



AURINKOLÄMMÖN KÄYTTÖ RAKENNUSTEN LÄMMITYKSESSÄ JA SEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET

Timo Pimiä

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2011
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kiinteistönpitotekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kiinteistöpitotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Pimiä Timo: Aurinkolämmön käyttö rakennusten lämmityksessä ja sen investointikustannukset

Opinnäytetyö 43 s., liitteet o s.
Toukokuu 2011

Työni tarkoituksena oli käydä läpi aurinkolämpöjärjestelmän toimintaedellytyksiä Suomessa. Työssä on selvitetty, kuinka hyötysuhdetta voidaan parantaa keräinten suuntaamisella, sijoittamisella ja automaatiolla. Keräimissä perehdytään sekä tasokeräimeen että tyhjiöputkikeräimeen. Aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttavat keräinten lisäksi olennaisesti myös järjestelmän muut osat. Niinpä aurinkolämpöjärjestelmän muutkin pääosat on esitetty työssä sekä selvitetty niiden tekniikkaa ja toimintaperiaatetta.

Taloudellinen tarkastelu suoritettiin pelkästään tyhjiöputkijärjestelmälle. Investoinnin suuruus perustui kolmelta eri toimittajalta saatuun tarjouspyyntöön. Järjestelmästä saatua tehoa pidettiin takaisinmaksuaikaa laskettaessa samana kuin esimerkkitalo Allinnan Helmessä. Niinpä järjestelmän koko eli keräinala ja putkivedon määrä ja muut asiat on laskettu siten, että ne ovat verrattavissa esimerkkikohteeseen.

Aurinkolämpöjärjestelmä on erityisen kannattava investointi, kun sillä korvataan sähköllä tai lämmitysöljyllä tuotettua energiaa. Järjestelmä on kannattava myös kaukolämmön osalta silloin, kun järjestelmä pystyy keräämään saman määrän energiaa kuin esimerkkikohteessa Allinnan Helmessä eli 10 MWh, eikä investointiin sisälly varaajasta aiheutuvaa kustannusta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
School of Construction Engineering
Degree Programme in Facility Engineering

Pimiä, Timo-Juhani: The use of solar heating in the buildings and its investment costs

Bachelor's Thesis 43 pages, appendices 0 pages

May 2011

The purpose of this Thesis was to clarify the operational preconditions of solar heating in Finland. The thesis explains which things affect to efficiency of vacuum pipe collector or to the solar panel. The output does not only depend on the efficiency of the collectors but from whole system. Therefore all the main parts of the solar heating systems are explained in this Thesis.

The economical examination was made only to the vacuum pipe collector system. Prices of such systems were asked from three different contractors. The output of the system was estimated to be the same that than in block of flats in Riihimäki in joint-stock Property Company called Allinnan Helmi.

The solar heating system needed to be same size that than in Allinnan Helmi so that it could produce as much energy. After estimation of the prize of this system it was compared to money saved in other heating forms. Thus it was possible to count the time that system had paid itself back.

The rising costs of energy and Finland's obligation to increase renewable energy to 38 percent by year 2020 from the whole energy consumption will increase renewable energy's use in different forms. The state also endorses the investments to renewable energy systems. The solar heating system can not cover the whole need of heating but it is a good addition to almost any main heating system.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
2. AURINKOENERGIA	6
2.1 Aktiivinen ja passiivinen aurinkoenergia	6
2.2 Vaakasäteily ja hajasäteily	6
2.3 Edellytykset Suomessa	7
2.4 Säteilyn maksimointi	9
2.5 Nestekiertoinen tasokeräin	11
2.6 Tasokeräimet	13
2.7 Tyhjiöputkikeräimet	15
2.7.1 Märkä liitântä	16
2.7.2 Kuiva liitântä	17
2.7.3 CPC-keräimet ja heijastavat pinnat	17
2.8 Aurinkokeräimien toimintaperiaate	18
2.9 Aurinkolämpöjärjestelmän osat	18
2.9.1 Aurinkokeräin	19
2.9.2 Pumppuyksikkö	19
2.9.3 Ohjausyksikkö	21
2.9.4 Putkisto	22
2.9.5 Varaaja	23
2.9.6 Sekoitusventtiili	24
2.9.7 Lämmönvaihdin	26
2.9.8 Lämmönsiirtoneste	27
2.9.9 Aurinkolämpöjärjestelmän liittäminen muihin lämmitysmuotoihin	28
2.9.10 Aurinkolämpö ja kaukolämpö	28
2.9.11 Aurinkolämpö ja öljykattila	29
2.9.12 Aurinkolämpö ja pellettikattila	30
2.9.13 Aurinkolämpö ja lämpöpumppu	30
3. AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN HYÖTYSUHTEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	33
4. ESIMERKKITALO ALLINNAN HELMI	33
5. KANNATTAVUUS	34
5.1 Järjestelmän kannattavuus (kaukolämpö)	35
5.2 Järjestelmän kannattavuus (lämmitysöljy)	36
5.3 Järjestelmän kannattavuus (sähkö)	37
6. POHDINTAA	37
LÄHTEET	39

1. JOHDANTO

Työni tarkoituksena oli selvittää aurinkokeräinten toimintaa ja tekniikkaa sekä niiden soveltuvuutta Suomen olosuhteissa. Aurinkokeräinten hyötysuhteeseen vaikuttavat olennaisesti keräinten sijoitus ja suuntaus ja tämän lisäksi aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttavat hyvin paljon myös putkitukset, automatiikka ja varaaja. Niinpä järjestelmän pääosatkin on käyty opinnäytetyössä lävitse.

Työssä on käsitelty tasokeräinten ja tyhjiöputkikeräinten toimintaperiaatetta ja tekniikkaa. Taloudellinen tarkastelu laskettiin annetuin reunaehdoin ja sillä selvitettiin, millä aikavälillä aurinkolämpöjärjestelmä on maksanut itsensä takaisin. Tämä tarkastelu suoritettiin ainoastaan tyhjiöputkikeräinjärjestelmälle. Aurinkolämpöjärjestelmän hinnat on selvitetty kolmelta eri urakoitsijalta ja järjestelmästä saatavana tehona käytettiin samaa kuin esimerkkitalo Allinnan Helmessä, joka sijaitsee Riihimäellä.

Laskennan lähtökohtana oli kolmelta eri urakoitsijalta saatu tarjous, josta muodostettiin investoinnin suuruus. Investointi laskettiin kahdella eri tavalla, sekä ilman varaajaa että varaajan kanssa. Säästetyn energian suuruutena pidettiin 10 MWh, joka on saavutettu Allinnan Helmessä. Takaisinlaskuajoissa ei huomioitu mahdollisesti saatavia energia-avustuksia, jotka osaltaan alentaisivat investoinnin hintaa ja näin ollen lyhentäisivät takaisinmaksuaikaa.

2. AURINKOENERGIA

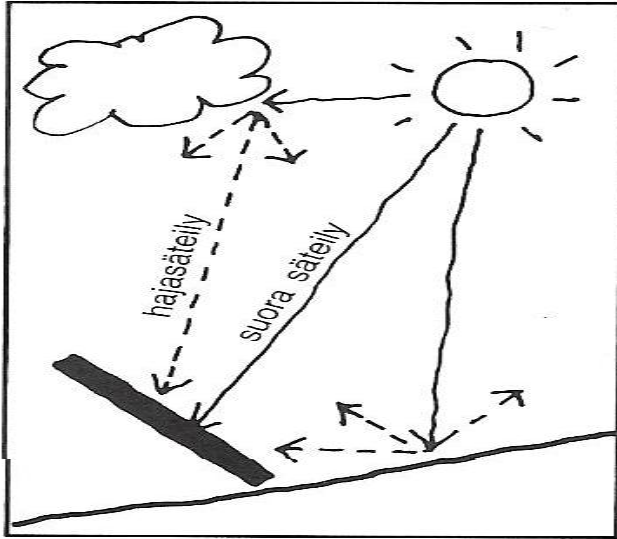
2.1 Aktiivinen ja passiivinen aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisesta auringonenergian hyödyntämisestä puhutaan esimerkiksi silloin, kun jollakin rakenteellisella ratkaisulla pyritään vähentämään rakennuksen lämmitystarvetta. Massiiviset rakenteet pystyvät varaamaan enemmän lämpöä kuin kevyet, mutta raskailla rakenteilla ei aurinkolämmön osuutta voida kasvattaa hirveän suureksi (Seppänen & Seppänen 1996, 150). Ikkunoiden suuntaus etelään on yksi konkreettinen tapa vähentää rakennuksen lämmitystarvetta. Nykyisissä yhä paremmin eristetyissä taloissa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon, ettei edellä mainitulla toimenpiteellä talvella saatuja energiansäästöjä menetetä kesällä lisääntyneenä jäähdytystarpeena.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan aktiivista aurinkolämmityksen hyödyntämistä. Näistä perehdytään sekä tasokeräimiin että tyhjiöputkikeräimiin. Auringonvalolla on myös toki mahdollista tuottaa sähköä aurinkokennoilla, mutta tässä työssä keskitytään pelkästään auringon avulla tuotettavaan lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja rakennuksen lämmittämiseen.

2.2 Vaakasäteily ja hajasäteily

Auringonsäteily voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: hajasäteilyyn, suorasäteilyyn ja vastasäteilyyn. Suoralla auringonsäteilyllä tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tullutta säteilyä. Hajasäteily on puolestaan ilmakehän molekyylien pilvien heijastamaa sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Vastasäteilyä aiheuttavat ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. (Erat ym. 2008, 12.) Kuvassa 1 on havainnollistettu suoran auringonsäteilyn ja hajasäteilyn ero. Hajasäteilyksi sisällytetään yleensä myös vastasäteily. Vastasäteilyä kutsutaan myös kasvihuonevaikutukseksi. (Erat ym. 2008, 12.)



KUVA 1. Suora säteily ja hajasäteily (Erat ym. 2008, 12)

2.3 Edellytykset Suomessa

Ongelma aktiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä Suomessa on lämmitystarpeen ja aurinkoenergian saannin eriaikaisuus (Seppänen & Seppänen 96, 148). Tämän lisäksi Suomen ilmaston haittapuolena voidaan pitää matalia lämpötiloja, jotka kasvattavat erityisesti tasokeräinten lämpöhäviöitä ja täten vähentävät myös hyötysuhdetta. Tyhjiöputkissa lämpöhäviöt eivät ole yhtä suuret johtuen tyhjiöeristyksestä.

Vertailtaessa Suomea muihin maihin huomataan, etteivät Suomen olosuhteet ole ideaalit aktiiviselle aurinkolämmitykselle. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että esimerkiksi pientaloissa keskimäärin käytettävä lämmitysenergian määrä on $140 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ ja vaakatasolle osuva aurinkosäteily n. $1000 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ Etelä-Suomessa ja $900 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ Keski-Suomessa. (Erat ym. 2008, 13.)

TAULUKKO 1. (Seppänen & Seppänen 1996, 150)

	Leveyspiiri	Säteily- summa kWh/m ²	Vuoden keski- lämpötila °C
El Paso, USA	31°48' N	2309	17,6
Jerusalem	31°47' N	2089	16,9
New Delhi	28°35' N	1987	25,3
Lissabon	38°43' N	1689	16,6
Ateena	37°58' N	1541	17,8
Rooma	41°48' N	1435	15,9
New York	40°47' N	1405	12,6
Budapest	47°26' N	1210	11,2
Wien	48°15' N	1070	9,8
Pariisi	48°49' N	1032	10,9
Lontoo	51°31' N	1023	10,6
Moskova	55°45' N	1015	4,4
Tukholma	59°21' N	993	6,6
Kööpenhamina	55°40' N	976	8,5
Hampuri	53°38' N	938	8,6
Helsinki	60°12' N	938	5,3
Pietari	59°58' N	908	4,6
Jokioinen	60°49' N	887	3,9
Sodankylä	67°22' N	807	-1,0

Ongelma, kuten edellä on jo mainittu, on siis energiansaannin ja lämmitystarpeen eriaikaisuus. Taulukko kuvaa aurinkoenergian summaa vaakatasolla. Suomessa kuitenkin hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on suuri (Seppänen & Seppänen 1996, 150). Niin tasokerääjät kuin tyhjiöputkijärjestelmät pystyvät hyödyntämään auringon hajasäteilyä. Aurinkoenergia ei ole myöskään ennalta arvioitavissa. Toisin sanoen sen saanti ei ole tasaista kuten perinteisillä lämmitystavoilla (öljy, kaukolämpö ja sähkö). Näin ollen aurinkolämmitykseen liittyy aina tarve varata kerättyä lämpöä.

Suomi sijaitsee 60:n ja 70:n pohjoisen leveyspiirin välissä. Näin ollen auringonsaanti ei jakaudu maan sisälläkään tasaisesti. Absoluuttiseen auringonpaisteaikaan vaikuttaa pilvisuus sekä tämän lisäksi vuodenaika. Jotta saataisiin vertailukelpoinen suure, käytetään suhteellista auringonpaistetta, jolla tarkoitetaan havaitun paistajan suhde suurimpaan havaittavissa olevaan

paiste aikaan eli maksimipaisteeseen. Maksimipaiste on paistesumma, joka saadaan kyseisellä havaintopaikalla täysin kirkkaalla säällä. (Erat ym. 2008, 24.)

TAULOKKO 2 Keskimääräiset auringonpaistetunnit kuukausittain eri paikkakunnilla 1961–1990 (Erat ym. 2008, 25)

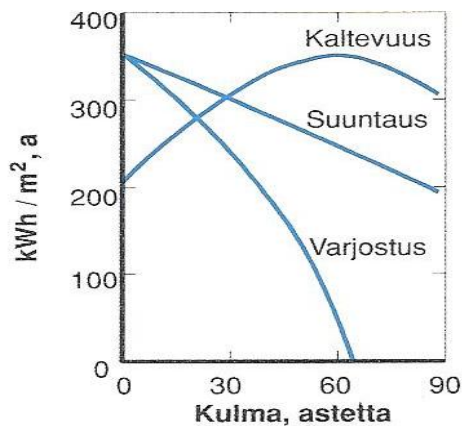
Kuukausi	Helsinki	Vaasa	Joensuu	Utsjoki
Tammikuu	39	29	30	1
Helmikuu	72	72	69	36
Maaliskuu	130	131	131	116
Huhtikuu	183	190	174	168
Toukokuu	275	277	259	203
Kesäkuu	298	303	264	232
Heinäkuu	275	283	265	239
Elokuu	222	220	197	142
Syyskuu	135	131	114	84
Lokakuu	90	85	62	48
Marraskuu	37	40	24	7
Joulukuu	28	21	17	0

2.4 Säteilyn maksimointi

Aurinkoenergiajärjestelmän optimaaliseen toimintaan ja energiantuottoon vaikuttavat merkittävästi: laitteen sijainti, kallistuskulma ja suuntaus. Sijainnin kannalta tärkein asia on, että laite ei ole varjoisessa paikassa. Tärkeää olisi, että koko järjestelmä saisi tasaisesti säteilyä. Sijainnilla on tärkeä merkitys Suomessa varsinkin talvella, jolloin aurinko paistaa alhaalla ja varjot ovat pitempiä. (Erat ym. 2008, 15.) Keräinten sijoituspaikkaa valittaessa tulisi etäisyys varaajasta pitää mahdollisimman pienenä, jolloin vähennetään lämmönsiirrossa tapahtuvia lämpöhäviöitä. Tasokeräinten kohdalla on lisäksi muistettava, että ne toimivat sitä paremmin, mitä lämpimämpi ja tuulettomampi paikka on kyseessä. (Erat ym. 2008, 83.)

Optimaalinen suuntaus saavutetaan suuntaamalla keräimet etelään. Toisaalta jos edessä on jokin varjostava talo, voidaan ne suunnata myös itään tai länteen. Näin voidaan saada enemmän energiaa tapauksissa, joissa suuntaus etelään ei ole mahdollista esimerkiksi juuri varjoisuuden takia. Toisaalta suuntauksella itään tai länteen ei pystytä tuottamaan niin paljon energiaa, kuin keräimet tuottaisivat, jos niiden suuntaus olisi etelään. Suuntaukseen voi vaikuttaa myös tarvittavan rakennuksen energiamäärä ja se milloin järjestelmältä vaaditaan

eniten energiaa. Jos järjestelmän kuormitushuippu on aamulla, kannattaa se suunnata itään, jos taas illalla suunnataan se länteen. Suuntauksen kulma voi vaihdella +/- 45° astetta etelästä, jos järjestelmä halutaan optimoida tuottamaan mahdollisimman paljon ympärivuotisesti. Häviöt jäävät tällöin vain 7 %:iin. Jos kyse on kesän optimoinnista, häviöt ovat vieläkin pienemmät. (Erat ym. 2008, 15.) Tärkein asia suuntauksessa on varjostuksen välttäminen. Tämä selviää kuvasta 2, jossa on selvitetty suuntauksen, kallistuksen ja varjostuksen vaikutusta kerättyyn energiaan.



Kuva 2. Järjestelmän kaltevuuden, suuntauksen ja varjostuksen vaikutus kerättyyn energiaan. Kaltevuus vaakatasosta, suuntaus poikkeama etelästä ja varjostus kulmana vaakatasosta (Seppänen & Seppänen 1996, 153)

Paras teho aurinkoenergelaitteesta saadaan säteilyn tullessa laitteeseen kohtisuoraa eli silloin kun tulokulma on 0°. Auringon korkeus kuitenkin vaihtelee eri vuodenaikoina ja myös paikkakunnan sijainnin leveysaste vaikuttaa auringon korkeuteen. Jos laitteelta halutaan paras teho kesäaikaan keskipäivällä, on paras kallistuskulma sama kuin leveysaste. (Erat ym. 2008, 15.)

Kallistuskulmaan voi vaikuttaa kuitenkin se minä vuodenaikana tai kellonaikana paras teho keräimiltä halutaan. Myös ympäristön ominaisuudet voivat vaikuttaa valittavaan kallistuskulmaan. Jos painutuksena on koko vuoden tuoton maksimointi, paras kallistuskulma on 45°. Etelä-Suomessa tämä kulma on vähän pienempi ja Pohjois-Suomessa vähän suurempi. Kesän energiantuoton optimointiin riittää loivempi kulma. Jos halutaan korostaa kevättalven tuottoa, keräimet kannattaa nostaa noin 60°:n kulmaan etelässä ja Pohjois-Suomessa kulma voi olla jopa 60–70 °. (Erat ym. 2008, 84.)

Käytännön syistä on monesti helpompaa asentaa aurinkokeräimet rakennuksen katolle tai vaihtoehtoisesti rakennuksen seinälle, riippuen mikä vuodenaika on energiansaannin kannalta tärkein. Asennuskulmaa mietittäessä tulisi ottaa huomioon myös Suomen pohjoiset olosuhteet lumisateineen ja jäätymisineen, niin, että lumi pysyisi niissä mahdollisimman huonosti tai että ne ovat paikassa, jossa lumen poistaminen niistä on helppoa. Alustan suuntaus ei näistä syistä ole aina optimaalinen, mutta tämä voidaan korvata kasvattamalla aurinkokeräinten pinta-alaa. (Erat ym. 2008, 84.)

Myös ympäristössä mahdollisesti tapahtuvat olosuhteiden muutokset on otettava huomioon suunniteltaessa aurinkolämpöjärjestelmän sijoittamista. Vaikka keräinten suuntaus etelään olisi kerättävän energian kannalta paras vaihtoehto, voi keräimistä saatava hyötyä kadota täysin, jos eteläpuolelle valmistuu rakennus, josta aiheutuva varjo lankeaa aina keräimille saakka. On myös muistettava, että talvikuukausina varjot lankeavat pitemmälle kuin kesäkuukausina, koska aurinko paistaa talvella alemmassa kulmassa. Niinpä uusi rakennus tai jokin muu rakennelma ei välttämättä alenna keräimillä saatavaa energiamäärää kesäkuukausina, mutta se voi vähentää koko vuoden energiantuottavuutta merkittävästikin. Alueen kaavoitustilanteeseen perehtyminen on siten myös tärkeää, kun mietitään mahdollista aurinkolämpöjärjestelmäinvestointia.

2.5 Nestekiertoinen tasokeräin

Lämmönsiirtoaineena tasokeräimessä voidaan käyttää joko nestettä tai ilmaa. Pääsääntöisesti nykyisin asennettavat keräimet ovat nestekiertoisia. (Erat ym. 2008, 80.) Nesteillä on ilmaa huomattavasti parempi lämmönsiirto-ominaisuus. Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/kgK ja ilman 1,01 kJ/kgK. Jos sama lämpömäärä haluttaisiin siirtää ilmalla kuin vedellä, tarvittaisiin ilmaa noin 4000-kertainen määrä veteen verrattuna. Myös kanavia tulisi kasvattaa samassa suhteessa, sillä veden ja ilman virtausnopeudet ovat samat. (Erat ym. 2008, 84.)

Parhaat lämmönsiirto-ominaisuudet ovat vedellä. Veden ongelmana on kuitenkin sen mahdollinen jäätyminen. Toki tätä riskiä ei ole, jos järjestelmä on vain kesäkäytössä. Vesikiertoiset järjestelmät, jotka ovat ympärivuotisessa käytössä, edellyttävät kuitenkin että ne ovat luotettavasti tyhjennettävissä. Järjestelmä tulisi tyhjentää lämpötilan laskiessa alle 0^o:een. Jäätymisvaaran takia ympärivuotisessa käytössä olevissa järjestelmissä nesteinä on tavallisimmin veden ja propyleeniglykoolin pohjautuvan jäänestoaineen seos. Seoksella pystytään laskemaan nesteen jäätymislämpötilaa. Toisaalta seos myös nostaa nesteen kiehumispistettä. Puhtaaseen veteen verrattuna seosnesteen lämmön siirto-ominaisuus ja pumpattavuus ovat huonompia. (Erat ym. 2008, 84.) Taulukosta 3 on esitetty eri nesteiden lämmönsiirto-ominaisuuksia. Taulukossa nesteiden lämpökapasiteetti on suhteutettu veden lämpökapasiteettiin.

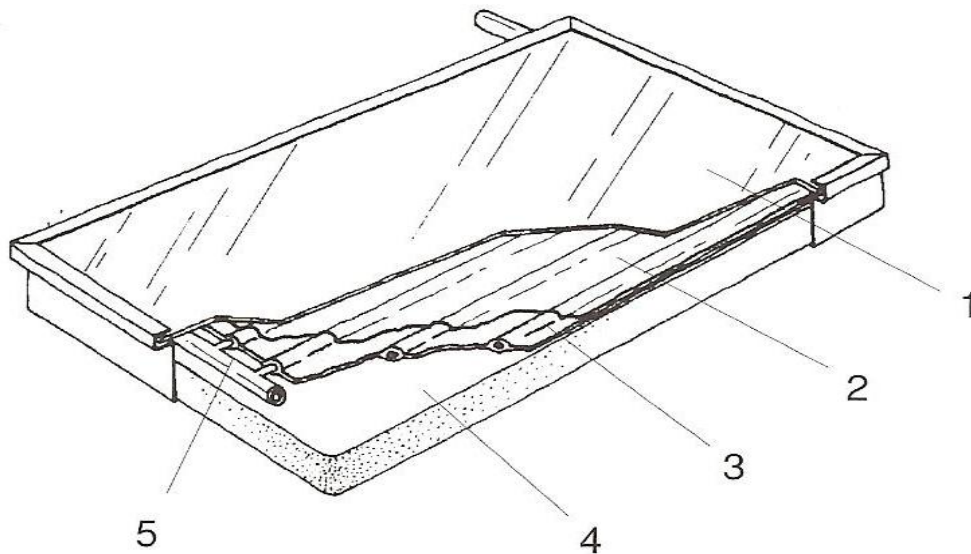
TAULOKKO 3 Eräiden nesteiden lämmönsiirto-ominaisuuksia (Erat ym. 2008, 76)

Aine	Viskositeetti (centipoise,cP)	Jäätymispiste ° C	Kiehumispiste ° C	Suhteellinen Lämpökapasiteetti
Vesi	0,5 0,9	0	100	1
Vesi-etyleeni-glykoliseos	1,2 4,4	-36	110	0,83
Vesi-propyleeni-Glykoliseos	1,4 7,0	-31	110	0,87
Parafiiniöljy* * hyytymispiste -7 °C * leimahduspiste 190 °C * hitaan hapettumisen piste 110 °C	11			0,51
Silikoniöljy	50	-84	260	0,36

Nestekiertoisissa aurinkokeräimissä pyritään yleensä alle 1 l/m² nestetilavuuteen. Virtausnopeus vaihtelee 30 ja 60 l/ m²/h välillä ja käyttöpaine on rakenteista riippuen 1,3-3 bar. Riippuen nesteen virtausnopeuksista puhutaan low-flow ja high-flow järjestelmistä. Nykyisin järjestelmät on kuitenkin usein varustettu säätimellä, joka säätää ja optimoi pumpun kierrosnopeuksia. Näin ollen järjestelmän virtausnopeudet vaihtelevat sen mukaan, mikä on lämmöntuoton kannalta kyseisellä hetkellä optimaalisinta. (Erat ym. 2008, 76.)

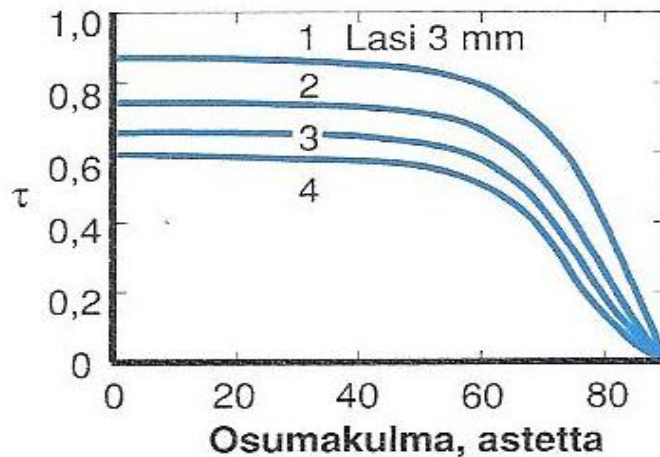
2.6 Tasokeräimet

Tasokeräimiä on niin katettuja kuin kattamattomiakin. Tässä luvussa käsitellään vain katettuja tasokeräimiä. Tasokeräimen toimintaperiaate on, että se muuttaa auringonsäteilyin lämmöksi. Laite koostuu kuvassa 3 näkyvistä osista. Näitä ovat: selektiivinen kate, selektiivinen pinnoite, absorptiolevy, lämmöneriste ja kokoojaputki.



Kuva 3 (Seppänen & Seppänen 1996, 152)

Nykyisin suosituin katemateriaali on vähärautainen aurinkolasi. Katteen toimintaperiaatteena on, että se läpäisee auringonsäteilyä mahdollisimman hyvin. Tasokeräimen lämpötila varsinkin ympärivuotisessa käytössä on usein suurempi kuin ulkolämpötilan. Niinpä kate toimii myös ikään kuin eristeenä vähentäen lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöitä voidaan vähentää myös lisäämällä lasien lukumäärää, joka parantaa laitteen U-arvoa. Tällöin vähennetään kuitenkin myös tasokeräimelle tulevan auringon säteilyn läpäisyä. (Seppänen & Seppänen 1996, 153.)



Kuva 4 Katteena olevien lasien lukumäärän ja osumakulman vaikutus säteilyn teholliseen läpäisyysuhteeseen (Seppänen & Seppänen 1996, 152)

Vertailtaessa muovikatteiden etuja lasiin voidaan niistä mainita niiden helpompi käsiteltävyys, kuten keveys ja iskunkestävyys sekä niiden edullisempi hinta. Toisaalta muovien heikkouksina voidaan pitää niiden pehmeämpää pintaa, liikkumisalttiutta ja ulkonäkötekijöitä. Lisäksi ne vaativat enemmän liikkumisvaraa suuren lämpölaajenemisen takia. (Erat ym. 2008, 80.)

Selektiivinen pinnoite parantaa oleellisesti keräinelementin absorbointimahdollisuuksia. Tasokeräimen hyötysuhde kasvaa, kun selektiivinen pinta absorboi mahdollisimman tehokkaasti lyhytaaltoista auringonsäteilyä (aallonpituus 0,3–2,0 μm), mutta säteilee huonosti takaisin pitkäaaltoista lämpösäteilyä (aallonpituus 4–25 μm). Nykyisissä kaupallisissa tasokeräimissä on selektiivinen pinta miltei kaikissa. Tyypillisiä pintoja ovat elektrolyttisesti valmistetut mustakromi ja mustanikkelpinnat. Näiden lisäksi on erilaisin tyhjiötekniikan keinoin valmistettuja pintoja. (Erat ym. 2008, 80.)

Absorbaatiolevy kerää tasokeräimessä säteilyä talteen. Se on yleensä metallirakenteinen, mutta keräinelementtinä käytetään myös lämpöä kestäviä muoveja. Absorbaatiolevy absorboi suurimman osan sen pinnalla tulevasta säteilystä ja kuumenee. Keräilyelementti siis muuttaa auringonsäteilyn lämpösäteilyksi. (Erat ym. 2008, 80.)

Lämmöneriste vähentää tasokeräinten lämpöhäviöitä. Eristepaksuutena on n. 5-8 cm. Erityisesti käytettäessä tasokeräimiä myös kesäajan ulkopuolella, olisi täysin turhaa kerätä lämpöä, joka selvästi kylmemmän ulkoilman takia heti karkaa. Lämpöhäviöitä tapahtuu myös luonnollisesti katteen kautta. Lisäksi konvektio eli ilman virtaus vaikuttaa tasokeräimeen. Lämmitessään ensin absorbaattorissa ilma nousee ja muodostaa pienen pyörteen. Kohdatessaan lasin ilma viilenee ja kääntyy takaisin keräinelementtiin. Mitä suurempi on tämä kylmän ja lämpimän pinnan ero, sitä voimakkaampaa on myös konvektio. (Lindström 2008, 13.) Nestekäyttöisissä tasokeräimissä tasokeräimien sisällä ovat putket joissa virtaava neste lämpimää. Nämä putket ovat yhdistetty tasokeräimen ylä – ja alaosissa oleviin kokoojaputkiin.

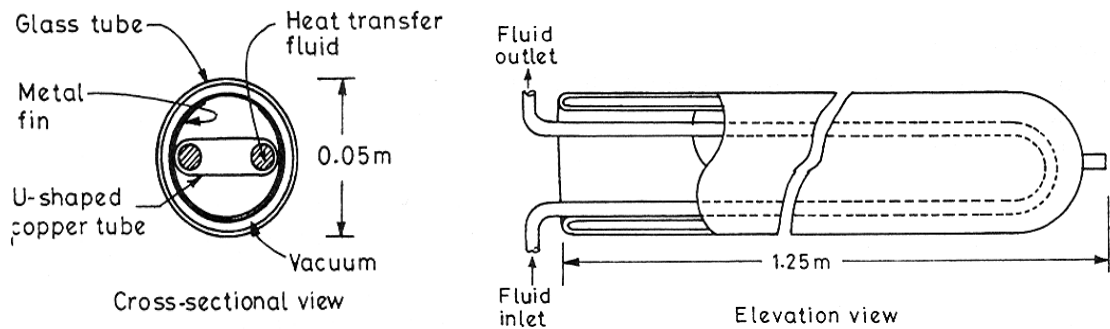
2.7 Tyhjiöputkikeräimet

Kaksinkertainen tyhjiöputki on rakenteeltaan kuin termospullo.

Kaksinkertaisessa tyhjiöputkessa on kaksi lasiputkea sisäkkäin ja näiden välissä on tyhjiö. Absorptiopinta on sisemmän lasiputken ulkopinnalla.

Lämmönsiirtoneste kulkee lähellä sisälasiputken pintaa u-muotoisessa lämmönsiirtoputkessa tai lämmönsiirtotapana voi toimia myös heat pipe-systeemi. Koska kaksinkertaisen tyhjiöputkien lasiputket ovat usein kovaa lasia, kestävät ne paremmin korkeita lämpötiloja ja lämpöiskuja. (Komulainen 2006, 44.)

Tasokeräimissä merkittävin osuus lämpöhäviöistä johtuu konvektiosta absorbaattoripinnasta katelasiin ja kehyksiin (Erat ym. 2008, 81). Lämpöhäviöt lisääntyvät lämpötilan noustessa. Tyhjiöputkessa ilma on poistettu lähes kokonaan. Tästä syystä konvektion osuus laskee erittäin paljon ja tyhjiöputkilla saavutetaan parempi hyötysuhde ja näin ollen myös parempi energiantuotanto kuin tasokeräimillä (Erat ym. 2008, 8182.) Lisäksi korkeamman toimintalämpötilansa ansiosta tyhjiöputkikeräin pystyy lämmittämään korkeammassa lämpötilassa olevaa varaajaa kuin tasokeräin (Lidström 2007, 5).

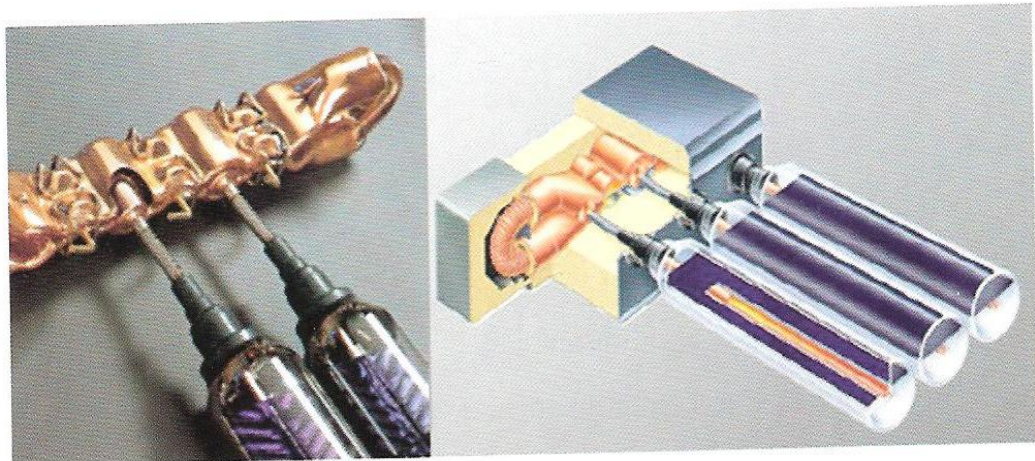


Kuva 5 Kaksinkertainen tyhjiöputki U-muotoisella lämmönsiirtoputkella (Komulainen 2006, 45)

2.7.1 Märkä liitäntä

Märkäliitännästä puhutaan silloin, kun aurinkopiirin neste kiertää tyhjiöputkissa (Lidström 2007, 5). Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi varaajaan tuleva neste on lämminnyt tyhjiöputken sisällä olevassa absorbaattorikupariputkessa.

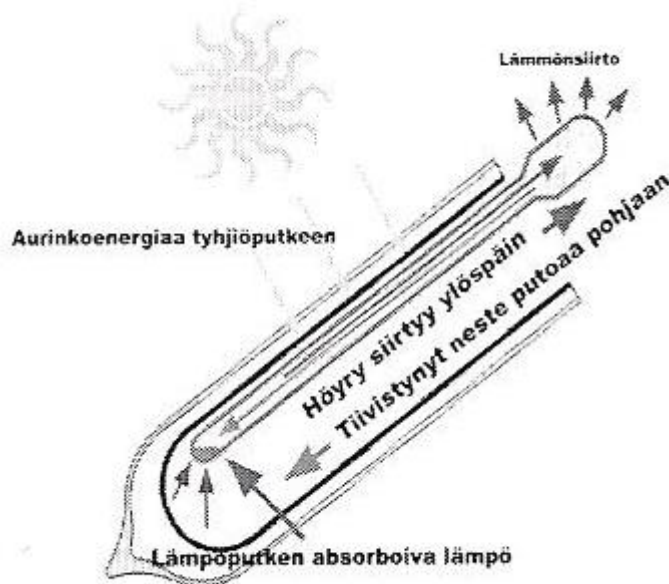
Saaneensa lämmön neste luovuttaa varaajalle. Tyhjiöputkikeräimissä neste virtaa u-muotoisessa putkessa. Jotta jäätymisongelmilta vältytään ympärivuoden käytössä olevissa järjestelmissä, sekoitetaan veteen tavallisimmin propyleeniglykoliin pohjautuvaa jäänestoainetta.



Kuva 6 Märän lämmönvaihtimen rakenteita (Lidström 2007, 6)

2.7.2 Kuiva liitäntä

Kuivaliitännässä lämpöputkessa oleva neste muodostaa oman lämmönsiirtopiirin. Heat pipe-tyhjiöputken liitos on aina kuiva. Lämpöputkessa on normaalia ilmanpainetta huomattavasti alhaisempi paine ja tästä syystä neste höyrystyy reilusti alle 100 asteen lämpötiloissa. Höyrystyvänä nesteenä voidaan käyttää alkoholia tai vettä. (Erat ym. 2008, 82.) Absorptiopintaan kiinnitettyssä lämpöputkessa neste höyrystyy ja nousee putken yläpäähän kondensaattoriin. Kondensaattorissa höyry tiivistyy ja luovuttaa lämpönsä lämmönsiirtonesteeseen. (Komulainen 2006, 44.) Lämmönsiirtonesteen putkitus kulkee lämpöeristetyssä kotelossa (Erat 2008, 82). Tämän jälkeen kondensaattorissa tiivistynyt vesi valuu takaisin absorptiopinnan lämpöputkeen. (Komulainen 2006, 44.)



Kuva 7 Sivuleikkaus tyhjiöputkesta (Erat ym. 2008, 73)

2.7.3 CPC-keräimet ja heijastavat pinnat

Tyhjiöputken tehokkuutta voidaan lisätä heijastavilla pinnoilla, jotka keskittävät auringonsäteilyä tyhjiöputkiin. Vaihtoehtona on joko yhtenäinen tasopinta tai paraboliset niin sanotut CPC heijastimet, jotka voidaan asentaa joko tyhjiöputken sisään tai sen ulkopuolelle. Heijastava tasopinta lisää jokaiseen

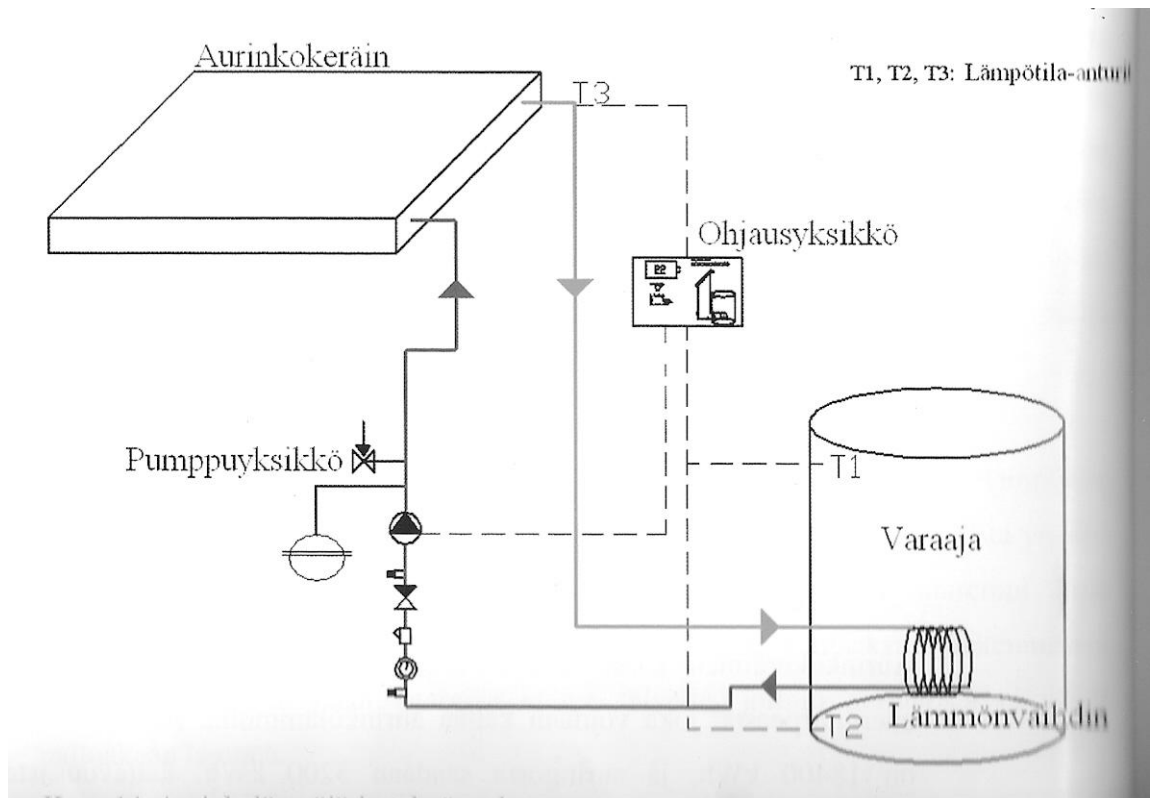
tyhjiöputkeen absorboituvan säteilyn määrää 25 %:lla säteilyn saapuessa keräimeen kohtisuorassa ja putkien välimatkan ollessa toisistaan yhden putken halkaisijan suuruinen. CPC heijastimet ovat vielä tätäkin tehokkaampia.

2.8 Aurinkokeräimien toimintaperiaate

Aurinkoenergiaa hyödyntävät järjestelmien ero perinteisiin lämmitysjärjestelmiin on siinä, että kuten jo edellä on mainittu, energian saanti on epäsäännöllistä ja riippuvaista vuodenajasta ja maantieteellisestä sijainnista. Siinä missä perinteiset järjestelmät ottavat polttoaineensa jostakin varastosta, aurinkolämmitysjärjestelmät taas ottavat energiansa suoraan talteen ja siirtävät saadun energian lämpövarastoon, josta se voidaan hyödyntää käyttökohteissa. Aurinkolämmitysjärjestelmät keräävät ja vastaanottavat säteilyä ja muuttavat tämän lämmöksi. Keräimestä kuljetus tapahtuu joko ilman tai nesteen mukana lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. (Erat ym. 2008, 72.) Suomessa tosin varaajan käyttö on välttämätöntä epävarman energiansaannin vuoksi. Lisäksi on tärkeätä muistaa, että aurinkolämpöjärjestelmä ei ole ratkaisu huonokuntoisen järjestelmän parantamiseksi. Marraskuusta tammikuuhun ei aurinkojärjestelmästä kuitenkaan saada mitään hyötyä. (Erat ym. 2008, 92.) Tämän vuoksi sillä ei voi mitenkään kattaa koko rakennuksen energiantarvetta, vaan se vaatii aina tuekseen jonkun muun päälämmitysmuodon.

2.9 Aurinkolämpöjärjestelmän osat

Aurinkolämpöjärjestelmän pääosat koostuvat aurinkokeräimistä, pumppu – ja ohjausyksiköstä sekä varaajasta. Lisäksi aurinkolämpöjärjestelmään kuuluu pääosien lisäksi lämmönsiirtoneste, putkisto, lämmönvaihdin ja venttiilit. Järjestelmän toiminta on seuraavanlainen. Aurinkokeräimissä lämminnestepumpataan/ohjataan pumppu – ja ohjausyksiköllä varaajaan, jonne lämpö varastoidaan. Kuvassa 8 on käyty läpi aurinkolämpöjärjestelmän rakennetta. T1, T2 ja T3 ovat lämpöantureita, jotka ovat osa pumppu ja ohjausyksikköä. Katkoviivat puolestaan tarkoittavat antureiden signaaleja. (Lindström 2007, 11.)



Kuva 8 Aurinko lämpöjärjestelmän rakenne T1, T2 ja T3 ovat lämpötila-antureita (Lindström 2007, 11)

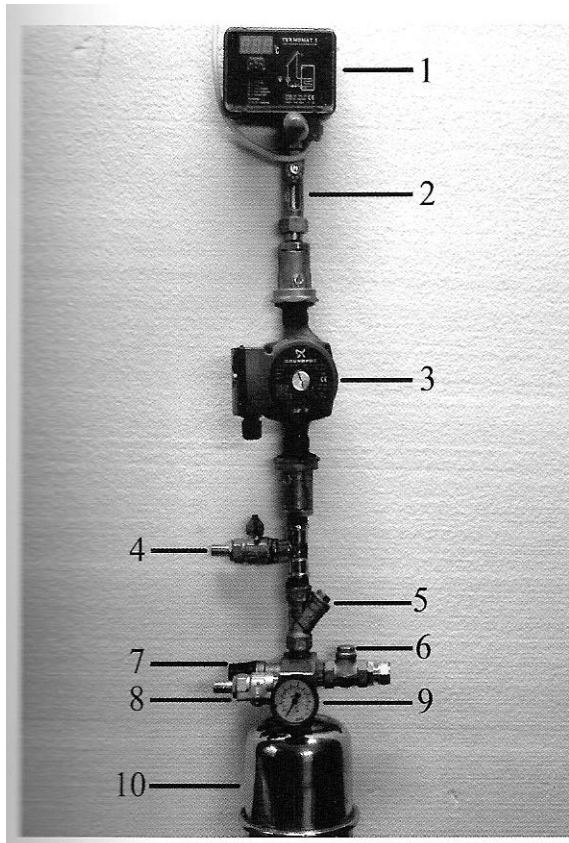
2.9.1 Aurinkokeräin

Aurinkokeräimiä ja niiden toimintaa on käsitelty jo aiemmissa luvuissa. Ne ovat keskeinen osa aurinkolämpöjärjestelmää. Aurinkokeräimessä keräintyyppistä riippumatta, auringon säteilyenergia muuttuu lämmitysenergiaksi.

2.9.2 Pumppuyksikkö

Pumppuyksikkö huolehtii lämmönsiirtonesteen kierrosta järjestelmässä. Pumppu asennetaan kierron kylmälle puolelle eli lämmönvaihtimen jälkeen. Tällä tavalla vältetään nesteessä syntyviä kuplia ja pidennetään pumpun elinikää. Pumpun valintaa tehtäessä on tärkeää tuntea virtauksen määrä sekä järjestelmän painehäviöt. Pumpun on myös kestävä käytettävä

lämmönsiirtonestettä. Tavallinen kiertovesipumppu kuitenkin toimii hyvin aurinkolämmitysjärjestelmissä. (Lindström 2007, 13.)



Pumppu- ja ohjausyksikön osat

1. Ohjausyksikkö
2. Virtausmittari
3. Pumppu
4. Järjestelmän täyttöhana
5. Suodatin
6. Takaisinkierron estävä venttiili
7. Varoventtiili
8. Tyhjennysventtiili
9. Painemittari
10. Paisuntasäiliö

Kuva 9 Ohjausyksiköllä varustetun pumppuyksikön rakenne (Lindström 2007, 14)

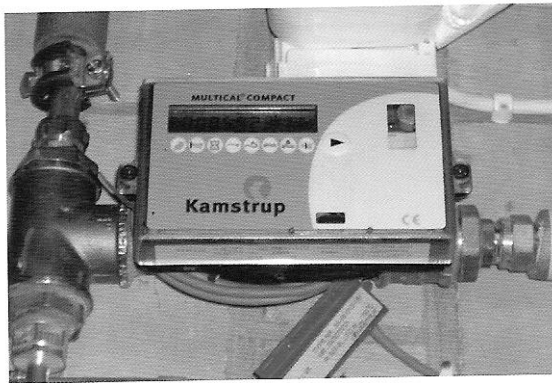
Takaisiniskuventtiili estää nesteen pääsemästä virtaamaan väärään suuntaan, kun pumppu ei ole toiminnassa. Ilman takaisiniskuventtiiliä aurinkokeräimet jäädyttäisivät varaajan silloin, kun keräimet ovat varaajaa kylmemmät.

Paisunta-astia ottaa vastaa lämmönsiirtonesteen tilavuuden muutokset sekä kerää nesteestä vapautuvia kaasuja. Paisunta-astiana käytetään tavallisimmin kalvopaisunta-astiaa. Varoventtiili estää järjestelmän paineen nousun liian korkeaksi. (Lindström 2007, 14.)

Painemittarista seurataan painetta ja siitä voidaan havaita järjestelmän mahdolliset vuodot. Erityisen tärkeää on paineen seuraaminen aurinkolämpöjärjestelmän ensimmäisten käyttökuukausien aikana. Järjestelmään on hyvä asentaa myös täyttö – ja tyhjennyslaitteet, sillä

järjestelmään saatetaan joutua lisäämään nestettä tai täyttämään se kokonaan. Suodatin poistaa epäpuhtaudet järjestelmästä. (Lindström 2007, 14.)

Edellä mainittujen osien lisäksi voidaan vielä niin haluttaessa asentaa virtausmittareita, lämpömittareita ja energiamittareita. Energiamittari kytketään tavallisesti pumppuyksikköön ja siitä nähdään aurinkolämpöjärjestelmän energiantuotto. Energiamittari antaa tietoa energiamäärästä (kWh), virtauksen määrästä, lämmönsiirtimeen menevästä ja tulevasta lämpötilasta ja huipputehosta. Saatu tieto voidaan siirtää tietokoneelle. (Lindström 2007, 15.)



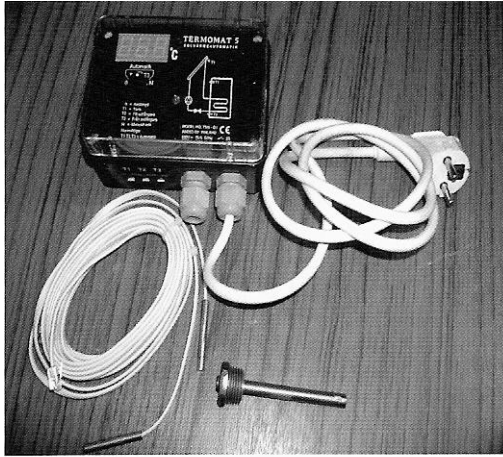
Kuva 10 Energiamittari (Lindström 2007, 15)

Nykyisin markkinoilta löytyy myös erityisesti aurinkolämpöjärjestelmiin tarkoitettuja pumppuyksiköitä, jossa kaikki osat on koottu valkoiseen suojalaatikkoon. Tämä yksikkö on kuitenkin kalliimpi kuin aikaisemmin esitelty peräkkäin asetettujen osien kokonaisuus (kuva 9). (Lindström 2007, 15.)

2.9.3 Ohjausyksikkö

Automatiikka ohjaa aurinkolämpöjärjestelmää. Automatiikka käynnistää pumppuyksikön, kun lämpötila kerääjissä ylittää varaajan lämpötilan. Tällä tavalla varmistetaan lämmön virtaaminen keräimistä varaajaan eikä päinvastoin, jolloin lämpö siirtyisi varaajasta keräimille. Tavallisesti käytössä on kolme anturia, jotka sijaitsevat kuvan 8 mukaisilla paikoilla. Anturit sijaitsevat varaajan alaosassa, varaajan yläosassa sekä aurinkokeräimissä. Ohjausyksiköstä on mahdollista säätää käynnistyslämpötila halutun suuruiseksi. Käynnistys – ja

pysähtymislämpötilat eivät saa kuitenkaan olla samat. Niiden ollessa samat pumppu pysähtyisi ja käynnistyisi jatkuvasti. Ohjausyksiköllä säädetään myös varaajan maksimilämpötila. Tällä estetään varaajan lämpötilaa nousemasta liian korkeaksi. Liian korkea lämpötila varaajassa voi aiheuttaa kalkkikerrostumia tai varaajan veden kiehumisen. (Lindström 2007, 15.)



Kuva 11 Ohjausyksikkö anturikaapeleineen ja anturin asennusputki (Lindström 2007, 16)

2.9.4 Putkisto

Aurinkokeräimissä lämminnyt lämmönsiirtoneste pumpataan keräimistä varaajalle ja varaajasta takaisin keräimille putkien kautta. Tavallisimmin käytetty materiaali on kupari. Nesteen lämpötilan suuri vaihtelu asettaa vaatimuksia kupariputken kestävyydelle. Talvella nesteen lämpötila voi olla $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta toisaalta lämpimimpinä päivinä voi nesteen lämpötila olla yli $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Putkien kokoon vaikuttavat keräimen nestemäärä sekä keräimen ja varaajan välinen etäisyys. Muovipäällysteisiä kupariputkia tai muoviputkia ei saa käyttää aurinkojärjestelmissä, koska nämä eivät kestä korkeita lämpötiloja vaan sulavat. (Lindström 2007, 15.)

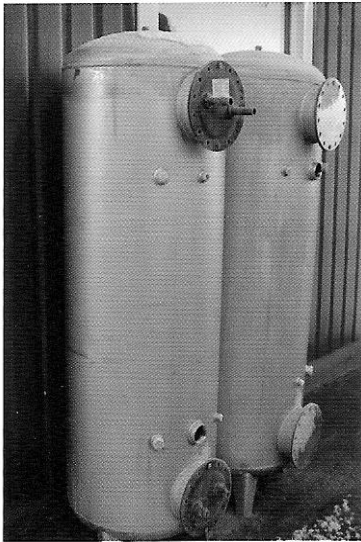
Kupariputkena voidaan käyttää joko hehkutettua (pehmeää) tai sileää (kovaa) putkea. Pehmeää putkea käytettäessä on mahdollista tehdä mutkat hyvin loiviksi, joka helpottaa nesteen virtaamista putkessa ja näin vähentää painehäviöitä. Putkiston huolellinen eristys on myös tärkeää, sillä ilman sitä voi putkistossa tapahtua suuriakin lämpöhäviöitä. Eristysmateriaaliksi käy niin

vuorivilla kuin solukumikin. Sen sijaan solumuovieristeet sulavat aurinkolämpöjärjestelmän korkeissa lämpötiloissa. Putkiston korkeimpiin kohtiin asennetaan ilmanpoistiventtiili. Ilman poisto järjestelmästä on sen toimivuuden kannalta tärkeää. Ilman sitä järjestelmän käynnistäminen ja toiminta vaikeutuvat tai jopa epäonnistuvat. (Lindström 2007, 15.)

2.9.5 Varaaja

Varaaja on lämpövarasto, johon aurinkokeräimistä saatu lämpö varastoidaan. Lämminvesivaraajasta puhuttaessa tarkoitetaan varaajaa, jota käytetään ainoastaan käyttöveden lämmittämiseen. Varaajalla tarkoitetaan puolestaan laitetta, jolla lämmitetään käyttövesi ja sen lisäksi se on osa koko talon lämmitysjärjestelmää. (Lindström 2007, 18.) Varaajasta lähtevä vesi luovuttaa lämpönsä esimerkiksi huoneissa sijaitsevilla pattereilla tai lattialämmityksen kautta.

Optimaalisen toiminnan varaaja saavuttaa, kun siinä on hyvä lämpötilakerrostuneisuus. Hyvä lämpötilakerrostuneisuus vähentää lämpöhäviöitä kuten myös varaajan perusteellinen eristys. Hyvässä lämpötilakerrostuneisuudessa on varaajan alaosan lämpötila mahdollisimman matala. Tämä onnistuu melko helposti pelkästään fysiikan lakienkin vuoksi, koska lämmin vesi nousee pinnalle ja kylmä vajoaa pohjalle. Kun varaajan vesi ei liiku, säilyy kerrostuneisuus paremmin. Varaajan ollessa pystyasennossa kerrostuminen tapahtuu helposti. (Lindström 2007, 18.)



Kuva 12 Kaksi varaajaa (Lindström 2007, 18)

On myös hyvä muistaa Legionella-bakteerien mahdollisuus. Riski Legionella-bakteerien kasvulle on suurempi lämpötilan ollessa 20–45 astetta ja veden seisoessa paikallaan. Riskejä bakteerien synnylle voidaan vähentää pitämällä järjestelmä puhtaana, kylmä vesi kylmänä ja lämmin vesi lämpimänä. (Lindström 2007, 18–19.)

2.9.6 Sekoitusventtiili

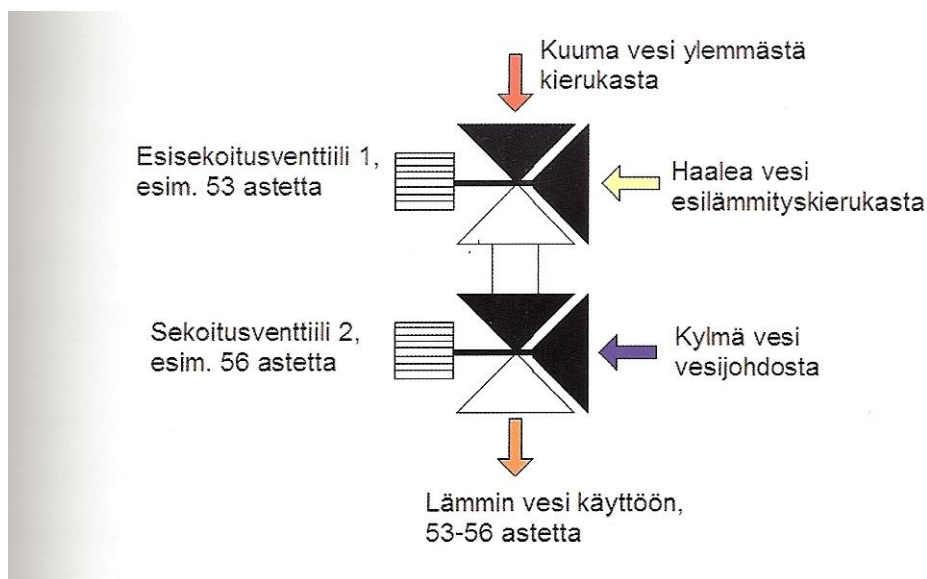
Aurinkolämpöjärjestelmälle on asetettu korkeammat vaatimukset käyttöveden lämmittämisessä kuin perinteisissä lämmitysjärjestelmissä.

Aurinkolämpövaraajassa ei ole yhtäjaksoisesti yhtä korkea lämpötila kuin esimerkiksi öljy-, sähkö- tai puulämmitysjärjestelmässä. Käyttökelpoisen veden lämpötila vaihtelee 45–95 asteen välillä aurinkovaraajassa. Varaajan lämpötilakerrostuneisuutta voidaan tehokkaimmin hyödyntää käyttämällä kahta sekoitusventtiiliä. Kuumaa ja kylmää vettä ei sekoiteta keskenään haaleaksi vaan sen asemasta käytetään haaleaa vettä varaajan pohjalta ja lisätään siihen pieni määrä vettä varaajan yläosasta. Sekoitusventtiilin tehtävä on huolehtia, että lämpimän veden lämpötila on tarpeeksi korkea ja tasainen, mutta ei kuitenkaan polttavan kuuma. (Lindström 2007, 19–20.)



Kuva 13 Sekoitusventtiili (Lindström 2007, 20)

Esisekoitusventtiili 1 ottaa lämmitettyä vettä esilämmityskierukasta ja niin paljon kuumaa vettä ylemmästä lämminvesikierukasta, että veden lämpötilaksi saadaan noin 55 asteista vettä. Lämpimän käyttöveden lämpötilan rajoitin (polttsuoja) on välttämätön, kun esilämmityskierukan lämpötila on korkeampi kuin 55 °C. Polttsuojan tarve korostuu erityisesti kesällä, jolloin auringosta saadaan paljon energiaa varaajaan. Polttsuojalle on myös tarvetta puulämmityksessä erityisesti silloin, jos varaaja lämmitetään pohjia myöden. (Lindström 2007, 20.)



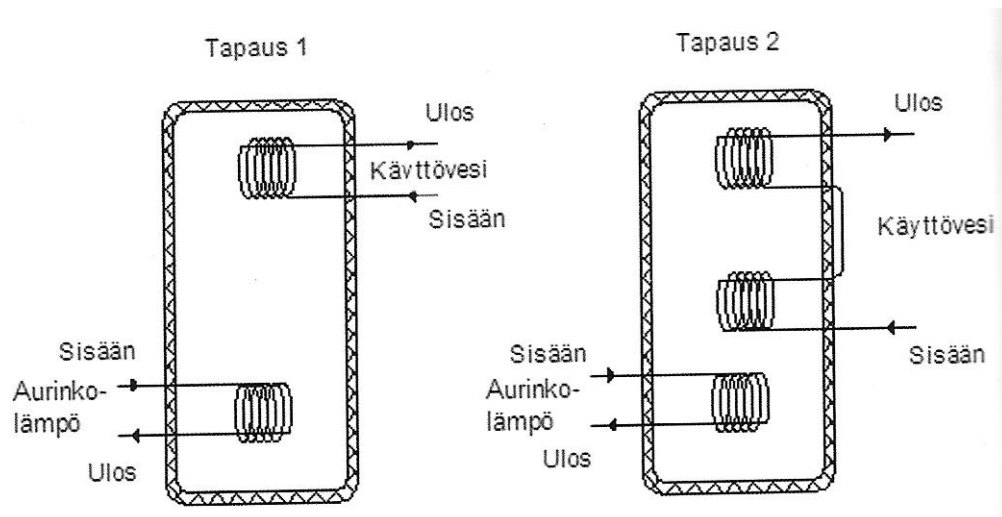
Kuva 14 Sekoitusventtiili (Lindström 2007, 20)

Tarpeen tullen voidaan liian kuumaan veteen sekoittaa kylmää vettä venttiilistä 2 (kuva 14 yläpuolella). Toiminnallisesti paras ratkaisu on asettaa esisekoitusventtiili 2-3 astetta alemma lämpötilalle kuin polttsuoja. Vuosien mittaan esisekoitusventtiilin toimintakyky heikkenee tai tyrehtyy kokonaan. Sekoitusventtiilin toimintakykyä voidaan parantaa, kun sitä liikuttelee pari kertaa vuodessa. (Lindström 2007, 20.)

2.9.7 Lämmönvaihdin

Lämmönvaihdin luovuttaa aurinkokeräimissä lämminneen aurinkopiirin neste varaaajalle, ilman että varaajan vesi ja aurinkopiirin neste sekoittuvat keskenään. Aurinkopiirin neste joka kiertää lämmönvaihtimessa, on aina lämpimämpää kuin varaajan vesi. Mitä pienempi nesteiden lämpötilaero on, sitä tehokkaampi on myös lämmönluovutus. Kampakierukka ja levylämmönvaihdin ovat käytetyimmät lämmönvaihtimet aurinkolämpöjärjestelmässä. Lämmönvaihtimen valintaan vaikuttaa laitteiston suuruus, varaajan tilavuus ja virtauksen voimakkuus piirissä. (Lindström 2007, 21.)

Kampakierukka on spiraalin muotoinen kupariputki, josta lämpö siirtyy putken ulkopinnalta varaajan veteen. Kampakierukkalämmönvaihdinta käytetään eniten pienissä ja keskisuurissa aurinkojärjestelmissä. Kampakierukka on asennettu suoraan kiinni varaajaan ja kampakierukan pinta-alan pitäisi olla 30 % aurinkokeräinten pinta-alasta. Veden lämpökerrostumisen kannalta on tärkeää, että kampakierukka asennetaan oikein. Aurinkolämpöä tulisi siirtää mahdollisimman kylmään veteen eli varaajan alaosaan. (Lindström 2007, 21.)



Kuva 15 Lämmönvaihtimen sijoitus. Tapaus 2 antaa tehokkaamman lämmönvaihdon, koska veden lämpötila ero on pienempi käytettäessä esilämmitettyä vettä. (Lindström 2007, 19)

Ulkoista levylämmönvaihdinta käytetään niissä tapauksissa, kun sisäpuolinen lämmönvaihdin ei ole mahdollinen aurinkojärjestelmässä. Levylämmönvaihdin

koostuu kahdesta suljetusta kierrosta. Näin ollen varaajan ja aurinkolämmön keräyspiirin nesteet pysyvät erillään. Ulkopuolinen levylämmönvaihdin vaatii kaksi kiertopumppua. Toinen pumppu kierrättää aurinkopiirin nestettä aurinkokeräimissä ja toinen varaajan vettä. Levylämmönvaihtimessa lämmönsiirtyminen on usein tehokkaampaa kuin kampakierukassa. Levylämmönvaihtimen lämmönsiirtopinta-ala on myös huomattavasti kampakierukkaa pienempi. Jos esimerkiksi aurinkokeräimien pinta-ala yhteensä olisi 10 m², tulisi kampakierukan lämmönsiirtopinta-alan olla 3 m². Levylämmönvaihtimessa vastaava ala on 0,4–0,6 m². (Lindström 2007, 21.)

2.9.8 Lämmönsiirtoneste

Neste kuljettaa keräimistä saatua lämpöä varaajalle. Eri nesteiden lämmönsiirto-ominaisuuksia on jo käsitelty taulukossa 3 sivulla 12. Vedellä olisi parhaat lämmönsiirto-ominaisuudet, mutta käytettäessä aurinkolämpöjärjestelmää ympärivuotisesti, pitää ottaa huomioon myös nesteen jäätymisvaara. Tästä syystä käytettävä neste on tavallisesti vesi-glykoliseosta.

Vesi-glykoliseokset vaativat jonkin verran enemmän energiaa pumpulta kuin puhdas vesi, koska ne ovat alhaisilla lämpötiloilla 5-15 °C jäykempiä puhtaaseen veteen verrattuna. Vesi-etyleeniglykooliseoksella olisi alhaisin jäätympiste, mutta se on myrkyllistä. Aine on samaa, jota käytetään autoissa pakkasnesteenä. Vesi-propyleeniglykoliseos on puolestaan myrkytöntä. Sen jäätympiste on -31 °C ja kiehumispiste 110 °C. (Lindström 2007, 21.)

Taulukko 4 Nesteiden jäätymis – ja kiehumispisteitä

Aine	Jäätympiste/°C	Kiehumispiste/°C
Vesi	0	100
Vesi-etyleeniglykoliseos	-36	110
Vesi-propyleeniglykolisekoitus	-31	110

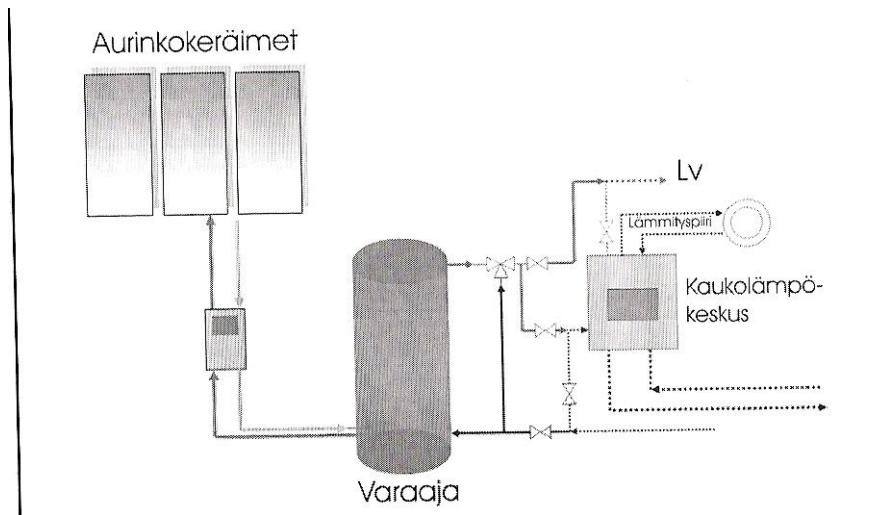
2.9.9 Aurinkolämpöjärjestelmän liittäminen muihin lämmitysmuotoihin

Kuten jo aikaisemmin on todettu, ei aurinkolämmitys yksistään riitä kattamaan millään koko vuoden lämmitystarvetta, vaikka tyhjöputkitekniikan, peilaavien pintojen ja automatiikan ansiosta hyötysuhdetta onkin parannettu huomattavasti. Tästä johtuen aurinkolämpö vaatii rinnalleen aina jonkun päälämmitysmuodon. (Lindström 2007, 28.)

Aurinkolämpö on erinomainen täydennys, jolla pystytään parantamaan yhdistelmäjärjestelmän kokonaishyötysuhdetta. Yhdistelmäjärjestelmällä tarkoitetaan, että lämpimän käyttöveden ja lämmön jakaminen tapahtuvat samasta varaajasta. Aurinkolämpöjärjestelmä voidaan asentaa tukemaan useita eri lämmitysjärjestelmiä. (Lindström 2007, 28–29.) Näistä järjestelmistä käydään seuraavaksi läpi kaukolämpö, öljy, lämpöpumppu ja pelletti ja näiden tukena oleva aurinkolämpö.

2.9.10 Aurinkolämpö ja kaukolämpö

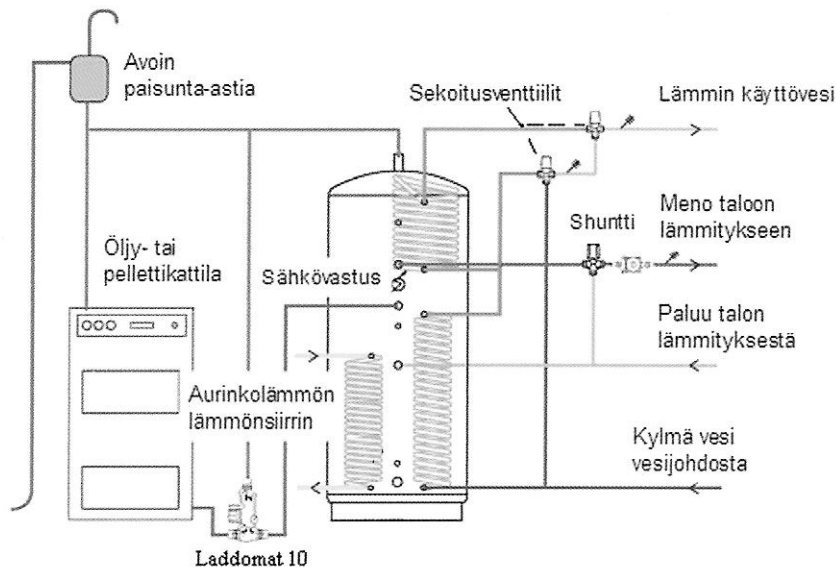
Kaukolämmön kanssa voidaan käyttää aurinkokeräimiä, joissa veden esilämmitys tapahtuu aurinkovaraajassa. Käyttöpisteestä saadaan aina sopivan lämpöistä vettä riippumatta aurinkoenergian saatavuudesta, sillä kaukolämpö hoitaa kuitenkin tarvittavan loppulämmityksen. Kaukolämmölle sopii juuri erinomaisesti yksinkertainen kytkentätapa, sillä siinä ei sekoiteta kylmää ja kuumaa vettä, jotta saataisiin sopivan lämpöistä käyttövettä. Sen sijaan lämpökeskuksen levylämmönsiirtimelle tulevaa vettä lämmitetään suoraan kaukolämpövedellä sen verran, että lähtevästä vedestä saadaan lämpötilaltaan halutun suuruista. Tuleva vesi siis esilämmitetään varaajassa ja kaukolämpö hoitaa loppulämmityksen. Jos vesi on esilämmitetty vaikka 30 asteiseksi, kaukolämpö lämmittää veden 30 asteesta 55 asteeseen. Säästöä saadaan kun kaukolämpöä ei kulu niin paljon, koska aurinkolämpö esilämmittelee veden, joka luonnollisesti vähentää kaukolämmön lämmitystarvetta. Varaajan rajoitintermostaatti estää liian kuumen veden menon lämmönsiirtimelle. (Erat ym. 2008, 106–107.)



Kuva 16 Aurinkolämmön yhdistäminen kaukolämpöön (Erat ym. 2008, 106)

2.9.11 Aurinkolämpö ja öljykattila

Paras hyöty aurinko-öljy-yhdistelmällä saadaan käyttämällä varaajaa. Öljykattilan vesitulavuus on pieni ja lämpöhäviöt suuria, mutta kytkettynä suureen varaajaan toimii öljykattila kauemmin, mikä lisää sen elinikää ja parantaa hyötysuhdetta. Kesällä aurinkolämpö kattaa suurimman osan lämmönkulutuksesta ja tarvittaisiin vain vähän öljylämmitystä kattamaan se osa, jota aurinkolämmitys ei pysty lämmittämään. Tästä syystä varaajan yläosaan asennetaan sähkövastus, jolla tuotetaan pienet lisälämmöntarpeet, sillä öljykattilaa ei ole syytä käynnistää pienen lisälämmöntarpeen vuoksi. Sähkövastus on siitähän syystä tärkeä yhdistelmävaraajassa, että varaaja voidaan sulkea kokonaan tiettyinä vuodenaikoina. Niin ollen se toimii myös ilman öljykattilaa, joka on tärkeää esimerkiksi silloin, kun öljykattilan toimintaan tulee jokin mahdollinen vika. (Lindström 2007, 30.)



Kuva 17 Aurinkolämmön yhdistäminen öljy – tai pellettikattilaan (Lindström 2007, 30)

2.9.12 Aurinkolämpö ja pellettikattila

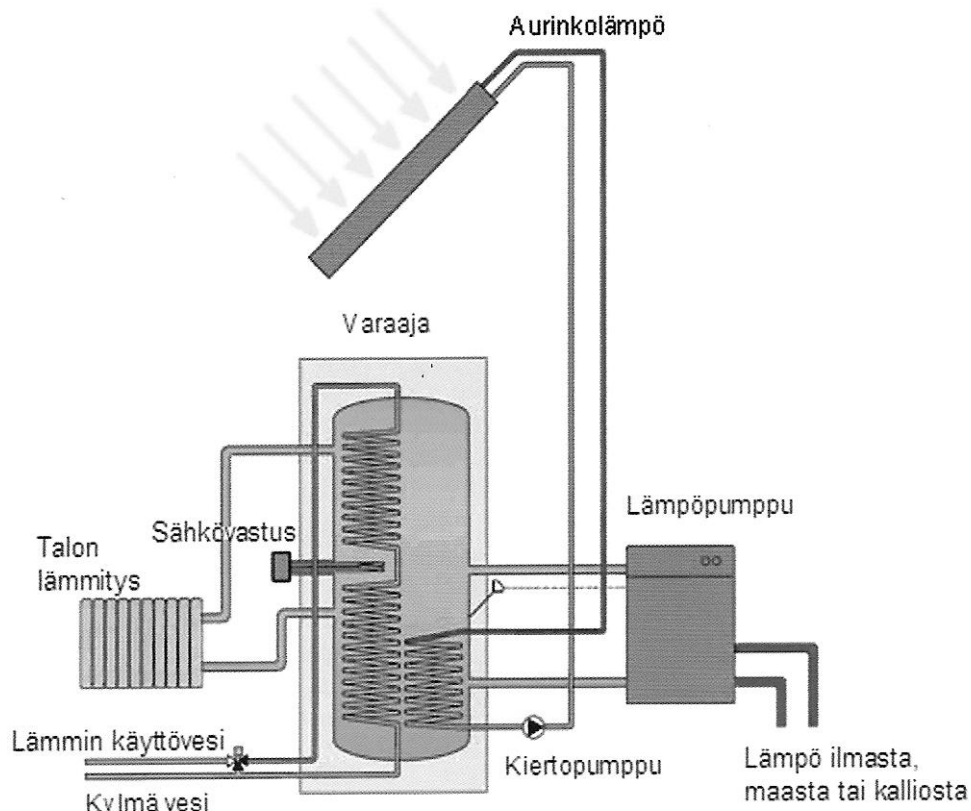
Kuten öljylämmityksenkin kanssa myös pellettikattilan hyötysuhde paranee, kun käytetään varaajaa. Tämä mahdollistaa myös pienempitehoisen pellettipolttimen käytön. Pellettikattilakin tulisi olla varustettu sähkövastuksella samasta syystä kuin öljykattila. Tämä mahdollistaa koko laitteen sulkemisen kesän ajaksi, koska pellettipolttimen teho on liian suuri kesällä. Lisäksi jos laitteeseen tulee jotain vikaa, on vaihtoehtoinen tapa tuottaa lämpöä ja lämmintä käyttövettä rakennukselle. (Lindström 2007, 31.)

2.9.13 Aurinkolämpö ja lämpöpumppu

Lämpöpumppu ottaa lämpönsä matalassa lämpötilassa olevasta kallioperästä, maasta, ulkoilmasta tai poistoilmasta ja nostaa saadun lämpötilan käyttökelpoiselle tasolle. Aurinkoenergialle ja lämpöpumpuille on yhteistä se, että molemmat järjestelmät antavat parhaan hyödyn matalilla lämpötiloilla. Kun aurinkolämpöjärjestelmä yhdistetään lämpöpumppuun, käytetään varaajaa. Varaajasta saadaan lämpöä rakennukseen ja myös lämmintä käyttövettä. Lämpöpumpulle ei ole niinä ajanjaksoina tarvetta, kun auringosta saadaan

tarpeeksi energiaa. Varaajassa on lämpöanturi, joka käynnistää lämpöpumpun tarvittaessa. Varaajan yläosassa sijaitsee sähkövastus, joka tuottaa varaajaan lämpöä, silloin kun aurinkokeräimen ja lämpöpumpun tuottama lämpömäärä ei ole riittävä. Lämpöpumppu voi täten olla vain lämpöpumppumoduuli, jossa ei ole lämpimän käyttöveden tuottolaitetta (tulistinta) eikä lämpöjärjestelmän ohjauslaitteistoa. Ne molemmat ovat varaajassa. (Lindström 2007, 32.)

Kun lämpöpumppumoduulissa ei ole käyttöveden lämmityslaitetta, tuotetaan lämmin käyttövesi aurinkolämmöllä sekä varaajassa olevalla sähkövastuksella. Tällöin lämpöpumppua ei tarvitse käyttää 3-4 kuukautena vuodessa. Tämä puolestaan pidentää lämpöpumpun elinikää. Varaaja mahdollistaa joustavan ja tehokkaan lämpöjärjestelmän, johon tulevaisuudessa on mahdollista kytkeä muita energialähteitä. Lämpöpumpun mennessä rikki saadaan lämpöä ja lämmintä käyttövettä kuitenkin varaajasta. Tässä tapauksessa sähkövastus lämmittää varaajaa. (Lindström 2007, 32.)

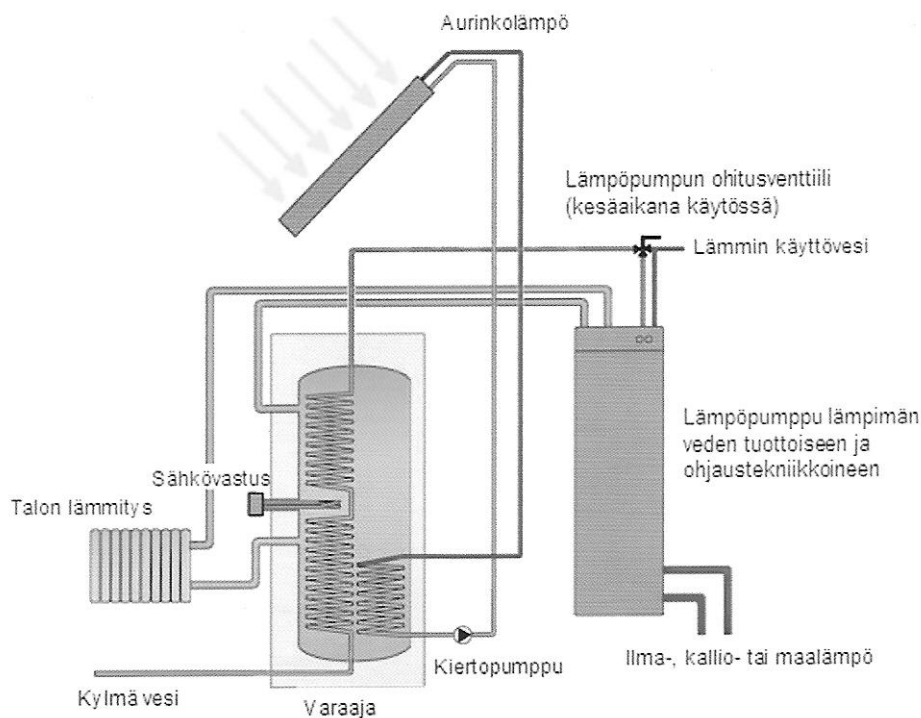


Kuva 18 Lämpöpumppu yhdistettynä aurinkolämpöön (Lindström 2007, 32)

Kun aurinkolämpö liitetään jo olemassa olevaan lämpöpumppuun, on varaajan oltava sen verran suuri, että se riittää muutaman päivän lämmön ja lämpimän

käyttöveden tarpeeseen. Lämpöpumpussa on todennäköisesti sisäänrakennettu lämpimän käyttöveden tuottolaite sekä lämmityksen ohjausjärjestelmä.

Toukokuusta syyskuuhun lämmin käyttövesi voidaan tuottaa aurinkolämmöllä. Jos jonain päivänä tarvitaan lisälämpöä, voidaan se tuottaa varaajassa olevalla sähkövastuksella. Lämpöpumppu on edellä mainitun ajan pois päältä ja kylmä. Lämmityskaudella syys-toukokuussa akkusäiliö ja lämpöpumppu kytetään sarjaan. Kylmä vesi, jota lämmitetään lämpimäksi käyttövedeksi, kulkee ensin varaajan kautta ja ottaa sieltä saatavilla olevan aurinkolämmön. Tämän jälkeen käyttövesi kulkee lämpöpumpun kautta, jossa se lämpiää tavoitelämpötilaansa. (Lindström 2007, 33.)



Kuva 19 Aurinkolämpö kytkettynä jo olemassa olevaan lämpöpumppuun (Lindström 2007, 33)

Paluuputki talon lämmitysjärjestelmästä kytetään noin varaajan keskiosaan. Aurinkolämmöstä saadaan suurin hyöty irti, kun siirtokierukka on varaajan kylmässä alaosassa. Jäljelle jäävästä lämmöntarpeesta huolehtii lämpöpumppu. Jo olemassa olevaan lämpöpumppuun ei tarvitse tehdä muutoksia, kun aurinkolämpöjärjestelmä kytetään edellä selostetun tavan mukaisesti. Aurinkolämpöjärjestelmän liittäminen jo olemassa olevaan lämpöpumppujärjestelmään vähentää lämpöpumpun käyttöaikaa ja pidentää

sen käyttöikä aivan kuten uudellakin lämpöpumpputekniikalla. (Lindström 2007, 33.)

3. AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄN HYÖTYSUHTEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Tässä luvussa käydään läpi niitä tekijöitä, jotka osaltaan vaikuttavat aurinkokeräinjärjestelmän hyötysuhteeseen. Osa niistä on jo aikaisemminkin mainittu. Mietittäessä investoinnin kannattavuutta tulisi pohtia, mitä järjestelmältä halutaan. Tasokeräimillä ja tyhjiöputkikeräimillä ei kesäajan lämmöntuotossa ole suuria eroa, koska lämpöhäviöt tasokeräimissä eivät ole tällöin suuria. Näin ollen kalliimpien tyhjiöputkikeräinten hankinta kohteeseen, jossa lämmitetään esimerkiksi vain kesällä lämmintä käyttövettä, ei ole välttämättä taloudellisesti kannattavaa.

Hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat keräinten suuntaus ja kaltevuus, aurinkokeräimen katteen (lasin) ominaisuudet, aineiden absorptio – ja lämmönsiirtokyky, lämmöneristys ja tiiveys, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet, aurinkokeräimen käyttölämpötila, etäisyys keräimistä varaajaan, lämmönsiirtoputkien lämmöneristys, varaajan lämpötila, tarvittava lämpötila ja energian määrä. Vaikuttavat ulkoiset tekijät ovat: ulkolämpötila, auringon tulokulma (riippuu vuoden – ja kellonajasta), paikan varjoisuus sekä tuulisuus.

4. ESIMERKKITALO ALLINNAN HELMI

Riihimäellä sijaitseva asunto-osakeyhtiö Allinnan Helmi on investoinut aurinkolämpöenergiaan (Rakennuslehti 2009). Tyhjiöputkikeräimet on sijoitettu Allinnan Helmessä taloyhtiön katolle melkein pystysuoraan. Tämä mahdollistaa kesällä lämmöntuoton miltei vuorokauden ympäri. Allinnan Helmessä on 25 asuntoa ja lämpö kerätään kuudella kerääjällä. Vuositasolla kuudella kerääjällä saadaan 10 000–11 000 kWh energiaa. Artikkelissa haastateltu Riihimäen Metallikalusteen tekninen johtaja Timo Tanni uskoo, että erityisesti taajamissa, joissa kaukolämpöä ei ole tarjolla, voitaisiin aurinkolämmöllä karsia

kerrostalojen energiankulutusta. Tannin mielestä aurinkolämpöjärjestelmä sopii erityisesti kerrostaloihin, koska verrattuna omakotitaloihin kuormitus on tasaisempaa ja jo pelkkä käyttöveden lämmitys vie suuren määrän energiaa. (Rakennuslehti 2009.)

5. KANNATTAVUUS

Kannattavuutta laskettaessa oletetaan, että järjestelmästä saatava teho on 10 MWh vuodessa. Lisäksi kannattavuuslaskelmat tehdään 8 MWh ja 7 MWh teholle. Vertailut tehdään sähkölle, lämmitysöljylle sekä kaukolämmölle. Sähkön hinnaksi oletetaan 10 snt/kWh, lämmitysöljyn 1 e/l ja kaukolämmön hinnaksi 57 e/MWh. Öljykattilan hyötysuhteena käytetään 0,89 ja kevyen polttoöljyn tehollisena lämpöarvona 10 kWh/dm³. Laskuissa reaalikorkona on käytetty 3 % ja energian hinnan nousuna käytetään 2 % vuodessa. Laskelmat on tehty järjestelmälle ilman varaajaa ja varaajan kanssa. Hintoja selvitettiin kolmelta eri toimittajalta. Niiltä saatujen hintatietojen perusteella määriteltiin investoinnin suuruus, jonka pohjalta takaisinmaksuaika määritettiin. Hinta järjestelmälle ilman varaajaa on noin 7000 euroa sisältäen arvonlisäveron.

Järjestelmälle lasketaan hoito – ja huoltokustannuksia noin 200 euroa/vuosi. Aurinkolämpöjärjestelmiä pidetään hyvin varmatoimisinä ja ainoan vaihdettavan osan kiertovesipumpunkin ikä lasketaan vuosikymmenissä. (Rakennuslehti 2009). Ajan kuluessa kuitenkin hyötysuhde voi tippua esimerkiksi keräimien lasipintojen likaantuessa, joten todennäköistä on, että jotakin hoito – ja huoltotoimenpiteitä myös aurinkojärjestelmä vaatii. Ainakin vuosittainen järjestelmän osien tarkastus olisi suotavaa. Tarkasteltavat laskut suoritetaan ainoastaan tyhjiöputkijärjestelmille, joiden hankintahinta on korkeampi, mutta toisaalta saatava hyötysuhde parempi kuin tasokerääjillä ympärivuotisessa käytössä. Järjestelmän takaisinmaksuaikaa laskettaessa ei myöskään huomioida mahdollisesti saatavia energia-avustuksia. Järjestelmän käyttöikä on arvioitu 20 vuotta. Vesipumppujen keskimääräinen käyttöikä on 20–25 vuotta KH 90–00403 ohjekortin mukaan. Aurinkolämpöjärjestelmää pidetään hyvin varmatoimisenä ja ensimmäisenä osana, joka vaatii uusimista, oletetaan olevan kiertovesipumppu (Rakennuslehti 2009).

Järjestelmälle sopivan varaajan koko, joka sopii kerrostalolle, on tilavuudeltaan 1000–2000 litraa. Varaajan hinta liikkuu 2500–3000 euron välissä. Huomattavia säästöjä syntyy ja takaisinmaksuaikaa lyhennetään merkittävästi, jos kiinteistöstä löytyy varaaja, jossa on aurinkopiirille oma liittymämahdollisuus. Toisaalta on myös mahdollista käyttää ulkoista levylämmönvaihdinta. Tämä antaa kuparikompaktierukkaa paremman hyötysuhteen. Ulkoinen levylämmönvaihdin ei yhdeltä urakoitsijalta saadun kyselyn mukaan tule sisäistä lämmönvaihdinta merkittävästi kalliimmaksi. Seuraavissa luvuissa suoritetaan laskelmat sekä ilman varaajaa että varaajan kanssa.

Sisäinen korko määrittää millainen tuotto investoinnilla saadaan. Kun investointi on sama kuin laskentakorko, täyttää se juuri sille asetetun tuottovaatimuksen. Sisäisen koron ollessa pienempi kuin laskentakorko ei investointi täytä tuottovaatimusta. Puolestaan, mitä suurempi sisäinen korko on verrattuna laskentakorkoon, sen kannattavampi investointi on.

5.1 Järjestelmän kannattavuus (kaukolämpö)

Kun oletetaan, että järjestelmästä saadaan 10 MWh vuodessa energiaa ja investointiin ei lasketa varaajaa mukaan, on saatu takaisinmaksuaika erittäin lähellä 11 vuotta, kun sitä verrataan saatuihin säästöihin kaukolämpökuluista. 12 vuoden jälkeen järjestelmä on jo tuottanut "ilmaista" energiaa. Kun hyötysuhdetta tiputetaan ja järjestelmä tuottaa 8000 MWh vuodessa, takaisinmaksuaika nousee 15 vuoteen. Järjestelmän tuottaessa 7 MWh vuodessa maksaa se itsensä takaisin miltei 16 vuodessa ja kokonaan 17 vuodessa.

Järjestelmän kokonaishinnaksi oletetaan 10 000 euroa varaajan kanssa. Kun järjestelmästä saadaan vuotta kohti 10 MWh, on takaisinmaksuajaksi 16 vuotta. 8 MWh vuodessa tuottava järjestelmä maksaa itsensä takaisin 20 vuodessa ja 7 MWh vuodessa tuottava järjestelmä maksaa itsensä takaisin 22 vuodessa.

Kaukolämmön kohdalla sisäinen korko on laskentakorkoa suurempi, silloin kuin järjestelmästä saadaan vuosittain 10 MWh teho irti. Tällöin sisäinen korko on

3,9 %. 8 MWh teholla sisäinen korko on 0,6 % ja 7 MWh teholla -1,2 %. Kun varaaja lasketaan investointiin mukaan, on sisäinen korko järjestelmän antaessa 10 MWh tehon 0,2 prosenttia. 8 MWh teholla luku on -2,5 prosenttia ja 7 MWh teholla sisäinen korko -4,1 prosenttia. Sisäinen korko täyttää tuottovaatimuksen siis vain silloin, järjestelmästä saadaan 10 MWh energiaa vuodessa eikä varaaja ole investoinnissa mukana.

5.2 Järjestelmän kannattavuus (lämmitysöljy)

Kun lämmitysöljyn tehollisena lämpöarvona (kevytpolttoöljy) pidetään 10 kWh/dm³ ja öljykattilan hyötysuhteena 0,89, tarvitaan lämmitysöljyä noin 1125 dm³, kattamaan 10 MWh lämmitystarve. Kevytpolttoöljyn hintana pidetään 1 e/ dm³. Kun järjestelmän takaisinmaksu suoritetaan ilman varaajaa, saadaan takaisinmaksuajaksi 7 vuotta. Vastaavasti jos järjestelmästä saatava energiamäärä on 8 MWh, on takaisinmaksuaika 9 vuotta. Kun saatu energiamäärä on 7 MWh, on takaisinmaksuaika 10 vuotta.

Kun varaaja lasketaan investointiin mukaan, on 10 MWh vuodessa tuottavan järjestelmän takaisinmaksuaika 10 vuotta. 8 MWh vuodessa tuottavan järjestelmän 13 vuotta ja 7 MWh vuodessa tuottavan järjestelmän myös 13 vuotta.

Lämmitysöljyllä ilman varaajaa sisäiset korot ovat 10 MWh teholla 16,7 prosenttia. 8 MWh teholla 11,8 prosenttia ja 7 MWh teholla 9,2 prosenttia. Varaajan kanssa kun investointi on 3000 euroa kalliimpi, on 10 MWh vuodessa energiaa antavan järjestelmän sisäinen korko 10,4 prosenttia. 8 MWh tehon antavan järjestelmän sisäinen korko on 6,6 prosenttia ja 7 MWh tehon antavan järjestelmän 4,6 prosenttia.

5.3 Järjestelmän kannattavuus (sähkö)

Sähköhinnaksi oletetaan 10 snt/KWh. Ilman varaajaa 10 MWh energiantuotolla takaisinmaksuaika on 8 vuotta. 8 MWh energiantuotolla takaisinmaksuaika on 10 vuotta ja 7 MWh energiantuotolla 11 vuotta.

Varaajan kanssa kun järjestelmästä saadaan vuotta kohti 10 MWh tehoa, on takaisinmaksuaika 16 vuotta. 8 MWh tuntia vuodessa tuottava järjestelmä maksaa itsensä takaisin 20 vuodessa ja 7 MWh tuntia vuodessa tuottava järjestelmä maksaa itsensä takaisin 22 vuodessa.

Sähköllä ilman varaajaa sisäiset korot ovat 10 MWh teholla 14 prosenttia. 8 MWh teholla 9,5 prosenttia ja 7 MWh teholla 7,1 prosenttia. Varaajan kanssa on 10 MWh vuodessa antavan järjestelmän sisäinen korko 8,3 prosenttia. 8 MWh tehon antavan järjestelmän sisäinen korko on 4,8 prosenttia ja 7 MWh tehon antavan järjestelmän 2,9 prosenttia, joten se ei täytä tuottovaatimusta.

6. POHDINTAA

Vuonna 2009 rakennusten lämmittämiseen kulunut energia oli 249780 TJ (tilastokeskus, Energiatilastot 2009). Se oli noin 23 % Suomen koko energiankulutuksesta. Suomen velvoite on nostaa uusiutuvien energian käytön osuutta 38 TWh vuodesta 2010 vuoteen 2020 mennessä. Arvion mukaan kokonaisenergiankulutus Suomessa vuonna 2020 on 327 TWh. Näin ollen uusiutuvan energian määrän tulisi olla 124 TWh, jotta Suomi täyttäisi velvollisuutensa ja nostaisi uusiutuvan energian osuuden 38 %:iin kokonaisenergiankulutuksesta. (Työ – ja elinkeinoministeriö 2010.) Tavoitteena on uusiutuvien energian avulla vähentää hiilidioksidipäästöjä 7 miljoonalla tonnilla ja tämän lisäksi kivihiilen käytön vähentäminen laskisi hiilidioksidipäästöjä 2 miljoonaa tonnia.

Miltei neljännes Suomen kokonaisenergiankulutuksesta kuluu siis rakennusten lämmittämiseen. Kiinteistöissä on täten erinomainen mahdollisuus vähentää Suomen hiilijalanjälkeä ja lisätä Suomen energian omavaraisuutta. Kunnat myöntävät myös energia-avustuksia, joilla osaltaan ohjataan kiinteistöjä

energiatohokkaammiksi sekä lisäämään uusiutuvan energian käyttöä rakennusten lämmityksessä. Kerros – ja rivitaloille myönnetyn avustuksen suuruus on 15–20 %. (Motiva 2011.) Varmasti myös tasaisesti nouseva sähkön ja lämmitysöljyn hinta saa kuluttajan miettimään myös muita kuin perinteisten energiamuotojen käyttöä rakennusten lämmityksessä.

Olin yhteydessä neljään aurinkolämpöjärjestelmäurakoitsijaan opinnäytetyöni johdosta. Heistä kolme uskoi, että järjestelmien hinnat tullevat pysymään melko samoina. Yksi urakoitsijoista oli sitä mieltä, että hinnat saattavat tulevaisuudessa ehkä kohota. Hinnat kuitenkin olivat tulleet yhden urakoitsijan mukaan alas muutamassa vuodessa, mikä kielii siitä että alalla on kilpailua. Aurinkolämpöjärjestelmällä ei kuitenkaan voida kattaa koko talon lämmitystä, mutta se toimii hyvänä lisänä, miltei järjestelmälle kuin järjestelmälle. Jos järjestelmä tuottaa noin 10 MWh vuodessa maksaa se itsensä takaisin sähköllä ja öljyllä alle 10 vuodessa ja kaukolämmöllä 10 vuodessa (ilman varaajaa).

Aurinkolämpö on taloudellisessakin mielessä kannattava ratkaisu, olettaen että järjestelmästä saadaan sama teho irti kuin esimerkkitalo Allinnan Helmessä. Lisäksi aurinkolämmön eduksi voi laskea, kuten edellä on jo mainittu, että se on liitettävissä miltei mihin tahansa järjestelmään. Kun tulevaisuudessa mennään yhä enemmän kohti uusiutuvan energian käyttöä, toimii aurinkolämpö niin maalämmön, pelletin tai kaukolämmön rinnalla vähentäen päälämpöjärjestelmän lämmöntarvetta.

LÄHTEET

Erat B., Erkkilä V., Nyman C., Peippo K., Peltola S., & Suokivi H. 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkotekniikan Yhdistys ry.

KH-OHJEKORTTI, KH 90-00403 2008. Tulostettu 1.6 2011

Komulainen, K. 2006. Aurinkolämpö – teknologia ja mahdollisuudet. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos. Pro – gradu tutkielma
https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/8952/URN_NBN_fi_jyu-2006303.pdf?sequence=1.

Lindström D. 2008, Aurinkolämmön rakentamisen opas. 2. painos. Vaasa: Oy KEAB – PAPER Ab

Motiva. 2011. Luettu 27.5 2011
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/tuet_ja_avustukset/.

Rakennuslehti. 2009. Tulostettu 26.5 2011.
<http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/uutiset/19325.html>.

Seppänen M. & Seppänen O. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Tilastokeskus, Energiatilastot. 2009. Luettu 27.5 2011.
http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_loppukaytto.

Tee parannus. 2010. Luettu 25.5 2011.
<http://www.teeparannus.fi/attachements/2010-06-03T19-41-5014834.pdf>.

Työ – ja elinkeinoministeriö. 2010. Luettu 27.5 2011.
http://www.tem.fi/index.phtml?101881_m=98836&s=4265.