

Jasmin El-Bash

## **Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: LVI

Tekijä: Jasmin El-Bash

Työn nimi: Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelu

Ohjaaja: Eero Kulmala

Vuosi: 2015 Sivumäärä: 46 Liitteiden lukumäärä:

---

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella aurinkolämpöjärjestelmä, jota käytetään toisena energialähteenä hakekattilan rinnalla. Aurinkolämpöjärjestelmä liitetään jo olemassa olevaan kohteeseen, jossa on jo valmiina hakekattilat ja varaaja, johon järjestelmä liitetään aurinkokierukalla. Aurinkokeräimeksi on valittu tyhjiöputkikeräin.

Työssä selviteltiin aluksi perustietoja auringosta ja sen säteilystä. Käytiin läpi erilaisten keräinvaihtoehtojen rakenteita ja toimintaa sekä niiden sijoittelua. Sen jälkeen perehdyttiin aurinkolämpöjärjestelmään ja sen toimintaan, minkä jälkeen syvennyttiin aurinkolämmön tuoton laskentaan sekä esimerkkilaskuun. Laskentamenetelmät tehtiin rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan. Lopuksi laskettiin kustannukset tulevalle järjestelmälle.

Avainsanat: Aurinko, aurinkoenergia, aurinkokeräimet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Jasmin El-Bash

Title of thesis: Designing of a solar thermal system

Supervisor: Eero Kulmala

Year: 2015      Number of pages: 46      Number of appendices:

---

The purpose of this bachelor thesis was to create a solar thermal system which will be used as a second source of energy with a wood chip boiler. The solar thermal system will be connected to an already existing building. In the building there are wood chip boilers and an accumulator. The solar thermal system will be connected to the accumulator with a solar coil. The type of solar collector chosen for this project is a heat-pipe.

In the beginning of the thesis there is basic information about the sun and insolation. In the thesis it is told about different types of solar collectors and how they work. Also information about collectors' components and how and where the collectors should be installed is presented. There is information about a solar thermal system. After the theory part there is an example of how to count the amount of energy that a solar thermal system can produce. The methods of calculations are from Building Code D5. In the end of the thesis the costs of the system have been counted.

Keywords: Solar, solar energy ,solar collectors

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 AURINKOENERGIA.....	9
2.1 Aurinko energialähteenä.....	9
2.2 Auringon säteily.....	9
2.2.1 Auringon säteily maapallolla.....	10
2.2.2 Auringon säteily Suomessa.....	11
3 AURINKOKERÄIMET.....	13
3.1 Keräimet.....	13
3.1.1 Ilmakiertoinen aurinkokeräin.....	13
3.1.2 Nestekiertoinen aurinkokeräin.....	13
3.1.3 Tasokeräin.....	14
3.1.4 Tyhjiöputkikeräin.....	15
3.2 Keräinten vertailu.....	17
3.3 Aurinkokeräimen sijainti.....	18
3.4 Aurinkokeräimen suuntaus.....	19
3.5 Aurinkokeräimen kallistuskulma.....	19
3.6 Aurinkokeräimen hyötysuhteet.....	20
4 AURINKOJÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA OSAT.....	21
4.1 Aurinkokeräin.....	21
4.2 Putkisto.....	22
4.3 Varaaja.....	22
4.4 Lämmönsiirrin.....	22
4.5 Pumppuyksikkö.....	22
4.6 Ohjausyksikkö.....	23
4.7 Paisunta-astia.....	23

4.8 Venttiilit .....	23
<b>5 AURINKOLÄMMÖN TUOTON LASKENTA.....</b>	<b>24</b>
5.1 Auringon tuotto yksinkertaisella menetelmällä .....	24
5.2 Auringon tuotto tarkemmalla menetelmällä .....	25
5.2.1 Esimerkkilasku.....	29
5.2.2 Tulokset .....	34
<b>6 KOHDE .....</b>	<b>35</b>
6.1 Kohteen kuvaus .....	35
6.2 Aurinkokeräimen kytkentä.....	35
6.3 Aurinkokeräimen sijoitus .....	36
6.4 Aurinkokeräimen asennus .....	36
6.5 Aurinkolämpöjärjestelmän komponenttien valinta .....	38
6.5.1 Aurinkokeräinpaketti .....	38
6.5.2 Muut varusteet .....	39
<b>7 KUSTANNUKSET .....</b>	<b>40</b>
7.1 Järjestelmän kustannukset .....	40
7.2 Järjestelmän takaisinmaksuaika .....	41
<b>8 POHDINTAA .....</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>45</b>

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Kokeilulaitoksen eteläpuoli .....	37
Kuvio 1. Auringon säteily maailmalla .....	11
Kuvio 2. Suomen säteilyenergia.....	12
Kuvio 3. Nestekiertoinen tasokeräin.....	15
Kuvio 4. U-tyhjiöputki .....	16
Kuvio 5. Heat-pipe tyhjiöputki.....	17
Kuvio 6. Erilaisten keräintyyppien keräintuotto vuodessa .....	18
Kuvio 7. Aurinkojärjestelmän kytkentä varaajaan .....	21
Kuvio 8. Kokeilulaitos.....	35
Kuvio 9. Aurinkojärjestelmän kytkentä kokeilulaitokseen. ....	36
Taulukko 1. Keräinten tuottama aurinkolämpö keräinten pinta-alaa kohti, jota hyödynnetään käyttöveden lämmityksessä.....	25
Taulukko 2. Keräinten suuntauksen huomioon ottavan kertoimen k luvut. ....	25
Taulukko 3. Kuukausittainen säteilyenergia kallistuneelle pinnalle. ....	30
Taulukko 4. Keskimääräinen säteilyteho.....	31
Taulukko 5. Lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve.....	32
Taulukko 6. Kuukausittaiset referenssilämpötilat. ....	33
Taulukko 7. Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto.....	34

Taulukko 8. Solartukun tuottet ja hinnat.....	40
Taulukko 9. Muut tuotteet. ....	41
Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika .....	42

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Aurinkovakio</b>	Energiamäärää, joka auringosta tulee yhdessä sekunnissa ilmakehän rajalle olevalle $1 \text{ m}^2$ :n pinnalle.
<b>Hajasäteily</b>	Säteilyä, joka heijastuu epäsuorasti kohteeseen eikä tule suoraan auringosta.
<b>Aurinkokeräin</b>	Järjestelmä, jossa auringon säteilyenergia absorboidaan ja muutetaan lämpöenergiaksi siirrettäväksi lämmönsiirtoaineeseen.
<b>Lämmönsiirtoaine</b>	Lämpöenergiaa paikasta toiseen siirtävä aine.



## 1 JOHDANTO

Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella aurinkolämpöjärjestelmä, jota käytetään toisena energialähteenä hakekattilan rinnalla. Aurinkolämpöjärjestelmä liitetään jo olemassa olevaan kohteeseen, joka on kokeilulaitos. Kokeilulaitoksessa on jo valmiina hakekattilat ja varaaja, johon järjestelmä liitetään aurinkokierukalla. Aurinkolämpöjärjestelmään valittiin keräimiksi tyhjiöputkikeräimet. Niiden mukaan on suunniteltu oikeankokoinen järjestelmä ja laskettu keräinten tuotto.

Opinnäytetyössä perehdytään aurinkolämpöjärjestelmään. Työssä selvitettiin aluksi perustietoja auringosta ja sen säteilystä. Erilaisia keräinvaihtoehtoja on käyty yleisesti läpi niiden rakenteesta ja toiminnasta sekä hieman vertailtu keskenään eri aurinkokeräinvaihtoehtoja. Keräimen asennuksen ja suuntauksen vaikutusta tutkittiin, jotta tiedettäisiin miten se saadaan suunniteltua siten, että aurinkoenergiaa saataisiin tuotettua mahdollisimman paljon. Kun keräimet ovat tulleet tutuksi, syvennytään aurinkolämpöjärjestelmän toimintaan ja komponentteihin.

Kun kaikki perustiedot aurinkolämmöstä on selvitetty, syvennytään aurinkolämmön tuoton laskentaan. Laskentamenetelmät on tehty rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan. Aurinkolämmön tuoton laskentaesimerkki tehdään olemassa olevaan kokeilulaitokseen. Esimerkissä selvitetään, kuinka paljon auringosta saisi energiaa. Laskun jälkeen on esitetty kohteesta tietoja sekä kytkentäkaavio, kuinka aurinkolämpöjärjestelmä kytketään tämänhetkiseen järjestelmään. Lopuksi lasketaan kustannukset aurinkolämpöjärjestelmälle.

## 2 AURINKOENERGIA

### 2.1 Aurinko energialähteenä

Aurinko on tähti, jota Maa kiertää. Maan ja auringon välinen etäisyys on noin 150 miljoonaa kilometriä. Auringon pintakerroksissa on vetyä 71 %, heliumia 27 % ja muita aineita 2 %. Auringon pintalämpötila on 5785K. (Linnaluoto 1994.)

Aurinko saa säteilemänsä energian siten, että keskustassa vety muuttuu heliumiksi. Auringossa 2 vetyatomin ydintä, 2 protonia ja 2 neutronia yhtyy heliumatomin ytimeksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Tätä kutsutaan lämpöydinreaktioksi eli fuusioksi. (Erat ym. 2008, 10.)

### 2.2 Auringon säteily

Auringon kokonaissäteily koostuu suoraan tulevasta säteilystä ja hajasäteilystä. Hajasäteily on ilmakehän ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastuvaa hajasäteilyä. Aurinkopaneelien kannalta ei ole väliä, onko tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä, koska se pystyy hyödyntämään sitä hyvin.

Auringon säteilyenergiaa pystytään hyödyntämään aurinkolämpönä passiivisesti tai aktiivisesti sekä aurinkosähkönä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään aktiiviseen auringonlämpöön.

Passiivisesti käytettäessä auringon säteilyenergiaa rakennus kerää energiaa ja lämpö varastoituu sen rakenteisiin. Tällöin ei tarvita erikseen lisälaitteita. Hyvin suunnitellussa ja oikein sijoitetussa rakennuksessa voidaan jopa viidesosa kokonaislämmöntarpeesta saavuttaa passiivisella aurinkoenergialla. (Erat ym. 2008, 52.)

Aktiivisessa aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteily muutetaan lämmöksi erillisessä mustassa aurinkokeräimessä. Neste, joka kiertää keräimissä, lämpenee ja siirtää lämpönsä putkistosta lämpövaraajaan. Järjestelmän toimivuuteen tarvitaan pumppu ja ohjausautomaattikka. (Faninger-Lund & Lund 2000.)

Aurinkosähköjärjestelmissä auringon säteily muutetaan aurinkopaneelissa tassa sähköksi ja ohjataan akkuun. Akusta sähköä käytetään esimerkiksi televisioon tai valoon. Aurinkosähkö on kallista ja sitä käytetään yleensä vain piensähkön käyttöön esimerkiksi kesämökkiin. (Faninger-Lund & Lund 2000.)

### 2.2.1 Auringon säteily maapallolla

Aurinko-opas-kirjassa on kerrottu, että fuusion aiheuttamasta massamuutoksesta vapautuva energia antaa auringolle  $3,8 \times 10^{23}$  kW:n kokonaistehon. Siitä määrästä maapallolle saapuu  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Tämä tehon määrä on 20 000 kertaa se määrä, mitä maapallolla käytetään teollisuuteen ja lämmitykseen.

Yhdelle neliömetrin kokoiselle pinnalle maapallon ilmakehän ulkopuolella säteilyä vastaan kohtisuorassa olevalle pinnalle osuva auringon säteilyteho eli aurinkovakio on 1,35 -1,39 kW. Auringosta lähtöisin olevaa energiamäärää, joka kohtaa sekunnissa tietyn pinta-alan maanpinnalla, kutsutaan välittömäksi aurinkovakioksi. Välitön aurinkovakio on 0,8 ja 1,0 kW/m<sup>2</sup>:n välillä.

Ilmakehä koostuu molekyyleistä ja vesihöyryistä sekä saasteista ja pölyistä, jotka heikentävät auringonsäteilyä maanpinnalle.

Maanpinnalle tuleva säteily jaetaan kolmeen ryhmään ilmakehän vaikutusten takia:

- suoraan auringonsäteilyyn
- hajasäteilyyn
- ilmakehän vastasäteilyyn.

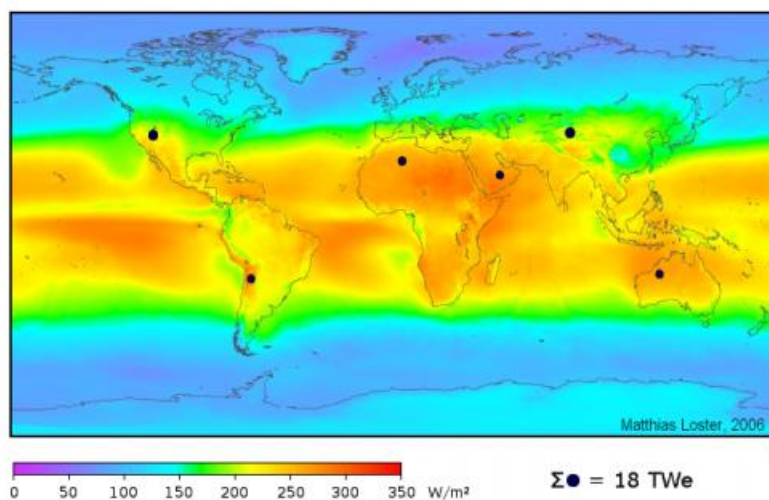
Suora auringonsäteily ( $I_A$ ) tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily ( $I_D$ ) on ilmakehän molekyyliden ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Ilmakehän vastasäteilyä ( $I_V$ ) aiheuttavat ilmakehän hiilidioksidi, vesihöyry ja otsoni. Nämä säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle, mitä kutsutaan kasvihuonevaikutukseksi.

Pinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia voidaan laskea, kun summataan suora auringon säteily, hajasäteily ja ilmakehän vastasäteily. Pinnan hyväksi jäävä teho ( $I$ )

voidaan laskea, kun kokonaissäteilyenergiasta vähentää takaisin avaruuteen heijastama pitkäaaltoinen säteily ( $I_U$ ).

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

Päiväntasaajan molemmin puolin auringon säteily on voimakkainta. Iso osa aurinkovoimaloista sijaitsee siitä huolimatta kuvion 1 vihreillä ja sinisillä alueilla. (Saimaa Gardens Services.)



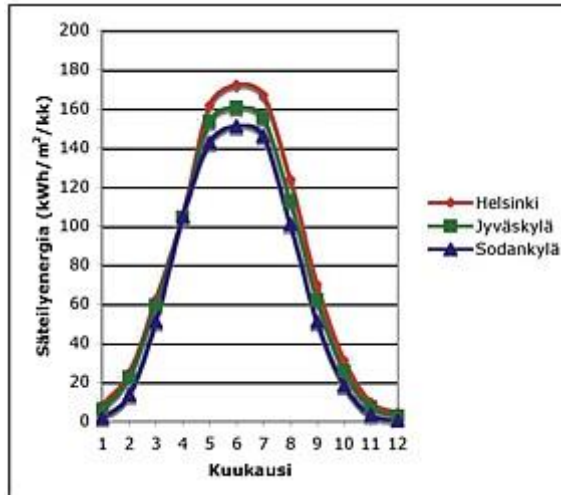
Kuvio 1. Auringon säteily maailmalla (Saimaa Gardens Services).

### 2.2.2 Auringon säteily Suomessa

Suomessa saadaan kesällä auringon säteilyä jopa enemmän kuin Keski-Euroopassa pitkistä päivistä johtuen. Paras aurinkoisuus on huhtikuun puolesta välistä syyskuun puoleen väliin. Aurinko paistaa Suomessa keskimäärin 1684 tuntia vuodessa eli noin 4,7 aurinkotuntia päivää kohden. (Solartukku 2015.)

Aurinkolämpöä hyödynnetään Suomessa pääosin rakennusten lämpimän käyttöveden valmistamisessa ja kylmäilmakuivureiden esilämmitykseen. Aurinkosähkön tuottoa ei hyödynnetä Suomessa paljoa, yleensä kesämökkeihin, koska sen saanti on vähäistä. (Solpros 2001.)

Vuotuinen säteily määrä Helsingissä on noin  $940 \text{ kWh/m}^2$ , Jyväskylässä  $870 \text{ kWh/m}^2$  ja Sodankylässä  $780 \text{ kWh/m}^2$ . Näiden kaupunkien vuotuinen säteilyenergia on esitetty kuviossa 2. (Ground Energy.)



Kuvio 2. Suomen säteilyenergia (Ground Energy).

## **3 AURINKOKERÄIMET**

### **3.1 Keräimet**

Aurinkokeräimen tehtävä on kerätä tai vastaanottaa auringonsäteilyä ja muuttaa se lämmöksi, joka voidaan sitten kuljettaa keräimestä lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. (Erat ym. 2008, 72.)

Keräinjärjestelmällä tuotetaan käyttövettä jopa kahdeksan kuukauden ajan maaliskuusta lokakuuhun. Keräinjärjestelmiä käytetään lisäenergiälähteenä muiden energiamuotojen rinnalle, esimerkiksi öljy-, kiinteä polttoaine- ja suorasähkölämmitys sekä maalämpö. (Ground Energy.)

Aurinkoenergialla lämmitetään joko energia- tai käyttövesivaraaja. Lämminvesikierukkaa tai lämmönvaihdinta käytetään varaajan lämmittämiseen. Varaajasta lämpö siirretään haluttuun kohteeseen, käyttöveteen, lämmitykseen tai esimerkiksi uima-altaan lämmitykseen. (Ground Energy.)

#### **3.1.1 Ilmakiertoinen aurinkokeräin**

Ilmakeräin on lämmönsiirrin, joka käyttää ilmaa lämmönsiirtoaineena. Keräin koostuu metallisesta kaukalosta, johon on asennettu lämmönkeräinelementit. Elementit luovuttavat auringosta saadun lämpöenergian niiden alla virtaavaan ilmaan.

Ilmalla on huonompi lämmönsiirto- ja vastaanottokyky kuin nesteellä. Hyvin toimiva laite saadaan rakentamalla absorptioelementtejä, jossa on suuri lämmönsiirtopinta. (Erat ym. 2008, 77.)

#### **3.1.2 Nestekiertoinen aurinkokeräin**

Nestekeräin on lämmönsiirrin, jonka kautta virtaavalla nesteellä on hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Absorptioelementistä lämpö siirtyy nesteeseen, josta se kulkeutuu käyttökohteisiin tai varastoon.

Nestekeräimissä kanavistot tai putkistot kytetään usein rinnan eli siten, että kiertoneste jakautuu tasaisesti keräimen alareunasta yläreunaan meneviin putkiin. Ne yhtyvät absorptioelementin ala- ja yläreunasta kokoojaputkiin, joilla elementit liitetään yhteen. Kanaviston voi myös kytkeä sarjaan, jolloin yhdessä pitkässä putkessa neste kiertää absorptioelementtiä.

Lämmönsiirtonesteistä paras on vesi, koska sillä on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet. Vettä voidaan käyttää järjestelmissä, jotka toimivat silloin, kun ei ole jäätymisvaaraa. Esimerkkikohteita, joissa vettä käytetään järjestelmässä, ovat kesämökki ja uima-allas. Ympärivuotisissa järjestelmissä veteen sekoitetaan yleensä propyleeniglykoliin pohjautuvaa jäänestoainetta. Sekoitus alentaa jäätymispistettä ja nostaa kiehumispistettä.

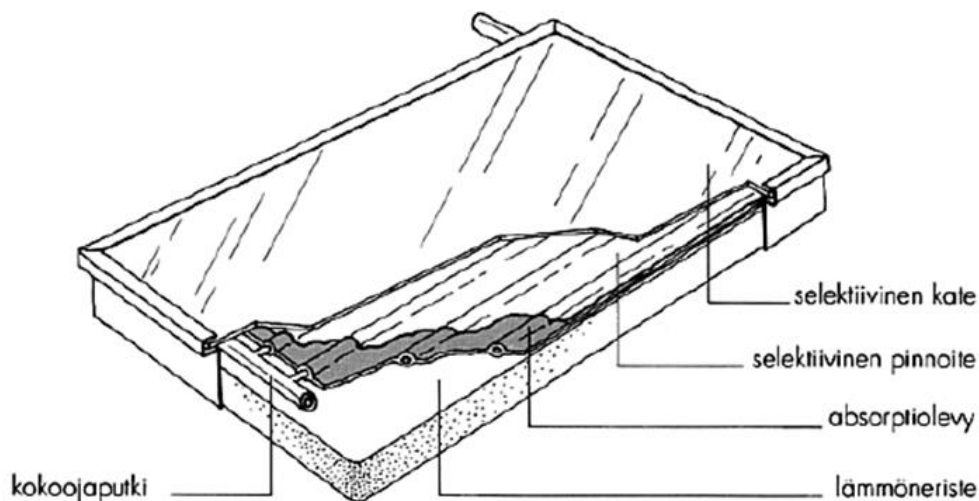
Nestekiertoisen keräimellä on monia hyviä puolia. Keräimellä on hyvä lämmönsiirto-ominaisuus eli korkea lämpökapasiteetti. Nesteiden avulla lämpöä voi helposti siirtää lämpövaraajaan. Laitokset ovat helposti säädettävissä ja ne soveltuvat kaikkiin tavallisiin käyttötarkoituksiin. (Erat ym. 2008, 77-78.)

### **3.1.3 Tasokeräin**

Tasokeräimissä säteilyä kerätään keräinelementin avulla (kuvio 3). Elementti on yleensä metallirakenteinen. Elementin tumma pinta absorboi siihen tulevan säteilyä suurimman osan ja kuumenee eli valosäteily muuttuu lämpösäteilyksi. (Erat ym. 2008, 73.)

Auringon säteily lämmittää mustaa absorptiolevyä. Absorptiolevy on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella ja katettu selektiivisellä lasilla, akryylilevyllä tai polykarbonaattilevyllä. Absorptiolevy on alapuolelta lämmöneristetty. (RT 50-10482 1992, 2.)

Keräin on nestekeräin. Lämpö siirtyy virtaavaan nesteeseen keräimen sisällä olevista putkistoista. Ympärivuotisena lämmönsiirtonesteinä käytetään glykoli-vesiseosta, mutta kesäisin käytetyssä vain vettä. Glykolia käytetään jäätymisen estämiseen. Putket on yhdistetty keräimen ylä- ja alareunoissa oleviin kokoojaputkiin, joiden kautta lämmennyt neste siirtyy varaajaan. (RT 50-10482 1992, 2.)



Kuvio 3. Nestekiertoinen tasokeräin (RT 50-10482).

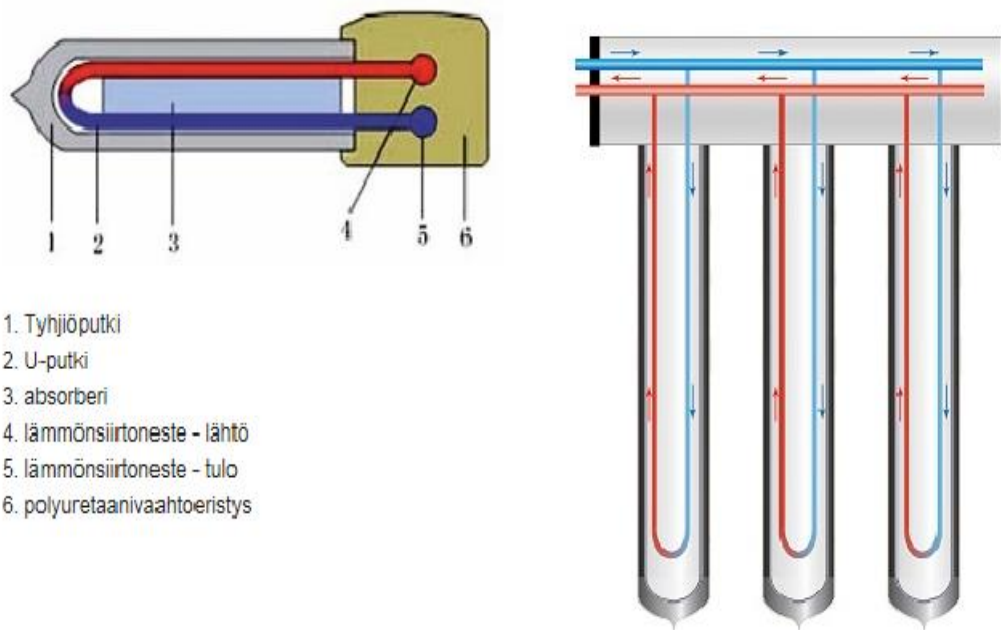
### 3.1.4 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkitekniikan avulla pystytään hyödyntämään auringon hajasäteilyä. Tyhjiö varastoi lämmön putken sisälle. Tyhjiöputket ovat hyviä myös vuodenaikoina, jolloin aurinko paistaa vähemmän, mutta energiaa tarvitaan enemmän, eli keväällä ja syksyllä. (Motiva 13.5.2014.)

Tyhjiöputken tyhjiön ansiosta sillä on hyvä hyötysuhde. Hyötysuhde voi olla tasokeräimeen verrattuna noin 20 % parempi. (Aalto 2013.)

Tyhjiöputki on nestekeräin, joka voidaan jakaa kahteen tyyppiin. Tyhjiöputkessa lämmönsiirtoneste kiertää tyhjiöputkessa u-muotoisessa putkessa mustan absorboivan pinnan alla. Siinä lämpö siirtyy alumiinilevyjen välityksellä putkien sisällä oleviin kupariputkiin ja sieltä putkien sisällä kiertävään nesteeseen. Kuviossa 4 esitetään putken rakenne. (Erat ym. 2008, 73.)

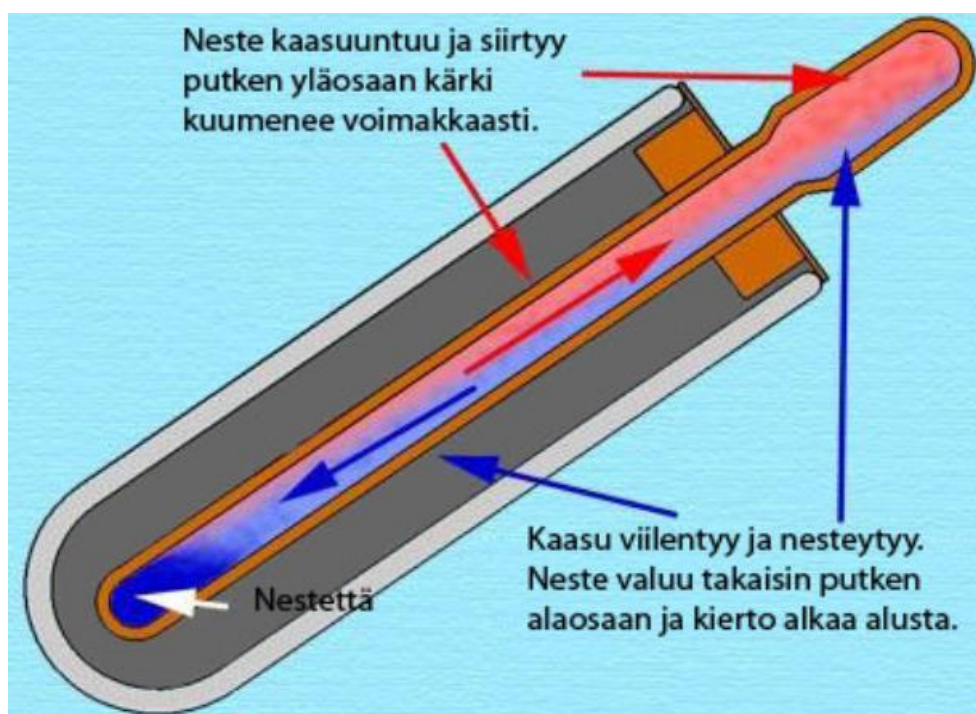




1. Tyhjiöputki
2. U-putki
3. absorberi
4. lämmönsiirtoneste - lähtö
5. lämmönsiirtoneste - tulo
6. polyuretaanivaahtoeristys

Kuvio 4. U-tyhjiöputki  
(Rica heating 2013).

Tyhjiöputkissa on erillinen suljettu lämpöputki heat-pipe. Aurinko läpäisee päälilmäisen kirkkaan lasin. Tyhjiö eristää lämmön putken sisälle ja sisemmän lasiputken pinnoite estää lämmön karkaamisen siirtäen lämmön sen sisällä olevaan kuparisauvaan. Sauvan sisällä oleva lämmönsiirtoneste kaasuuntuu lämmön vaikutuksesta ja nousee putken kärkeen, joka luovuttaa lämmön siirtonesteeseen. Samalla neste jäähtyy ja valuu takaisin putken alaosaan muuttuessaan nestemäiseksi. Kuviossa 5 on esitetty tyhjiöputken rakenne. (Aurinkoenergiälaitteiston maahantuoja ja jälleenmyyjä.)



Kuvio 5. Heat-pipe tyhjiöputki  
(Aurinkoenergialaitteiston maahantuojaja ja jälleenmyyjä).

### 3.2 Keräinten vertailu

Ilmankeräimen haittoja verrattuna nestekiertoiseen ovat alhainen lämpökapasiteetti, vaikeampi säädettävyys ja huonompi soveltuvuus lämpimän käyttöveden ja uima-altaiden lämmittämiseen. (Erat ym. 2008, 78.)

Ilman etu nesteeseen verrattuna on, että ilma ei jäädy eikä aiheuta yllämpenemisongelmia. Ilma on turvallinen, koska vuodot eivät vahingoita muita rakennusosia. Korroosio-ongelmia ei synny. Ilma lämpenee nopeammin kuin neste ja ilmankeräimet ovat helppo rakentaa. (Erat ym. 2008, 78.)

Tyhjiöputki pystyy hyödyntämään hajasäteilyn huomattavasti paremmin kuin tasokeräin, joten pystytään tuottamaan enemmän lämpöä syksyisin, keväisin ja talvisin. Tyhjiö varastoi lämmön putken sisälle, joten tyhjiöputki pystyy tuottamaan noin 30 % enemmän energiaa kuin tasokeräin. (Solartukku 2015.)

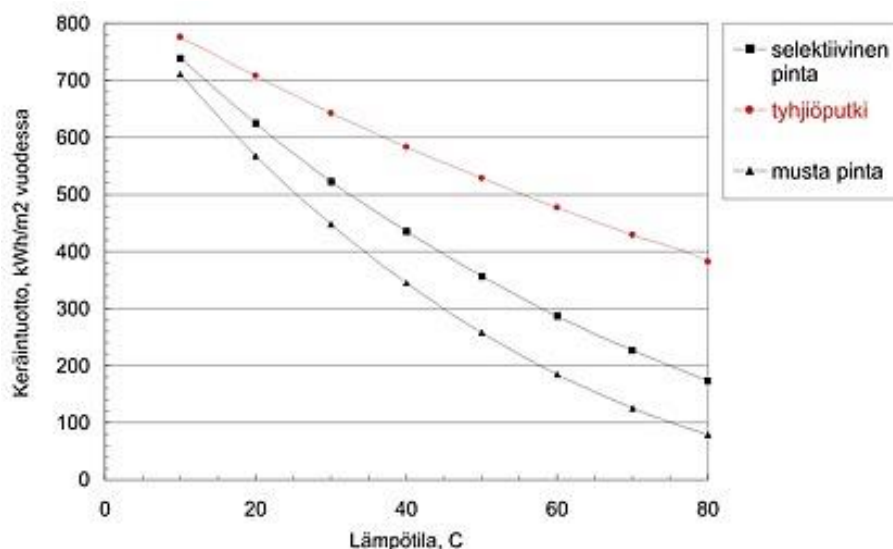
Jos järjestelmään halutaan korkeita lämpötiloja, tällöin parempi ratkaisu on tyhjiöputkikeräin, koska eristeen eli tyhjiön ansiosta päästään korkeampiin toiminta-

lämpötiloihin. Tasokeräin menettää enemmän lämpöä ympäristöönsä kuin tyhjiöputkikeräin, ja lämpöhäviö kasvaa lämpötilaeron suhteen.

Tasokeräin on edullinen, mutta sillä on hieman huonompi hyötysuhde kuin tyhjiöputkikeräimellä. Tasokeräimen hyvä puoli on, että se pysyy sulana talviolosuhteissa, koska sillä on korkeampi pintalämpötila kuin tyhjiöllä. Tasokeräimen lasi on tasainen, joten helpompi myös pitää puhtaana.

Tyhjiön lasi on paljon ohuempi kuin tasokeräimen, joten lasi voi särkyä helpommin. Tasokeräimessä on huomattavasti vähemmän liitántöjä ja osia kuin tyhjiökeräimessä, joten tyhjiökeräimen liitoksilla on suurempi vuotoriski.

Kuviossa 6 on esitetty kolmen eri keräimen tuotto vuodessa.



Kuvio 6. Erilaisten keräintyyppien keräintuotto vuodessa (Solpros 2001).

### 3.3 Aurinkokeräimen sijainti

Keräimen toiminnan kannalta on hyvin tärkeää, että auringon säteily pääsee paisamaan keräimeen esteettömästi koko päivän. Koko keräimen tulisi saada tasaisesti säteilyä. Paras paikka aurinkokeräimen sijaintiin on rakennuksen katto, koska se on sopivan varjoton ja lämmin paikka ja sinne harvemmin kasvien tai puiden varjot yltävät. Aukealla tontilla keräimiä ei tarvitse sijoittaa katolle, vaan ne voivat

olla myös maassa. Kun sijoituspaikkaa kerämille valitaan, on huomioitava, että keräin on mahdollisimman lähellä varaajaa. (Erat ym. 2008, 83.)

### **3.4 Aurinkokeräimen suuntaus**

Aurinkokeräimien sarjakytkentöjen takia minkään keräimen ei olisi hyvä jäädä varjoon, koska se ei tuota niin paljon energiaa.

Kiinteästi asennettavassa järjestelmässä suuntaus on yleensä kohti päiväntasaajaa eli etelään. Jos etelään suuntaaminen ei onnistu esimerkiksi varjostavan talon takia, järjestelmä voidaan suunnata länteen tai itään. Energian tuotto jää silloin pienemmäksi.

### **3.5 Aurinkokeräimen kallistuskulma**

Aurinkokeräimestä paras teho saadaan silloin, kun säteily tulee kohtisuoraan eli kun tulokulma auringosta on  $0^\circ$ . Paras suuntakulma keräimelle on etelä. Suuntausta suunnitellessa on huomioitava myös kallistuskulma. Kallistuskulma riippuu siitä, mitä halutaan painottaa. Jos halutaan painottaa koko vuoden tuottoa, niin silloin paras kallistuskulma on Suomessa 45 astetta. Etelässä kulma on vähän pienempi ja pohjoisessa vastaavasti taas isompi. Jos halutaan tuottoa pääasiassa kesällä, kulman ei tarvitse olla niin suuri. Kevättalven tuottoa vahvistettaessa keräimet nostetaan vielä suurempaan kulmaan, noin 60 asteeseen. Jos keräin asennetaan liian suureen kulmaan, keräimen lämmöntuotto pienenee varsinkin kesällä. (Erat ym. 2008, 83-84.)

Asennuskulmaa suunniteltaessa on huomioitava talviset olosuhteet. Talviolosuhteiden takia kannattaa asentaa keräin sellaiseen kulmaan, että lumi pysyisi niissä mahdollisimman huonosti. Keräin voidaan myös asentaa sellaiseen paikkaan, josta niistä olisi helppo poistaa manuaalisesti kertynyt lumi. Kun nämä asiat huomioidaan, aurinkokeräimet ovat silloin toimintakunnossa ja pystyvät ottamaan vastaan auringonsäteilyä talvella. (Erat ym. 2008, 84.)

### 3.6 Aurinkokeräimen hyötysuhteet

Aurinkokeräimeen tulevasta auringonsäteilystä voidaan hyödyntää vain osa. Hyödynnettävään aurinkoenergian määrään vaikuttavat järjestelmä ja sen sisäiset tekijät sekä ulkoiset tekijät. (Erat ym. 2008, 80-81.)

Järjestelmä ja sen sisäiset tekijät:

- aurinkokeräimen katteen ominaisuudet
- keräimen suuntaus ja kaltevuus
- keräimen käyttölämpötila
- aineiden absorptiokyky ja lämmönsiirtokyky
- lämmöneristys ja tiiviys
- lämmönsiirtoaineen ominaisuudet
- lämmönsiirtoputkien lämmöneristys
- etäisyys keräimistä varaajaan
- varaajan lämpötila
- tarvittava lämpötila ja energiamäärä.

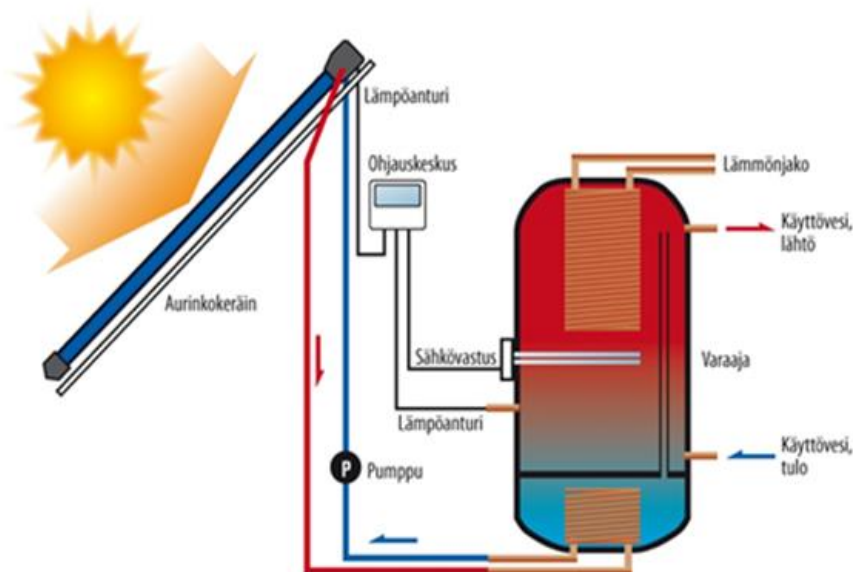
Ulkoiset tekijät:

- auringon tulokulma (vuodenaika ja kellonaika)
- varjot
- lämpötila
- tuulisuus.

## 4 AURINKOJÄRJESTELMÄN TOIMINTA JA OSAT

Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu monesta laitteesta ja komponentista. Näitä ovat aurinkokeräin, putkisto, lämmönsiirrin, pumppuyksikkö, ohjausyksikkö ja varolaitteet. Kuviossa 7 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmä ja sen kytkentä varaajaan. (Faninger-Lund & Lund 2000.)

Aurinkojärjestelmää ohjaa pumppuyksikkö, joka mittailee lämpötilaeroja keräimen ja varaajan välissä. Kiertovesipumppu käynnistyy, kun keräimessä lämpötila nousee yli varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötilan ja pumppu tuo keräimiltä kuumaa lämmönsiirtonestettä varaajassa olevaan aurinkokierukkaan. Pumppu kierrättää nestettä aina, kunnes varaaja on saavuttanut keräimissä olevan nesteen lämpötilan tai varaajalle asetetun maksimilämpötilan.



Kuvio 7. Aurinkojärjestelmän kytkentä varaajaan (Aurinkoenergia).

### 4.1 Aurinkokeräin

Aurinkokeräin on koko aurinkolämpöjärjestelmän keskeinen osa, josta kaikki lähtee liikenteeseen. Aurinkokeräimestä ja sen toimintaa on käsitelty jo aiemmassa luvussa.

## 4.2 Putkisto

Lämmönsiirtonestettä sisältävät putkistot. Kun auringon säteily on muutettu aurinkokeräimessä lämmöksi, lämpö siirretään putkistossa virtaavaan lämmönsiirtonesteen avulla varaajaan. Putkisto on kuparia, koska muoviputki ei kestä korkeita lämpötiloja. (Erat ym. 2008, 98.)

## 4.3 Varaaja

Aurinkokeräimistä saatu lämpö varastoidaan varaajaan. Sen tärkeä tehtävä on lämmittää käyttövesi. Varaajasta lämpö siirtyy lämmönvaihtimen kautta lämpimään käyttöveteen tai talon lämmitysjärjestelmään. Varaaja valitaan aurinkokeräinten pinta-alan mukaan, jos järjestelmässä ei ole muita suurempaa tilavuutta edellyttäviä komponentteja. (Erat ym. 2008, 98.)

## 4.4 Lämmönsiirrin

Varaajaan lämmönsiirtonesteen välityksellä kulkeutunut lämpö luovuttaa lämpönsä lämmönsiirtimeen kautta veteen. Lämmönsiirtimenä käytetään kompakuparikierukkaa, joka sijoitetaan varaajaan, tai erillistä ulkoista levylämmönsiirrintä. Yleensä ulkoista siirrintä käytetään, kun keräimet kytketään varaajan vapaisiin putkiyhteyksiin, jos ei ole vapaata tilaa laippakierukan sijoittamiseen. (Erat ym. 2008, 98.)

## 4.5 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikkö on aurinkolämpöjärjestelmän nestepiirin toiminnan ydin aurinkopiirin ohjaamiseksi. Palaava vesi on jäähtynyt, ja se kierrätetään takaisin keräimelle. Pumppu pumppaa veden takaisin. Pumppu käynnistyy, kun ohjausyksikön automatiikka ohjaa sen käyntiin. Pumppu sijaitsee kerääjän ja varaajan lämmönsiirtimeen välissä. (Erat ym. 2008, 97-98.)

## 4.6 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikön tehtävä on ohjata aurinkolämpöjärjestelmää. Keräimistä virtaava vesi varmistetaan varaajaan, kun lämpötila keräimissä on korkeampi kuin varaajan lämpötila, jolloin automatiikka käynnistää pumppuyksikön. Se estää myös varaajan ylikuumenemisen pysäyttämällä tarvittaessa pumpun. Ohjausyksikössä voi olla myös erilaisia hälytys- ja laskuritoimintoja. Ohjausyksikkö sisältää kaksi lämpötila-anturia, jonka avulla se pystyy mittaamaan lämpötilat. Lämpötila-anturit asennetaan varaajan alaosaan ja keräimen yläosaan. (Erat ym. 2008, 98.)

## 4.7 Paisunta-astia

Järjestelmä sisältää aina paisunta-astian, ja se on osa keräinpiirin putkistoa. Paisunnan tehtävä on pitää putkiston paine tasaisena. Keräinputkiston tilavuus muuttuu lämpötilan muuttuessa, joten sen takia paisuntaa tarvitaan tasoittamaan paineen. Paisunta-astian valinnassa on huomioitava riittävän korkea rakennepaine, joka määräytyy järjestelmän varoventtiin avautumispaineen perusteella. (Erat ym. 2008, 98.)

## 4.8 Venttiilit

Yksisuuntaventtiili on venttiili, joka ei päästä virtausta virtaamaan vastakkaiseen suuntaan. Järjestelmässä yksisuuntaventtiili estää käänteisen kierron tai lämmön virtaamisen keräimiin silloin, kun pumppu ei käy.

Ylipaineventtiilin avulla pystytään alentamaan putkiston painetta. Jos putkistossa paine kasvaa liian korkeaksi, ylipaineventtiili päästää kiertonestettä ulos.

Ilmanpoistiventtiilillä voi poistaa putkistosta ilmaa. Venttiili asennetaan aina järjestelmän korkeimpaan kohtaan.



## 5 AURINKOLÄMMÖN TUOTON LASKENTA

Aurinkolämmön tuotto lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 aurinkolämmön laskentaopas 2012:n mukaan. Laskelmien lähtötietona tarvitaan järjestelmän sijaintitiedot, LKV-järjestelmän lämpöenergiantarve eriteltynä kuukausitasolla, aurinkokeräimen pinta-ala ja varjostustekijät, käytettävän aurinkokeräimen toimivuusominaisuudet (hyötysuhde), keräinpiirin häviöt ja varaajan tilavuus.

Käyttövedettä lämmitetään aurinkokeräinjärjestelmällä. Suunnittelun lähtötiedot:

- Rakennus sijaitsee Lapualla, joten valitaan säävyöhyke 1.
- Keräinpinta-alaa on 8,8 m<sup>2</sup>.
- Keräimet ovat tyhjiökeräimiä, joiden hyötysuhde 80,3% ja hyötysuhdekäyrän lämpöhäviötermi  $a_1 = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Keräimet suunnataan etelään 45 asteen kallistuksella.
- Lämpimän käyttöveden kulutus on 300 l/vrk.
- Lämmin vesi on 55-asteista ja kylmä 5-asteista.
- Putkisto on eristetty eikä siinä ole käytetty kiertojohtoa lämpimälle käyttövedelle.
- Varaajan koko on 750 l.

### 5.1 Auringon tuotto yksinkertaisella menetelmällä

Käyttöveden lämmitys aurinkoenergialla lasketaan rakentamismääräyskokoelman D5 taulukoiden lukuarvoilla. Kerrotaan taulukon arvo keräinten pinta-alalla ja huomioimalla suuntauksen mukainen korjauskerroin (kaava 2). Menetelmällä lasketaan auringon osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta, mikä saa olla laskennassa korkeintaan 40 %.

Menetelmällä lasketaan

$$Q_{aurinko} = k * q_{keräin} * A_{aurinkokeräin} \quad (2)$$

missä

$q_{keräin}$  aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-  
alaa kohti kWh/m<sup>2</sup>,a ks. taulukko 1

$A_{aurinkokeräin}$  on aurinkokeräinten kokonaispinta-ala, m<sup>2</sup>

$k$  on keräinten suuntaukseen huomioon otettava kerroin ks.  
taulukko 2.

Taulukko 1. Keräinten tuottama aurinkolämpö keräinten pinta-alaa kohti, jota hyö-  
dynnetään käyttöveden lämmityksessä.

Vyöhyke/paikkakunta	$q_{aurinkokeräin}$ kWh/m <sup>2</sup> ,a
1 / Helsinki	156
2 / Jyväskylä	139
3 / Sodankylä	125

Taulukko 2. Keräinten suuntauksen huomioon ottavan kertoimen  $k$  luvut.

Suuntaus	$k$
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Aurinkolämmön tuotto lasketaan käyttäen säävyöhykettä 1, koska kohde sijaitsee  
Lapuaalla, taulukossa 1 määritettyjä ominaistuottoarvoa 156 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.

Aurinkolämmöllä voidaan tuottaa käyttövedestä

$$Q = 1,0 * 156 \frac{kWh}{m^2}, a * 8,8m^2 = 1379 kWh/a$$

(3)

## 5.2 Auringon tuotto tarkemmalla menetelmällä

Menetelmässä kuvataan aurinkolämmitysjärjestelmän tuoton ja kulutuksen sekä  
talteenotettavissa olevien häviöiden laskenta. Tietona käytetään taulukkoarvoja tai  
komponenttitestien tietoja.

Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla:

$$Q_{tuotto,A} = C_{tyyppi}(aY + bY + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) * Q_{tarve,A} \quad (4)$$

missä

$Q_{tuotto,A}$  on aurinkolämpöjärjestelmän tuotto tarkastelujaksolla

$Q_{tarve,A}$  on lämmöntarve, joka kohdistuu aurinkolämpöjärjestelmän (tilojen lämmitys ja käyttövesi tai pelkästään käyttöveden lämmitys) (kWh)

$C_{tyyppi}$  on varaajatyypin korjauskerroin. Menetelmässä käytetään aina arvoa 1

$a, b, c, d, e, f$  on varaajatyypistä riippuva korjauskerroin. Laskentamenetelmässä käytetään arvoja  $a = 1,029$ ,  $b = -0,065$ ,  $c = -0,245$ ,  $d = 0,0018$ ,  $e = 0,0215$  ja  $f = 0$

$X, Y$   $X$  on häviöt/tarve-suhde ja  $Y$  on tuotto/tarve-suhde.

Suureet  $X$  ja  $Y$  lasketaan kaavoista (5) ja (6)

$$X = \frac{A * U_c * \eta_{kierto} * \Delta T * t_h * c_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (5)$$

$$Y = \frac{A * IAM * \eta_o * \eta_{kierto} * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (6)$$

missä

$A$  on keräinten pinta-ala ( m<sup>2</sup>)

$IAM$  on keräytyyppiin liittyvä kohtauskulmakerroin, jolle oletusarvoina käytetään

$IAM = 1,0$  kattamattomalle keräimelle

$IAM = 0,94$  lasikatteisille tasokeräimille ja

IAM = 0,97 tyhjöputkikeräimille, jossa tasomainen absorptiopinta

IAM = 1,0 tyhjöputkikeräimille, jossa putkimainen absorptiopinta

$U_C$  on keräinpiirin lämpöhäviökerroin (W/m<sup>2</sup>K)

Keräinpiirin lämpöhäviökerroin  $U_C$  lasketaan kaavan (7) mukaan

$$U_C = a_1 + 40 a_2 + U_L/A \quad (7)$$

missä

$a_1$  keräinpinta-alaa vastaava keräimen lämpöhäviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan. Jos keräimelle ei ole testattua arvoa, käytetään: tyhjöputkikeräimille 3 W/m<sup>2</sup>K, tasokeäimille 6 W/m<sup>2</sup>K ja lasiottamattomille keräimille 20 W/m<sup>2</sup>K

$a_2$  keräinpinta-alaa vastaava keräimen häviökerroin standardin SFS EN 12975-2 mukaan. Jos kertoimille ei ole testattua arvoa, käytetään kaikille keräintyypille arvoa 0 W/m<sup>2</sup>K

$U_L$  keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin W/K, jossa keräinpiirin putki- ja eristystiedot on saatavilla, niin lämpöhäviökerroin voidaan laskea rakentamismääräyskokoelman D5 aurinkolämmön laskentaopas 2012 mukaan liitteen 3 mukaan.

Jos keräinpiiristä ei ole tietoja saatavilla,  $U_L$  arvioidaan kaavasta (8)

$$U_L = 5 + 0,5A \text{ (W/K)} \quad (8)$$

$\eta_{kierto}$  on keräinpiirin hyötysuhde ottaen huomioon lämmönvaihtimen vaikutus sekä keräinpiirin lämpöhäviöt. Oletusarvona käytetään 0,8.

$\eta_0$	on käytettävää keräinpinta-alaa vastaava standardin SFS EN12975-2 avulla saatu optinen hyötysuhde (hyötysuhdekäyrän leikkauspiste y-akselin kanssa, kun lämpötilaero on nolla)
$th$	on tarkastelujakson pituus (kuukausi), (h)
$\Delta T$	on keräimen standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero.

$\Delta T$  lasketaan kaavan (9) avulla

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_e \quad (9)$$

missä

$\theta_e$  on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta_{ref}$  on sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

Vertailulämpötila  $\theta_{ref}$  lasketaan kaavasta (10)

$$\theta_{ref} = 11,6 + 1,180 \theta_{hw} + 3,86 \theta_{cw} - 1,32 \theta_e \quad (10)$$

kun lasketaan pelkästään käyttöveden lämmityksen aurinko-osuutta, missä  $\theta_{hw}$  on lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään  $40^{\circ}\text{C}$ .  $\theta_{cw}$  on kylmän veden lämpötilan, käytetään arvoa  $5^{\circ}\text{C}$ , mikäli kuukausittaista arvoa ei ole käytettävissä.  $\theta_e$  on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila.

Kun varaajan tilavuus poikkeaa referenssitilavuudesta ( $75 \text{ dm}^3 / \text{keräin-m}^2$ ) niin aurinkojärjestelmän tuottoa määriteltäessä on muuttujaa X korjattava kertoimella  $c_{cap}$ , joka ottaa huomioon poikkeavan varaajakapasiteetin. Korjauskerroin lasketaan kaavasta (11)

$$c_{cap} = \left( \frac{V_{tod}}{V_{ref}} \right)^{-0,25} \quad (11)$$

missä

$C_{cap}$	on varaajakapasiteetin korjauskerroin, (-)
$V_{tod}$	on varaajan suunniteltu ominaistilavuus, ( $dm^3 / keräin\cdot m^2$ )
$V_{ref}$	on referenssitilavuus $75 dm^3 / keräin\cdot m^2$

### 5.2.1 Esimerkkilasku

Kohde sijaitsee Lapualla, jonne suunnitellaan aurinkolämpöjärjestelmä. Aurinkokehäintyyppinä käytetään tyhjiöputkikeräimiä. Laskussa lasketaan, paljonko aurinkojärjestelmästä saadaan tuottoa kaavan (4) avulla.

Rakentamismääräyskokelmasta D3 säätietojen taulukosta on saatu kuukausittaiset keskimääräiset ulkolämpötilat ja auringon säteilyenergiat. Korjauskertoimet etelän suuntaan 45 astetta kallistetulle pinnalle löytyy rakentamismääräyskokelmasta Aurinkolämmön laskentaoppaasta 2012 taulukosta 4. Kuukausittainen säteilyenergia kallistetulle pinnalle saadaan, kun säteilyenergia vaakasuoralle pinnalle kerrotaan korjauskertoimella (taulukko 3).

Taulukko 3. Kuukausittainen säteilyenergia kallistuneelle pinnalle.

	<b>Ulkoilman Keskilämpö- tila</b>	<b>Säteilyenergia vaakatasolle (kallistusku- ma 0°) kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>Korjaus- kerroin, keräin ete- läsuuntaan 45°</b>	<b>Kuukausittai- nen sätei- lyenergia kal- listuneelle pin- nalle kWh/m<sup>2</sup> kk Q<sub>keräin</sub></b>
<b>Tammikuu</b>	<b>-3,97</b>	<b>6,22</b>	<b>1,75</b>	<b>10,89</b>
<b>Helmikuu</b>	<b>-4,5</b>	<b>22,4</b>	<b>1,78</b>	<b>39,87</b>
<b>Maaliskuu</b>	<b>-2,58</b>	<b>64,3</b>	<b>1,5</b>	<b>96,45</b>
<b>Huhtikuu</b>	<b>4,5</b>	<b>119,9</b>	<b>1,24</b>	<b>148,68</b>
<b>Toukokuu</b>	<b>10,76</b>	<b>165,5</b>	<b>1,06</b>	<b>175,43</b>
<b>Kesäkuu</b>	<b>14,23</b>	<b>168,6</b>	<b>0,98</b>	<b>165,23</b>
<b>Heinäkuu</b>	<b>17,3</b>	<b>180,9</b>	<b>1,02</b>	<b>184,52</b>
<b>Elokuu</b>	<b>16,05</b>	<b>126,7</b>	<b>1,13</b>	<b>143,17</b>
<b>Syyskuu</b>	<b>10,53</b>	<b>82</b>	<b>1,33</b>	<b>109,06</b>
<b>Lokakuu</b>	<b>6,2</b>	<b>26,2</b>	<b>1,55</b>	<b>40,61</b>
<b>Marraskuu</b>	<b>0,25</b>	<b>8,1</b>	<b>1,56</b>	<b>12,64</b>
<b>Joulukuu</b>	<b>-2,19</b>	<b>4,4</b>	<b>1</b>	<b>4,4</b>
<b>Koko vuosi</b>	<b>5,57</b>	<b>975</b>	<b>1,2</b>	<b>1170</b>

Keskimääräinen säteilyteho pinnalla saadaan laskettua, kun säteily kallistetulle pinnalle kerrotaan 1000:lla ja se jaetaan tunneilla kuukaudessa, joka on esitetty kaavamuodossa kaavassa (12). Saadut tulokset on esitetty taulukossa 4.

$$\text{Keskimääräinen säteilyteho} = \frac{\text{säteily kallistetulle pinnalle} \cdot 1000}{\text{tunteja /kk}} \quad (12)$$

Taulukko 4. Keskimääräinen säteilyteho.

	<b>Päiviä / kk d</b>	<b>Tunteja / kk h</b>	<b>Keskimääräinen säteilyteho/kk W/m<sup>2</sup></b>
<b>Tammikuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>14,63</b>
<b>Helmikuu</b>	<b>28</b>	<b>672</b>	<b>59,33</b>
<b>Maaliskuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>129,64</b>
<b>Huhtikuu</b>	<b>30</b>	<b>720</b>	<b>206,49</b>
<b>Toukokuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>235,79</b>
<b>Kesäkuu</b>	<b>30</b>	<b>720</b>	<b>229,48</b>
<b>Heinäkuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>248,01</b>
<b>Elokuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>192,43</b>
<b>Syyskuu</b>	<b>30</b>	<b>720</b>	<b>151,47</b>
<b>Lokakuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>54,58</b>
<b>Marraskuu</b>	<b>30</b>	<b>720</b>	<b>17,55</b>
<b>Joulukuu</b>	<b>31</b>	<b>744</b>	<b>5,91</b>
<b>Koko vuosi</b>	<b>365</b>	<b>8760</b>	<b>1545,33</b>

Lämpimän käyttöveden kuukausittainen häviötön lämmityksen tarve eli sarake LKV lämmön tarve kWh/kk lasketaan kaavalla (13)

$$300 \frac{l}{vrk} * 1 \frac{kg}{l} * vrk \frac{lukumäärä}{kk} * 4,19 \frac{kJ}{kgK} * (55 - 5)^{\circ}C \quad (13)$$

Saatu vastaus on kilojoulea, joka muutetaan kilowattitunneiksi.

Lämpimän käyttöveden putkisto on eristetty perustason mukaisesti eikä siinä käytetä kiertojohtoa. Häviötön lämmityksen tarve kerrotaan luvulla 1/0,82, josta saadaan lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve eli  $Q_{tarve,A}$  (taulukko 5). Luku 0,82 saadaan D5 taulukosta 6.3, josta on valittu toimistorakennus ja eristetty perustaso.



Taulukko 5. Lämpimän käyttöveden lämmityksen tarve.

	LKV lämmön tarve kWh/kk	LKV + jakelu-häviö $Q_{\text{tarva,A}}$
Tammikuu	541,21	660,01
Helmikuu	488,83	596,14
Maaliskuu	541,21	660,01
Huhtikuu	523,75	638,72
Toukokuu	541,21	660,01
Kesäkuu	523,75	638,72
Heinäkuu	541,21	660,01
Elokuu	541,21	660,01
Syyskuu	523,75	638,72
Lokakuu	541,21	660,01
Marraskuu	523,75	638,72
Joulukuu	541,21	660,01
<b>Koko vuosi</b>	<b>6372,29</b>	<b>7771,09</b>

Keräinpiirin putkiston lämpöhäviökerroin lasketaan kaava (8) mukaan

$$U_L = 5 + 0,5 * 8,8 = 9,4 \text{ W/K}$$

Keräimet on tyhjiökeräimiä, joiden hyötysuhdekäyrä on  $a_1 = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Valmistaja ei ole ilmoittanut kerrointa  $a_2$ , joten käytetään arvoa 0, joka on tyhjiöputken kerroin. Keräinpiirin lämpöhäviökertoimeksi saadaan kaavan (7) avulla

$$U_C = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K} + 40 * 0 + \frac{9,4 \frac{\text{W}}{\text{K}}}{8,8 \text{ m}^2} = 3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Referenssilämpötila lasketaan joka kuukaudelle kaavan (10) avulla.  $\theta_e$  on keskimääräinen kuukausittainen lämpötila,  $\theta_{\text{hw}}$  on  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  ja  $\theta_{\text{cw}}$  on  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Muodostetaan taulukko 6, jossa on eritelty kuukausittain referenssilämpötilat ja niiden erotus  $\Delta T$ .

Taulukko 6. Kuukausittaiset referenssilämpötilat.

	$\theta_e$	$\theta_{ref}$	$\Delta T$
<b>Tammikuu</b>	<b>-3,97</b>	<b>83,34</b>	<b>87,31</b>
<b>Helmikuu</b>	<b>-4,5</b>	<b>84,04</b>	<b>88,54</b>
<b>Maaliskuu</b>	<b>-2,58</b>	<b>81,51</b>	<b>84,09</b>
<b>Huhtikuu</b>	<b>4,5</b>	<b>72,16</b>	<b>67,66</b>
<b>Toukokuu</b>	<b>10,76</b>	<b>63,90</b>	<b>53,14</b>
<b>Kesäkuu</b>	<b>14,23</b>	<b>59,32</b>	<b>45,09</b>
<b>Heinäkuu</b>	<b>17,3</b>	<b>55,26</b>	<b>37,96</b>
<b>Elokuu</b>	<b>16,05</b>	<b>56,91</b>	<b>40,86</b>
<b>Syyskuu</b>	<b>10,53</b>	<b>64,20</b>	<b>53,67</b>
<b>Lokakuu</b>	<b>6,2</b>	<b>69,92</b>	<b>63,72</b>
<b>Marraskuu</b>	<b>0,5</b>	<b>77,44</b>	<b>76,94</b>
<b>Joulukuu</b>	<b>-2,19</b>	<b>80,99</b>	<b>83,18</b>

Varaajan kapasiteetin korjauskerroin lasketaan kaavalla (11)

$$c_{cap} = \left( \frac{750 \text{ l}}{75 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} * 8,8 \text{ m}^2} \right)^{-0,25} = 1,29$$

Keräytyypin kohtauskulmakerroin IAM on tyhjiöputkikeräimille 0,97.  $\eta_{kierto}$  on keräinpiirin hyötysuhde, jonka arvoa käytetään 0,8.  $\eta_0$  on optinen hyötysuhde, arvo on 0,803.

Kun kaikki tarvittavat tiedot on saatu, voidaan laskea dimensioluvut X kaavasta (5) ja Y kaavasta (6) jokaiselle kuukaudelle kaavoista

$$X = \frac{8,8 \text{ m}^2 * 3,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * 0,8 * \Delta T * t_h * 1,29}{Q_{tarve,A}}$$

$$Y = \frac{8,8 \text{ m}^2 * 0,97 * 0,803 * 0,8 * Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}}$$

ja aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla (4)

$$Q_{tuotto,A} = 1 * (1,029Y - 0,065Y - 0,245cY^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 + 0X^3) \\ * Q_{tarve,A}$$

Joista saadaan taulukko 7

Taulukko 7. Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto.

	X	Y	$Q_{tuotto,A}$
<b>Tammikuu</b>	<b>2,77</b>	<b>0,09</b>	<b>0</b>
<b>Helmikuu</b>	<b>2,81</b>	<b>0,37</b>	<b>105,46</b>
<b>Maaliskuu</b>	<b>2,67</b>	<b>0,80</b>	<b>341,57</b>
<b>Huhtikuu</b>	<b>2,15</b>	<b>1,28</b>	<b>528,59</b>
<b>Toukokuu</b>	<b>1,69</b>	<b>1,46</b>	<b>621,26</b>
<b>Kesäkuu</b>	<b>1,43</b>	<b>1,42</b>	<b>599,52</b>
<b>Heinäkuu</b>	<b>1,21</b>	<b>1,53</b>	<b>662,24</b>
<b>Elokuu</b>	<b>1,30</b>	<b>1,19</b>	<b>549,25</b>
<b>Syyskuu</b>	<b>1,71</b>	<b>0,94</b>	<b>422,02</b>
<b>Lokakuu</b>	<b>2,02</b>	<b>0,34</b>	<b>129,31</b>
<b>Marraskuu</b>	<b>2,44</b>	<b>0,11</b>	<b>0,00</b>
<b>Joulukuu</b>	<b>2,64</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>
<b>Yhteensä</b>			<b>3959,23</b> <b>kWh/a</b>

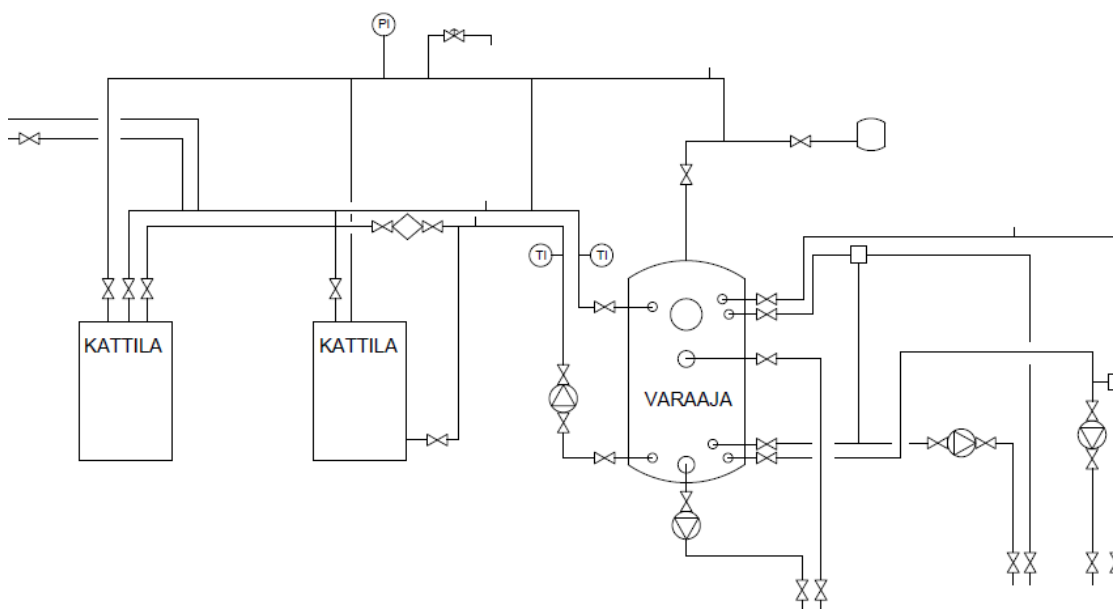
### 5.2.2 Tulokset

Vuosituotoksi saadaan 3959,2 kWh/a, kun yhdistetään kuukausittaiset aurinkolämmön osuudet. Lämmöntarve on 7771,1 kWh/a, joten saatu vuosituotto on 50,9 % käyttöveden lämmityksen tarpeesta. Yksinkertaisemmalla menetelmällä 5.1 saatiin 1248 kWh/a, mikä on huomattavasti pienempi tulos kuin luvussa 5.2 saatu 3959 kWh/a.

## 6 KOHDE

### 6.1 Kohteen kuvaus

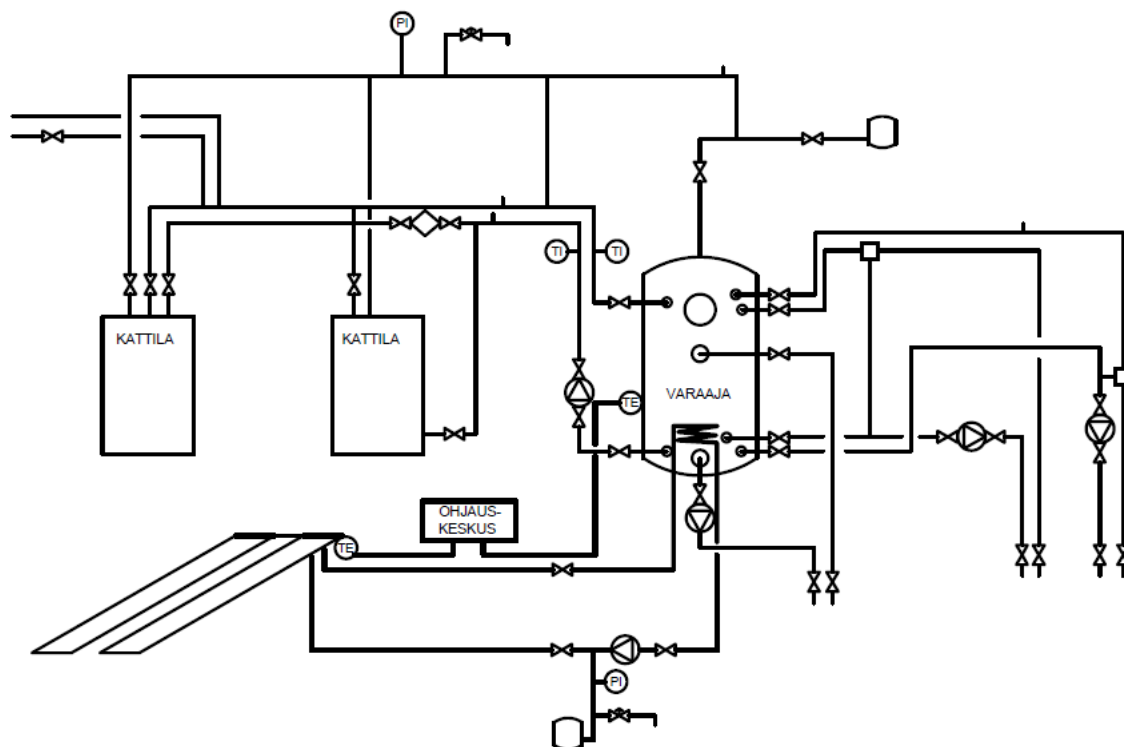
Kohde, johon suunnitellaan asennettavaksi aurinkolämpöjärjestelmä, on valmiina oleva kokeilulaitos. Järjestelmän suunnittelun ja asennuksen tarkoituksena on tutkia, miten keräin toimii toisena energialähteenä polttoaineen rinnalla. Kokeilulaitoksessa on valmiina hakelämmitteiset kattilat ja Akvatermin varaaja, jonka tilavuus on 750 litraa. Kokeilulaitoksen varaajasta menevät kytkennät ovat esitetty kuviossa 8.



Kuvio 8. Kokeilulaitos.

### 6.2 Aurinkokeräimen kytkentä

Varaajaan asennetaan lämmönsiirtimeksi aurinkokeräin. Varaajan kaikki putkilähdöt ovat varattu, joten aurinkolämpöjärjestelmä liitetään lämmönsiirtimeen. Alla on esitetty suunnitelma järjestelmän kytkemiseksi kuviossa 9.



Kuvio 9. Aurinkojärjestelmän kytkentä kokeilulaitokseen.

### 6.3 Aurinkokeräimen sijoitus

Kohteesta on löydettävä aurinkokeräimille hyvä sijainti. Keräimen tulee olla kohdassa, jossa auringon säteily pääsee mahdollisimman suoraan siihen niin, ettei tule kasvien tai puiden varjoja eteen.

Alue, jossa kokeilulaitos sijaitsee, on avaraa aluetta. Puita tai muita kasveja ei ole varjostamassa laitoksen kattoa. Keräin sijoitetaan kohteen katolle etelää kohti, jotta voidaan hyödyntää auringon energiaa mahdollisimman paljon.

### 6.4 Aurinkokeräimen asennus

Laitoksen takapuolella sijaitsee etelä ja etupuolella pohjoinen, joten aurinkokeräimet tulee sijoittaa eteläiselle puolelle. Katto kallistuu etelään, mikä helpottaa keräinten asentamista. Katon kaltevuus on 30 astetta. Katolle tarvitaan asennustelineitä, jotta kaltevuutta saadaan suurennettua. Asennustelineiden avulla saadaan

keräimet 45 asteen kulmaan, jolloin keräimet on 0 asteessa auringon kanssa eli silloin saadaan maksimaalinen määrä aurinkoenergiaa.



Kuva 1. Kokeilulaitoksen eteläpuoli.

Keräimet sijoitetaan kuvasta katsottuna rakennuksen vasempaan reunaan. Sijoittaminen tehdään vasemmalle puolelle, koska varaaja sijaitsee sisäpuolella suurin piirtein ruskean oven kohdalla. Varaajasta tulee olla mahdollisimman lyhyt matka keräimelle, jotta ei olisi suuria lämpöhäviöitä. Kokeilulaitoksen eteläpuoli näkyy kuvassa 1.

Haasteita keräimen asennukseen tuottaa Suomen talviolosuhteet. Keräimiin voi kertyä lunta tai jäätä talvella. Rakennuksen vasemmalla puolella sijaitsee portaat, joista päästään tarvittaessa katolle. Kun keräimet asennetaan katon vasempaan reunaan, sieltä on helppo päästä katolla puhdistamaan keräimistä lumi tarvittaessa.

## 6.5 Aurinkolämpöjärjestelmän komponenttien valinta

Kokeilulaitokseen on päätetty, että aurinkokeräimenä käytetään heat-pipe-tyhjiöputkia. Kaikki mahdolliset tuotteet tulee suunnitella Solartukun tuotteilla.

### 6.5.1 Aurinkokeräinpaketti

Koska kohteessa on valmiina 750-litrainen varaaja, sen perusteella on valittu Solartukulta SolarMax 2 aurinkokeräinpaketti, koska sen varaajasuosituksen on yli 600 litraa. Paketti sisältää kaksi Nova 30-58/1800-aurinkokeräintä. Aktiivista keräinpinta-alaa on yhteensä 8,8 m<sup>2</sup>. Pumppuryhmä ja ohjauskeskus WS962 sekä kahdet asennustelineet kuuluvat myös toimitukseen.

Aurinkokeräinpakettiin kuuluva aurinkokeräin Nova 30-58/1800-järjestelmä on heat-pipe-tyhjiöputket. Järjestelmän käyttöpaine on maksimissaan 6 baaria. Keräin sisältää 30 tyhjiöputkea keräintä kohden. Putken ulkohalkaisija on 58 mm ja pituus 1800 mm. Keräimellä on aktiivista keräyspinta-alaa 4,4 m<sup>2</sup>. Keräimen mitat ilman liittimiä ovat 2002 x 2320 x 135 mm. Kehikko on alumiinia ja ruostumatonta terästä. Tyhjiöputken lasina on borosilikaattilasi. Aktiivista absorptio pinta-alaa on 2,54 m<sup>2</sup>.

Aurinkokeräinpakettiin sisältyy WS962-ohjausyksikkö. Kokeilukohteeseen halutaan energiamittaus, mutta keräinpakettiin sisältyvä ohjausyksikkö ei sisällä energiamittauksia. Ohjausyksiköksi vaihdetaan Nova WS982, joka sisältää energiamittauksen.

Nova WS982:n automatiikka energiamittauksella sisältää integroidun ohjauspumppuryhmän, pumpun taajuusmuuttajalla, kaksi PT 1000 anturia, viisi NTC 10K anturia, painemittarin ja ylipaineventtiilin.

Ohjausyksikön osat ja tiedot:

- ohjausyksikkö, jonka suurin sallittu paine on 10 bar ja korkein sallittu lämpötila on 130 °C
- turvalaitteet, jotka ovat 6 bar varoventtiili, 0-10 bar painemittari ja liitäntä paisunta-astialle

- kiertovesipumppu Wilo RS15/6. Sen suurin sallittu käyttöpaine on 10 bar. Maksimi virtaus on 2,5 t/h ja maksimi nostokorkeus on 5m. Käyttölämpötila on -10 ja 110 °C välillä
- virtausmittari ja virtausnopeuden säädin. Mittarin asetusalue on 0,1 ja 20 l/min välillä. Säätimen suurin sallittu lämpötila on -20 ja 120 °C välillä.

### 6.5.2 Muut varusteet

Solartukulta tarvitaan aurinkokeräinpaketin lisäksi 10 metriä Novalämmönsiirtoputkisto kokoa DN16, josta saadaan kaksi 5 metrin putkea ja niihin liittimet DN16. Keräinten kiinnittämiseen katolle sekä halutun kulman saavuttamiseksi tarvitaan erikseen kaksi kattokiinnikesarjaa, jotka on tarkoitettu 30-putkiselle keräimelle. Järjestelmään tulee liittää ilmaus, mistä tarvittaessa ilmaa saa pois, joten valitaan automaatti-ilmaus SpiroTop Solar. Lämmönsiirtonesteenä käytetään propyleeniglygia 50/50-seosta, joka ei jäädy alle -39 °C:ssa. Lämmönsiirtonestettä tarvitaan yhteensä 23 litraa. Se jakautuu siten, että keräimiin menee 4 litraa, siirto-putkiin 4 litraa, kierukkaan 2,5 litraa ja paisunta-astiaan 12,5 litraa.

Näiden lisäksi järjestelmään tarvitaan paisunta-astia, jonka tilavuus on 25 l. Kohteeseen valitaan 6 baarin Reflex NG25-kalvopaisunta-astia. Venttiileitä tarvitaan 2 kappaletta DN20-palloventtiiliä ja yksi kappale DN20-takaiskuventtiiliä. 22 mm:n kupariputkea tarvitaan yhdistämiseen 4 metriä. Varaajaan laitetaan olemassa oleva aurinkokierukka, joka on kampakuparikierukka, jonka pinta-ala on 2,16 m<sup>2</sup>.



## 7 KUSTANNUKSET

### 7.1 Järjestelmän kustannukset

Aurinkolämpöjärjestelmän komponentit ovat suurimmaksi osaksi Solartukun tuotteita. Solartukun tuotteiden hinnat on saatu Solartukun toimitusjohtajalta. Tuotteiden, joita ei löytynyt Solartukun tuotteista, hinnat on katsottu LVI-Dahl Oy:n tuotehinnastosta (1.3.2014) ja verkkosivulta taloon.com.

Taulukko 8. Solartukun tuotteet ja hinnat.

	<b>Määrä</b>	<b>Kuluttaja hinta (24%)</b>	<b>Kuluttaja hinta yhteensä (24%)</b>
<b>SolarMax2 Nova WS982 yksiköllä</b>	<b>1 pkt</b>	<b>2 849,00 € + 200,00 €</b>	<b>3 049,00 €</b>
<b>Nova- lämmönsiirto putkisto DN16</b>	<b>10 m/pkt</b>	<b>295,00 €/pkt</b>	<b>295,00 €</b>
<b>QuickSet liittimet DN16</b>	<b>4 kpl</b>	<b>6,92 €/kpl</b>	<b>27,68 €</b>
<b>Kattokiinnikesarja 30 putkiselle</b>	<b>2 kpl</b>	<b>29,30 €/kpl</b>	<b>58,60 €</b>
<b>SpiroTop Solar</b>	<b>1 kpl</b>	<b>115,00 €/kpl</b>	<b>115,00 €</b>
<b>Lämmönsiirtoneste 10 l</b>	<b>23l</b>	<b>71,00 €/10 l pkt</b>	<b>213,00€</b>

Solartukun tuotteisiin on laskettu arvonlisäverot mukaan. Tuotteet maksavat yhteensä 3758,28 €.

Taulukko 9. Muut tuotteet.

	<b>Määrä</b>	<b>Kuluttaja hinta (24%)</b>	<b>Kuluttaja hinta yh- teensä (24%)</b>
<b>Takaiskuventtiili DN20</b>	<b>1 kpl</b>	<b>28,11 €/kpl</b>	<b>28,11 €</b>
<b>Reflex kalvo- paisunta – asti G25 6 bar</b>	<b>1 kpl</b>	<b>77,46 €/kpl</b>	<b>77,46 €</b>
<b>Kupariputki Cu- pori 110 22x3000</b>	<b>4 m</b>	<b>15,12 €/m</b>	<b>60,48 €</b>
<b>Palloventtiili ORAS DN20</b>	<b>2 kpl</b>	<b>24,23 €/kpl</b>	<b>48,46 €</b>
<b>Painemittari Wika 0-10 bar</b>	<b>1 kpl</b>	<b>16,90 €/kpl</b>	<b>16,90 €</b>

Loput tilattavat tuotteet, joita järjestelmään tarvitaan, maksavat yhteensä 231,41 €.

Yhteen lasketuksi hinnaksi saadaan Solratukun sekä muiden tuotteiden toimittajilta laskemalla yhteensä 3989,69 €. Tuotteiden yhteenlaskettu hinta ei ole yleensä loppusumma, vaan tarvittava työn on myös laskettava mukaan. Työtä ei lasketa mukaan, jos järjestelmä asennetaan itse. Kohteessa asennetaan järjestelmä itse, joten siitä ei tule lisäkustannuksia.

## 7.2 Järjestelmän takaisinmaksuaika

Lämmöntarve kohteessa on 7771,1 kWh vuodessa, josta aurinkokeräinjärjestelmällä saadaan tuotettua energiaa 3959,2 kWh vuodessa. Aurinkojärjestelmän kustannukseksi saadaan 3989,7 €. Polttohakkeen hinta on noin 3 c/kWh. Lämmöntarve polttohakkeella vuodeksi kustantaa 233,13 €, josta aurinkolämmöllä pystytään tuottamaan 118,8 € edestä, joten energiasäästöä saadaan 114,4 € vuodessa. Aurinkojärjestelmän takaisinmaksuaika saadaan laskettua järjestelmän kustannuksesta ja energiasäästöjen avulla, josta saadaan tulokseksi 34,9 vuotta.

Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

<b>Lämmöntarve</b>	<b>7771,1 kWh/a</b>
<b>Aurinkojärjestelmän tuotto</b>	<b>3959,2 kWh/a</b>
<b>Energiansäästö</b>	<b>114,4 €/a</b>
<b>Järjestelmän kustannus</b>	<b>3989,7 €</b>
<b>Polttohake</b>	<b>3 snt/kWh</b>
<b>Takaisinmaksuaika</b>	<b>34,9 vuotta</b>

Otetaan vertailuksi muita polttoaineita esimerkiksi puupelletti ja sähkö. Arvioidaan puupelletin hinnaksi 5,1 c/ kWh ja sähkön 11 c/kWh. Puupelletistä saadaan energia säästöä 194,4 € ja takaisinmaksuajaksi saadaan laskettua 20,5 vuotta. Energiasäästöä sähköstä saadaan 419,3 €, josta saadaan laskettua takaisinmaksuajaksi 9,5 vuotta.

## 8 POHDINTAA

Opinnäytetyö opetti hyvin aurinkolämmöstä, sen tuotosta ja toiminnasta. Opinnäytetyössä olisi ollut mielenkiintoista toteuttaa suunniteltu aurinkolämpöjärjestelmä ja seurata sen toimivuutta sekä verrata realistisia tuloksia laskettuihin tuloksiin.

Aurinkolämpöjärjestelmän laskennat ja suunnitelmat toteutettiin Solartukun tyhjiöputkikeräimillä. Työpaikallani Veljekset Ala-Talkkarilla kävi Solartukun toimitusjohtaja Keuruulta kesällä 2014. Heiltä sain lisätietoja aurinkojärjestelmistä ja heidän keräimistä ja tuotteista, minkä mukaan suunnitelmat on tehty.

Laskentamenetelmällä saadaan laskettua aika tarkasti, kuinka paljon aurinkokeräin pystyisi tuottamaan aurinkoenergiaa. Mutta menetelmästä saadut tulokset eivät kuitenkaan ole realistisia, vaikka laskutoimitus olisikin suoritettu tarkoilla arvoilla. Keräinten toimintaan vaikuttavat monet asiat sekä häiriötekijät muun muassa asennusvirheet tai varjoisuus. Laskentamenetelmän laskuissa otetaan huomioon keskimääräiset ulkolämpötilat ja säteilyn määrät, mutta ei huomioida paikallisia sääolosuhteita. Esimerkiksi sumu voi heikentää tuottoa.

Opinnäytetyössä esitetty takaisinmaksuajan laskutoimitus on vain teoreettinen, koska laskussa ei ole huomioitu keräinten hyötysuhteen heikentymistä tai huoltokustannuksia, joita laite tulee tarvitsemaan elinkaarensa aikana. Kun todellisuudessa lasketaan takaisinmaksuaika, kaikki ylimääräiset kustannukset sekä laitteiston heikentyminen tulee huomioida.

Kohteessa käytetään polttoaineena haketta pääenergialähteenä. Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi saadaan 34,9 vuotta, mikä on aika suuri. Takaisinmaksuaikaan ei siis ole huomioita lisäkustannuksia laitteiston heikentymisestä.

Aurinkokeräinten takaisinmaksuajasta sanotaan, että se vie vain muutaman vuoden, mutta se ei pidä paikkaansa. Takaisinmaksuaika riippuu monesta tekijästä, joista yksi suurin vaikuttaja on polttoaineen hinta. Jos esimerkiksi pääenergialähteenä olisi puupelletti tai sähkö auringon rinnalla, tilanne olisi aivan toisenlainen. Saman järjestelmän takaisinmaksuaika olisi puupellettijärjestelmän kohdalla 20,5

vuotta ja sähkön 9,5 vuotta. Takaisinmaksuaikojen jälkeen saadaan vasta ilmaista energiaa käyttöön, toki siihenkin on tarpeellinen huolto huomioitava.

Aurinkoenergia on uusiutuva ja ympäristöystävällinen energian tuottomuoto, joka on kasvussa. Aurinkolämpöjärjestelmät tulevat yleistymään paljon Suomessa ja varmasti myös muualla maailmalla. Takaisinmaksuaikoja laskettaessa tai katsoessa herää kysymys, että onko tässä mitään järkeä, jos menee noin 40 vuotta, että laite maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaikaan on huomioitava myös laitteiston ikääntyminen, joten kestääkö laite edes niin montaa vuotta ja saako sitä maksettua koskaan takaisin. Aurinkojärjestelmä on kannattavinta silloin, kun pääenergiälähteenä on kallis polttoaine ja kun järjestelmän energiantuotto on suuri, koska silloin järjestelmän takaisinmaksuaika on pienimmillään.

## LÄHTEET

- Aalto, S. 18.3.2013. Aurinkoenergian mahdollisuudet maatilalla. [Verkkojulkaisu]. Ulvila: Aurinkoteknillinen yhdistys ry. [Viitattu 1.4.2015]. Saatavana: [http://www.mtk.fi/liitot/satakunta/ajankohtaista/tiedotteet\\_uutiset/tiedotteet\\_2013/fi\\_FI/1363872010856/files/89403740223308434/default/MTK%202013.pdf](http://www.mtk.fi/liitot/satakunta/ajankohtaista/tiedotteet_uutiset/tiedotteet_2013/fi_FI/1363872010856/files/89403740223308434/default/MTK%202013.pdf)
- Aurinkoenergia. Ei päiväystä. Aurinkoenergiajärjestelmät. [Verkkosivu]. Tampere: Pirkanmaan vedenkäsittely Oy. [Viitattu 7.4.2015]. Saatavana: <http://www.pirkanmaanvedenkasittely.fi/aurinkoenergia/>
- Aurinkoenergialaitteiston maahantuojaja ja jälleenmyyjä. Ei päiväystä. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate. [Verkkojulkaisu]. Katinala: Energia Auringosta Oy. [Viitattu 19.2.2015]. Saatavana: <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>
- Aurinkopuisto. Päivitetty 3.5.2001. Ilma- ja aurinkolämpö. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.2.2015]. Saatavana: <http://www.aurinkopuisto.com/Aurinkol%C3%A4mp%C3%B6.php>
- D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2012. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- D5 Aurinkolämmön laskentaopas. 2012. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja -sähkönenergiantuoton laskennan opas. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Helsinki: Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyma, C., Peikko, K., Peltola, S. & Suokivi, H. (toim.) 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- Faninger-Lund, H. & Lund, P. 2000. Aurinkolämmön itserakennusopas. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Solpros. [Viitattu 20.2.2015]. Saatavana: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>
- Ground Energy. Ei päiväystä. Aurinkoenergiaa Suomessa. [Verkkosivu]. Vaasa: MRP Energy Oy. [Viitattu 3.4.2015]. Saatavana: <http://www.groundenergy.fi/aurinkoenergia+/>
- Linnaluoto, S. 1994. Aurinko. [Verkkojulkaisu]. Kosmos, tähtitieteen viitetietokanta. [Viitattu 5.4.2015]. Saatavana: <http://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/aurinko.html>

- Motiva. Päivitetty 7.5.2014. Aurinkoenergia. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 2.4.2015]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia)
- Motiva. Päivitetty 13.5.2014. Aurinkoenergia. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 2.4.2015]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet)
- Rica heating. 2013. Rica Solar UC58CU-putkikeräin. [Verkkosivu]. Riihimäki: Riihimäen Metallikaluste Oy. [Viitattu 20.2.2015]. Saatavana: <http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-uc58c-u-putkikerain>
- RT 50-10482. 1992. Aurinkolämmitys. Helsinki: Rakennustieto.
- Saimaa Gardens Services. Ei päivystä. Aurinkoenergia maailmalla. [Verkkosivu]. Lappenranta: Energia Oy. [Viitattu 10.3.2015]. Saatavana: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=75>
- Solartukku. 2015. Pienemmällä hiilijalanjäljellä. [Verkkosivu]. Keuruu: Solartukku. [Viitattu 30.3.2015]. Saatavana: <http://www.solartukku.fi/ekologisempi-vaihtoehto>
- Solpros. 2001. Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Solpros ay. [Viitattu 4.4.2015]. Saatavana: [http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport\\_final.PDF](http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF)
- Toivonen, M. 5.3.2012. Auringon lämmitysvaikutus. [Blogimerkintä]. Helsinki: Foreca. [Viitattu 10.3.2015]. saatavana: <http://blogi.foreca.fi/2012/03/auringon-lammitysvaikutus/>