras lopputulos. [27.] Ulkoisella lämmönsiirtimellä varustetun järjestelmän periaate on esittynä kuvassa 32.



Kuva 32. Aurinkolämpöjärjestelmä, joka on toteutettu ulkoisella lämmönsiirtimellä [11].

## 4.6 Paisuntasäiliö ja varolaitteet

### 4.6.1 Paisuntasäiliö

Paisuntasäiliön tehtävänä on tasata putkiston painetta, kun lämpötila vaihtelee ja nesteen tilavuus muuttuu. Erityisesti silloin, kun keräimessä tapahtuu kiehuminen eli lämmönsiirtonesteen lämpötila keräimessä kasvaa yli kiehumispisteen, paisuntasäiliö ottaa paljon nestettä vastaan. [11.]

Järjestelmän paisuntasäiliö asennetaan paluuputkeen pumpun yläpuolelle. Paisuntasäiliö kannattaa sijoittaa sivummalle päälinjasta, jotta neste kerkeää jäähtymään ennen kuin se kulkeutuu paisuntasäiliöön. [22.]

Paisuntasäiliönä aurinkolämpöjärjestelmissä yleensä käytetään kalvopaisuntasäiliö, joka on jaettu kalvolla kahteen osaan niin, että toisella puolella on kaasu, esimerkiksi typpi, ja toisella puolella verkoston lämmönsiirtoneste.

Aurinkolämpöjärjestelmän paisuntasäiliö mitoitetaan hieman eri tavalla kuin perinteiset lämmitysjärjestelmät vaativat. Paisuntasäiliö mitoitetaan niin, että se kykenee ottamaan lämpölaajenemisesta johtuvan hetkellisen tilavuuden kasvun sekä myös häiriötilanteiden aikana kaikkien keräimen tilavuuden verran nestettä vastaan. Tällainen tilanne voi tulla, kun pumppu jostain syystä sammuu ja keräimessä lämpötila kasvaa niin paljon, että lämmönsiirtoneste alkaa kiehumaan. [31.]

Paisuntasäiliö mitoitetaan LVI-kortin 11–10472 [32] mukaan soveltaen edellä mainittuja mitoitusohjeita. Tämän LVI-kortin mitoitusta ei suoraan voida käyttää sellaisenaan, koska siinä ei oleteta järjestelmän lämmöntuottolaitteen eli keräimien kiehuvan tyhjäksi [11].

Jos paisuntasäiliön mitoitetaan liian pieneksi, se ei kykene ottamaan tarpeeksi nestettä vastaan. Tämä johtaa siihen, että paine kasvaa verkostossa liian suureksi ja varoventtiili aukeaa päästäten lämmönsiirtonestettä ympäristöön. Tällöin verkoston nestetilavuus pienenee ja staattinen paine laskee. Tämä saadaan korjattua täyttämällä käsipumpulla verkosto takaisin haluttuun paineeseen ja tilavuuteen.

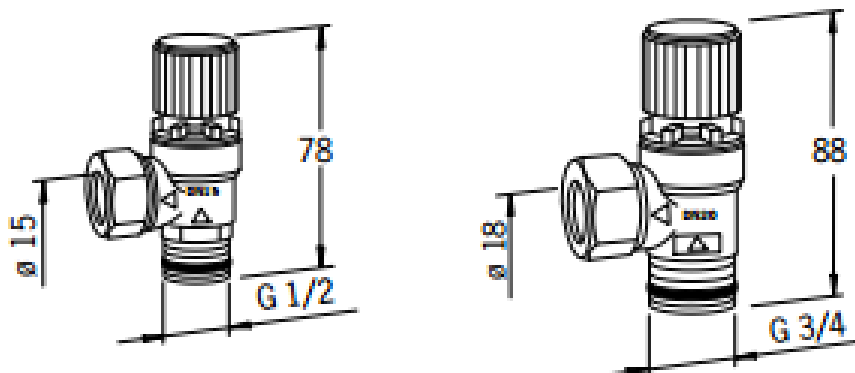
Erään valmistajan paisuntasäiliön malli on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Paisuntasäiliö [11].

#### 4.6.2 Varolaitteet

Aurinkolämpöjärjestelmässä tarvitaan varoventtiiliä. Varoventtiiliä käytetään suojelemaan järjestelmää liian suurelta paineelta. Varoventtiilin puhallusteho ja DN-koko tulee valita järjestelmän lämmitystehon mukaisesti. Varoventtiilin ulospuhallusputki tulee asentaa viettävästi huonetilassa olevaan vesilukolliseen viemäripisteeseen siten, että mahdollinen vuoto voidaan havaita [33]. Varoventtiili on esittynä kuvassa 34.



Kuva 34. Oras-varoventtiilit DN15 ja DN20 [33].

Aurinkolämpöjärjestelmän ohjausyksikössä voi olla aseteltavissa varaajan yllämpenemisen suojaus. Varaajaan asetetun maksimilämpötilan ylittyessä ohjausyksikkö pysäyttää keruupiirin pumpun. [11.]

#### 4.7 Lämmönsiirtoneste

Lämmönsiirtonesteen tulee Suomen ilmastossa kestää sekä korkeita että matalia lämpötiloja. Puhdasta vettä yksinään ei voida käyttää ulkona olevissa laitteissa.

Aurinkolämpöjärjestelmän lämmönsiirtonesteenä tavallisesti käytetään jotain vesiglykoliseosta kuten vesipropyleeniglykoli-seosta (esim. Tyfocor L, LS tai DC20). Glykolin osuuden seoksen massasta tulee olla 40–50 prosenttia. Suurempi kuin 50 massaprosenttiosuus ei paranna nesteen ominaisuuksia, vaan sen sijaan liian suuri glykolipitoisuus voi vaurioittaa aurinkolämpöjärjestelmän laitteissa olevia tiivisteitä [11]. Liian miedolla seossuhteella neste voi jähmettyä ja nesteestä tulee sohjoa, jota ei voida pumpata.

## 5 MetroSol-aurinkoenergiaboratorio

MetroSol-aurinkoenergiaboratorio on rakennettu Metropolia Ammattikorkeakoulun Espoon Leppävaaraan toimipisteen B-puolen vesikatolle ja ilmanvaihtokonehuoneen tiloihin. Laboratorio valmistui käyttöön kevään 2013 aikana.

Aurinkoenergiaboratoriossa on sekä aurinkolämpö- että aurinkosähköjärjestelmä. Näiden lisäksi siellä on vallitsevia sääolosuhteiden mittaamista varten sääasema, pyranometrejä eli auringon säteilyn intensiteettiä mittaavia laitteita. Näitä kaikkia edellä mainittuja asioita valvotaan ja ohjataan valvonta-alakeskuksella, joka on Schneider Electric Oy:n integroitu kiinteistöjen hallintajärjestelmä SmartStruxure, versio 1.4.

Seuraavissa luvuissa esitellään MetroSol-aurinkoenergiaboratorion eri järjestelmät ja laitteet painottuen aurinkolämpöjärjestelmään. Aurinkosähköjärjestelmä esitellään hyvin pikaisesti, jotta MetroSol-aurinkoenergiaboratoriosta muodostuisi lukijalle kokonaiskuva.

MetroSol-aurinkoenergiaboratorion lämpö- ja sähköjärjestelmien kaaviot ovat liitteissä 2 ja 3.

## 5.1 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköä tuottavia paneeleita MetroSol-aurinkoenergielaboratoriossa on neljä viiden kappaleen paneelirivistöä eli yhteensä 20 paneelia. Yksittäisen paneelin pinta-ala on noin puolitoista neliometriä. Näin ollen aurinkopaneelien yhteispinta-ala on noin 30 neliometriä. Jokaisen aurinkopaneeliryhmän kaltevuuskulma on muunneltavissa 0 asteesta 180 asteeseen. Suuntaus on etelään ja sitä ei ilman suuria toimenpiteitä ole mahdollista muuttaa.

Aurinkopaneeleita on sekä yksikide- että monikidepiipaneeleita. Yksikidepiipaneelit ovat SolarWATT-valmistajan M250-60 AC 05 -paneeleita. Monikidepiipaneelit ovat Innotech Solar -valmistajan ITS EcoPlus 240W -paneeleita.

Jokaisella aurinkosähköpaneeliryhmällä on oma vaihtosuuntaaja, joka muuntaa aurinkopaneeleissa syntyvän 12 V:n tasavirran 230 V:n vaihtovirraksi. MetroSol-aurinkosähköjärjestelmässä ei ole akustoa, joten se on liitetty Fortum Oy:n sähköverkkoon, jotta mahdollinen ylijäämäenergia voidaan myydä sähköyhtiölle.

## 5.2 Aurinkolämpöjärjestelmä

### 5.2.1 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimiä on sekä tyhjiö- että tasokeräimiä yhteensä kuusi kappaletta kolmelta eri valmistajalta. Yhden keräimen pinta-ala on noin kaksi neliometriä, joten keräimien yhteispinta-ala on noin 12 neliometriä.

Tasokeräimiä on kahta eri tyyppiä ja kaksi kappaletta kumpaakin tyyppiä eli yhteensä neljä kappaletta ja tyhjiöputkikeräimiä on kaksi kappaletta. Keräimet on asennettu niin, että yksi keräinryhmä koostuu jokaisen eri valmistajan keräimestä, jolloin kolmen keräimen ryhmiä on kaksi kappaletta.

Kaltevuuskulma on muunneltavissa 0 asteesta 100 asteeseen. Suuntaus on etelään ja sitä ei ilman suuria toimenpiteitä ole mahdollista muuttaa. Kuvissa 35–37 on esitetty MetroSol-aurinkoenergielaboratorion keräimet. Keräinryhmät ovat tällä hetkellä asennettuna 60 ja 30 asteen kaltevuuskulmiin kuvan 38 mukaisesti.



Kuva 35. Tasokeräin WATT 2020. (Kuva tekijän.)



Kuva 36. Tyhjiöputkikeräin SunPur NN10. Kuva tekijän.





Kuva 37. Tasokeräin SavoSolar SF 100-03. (Kuva tekijän.)



Kuva 38. MetroSol-aurinkoenergiälaboratorion aurinkokeräimet. (Kuva tekijän.)

### 5.2.2 Putkisto

Lämmönkeruuputket on tehty Cu22-putkilla ja lämpöeristetty. Eristepaksuudet ovat ulkona 25 mm ja sisätiloissa 15 mm. Eristemateriaalina on käytetty Armaflex-solukumia. Kallistuskulmien muuttamisen mahdollistamiseksi kytkennät keräimiin on tehty taipuisasta putkesta. Lisäksi vesikatolla putket ovat suojattu joiltain osin peltikoteloinnilla.

Keräimet on kytketty jakotukkiperiaatteella kukin keräin omaksi kiertopiirikseen. Jokainen keräinpiiri on varustettu omalla virtausmittarilla, säätöventtiilillä, varoventtiilillä ja ilmanpoistimella sekä tarvittavin osin sulkuventtiilein keräimen irroitusta varten.

### 5.2.3 Lämpövaraaja ja aurinkokierukka

Lämpövaraaja on malliltaan valmistajan Akvaterm Oy AKVA Solar 1200 plus. Lämminvesivaraaja on räätälöity vakiomallista MetroSol-aurinkoenergialaboratorion tarpeen mukaiseksi suurentamalla aurinkokierukat tavanomaista suuremmiksi. Aurinkokierukoita on kaksi kappaletta kumpikin kooltaan 18 m x 22 mm Cu.

Varaajan lämpötilaa lasketaan tarvittaessa siirtämällä lämpöä kiinteistön vedenjäähdytyskoneikon kylmävesisäiliöön.

### 5.2.4 Kiertovesipumppu

Kiertovesipumput ovat taajuusmuuttajaohjattuja ja niitä on kaksi kappaletta: toinen aurinkolämmön keruupiirissä ja toinen varaajan jäähdytyspiirissä.

Lämmönkeruupiirin kiertovesipumppu on malliltaan WILO IP-E 32/160-1,1/2 ja se käy aina keruupiirin tuottaessa lämpöä tai pyranometrin mittausarvo ylittäessä asetusarvon pitäen meno- ja paluuveden lämpötilaeron vakiona. Kuvassa 39 on esitetty keruupiirin kiertovesipumppu.



Kuva 39. Keruupiirin pumppu WILO IP-E 32/160-1,1/2 [34].

Jäähdytyspiirin pumppu on malliltaan WILO Stratos 30/1-12 CAN PN10, ja se käy ainoastaan, kun varaajan lämpötila ylittää maksimiasetusarvon. Tämän järjestelmän jäähdytyspiiriä voidaan pitää järjestelmän hätäjäähdytyksenä. Kuvassa 40 on esitetty jäähdytyspiirin kiertovesipumppu.



Kuva 40. Jäähdytyspiirin pumppu WILO Stratos 30/1-12 CAN PN10 [34].

### 5.2.5 Pyranometri

Pyranometri mittaa auringon säteilyn tehoa neliömetriä kohden eli  $W/m^2$ . Pyranometrit ovat valmistajan Kipp & Zonen CMP6 -mallisia. Pyranometrejä on asennettuna vaakataason lisäksi aurinkokeräinryhmien kanssa samoihin kulmiin.

Hyötykäytössä eli esimerkiksi omakoti- tai kiinteistönomistajille pyranometrejä ei tällä hetkellä juurikaan ole. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että pyranometriä hyväksi käytettäviä järjestelmiä ei ole suunniteltu. Pyranometrin mittaustulosta voitaisiin käyttää hyödyksi keruupiirin kiertovesipumpun käynnistämässä ja pysäyttämässä. Silloin kun aurinko paistaa, pumppu käynnistyy, ja kun aurinko menee pilveen, pumppu pysähtyy. Tällä tavalla voitaisiin optimoida kiertovesipumpun käynti vain silloin kun on todellista tarvetta. Tämä olisi optimoinnin lisäksi energiatehokas ratkaisu. Vaihtoehtona pyranometrille voisi olla valoisuusanturi, joita myös käytetään esimerkiksi pihavalojen ohjauksessa. Niiden hintakin on vain murto-osa pyranometrin hinnasta.

MetroSol-aurinkoenergialaboratoriossa pyranometreillä on suuri merkitys, sillä pyranometrin antaman mittausravon mukaan ohjataan pumpun käyntiä sekä lasketaan keräimien hyötysuhteita. Pyranometri on esittynä kuvassa 41.



Kuva 41. Pyranometri Kipp & Zonen CMP6 [35].

#### 5.2.6 Sääasema

Sääasema on malliltaan Vaisala WTX520. Sääasema mittaa tuulen nopeutta ja suuntaa, sademäärää, sateen kestoa ja voimakkuutta, ilmanpainetta, ilman lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. Sääaseman mittaustulosten perusteella voidaan esimerkiksi selata säähistoriaa, ja näin mahdollisesti löytää syy keräimistä saatuihin mittaustulosten mahdollisiin poikkeamiin. Sääasema on esitetty kuvassa 42.



Kuva 42. Vaisalan sääasema WTX520 [36].

#### 5.2.7 Virtausmittari

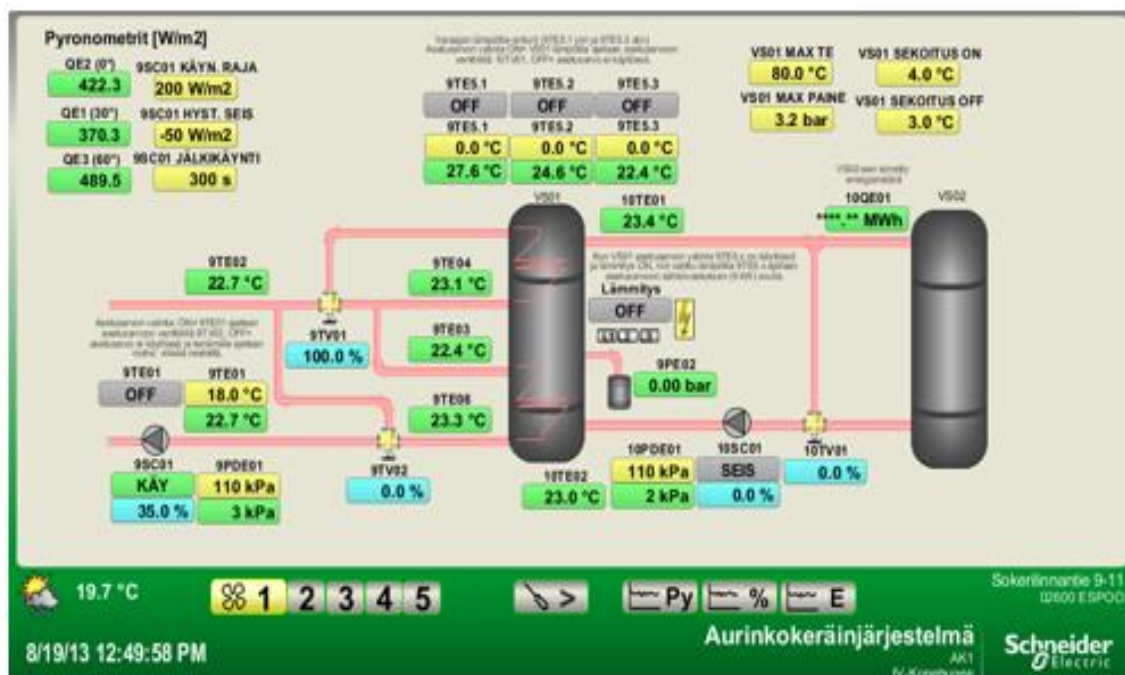
Virtausmittarit ovat magneetti-induktiivisia Bauereihe VMZ030 -mallisia [37]. Jokaisen keräimen virtaamaa mitataan omalla virtausmittarilla paluuputkesta. Näin saadaan laskettua yksittäiselle keräimelle teho ja energiantuotto. Virtausmittarit on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Bauereihe VMZ -virtausmittarit paluuputkeen asennettuna. (Kuva tekijän.)

### 5.3 Schneider SmartStruxure v1.4

Schneider SmartStruxure v1.4 -automaatiojärjestelmä valvoo ja ohjaa MetroSol-aurinkoenergiaboratoriota aurinkolämpö- ja sähköjärjestelmien toimintaa. Automaatiojärjestelmään on koodattu kaikki MetroSol-aurinkoenergiajärjestelmän järjestelmän ohjaukset, hälytykset ja trendiseurannat. Käyttäjä voi rajoitetusti muuttaa asetusarvoja esimerkiksi pyranometrini ja keruupiirin pumpun käynnistymisen asetusarvoa. Kuvassa 44 on esitetty StruxureWare-sovelluksen aurinkokeräinjärjestelmän valvonta-alakeskuksen pääikkuna.



Kuva 44. Aurinkokeräinjärjestelmän valvonta-alakeskuksen pääikkuna. (Tekijän kuvankaappaus.)

## 6 Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus

Aurinkolämpöjärjestelmän tarkastuksessa tulee kiinnittää huomiota normaalien suljettujen paineellisten järjestelmiin liittyvien asioiden lisäksi aurinkolämpöjärjestelmän tuomiin lisähaasteisiin. Näitä lisähaasteita ovat matalat ja korkeat lämpötilat sekä hetkellisesti korkea ja suuresti vaihteleva paine.

Tämän tarkastuksen kohteena käytetään esimerkkinä joissakin kohdissa MetroSol-Aurinkoenergielaboratorion järjestelmän osia. Tarkastelun ulkopuolelle jätetään pyranometri, sääasema ja virtausmittarit, sillä ne eivät tavallisesti kuulu normaaliin kaupalliseen aurinkolämpöjärjestelmän komponentteihin.

## 6.1 Keräimet ja lämpövaraaja

Keräimien pinta-alan ja lämpövaraajan pitäisi olla toisiinsa nähden tietyssä suhteessa. Keräimien pinta-ala määrää varaajan koon. Tämä on esitetty aikaisemmin luvuissa 4.1.1 Aurinkokeräimen pinta-alan mitoitus ja 4.4 Lämpövaraaja.

Aurinkolämpöjärjestelmässä on noin 12 neliometriä keräinpinta-alaa ja lämpövaraajan tilavuus on 1200 litraa. Varaajatilavuutta tulisi olla 100 litraa keräinneliometriä kohden, joten tämä kriteeri täyttyy.

Keräimistä tulee aika ajoin tarkastaa silmämääräisesti

- lasikatteen puhtaus ja
- lasikatteen kunto.

Mikäli lasikate on selvästi likainen, se tulisi pestä vedellä tai miedolla saippuaseoksella. Jos lasikatteessa on havaittavissa rikkoutumia, on vaihtoehtona joko korjaus tai keräimen vaihto kokonaan uuteen. Rikkinäinen lasikate voi päästää ilmaa ja vettä lämmönsiirtopinnalle, mikä laskee energiantuottoa.

Varaajasta tulee aika ajoin tarkastaa

- varaajasäiliön paine
- varoventtiilin toiminta ja
- sähkövastuksen lämpötilarajoin.

Varaajaveden lämpötilan noustessa yli 90 °C:n voi sen sähkövastuksen lämpötilarajoin kytkeytyä päälle. Tällainen tilanne tapahtuu yleensä siirryttäessä kesäajasta vähemmän aurinkoiseen aikaan. Mikäli sähkövastus ei kesäajan päätteeksi rupea lämmittämään varaajaa, tulee kyseinen lämpötilarajoin tarkistaa ja mahdollisesti kuitata. [11.]

## 6.2 Putkisto

Putkisto on tehty kauttaaltaan kupariputkella pois lukien keräimien kytkentäjohdot, jotka on kytketty rst-haitariputkilla. Kokoojaputkisto on kooltaan Cu42, ja keräinpiireissä kytkentäjohdot ovat kooltaan Cu22.

Keräimen kytkentäjohdon koko on liian suuri, sillä virtausnopeus on hyvin pieni ja niin ikään lämpöhäviöt verrattain suuret, etenkin silloin kun ulkolämpötila on alhainen. Toisaalta pumpun paineenkorotuksen tarve sekä pumpun sähköverkosta ottama ovat teho pienempiä verrattuna tilanteeseen, jossa käytettäisiin yhtä putkikokoa pienempää putkihalkaisijaa.

Keräimien kytkentäjohtojen putkikoon tulisi olla tässä tapauksessa mielellään yhtä DN-kokoa pienempi eli Cu18.

Putkiston eristeet ovat ulkona etenkin rst-haitariputkien kohdalla puutteelliset. Armaflex-solukumieristeitä ei ole liimattu kunnolla yhteen tai eristematto on liian pieni, ja siihen jää jännite, kun liimauspäät painetaan yhteen. Tämä ensinnäkin lisää lämpöhäviöitä, ja toiseksi eristeen ja putken väliin pääsee vettä, lunta ja roskaa.

Putkistosta tulee aika ajoin tarkastaa

- putkien ja putkiosien kiinnitykset ja
- eristeiden kunto.

Putkiosat saattavat alkaa vuotaa väärän asennustavan takia. Hampputiivistettä käytettäessä tulisi tiivisteiden kierteiden päälle asettelun jälkeen kierteiden huippujen näkyä edelleen. Väärin tehty ja liian paksu hamppukerros työntyy putken osan työntämänä pois, ja liitos vuotaa [38]. Kesällä 2013 MetroSol-aurinkoenergialaboratorion aurinkolämpöjärjestelmän keräimen varoventtiilin kiinnitys oli alkanut vuotaa. Syyksi voitiin suurella todennäköisyydellä todeta virheellinen hamppu-tiivisteiden käyttö kierreliitoksessa. Kuvassa 45 on esitetty virheellinen hamppu-tiivisteiden käyttö putken kierreliitoksessa.





Kuva 45. Virheellinen hamppu-tiivisteiden käyttö putken kierrelliitoksessa. (Kuva tekijän.)

### 6.3 Säätolaitteet ja -venttiilit

Ohjausyksiköstä eli tässä tapauksessa Schneider StruxureWare -valvontaohjelmasta tarkastetaan järjestelmän ohjaukset.

Järjestelmän ohjauksesta tulee aika ajoin tarkastaa toimivatko pumpun käynnistyminen ja pysähtyminen halutusti.

Pumpuista tulee aika ajoin tarkastaa

- pitääkö pumppu poikkeavaa ääntä
- lämpörele- ja sulake ja
- pumpun pyörimissuunta.

Jos pumppu pitää selvästi poikkeavaa ääntä, on siinä suurella todennäköisyydellä laakerivika. Tämä korjaantuu vaihtamalla laakerit. Lämpörele- tai sulake voi laueta, mikäli pumppu lämpenee liikaa. Tämä pitää kuitata pumpun kuittausnapista.

Säätoventtiileistä tulee tarkastaa, että venttiilin kara liikkuu auki/-kiinni-ääriasentoihin. Mikäli venttiili jumittaa, tulee se irrottaa ja puhdistaa sekä tarvittaessa vaihtaa.

Järjestelmän ilmanpoisto voidaan tarkastaa keräimien yläosiin asennetuilla ilmanpoistovenntiileillä avaamalla ruuvia hieman. Jos järjestelmässä on ilmaa, sen pitäisi pitää pieni suhahtava ääni, jonka jälkeen tulee lämmönsiirtonestettä. Tämän jälkeen ruuvi kierretään takaisin kiinni. Tämä toimenpide laskee järjestelmän painetta, joten lämmönsiirtonestettä tulee pumpata lisää verkostoon.

#### 6.4 Lämmönsiirrin

MetroSol-aurinkoenergialaboratoriossa lämpövaraajassa on kaksi kappaletta LK60 kampakuparikierukoita. Kampakuparikierukkaa käytettäessä mitoitus tehdään luvussa 4.5.1 Sisäinen lämmönsiirrin esitetyn taulukon 3 mukaan. Keräinpinta-ala 12 neliometriä vaatisi noin 2,5 neliometriä lämmönsiirtopinta-alaa kampakuparia käytettäessä. Kahden LK60-kampakuparikierukan yhteenlaskettu lämmönsiirtopinta-ala on 8,6 neliometriä. Kampakuparikierukkojen mitoitus on tässä tapauksessa tehty yli kolminkertaisesti kuin taulukon 3 mukaan vaadittaisiin. Tämä olisi hyvä mitoitus varsinkin, jos tulevaisuuden lämpöenergian tarve ei ole tarkasti tiedossa.

Ylimitoituksesta ei juurikaan ole mitään haittaa vaan päinvastoin. Tulevaisuudessa voidaan lisätä keräinpinta-alaa ilman, että lämmönsiirtimiä jouduttaisiin lisäämään. Tämä on etenkin etu, jos varaajassa ei ole ylimääräisiä putkiyhteitä.

#### 6.5 Paisuntasäiliö ja varolaitteet

Paisuntasäiliön ja varolaitteiden toiminta tulee testata aika ajoin, jotta välttyttäisiin niiden ei-toivotusta toiminnasta johtuvilta vioilta. Verkostossa esiintyvät painevaihtelut ovat merkki kalvopaisuntasäiliön rikkoutumisesta. Kalvopaisuntasäiliön kalvon eheyden voi tarkistaa ilman sen lisäysventtiiliä painamalla. Jos astia on ehjä, niin sieltä tulisi tulla pelkkää ilmaa eikä vettä lainkaan. Mikäli kuitenkin painettaessa ilman mukana tulee vesipisaroita, on se merkki siitä, että kalvo on rikkoutunut [39]. Varoventtiilin toiminta tulee varmistaa noin 1–2 kertaa vuodessa laukaisemalla se, jotta voidaan todeta sen pitävyys. [38.]

## 7 Vianmääritys

Vianmääritys tehdään käyttäen omakohtaisia kokemuksia MetroSol-aurinkoenergiolaboriossa työskentelyn ajalta sekä apuna käyttäen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tuottamaa vikapuuta, joka on tehty öljy-, kauko- ja sähkölämpöjärjestelmiä varten [40]. Vianmäärityksessä on otettu soveltuvien osien osa-alueita öljy-, kauko- ja sähkölämpöjärjestelmiin liittyvistä vioista ja niiden selvittämisestä.

Vianmäärityksessä oletuksena on se, että aurinkolämpöjärjestelmä on oikein mitoitettu vastaamaan kulutusta sekä tämän lisäksi se, että havaittu ongelma esiintyy otollisimpaan toiminta-aikaan eli kesäaikaan, jolloin aurinkolämpöä on saatavilla täyden energiatarpeen verran.

Seuraavissa luvuissa esitellään eri aurinkojärjestelmän laitteisiin liittyviä vikoja ja niiden korjaustoimenpiteitä.

### 7.1 Keräinpiirin lämpötila

Keräinpiirin liian matalaan lämpötilaan syynä voi olla

- sekoitus- tai säätöventtiilin liian matala asetusarvo tai venttiilin rikkoutuma
  - tarkistetaan asetusarvo ja mahdollisesti nostetaan sitä
  - uusitaan rikkoutunut sekoitus- tai säätöventtiili
- säädön toimimattomuus
  - tarkistetaan säätölaitteen asetusarvo ja mahdollinen merkkivalo sekä varokkeet
- anturien väärä asennus tai rikkoutuma
  - tarkistetaan anturien oikea asennus
  - vaihdetaan rikkoutuneet anturit
- takaiskuventtiilin jumittumisesta johtuva lämmönsiirtonesteen takaisin valuminen keräimille pumpun ollessa kiinni
  - tarkastetaan takaiskuventtiilin toiminta
  - vaihdetaan rikkoutuneet osat
- verkostossa oleva ilma
  - ilmataan verkosto
  - lisätään verkostoon lämmönsiirtonestettä

- tarkistetaan verkoston paine
- pumpun vuoto, tukkeutuma tai väärä kierrosnopeus
  - korjataan pumpun vuoto
  - puhdistetaan pumppu
  - tarkistetaan pumpun kierrosnopeus
- jännitteen häviämisestä johtuva järjestelmän sammuminen
  - tarkistetaan sulake
  - käynnistetään järjestelmä uudelleen
- sulkuventtiili kiinni
  - avataan venttiili
- eristyksien puutteellisuus
  - tarkistetaan ja korjataan vialliset tai rikkoutuneet eristeet
  - lisäeristys
- lämpövaraajan ja keräimien pitkä välimatka
  - lisäeristys.

Kerupiiriin liian korkeaan lämpötilaan syynä voi olla

- sekoitus- tai säätöventtiilin liian korkea asetusarvo tai rikkoutuma
  - lasketaan asetusarvoa
  - uusitaan rikkoutunut sekoitus- tai säätöventtiili
- säädön toimimattomuus
  - tarkistetaan säätölaitteen asetusarvo ja mahdollinen merkkivalo sekä varokkeet
- anturien väärä asennus tai rikkoutuma
  - tarkistetaan anturien oikea asennus
  - vaihdetaan rikkoutuneet anturit
- käyttäjien vähäinen lämpöenergian kulutus
  - lisätään lämpövaraajien määrää yhdellä, etenkin jos lämpövaraaja ja kerupiiri ovat jatkuvasti lämpimiä
- liian pieni aurinkokierukka tai ulkoinen lämmönsiirrin
  - vaihdetaan aurinkokierukka tai lämmönsiirrin suuremmaksi
  - lisätään yksi uusi kierukka tai lämmönsiirrin järjestelmään.

## 7.2 Aurinkokeräinverkoston paine

Aurinkokeräinverkoston liian matalaan paineeseen syynä voi olla

- paisuntasäiliön liian pieni koko, jolloin mahdollinen järjestelmän kiehuminen sekä paineen kasvu aiheuttaa varoventtiilin avautumisen ja lämmönsiirtonesteen purkautumisen
  - vaihdetaan paisuntasäiliö suuremmaksi
  - lisätään toinen paisuntasäiliö
- liian vähäinen lämmönsiirtonesteen täyttö
  - lisätään verkostoon lämmönsiirtonestettä
- verkoston vuotaminen
  - paikallistetaan ja korjataan vuoto
- paisuntasäiliön esipaine liian alhainen
  - lisätään esipainetta
- varoventtiiliin liian alhainen avautumispaine
  - vaihdettava järjestelmään sopiva varoventtiili.

Aurinkokeräinverkoston liian korkeaan paineeseen syynä voi olla

- lämmönsiirtonesteen liikätäyttö
  - vähennetään verkoston lämmönsiirtonesteen määrää, jotta saavutetaan oikea verkoston paine
- paisuntasäiliön kalvon rikkoutuminen
  - vaihdetaan paisuntasäiliö uuteen
- paisuntasäiliön liian pieni koko
  - vaihdetaan paisuntasäiliö suuremmaksi
  - lisätään toinen paisuntasäiliö verkostoon
- varoventtiiliin liian korkea avautumispaine
  - vaihdettava järjestelmään sopiva varoventtiili
- järjestelmän kiehuminen ja varoventtiilin jumiutuminen
  - lasketaan painetta järjestelmän täyttöyhteestä ja korjataan varoventtiilin jumiutuma tai vaihdetaan kokonaan uuteen. **Huom. tässä on suuri palovamman vaara, käytettävä suojavälineitä!**

### 7.3 Aurinkokeruupiirin kiertopumppu

Aurinkokeruupiirin kiertopumpun toimintahäiriöihin syynä voi olla

- pumpun väärä mitoitus  
→ mikäli pumppu ei vastaa käyttötilanteen toiminta-arvoja, on se vaihdettava uuteen oikeilla arvoilla varustettuun pumppuun
- verkostossa oleva lika  
→ puhdistetaan pumppu liasta  
→ huuhdellaan verkosto
- verkostossa oleva ilma  
→ tarkistetaan ilmanpoiston toiminta  
→ ilmataan järjestelmä
- pumpun väärä pyörimissuunta  
→ katsotaan, onko sähköjohdot oikein päin kytketty
- pumpun laakereiden kuluminen ja jumiutuminen  
→ vaihdetaan laakerit
- yllälämpenemissuojan laukeaminen  
→ kuitataan ja varmistetaan pumpun käynnistyminen.

### 7.4 Lämpövaraajan lämpötila

Lämpövaraajan matalaan lämpötilaan (alle 50 °C) syynä voi olla

- liian pieni aurinkokierukka tai ulkoinen lämmönsiirrin  
→ vaihdetaan aurinkokierukka tai lämmönsiirrin suuremmaksi  
→ lisätään yksi uusi kierukka tai lämmönsiirrin järjestelmään
- yllälämpenemissuojan laukeaminen ja termostaatin asetusarvo  
→ kuitataan yllälämpenemissuoja ja tarkistetaan termostaatin asetusarvo
- lämpövaraajan sähkövastuksen toimimattomuus  
→ uusitaan sähkövastus  
→ tarkistetaan, että sähkö on oikein kytketty vastukseen
- käyttöveden huippukulutuksen ylitys verrattuna laitteiden tehoihin  
→ lisätään aurinkokeräinpinta-alaa ja lämminvesivaraajien tilavuutta sekä vastaavasti sähkövastuksia järjestelmään.

## 7.5 Putkisto

Putkistossa esiintyviä vikoja voivat olla

- väärästä asennustavasta johtuva vuoto  
→ asennetaan uudelleen ja varmistetaan, että liitokset pitävät
- liian suuresta glykolipitoisuudesta johtuva tiivisteiden vuotaminen  
→ tarkistetaan verkoston lämmönsiirtonesteen seossuhde ja tarvittaessa lisätään verkostoon vettä, sopiva glykolipitoisuus on Suomen olosuhteissa 40–50 painoprosenttia
- liian pienestä glykolipitoisuudesta johtuva putkiston jäätyminen  
→ tarkistetaan verkoston lämmönsiirtonesteen seossuhde ja tarvittaessa lisätään verkostoon glykolia, sopiva glykolipitoisuus on Suomen olosuhteissa 40–50 painoprosenttia.

## 8 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö oli osa Metropolia Ammattikorkeakoulun osuudesta Tekesin ja teollisuuden rahoittamaa RYM Oy:n sisäympäristötutkimusohjelman työpaketin Energy Efficient Control of Indoor Environment Metropolian osuuteen, johon osaltaan kuuluu myös työssä hyödynnetty Metropolia Ammattikorkeakoulun Leppävaaran toimipisteessä sijaitseva MetroSol-aurinkoenergiaboratorio.

Nykyään aurinkoenergia on suuri merkitys nykyaikaisissa rakennuksissa. Tästä huolimatta aurinkoenergiajärjestelmiä on tehty hyvin vähän, ja niiden käyttöön ei ole saatavilla selviä käyttöohjeita.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa aurinkolämpöjärjestelmiä varten tarkastus- ja vianmääritystyökalu. Opinnäytetyössä tehdyn kirjallisuusselvityksen avulla kerättiin aurinkolämpöenergiajärjestelmien tarkastukseen ja vianmääritykseen liittyvää tietoa. Kerätyn tiedon pohjalta ja useita lähteitä sekä MetroSol-aurinkoenergiaboratoriossa tehtyjä tarkastuksia ja kokeita hyväksi käyttäen laadittiin tarkastuslista, jonka avulla voidaan tarkastaa aurinkolämpöjärjestelmän toimintaa ja tehdä vianmäärityksiä.

Omalta osaltani toivoisin, että opinnäytetyöni antaisi riittävän ohjeistuksen siihen, kuinka aurinkolämpöjärjestelmän tarkastus ja vianmääritys voitaisiin tehdä.



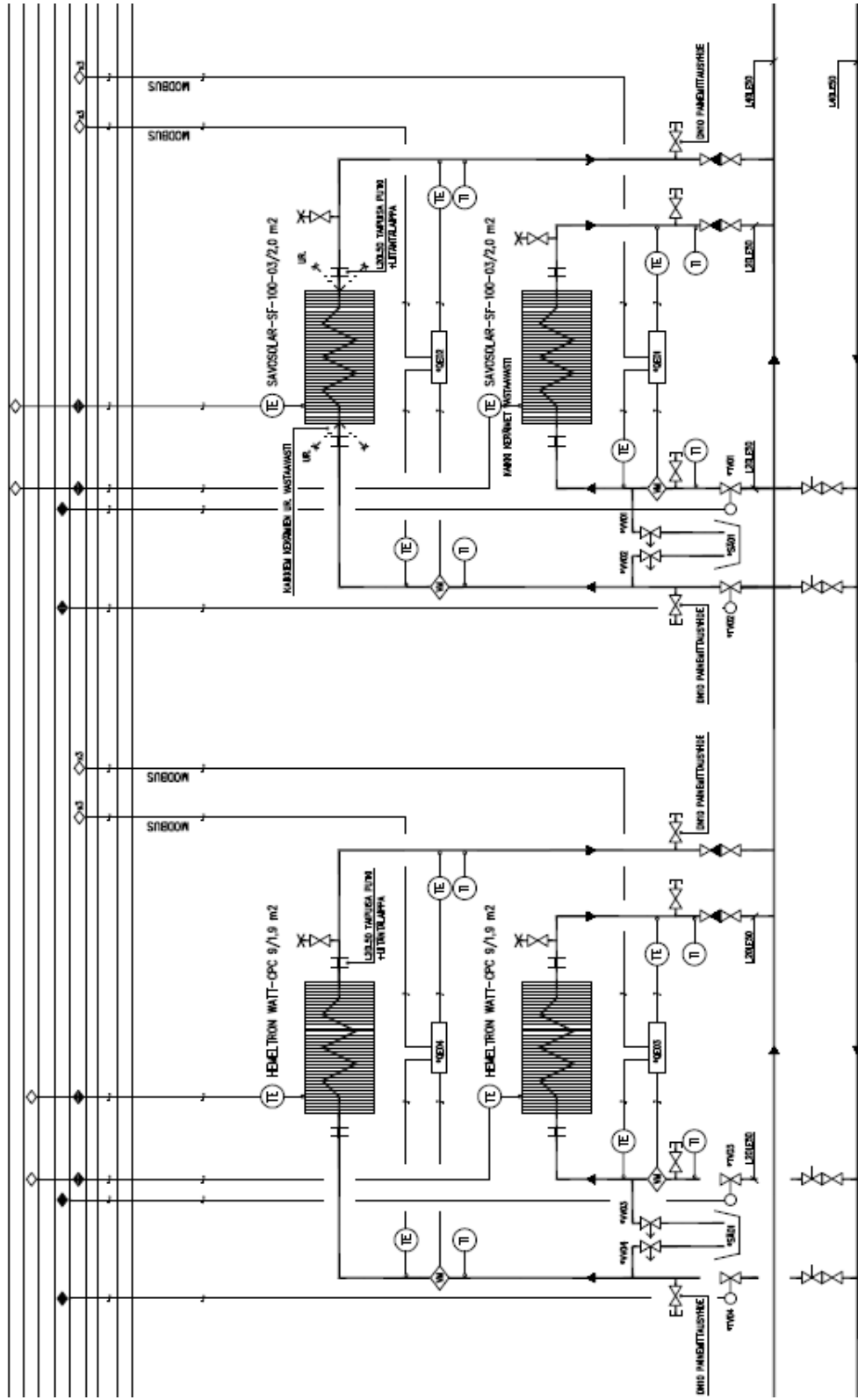
## Lähteet

- 1 Aurinko. 2014. Verkkodokumentti. Ursa.  
<http://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/aurinko.html>. Luettu 10.4.2014
- 2 Erat Bruno, Erkkilä Vesa, Nyman Christer, Peippo Kimmo, Peltola Seppo, Suokivi Hannu. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo. Aurinkoteknillinen yhdistys ry.
- 3 Aurinkoenergia. 2014. Verkkodokumentti. Suntekno.  
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>. Luettu 10.4.2014
- 4 Kiehl J.T. and Trenberth Kevin E.. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. 1997. Colorado. National Center for Atmospheric Research, Boulder.
- 5 Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista. 2011. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.  
<http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia53.pdf>. Luettu 20.5.2014
- 6 PV Education. 2014. Verkkodokumentti. <http://pveducation.org/>. Luettu 20.5.2014
- 7 Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe. 2014. Verkkodokumentti. Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport (IET). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>. Luettu 20.7.2014
- 8 Köhl Michael, Meir Michaela Georgine, Papillon Philippe, Wallner Gernot M., Saile Sandrin. 2012. Polymeric Materials for Solar Thermal Applications. Singapore. Markono Print Media Pte Ltd.
- 9 Solar Flat Plate Collector Analysis. 2014. Verkkodokumentti. IOSR Journal of Engineering. [http://www.iosrjen.org/Papers/vol2\\_issue2/F022207213.pdf](http://www.iosrjen.org/Papers/vol2_issue2/F022207213.pdf). Luettu 1.8.2014
- 10 SFS-EN 12975-2. Thermal solar systems and components. 2006. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 11 Jodat Ympäristöenergia Oy. <http://www.energiakauppa.com/>. Luettu 1.8.2014
- 12 Rakennuskoski Jouni. 2014. Aurinkolämmityksen tekniikka ja energiatuoton laskenta. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 13 European Solar Thermal Industry Federation. 2014. Verkkodokumentti.  
<http://www.estif.org/solarkeymark/>. Luettu 12.9.2014
- 14 Aurinkolämpö. 2014. Verkkodokumentti. Micre EU. <http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/aurinkolaempoe/>. Luettu 1.10.2014
- 15 Westerns Solar's Green Buildings Options. 2014. Verkkodokumentti. Western Solar, Inc. <http://www.westernwashingtonsolar.com/Western%20Solar%20Green%20Building.html>. Luettu 15.10.2014

- 16 Aurinkolämpö. 2014. Verkkodokumentti. Energia Auringosta Oy. <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>. Luettu 16.10.2014
- 17 Tyhjiöputkikeräimet. 2014. Verkkodokumentti. Motiva Oy. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet). Luettu 15.10.2014
- 18 Tyhjiöputkikeräin NN10. 2014. Verkkodokumentti. Northern Nature Energy. <http://www.nn-energy.fi/tuotteet/aurinkokeraimista/nn10.php>. Luettu 17.10.2014
- 19 U-pipe-tyhjiöputkikeräin. 2014. Verkkodokumentti. Haining Yinuo Electric Co., Ltd. [http://www.solarcollector.cc/userfiles/solarcollector001\(13\).jpg](http://www.solarcollector.cc/userfiles/solarcollector001(13).jpg). Luettu 16.10.2014
- 20 Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. 2014. Verkkodokumentti. Novafuture Oy. <http://novafuture.fi/putket.html>. Luettu 25.10.2014
- 21 Aurinkolämpö. 2014. Verkkodokumentti. Aurinkopuisto. <http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php>. Luettu 16.10.2014
- 22 Aurinkolämpö. 2014. Verkkodokumentti. Ultimatemarket. <http://www.ultimatemarket.com/Aurinkol%C3%A4mp%C3%B6.pdf>. Luettu 16.10.2014
- 23 Tapaninen Lari. 2013. MetroSol-aurinkoenergiaprojekti. Tutkimusaineisto. Julkaisematon.
- 24 Laiho Esa-Matti. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkelin teknillinen oppilaitos. Lämmönsiirto- ja virtaustekniikka 1. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 25 Mills A. F. 1999. Basic Heat & Mass Transfer. Prentice Hall. 2. Painos.
- 26 Ilmanpoistoventtiili Solar. 2014. Verkkodokumentti. Biottori Oy. <http://tulevaisuudenenergiaa.com/fi/>. Luettu 18.10.2014
- 27 Spirotech. Spirovent Superior S6A, S6A-R ja S6A-R 2P asennus-, käyttöönotto- ja käyttöohje.
- 28 10 kohdan asennusohje putkilinjalle. 2014. Verkkodokumentti. Aurinkotori Oy. <http://www.aurinkotori.com/index.phtml/art/2243/t/articles1>. Luettu 22.10.2014
- 29 Erkkilä Vesa. 2003. Aurinkolämpöopas itserakentajille. Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy.
- 30 Lämminvesivaraajat. 2014. Verkkodokumentti. Akvaterm Oy. [www.akvaterm.fi/fin/akvaterm.1.html](http://www.akvaterm.fi/fin/akvaterm.1.html). Luettu 10.11.2014
- 31 Solar 25. 2014. Verkkodokumentti. Sundial Oy. <http://www.sundial.fi/solar-p-101.html>. Luettu 20.11.2014
- 32 LVI-kortti 11–10472. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011. Rakennustieto Oy.

- 33 Varoventtiili. 2014. Verkkodokumentti. Oras Oy. <http://www.oras.com/productDocuments/Varoventtiili.pdf>. Luettu 26.11.2014
- 34 Wilo. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.wilo.fi/>. Luettu 18.12.2014
- 35 Kipp&Zonen. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.kippzonen.com/>. Luettu 20.12.2014
- 36 Vaisala. 2015. Verkkodokumentti. <http://www.vaisala.fi/>. Luettu 3.1.2015
- 37 Series induQ VMZ. 2015. 2015. Verkkodokumentti. SIKA. <http://www.sika.net/en/products/flow-measuring-instruments/magnetic-inductive-flow-sensors/series-induq-vmz.html>. Luettu 5.1.2015
- 38 Harju, Pentti. 2006. Vesi ja veden käyttö kiinteistössä. Penan tieto-opus ky.
- 39 Paisunta-astian huolto. 2015. Verkkodokumentti. Huoltosivut. <http://www.huoltosivut.fi/index.php/kiinteisto/paisunta>. Luettu 10.1.2015
- 40 WebDia. 2003. Verkkodokumentti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. <http://www.rte.vtt.fi/webdia/>. Luettu 15.1.2015





HUONNIN VÄSKÖNÄN LAIETUNNUS SAADAN KUN A-MENOKI KORVATAAN JÄRJESTELMÄKOODILLA  
HUONNIN KÄRKI-ELEKTRONSET MITTARIT JA ANTURIT SUJETAAN IV-KOHTEUSSEEN





## TOIMINTASELOSTUS

KIERTOPUMPPU 9SC01 KÄYNNISTYY ASETELLULLE VAKIOPAINEELE, KUN PYRANOMETRIEN MITTAUS  $[W/m^2]$  YLITTÄÄ ASETUSARVON. PUMPPU 9SC01 PYSÄHTYY, KUN PYRANOMETRIEN MITTAUS ON ASETELTAVISSA OLEVAN HYSTEREESIN VERRAN KÄYNNISTYMISEN ASETUSARVON ALAPUOLELLA JA ASETELTAVISSA OLEVA VIIVEAIKA  $[S]$  ON KULUNUT LOPPUUN.

PUMPUN 9SC01 KÄYNNISTYESSÄ KERÄIMIEN MOOTTORIVENTTIILIT AVAUTUVAT 70%:IIN 60 SEKUNNIN AJAKSI. TÄMÄN JÄLKEEN KERÄIMIEN VENTTIILIT SÄÄTYVÄT KERÄIMIEN PALUUNESTEEN LÄMPÖTILANASETUSARVON MUKAAN. JOS PUMPUN 9SC01 KÄYDESSÄ KERÄIMEN MENONESTEEN LÄMPÖTILA ON KORKEAMPI KUIN PALUUNESTEEN, KERÄIMEN VENTTIILIT SÄÄTYVÄT 5 %:IIN.

KERÄIMILTÄ PALAAVAN NESTEEN LÄMPÖTILAN (9TE02) OLLESSA SUUREMPI KUIN VARAAJAN (VS01) YLÄOSAN LÄMPÖTILA (9TE5.1) MOOTTORIVENTTIILI 9TV01 OHJAA NESTEEN VARAAJAN YLÄOSAAN. KERÄIMILTÄ PALAAVAN NESTEEN LÄMPÖTILAN (9TE02) OLLESSA PIENEMPI KUIN VARAAJAN YLÄOSAN LÄMPÖTILAN, MUTTA SUUREMPI KUIN VARAAJAN KESKI- TAI ALAOSAN (9TE5.2 JA 9TE5.3) LÄMPÖTILA, MOOTTORIVENTTIILI 9TV01 OHJAA KERÄIMILTÄ PALAAVAN NESTEEN VARAAJAN ALAOSAAN. JOS KERÄIMILTÄ PALAAVA NESTEEN LÄMPÖTILA (9TE02) ON PIENEMPI KUIN VARAAJAN LÄMPÖTILAT, MOOTTORIVENTTIILILLÄ 9TV02 OHJATAAN PALAAVA NESTE SUORAAN TAKAISIN KERÄIMILLE.

KERÄIMILLE MENEVÄN NESTEEN LÄMPÖTILAA 9TE01 VOIDAAN TARVITTAESSA SÄÄTÄÄ HALUTUN SUURUISEKSI. VALINTAMOODI TULEE OLLA ON -ASENNOSSA JA MOOTTORIVENTTIILILLÄ 9TV02 NESTEEN LÄMPÖTILA SÄÄDETTÄÄN ASETUSARVOON.

KERÄINKOHTAINEN TEHON JA ENERGIAN LASKENTA ON TOTEUTETTU OHJELMALLISESTI ERILLISELLÄ KAAVALLAVIRTAAMAN SEKÄ MENO- JA PALUULÄMPÖTILOJEN AVULLA. KUSTAKIN KERÄIMESTÄ LASKETAAN PÄIVITTÄINEN JA EDELLISPÄIVÄN ENERGIA, KUUKAUDEN JA EDELLISEN KUUKAUDEN ENERGIA SEKÄ KUMULATIIVINEN ENERGIA JA HETKELLINEN TEHO. NÄISTÄ SAADAAN MYÖS TRENDISEURANNAT.



VARAAJAN (VS01) LÄMPÖTILAT (9TE5.1-9TE5.3) VOIDAAN SÄÄTÄÄ TARVITTAESSA HALUTUN SUURISEKSI PUMPULLA 10SC01 (KÄYNNISTYY ASETETULLE VAKIOPAINEELE) JA MOOTTORIVENTTIILILLÄ 10TV01. VALINTAMOODI TULEE OLLA ON-ASENNOSSA HALUTUN ASETUSARVON KOHDALLA. LÄMMITYKSEN VALINNAN OLLESSA ON-ASENNOSSA SÄHKÖLÄMMITYSTÄ KÄYTETÄÄN TARVITTAESSA HALUTUN ASETUSARVON SAAVUTTAMISEKSI. SÄHKÖVASTUS ON 9 KW:N SUURUINEN, JA SEN KÄYTTÄMÄ ENERGIA LASKETAAN OHJAUKSEN PÄÄLLÄOLOAJASTA.

VARAAJALLE (VS01) VOIDAAN ASETELLA LÄMMÖNTASAUKSEN ASETUSARVO, MISSÄ PUMPPU 10SC01 KÄYNNISTYY JA MOOTTORIVENTTIILI 10TV01 SÄÄTYY 0 %:IIN TASATEN VARAAJAN LÄMPÖTILAERON ASETELLUN SUURUISEKSI.

JOS VARAAJAN LÄMPÖTILAT (9TE5.1-9TE5.3) TAI VARAAJAN PAINE 9PE02 YLITTÄÄ ASETELTAVISSA OLEVAT ARVONSA, NIIN PUMPPU 9C01 PYSÄHTYY, PUMPPU 10SC01 KÄYNNISTYY JA MOOTTORIVENTTIILI 10TV01 SÄÄTYY 100 %:IIN, JOLLOIN LÄMPÖÄ PURKAUTUU VARAAJAN VS02:EEN.

ENERGIAMITTARILTA 10QE01 SAADAAN VARAAJA VS01:STÄ VARAAJA VS02:EEN SIIRRETTY ENERGIAMÄÄRÄ.

VERKOSTON PAINELÄHETTIMITÄ 9PE01 JA 9PE03 SEKÄ PUMPPUJEN PAINEROLÄHETTIMITÄ 9PDE1 JA 10PDE1 SAADAAN RAJA-ARVOHÄLYTYKSET. PAINELÄHETTIMITÄ SAADAAN MYÖS TRENDIT.

